ÉVFOLYAM **VI** 2003
Volume

GEOMATIKAI KÖZLEMÉNYEK

Publications in Geomatics

SZERKESZTŐ **ZÁVOTI J, BÁNYAI L, PAPP G**
Editor

Bácsatyai László
Geodézia
erdő és környezetmérnököknek

HU ISSN 1419-6492

MTA GEODÉZIAI ÉS GEOFIZIKAI KUTATÓ INTÉZET, SOPRON

Geomatikai Közlemények

Publications in Geomatics

kiadja az

MTA FKK GEODÉZIAI ÉS GEOFIZIKAI KUTATÓ INTÉZET
9400 Sopron, Csatkai E. u. 6-8. Pf. 5.
tel.: 99 - 508-340 fax.: 99 - 508-355
E-mail: geomatika@ggki.hu

felelős kiadó

Závoti József
igazgató

szerkesztő

Závoti József, Bányai László és Papp Gábor

technikai szerkesztő

AnKa

készült a

LŐVÉR PRINT Kft. nyomdájában
9400 Sopron, Ady Endre u. 5.
tel.: 99 - 329-977

megjelent 150 példányban
Sopron, 2003

HU ISSN 1419-6492

GEODÉZIA

erdő- és környezetmérnököknek

Dr. habil. Bácsatyai László
a műszaki tudomány kandidátusa, egyetemi tanár

Lektor:

Dr. Bányai László tudományos osztályvezető
a műszaki tudomány kandidátusa

MTA FKK Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet
Nyugat-Magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar

Tartalomjegyzék

BEVEZETÉS
1. A GEODÉZIA TÁRGYA, FELOSZTÁSA, ALAPFOGALMAK 1
1.1. A geodézia felosztása 2
1.2. Mértékegységek 4
2. A TÉRKÉPEK ÉS A VETÜLETEK 7
2.1. A térkép fogalma, a térképek csoportosítása 7
2.1.1. Analóg és digitális térképek 9
2.1.2. Entitások, objektumok és a GIS 10
2.2. A Föld felszínétől a térkép síkjáig 12
2.2.1. A Föld alakja 13
2.2.1.1. A nehézségi erőtér és a szintfelületek 13
2.2.1.2. A magasság és a magasságkülönbség 15
2.2.1.3. A geoidot helyettesítő (közvetítő) felületek 17
2.2.2. A vetületek 19
2.2.2.1. Vetületi koordinátarendszerek 21
2.2.2.2. A geodézia főfeladatai a vetületi koordinátarendszerben 22
2.2.2.3. Magyarországi vetületek és szelvényhálózatok 23
A magyarországi sztereografikus vetület 24
A sztereografikus vetület szelvényhálózatai 25
A magyarországi erdőtervi (erdészeti üzemi) térképek szelvényezési rendszere 26
A magyarországi ferde tengelyű hengervetületek 27
A hengervetületek szelvényhálózatai 28
Az Egységes Országos Vetület 28
Az EOV szelvényhálózata 30
A Gauss-Krüger vetület 31
A Gauss-Krüger vetület szelvényhálózata 33
Az UTM-vetület 35
Az UTM-vetület koordináta azonosítási rendszere 36
2.2.3. Átszámítások a koordinátarendszerek között 37
2.3. A térképezés mérési pontrendszere 39
2.3.1. Vízszintes alappontok jelölése 40
2.3.1.1. Vízszintes alappontok állandósítása 40
2.3.1.2. Vízszintes alappontok ideiglenes jelölése 42
2.3.2. Magassági alappontok jelölése 45
2.3.3. GPS alappontok jelölése 47
3. A TÉRKÉPI ÁBRÁZOLÁS ÉS A TÉRKÉPEK HASZNÁLATA 49
3.1. A síkrajzi ábrázolás 49
3.1.1. A síkrajzi ábrázolás típusai 49
3.1.2. Raszteres és vektoros ábrázolás 50
3.2. A domborzat ábrázolása (topográfia) 55
3.2.1. A szintvonalas ábrázolás 55
3.2.2. A domborzat idomai és törvényszerűségei 57
3.2.2.1. A lejtő 57
Idomvonal és idomváz 59
3.2.2.2. A domborzati idomok 60
3.2.3. A digitális domborzatábrázolásról 61
3.3. A térképek tartalma 62

3.3.1. A földmérési alaptérképek tartalma 63
3.3.2. A topográfiai alaptérképek tartalma 64
3.3.3. Az erdészet és a vadgazdálkodás üzemtervi térképei 65
3.3.3.1. Az erdészeti üzemtervek térképei 65
3.3.3.2. Erdőállomány-gazdálkodási térképek 66
3.3.3.3. Erdészeti áttekintő és átnézeti térképek 67
3.3.3.4. A vadgazdálkodási üzemtervi térkép 67
3.3.4. A digitális erdészeti térkép (DET) 68
3.4. A térképek szerkesztése 69
3.4.1. Az analóg térképezés eszközei 69
3.4.1.1. Felrakó eszközök 70
A koordinatográfok 71
3.4.1.2. A felmérési térkép készítése 72
Szintvonalak szerkesztése 73
3.4.2. A digitális térképezés eszközei 74
3.5. A térképek használata 74
3.5.1. Analóg térképek használata 74
3.5.1.1. Tájékozódás a terepen 75
A térkép tájékozása 75
Álláspont meghatározása a térképen 75
A térképen ábrázolt tárgy megkeresése a terepen 76
Tereptárgy megkeresése a térképen 76
Haladás a terepen térkép alapján 76
3.5.1.2. Térképi információk, méretek, területek levétele, tervezés 76
Adott pont magasságának meghatározása 76
A lejtésviszonyok és a lejtőszög meghatározása 77
Összeláthatóság, metszetszerkesztés 77
Távolság meghatározása a térképen 78
Területek meghatározása a térképen 78
Terület meghatározás koordinátákból 79
Terület meghatározás elemi területekre bontással 79
A térképek méretváltozásai 83
3.5.1.3. Térképek másolása, kisebbítése 84
A pantográf 84
Másolás optikai úton 85
3.5.2. Digitális térképek használata 85
4. A GEODÉZIAI MÉRÉSEK MATEMATIKAI FELDOLGOZÁSA 87
4.1. A matematikai feldolgozás lényege 87
4.2. Közvetlen és közvetett mérések 88
4.3. A mérési eredmények szabályos és véletlen hibái 89
4.4. A kiegyenlítés 91
4.4.1. A legkisebb négyzetek elve 92
4.4.2. Egyetlen mennyiségre végzett közvetlen mérések kiegyenlítése 92
4.4.3. Az előzetes és utólagos középhiba 93
4.4.4. A súly 96
4.4.5. A súlyozott számtani közép 97
4.5. A hibaterjedés 98
4.5.1. A számtani közép és a súlyozott számtani közép középhibája és súlya 99
4.6. Több mennyiségre végzett mérések kiegyenlítése (alapfogalmak) 100
4.7. Közelítő kiegyenlítés 102

5. A FÖLDI HELYMEGHATÁROZÁS ÉS DIGITALIZÁLÁS ESZKÖZEI ÉS MŰSZEREI 103
5.1. A geodézia mérési eredményei 103
5.2. Geodéziai mérő- és kitűző eszközök és műszerek 105
5.2.1. A hagyományos geodéziai eszközök és műszerek 105
5.2.1.1. Optikai alapfogalmak 106
5.2.1.2. Műszerelemek 110
A geodéziai műszerek optikai berendezései 110
A geodéziai távcső 110
Az állandó fókusztávolságú távcső 111
A változó fókusztávolságú távcső 111
Tükrös-lencsés távcső 112
Leolvasóberendezések 112
A libellák 114
5.2.1.2. Az elektronikus műszerek alapfogalmai 115
5.2.2. Szögmérő és szögkitűző eszközök és műszerek 116
5.2.2.1. A vízszintes irányok és szögek kitűzésére alkalmas egyszerű eszközök 116
5.2.2.2. A teodolit 119
A teodolit kiegészítő felszerelései és tartozékai 122
A teodolitok csoportosítása 124
Elektronikus teodolitok 124
Az alhidádé libella igazítása 125
A teodolittal végzett mérések szabályos hibái 125
A teodolitok szabályos műszerhibái 126
A külső körülmények hibái 129
A személyi hibák 130
A teodolit felállítása 130
A teodolit felállítása zsinóros vetítővel 130
A teodolit felállítása botvetítővel 130
A teodolit felállítása optikai vetítővel 130
A teodolit felállítása pilléren 131
Irányzás teodolittal. Az irány- és a szögmérés. 131
Irányok és szögek központosítása 133
Irányértékek központosítása 133
Mért szög központosítása 134
Az irányértékek tájékozása 135
Tájoló teodolitok 136
A busszola-teodolitok 136
5.2.3. Távolságmérő eszközök és műszerek 138
5.2.3.1. Távolságmérő eszközök 138
A mérőszalag komparálása 139
5.2.3.2. Optikai (geometriai) távmérők 140
Külső bázisú távmérők 140
Egyszerű állandó száltávolságú (változó bázisú) távmérők 140
Külső állandó bázisú távmérők (bázisléc és teodolit) 142
Belső változó bázisú távmérők 144
5.2.3.3. Elektronikus (fizikai) távmérők 145
A ppm és a relatív hiba 145
A kétutas távolságmérés 146
Az elektronikus távolságmérést befolyásoló hibák 148

5.2.3.4. A mért ferde távolság redukálása 149
A meteorológiai redukció 149
Redukálás a vízszintesre 150
Redukálás a tengerszintre 151
Redukálás a vetületre 151
Külpontosan mért távolság központosítása 152
5.2.4. A magasságmérés eszközei és műszerei 153
5.2.4.1. Geometriai szintező műszerek 154
A geometriai szintezés elve 154
Libellás szintezők 156
Kompenzátoros szintezők 157
Elektronikus (digitális) szintezők 158
Szintezők csoportosítása a mérési pontosság alapján 158
A szintezőműszerek tartozékai 159
A geometriai szintezés szabályos hibái 160
Szabályos műszerhibák 160
A szintezőlécek hibái 162
A külső körülmények hibái 163
A geometriai szintezés pontossága, a km-es középhiba 164
5.2.5. A tahimetria műszerei 165
5.2.5.1. Diagramtahiméterek 165
5.2.5.2. Belső bázisú kettősképes redukáló tahiméter (BRT 006) 168
5.2.5.3. Elektronikus tahiméterek 168
5.3. Globális Helymeghatározó Rendszer (GPS) 170
5.3.1. A GPS felépítése 171
5.3.1.1. A műholdak alrendszere 172
5.3.1.2. A követő állomások alrendszere 173
5.3.1.3. A felhasználói alrendszer 174
5.3.2. A távolságmeghatározás módszerei 175
5.3.2.1. Távolságmérés kódméréssel 175
5.3.2.2. Távolságmérés fázisméréssel 176
5.3.3. A GPS-es helymeghatározás pontossága 176
5.3.3.1. A mérés pontossága 177
5.3.3.2. A műholdak geometriája 178
5.3.4. Vonatkozási és koordinátarendszerek 179
5.3.4.1. Összefüggések az ellipszoidi térbeli és az ellipszoidi földrajzi koordináták között 179
5.3.5. A műholdas helymeghatározás geometriai elve 180
5.3.6. A GPS technika mérési módszerei 181
5.3.6.1. Kódméréses távolságmérésen alapuló módszerek 182
5.3.6.2. Fázisméréses távolságmérésen alapuló módszerek 183
5.3.6.3. Permanens állomások 184
5.4. A digitalizálás eszközei 184
5.4.1. A raszteres digitalizálás 185
5.4.1.1. Vektor-raszter átalakítás, raszterizálás 185
5.4.2. A vektoros digitalizálás 186
5.4.2.1. Raszter-vektor átalakítás, vektorizálás 188
6. ALAPPONTOK MEGHATÁROZÁSÁNAK MÓDSZEREI 191
6.1. Vízszintes alappontok meghatározása 191
6.1.1. Az alappont meghatározás munkaszakaszai 192
6.1.1.1. Előkészítés 192

6.1.1.2. Tervezés, kitűzés 192
6.1.1.3. Mérés 193
6.1.1.4. Számítás 193
6.1.2. Az alapvonal 194
6.1.3. A háromszögelés 195
6.1.3.1. A szögméréses háromszögelés 195
A szögméréses előmetszés 197
6.1.3.2. Az iránymméréses háromszögelés 198
Előmetszés tájékozott irányértékekkel 200
Hátrametszés 202
Egypont-kiegyenlítés az iránymméréses hálózatban 204
Iránymméréses hálózat együttes kiegyenlítése 205
6.1.3.3. A távolságméréses háromszögelés 206
Távolságméréses előmetszés 207
Egypont-kiegyenlítés a távolságméréses hálózatban 208
Távolságméréses hálózat együttes kiegyenlítése 208
6.1.3.4. Vegyes (irány- és távolságméréses) háromszögelés 208
6.1.4. A sokszögelés 209
6.1.4.1. Mindkét végén tájékozott sokszögvonal 211
A vonalas záróhiba vizsgálata 215
6.1.4.2. Egyik végén tájékozott sokszögvonal 216
6.1.4.3. Tájékozás nélküli (beillesztett) sokszögvonal 216
6.1.4.4. Szabad sokszögvonal 217
6.1.4.5. Sokszögelési csomópontok számítása 217
6.1.4.6. Sokszögvonal csatlakozása magasponthoz 219
6.1.4.7. A sokszögelés végrehajtásának szabályai 220
A kényszerközpontosító használata sokszögelésnél 220
6.1.5. Szabad álláspont 221
6.1.6. Fotogrammetria 222
6.1 7. Vízszintes alappontok magasságának meghatározása 223
6.1.7.1. A trigonometriai magasságmérés 223
A trigonometriai magasságmérés középhibája 225
A refrakció együttható meghatározása 226
6.2. Magassági alappontok meghatározása 226
6.2.1. Az oda-visszaszintezés szintezési szakaszra és vonalra 228
6.2.2. A szintezési hálózat számítása 229
6.3. Alappontsűrítés GPS-sel a klasszikus hálózatokban 230
6.3.1. Alappontsűrítés GPS-sel a vízszintes alappont hálózatban 230
6.3.2. Alappontsűrítés GPS-sel a magassági alapponthálózatban 231
6.4. Magyarország alapponthálózatai 233
6.4.1. Magyarország vízszintes alapponthálózata (EOVA - Egységes Országos Vízszintes alapponthálózat) 233
6.4.2. Magyarország magassági alapponthálózata (EOMA - Egységes Országos Magassági Alapponthálózat) 236
6.4.3. Az Országos GPS hálózat 239
7. A RÉSZLETES FELMÉRÉS 243
7.1. A részletpontok osztályozása 243
7.2. A vízszintes részletes felmérés 245
7.2.1. Felmérési alappontok létesítése rövidoldalú sokszögeléssel 245
7.2.2. Erdészeti alappontok létesítése 247

7.2.2.1. Sokszögelés mérőállomással 247
7.2.2.2. Busszola sokszögelés 249
A busszola sokszögvonal numerikus feldolgozása 250
A busszola sokszögvonal grafikus feldolgozása 251
A busszola sokszögelés szabályai 251
7.2.3. Vízszintes részletmérési eljárások 252
7.2.3.1. Derékszögű részletmérés 252
7.2.3.2. Poláris részletmérés 255
7.2.3.3. Részletmérés elő- és ívmetszéssel 256
7.3. Ismert vízszintes helyzetű objektumok magassági felmérése 257
7.3.1. Hossz- és keresztszelvényezés 257
7.3.1.1. Hossz- és keresztszelvényszintezés. A horizontmagasság. 257
Hossz- és keresztszelvények szerkesztése 260
7.3.2. Területszintezés 261
7.4. Egyidejű vízszintes és magassági részletmérés 263
7.4.1. Tahimetria 263
7.4.1.1 Tahiméteres sokszögelés 263
7.4.1.2. Részletpontok meghatározása tahiméterrel 264
7.4.2. Részletfelmérés GPS-sel 265
8. KITŰZÉSEK ÉS TERÜLETOSZTÁSOK 267
8.1. A kitűzés alapfogalmai 267
8.1.1. Szögek kitűzése 268
8.1.2. Távolságok kitűzése 268
8.1.3. Pont tervezett magasságának és adott magasságú pont kitűzése 269
8.1.4. Adott lejtőszögű vonal és sík kitűzése 269
8.2. Kitűzési hálózatok 270
8.2.1. Kitűzés poláris koordinátákkal 270
8.2.1.1. Tört vonalak kitűzése 270
8.2.1.2. Körívek kitűzése 271
8.2.2. Kitűzés derékszögű koordinátákkal 272
8.2.2.1. Derékszögű kitűzési méretek számítása koordinátákból 273
8.2.3. Kitűzés tájékozott főirányokról 273
8.3. Területosztások 274
8.3.1. Egyszerű idomok területosztása 275
8.3.1.1. Derékszögű négyszög felosztása az egyik oldalával párhuzamos egyenesekkel 275
8.3.1.2. Parallelogramma felosztása az egyik oldalával párhuzamos egyenesekkel 276
8.3.1.3. Háromszög felosztása az egyik oldalával párhuzamos és a csúcsból kiinduló egyenesekkel 276
8.3.1.4. Trapéz felosztása az alapjával párhuzamos egyenesekkel 277
8.3.2. Az értékosztás 278
9. INGATLAN-NYILVÁNTARTÁS ÉS FÖLDRENDEZÉS 281
9.1. A földmérési alaptérkép 281
9.1.1. Alapfogalmak 281
9.1.2. A helyrajzi számozás 283
9.1.2.1. A helyrajzi számozás általános szabályai 283
9.1.2.2. Külterületi földrészletek helyrajzi számozása 284
9.1.2.3. Belterületi földrészletek helyrajzi számozása 285
9.1.2.4. Helyrajzi számozás földrészletek változásakor 285
9.1.3. A földmérési alaptérkép domborzati tartalma 286
9.2. Az ingatlan-nyilvántartás 286

9.2.1. Az ingatlan-nyilvántartás tárgya 287
9.2.2. Az ingatlan-nyilvántartás elvei 287
9.2.3. Az ingatlan-nyilvántartás tartalma 288
9.2.4. Az ingatlan-nyilvántartás részei 288
9.2.4.1. Az ingatlan-nyilvántartási térkép 289
9.2.5. Az ingatlan-nyilvántartás módja 289
9.2.6. A földhivatalok rendszere 290
9.2.6.1. A földhivatalok felépítése és feladatai 290
Adatok beszerzése és tárolása 291
9.3. A földmérési alaptérkép tartalmát érintő geodéziai munkák 292
9.3.1. A sajátos célú földmérési és térképészeti tevékenység 292
9.3.2. A változási vázrajz 292
9.3.2.1. A változási vázrajz fajtái 292
9.3.2.2. A változási vázrajz előállítására vonatkozó előírások 293
9.3.2.3. A változási vázrajz készítésének földmérési előírásai 294
9.3.2.4. A földrészletek határvonalának azonosítása és ellenőrzése 294
9.3.2.5. Példák a változási vázrajz készítésére 296
9.3.2.6. Földrészletek határvonalának kitűzése 297
9.4. Föld- és területrendezés 297
9.4.1. A TAMA Projekt (ÁlTAlános Birtokrendezés MAgyarországon) 299
9.4.2. A TAMA projekt folyamatának főbb szakaszai, célkitűzései 300
FELHASZNÁLT IRODALOM 301
TÁRGY- ÉS NÉVMUTATÓ 303

Bevezetés

A rendszerváltás óta eltelt időszakban a föld tulajdonviszonyainak (pld. kárpótlás) változásából és az infrastrukturális fejlesztésekből eredően erőteljesen megnövekedett földmérési feladatok, valamint a számítástechnikának és elektronikának ugrásszerű fejlődésével elterjedő új eljárások (elektronikus tahimetria, globális helymeghatározó rendszerek, digitális térképezés, térinformatika) döntően befolyásolták a mérnöki tevékenységek egyik legrégibb ágát, a geodéziát. Természetes, hogy ezzel egyidejűleg a fenti irányokban módosultak a geodézia oktatási és kutatási irányai.

A Nyugat-Magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Karán kisebb-nagyobb terjedelemben 4 szakon, különböző elnevezések alatt folyik geodézia oktatás: okleveles erdőmérnöki, okleveles környezetmérnöki, vadgazda mérnöki és okleveles környezetkutatói szakokon. Az országban oktatnak geodéziát bányamérnököknek, útépítő, vízépítő, építész- és agrármérnököknek, amivel a lista még nem teljes. Az okleveles és nem okleveles földmérő mérnökökkel szemben a geodézia ezen képzésekben nem főtárgy, de vannak bizonyos hangsúlyok, amelyek az egyes, a geodéziát tantervükben nem szakmai főtárgyként tartalmazó oktatásokat megkülönböztetik egymástól. Így az Egyetemünkről kikerülő mérnökeinket nekünk is alkalmassá kell tennünk arra, hogy eligazodjanak e szinte napról napra változó technológiákat alkalmazó tudomány gyakorlati alkalmazási kérdéseiben a saját szakterületükön, sőt, szükség esetén, földmérő mérnökként is meg tudják állni a helyüket. Jelen kiadvány kísérlet arra, lehet-e ezt a feladatot viszonylag szűk keretek között megoldani.

Nagyra becsült elődöm, Sébor János professzor Úr 1953-55-ben két vastag kötetben foglalta össze mindazt, amit akkor mintegy 30 éves gyakorlati és oktatói tapasztalata révén a geodéziáról tudott. A kötetek jelentős részét a logaritmustáblázatokra és a „tekerős" számológépekre alapozott gyakorlati példák, példamegoldások alkották. A számítógépes geodéziai adatfeldolgozás lehetőségei ezt elkerülhetővé, talán szükségtelenné is teszik. Jelen kiadvány 300 oldalban tartalmazza azokat a tudnivalókat, amit szakterületünkön a kikerülő mérnökeink számára – a szubjektivitástól sem teljesen mentesen - fontosnak tartok. Az anyag összeállítása során szem előtt tartottam, hogy a számítógép alapú ismeretekhez megfelelő „analóg" kiindulópontokra is szükség van. Ezért a hatékony térinformatika művelését megalapozó ismeretek, a számítógépes térképi adatmodellek, a terepi adatrögzítés, adatfeldolgozás és térképezés alapvető fogalmai mellett a kötetben helyet kapnak a ma még elkerülhetetlen, de a lehetőségekhez képest a minimálisra csökkentett „hagyományos" ismeretek is.

A kötet tartalma akkor lehetne igazán teljes, ha részletesen bekerülhettek volna mindazok az ismeretek is, amelyeket napjainkban a digitális fotogrammetria és a digitális képfeldolgozás nyújt számunkra. Ezen ismereteket - a térinformatikával kiegészítve - önálló tárgyak keretén belül sajátítják el hallgatóink. A kapcsolódó legfontosabb ismeretek Tanszékünk honlapján (http://geo.efe.hu) elektronikus formában hozzáférhetők (Czimber K.: Geoinformatika, 2001.)

A kötetet remélhetőleg nem csak Egyetemünk hallgatói és végzett mérnökei forgathatják haszonnal, hanem mindenki, aki érdeklődik a geodézia korszerű ismeretei iránt. Csak remélhetem, hogy az olvasó közben talán valami számára is újra bukkanhat.

A többszöri és lelkiismeretes átnézés mellett is előfordulhat, hogy elírási, esetleg értelemzavaró hibák maradtak a kiadványban. Ezért kérem, hogy akár tartalmi, akár formai jellegű észrevételeit juttassa el hozzám.

Köszönöm Dr. Kovács Gyula egyetemi adjunktus kollégámnak, hogy a 9. „Ingatlannyilvántartás és földrendezés” c. fejezethez szükséges anyagok, törvények, rendeletek, szakmai szabályzatok fáradságos gyűjtő munkáját helyettem elvégezte. Köszönöm az MTA FKK Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézetének, hogy helyet adott e kiadvány megjelenésének, ezzel is erősítve az MTA FKK GGKI és a Nyugat-Magyarországi Egyetem utóbbi években egyre inkább kiteljesedő kapcsolatát.

Sopron, 2002
Bácsatyai László

1. A geodézia tárgya, felosztása, alapfogalmak

A gyűjtögető, vadászó-halászó természeti népek élelemszerző útjaikon bejárták lakóhelyük környékét. A bejárt területeket homokban ágakkal mintázták meg, megjelölték az út- és tereprészeket – a fontos vagy veszélyes helyeket kődarabokkal – annak érdekében, hogy jobban emlékezetükbe véssék, ill. átadhassák tapasztalataikat a környezetükben élőknek. A nagy felfedezések történetéből számtalan példát olvashatunk az így készült vázlatok felhasználásáról.

Ha valaki hosszabb ideig él, vagy dolgozik ugyanazon a területen, természetes, hogy maga elé tudja képzelni azt, összes fontos terepvonalával együtt.

A ma élő ember a földterületek kisebb-nagyobb darabjait a legkülönbözőbb célokra használja fel. Rendkívül fontos tehát, hogy a földdarabok és jellemző pontjaik helyét megállapítsa, maradandóan feljegyezze, vagyis szükség esetén a kérdéses pontot vagy helyet feljegyzései alapján ismét felkereshesse.

A földterülettel történő gazdálkodás során, legyen az lakóterület, ipari-, vagy mezőgazdasági terület – ahol az elvégzendő munkálatok lehető legjobb megtervezése szükséges – elengedhetetlen feltétel, hogy a szakember tökéletesen ismerje a kezelésére bízott területet, annak minden részletét, adatait, méreteit. Ha megfelelő térkép van a területről, csupán a térkép vonalait kell azonosítani a természetben meglévőkkel, s könnyen oda tudjuk képzelni a számunkra fontos természetes, vagy mesterséges tereptárgyakat (az erdőket, erdőrészleteket, erdei utakat, szállítópályákat, az erdő jóléti létesítményeit, a nemzeti parkokat, a lakott területek pihenésre kijelölendő övezeteit, a hulladék-feldolgozót, az adott területre tervezett magasleseket, etetőket, stb.). Így bárminemű gazdálkodással kapcsolatos tervezést kellő pontossággal végezhet el.

A fenti vázlatos áttekintésből is világos, hogy a terület, a terep megismerésének legfontosabb segédeszköze és minden tervezés alapja a térkép. A térkép olyan *adathordozó*, amely egy hosszú, elméleti és gyakorlati tevékenységeket egyaránt magában foglaló folyamat végterméke.

A folyamat *elméleti része* elsősorban a Föld alakjának és méreteinek meghatározására irányul, ebbe kell majd beillesztenünk szűkebb környezetünket. A Föld alakján itt nem a fizikai földfelszínt, a szárazföldeket, tengereket értjük, hanem egy *idealizált földfelületet*, amely nem tartalmazza a Föld rendkívül változatos kiemelkedéseit, bemélyedéseit, ill. ezek változásait. Az elméleti részhez tartoznak azok az elméleti ismeretek is, amelyek az űrben keringő mesterséges holdak segítségével teszik lehetővé a földi pontok helyének meghatározását.

A folyamat *gyakorlati része* elsősorban a Föld fizikai felszínén, esetleg a felszín alatt lévő természetes és mesterséges alakzatok jellemző pontjai helyének, méreteinek, alakjának meghatározására, térképi ábrázolására, a pontok helyzetbeli változásainak, ill. minden olyan tevékenység térképi rögzítésére szolgál, amely valamilyen szempontból fontos a társadalom számára (műszaki, jogi, gazdasági, honvédelmi és egyéb).

Az elméleti és a gyakorlati rész *átfedi egymást*. Egyrészt a Föld idealizált alakjának és méreteinek meghatározásakor gyakorlati feladatokat is meg kell oldanunk. Ezek a feladatok részben fizikai, részben geometriai mennyiségek *mérését* foglalják magukban. Másrészt viszont a tisztán gyakorlati feladatok végzéséhez szükségesek olyan *elméleti vizsgálatok*, amelyek nélkül nem képzelhető el a gyakorlati feladatok megoldásának fejlődése, korszerűsítése.

Napjainkban e fogalmak szervesen simulnak bele a már világszerte elfogadottá vált geomatika nevű szakterületbe, amely, mint a földmérést, térképészetet, fotogrammetriát, távérzékelést, informatikát és a földrajzi információs rendszereket (GIS) magában foglaló szakterület, hatékonyan segíti mindazon feladatok megoldását, amelyekben a földrajzi helyhez kötött információk beszerzése, tárolása, elemzése és felhasználása nélkülözhetetlen. Ebben a

szellemben a mérés ún. elsődleges adatgyűjtés. Ha az adatokat nem mérésből, hanem meglévő térképekből digitalizálással nyerjük, másodlagos adatgyűjtésről beszélünk.

A mérések során adott helyen található állapotot, vagy állapotváltozást rögzítünk. A különböző létesítmények tervezésekor szükség van a terepre képzelt, tervezett létesítmények terepen való megjelenítésére, elhelyezésére. Ekkor a méréshez képest *fordított feladatot* oldunk meg: adott méreteket helyezünk el a terepen, kitűzést végzünk.

Az eddigi ismeretek birtokában tantárgyunk lényegét az alábbiakban foglalhatjuk összsze:

A geodézia a Föld alakjának és méreteinek, a Föld fizikai felszínén, ill. a felszín alatt lévő természetes és mesterséges alakzatok geometriai méreteinek és helyének meghatározásával (adatgyűjtéssel és adatfeldolgozással), továbbá a fordított feladattal, létesítmények tervezett helyének terepi megjelölésével, kitűzésével, valamint a felmért alakzatok térképi ábrázolásával (a feldolgozott adatok grafikus és/vagy számítógépes formában való megjelenítésével) foglalkozik. A meghatározás és a térképi ábrázolás ugyanazon területre vonatkozó megismétlésével két statikus állapot közötti különbséget is tudunk rögzíteni, ezek a feladatok a geodinamikai vizsgálatok körébe tartoznak.

A geodézia görög eredetű szó, Arisztotelésztől származik, jelentése szó szerint: *földosztás*. A geodézia tartalmát, lényegét annak idején a geometria (földmérés) szó fedte, a geodézia (földosztás) ma annak csupán egy kis fejezete lenne, mégis geodézia elnevezéssel jelöljük a napjainkban hatalmasan kiterebélyesedett, tartalmilag a földmérést (geometriát) meghaladó önállóvá vált ismeretkör egészét.

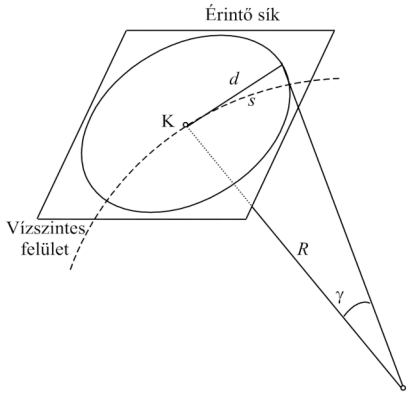
1.1. A geodézia felosztása

A geodéziát hagyományosan felső-geodéziára és alsó-geodéziára osztjuk. A *felső-geodézia* feladata a Föld, ill. a Föld alakját helyettesítő geometriai alakzatok (ellipszoid, gömb) alakjának és méreteinek, valamint a köztük lévő eltéréseknek a meghatározása. A felső-geodézia művelése során egy olyan vonatkozási rendszert választunk, amely lehetővé teszi a Föld nagyobb felületdarabjainak (országainak) a Földön való elhelyezését, ill. olyan mérési és számítási módszerek kidolgozását és végrehajtását, amelyek az elhelyezést biztosító, a Föld felületén létesített pontok koordinátáinak a választott koordinátarendszerben való meghatározására szolgálnak.

Az *alsó-geodézia* azon mérési és számítási eljárások kidolgozásával és végrehajtásával foglalkozik, amelyek segítségével, a felső-geodézia módszereivel létrehozott pontokra, mint vázra támaszkodva, a felszínen és a felszín alatt lévő természetes és mesterséges alakzatok geometriai méretei és helye meghatározhatók és ábrázolhatók. Az alsó-geodézia feladata a *kitűzés* is.

A felső-geodézia és alsó-geodézia fogalma összhangban van a geodézia előző részben megadott definíciójával, vagyis a felső-geodézia a definíció első részét, a Föld alakjának és méreteinek meghatározását, az alsó-geodézia pedig a definíció maradék részét fedi le.

A helymeghatározás során irányokat és távolságokat mérünk. Az irányok és távolságok mindig két pont között értelmezhetők. Jó közelítéssel a felső- és az alsó-geodézia határát ott jelölhetjük ki, ahol a mérés tárgyát képező terepi vonal két végpontja között egy idealizált földfelszínen (pld. a gömbön) értelmezett ív és a tartozó érintő hossza közti különbség (1.1.1. ábra) olyan csekély, hogy nyugodtan elhanyagolhatjuk, mivel a geodéziai méréseknél előforduló, ill. a térképi ábrázolást terhelő hibák ezt a különbséget meghaladják. Ebből következik, hogy az alsó-geodézia méréseinél és számításainál a Földet síkkal helyettesítjük.



1.1.1. ábra: A földfelszín helyettesítése síkkal

Az 1.1.1. ábrán a Föld felszínét gömbbel helyettesítjük. A földgömb R sugara mintegy 6380 km. A γ az s gömbi hosszhoz tartozó középponti szög. A gömbi s hossznak az érintősíkra, más szóval, a K pont *vízszintes síkjára* vetített értéke legyen d. A kettő különbsége az s hossz torzulásának mértéke:

$$\Delta s = d - s = R \cdot \operatorname{tg}\gamma - s,$$
$$\Delta s = R \cdot \operatorname{tg}\frac{s}{R} - s, \qquad (1.1.1)$$
$$\Delta s = 6380 \cdot \operatorname{tg}\frac{s}{6380} - s.$$

A Δs értéke az s hossz értékétől függ. Legyen pld. $s = 50\,\text{km}$, ekkor $\Delta s = 0{,}001\,\text{km} = 1\,\text{m}$. A készítendő térképen a földfelszínt mindig adott kicsinyítéssel ábrázoljuk. Pld. 10000-szeres kicsinyítésnél a földfelszíni 1 m a térképen 0,1 mm-nek felel meg, ami nem haladja meg az ábrázolás élességét, vagyis ez esetben a Föld felszínét még síknak tekinthetjük. Az $s = 23\,\text{km}$ mellett $\Delta s = 0{,}0001\,\text{km} = 0{,}1\,\text{m}$, ami viszont 1000-szeres kicsinyítésnél jelent 0,1 mm ábrázolási élességet.

Az elektronika és számítástechnika utóbbi évtizedekben bekövetkezett rendkívül gyors fejlődése a geodéziában a térképezés teljes mértékű automatizálását lehetővé tevő mérési és számítási eszközök és módszerek kifejlődéséhez vezetett: a mérési eredmények rögzítése automatikusan, számítógépes adathordozón megy végbe, az eredmények matematikai feldolgozásához ma már megfelelő számítógépes hardver- és szoftver háttér áll rendelkezésre. Az egész folyamat, a terepi méréstől a végeredményig, a számítógépes (digitális) térképig, automatizált. A számítógépes térkép elemeihez tetszőleges mennyiségű, nagyszámú ún. rétegbe (fedvénybe) szervezhető attribútum, szöveges információ rendelhető: ez teremti meg az alapját a számítástechnika ma már Magyarországon is széleskörűen ismert és használt lehetőségének, a Földrajzi Információs Rendszerek (FIR, angol rövidítéssel: GIS – Geographical Information System) kialakításának.

A Föld körüli térség ember által való meghódítása és Föld körüli pályára helymeghatározási céllal felbocsátott mesterséges holdak megjelenése tette lehetővé azt, hogy a földi pontok helyét a mesterséges holdakról sugárzott kódolt elektromágneses jelek vételére alkalmas vevő készülékekkel határozhassuk meg (GPS - Global Positioning System: globális helymeghatározó rendszer).

A geodéziának azt az ágát, amelyben a térkép a Föld felszínén közvetlenül végzett mérések helyett a terepről a légkörből, vagy földi álláspontból készült fényképeken végzett mérések alapján készül, fotogrammetriának nevezzük. A *fotogrammetriát* a centrális perspektívára épülő elmélete, műszerei, különleges ismeretanyaga miatt külön tudományágként is számon tartják. A távérzékelés (a fotogrammetriához tartozó fotointerpretációval együtt) során az űrből Földünk felszínéről az elektromágneses spektrum kitüntetett tartományaiban készített felvételek elsősorban *minőségi*, s csak másodsorban *mennyiségi* jellemzők meghatározására irányulnak.

A geodéziához tartozik még a mérnök-geodézia. Utóbbit az építőipar különleges körülményei között alkalmazzák, s ki kell elégítenie az építőipar különleges pontossági követelményeit. A mérnök-geodézia feladatait - a nagy pontossági igények miatt – önálló, ún. he-

lyi rendszerben oldják meg. A mérnök-geodézia különleges eljárásaival tanulmányaink során nem találkozunk.

A geodéziának szerves része még a kiegyenlítő számítás, a vetülettan és a kozmikus (űr-) geodézia. Ezekből, a felsőgeodéziai alapismeretekkel együtt, csak a legszükségesebb ismereteket tárgyaljuk. Megismerkedünk a domborzat idomaival, a domborzatábrázolás elveivel, a térképek szerkesztésével, alapvető használati lehetőségeivel, utalva utóbbiaknak a GIS irányába történő kiterjesztésére. Részletesebben foglalkozunk a geodézia mérőeszközeivel és műszereivel, az alapponthálózatokkal, az alsó-geodéziai mérési és számítási eljárásokkal. Tanulmányainkat a kitűzési módszerekkel, valamint a földrendezés alapvető fogalmaival zárjuk.

Tanulmányaink során felhasználjuk azokat az alapvető ismereteket, amelyeket a *matematika*, s ezen belül elsősorban a *legkisebb négyzetek elve*, ill. a középiskolai *trigonometria* nyújt számunkra. Igen fontos – különösen a számítógépes (digitális) térképezésnél – a számítástechnikával való szoros kapcsolat. A korszerű mérőműszerek és mérési technológiák tárgyalásakor elengedhetetlenek a *fizika* alapfokú *optikai, elektronikai, finom-mechanikai* ismeretei.

A geodézia két fő felhasználó erdészeti szakága az *erdőrendezés*, ill. az *erdei út-*, és *vízépítés*. Közvetve azonban az erdészeti tudományok szinte minden ágában hasznosíthatjuk a geodézia eredményeit, ugyanis a távérzékelés és a GIS a *mennyiségi jellemzők* mellett *minőségi paraméterek* meghatározására is lehetőséget adnak (erdővédelem, erdőművelés, erdőtelepítés, vadgazdálkodás). A geodézia művelése során az élet szinte minden területén fontos következtetéseket vonhatunk le és – elsősorban a GIS lehetőségein keresztül – kiterjedt elemzéseket végezhetünk a természetet, s benne az embert fenyegető legkülönbözőbb károk terjedésének, terjedési sebességének és veszélyeinek felderítésében, ill. ennek következtében a baj időben való megelőzése érdekében.

1.2. Mértékegységek

A mérések eredményeit az

$$U = \mathrm{N} \cdot u \qquad (1.2.1)$$

összefüggéssel, a mérés alapegyenletével írhatjuk fel, ahol U - a mérés eredménye, N - dimenzió nélküli szorzó, u - a mérés mértékegysége.

A mértékegységeket az alábbi legfontosabb szempontok alapján választják meg:

- Az egész világon egységesek legyenek (SI rendszer).
- A mérések végzésére szolgáló mérőeszközök és műszerek hitelesítettek (komparáltak) legyenek. A hitelesítéshez egyszerűen megválasztható, s a hitelesítendő mérőeszközök megbízhatóságánál megbízhatóbb mértékegységekre, az ún. etalonokra van szükség.
- A mértékegységek természetes mértékegységek legyenek, vagyis valamely, a természet által kijelölhető méretből egyértelműen levezethetők legyenek.

A mérések megbízhatóságát behatárolja, hogy a mértékegységet milyen megbízhatósággal határoztuk meg. A geodéziában elsősorban a hosszak (távolságok), a szögek és a területek meghatározására van szükség. Az alábbiakban ezek mértékegységeit foglaljuk össze.

A hosszmérés mértékegysége az SI rendszerben a méter, jelölése m. Kötelező használatát hazánkban 1876-ban rendelték el. A méter hosszának megállapításakor abból indultak ki, hogy az a Föld egy délköre (meridiánja) negyedének, az ún. meridiánkvadránsnak 10000000-od része legyen. A meridiánkvadráns meghatározása céljából az 1790-ben Párizsban megala-

kult *Méterbizottság* ún. fokmérések[1] segítségével vezette le a méter hosszát. A levezetett hosszat platinarúdon jelölték meg. Az 1870-ben Párizsban összeült nemzetközi bizottság e hosszat tekintette és fogadtatta el általánosan *nemzetközi méternek*. A méter egységének megőrzésére a bizottság platina-irídium másolatokat készíttetett és azokat a bizottság tagjainak megküldte. E példányok lettek az egyes országokban a hosszmérés etalonjai. Magyarországnak a sorsolás alapján a 14. sz. méteretalon jutott.

Az ebben a formában definiált méter *nem* természetes mértékegység. A méter változatlan hosszát később az elektromágneses energiák sugárzási hullámhosszúságainak mérésével biztosították. A méter ennek megfelelő definíciója az alábbi:

A hosszmérés mértékegysége a 86-os tömegszámú kriptonatom $2\,p_{10}$ és $5\,d_5$ energiaszintje közötti átmenetnek megfelelő sugárzás vákuumban való hullámhosszúságának 1650763,73-szorosa.

A méterrendszer bevezetése előtt a hazánkban alkalmazott mértékegység a bécsi ölrendszeren alapuló öl (a széttárt karok ujjvégei közötti távolság) volt. A bécsi öl továbbosztása a 6-os rendszerben történik:

1 öl = 6 láb
1 láb = 12 hüvelyk
1 hüvelyk = 12 vonal.

A magyarországi kataszteri felmérésben az öl tört részeit nem hüvelykkel és vonallal, hanem az öl tízes aláosztásával fejezték ki. A bécsi ölrendszer és a méterrendszer közötti átszámítás az alábbi összefüggések alapján történik:

1 öl = 1,8964838 m
1 m = 0,5272916 öl.

A *terület mértékegysége* a négyzetméter $\left(\mathrm{m}^2\right)$, a földterületek kifejezésére ennek ismert 100-as többszöröseit és törtrészeit használják. A leggyakoribbak:

1 ha (hektár) = 10^4 m^2
1 km^2 = 10^6 m^2.

A bécsi ölrendszer használatos területmértékei:
négyszögöl = 1 öl^2
kataszteri hold = 1600 öl^2
négyzetmérföld = $4000\,\text{öl} \cdot 4000\,\text{öl} = 10000$ kataszteri hold

A két területi rendszer közötti átszámítás összefüggései:
1 öl^2 = 3,5966510 m^2
1 m^2 = 0,2780364 öl^2
1 kataszteri hold = 5754, 642 m^2
1 ha = 1,737728 kataszteri hold.

A *szögmérés mértékegysége* az SI rendszerben természetes mértékegység az analitikus szögegység, a radiáns. Egy radián az a szögérték, amelynél az s ívhossz és az r sugár egyenlő, tehát $\gamma = 1$, ha $s = r$. A radiánssal kifejezett bármely szöget, azaz a szöghöz tartozó körív és a sugár $\frac{s}{r}$ hányadosát radiánnak nevezzük. A teljes körnek megfelelő szög analitikus mérőszáma $\frac{s}{r} = \frac{2 \cdot r \cdot \pi}{r} = 2 \cdot \pi$ radián.

[1] A fokmérés során a meridiánív egy szakaszát, valamint az ív két végpontjának földrajzi szélességét határozták meg felsőrendű mérésekkel. A szakasz s hosszából és a két szélesség (Φ_1, Φ_2) fokértékben adott $\Delta\Phi$ különbségéből - a Föld alakját ellipszoidnak feltételezve - határozták meg a meridiánív hosszát.

A geodéziai szögmérőműszerek fokrendszerű beosztásúak. A geodéziai szögmérőműszerekben kétfajta fokrendszer, a hatvanas (sexagezimális) és a százas (centezimális) használatos.

A hatvanas rendszer aláosztásai:
teljes kör = 360^0
$1^0 = 60'$
$1' = 60''$.

A hatvanas rendszerben a szöget a következő két alakban írhatjuk fel: $63^o 42' 15''$, vagy 63 - 42 - 15.

A százas rendszer aláosztásai:
teljes kör = 400^g (grádus, vagy újfok)
$1^g = 100^c$
$1^c = 60^{cc}$.

A szög felírása ebben a rendszerben is kétféleképpen lehetséges: $15^g 28^c 89^{cc} = 15{,}2889$.

Magyarországon a hatvanas rendszerű szögmérőműszerek terjedtek el.

Az analitikus szögegységről a fokrendszerre, vagy fordítva történő áttéréskor ismernünk kell az analitikus szögegység értékét a fokrendszerben. A geodéziában a radiáns értékét a hatvanas fokosztásban ρ^o - kel, percben ρ'-cel, másodpercben ρ''-cel, a százas fokosztásban ρ^g - kel, centezimális percben ρ^c-vel, centezimális másodpercben ρ^{cc}-vel jelöljük, aszerint, hogy fokokat, perceket, vagy másodperceket kell átszámítanunk. A ρ^o, ρ' és a ρ'' értékeit az alábbi arányosságokból számíthatjuk:

$$\begin{aligned} &\rho^o : 360^o = 1 : 2\cdot\pi \;\rightarrow \rho^o = 57{,}29578^o \\ &\rho' : \left(360^o \cdot 60'\right) = 1 : 2\cdot\pi \;\rightarrow \rho' = 3437{,}747' \\ &\rho'' : \left(360^o \cdot 60' \cdot 60'\right) = 1 : 2\cdot\pi \;\rightarrow \rho'' = 206264{,}8''. \end{aligned} \qquad (1.2.2)$$

2. A térképek és a vetületek

2.1. A térkép fogalma, a térképek csoportosítása

A geodéziai méréseket részben a dokumentálás, részben a későbbi rendkívül sokrétű felhasználás céljából térképen kell ábrázolnunk.

Szó szerinti értelemben a térkép a térnek a képe, a valós világ modellje, olyan *síkbeli alkotás*, amely a háromdimenziós világot, illetve az azzal kapcsolatban álló anyagi, vagy elvont dolgokat *generalizáltan, különböző mértékű kicsinyítésben* ábrázolja. A generalizálás olyan eljárás, amelynek eredményeként előállított térképi termék ugyanazt az információtartalmat kevesebb adattal fejezi ki. A síkban kell megoldanunk a *harmadik dimenziónak, a magasságnak* az ábrázolását is. A kicsinyítés mértékét térképi méretaránynak nevezzük és a későbbiekben „*M*"–mel fogjuk jelölni. A méretarányt törtszámmal fejezzük ki, ahol a tört számlálójában 1, a nevezőjében pedig a kicsinyítés mértékét kifejező – a továbbiakban „*a*"-val jelölt – méretarányszám áll. Jelölése 1:25000, vagy 1/25000, általánosságban 1:*a*, vagy 1/*a*. A méretarány és a méretarányszám egymással fordított arányban vannak, nagyobb méretarányszámhoz kisebb méretarány tartozik és fordítva. Az M = 1:25000 méretarány tehát kisebb, mint az M = 1:10000. A térképi méretarány első közelítésben a térkép síkjában tetszőleges két pont közti távolság, valamint a két pont eredeti távolságának *hányadosa*. A méretarány szempontjából azonban egy sík és egy térbeli távolság csak akkor hasonlíthatók össze, ha párhuzamosak. A valóságban ez több okból sincs így, ezért a méretarány fogalmát a 2.2.2. fejezetben a (2.2.19) képlet szerint módosítjuk majd.

A térkép a magas szintű geodéziai mérési és számítási munka rajzi értékelése, végső terméke akkor, ha a mért és feldolgozott eredmények, a síkrajz és a domborzatrajz elemei közvetlenül kerülnek rá a térképre. E térképek az ún. felmérési térképek, méretarányuk 1:500 és 1:10000 között van. A térkép síkrajza az ábrázolt tereptárgyak méretarány szerint kisebbített alaprajza. A térkép domborzatrajzán a domborzat elemeinek a térkép síkjába vetített képét értjük. E síkot a 2.2. fejezetben értelmezzük majd.

Az 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:4000 méretarányú térképeket Magyarországon földmérési alaptérképeknek, az 1:10000 méretarányú felmérési térképeket topográfiai alaptérképeknek nevezzük (3.3. fejezet). A földmérési térképek elődjeinek, az ún. kataszteri térképeknek méretaránya 1:1440 és 1:2880. Utóbbiak ölrendszerű térképek, ez az oka a furcsa, nem kerek értékű méretarányszámoknak. Az 1:500-tól 1:10000-ig méretarányú térképek készítése, kezelése, a készítéssel, tárolással kapcsolatos szabályok és szabványok kidolgozása jelenleg a magyar állami földmérés a „polgári" térképészet - Földmérési és Távérzékelési Intézet, (FÖMI) feladata, a Földművelési és Vidékfejlesztési Minisztérium felügyelete alatt, az 1:10000-nél kisebb méretarányú térképekkel kapcsolatos feladatokért a „katonai térképészet" – a Magyar Honvédség Térképészeti Hivatala (MH TÉHI) felel, a Honvédelmi Minisztérium felügyeletével.

A földmérési alaptérkép (3.3.1. fejezet) az egész ország területére kiterjedő, általános tervezési feladatok megoldására, illetve az ingatlan-nyilvántartás alapjául szolgáló, a tereptárgyakat, a növényzetet, a közigazgatási beosztást, a különböző tulajdonjogú földek gazdálkodási határvonalait is ábrázoló, állami ellenőrzéssel készült *eredeti felmérési térkép*. Kis példányszámban egyedi felhasználásra készül, s a földhivataloknál szerezhető be. A könnyebb kezelést a földmérési alaptérképek 1:10000 méretarányú átnézeti térképei segítik elő, amelyek az ábrázolt területeket áttekintő módon, szűkített tartalommal tüntetik fel. A földmérési térképeken, ha szükséges, a domborzatot is ábrázolják.

A topográfiai alaptérkép sík- és domborzatrajzot ábrázoló, közigazgatási, tervezési, védelmi, vagy egyéb célokra készülő, terepi tájékozódásra is alkalmas *felmérési térkép*. A topográfiai alaptérképből, esetleg más térképi anyagokból megfelelő összevonás, minősítés és

cél szerinti kiválasztás (generalizálás) útján létrejött, az egyes tereptárgyakat kiemelten – egyezményes jelekkel – feltüntető térképet levezetett topográfiai térképnek nevezzük.

A topográfiai alaptérkép és a levezetett topográfiai térkép sokszínű, nagyobb példányszámban, térképi sokszorosítás útján készül. Jelmagyarázatot és, a lejtésviszonyok megállapítása céljából, ún. lejtőalap-mértéket (3.3.2. fejezet, 3.3.1. ábra) tartalmaz. A topográfiai térképek méretaránya 1:10000 és 1:200000 közé esik.

A földmérési és topográfiai alaptérképek szabatosak, pontosak, a térképi pontok, vonalak helyzete a rajzolás méretarányában mintegy 0,1 mm megbízhatóságú (1.1. fejezet). A földmérési és topográfiai alaptérképek – tartalmuk teljessége és pontossága, de legfőképpen mérethelyessége révén, kiindulási alapul szolgálnak a kisebb, ritkábban hasonló méretarányú, közhasználati célú térképek előállításához.

A közhasználati célra készült térképek részben áttekintésre, részben az egyes felszíni részek, tárgyak összefüggéseinek tanulmányozására és eligazodásra, valamint ágazati (pl. erdészeti, környezetvédelmi, stb.) célú tervezésre nyújtanak lehetőséget. Méretarányuk 1:10000 - től egészen az 1 : több millió méretarányú térképekig terjedhet. Ezek a geodéziától már – a méretarány csökkenésének mértékében – mind távolabb eső alkotások, mind kevésbé és kevésbé fognak emlékeztetni az eredeti geodéziai alapra. Közülük sokat már nem is tekinthetünk térképnek, annyira nélkülöznek minden pontosságot. A közhasználati célú térképek között megkülönböztetjük a földrajzi és a cél-, vagy tematikus térképeket.

A *földrajzi térképek* a teljes földfelületet, vagy annak valamilyen nagyobb részét (kontinens, ország, országrész) ábrázolják egyezményes térképjelekkel. A földrajzi térképek feladata, hogy megmutassák a különféle természeti és társadalmi jelenségek földrajzi elhelyezkedését, térbeli kapcsolatát, fejlődésüket, változásukat jellemző feltételeket. E célnak megfelelő a méretarányuk is, 1:200000, ill. kisebb.

A *cél-*, vagy *tematikus térképek* az alaptérképek átalakítása, összevonása, egyszerűsítése, s a témának, a célnak megfelelő kiegészítése útján jönnek létre, az ország nemzetgazdasági érdekeinek megfelelően, beleértve az alap- és középszintű oktatást is. Ilyen tematikus térképek például a

- katonai térképek
- hegy- és vízrajzi térképek
- mezőgazdasági térképek
- közműtérképek
- ingatlan-nyilvántartási térképek stb.

A tematikus térképek méretaránya a céltól függően változó, rendszerint 1:10000 és kisebb. Rendkívüli változatosságukat szemléltetik Klinghammer - Papp-Váry „Földünk tükre a térkép” (1983) című könyvükben.

Az *erdészeti ágazat* gazdálkodási és egyéb feladatainak megoldását is egy egész sor térkép segíti elő. Az erdőtérképek alapja az 1:10000 méretarányú üzemi térkép, amelyre alapozva, többek között az alábbi térképeket használják, ill. állítják elő:

- erdőállomány-gazdálkodási térképek
  - terület-nyilvántartó térkép
  - állománytípus-térkép
  - fahasználati terv- és nyilvántartó térkép
  - erdőművelési terv- és nyilvántartó térkép
  - talajtípus-térkép
- erdészeti áttekintő és átnézeti térképek

Az erdészeti térképek tartalmát, készítésük előírásait az Erdőtervi Útmutató „Térképészeti feladatok” című része szabályozza (3.3.3. fej.). Az Állami Erdészeti Szolgálat 521/2000

sz. főigazgatói utasítása[2] a digitális üzemi térkép (digitális alaptérkép) kötelező, rajzi (geometriai) és névrajzi elemeket összefoglaló tartalmát illetően is részletes útmutatással szolgál.

Másfajta csoportosítását kapjuk a térképeknek, ha az ábrázolt, ill. elemezni kívánt *földfelület nagyságából* indulunk ki. Ebből a szempontból megkülönböztetünk globális, regionális és lokális térképeket (2.1.1. ábra).



globális regionális lokális

2.1.1. ábra: Globális, regionális és lokális térképek

2.1.1. Analóg és digitális térképek

Megkülönböztetünk analóg és a digitális térképeket. Az analóg térképek papírra, vagy mérettartó anyagra (asztralon lapra, fóliára) készülnek, a digitális térképeket a számítógépek háttértárolóin kódolt formában tárolják. *A digitális térkép olyan számítógépes adatállomány, amelynek a felhasználásával megfelelő eszközökkel (rajzgép, plotter) előállítható az analóg térkép*. A jelenlegi előírások az új térképek készítését *digitális formában* írják elő, a készítés szabályait a Földmérési és Távérzékelési Intézet (röv. FÖMI) DAT - (digitális alaptérkép) szabályzata[3] foglalja össze. Az erdészeti térképek digitális formában történő előállítását a DET (digitális erdészeti térkép) szabályzat mutatja be, amely a Soproni Egyetem (ma: Nyugat-Magyarországi Egyetem) Földmérési és Távérzékelési Tanszékének és a DigiTerra BT. – nek közös munkája. Az analóg térképeket (az ország túlnyomó részéről ilyenek állnak rendelkezésre) folyamatosan digitalizálni kell, ami hosszadalmas, nem könnyű feladat. A számítógép háttértárolóján tárolt és a kezelés idejére a memóriába behívott digitális térkép megfelelő hardver és szoftver – monitor, digitális rajzgép – birtokában analóg formában, a kívánt méretarányban megjeleníthető.

A *digitális térképek* fogalomkörében módosulnak az előző részben mondottak:

A digitális térkép méretarány-független. A *méretarány-függetlenség* alatt azt értjük, hogy – az analóg ábrázolással ellentétben – a térképi adatok sűrűségének nem fizikai (rajzi) korlátok (pl. a 0,1 mm-ben korlátozott rajzi megbízhatósági határ), hanem a számítógépes grafikus megjelenítés szempontjából kialakított ésszerűség szab határt. Utóbbit befolyásolja a térkép olvashatósága, a jelkulcs és a térképi összevonások (generalizálás) mértéke. A megbízhatóság a digitális térkép esetében *elméletileg* tetszőlegesen nagy lehet. Utóbbin azt értjük, hogy a digitális térképet kizárólag a geodéziai mérések és számítások hibái terhelik, az éppen aktuális számítógépes analóg megjelenítés méretaránya nem. Ezért a digitális térképek esetében a méretarány helyett célszerű bevezetni az adatsűrűség fogalmát.

Mind a méretarány-függetlenség (vagyis a tetszőleges térképi adatsűrűség), mind az elméletileg korlátlan ábrázolási megbízhatóság kihasználása csak egy számítógépes térképi

[2] Útmutató a digitális üzemi térkép készítéséhez és mintaállományaihoz, ÁESz, Budapest 2000.

[3] DAT1. Szabályzat: Digitális alaptérképek tervezése, előállítása, felújítása, adatcsereformátuma, dokumentálása, ellenőrzése, minőségellenőrzése, hitelesítése és állami átvétele. Földművelésügyi Minisztérium, Földügyi és Térképészeti Főosztály, 1996.

adatbázisban lehet optimális, amely a térkép rajzi, esetleg minimális mértékű szöveges információin túl az adott térképi elemekhez rendelt tetszőleges mennyiségű numerikus és szöveges információt (az ún. attribútumokat) is tartalmaz.

2.1.2. Entitások, objektumok és a GIS

A (digitális) térképnek, mint a valós világ modelljének az előállítása az alábbi lépésekben hajtható végre:

- a valós világ jellemzőinek cél, tematika szerinti kiválasztása
- a jellemzők entitástípusok szerinti csoportosítása
- a bonyolult vonalak egyszerűsítése
- az adott méretarányban kis mérete miatt nem ábrázolható, de számunkra fontos tárgyak jelkulcsokkal való megjelenítése.

Az entitás a valós világ alapegysége, amely hasonló jellegű alapegységekre tovább már nem bontható. Pl. egy város entitás abban az értelemben , hogy egyes részei bár lehetnek kerületek, lakónegyedek, utcák, stb., de ezek a részek már nem tekinthetők városnak, de pl. egy erdő nem entitás abban az értelemben, hogy egyes részei is erdőnek tekinthetők.

Az entitások lehetnek:

- ténylegesen létező tárgyak, földrajzi értelemben tereptárgyak (fák, utak, folyók)
- önkényesen definiáltak (művelési ág)
- események (csőtörés, tarvágás, gyérítés)
- időben változóak (ózonlyuk)
- valóságban nem létezőek (a magasság ábrázolására használt szintvonal).

Az entitástípus hasonló, azonos módon megjelenő és tárolandó jelenségek csoportja, amely fogalmi keretet teremt a tárgyak, jelenségek általános szinten való leírására. Entitástípusok pl. az utak, folyók, domborzat, növényzet.

Az objektum valamely entitás egészének vagy részének számítógépes reprezentációja. Az *adatbázis e*bben az értelemben az objektumok helyzeti és leíró adatainak összessége, amelyeknek megválasztása elsősorban a létrehozandó rendszer felbontásától és céljától függ. A felbontás az *adatsűrűséggel* hozható párhuzamba: az 1:1000 földmérési alaptérképen az adatsűrűségnek ki kell terjednie a házak alaprajzát alkotó pontokra, az 1:10000 méretaránynak megfelelő adatsűrűséghez már csak a házak nagyobb csoportja, még kisebb méretaránynak megfelelő adatsűrűséghez a kerület, vagy a város tartozik. Igen kis méretarányú térképen (pl. 1:500000) az adatsűrűség a kisebb települések pontként, a nagyobb városok kontúrként való ábrázolását jelenti.

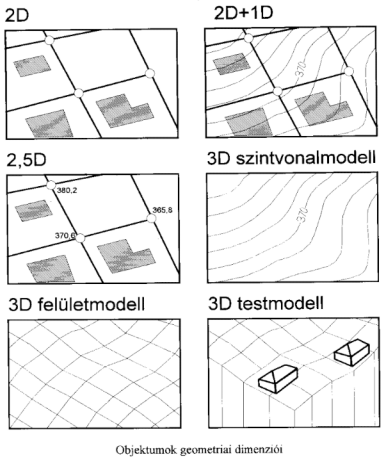
Az *objektumok lehetnek*:

0-D: 0 dimenziós objektumok, a pontok: helyük van, de kiterjedésük nincs (geodéziai kő, fúráshely, forrás)

1-D: 1 dimenziós objektumok, csak hosszúságuk van. Lehetnek:
- két, vagy több egydimenziós objektum kombinációi
- vonalak: utak, nyiladékok, patakok

2-D: 2 dimenziós objektumok, két irányban terjednek ki. Lehetnek:
- poligonok: legalább három, 1 dimenziós vonallal határoltak
- területek: házak alaprajza, erdőrészlet, zónák

A poligonok vonalas hálózatot alkotnak, pontokból és vonalakból állnak (úthálózat, távközlési hálózat, nyiladékhálózat).

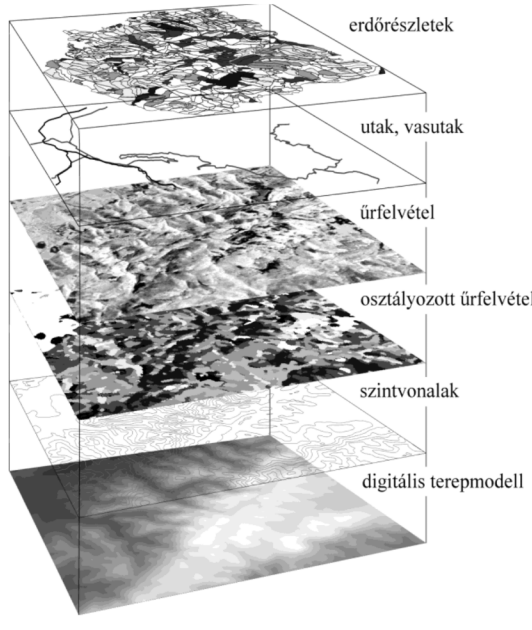


2.1.2. ábra: 3 dimenziós objektumok

3-D: 3 dimenziós objektumok, a felületek (terepfelszín, domborzat), testek (épület, bányajárat). A felületek és testek tárolás, kezelés és megjelenítés szempontjából előforduló absztrakciói (2.1.2. ábra):

- 2D: vízszintes vetület
- 2D + 1D: vízszintes vetület + szintvonalak
- 2,5D: vízszintes vetület + a magasság kitüntetett pontokban leíró adatként (kótás ábrázolás)
- 3D: szintvonalak, felületmodell, testmodell.

Az azonos jellegű (típusú) objektumok csoportját objektum osztálynak nevezzük. Az ugyanazon objektum osztályba tartozó objektumok azonos entitásosztályt reprezentálnak.



2.1.3. ábra: A valóságot tematikus rétegekkel modellezzük, a tematikus dimenzió itt = 6

A GIS a digitális térképet nem rajz, hanem számítógépes adatbázis formájában tárolja, a cél szerint kiválasztott különböző entitástípusok (tematikák) fedvények (rétegek, angolul: layer) formájában jeleníthetők meg (2.1.3. ábra), az egyes rétegek között különböző műveletek végezhetők. A lehetséges tematikák száma megegyezik a rétegek számával. Utóbbit a rendszer tematikus dimenziójának nevezzük.

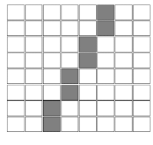
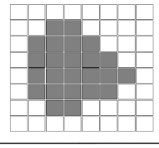
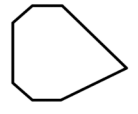
Egy környezetvédelmi GIS tematikái lehetnek (Detrekői-Szabó, 1994, 45. old., a tematikus dimenzió = 4) :

- talajállapot

- antropogén hatások
- növényzetállapot
- levegőállapot.

A GIS szempontjából nagyon fontos a térképek csoportosítása
- tónusos és
- vonalas térképekre.

A tónusos térkép (foto-, vagy ortofototérkép) a fotogrammetria és távérzékelés eredménye, légi- és űrfelvételek alapján készül, a felvételhez választott elektromágneses spektrumtartománytól és a felbontástól függő részletességgel modellezi a valós világot, a vonalas térkép a földfelszín diszkrét pontjainak a felmérő személy szubjektív szelekciója szerinti földi geodéziai felmérésén alapul, az objektumokat szimbólumokkal és határvonalakkal ábrázolja. A GIS-ben a tónusos térképnek a raszteres adatmodell, a vonalas térképnek a vektoros adatmodell felel meg (2.1.4. ábra). Mint látjuk, a digitális térkép esetén a térkép kifejezést az *adatmodell* kifejezéssel váltottuk fel. A raszteres és vektoros adatmodellekre a 3.1.2. fejezetben térünk vissza.

Elem	Raszter		Vektor	
	Digitális	Analóg	Digitális	Analóg
Pont	Pixel		x, y koord.	
Vonal	Pixel		x ,y koord. sorok	
Poligon	Pixel		Zárt x, y koord. sorok	

2.1.4. ábra: A raszteres és a vektoros adatmodell

2.2. A Föld felszínétől a térkép síkjáig

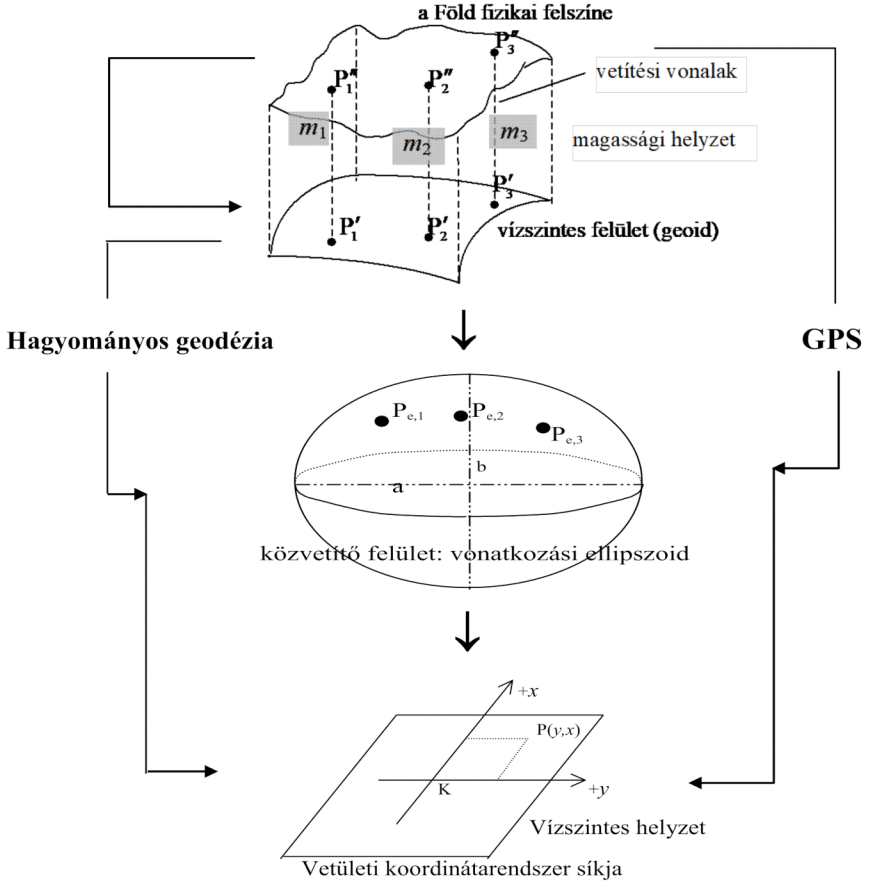
A térképi ábrázolás megkönnyítése végett a földfelszíni pontok térben elfoglalt helyét két részre bontjuk: gyerekkorunk óta kialakult szemléletmódunknak megfelelően az ábrázolandó pontokat

1. *vízszintes*,
2. *függőleges* (magassági) helyzetükkel adjuk meg (2.2.1. ábra).

A hagyományos geodéziában a fizikai földfelszín pontjait először egy fizikai értelemben meghatározott felületre, a *vízszintes felületre* vetítjük, az ún. vetítési vonalak mentén. A pont vízszintes helyzetét két adattal, a függőleges helyzetét egy adattal jellemezzük. A földfelszín *síkrajzát* (2.1. fejezet) a vízszintes felületen lévő P pontok, *domborzatrajzát* a P'P'' szakaszok (m_1, m_2, m_3) összessége adja.

A vízszintes felületre vetített pontokat először egy - matematikailag zárt formában kezelhető – *közvetítő felületre*, ellipszoidra vetítjük. A GPS mérések eredményei közvetlenül az ellipszoidra vonatkoznak. A közvetítő felületen lévő pontokat utolsó lépésben egy síkra, a vetület síkjára vetítjük. A *vetület* síkjában lévő pontokat a vetületi koordinátarendszerben értelmezzük. A K pont a vetületi koordinátarendszer kezdőpontja, a tetszőleges P pont koordinátái

y és *x*. A megszokott matematikai koordinátarendszerrel szemben a vetületi koordinátarendszerben az *y* tengelyt az *x* tengelytől az óramutató járásának megfelelő 90^0-os elforgatással nyerjük (jobbsodrású koordinátarendszer).



2.2.1. ábra: A földi pontok helyzetének megadása

A vízszintes és függőleges helyzet, valamint a közvetítő felület értelmezéséhez az alábbiakban tekintsünk át néhány, a Föld alakjához és nehézségi erőteréhez kapcsolódó fogalmat.

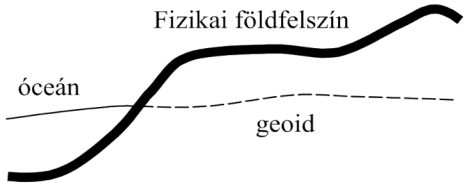
2.2.1. A Föld alakja

2.2.1.1. A nehézségi erőtér és a szintfelületek

A Föld felszíne szabálytalan. Pontos térkép viszont csak szabályos, matematikailag leírható és a Föld fizikai alakját a lehető legjobban megközelítő felületből kiindulva készíthető. Mint a bevezetésben már kitértünk rá, ezt a felületet olyan testként képzelhetjük el, amely mentes a fizikai földfelszín rendkívüli változatosságától, a kisebb-nagyobb kiemelkedésektől vagy bemélyedésektől és a Föld egészére érvényes tulajdonságokkal bír. Nyugalomban lévő nagy vízfelületek, tavak, tengerek szemlélésekor ez az elképzelésünk valósággá válik.

Tekintettel arra, hogy az óceánok és a tengerek felszíne a Földfelszín közel 4/5-e, természetes, hogy ez a felület a nyugalomban lévő tengerszint felülete, amelyet gondolatban

meghosszabbítunk a fizikai földfelszín, a szárazföldek alatt úgy, hogy az a Föld egészére kiterjedő, folyamatos felületet alkosson. Ezt a felületet (2.2.2. ábra) *Listing* német fizikus 1873-ban geoidnak nevezte el.



2.2.2. ábra: A földfelszín és a geoid

A nyugalomban lévő tengerek felszínét a nehézségi erő alakítja. A nehézségi erő az az erő, amely minden testet a Földhöz vonz. A nehézségi erő a szabadon eső testre ható nehézségi gyorsulással mérhető.

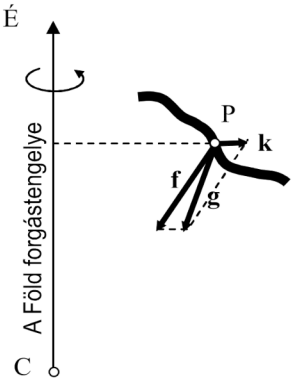
A nehézségi gyorsulás egysége a gal:

$$1\,\text{gal} = 10^{-2}\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\,.$$

Az egységnyi tömegre ható nehézségi erő számértékben megegyezik a nehézségi gyorsulással, ezért e két fogalom között általában nem tesznek különbséget. Az SI rendszerben a nehézségi erő egysége az erőegység, N (Newton), átlagos értéke pedig :

$$g = 9{,}81\,\text{N}\left(\frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 9{,}81\cdot 10^2\cdot\text{gal}\cdot\text{kg}\,.$$

Feltételezve, hogy Földünk felszíne közelében a kozmikus sugárzásból, illetve a Nap, a Hold, a bolygók tömegvonzásából adódó erőhatások elhanyagolhatók, a nyugalomban lévő testre ható nehézségi erőt két erő eredőjeként határozhatjuk meg (2.2.3. ábra):



2.2.3. ábra: A nehézségi erő

- A Föld Newton-féle tömegvonzása (**f**),
- A Föld tengely körüli forgásából származó centrifugális erő (**k**), amelynek iránya minden pontban merőleges a Föld forgástengelyére

$$\mathbf{g} = \mathbf{f} + \mathbf{k} \qquad (2.2.1)$$

A *centrifugális erő* nagysága az egyenlítőtől a sarkok felé csökken, ami – a *tömegvonzási erővel* ellentétes irányú hatás és a Föld lapultsága következtében - azt jelenti, hogy a nehézségi erő értéke az egyenlítőtől a sarkok felé nő.

Mint minden erő, a nehézségi erő is vektormennyiség. A nehézségi erőtér, tetszőleges más erőtérhez hasonlóan megadható *erővonalaival*, azaz az erőtér minden pontjában ismerni kell a nehézségi erővektor irányát és nagyságát. A nehézségi erőtér kezelése egyszerűbbé válik, ha bevezetjük a potenciál, mint skaláris mennyiség fogalmát.

A **g** nehézségi erő *potenciálján* olyan W skalár mennyiséget értünk, amelynek egy **r** elmozdulás vektor szerinti első deriváltja a nehézségi erő vektora:

$$\mathbf{g} = \frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}\mathbf{r}}\,. \qquad (2.2.2)$$

A (2.2.2) alapján az elemi potenciál:

$$\mathrm{d}W = \mathbf{g}\cdot\mathrm{d}\mathbf{r}\,. \qquad (2.2.3)$$

Az (2.3.3) kifejezés két vektor skaláris szorzata. A skaláris szorzat ismert meghatározása szerint:

$$\mathrm{d}W = |\mathbf{g}| \cdot |\mathrm{d}\mathbf{r}| \cdot \cos(\mathbf{g}, \mathrm{d}\mathbf{r}) = g \cdot \mathrm{d}r \cdot \cos(\mathbf{g}, \mathrm{d}\mathbf{r}) = g_r \cdot \mathrm{d}r\,, \qquad (2.2.4)$$

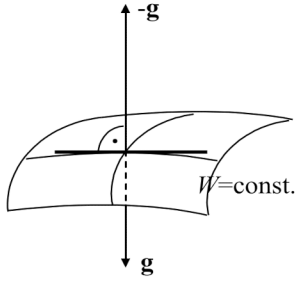
ahol $|\mathbf{g}| = g$ a nehézségi erő vektor, $|\mathrm{d}\mathbf{r}| = \mathrm{d}r$ az elmozdulás vektor abszolút értéke, $g_r = g \cdot \cos(\mathbf{g}, \mathrm{d}\mathbf{r})$ a **g** erővektor elmozdulás irányú komponense, $(\mathbf{g}, \mathrm{d}\mathbf{r})$- rel pedig a két vektor által közbezárt szöget jelöljük.

A $(\mathbf{g}, \mathrm{d}\mathbf{r})$ szög értékére válasszunk két szélső esetet:

1. $(\mathbf{g}, \mathrm{d}\mathbf{r}) = 90^\circ$ és 2. $(\mathbf{g}, \mathrm{d}\mathbf{r}) = 0^\circ$.

Az 1. $(\mathbf{g}, \mathrm{d}\mathbf{r}) = 90^\circ$ esetben $\cos(\mathbf{g}, \mathrm{d}\mathbf{r}) = 0$, s így $\mathrm{d}W = g \cdot \mathrm{d}r = 0$. Feltételezve, hogy g értéke állandó, a potenciált az alábbi összefüggés szolgáltatja:

$$W = \int \mathrm{d}W = g \cdot \int \mathrm{d}r = g \cdot r = \text{const.} \qquad (2.2.5)$$



2.2.4. ábra: A nehézségierő-vektor iránya merőleges a szintfelületre

A (2.2.5) összefüggés az azonos potenciálú pontok mértani helyét fejezi ki, azaz egy olyan felületet, amelynek minden pontjában a d**r** elmozdulás vektor iránya merőleges a nehézségi erő vektorának irányára. A nehézségi erő iránya az adott pontban mindig merőleges erre a felületre (2.2.4. ábra). E felület neve szintfelület, vagy egyenlő potenciálú, ekvipotenciális felület. Ugyancsak ezen összefüggés szerint a W potenciál, mint erőnek és útnak a szorzata, munka jellegű mennyiség. Eszerint, ha a $W = \text{const.}$ potenciálú felületen egy tömeget mozgatunk, nem végzünk munkát a nehézségi erő ellenében.

A W = const. potenciálértékek egy szintfelület-sereget határoznak meg. A *geoid* egy kitüntetett szintfelület, a *közepes tengerszint* megválasztásától függően országonként változik.

2.2.1.2. A magasság és a magasságkülönbség

A 2. $(\mathbf{g}, \mathrm{d}\mathbf{r}) = 0^\circ$ esetben a d**r** elmozdulás-vektor iránya azonos a **g** vektor irányával, vagyis $\cos(\mathbf{g}, \mathrm{d}\mathbf{r}) = 1$, ahonnan a (2.2.4) képletből következik, hogy

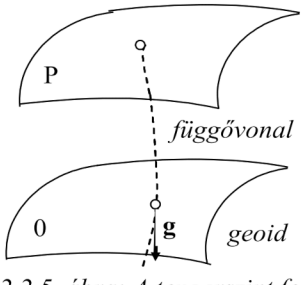
$$\mathrm{d}W = g \cdot \mathrm{d}r\,. \qquad (2.2.6)$$

Képezzük most a (2.2.6) határozott integrálját a W_0 potenciál értékű szintfelület (a geoid) és egy tetszőleges W_P potenciálú szintfelület között (2.2.5. ábra).

$$\int_0^P \mathrm{d}W = \int_0^P g \cdot \mathrm{d}r = g \cdot \int_0^P \mathrm{d}r \quad \text{és}$$

$$W_\mathrm{P} - W_0 = g \cdot (r_\mathrm{P} - r_0) = -g \cdot m_\mathrm{P}\,. \qquad (2.2.7)$$

Az $r_\mathrm{P} - r_0 = -m_\mathrm{P}$ érték a P szintfelületen bárhol lévő P pontnak a geoid, vagy a tengerszint feletti abszolút magassága. Az m_P előtti negatív előjel arra utal, hogy míg a nehézségi erő a Föld belseje felé mutat, addig a magasságot fordítva, a középtengerszinttől „felfelé” értelmezzük pozitívnak.



2.2.5. ábra: A tengerszint feletti magasság a függővonal mentén értelmezett távolság

A (2.2.7) összefüggés levezetésekor feltételeztük, hogy a két szintfelület között a nehézségi erő sem nagyságát, sem irányát nem változtatja. Mivel ez valójában nincs így, a magasságot szigorú értelemben véve nem egyenes, hanem egy ún. kettős csavarodású térbeli görbe vonal, a függővonal mentén kell értelmeznünk. Könnyen belátható, hogy a függővonal tetszőleges pontjában húzott érintő megadja nehézségi erő irányát.

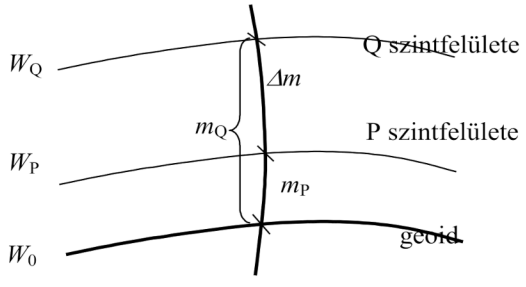
Tekintsünk a továbbiakban két szomszédos szintfelületet! Mivel mindkét szintfelület minden pontjához ugyanazon potenciál tartozik, nyilvánvaló, hogy a két szintfelület közötti ΔW potenciálkülönbség állandó, azaz a P-vel és Q-val jelzett tetszőleges szintfelületre a (2.2.7) összefüggés szerint

$$\Delta W = W_Q - W_P = (W_Q - W_0) - (W_P - W_0). \qquad (2.2.8)$$

A szintfelületek közti távolságot jelöljük $\Delta m = m_Q - m_P$ -vel, ekkor a 2.2.6. ábra alapján:

$$\Delta W = -g \cdot \Delta m . \qquad (2.2.9)$$

A $\Delta m = m_Q - m_P$ érték két tetszőleges szintfelületnek vagy a P, vagy a Q ponton átmenő függőleges mentén vett távolsága. Közeli P és Q pontok esetén a két érték eltérése elhanyagolható. A Δm érték ekkor a különböző szintfelületeken lévő P és Q pontok magasságkülönbsége (relatív magassága). Hagyományosan mindig két pont közötti magasságkülönbséget mérünk.



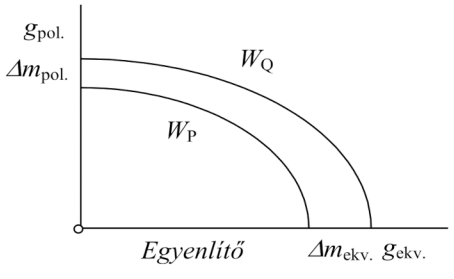
2.2.6. ábra: A magasságkülönbség értelmezése

Ha ismerjük az egyik szintfelületen (pld. P) lévő pont abszolút magasságát, akkor a másik (pld. Q) szintfelületen lévő pont abszolút magassága

$$m_Q = m_P + \Delta m . \qquad (2.2.10)$$

Mivel a nehézségi erő értéke az egyenlítőtől a sarkok felé nő, azaz $g_{pol.} > g_{ekv.}$, viszont ΔW állandó, ez csak úgy képzelhető el, hogy a két szintfelület közötti Δm távolságokra $\Delta m_{ekv.} > \Delta m_{pol.}$ áll fenn, azaz a *szintfelületek nem párhuzamosak egymással*, hanem a sarkok felé összehajlanak (2.2.7. ábra), ugyanis

$$\Delta W = g_{ekv.} \cdot \Delta m_{ekv.} = g_{pol.} \cdot \Delta m_{pol.} .$$



2.2.7. ábra: A szintfelületek a sarkok felé összehajlanak

A geoidon $g_{ekv.} \cong 9{,}78 \frac{m}{s^2}$, $g_{pol.} \cong 9{,}83 \frac{m}{s^2}$. Ha a Δm nagysága az Egyenlítőn pld. 100 m, úgy

$$\Delta m_{pol.} = \frac{9{,}78 \cdot 100\,m}{9{,}83} \cong 99{,}5\,m ,$$

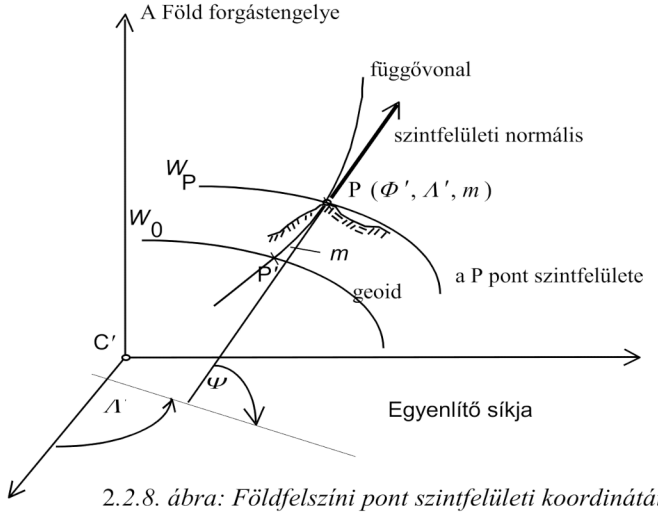
azaz mintegy 0,5 m-rel kisebb. Alsó-geodéziai méréseinkben a szintfelületek nem párhuzamos voltától – éppúgy, mint a függővonal görbeségétől – általában eltekinthetünk.

Írjuk fel végül a (2.2.6) összefüggést

$$\mathrm{d}r = \frac{\mathrm{d}W}{g} \qquad (2.2.11)$$

alakban. A g értéke véges mennyiség, $\mathrm{d}W$ értéke pedig nem zérus, tehát $\mathrm{d}r$ semmilyen körülmények között nem lehet zérus. Ez azt jelenti, hogy a szintfelületek soha nem metszhetik egymást.

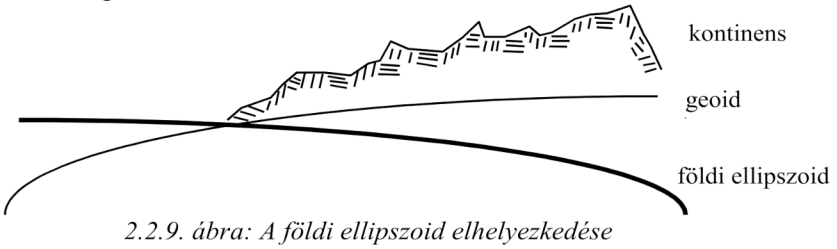
Tetszőleges P földfelszíni pont helyzetét egy, a Földhöz kapcsolt koordinátarendszerben az *m abszolút magasságával*, a Φ' szintfelületi földrajzi szélességével és a Λ' szintfelületi földrajzi hosszúságával adják meg (2.2.8. ábra).



2.2.8. ábra: Földfelszíni pont szintfelületi koordinátái

2.2.1.3. A geoidot helyettesítő (közvetítő) felületek

Bár a geodéziai célú mesterséges holdak segítségével kapott eredmények birtokában sok új információt nyertünk Földünk felszínének és belsejének tömegeloszlásáról, a geoid felülete egyszerű matematikai eszközökkel nem írható le, így nem alkalmas arra, hogy rá, mint alapfelületre támaszkodva, rajta egyszerű módon geodéziai méréseinket értelmezzük, számításokat végezzünk és egy ország térképrendszerét létrehozzuk. Ezért olyan helyettesítő, közvetítő felületeket választunk, amelyek viszonylag egyszerűek, zárt alakban leírhatók, s az adott ország környezetében a lehető legjobban simulnak a geoidhoz. Ilyen felületek a földi ellipszoid és a földgömb.



2.2.9. ábra: A földi ellipszoid elhelyezkedése

A földi ellipszoid ún. forgási ellipszoid, kisebb-nagyobb mértékben eltér a geoidtól. Kontinenseknél általában a geoid alatt, a tengereknél pedig a geoid felett halad (2.2.9. ábra). Ha a forgási ellipszoidot a forgástengelyén áthaladó síkkal elmetsszük, az ún. meridián-ellipszishez jutunk. A forgási ellipszoidot fél nagytengelyével, a - val és fél kistengelyével, b - vel adják meg. A féltengelyekből származtatott néhány fontosabb segédmennyiség:

Lapultság: $\alpha = \frac{a-b}{a}$; (2.2.12)

Első numerikus excentricitás: $e = \sqrt{\frac{a^2-b^2}{a^2}}$; (2.2.13)

Második numerikus excentricitás: $e' = \sqrt{\frac{a^2-b^2}{b^2}}$; (2.2.14)

Az ellipszoid harántgörbületi sugara: $R_N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \cdot \sin^2 \Phi}}$. (2.2.15)

Tetszőleges P földfelszíni pont helyzetét egy, az ellipszoidhoz kapcsolt koordináta-rendszerben egy *ellipszoidi térbeli X, Y, Z koordinátarendszerben*, vagy a H ellipszoid feletti magasságával, a Φ ellipszoidi földrajzi szélességével és a Λ ellipszoidi földrajzi hosszúságával adják meg (2.2.10. ábra). A két rendszer között az átszámítás zárt képletekkel történik (5.3.4.1. fejezet).

A geoid és a földi ellipszoid eltéréseit az alábbi fogalmakkal rögzítjük:

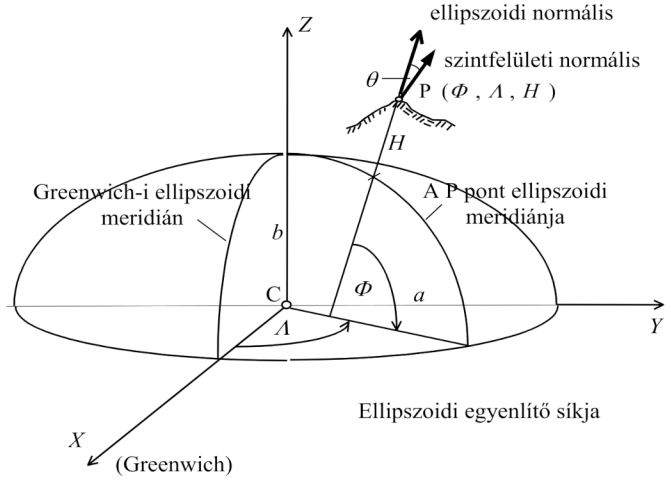
Függővonalelhajlás (a szintfelületi és az ellipszoidi normális által bezárt szög):

$$\Theta^2 = (\Phi' - \Phi)^2 + (\Lambda' - \Lambda)^2 \cdot \cos^2 \Phi . \quad (2.2.16)$$

Geoidunduláció (az ellipszoidi és a tengerszint feletti magasság különbsége):

$$N = H - m . \quad (2.2.17)$$

A függővonal-elhajlás a gyakorlati esetek többségében elhanyagolható, a függővonalak ekkor az ellipszoid normálisai.



2.2.10. ábra: Pont helyzete az ellipszoidon

Azt az ellipszoidot, amelyre az egyes országok térképezési rendszerüket vonatkoztatják, vonatkozási ellipszoidnak (2.2.1. ábra), vagy vonatkozási rendszernek nevezzük. Néhány

nevezetes, Magyarországon is használatos vonatkozási ellipszoid paramétereit a 2.1. táblázatban foglaljuk össze.

Az ellipszoid neve	Közlésének éve	a (m)	b (m)	α
Bessel	1842	6377397,155	6356078,963	1:299,153
Kraszovszkij	1940	6378245	6356863,019	1:298,3
IUGG/1967	1967	6378160	6356774,516	1:298,247
WGS84	1984	6378137	6356752,3142	1:298,257

2.1. táblázat: Magyarországon is használatos ellipszoidok méretei

Magyarországon a polgári célú geodéziai munkáknál és térképeknél a Bessel-féle ellipszoidot használták, 1975-től, az Egységes Országos Térképrendszerre történő áttéréskor a Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Unió által 1967-ben elfogadott IUGG/1967 ellipszoidot vezették be. A GPS mérések eredményei a WGS84 ellipszoidra vonatkoznak. A volt szocialista országok, így Magyarország is, a Varsói Szerződés keretén belül katonai térképeiket a Kraszovszkij-féle ellipszoidra vonatkoztatták.

A vonatkozási ellipszoidok országonként különbözőek, de még ugyanazon országon – így Magyarországon - belül is a különböző időszakokban változtak. A vonatkozási ellipszoid elnevezés helyett használják a geodéziai dátum elnevezést is.

Kisebb (néhány száz km sugarú) terület esetén a geoid gömbbel is helyettesíthető. Az egyetlen meghatározó paraméter a gömb R sugara. A geoidot gömbbel helyettesítjük a különböző *redukciók* számításakor (1.1.1., 5.2.62., 5.2.63. ábrák), ill. az ellipszoidról a síkra történő áttéréskor, a vetületek tárgyalásánál. Utóbbi esetben a Gauss-gömb elnevezést fogjuk használni.

2.2.2. A vetületek

A vetítés szempontjából a vonatkozási ellipszoidot alapfelületnek, a vetületi koordinátarendszer, a *vetület* síkját képfelületnek is nevezzük. A képfelület lehet sík, vagy *síkba fejthető felület*: henger, vagy kúp.

Az alapfelületről a képfelületre vetítés a vetületi egyenletek segítségével történik. Utóbbiak az y és x vetületi koordinátákat fejezik ki az ellipszoidi földrajzi Φ szélesség és a Λ ellipszoidi földrajzi hosszúság (2.2.1. és 2.2.10. ábra) függvényében. Szimbolikus jelöléssel:

$$\begin{aligned} y &= f_y(\Phi, \Lambda), \\ x &= f_x(\Phi, \Lambda). \end{aligned} \qquad (2.2.18a)$$

Fordítva, kifejezhetjük a Φ és Λ ellipszoidi földrajzi koordinátákat a vetületi koordináták függvényében:

$$\begin{aligned} \Phi &= f_\Phi(y, x), \\ \Lambda &= f_\Lambda(y, x). \end{aligned} \qquad (2.2.18b)$$

Utóbbiak az ún. inverz vetületi egyenletek.

A térkép és a vetület síkja, koordinátarendszere ugyanaz. Ebből következik, hogy a térképi méretarány a térképen és a vetületben megfelelő hosszak alábbi hányadosa:

$$M = \text{térképi méretarány} = \frac{\text{térképi hossz}}{\text{vetületi hossz}}. \qquad (2.2.19)$$

Az ellipszoid, mint térbeli görbe felület *torzulások* nélkül nem vetíthető, ill. fejthető síkba. A térképalkotás során arra kell törekednünk, hogy a síkrajzot alkotó objektumokat lehe-

tőleg valódi alakjukban, vagy ahhoz minél közelebb mutassuk be. *Minél nagyobb* a térképen (a vetületben) ábrázolni kívánt földfelszín, *annál nagyobb torzulásokat* szenvednek az objektumokat jellemző hosszak, szögek, ill. területek. *Minél kisebb* az ábrázolni kívánt földfelület, *annál kisebbek a torzulások*, míg végül eljutunk egy akkora felülethez, amelynek vetületi ábrázolásakor a torzulások mértéke már elhanyagolható. E felület nagysága a térképi ábrázolás élességétől függ (1.1.1. ábra), s emiatt *relatív.*

A torzulások miatt a vetületben az alapfelületi idomok szögei, hosszai és területei is torzulnak. A torzulások szempontjából megkülönböztetjük az alábbi vetületeket:

- szögtartó (konform) – az alap- és képfelületi szögek megegyeznek,
- területtartó (ekvivalens) – az alap- és képfelületi területek megegyeznek,
- általános torzulású – mind a képfelületi szögek, mind a területek torzulnak a megfelelő alapfelületi elemhez képest.

Olyan vetület, amely minden hosszat helyesen tudna rögzíteni, vagyis hossztartó (ekvidisztáns) vetület nincs, viszont – *vetületenként változóan* - létezik hossz-, vagy távolságtartó pont, ill. vonal. E pont környezetében a hosszak kevéssé, a hossztartó vonal mentén egyáltalán nem torzulnak. A pont a vetület kezdőpontja, a vonal pedig a vetület valamelyik koordinátatengelye.

A vetület egyik legfontosabb sajátossága a hossztorzulás mértéke. A hossztorzulás mértékét a hossztorzulási tényezővel fejezzük ki:

$$h = \frac{d}{s} = \frac{\textit{képfelületi hossz}}{\textit{alapfelületi hossz}}. \qquad (2.2.20)$$

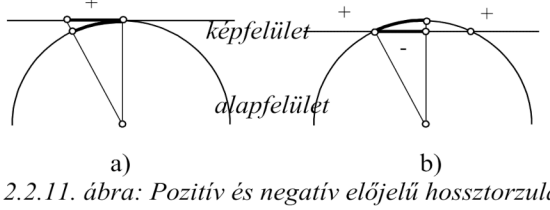
Írjuk fel a 2.2.20. összefüggést a

$$h = \frac{d}{s} = h_0 + U \qquad (2.2.21)$$

alakban. A (2.2.21) képletben h_0 egy előre megválasztott konstans érték, a redukálás mértéke, az U érték pedig a hossztorzulás.

A hossztorzulás megengedett értéke Magyarországon 1/10000.

Ha $h_0 = 1$, érintő vetületről beszélünk. Az alapfelület és a képfelület érintkezésénél a hossztorzulás 0, bárhol máshol pozitív (2.2.11a. ábra). A hossztorzulás értékét csökkenteni, s ezzel a vetület használhatósági tartományát növelni lehet úgy, ha $h_0 < 1$. Ez esetben a vetület metsző, vagy süllyesztett, az ábrázolás *méretaránya* változik úgy, hogy a vetületi számításokból kapott távolságok rövidülnek. A 2.2.11b. ábrán a képfelület metszi a kört, a hossztorzulás negatív, s a torzulásmentes helyek az alap- és képfelület metszései (ábránkon a körív és az egyenes metszéspontjai).



2.2.11. ábra: Pozitív és negatív előjelű hossztorzulás

A h_0 szám megválasztásánál ügyelni kell arra, hogy a hossztorzulás most ellenkező (rövidülő) értelemben ne lépje túl a megengedett értéket. Süllyesztett vetületek az Egységes Országos Vetület és az UTM vetület (2.2.3.3.fejezet).

A kép- és alapfelületi hosszak különbségét hosszredukciónak nevezzük és a következőképpen definiáljuk:

$$\Delta s = d - s = \textit{képfelületi hossz} - \textit{alapfelületi hossz}. \qquad (2.2.22)$$

A továbbiakban a (2.2.21) összefüggésből

$$d = s \cdot (h_0 + U). \qquad (2.2.23)$$

A (2.2.23) figyelembe vételével $h_0 = 1$ esetén

$$\Delta s = d - s = s \cdot (1 + U) - s = s + s \cdot U - s = U \cdot s\,, \qquad (2.2.24a)$$

$h_0 < 1$, azaz süllyesztett vetület esetén

$$\Delta s = d - s = s \cdot (h_0 + U) - s = s(h_0 - 1 + U)\,. \qquad (2.2.24b)$$

A *hosszredukcióval redukált távolság* a $h_0 = 1$ esetén:

$$d = s + \Delta s = s + U \cdot s\,. \qquad (2.2.25a)$$

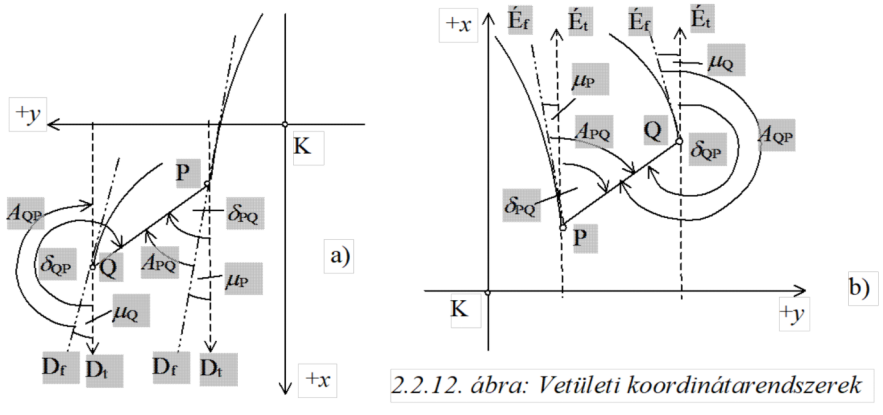
Végül, a *hosszredukcióval redukált távolság* a $h_0 < 1$ esetén:

$$d = s + \Delta s = s + s(h_0 - 1 + U)\,. \qquad (2.2.25b)$$

A földmérési és topográfiai alaptérképek nagy méretaránya (2.1. fejezet) miatt még a kisebb országok, mint pl. Magyarország, esetében is kezelhetetlen nagyságú térképlapokat kapnánk. Emiatt a geodéziai felmérés eredményeit több, egymáshoz csatlakozó térképlapon, más néven szelvényen, vagy szelvénylapon ábrázoljuk. Abból a célból, hogy a vetületi koordinátarendszerben a szelvények összefüggését biztosítsuk, azokat egy szelvényhálózatban helyezzük el úgy, hogy a csatlakozó hálózati vonalak mentén az ábrázolás az egyes szelvénylapokon *átfedés és hézagmentes* legyen. Az egyes szelvénylapokat számozzák, egymástól való elkülönítésük, használatuk, kikeresésük megkönnyítése, illetve egyáltalán, lehetővé tétele miatt. Az egyes térképlapokon – a könnyebb eligazodás érdekében – a kitüntetett koordinátájú vonalakat is feltüntetik (koordináta-hálózat). Ezek a (más néven *szelvényhálózati*) vonalak – a vetület típusától függően – vagy párhuzamosak, vagy összetartanak.

2.2.2.1. Vetületi koordinátarendszerek

A *vetületi koordinátarendszerek x* tengelye a vetület K kezdőpontján áthaladó alapfelületi meridián képe, az *y* tengely erre merőleges. Az *x* tengely pozitív ága (a „+*x* tengely") a régebbi vetületeknél dél, az újabbaknál észak felé mutat. Dél felé mutató +*x* tengely mellett délnyugati tájékozású, észak felé mutató +*x* tengely mellett északkeleti tájékozású vetületi koordinátarendszerről beszélünk (a +*y* tengely nyugat, ill. kelet felé mutat). A vetületi koordinátarendszerben a pont helyét *y* és *x* derékszögű koordinátáival adjuk meg. A 2.2.12a). ábrán délnyugati, a 2.2.12b). ábrán északkeleti tájékozású koordinátarendszer látható.



2.2.12. ábra: Vetületi koordinátarendszerek

Az *x* tengely kivételével az összes alapfelületi meridián képe az x tengely északi ága felé hajló görbe vonal. Az alapfelületi meridián képéhez egy adott pontban (ábránkon P és Q) húzott érintőt földrajzi délnek (D_f), ill. földrajzi északnak ($É_f$), az *x* tengellyel párhuzamos

egyeneseket térképi délnek (D_t), ill. térképi északnak ($É_t$) nevezzük, attól függően, hogy dél-nyugati, vagy északkeleti koordinátarendszerben vagyunk. A két irány által bezárt szöget vetületi meridiánkonvergenciának nevezzük és μ-vel jelöljük. A vetületi koordinátarendszerben az y tengely mentén az x tengely felé haladva, a μ vetületi *meridián-konvergencia* értéke csökken. A 2.2.12a). ábrán vázolt helyzetben a meridiánkonvergenciát *negatívnak*, a 2.2.12b). ábrán vázolt helyzetben pedig *pozitívnak* tekintjük, vagyis, dél-nyugati tájékozású vetületi koordinátarendszerben a meridiánkonvergencia előjele ellentétes az y koordináta előjelével, észak-keleti tájékozású vetületi koordinátarendszerben viszont megegyezik.

A földrajzi déltől, illetve a földrajzi északtól az óramutató járásának megfelelő irányban a PQ, ill. a QP iránnyal bezárt szöget földrajzi azimutnak nevezzük és a továbbiakban A-val jelöljük. Szögtartó vetületeknél ez a szög megegyezik az alapfelületi megfelelőjével. A 2.2.12. ábrából láthatóan a földrajzi azimut (A), az irányszög (δ) és a vetületi meridiánkonvergencia (μ) között az alábbi összefüggés érvényes:

$$\delta_{PQ} = A_{PQ} - \mu_P . \qquad (2.2.26a)$$

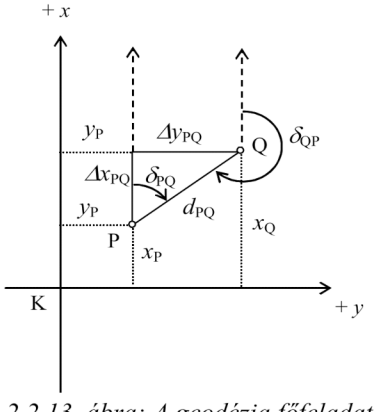
A (2.2.26a) összefüggés alapján adódik a *vetületi meridiánkonvergencia* meghatározásának egy kézenfekvő módja: ha a vetületi koordinátarendszerben adott két pont a vetületi koordinátáival, akkor számítható a δ irányszög (2.2.2.2. fejezet, (2.2.28a) képlet). Ha ismerjük, vagy mérjük a földrajzi azimutot, úgy a vetületi meridiánkonvergencia értéke a (2.2.9a) képlet alapján

$$\mu_P = A_{PQ} - \delta_{PQ} . \qquad (2.2.26b)$$

A δ_{PQ}- ra igaz, hogy $0^0 < \delta_{PQ} < 360^0$. A 2.2.12. ábrából az is látszik, hogy $\delta_{QP} = \delta_{PQ} \pm 180^0$, attól függően, hogy $\delta_{PQ} \langle 180^0$, vagy $\delta_{PQ} \rangle 180^0$. Az irányszöggel ellentétben, a földrajzi azimutra általában $A_{QP} = A_{PQ} \pm 180^0$ nem teljesül, hiszen $\mu_P \neq \mu_Q$. Az A_{QP}-t az A_{PQ}-hoz képest ellenazimutnak is nevezik.

2.2.2.2. A geodézia főfeladatai a vetületi koordinátarendszerben

A geodézia két főfeladatát a 2.2.2. ábrán foglaljuk össze.



2.2.13. ábra: A geodézia főfeladatai a síkon

Első geodéziai főfeladat: Egy vetületi koordinátarendszerben adott pont derékszögű koordinátáiból és egy másik pont felé menő egyenes szakasz δ irányszögéből és d hosszából meghatározzuk a másik pont vetületi koordinátáit.

Adottak: y_P, x_P – a P pont vetületi koordinátái,
δ_{PQ} – a P pontról a Q pontra mutató irány irányszöge,
d_{PQ} – a P és Q pontok távolsága a vetületi koordinátarendszerben.

Keressük: A Q pont y_Q, x_Q vetületi koordinátáit.

A 2.2.13. ábrán folyamatos vonallal jelzett háromszögből

$$\begin{aligned} \Delta y_{PQ} &= d_{PQ} \cdot \sin\delta_{PQ} \\ \Delta x_{PQ} &= d_{PQ} \cdot \cos\delta_{PQ} \end{aligned}, \qquad (2.2.27a)$$

ezért

$$\begin{aligned} y_Q &= y_P + d_{PQ} \cdot \sin\delta_{PQ} \\ x_Q &= x_P + d_{PQ} \cdot \cos\delta_{PQ} \end{aligned}. \qquad (2.2.27b)$$

Az első geodéziai főfeladat egyben a poláris pontmeghatározás elve is: ha ismerjük (mérjük) a d_{PQ} és a δ_{PQ} poláris koordinátákat, a derékszögű koordinátákat a (2.2.27) képletekből kapjuk.

***Második geodéziai főfeladat**:* Valamely vetületi koordinátarendszerben adott két pont derékszögű koordinátáiból meghatározzuk a két pont közötti egyenes szakasz d hosszát (a két pont távolságát) és az egyenes szakasz δ irányszögét.

Adottak: y_P, x_P, y_Q, x_Q – a P és Q pontok vetületi koordinátái,
Keressük: δ_{PQ} – a P pontról a Q pontra mutató irány irányszögét,
d_{PQ} – a P és Q pontok távolságát a vetületi koordinátarendszerben.
Ugyancsak a fenti háromszögből

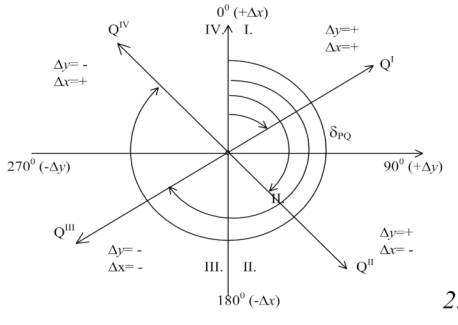
$$\begin{aligned} \delta_{PQ} &= \frac{\Delta y_{PQ}}{\Delta x_{PQ}} = \arctan\frac{y_Q - y_P}{x_Q - x_P} \\ d_{PQ} &= \sqrt{\Delta y_{PQ}^2 + \Delta x_{PQ}^2} = \sqrt{(y_Q - y_P)^2 + (x_Q - x_P)^2} \end{aligned}, \qquad (2.2.28a)$$

illetve

$$d_{PQ} = \frac{\Delta y_{PQ}}{\sin\delta_{PQ}} \quad \text{vagy} \quad d_{PQ} = \frac{\Delta x_{PQ}}{\cos\delta_{PQ}}. \qquad (2.2.28b)$$

A δ_{QP} – re igaz, hogy

$$\delta_{QP} = \delta_{PQ} \pm 180^0 = \arctan\frac{y_P - y_Q}{x_P - x_Q}. \qquad (2.2.29)$$



2.2.14. ábra: Az irányszög előjelei

Mivel $0^0 < \delta_{PQ} < 360^0$, ezért $\cos\delta_{PQ}$ és $\sin\delta_{PQ}$, s így a (2.2.28a) mindkét kifejezése előjeles mennyiség, attól függően, hogy az irányszög melyik (I., II., III., IV.) szög negyedbe esik. A szög negyedek értelmezését és a koordinátakülönbségek (Δy_{PQ}, Δx_{PQ}) előjeleit a 2.2.14. ábrán szemléltetjük.

2.2.2.3. Magyarországi vetületek és szelvényhálózatok

Magyarországi vetületek alatt a magyarországi földmérési és topográfiai térképekhez tartozó vetületeket értjük. A vetületek szögtartóak, és mindegyikük létrehozásánál törekedtek arra, hogy az U hossztorzulás (2.2.21) összefüggés szerinti mértéke az 1/10000 értéket ne haladja meg. Ez a feltétel, természetesen, korlátozza a vetületek területi kiterjedését, s éppen emiatt, a vetületek többségénél nem sikerült teljesen megvalósítani. A képfelületek vagy érintik, vagy metszik az alapfelületet. Mint már említettük, az előbbi esetben érintő, az utóbbi esetben süllyesztett, vagy metsző vetületekről beszélünk. Az alábbiakban először – keletkezé-

sük sorrendjében – a kifejezetten a magyarországi sajátosságokat tükröző, a magyarországi térképezés céljára létrehozott vetületeket, majd a nemzetközi szinten alkalmazott, de Magyarországon is elfogadott vetületekre térünk rá. Ennek megfelelően a vetületeket, ill. a hozzájuk tartozó szelvényhálózatokat a következő sorrendben tekintjük át:

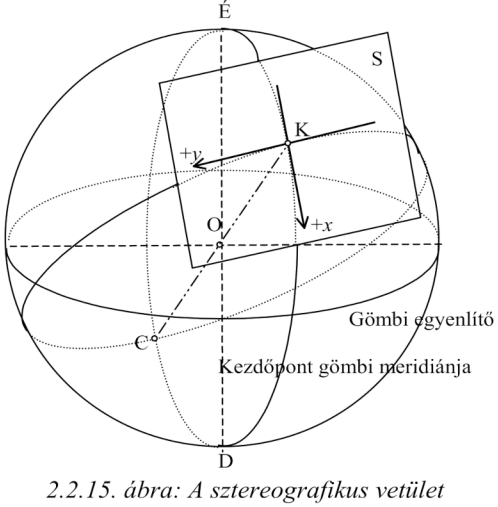
- Sztereografikus vetület
- Ferdetengelyű hengervetületek
- Egységes Országos Vetület
- Gauss-Krüger vetület
- UTM vetület.

A sztereografikus és a ferdetengelyű hengervetületek a történelmi Magyarország vetületei, kialakításuknál az ország akkori területéből indultak ki. Mindkettő vonatkozási ellipszoidja a Bessel-ellipszoid (1841). E két vetület, az Egységes Országos Vetülettel (EOV) együtt, ún. kettős vetítésű, ami azt jelenti, hogy a vetítést két lépésben hajtják végre: az ellipszoidról először egy, az ellipszoidot helyettesítő gömbre, az ún. Gauss-gömbre vetítenek, s csak utána a síkra, ill. hengerre, mint síkba fejthető felületre. Az egyes szelvényhálózati vonalak párhuzamosak. Az EOV vonatkozási ellipszoidja az IUGG/1967 elnevezésű ellipszoid. A Gauss-Krüger, ill. az UTM vetületeknél az ellipszoidról közvetlenül térnek át egy ellipszoidi (ellipszis keresztmetszetű) hengerre, az egyes szelvényhálózati (koordináta-) vonalak nem párhuzamosak, hanem észak felé összetartanak. A Gauss-Krüger vetület vonatkozási ellipszoidja a Kraszovszkij-ellipszoid (1942). Az UTM vetületet a GPS méréseknél a WGS84 (1984) vonatkozási rendszerben értelmezik.

A magyarországi sztereografikus vetület

A magyarországi sztereografikus vetület az első matematikai értelemben szigorúan kidolgozott vetület, keletkezésének időpontja az 1870-es évekre tehető. A vetület második lépcsőjét, a Gauss-gömbről egy vízszintes érintő síkra történő vetítést a 2.2.15. ábrán mutatjuk be.

A sztereografikus vetület képfelülete egy Gauss-gömbi meridiánon a vetület K kezdőpontjának választott ponthoz tartozó érintősík.



2.2.15. ábra: A sztereografikus vetület

A történelmi Magyarország területét három sztereografikus vetülettel fedték le:

1. A budapesti rendszer. Kezdőpontja a Gellérthegy nevű felsőrendű alappont.
2. A marosvásárhelyi rendszer. Kezdőpontja a Kesztejhegy nevű felsőrendű alappont.
3. Az ivanici rendszer. Kezdőpontja Ivanic zárdatorony.

A sztereografikus vetületi koordináták ma a budapesti rendszerben értelmezettek.

Az *x* tengely a kezdőponton áthaladó gömbi meridián vetületben egyenesként jelentkező képe, pozitív ága mindhárom rendszerben dél felé mutat, a vetületi koordinátarendszerek tehát *délnyugati tájékozásúak*. Az *y* tengely a kezdőpontban a meridiánra merőleges gömbi főkör vetületben szintén egyenesként jelentkező képe. A vetítés a meridián K kezdőpontjával ellentétes, az érintő gömbi körön lévő C pontjából centrálisan történik.

A sztereografikus vetület érintő, tehát h_0=1. A K vetületi kezdőpontban U = 0, vagyis hossztorzulás nincs, a hossztorzulás ettől távolodva nő. Az egyenlő hossztorzulású pontok mértani helyei a K pont körüli koncentrikus körök. A sztereografikus vetület hossztorzulása a kezdőponttól 127 km-es sugárral húzott körön eléri a megengedett 1/10000 értéket, vetületnek elvileg e körön belül használható, bár a gyakorlatban nagyobb területen alkalmazták.

A sztereografikus vetület szelvényhálózatai

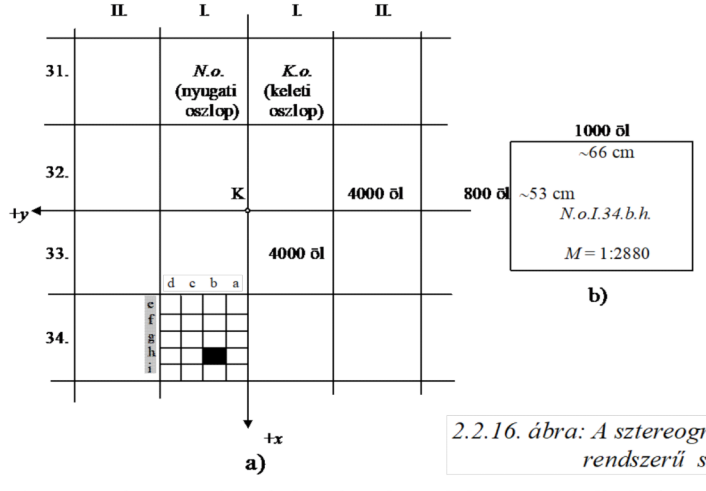
A budapesti sztereografikus rendszer szelvényhálózata öl, illetve méter rendszerű. Nevezik régi és új sztereografikus szelvényhálózatnak is. A délnyugati tájékozású koordinátarendszerben az *x* tengellyel párhuzamosan helyezkednek el az oszlopok, az y tengellyel párhuzamosan a rétegek (2.2.16. ábra). Az *öl rendszerű* szelvényhálózat beosztásának alapja a négyzetmérföld (1.2. fejezet). Egy négyzetmérföld 20 szelvényre oszlik, az egyes szelvények *y* tengellyel párhuzamos oldala 1000 öl, *x* tengellyel párhuzamos oldala 800 öl. Egy, a 2.2.16. ábrán sötétítéssel jelölt 1000 öl * 800 öl méretű szelvény méretaránya 1:2880. Ezt az ún. kataszteri méretarányt úgy választották meg, hogy a térképen ábrázolt 1 hüvelyk^2 – nek 1 kataszteri hold feleljen meg. Mivel 1 hüvelyk = 1/72 öl és $\sqrt{1\,\text{hold}^2} = \sqrt{1600\,\text{öl}^2} = 40\,\text{öl}$, s a kettő aránya adja a méretarányt, kapjuk:

$$\frac{1}{72}\,\text{öl} : 40\,\text{öl} = 1 : (72 \cdot 40) = 1 : 2880.$$

A 2.2.16.b) ábrán látható 1:2880 méretarányú 1000 öl * 800 öl nagyságú területet ábrázoló kataszteri térkép méteres rendszerben kifejezett méretei:

- az *y* tengellyel párhuzamosan: $(1000\,\text{öl} : 2880) \cdot 1{,}89648 \approx 66\,\text{cm}$,
- az *x* tengellyel párhuzamosan: $(800\,\text{öl} : 2880) \cdot 1{,}89648 \approx 53\,\text{cm}$,

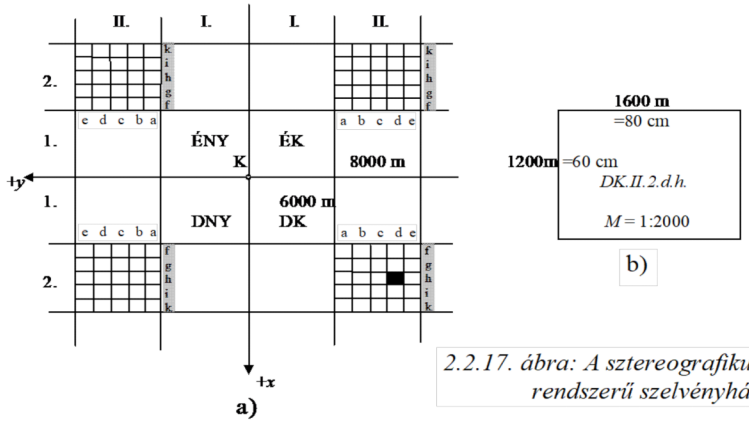
amely még viszonylag könnyen kiteríthető, illetve használható papírlap méret.



2.2.16. ábra: A sztereografikus vetület öl rendszerű szelvényhálózata

Az egyes kataszteri szelvények számozását a 2.2.16. ábrán követhetjük végig. A budapesti rendszerben a számozás a nyugati oszlopban keletről nyugat, a keleti oszlopban nyugatról kelet felé az *a, b, c, d* betűkkel és minden negyedben északról délre az *e, f, g, h, i* betűkkel történik. A sötétítéssel jelölt szelvény száma: *N.o.I.34.b.h.*, vagyis a szelvény a nyugati I. oszlop és 34. réteg találkozásánál lévő 4000 öl * 4000 öl méretű szelvény *b.* oszlopában és *h.* sorában található. Megjegyezzük, hogy a rétegek számozását a történelmi Magyarország felső, ivanici rendszerétől, illetve annak északi szélétől kell érteni.

A *méteres rendszerben* a szelvénybeosztás az ún. szelvénycsoportokon alapszik (2.2.17. ábra). Egy-egy, az oszlopok és rétegek határvonalaival kimetszett szelvénycsoport mérete 8000 m * 6000 m, területe $4{,}8 \cdot 10^7$ m^2 = 4800 ha (hektár) .



2.2.17. ábra: A sztereografikus vetület méter rendszerű szelvényhálózata

Az egyes szelvénycsoportok helyét az oszlopokban nyugatra és keletre is római, a rétegekben arab számokkal jelöljük. A számozás mindkét esetben a budapesti rendszer koordináta-tengelyeitől kiindulva növekszik. Egy-egy szelvénycsoport 25 db 1600m*1200m területű, 1:2000 méretarányú szelvényből áll. Az egyes térképlapok cm-ben kifejezett méretei:

- az *y* tengellyel párhuzamosan: 1600 m : 2000 = 0,8 m = 80 cm,
- az *x* tengellyel párhuzamosan: 1200 m : 2000 = 0,6 m = 60 cm.

A térképlap mérete már a használhatóság határán van. A 2.2.17. ábrán sötétítéssel jelölt szelvény száma: *DK.II.2.d.h*. A DK a délkeleti sík-negyedet, a II. a második oszlopot, a 2. a második réteget jelenti. A kisbetűs jelölések sík-negyedenként (ÉNY, ÉK, DNY, DK), a koordináta-tengelyektől távolodva, az ábécé sorrendjében követik egymást.

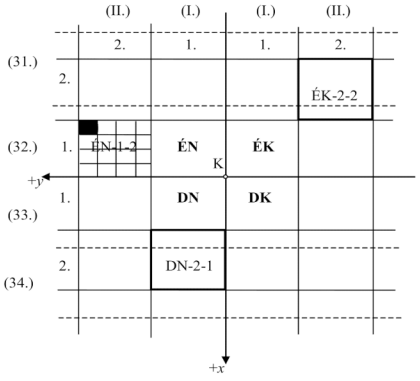
Az 1966-tól 1975-ig (az Egységes Országos Vetület – EOV megjelenéséig) polgári használatra készült 1:10000 méretarányú topográfiai térképek vetülete is a budapesti sztereografikus rendszer vetülete volt, a szelvényeket kétszer három számjegyből álló számozással látták el, pl. 504-332.

A magyarországi erdőtervi (erdészeti üzemi) térképek szelvényezési rendszere

1962-ben a mai Földmérési és Térképészeti Hivatal akkori elődje, az Állami Földmérési és Térképészeti Hivatal (ÁFTH) egységesíteni akarta a polgári célú vetületi és szelvényezési rendszereket[4] . Az ÁFTH 227/1962 szám alatt Utasítást adott ki, amelynek értelmében erre a rendszerre át kell térni. Az utasításnak csak az erdészeti ágazat tett eleget: jelenleg még ez az analóg erdőtérképek *szelvényezési rendszere*.

Az analóg erdőtérképek szelvényezése a budapesti sztereografikus vetületi koordinátarendszer módosított, öl rendszerű szelvényhálózati rendszerében történik. Az áttéréskor az egységesség érdekében az elfogadott vetület nélküli és hengervetületi szelvényeket is sztereografikus vetületre dolgozták át. A módosítás lényegét a 2.2.18. ábrán követhetjük nyomon.

[4] Ez végül is csak az Egységes Országos Vetületi (EOV) és Térképrendszer (EOTR) bevezetésekor sikerült, 1975-ben.



2.2.18. ábra: Erdészeti üzemi térképek szelvényezési rendszere

Az erdészeti üzemi térkép 1:10000 méretarányú szelvénye 4*4 = 16 db, egyenként 1:2880 méretarányú, 1000 öl * 800 öl ($\approx 1896{,}48\,\text{m} * \approx 1517{,}18\,\text{m}$) nagyságú *kataszteri szelvényből* áll. Az egyes rétegek az eredeti öl rendszerű szelvényezéstől eltérően tehát az *x* tengellyel párhuzamosan nem 5 * 800 = 4000 öl, hanem csak 4 * 800 = 3200 öl kiterjedésűek.

Az 1:10000 méretarányú üzemi térkép lapmérete az *y* tengellyel párhuzamosan $(1896{,}48 \cdot 4)\,\text{m} : 10000 \approx 75{,}86\,\text{cm}$, az *x* tengellyel párhuzamosan pedig $(1517{,}18 \cdot 4)\,\text{m} : 10000 \approx 60{,}69\,\text{cm}$.

A szelvényezés kezdőpontja szintén a Gellérthegy nevű alappont, de számozása részben követi a sztereografikus vetület *méteres* szelvényezési rendszerét: a 2.2.7. ábrán megjelölt 4000 öl * 3200 öl területű, 1:10000 méretarányú szelvény száma: ÉN-1-2, vagyis az északnyugati sík-negyed északi irányban 1. rétegének, nyugati irányban pedig 2. oszlopának metszésében lévő szelvény. A könnyebb eligazodás végett a 2.2.7. ábrán zárójelben az eredeti öl rendszerű szelvényszámozást is feltüntetjük.

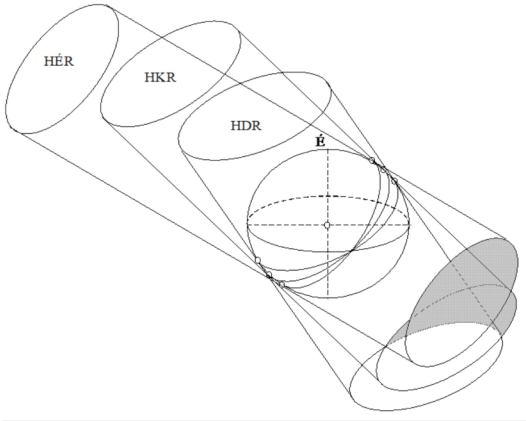
Az Állami Erdészeti Szolgálat 521/2000 számú főigazgatói utasítása[5] a digitális térképi alapadatok létesítéséhez és a digitális üzemi térkép analóg megjelenítéséhez engedélyezi az EOV vetületi rendszert és az EOTR szelvényezést. Az EOV rendszerre való áttérést ennek megfelelően megkezdték. A sztereografikus (vagy más) vetületről az EOV-re vagy az EOV koordinátáikkal is adott ún. illesztőpontok (a mindkét vetületben ismert, *azonos* pontok) segítségével térnek át, vagy a sztereografikus (vagy más) vetületi rendszerben előállított digitális adatállományt transzformálják az Egységes Országos Vetületbe.

A magyarországi ferde tengelyű hengervetületek

A magyarországi hengervetületek az Osztrák-Magyar Monarchián belüli alaphálózati és térképezési önállósodási törekvések eredményeképpen 1908-1909-ben kerültek bevezetésre. A vetület szintén *szögtartó,* a – sztereografikus vetülethez hasonlóan - a vetítés kettős, először az ellipszoidról a Gauss-gömbre, majd a Gauss-gömbről a gömböt egy legnagyobb gömbi kör mentén érintő hengerre történik a vetítés. Mivel a henger forgástengelye sem a Föld forgástengelyével, sem egy egyenlítői átmérővel nem egyezik meg, ferdetengelyű vetületnek is nevezik. A hengervetületek érintő vetületek, *hossztorzulásuk* az *y* tengely mentén zérus (az *y* tengely az érintő gömbi kör képe), a megengedett 1/10000 értéket az *y* tengelytől számítva az *x* tengellyel párhuzamosan $x = \pm 90$ km-nél éri el, ezért a történelmi Magyarország területét három hengervetületi sávban ábrázolták (2.2.19. ábra):

HÉR - Hengervetület Északi Rendszere
HKR - Hengervetület Középső Rendszere
HDR - Hengervetület Déli Rendszere

[5] Útmutató a digitális üzemi térkép készítéséhez és mintaállományaihoz. Állami Erdészeti Szolgálat, Budapest 2000.



2.2.19. ábra: A három ferde tengelyű hengervetület

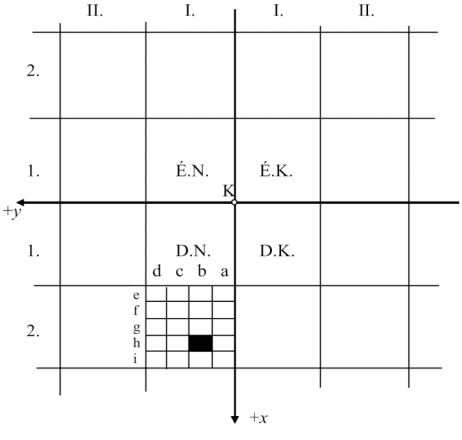
Mindhárom hengervetület x tengelye a gellérthegyi meridián, y tengelye a legnagyobb gömbi kör egyenesként jelentkező képe. Az x tengely pozitív ága délnek, az y tengely pozitív ága pedig nyugatnak mutat, tehát a vetületi koordinátarendszer *délnyugati tájékozású*. Egy hengervetület kezdőpontja sem egyezik meg a budapesti sztereografikus rendszer kezdőpontjával, a HÉR kezdőpontja a Gellérthegytől északra mintegy 137 km-re, a HKR kezdőpontja a Gellérthegytől délre mintegy 38 km-re helyezkedik el.

A ferdetengelyű hengervetületek hossztorzulása csak az x koordinátától függ.

A hengervetületek szelvényhálózatai

Hasonlóan a sztereografikus vetület szelvényhálózataihoz, a hengervetületeknél is öl és méter rendszerű szelvénybeosztást különböztetünk meg. A *méter rendszerű* szelvénybeosztás teljes mértékben megegyezik a sztereografikus vetület méteres szelvénybeosztásával (2.2.17. ábra). Az *öl rendszerű* beosztás hasonlít a sztereografikus vetület öl rendszerű szelvényhálózatához, azzal a különbséggel, hogy a négyzetmérföldek számozása olyan, mint a méter rendszerű beosztásé (2.2.20. ábra).

A 2.2.20. ábrán jelzett kataszteri szelvény száma e szerint a számozás szerint *D.N.I.2.b.h.* Az oszlopok betűjelei keletről nyugatra, a soroké (rétegeké) északról dél felé nőnek.



2.2.20. ábra: A ferde tengelyű hengervetületek öl rendszerű szelvényhálózata

Az Egységes Országos Vetület

Részben a többfajta vetületi rendszer (eddig még nem szóltunk a Gauss-Krüger vetületi rendszerű katonai topográfiai térképekről) polgári célú egységesítése, részben pedig a miatt, hogy a hossztorzulás értéke az ország egész területén 1/10000 alatt maradjon, 1975-ben polgári célokra új vetületi rendszert vezettek be, az Egységes Országos Vetületet, rövidítve, EOV-t.

Az EOV az eddig tárgyalt vetületektől – egyebek mellett – abban is különbözik, hogy a szelvényezés rendszere (Egységes Országos Térképrendszer – EOTR) a kis méretarányoktól kezdve a legnagyobb méretarányig *számozásban is egységesen átfogja* az eddig tárgyalt térképfajtákat.

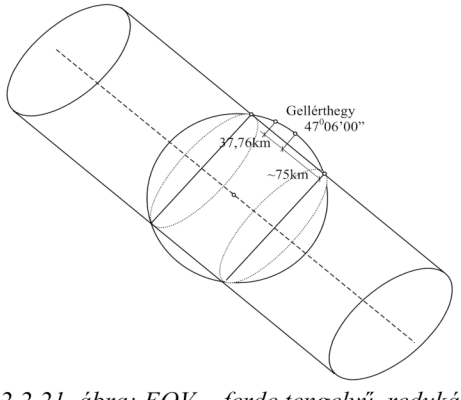
Az egységesítési törekvés egészen természetes, ha meggondoljuk, hogy 1975-ig és még jóval utána is, az ország különböző területeiről különböző vetületű és szelvényezési rendszerű térképek álltak rendelkezésre. Ez folyamatosan megkövetelte az egyes vetületi

rendszerek közötti – a számítástechnika akkori szintje mellett – kényelmetlen átszámításokat. Természetes törekvés volt az is, hogy a polgári térképészet igyekezett elszakadni a katonaitól, nem utolsó sorban utóbbi akkori *szigorú titkossága* miatt. Az egységesítés célja volt továbbá, hogy mind a földmérési, mind a topográfiai alaptérképek vetületi rendszere és szelvényhálózata azonos legyen, eltérően attól a helyzettől, hogy a sztereografikus és hengervetületi rendszerek elsősorban a földmérési, míg a Gauss-Krüger vetületi rendszer a topográfiai térképek vetülete volt (egy-két ellenkező irányú kísérlettől eltekintve, mint pl. az 1:10000 méretarányú sztereografikus vetületű topográfiai térkép).

Fentiek mellett komoly szakmai érv volt a hossztorzulás értékének csökkentése az ország egész területén. Mint láttuk, a sztereografikus és a ferde tengelyű hengervetületeknél a hossztorzulásra megszabott szigorú 1/10000-es határ komoly kötöttséget jelent a vetületek alkalmazhatóságát illetően, hiszen ezt a sztereografikus vetületnél a kezdőpont körüli 127 km-es sugarú kör, a hengervetületeknél pedig az *y* tengelytől két irányban 90-90 km-es sáv maximálta. E mellett a szögtartó sztereografikus és hengervetületeknél a torzulásmentes helytől eltekintve a képfelületi hosszak mindig nagyobbak, mint az alapfelületiek.

A bemutatott módszerrel az EOV-ben egész Magyarország területe egy (ferde tengelyű) hengervetületi sávon ábrázolható anélkül, hogy a hossztorzulás értéke az *x* tengely mentén az 1/10000 értéket meghaladná. Ezt azzal érték el, hogy a képfelület metsző, vagy süllyesztett henger (2.2.11b. ábra), amely 2 párhuzamos gömbi körben metszi a Gauss-gömböt. A két gömbi kör között a hossztorzulás negatív, a gömbi körökön kívül pozitív irányú, a körökön pedig zérus (2.2.21. ábra). Fentiek miatt az EOV-t redukált hengervetületnek is nevezik. A henger elhelyezkedése megegyezik a HKR rendszer elhelyezkedésével.

Az EOV-nél a redukálás mértéke $h_0 = 0{,}99997$. Ilyen érték mellett Baranya megye déli és Borsod-Abaúj-Zemplén megye északi részének kivételével a hossztorzulás értéke az 1/10000 értéket sehol sem haladja meg.



2.2.21. ábra: EOV - ferde tengelyű, redukált hengervetület

A *hossztorzulás* a ferdetengelyű hengervetületekhez hasonlóan csak az *x* koordinátától függ.

Az *y* tengely mentén a hossztorzulás $U = 0$, így e tengely mentén $h_0 = 0{,}99997$ érték mellett pl. egy 1 km-es távolság a (2.2.24b) képlet szerint a

$$\Delta s = s(h_0 - 1 + U) = -100000\,\text{cm} \cdot 0{,}00007 = -7\,\text{cm}$$

értékkel rövidül.

A sztereografikus és a ferdetengelyű hengervetületeknél a vetületi koordináták előjeles mennyiségek. A vetületi számítások egyszerűsítése érdekében az EOV vetületi koordinátaten-

gelyeit önmagukkal párhuzamosan úgy tolták el, hogy az egész ország területe az első síknegyedbe essék, vagyis pozitív koordinátákkal kelljen számolni. Az eltolás mértéke olyan, hogy egyetlen pont x és y koordinátája sem cserélhető fel, mert $x < 400000$ m és $y > 400000$ m minden esetben. A vetületi számításokhoz, természetesen, az eredeti (előjeles) koordinátákat kell használni.

A vetületi koordináták és a koordinátatengelyek eltolásával nyert koordináták közötti összefüggések az alábbiak:

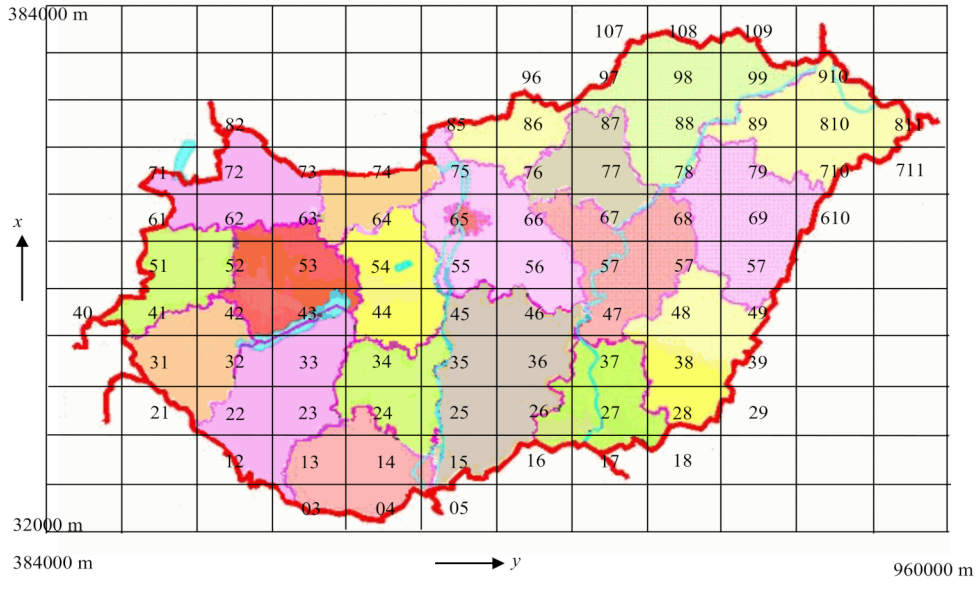
$$\begin{aligned} x_{\text{eltolt}} &= x + 200000\,\text{m} \\ y_{\text{eltolt}} &= y + 650000\,\text{m} \end{aligned}, \qquad (2.2.30)$$

vagyis az x tengely nyugatra 650 km-rel, az y tengely pedig dél felé 200 km-rel van eltolva.

Az EOV szelvényhálózata

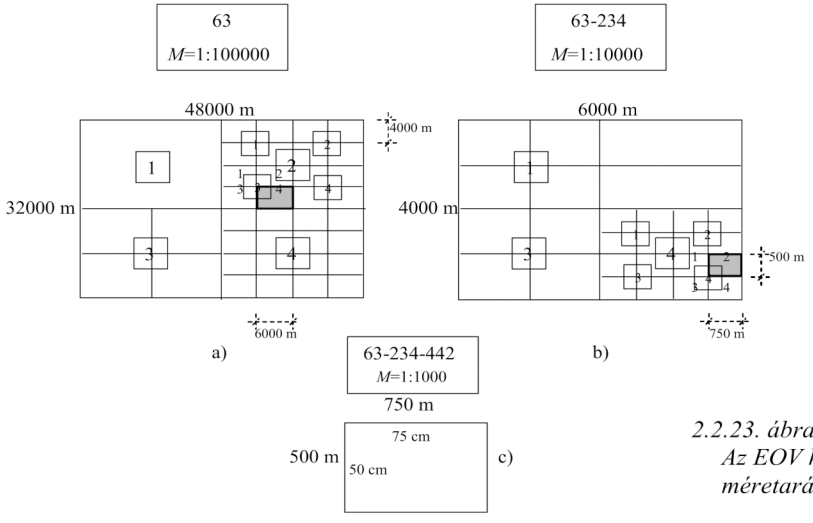
Az Egységes Országos Térképrendszer szelvényezésének alapját az y irányban 48000 m, az x irányban pedig 32000 m nagyságú 1:100000 méretarányú szelvények képezik. A 2.2.22. ábrán látható, hogy az 1:100000 méretarányú szelvények száma a szelvénysorok, illetve a szelvényoszlopok 0-tól induló sorszámaiból tevődik össze. Az ábra sarokpontjainak koordinátái:

$$x_{\text{alsó}} = 32000\ \text{m}; \quad x_{\text{felső}} = 384000\ \text{m}$$
$$y_{\text{bal}} = 384000\ \text{m}; \quad y_{\text{jobb}} = 960000\ \text{m}\ .$$



2.2.22. ábra: Az EOV szelvényhálózata. Az 1:100000 méretarányú szelvények

Az 1:100000 méretarányú szelvényekből az 1:50000, 1:25000 és 1:10000 méretarány-sor térképlapjait mindig a sor 1-gyel lejjebb lévő méretarányú szelvényéből, annak negyedelésével kapjuk (2.2.23a. ábra). A szelvények számozása az ábrából követhető nyomon. Az 1:10000 méretarányú szelvények számozására példát a 2.2.23b. ábrán látunk. Az 1:10000 méretarányú szelvények további negyedelésével jutunk el az 1:4000 és 1:2000 méretarányú szelvényeken át az 1:1000 méretarányú szelvényhez. Ennek méretét és számozását a 2.2.23c. ábrán láthatjuk.



2.2.23. ábra:
Az EOV különböző méretarányú szelvényei

Az 1:100000, az 1:50000 és az 1:25000 méretarányú szelvények lapmérete megegyezik, 48 cm * 32 cm, hiszen a méretek feleződnek, a méretarány pedig kétszereződik. Az 1:25000 méretarányról az 1:10000 méretarányra való áttérésnél a méretek feleződnek, de a méretarány két és félszeresére nő, s így az 1:10000 méretarányú térkép lapmérete:

$$[48 \cdot (2{,}5 : 2) = 60\,\text{cm}] \cdot [32 \cdot (2{,}5 : 2) = 40\,\text{cm}].$$

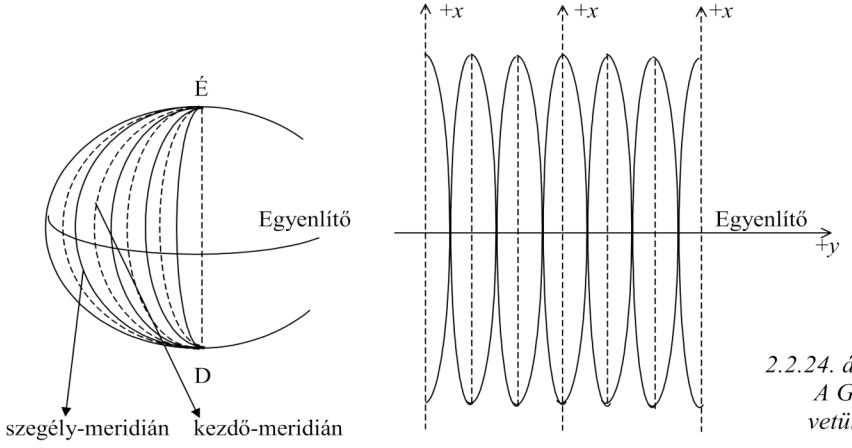
Hasonló a helyzet az 1:10000 méretarányról az 1:4000 méretarányra való áttérésnél: $60 \cdot (2{,}5 : 2) = 75\,\text{cm}$ és $40 \cdot (2{,}5 : 2) = 50\,\text{cm}$. Az 1:2000 és 1:1000 méretarányú lapok lapmérete ugyanez. Magyarországon EOTR szelvényezésben 1:100000, 1:25000 és 1:10000 méretarányú topográfiai térképek készülnek, 1:50000 méretarányú térkép EOTR szelvényezésben nem készül. A nagyobb méretarányú földmérési alaptérképeket ma már kizárólag EOTR szelvényezésben készítik.

A Gauss-Krüger vetület

Az eddig megismert vetületek mind *kettős vetítésűek*, először az ellipszoidról a Gauss-gömbre, majd a gömbről a síkra, vagy hengerre történik a vetítés. A Gauss-Krüger vetületnél a vetítés közvetlenül az ellipszoidról történik. Maga a vetület az 1950-es évektől kezdve az akkori szocialista rendszer katonai együttműködésének térképészeti alapját szolgáltatta azzal, hogy a vetület – eltérően az eddig tárgyalt, csak helyi jelleggel alkalmazható vetületektől – kiválóan alkalmas nagy területek egybefüggő, csatlakozó ábrázolására. A volt Szovjetúnió – melynek hatalmas területét az eddig ismertetett vetületekhez hasonló vetületekben ábrázolni nem lehetett – a Gauss-Krüger vetületet 1946-ban vezette be, majd később használatát a kelet- és közép-európai országokban is kezdeményezte. A hazánk területéről rendelkezésre álló 1:25000 és 1:50000 méretarányú topográfiai térképek katonai térképek. A Gauss-Krüger és a hozzá hasonló nemzetközi vetületek (UTM vetület) igen hasznosak a *nemzetközi tudományos együttműködés* szempontjából, valamint lehetővé teszik a korszerű geodéziai technológiák egységes alkalmazását.

A Gauss-Krüger vetület (2.2.24. ábra) *egymáshoz kapcsolódó vetületi rendszerek összessége*. A vetítés minden rendszernél az ellipszoidot kiválasztott ellipszoidi meridiánok mentén érintő - transzverzális – elhelyezésű ellipszoidi hengerek felületére történik. A hengerek ún. képzetes hengerek, a vetítést rájuk tisztán matematikai megfontolások alapján (vagyis

geometriailag nem szemléltethetően) hajtják végre, abból a szempontból kiindulva, hogy a vetület szögtartó, vagy legalábbis *igen jó közelítéssel szögtartó* legyen. A kiválasztott ellipszoidi meridiánok a kezdőmeridiánok, az ellipszoidot az ún. meridiánellipszisek mentén érintik. Ezek képe a Gauss-Krüger vetületi rendszer egyenesként leképződő x tengelye. Az ellipszoidi egyenlítő képe a kezdőmeridiánra merőleges egyenesként leképződő y tengely.



2.2.24. ábra: A Gauss-Krüger vetület

Az egymással szomszédos vetületi rendszerek alapját az egymáshoz képest $\Delta\Lambda$ szögértékkel elforgatott helyzetű hengerek alkotják. Az egyes rendszerek önálló vetületi sávot képeznek és a szegélymeridiánok mentén csatlakoznak egymáshoz. Az egyes vetületi sávokon belül a *vetületek törvényszerűségei teljesen megegyeznek*, ezért a vetület az egész földfelület egységes rendszerben történő ábrázolására alkalmas.

Az egyes vetületi sávok szélessége a vetület alkalmazásának céljától, illetve ezen keresztül a hossztorzulás megengedett mértékétől függ. Magyarországon a topográfiai térképeknél a $\Delta\Lambda = 6^0$-os, a nagyobb méretarányú térképezés céljára a $\Delta\Lambda = 3^0$-os sávszélességet állapították meg. A 3^0-os sávoknál a hossztorzulás mértéke a sávok szélein $1{,}8 \cdot 10^{-4}$, tehát a megengedett $1/10000$ értéket meghaladja. A 6^0-os sáv szélén a hossztorzulás mintegy $6{,}7 \cdot 10^{-4}$.

A vetületi sávok *nemzetközi számozása* a Greenwich-csel átellenes meridiánnal kezdődik.

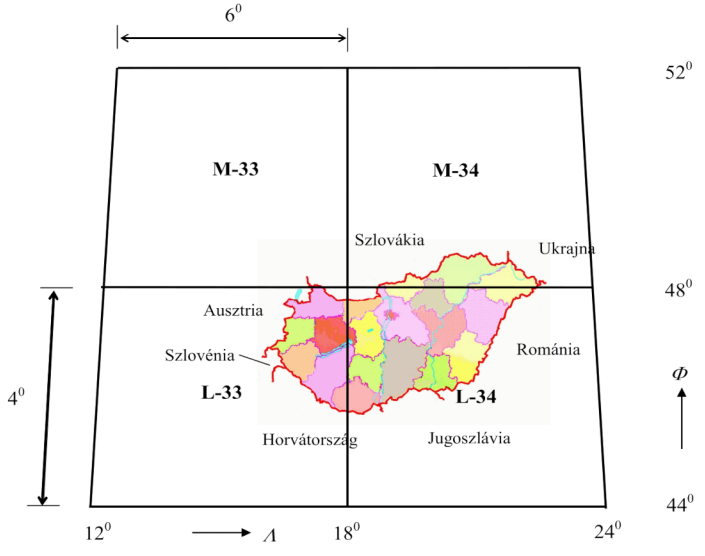
A 6^0-os nemzetközi sávbeosztásban hazánk a 33. és 34. sorszámú sávokba esik (2.2.25. ábra). A kezdőmeridiánok földrajzi hosszúságai: a 33. számú sávé $\Lambda=15^0$, a 34. számú sávé $\Lambda=21^0$.

A 3^0-os sávbeosztás kezdőmeridiánjainak megválasztásánál célszerű a 6^0-os sávokhoz alkalmazkodni: az egyes sávok kezdőmeridiánjainak földrajzi hosszúságai Greenwich-től keleti irányban 0^0, 3^0, 6^0, … , 12^0, 15^0, 18^0, 21^0, 24^0. Noha hazánk nyugat-keleti kiterjedése csak 7^0, a nemzetközi sávbeosztásnak megfelelően a 3^0-os sávbeosztásnál négy sáv szükséges, a 15^0, 18^0, 21^0, 24^0 földrajzi hosszúságú kezdőmeridiánokkal. Ez kétségkívül hátrány az ország területének térképi kezelése szempontjából, ezért a nagyméretarányú térképezésnél nem tudott meghonosodni.

A hossztorzulás mértéke a kezdőmeridiántól $y \approx \pm 90$ km-re éri el az $U = 1/10000$ értéket, ez Magyarországon mindössze $1{,}2^0$ – nak, vagyis $2{,}4^0$ sávszélességnek felel meg. Az x tengely mentén – mivel az a kezdőmeridián képe – hossztorzulás nincs.

A Gauss-Krüger vetület szelvényhálózata

A Gauss-Krüger vetület szelvényhálózatának alapja az 1:1000000 méretarányú szelvény. A szelvényeket az Egyenlítőtől észak felé 4^0-onként az ABC nagybetűivel, a Greenwich-csel ellentétes meridiántól 6^0-onként arab számokkal számozzák (2.2.25. ábra).



2.2.25. ábra: A 6^0-os nemzetközi sávbeosztás Magyarországon

A 2.2.25. ábrán látható szelvények (pld. az L-34) méretaránya 1:1000000. A szelvények lapmérete csak a meridiánok mentén változatlan, kelet-nyugati irányban a földrajzi szélesség növekedésének függvényében csökken. E miatt a Gauss-Krüger vetület *alkalmazhatósági határa* az Egyenlítőtől mind északra, mind délre mintegy $\Phi = 80^0$-ra tehető.

Az 1:1000000 méretarányú szelvények továbbosztása az 1:1000000 méretarány után választott következő méretaránynak megfelelően történik úgy, hogy a lapméretek ne, vagy csak kevéssé változzanak. A különböző szelvénybeosztások is megtalálhatók a (Bácsatyai, 1993, „Magyarországi vetületek") c. tankönyvben.

A leggyakrabban – így Magyarországon is – az 1:1000000 méretarányú szelvényt 12*12 = 144 részre osztják és minden egyes így kapott 1:100000 méretarányú szelvényt arab számokkal jelölnek, a 2.2.26. ábrán bemutatott módon. Az ábrán sraffozással jelölt 1:100000 méretarányú szelvény száma L-34-13.

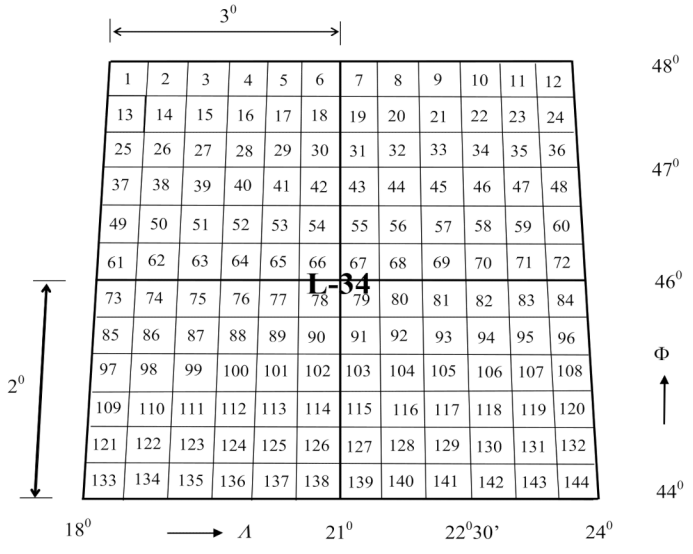
A nagyobb méretarányú szelvények számozása az 1:100000 méretarányú szelvények számozásából kiindulva történik.

Az 1:50000 méretarányú szelvénylapokhoz az 1:100000 méretarányú szelvény negyedelésével jutnak és azokat az A, B, C és D nagy betűkkel jelölik, pld. L-34-13-A (2.2.27. ábra).

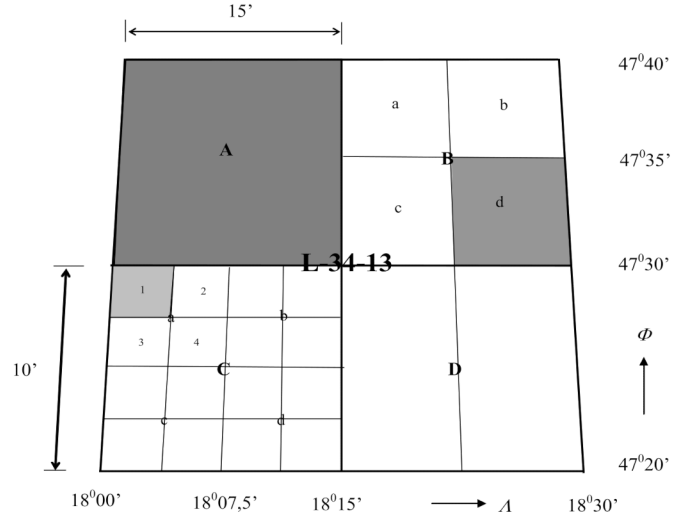
Az 1:25000 méretarányú szelvény az 1:50000 méretarányú szelvény ¼-e. Ezeket a szelvényeket a kis a, b, c, és d betűkkel jelölik, pld. L-34-13-B-d (2.2.27. ábra).

Végül, az 1:10000 méretarányú szelvényt az 1:25000 méretarányú szelvényből további negyedeléssel kapják és az arab 1, 2, 3 és 4 számokkal jelölik, pld. L-34-13-C-a-1 (2.2.27. ábra).

Egy-egy 1:10000 méretarányú lapon mintegy 5km * 5km –es területet ábrázolhatunk, a térképlap nagysága mintegy 0,5m * 0,5m.



2.2.26. ábra: Az 1:1000000 méretarányú Gauss-Krüger szelvény felosztása



2.2.27. ábra: Az 1:100000, 1:50000, 1:25000 és 1:10000 méretarányú Gauss-Krüger szelvények

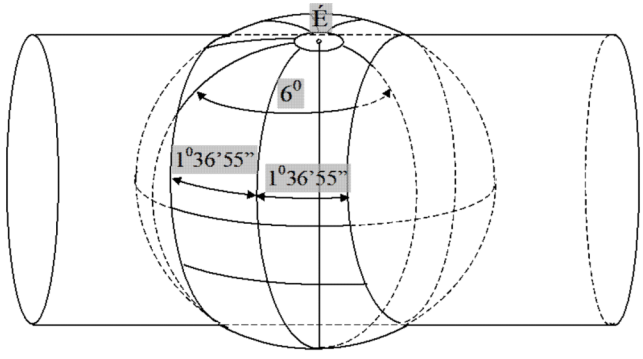
A Gauss-Krüger vetületű szelvénylapokat bal és jobb oldalon a meridiánok, felül és alul a szélességi körök határolják. A földrajzi koordináták térkép alapján történő közelítő meghatározása céljából a térképszelvényen fokbeosztásos keret található, amelyen mind a négy oldalon a szomszédos szelvények számát is feltüntetik.

A fokbeosztás mellett – a sztereografikus, ferdetengelyű hengervetületek és az EOV-hez hasonlóan - a Gauss-Krüger szelvényeken is található koordinátahálózat. A szelvények kelet-nyugati irányú lapméretének csökkenése miatt a koordinátahálózat vonalai összetartanak.

A Gauss-Krüger vetületű térképeket Magyarországon 1966-tól kezdődően polgári célokra is alkalmazták. Az ez évtől készült térképek jelölése eltér a fentiekben ismertetett nemzetközi jelöléstől.

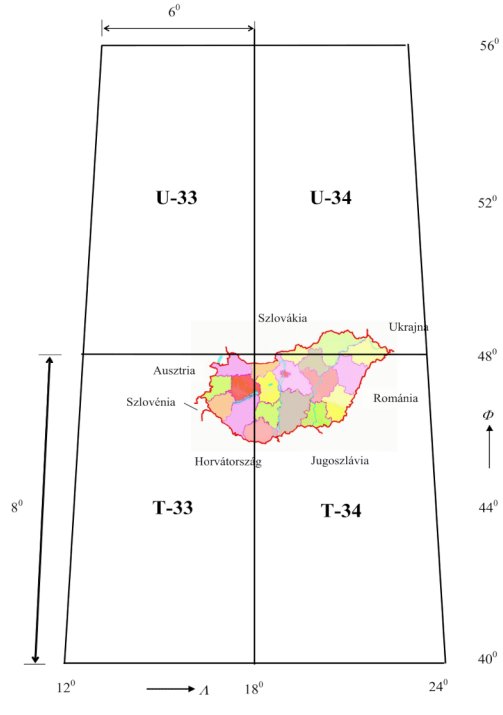
Az UTM-vetület

Az UTM- (Universal Transverse Mercator) vetületnek Magyarországon nincsenek hagyományai. A vetületet (2.2.29.ábra) eredetileg az Amerikai Egyesült Államokban használták, 1950-től a NATO államok térképezési vetülete. Hazai jelentősége két okból is előtérbe került, egyrészt, Magyarország 1999 márciusától a NATO teljes jogú tagja lett, másrészt, a korszerű, globális helymeghatározó rendszerek (GPS) egyes vevői lehetővé teszik, hogy az UTM-vetületre vonatkozó koordináták is közvetlenül kijelezhetők legyenek. A Magyar Honvédség Térképész Szolgálata a Gauss-Krüger szelvényezésű térképein már a NATO-csatlakozás előtt az UTM szelvényhálózati vonalakat is feltüntette.



2.2.28. ábra: A süllyesztett transzverzális ellipszoidi vetület

Az UTM-vetület – a Gauss-Krüger vetülethez hasonlóan – az ellipszoid egyenlítői elhelyezésű (transzverzális) szögtartó hengervetülete (2.2.28. ábra). A Gauss-Krüger vetülettől csak abban különbözik, mint az EOV az érintő ferdetengelyű hengervetületektől (2.2.21.ábra),



2.2.29. ábra: Az UTM vetület nemzetközi sávbeosztása Magyarországon

vagyis az ellipszoidi henger a *meridiánellipszisnél* kisebb méretű és a kezdőmeridiánra szimmetrikus helyzetű két ellipszis (az ún. normálellipszis) metszi az ellipszoidot. A hossztorzulás értéke ezért nem a kezdőmeridián, hanem a két normálellipszis mentén zérus, a két normálellipszis között negatív, azokon kívül pozitív. A Gauss-Krüger vetülethez hasonlóan az UTM-vetület szélső alkalmazhatósági határa is mintegy $\Phi = 80^0$.

Az UTM-vetület szelvényezési rendszere hasonló a Gauss-Krüger vetületéhez, a kezdőmeridiánok a Greenwich-csel ellentétes meridiántól indulva 6^0-os sávokat alkotnak. A Gauss-Krüger vetülettel szemben viszont a rétegek nem 4^0, hanem 8^0-osak. A szintén nagy latin betűs réteg jelölések a Déli sarknál kezdődnek, az egyenlítőtől északra az első réteg jelölése **N**. E jelöléseknek megfelelően hazánk az UTM-vetület 33. és 34. sávjába, valamint a **T** és **U** jelölésű rétegekbe esik (2.2.29. ábra).

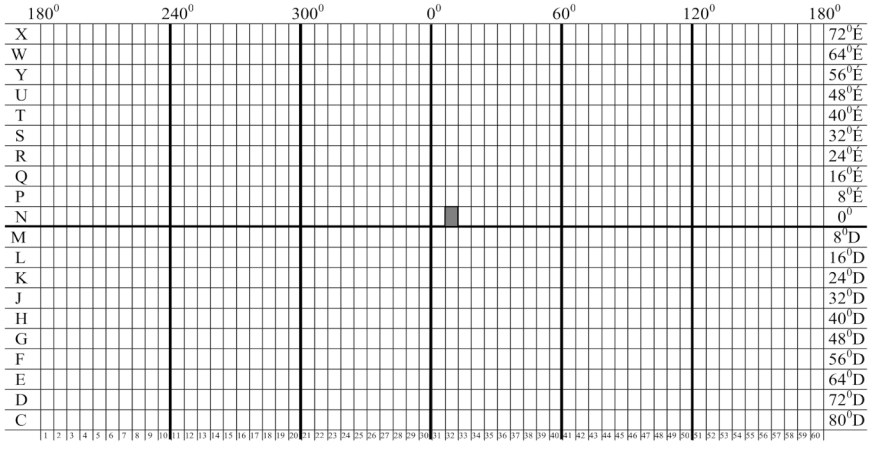
Az UTM-vetületnél a redukálás mértéke $h_0 = 0{,}9996$.

Az UTM-vetület koordináta azonosítási rendszere

A földfelszín $6^0 \cdot 8^0$-os sáv-, illetve rétegbeosztását sematikusan a 2.2.30. ábrán mutatjuk be. Minden egyes $6^0 \cdot 8^0$-os szelvény száma a 6^0-os sáv sorszámából és a 8^0-os réteg betűjeléből tevődik össze, így pld. az ábrán sötétítve jelölt szelvény száma 32**N**. A $6^0 \cdot 8^0$-os szelvényeket 100km*100km nagyságú négyzetekre osztják (2.2.31. ábra).

A 100 km * 100 km-es négyzeteket a következőképpen jelölik: a négyzetek első betűje a 180^0-tól kelet felé haladva A-tól Z-ig (összesen 24 betű: A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L, M, N, P, Q, R, S, T, U, V, Y, W, X, Z) tart. A 24 betűvel összesen 3 db 6^0-os sávot fognak át, utána újból kezdik a számozást. A második betű az Egyenlítőtől északra és délre haladva páratlan sávban A-val, páros sávban (2.2.31. ábra) F-fel kezdődik. Fentieknek megfelelően például a 32N számú, $6^0 \cdot 8^0$-os kiterjedésű szelvényben ábrázolt P pont (2.2.31. ábra) hálózati megjelölése a következő szelvényszámmal történik: 32NPH. A hálózat további sűrítése a 100 km * 100 km nagyságú szelvény további tízes aláosztásával történik. Ezeket a megfelelő oszlop és sor számával, arab számokkal jelölik. Megfelelő sűrítéssel a pont helyét az UTM koordinátákon kívül a pontra vonatkozó szelvényszámmal is azonosítani lehet.

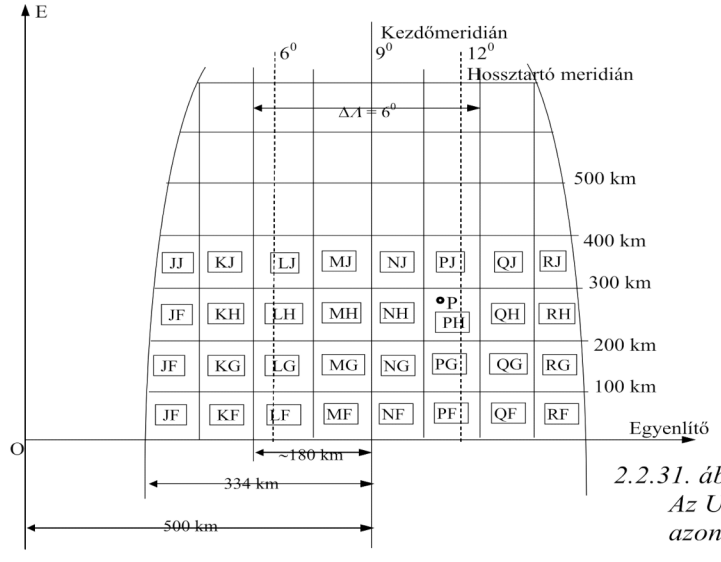
Az Egyenlítőtől északra és délre haladva, természetesen, a 2.2.31. ábrán az Egyenlítőnél közelítőleg érvényes méretek csökkennek.



2.2.30. ábra: A földfelszín UTM vetületi sáv-, ill. rétegbeosztása

Az azonosításra példát a 2.2.31. ábrán láthatunk:

Hálózati megjelölés:
100 km-es egységben: 32NPH
10 km-es egységben: 32NPH28
1 km-es egységben: 32NPH2682
100 m-es egységben: 32NPH263824
10 m-es egységben: 32NPH26318241
1 m-es egységben: 32NPH2631282417



2.2.31. ábra:
Az UTM-vetület azonosítási rendszere

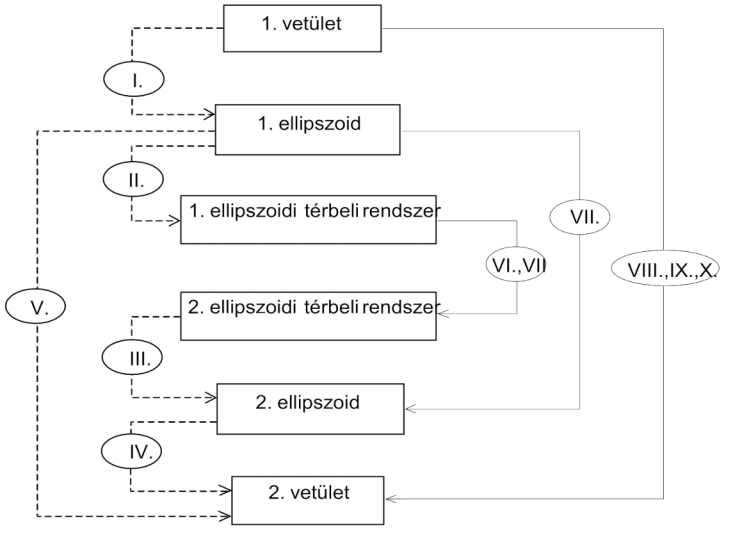
2.2.3. Átszámítások a koordinátarendszerek között

A globalizáció, a különböző nemzetközi szervezetekhez való kapcsolódás, a számítástechnika rendkívül gyors fejlődése következtében a már mindennapos használatban is egyre szélesebb körben elterjedő földrajzi információs rendszerek, a korszerű geodéziai mérési technológiák (elsősorban a globális helymeghatározó rendszerek), de a magyarországi térképrendszerek sokfélesége is egyre inkább megköveteli a különböző *tér- és síkbeli koordinátarendszerek közötti átszámításokat*.

Szigorú, zárt képletekkel való átszámítások csak az azonos vonatkozási ellipszoidhoz tartozó koordinátarendszerek között végezhetők. Minden egyéb esetben az átszámítás csak olyan *közelítő függvényekkel* történhet, amelyeknek együtthatói mindkét koordinátarendszerben ismert koordinátájú, ún. azonos, vagy közös pontok alapján határozhatók meg. Az ismert koordináták számának meg kell egyeznie a meghatározandó együtthatók számával, vagy azt meg kell haladnia. Az utóbbi esetben a feladat *túlhatározott* egyenletrendszer megoldásához vezet, a túlhatározottságot valamilyen kiinduló feltétel felhasználásával szüntetjük meg. A geodéziában a kiinduló feltételt a legkisebb négyzetek elvéből kiindulva fogalmazzák meg. Az utóbbival a 4. fejezetben ismerkedünk meg.

A 2.2.32. ábrán az ellipszoid középpontú térbeli derékszögű *X, Y, Z* koordináták, a *Φ, Λ* földrajzi koordináták, a *H* ellipszoidi magasság (2.2.10. ábra), valamint a vetületi *y, x* koor-

dináták (2.2.12 a) és b) ábrák) közötti átszámítási utakat foglaljuk össze. Megjegyezzük, hogy a felsorolt átszámításokon túl más módszerek is léteznek.



2.2.32. ábra: Átszámítási variációk a különböző koordinátarendszerek között

Az I., II., III., IV. és V. a szigorú, a a VI., VII., VIII., IX. és X. az azonos pontokon alapuló közelítő megoldások.

A magyarországi *vetületi koordinátarendszerek* közül szigorú átszámítás a sztereografikus és a három ferdetengelyű hengervetület között lehetséges, éspedig az I., és a V. számú átszámítások egymás utáni végrehajtásával. A VIII., IX. és X. sík transzformációk megfelelő pontossággal csak *síknak tekinthető kis területen* alkalmasak átszámításra, a VI. és VII. átszámítási eljárások elvileg az egész ország területére érvényes egységes, viszonylag pontos (1 m alatti átszámítási pontosságot biztosító) együttható készlettel végezhetők el. Nagyobb pontossághoz itt is az azonos pontok területi elhelyezkedésének korlátozására van szükség.

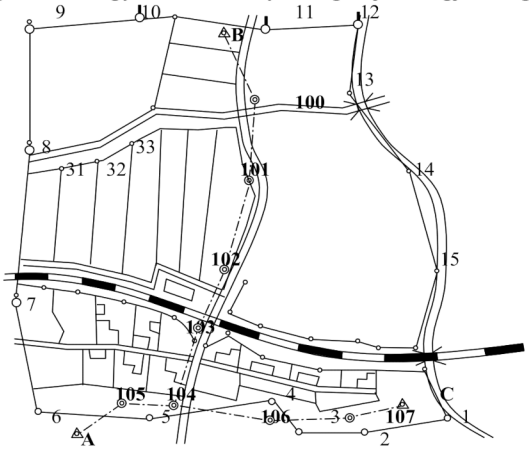
Szigorú az átszámítás a Gauss-Krüger és az UTM vetületek szomszédos vetületi sávjai között, pld. a 6^0-os nemzetközi sávbeosztásnál a $\Lambda=15^0$ és a $\Lambda=21^0$ közép-meridiánú, vagy a 3^0-os sávbeosztásnál a a $\Lambda=15^0$ és a $\Lambda=18^0$ közép-meridiánú sávok között.

Az átszámításokhoz ma már többnyire megfelelő pontosságú szoftverek állnak rendelkezésre.

2.3. A térképezés mérési pontrendszere

A geodéziai mérések célja – mint tudjuk - a *térképezés célja* szerint kiválasztott objektumok helyének, alakjának, méreteinek meghatározása. E művelet végzéséhez ismernünk kell az objektumok közvetlenül térképezendő alakjelző pontjait. Ezen alakjelző pontok neve részletpont. Ezeket többnyire a természet, vagy az ember építő tevékenysége maga jelöli ki, mint pld. patakpart, a házak, létesítmények sarokpontjai. Kivételesen szükség lehet a részletpontok ideiglenes megjelölésére. Például, erdőrészlet, újulat határok térképezésekor a részlethatárok jellemző pontjainak a helyét célszerű – legalább a mérés időtartamára - valamilyen módon megjelölni.

Ha – függetlenül attól, hogy részletpontjainkat maga a természet, vagy mi jelöltük ki - méréseinket úgy akarnánk elvégezni, hogy egymásután mérnénk fel a térképen ábrázolni kívánt részterületeket és ezekből akarnánk összeállítani a térképünket, akkor az elkerülhetetlen mérési hibák miatt a részleteket nem tudnánk egységes egésszé összeilleszteni. Ezért feltétlenül szükséges, hogy a részletpontok mérését egy *magasabb rendű* mérés előzze meg, amely szilárd keretül szolgál, s amely keretbe méréseinket be tudjuk illeszteni. Ezeket a magasabb rendű pontokat alappontoknak nevezzük. Az alappontok általában nem jelölnek meg részlethatárokat, szerepük a készítendő térkép szempontjából *kizárólag eszmei*, csak a további mérések céljait szolgálják. Az 2.3.1. ábrán bemutatott térképrészleten például a A, B, C, ill. a 101-től 107-ig számozott pontok alappontok, vannak részletpontjaink, amelyek birtokhatárokat jelölnek, ilyenek az ábrán 1-től 6-ig terjedő határdombok, 7-től 9-ig számozott határkövek, 10-től 12-ig számozott határoszlopok. Vannak pontjaink, amelyeken a természetben nincsenek mérési jelek, ezeket csak a mérés tartama alatt jelöljük meg. Ilyenek a 31-33 szántó határpontok, vagy a 13-16, folyóvíz partját megjelölő pontok, vagy az épületek sarokpontjai.



2.3.1. ábra: Alap- és részletpontok

Az alappontok közül az A, B és C jelűek láthatóan „fontosabbak” a térképezés szempontjából, mint a 101-107 jelűek, hiszen meglétük láthatóan szükséges utóbbiak meghatározásához. Az A, B és C pontok „felsőbb”-, a 101-107 pontok „alsóbbrendű” alappontok, meghatározásuk során hierarchia érvényesül: először az A, B és C, majd rájuk támaszkodva a 101-107 alappontokat kell meghatározni. A részletpontoknál egymásra épülő hierarchia nincs, de ábrázolásuk fontossága, az ún. rendűség szempontjából szintén megkülönböztetjük ezeket.

Az alappontok és a részletpontok együttes rendszere a térképezés mérési pontrendszere.

A részletpontok meghatározása az alappontokra támaszkodva történik, s utóbbiak a későbbi térképezés célját is szolgálják. Ezért az alappontokkal szemben mind azok megőrzése, mind pedig pontossága szempontjából nagyobb követelményeket támasztunk.

Az alappontok megőrzése a pontok helyének állandó megjelölését, ún. állandósítását kívánja meg, a pontosságról megfelelő műszer, mérési eljárás megválasztásával gondoskodunk. A hagyományos geodéziai mérések során az alappontok „összelátásának” biztosítására, ún. ideiglenes pontjelölésről is gondoskodnunk kell. A GPS mérésekhez nincs szükség az egyes pontok összelátására, s így az ideiglenes jelölésre sem.

Az alappontok csoportosítása területén különbséget kell tennünk a hagyományos geodéziai és a GPS mérésekkel létesített alappontok között.

A hagyományos geodéziai méréseknél és számításoknál a nagyból a kicsi felé haladás elvét követjük. Első lépés az országos alapponthálózat létrehozása, tekintet nélkül a részletpontok meghatározásának feladataira. Ezt követi az országos hálózat olyan mértékben való sűrítése, amely a részletpontok meghatározását, azaz a közvetlen térképezést lehetővé teszi. Végül a részletpontok meghatározása, s ennek alapján a térképezés következik.

A hagyományos országos alapponthálózat pontjait (az alappontokat) a már említett *hierarchia* miatt a köztük lévő távolság és meghatározásuk pontossága függvényében rendekbe soroljuk. Elfogadott elv, hogy a magasabb rendű hálózatot *„hibátlan”* kiindulásul elfogadva, az alacsonyabb rendű hálózatot ebbe illesztik bele. Ennek megfelelően beszélünk első-, másod-, harmad- és negyedrendű hálózatról. Az első-, másod- és harmadrendű hálózatot összefoglaló néven felsőrendű hálózatnak nevezzük. A részletpontok közvetlen meghatározására a további alappontok létesítése ötödrendű alappontsűrítéssel, illetve a felmérési alappontok meghatározásával történik. A negyed és ötödrendű, valamint a felmérési alappontok alkotják az alsórendű hálózatokat.

A geodéziában hagyományosan a vízszintes és a magasság fogalmak az alapponthálózatoknál élesen elkülönülnek (2.2.1. ábra). Ezért külön vízszintes és külön magassági alapponthálózatot hoztak létre: az Egységes Országos Vízszintes Alapponthálózatot (EOVA) és az Egységes Országos Magassági Alapponthálózatot (EOMA). A kétfajta hálózat létesítésekor az alappontok állandósítási módjainak megválasztásánál is teljesen elkülönülő szempontok érvényesülnek.

A GPS alapponthálózatnál – az *együttes háromdimenziós helymeghatározás*, a *3D-geodézia* következtében - a hálózati hierarchia, a GPS alappontok egymásra épülése nem érvényesül, így itt rendűségről nem beszélhetünk. Így érvényüket veszítik a vízszintes és magassági alappontokkal szemben támasztott állandósítási követelmények is. Más kérdés, hogy az Országos GPS Hálózat (OGPSH) kialakításakor jórészt már meglévő vízszintes alappontokat használtak fel.

2.3.1. Vízszintes alappontok jelölése

A vízszintes alappont-hálózatban végzett geodéziai mérések szempontjából bármely pont megjelöltnek tekinthető akkor, ha előállítunk egy olyan függőleges egyenest, amely keresztülmegy a szóban forgó ponton, illetve a függőleges egyenesen tetszőleges magasságban jelölünk meg egy pontot. Mint említettük, az alappontok jelölése lehet állandó és ideiglenes.

2.3.1.1. Vízszintes alappontok állandósítása

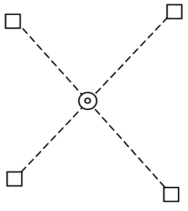
Az alappontok állandósítása alatt azok végleges megjelölését értjük. Célja a pontok fennmaradásának biztosítása azért, hogy azokat későbbi, esetleg évek múlva végrehajtandó méréseknél is felhasználhassák. A vízszintes alappontokat lehetőleg vegetációval kevéssé fedett, kiemelkedő helyeken kell elhelyezni, egymástól különböző távolságban aszerint, hogy hányadrendű alappontról van szó.

Az alappontok végleges megjelölése mindig több pontjelből áll:

- központos, biztosító föld alatti jel
- központos föld feletti jel
- őrpontok.

A *föld alatti jel* vagy jelek célja a pont megsemmisülésének megakadályozása, (a megsemmisült föld feletti jel helyreállítása) arra az esetre, ha a föld feletti jel a társadalom felszíni tevékenysége (mezőgazdasági művelés, útburkolat javítás, csőfektetés stb.) a tényle-

ges pontjelölés fennmaradását veszélyezteti. Az *őrpontok* szintén föld alatti jelek, amelyektől a pont távolságát pontosan lemérik.



2.3.2. ábra: Őrpontok

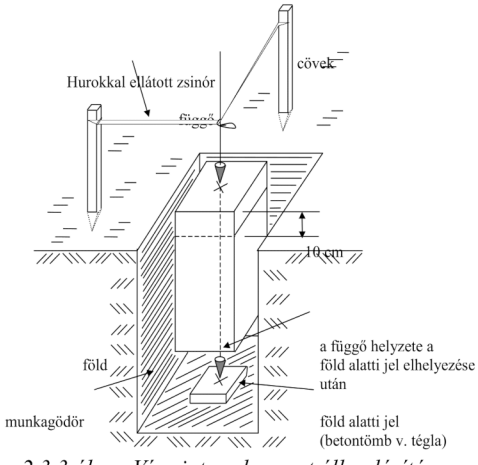
Az őrpontok száma rendszerint 4, amelyeket célszerűen úgy helyeznek el, hogy az őrpontok alkotta négyszög átlóinak metszéspontja jelölje ki a pont függőlegesét (2.3.2. ábra).

Az állandósítás módja a pont rendűségétől és az állandósítás helyétől függ. Külterületeken hazánkban az állandósítás szinte kizárólag kővel történik. A kő anyaga beton, ill. vasbetétes beton. Az alkalmazott kőméretek 25cm*25cm*90cm, 20cm*20cm*70cm és 15cm*15cm*60cm.

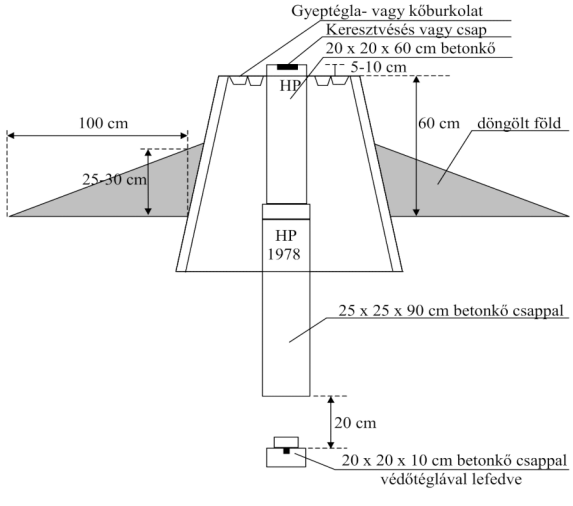
Az országos alappont-hálózat pontjainál föld alatti központos, biztosító jelként 30cm*30cm*20cm vagy 20cm*20cm*10cm méretű furatos fémcsappal ellátott betonkövet használnak, amelyre védőtéglát helyeznek el. Alsóbb rendű méréseknél a betonkövet keresztvéséses tégla helyettesíti.

Az állandósítás építési munkáinak végzésekor alapvetően fontos, hogy a föld alatti és a föld feletti jelek egy függőlegesben legyenek. Ennek a beállítását zsinórállás és zsinóros függő segítségével végzik. Egy egyszerű módját a 2.3.3. ábrán szemléltetjük.

Az országos alapponthálózat alappontjainak állandósítását szabályzatok írják elő. Így pld. a *negyedrendű pontokat* a 2.3.4. ábrán vázolt rajz szerint kellett állandósítani.



2.3.3 ábra: Vízszintes alappont állandósítása zsinórállás felhasználásával



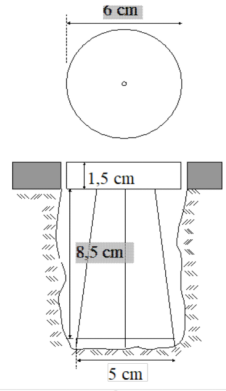
2.3.4. ábra: Negyedrendű alappont állandósítása

A negyedrendű alappontok állandósítása lakott területen kívül 25cm* 25cm*90cm-es, oldalán HP (háromszögelési pont) betűkkel és évszámmal ellátott kővel történik. A földalatti jel 20cm*20cm*10cm méretű betonkő. A létesített negyedrendű pontokat a mérések befejezése után ún. pontvédő berendezéssel látták el. A negyedrendű hálózat mérését már befejezték, természetesen a pontok fennmaradtak. Ha valaki használja ezeket, a pontvédő berendezést lebonthatja, sőt, a pontos mérésekhez erre szükség is van (többnyire nagyon nehéz műszerrel a pontvédő berendezés tetején felállni). A mérés befejezése után a pontot helyre kell állítani.

Beépített területen az alappontokat szilárd burkolaton leggyakrabban vascsappal állandósítják (2.3.5. ábra). Külső biztosító pontjelölésként ún. őrcsapokat alkalmaznak, amelyeket a közeli házak lábazatába ágyaznak, s mérik a pontok és az őrcsapok távolságát.

Különleges célú vizsgálatokhoz téglából, vasbetonból épített, mintegy ~ 120 cm magas négyzet keresztmetszetű hasábokat, ún. pilléreket alkalmaznak. Általában ezeket is ellátják föld alatti jellel. A pillér felső lapján szintén furatos csapot helyeznek el, amelyhez a műszert műszeralátéttel (pillérállvánnyal) csatlakoztatják.

A vízszintes alappontok megválasztásakor fontos szerepük van a nem geodéziai célra épített különleges pontjeleknek. Ilyenek a templomtornyok és a gyárkémények. Előbbieket az országos alappont hálózatban, utóbbiakat legfeljebb alsórendű méréseknél használják. E pontjeleken műszerrel többnyire nem lehet felállni, inkább irányzott jelként hasznosítják. A jeleket csak előírás szerint lehet irányozni, mást irányzunk a vízszintes és mást a magasságméréseknél (2.3.6. ábra). Ha állásponként akarjuk használni, mellettük többnyire csak külpontosan lehet felállni (5.2.45., 5.2.46, 5.2.64. ábrák).

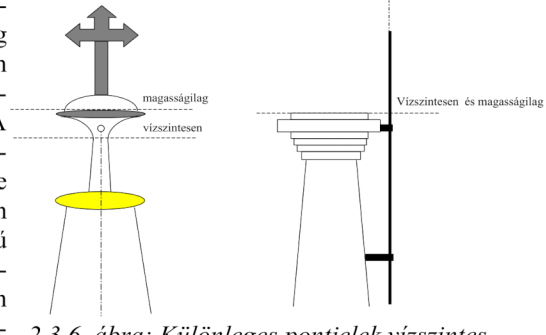


2.3.5. ábra: Állandósítás vascsappal

2.3.1.2. Vízszintes alappontok ideiglenes jelölése

Az alappontok ideiglenes megjelölésének célja a pontok megjelölése a *mérés időtartamára*, egyrészt azért, hogy a pont helyét a felszínen rögzítsük, másrészt, hogy a pontot távolról is láthatóvá tegyük.

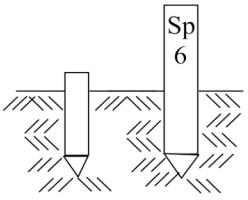
A *felmérési alappontokat általában* nem állandósítják, a mérés időtartamára ideiglenesen cövekkel jelölik meg (2.3.7. ábra). A cövek mintegy 5-8 cm átmérőjű ágfából készül 20-25 cm hosszúságban. Az alsó végét kihegyezik. A megjelölendő ponton a talajba annyira verik be, hogy talaj szintjéből csak 1-2 cm-re álljon ki. A pontot a cövek felső lapján egy bevésett kereszttel, vagy egy kisfejű szeggel jelölik meg. Mivel a mérést többnyire a megjelöléssel nem egy időben végzik, a terepen a cöveket meg kell találni.



2.3.6. ábra: Különleges pontjelek vízszintes és magassági értelmű irányzása

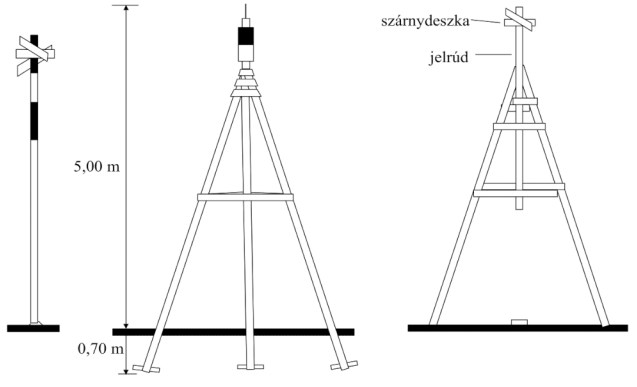
E célból, a mérés tervezett haladási irányában, jobb kéz felé, a cövektől mintegy 15-20 cm távolságban egy jelzőkarót (2.3.7. ábra) vernek. A *jelzőkaró* 30-35 cm hosszúságú, ágfából készül, erre írják rá, célszerűen zsírkrétával, a pont számát. Jól használható jelzőkarónak a *zsindely*.

Belterületen, aszfalttal burkolt területen, az ideiglenes megjelölés HILTI szeggel történhet. A pont számát festékkel a szeg mellett kell feltüntetni. Ha a pontra mérnek, azt mind a cövek, mind a szeg esetében (kitűzőrúddal) kell megjelölni (5.2.2.1. fejezet, 5.2.25. ábra).



2.3.7. ábra: Cövek és jelzőkaró

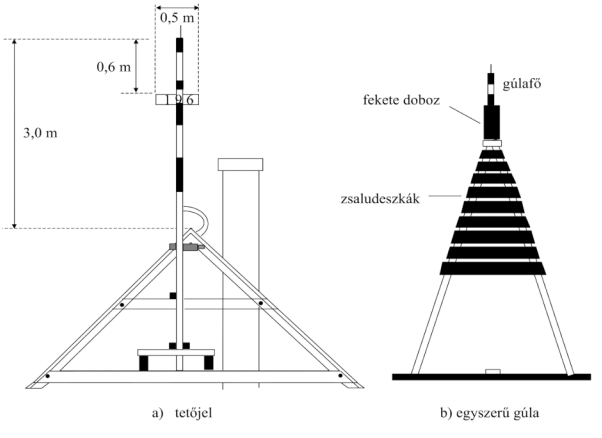
Az ideiglenes pontjelölések közé tartoznak a geodéziai műszerek különleges kiegészítő berendezései is (jeltárcsák, prizmák, 5.2.2.2. fejezet).



2.3.8. ábra: Ideiglenes pontjelek az alsórendű vízszintes hálózatban

Az ideiglenes jelölések módja függ a pont rendűségétől. A IV. és V. rendű alappontoknál a pontok láthatóvá tételére az alábbi ideiglenes pontjelöléseket használják (2.3.8. és 2.3.9. ábrák):

- jelrúd (2.3.8a. ábra)
- bipód
- tripód (2.3.8b. ábra)
- árboc (2.3.8c. ábra)
- tetőjel (2.3.9a. ábra)
- egyszerű gúla (2.3.9b. ábra)
- létraállvány.

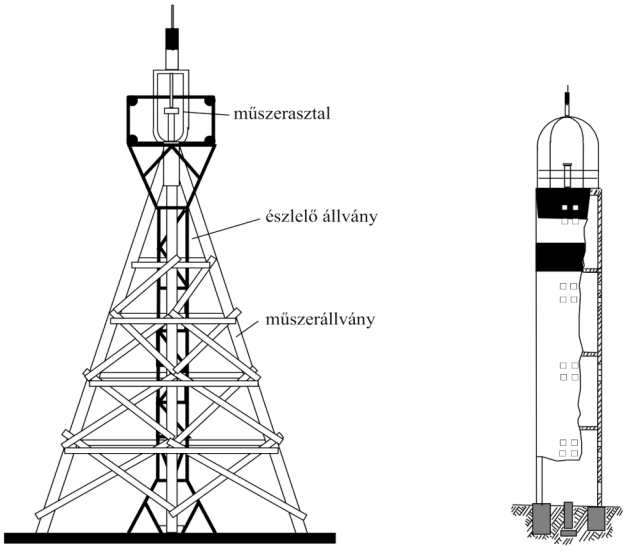


2.3.9. ábra: Ideiglenes pontjelek az alsórendű vízszintes hálózatban

A felsőrendű hálózatban az alappontok ideiglenes megjelölésére az állványos gúlákat, illetve a vasbeton mérőtornyokat (2.3.10a. és b. ábrák) alkalmazták.

Az állványos gúlák két egymásba épített, de egymással sehol sem érintkező állványból, a mérőműszert hordozó műszerállványból, valamint az észlelő (a mérést végrehajtó) személyek tartózkodását is lehetővé tevő, a padozatot hordozó észlelő állványból áll. A hazánkban alkalmazott állványos gúla típusok közül az Illés-féle gúlát emeljük ki. Ez a típus előre gyártott, *észlelő állványa* acél idomelemekből, *műszerállványa* előre gyártott faelemekből ké-

szült. Az előre gyártott elemek 8, 12, 16, 20 és 24 m magas szerkezetek építésére alkalmasak, lebonthatók, többször is felhasználhatók.



a) Illés-féle állványos gúla b) vasbeton mérőtorony

2.3.10. ábra: Ideiglenes pontjelek a felsőrendű vízszintes hálózatban

A *vasbeton mérőtorony* különleges jelnek is tekinthető, 3,5 m-es átmérőjű hengeres építmény, *4 m-es szintekre* osztották. A mérőműszer a végleges pontjelölés központjának (furatos csapjának) függőlegesében épített vasbeton pilléren helyezhető el. Ez a mérés szintje, ahová belső létrán juthatunk fel.

A GPS vevők üzemszerű elterjedése óta az ideiglenes jelek - mivel a pontok összelátására nincs szükség - veszítettek jelentőségükből.

Az országos alappontokról pontleírás készül. A „Vízszintes alappont leírása" c. dokumentum tartalmazza a pont számát, helyszínrajzát, a pont végleges megjelölésének típusát, helyét, valamint néhány szükséges egyéb adatot (2.3.11. ábra).

Az országos alappontokat előírásszerűen számozzák. A számozás szorosan összefügg az EOV szelvényszámozási rendszerével, annak az 1:50000 méretarányú szelvénynek a számával kezdődik, amelyen az alappont található (pld. a 2.2.13. ábrán 63-2). Ehhez csatlakozik a pont háromjegyű sorszáma. Ez utóbbiak az I. rendű pontoknál 001-től 009-ig, a II. és III. rendű pontoknál 011-től 049-ig, a IV. rendű főpontoknál (6.1.3.2. fejezet) 051-től 090-ig terjednek.

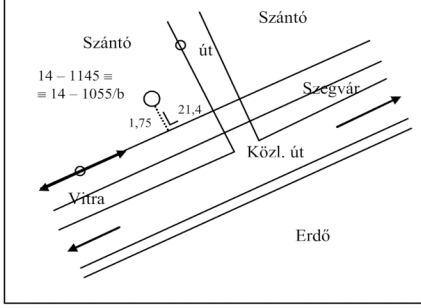
Példa:

I. rendű pont száma: 63-2003
II.-III. rendű pont száma: 63-2031
IV. rendű főpont száma: 63-2072.

VÍZSZINTES ALAPPONT PONTLEÍRÁSA

EOV			590 293, 69			89 337, 00	**A pont száma:**	**EOV** 14 - 1145 **régi** 14 – 1055b
TRANSZ-FORMÁLT	St	Y	+ 69 717,85	X	+	148 780,48		
	HKR		+ 69706,48		-	63 420,97	**Nyilvántartási térkép száma :** 14 - 11	
	St						**Község :** SZEGVÁR **Megye :** Kraszna **Meghatározta:** vállalat 1971 évben	

Helyszínrajz leírás :



Állandósította: Kis Pál
1971 évben 25 x 25 x 90 cm **méretű** HP **jelű** vasbeton **kővel**
A központ jele : furatos rézcsap
Föld alatti jel : 20 x 20 x 10 cm Betonkő csappal
Pontvédő ber: 20 x 20 x 60 cm HP 1971 jelű kő
felső kő 4 db vasbeton lappal körülvéve

Őrpontok :
:

Balti magasság :	**Helyszínelte :**
Kő : 219,87	vállalat 1978
F. a. jel : 218,61	
Ter :	
Munkaszám : n	**Nyilv. sz. :** m

2.3.11. ábra: Vízszintes alappont leírása

A negyedrendű pontok számozásánál az első 3 számjegy szintén az 1:50000 méretarányú szelvény száma, ezt követi az 1:25000 méretarányú szelvény száma, ill. annak 4-gyel növelt értéke. Az utolsó két számjegy 01 és 99 közé esik, azaz szelvényenként az utolsó 3 számjegy (zárójelben a teljes szelvényszámra mutatunk be példákat):

1-es szelvényen:	101-199,	501-599	(pld. 63-2138, 63-2545)
2-es szelvényen:	201-299,	601-699	(pld. 63-2219, 63-2624)
3-as szelvényen:	301-399,	701-799	(pld. 63-2305, 63-2713)
4-es szelvényen:	401-499,	801-899	(pld. 63-2438, 63-2831).

2.3.2. Magassági alappontok jelölése

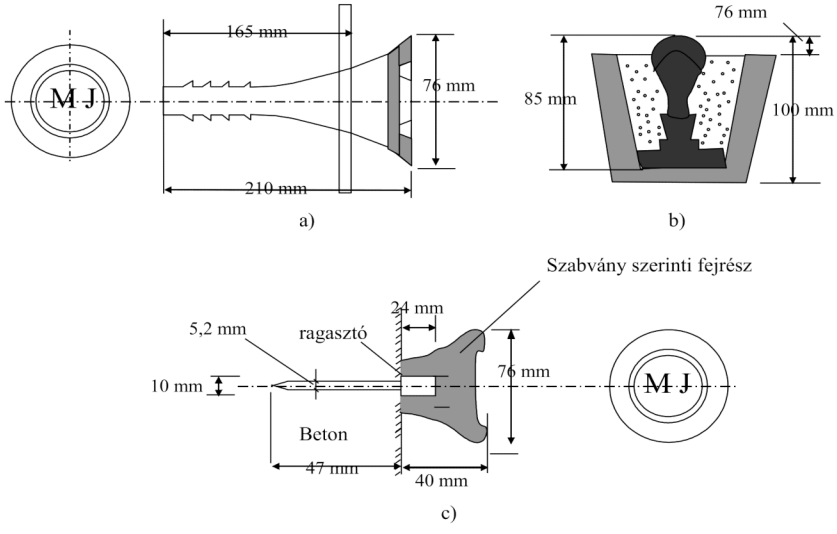
Mint láttuk, a vízszintes alappontok állandósításakor a kijelölendő függőleges helyzete az elsődleges, ezt a kőbe vésett kereszt, vagy a kőbe betonozott fémcsap biztosította. A magassági alappontokat geometriai szintezéssel határozzuk meg (5.2.4.1. fejezet), így végleges megjelölésüknél a *helyi vízszintes sík azonosíthatósága* a fontos. Ezért a magassági alappontok állandósításakor olyan gömbsüveg-, vagy ahhoz közeli felületeket alakítanak ki, amelynek „legfelső" pontjához tartozó vízszintes érintősík egyértelműen kijelölhető, „magasságilag" szintezőműszerrel és a pontra állított szintezőléccel rögzíthető.

A vízszintes alappontokhoz hasonlóan az *állandósítás módja* itt is függ a pont rendűségétől, valamint az állandósítás helyétől. Utóbbi esetben fontos szempont, hogy az alappontot lakott területen belül szilárd alapozású kő-, tégla, vagy vasbeton épület lábazatában vagy külterületen helyezzük el.

A magassági alappontokat hazánkban a következők szerint állandósítják, ill. állandósították:

- szintezési csappal (2.3.12a. ábra)
- szintezési gombbal (2.3.12b. ábra)
- belőtt szegre erősített csapfejjel (2.3.12b. ábra)
- normál szintezési kővel (2.3.13. ábra)

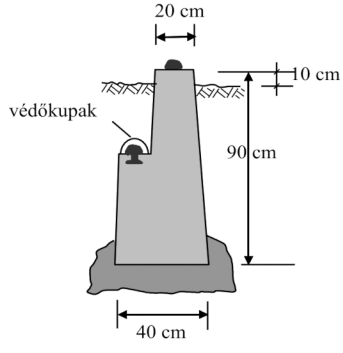
- mély alapozású szintezési kővel:
  1. fúrt lyukba csömöszölt betoncölöp (2.3.14a. ábra)
  2. földbevert acélrúd (2.3.14b. ábra)
- K (kéregmozgási) pont földbevert acélrudas állandósítása.



2.3.12. ábra: Magassági alappontok állandósítása

Az MJ a „magasságjegy” szó rövidítése.

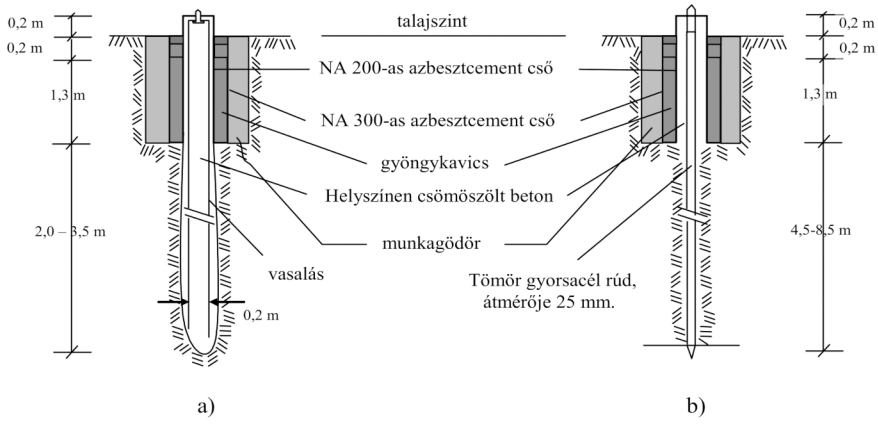
A *szintezési csapok* és *gombok* öntöttvasból készülnek, mindkettőt stabil alapozású épületek lábazatában ki kell ékelni és be kell betonozni.



2.3.13. ábra: Állandósítás szintezési kővel

A belőtt szeggel való állandósítást beton alapzatú épületek esetében használják. A belőtt szeg falból kiálló részére szintezési csapfejet csavaroznak úgy, hogy az szorosan tapadjon az épület falához. A csapfejet ebben a helyzetben megfelelő ragasztó anyaggal rögzítik. Mind a normál, mind a mély alapozású *szintezési kőnek* tökéletesen mozdulatlannak kell lennie. Ezért megfelelő mélységben készítik, a talaj milyenségétől függően.

Az ábrákon nem szereplő K pont ún. kéregmozgási pont. Ezek állandósításáról külön szabályzat, a „Kéregmozgási Szabályzat” rendelkezett. Az ország magassági alappontjaival szemben támasztott pontossági igényeken túl ezek a pontok tudományos kutatási célból is készültek, a földkéreg függőleges mozgásainak kimutatására.



2.3.14. ábra: Állandósítás mély alapozású szintezési kővel

2.3.3. GPS alappontok jelölése

GPS ALAPPONT PONTLEÍRÁSA			
A pont EOV száma: 61-2228		**Település:** Pinnye	
Kiválasztotta: Busics Imre, 1994		A pont jellege: HP	
Pontvédelem: csonkagúla		Spec. info.:	
EUREF89	*X*= 4125958,32	*Y*= 1242502,022	*Z*= 4686969,608
EUREF89 WGS-84	*Φ*= 47-35-51.6599	*Λ*= 16-45-33.4391	*H*= 191.473
EOV	*y*= 477952.56	*x*= 252943.19	m_{GPS}= 146.34

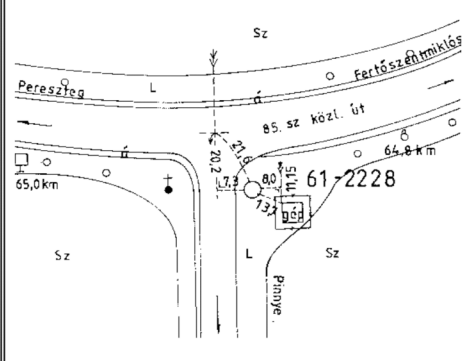
Megközelítési leírás

A 85-ös főút (Győr - Soproni) Pinnyei leágazásánál. Minden viszonyok között megközelíthető.

Megközelítési térkép 1 : 200 000



Helyszínrajz



m_{GPS} - GPS-szel meghatározott geoid feletti magasság

2.3.15. ábra: GPS alappont leírása

A 2.3.15. ábrán egy GPS–alappont leírását mutatjuk be. A pontleírás tartalmazza a pont EOV számát (a 2.3.15. ábrán ez negyedrendű pont), az alappont közelében lévő település nevét, továbbá a ponttal kapcsolatos néhány speciális információt. A pont megtalálását színes megközelítési térkép és helyszínrajz segíti. A GPS alappontoknak léteznek mind az EUREF89 (5.3.4. fejezet), mind az EOV koordinátái, azaz ún. *azonos*, vagy *közös pontok* , amelyek felhasználhatók a közelítő transzformáció paramétereinek számításához (2.2.3. fejezet)

Az Országos GPS Hálózat néhány pontja 13 speciális állandósítással készült: ezek az ún. kerethálózati pontok mozgásvizsgálati célra készültek és valamennyit sziklába ágyazással állandósították.

A nem mozgásvizsgálati célú pontok többségükben megegyeznek a vízszintes alappont-hálózat, elsősorban a negyed rendű hálózat pontjaival, ill. a meglévő pontok megfelelő átalakításával készültek (ilyenek az ún. "megfejelt" III. rendű pontok).

A 2.3.4 ábrán a negyed rendű alappontokra bemutatott vasbetonlapos védőberendezés helyett egyéb engedélyezett új pontvédő berendezések is alkalmazhatók. Ha a GPS vevővel csak külpontosan tudunk felállni, úgy annak állandósítása 20cm*20cm*10cm-es furatos rézcsappal ellátott betonkővel 60 cm-es talajszint alatti mélységben történik. A GPS alappontokat – ha szükséges – ideiglenesen szabatos antennahordozó jelekkel kell ellátni.

3. A térképi ábrázolás és a térképek használata

A térképi ábrázolás módját, formáját döntően a *térkép méretaránya és az ábrázolás technikája* (vonalas, tónusos – vektoros, raszteres, 2.1.2. fejezet) határozza meg. Az ábrázolás sajátosságai függnek attól is, hogy a síkrajzot, vagy a domborzatrajzot ábrázoljuk. Először a síkrajzzal, majd a domborzatrajzzal kapcsolatos alapvető ismereteket tárgyaljuk. A két problémakör élesen nem különíthető el, a hiszen a tárgyak mindig a térben helyezkednek el és a domborzat elemeit is a síkban kell ábrázolnunk.

3.1. A síkrajzi ábrázolás

3.1.1. A síkrajzi ábrázolás típusai

Egy adott nagyságú, de nagy, pld. 1:1000 méretarányú térképlapon (szelvényen) még fel tudjuk tüntetni a házak alaprajzát, a járda széleit, a kerítés vonalát, a fák helyét stb. Ezt az ábrázolást alaprajzhű ábrázolásnak nevezzük. Ha egy, az előzővel azonos nagyságú térképlapon 10-szer, 50-szer nagyobb területet akarunk ábrázolni (ekkor kisebb a méretarány), a tereptárgyak részletei annyira lecsökkennek, hogy a legvékonyabb vonalakkal sem tudjuk ábrázolni őket. Az alaprajzhű ábrázolásról ekkor át kell térnünk az egyezményes jelekkel történő ábrázolásra.

Az *egyezményes jel* fogalmán a földfelszín valamelyik tárgyának, vagy tárgycsoportjának többé-kevésbé elvonatkoztatott ábrázolását értjük. A jelek helyzethűen szemléltetik az ábrázolt tárgyakat, a tárgy helyét (forrás, út), minőségét (kiépített forrás, turistaút) és mennyiségét (vízhozam) is. A tárgyak tényleges helyzetét a jelek középpontja, vagy talppontja mutatja. Az ilyen ábrázolást helyzethű ábrázolásnak nevezzük.

Az ábrázolási jelek sokasága a jeleket a térképi ábrázolás nélkülözhetetlen eszközévé teszi, olyannyira, hogy még az alaprajzhű ábrázolásnál is alkalmazunk egyezményes jeleket, pld. az alappontok, oszlopok, közművek (aknafedél, kapcsolószekrény, stb.) jelölésénél. Egyezményes jel pld. az egyébként alaprajzhűen ábrázolt alakzatokat határoló vonalak típusa is, pld. a birtokhatárvonalakat folytonos vonallal jelölik, míg az ugyanazon tulajdonos birtokában lévő, de különböző művelési ágú területeket szaggatott vonallal választják el. Külön és rendkívül nagy kategóriát képviselnek a *tematikus (cél-) térképek* jelrendszerei, közöttük az *erdészeti térképek jelrendszere*.

Az egyezményes jelek kialakításánál törekedni kell arra, hogy a jelek minél egyszerűbbek legyenek és a térkép használója az egyezményes jelben megtalálja az ábrázolt objektum valamilyen jellemző tulajdonságát.

Az alkalmazott egyezményes jelek és a hozzájuk tartozó jelmagyarázatok gyűjteménye a jelkulcs. A jelek jelentését jelkulcs-táblázatban adják meg. A különböző típusú és méretarányú térképek jelkulcsai különbözhetnek, hiszen maguk a jelölendő tárgyak is változnak.

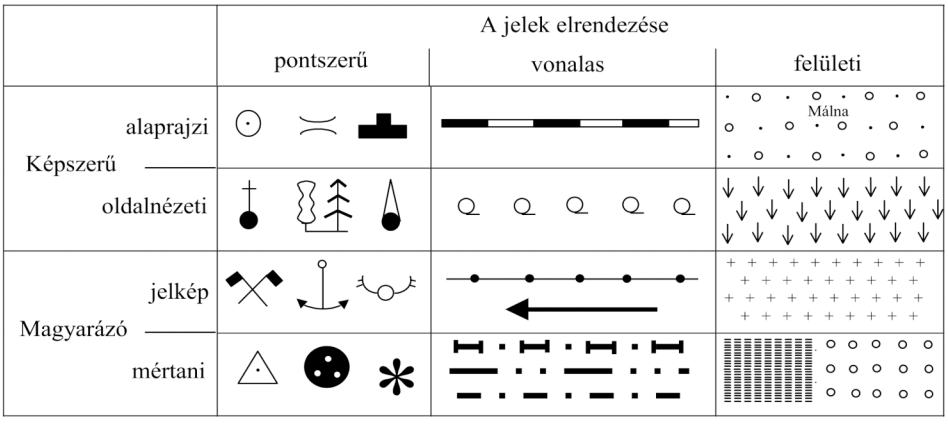
Alakjuk szerint a jelek lehetnek:

- *képszerű jelek*, amelyek a tárgy természetbeni képét idézik:
  - *alaprajzi jelek* (ház, híd, vasút, bozótos)
  - *oldalnézeti jelek* (templom, egyedülálló fa)
- *magyarázó jelek*, a tárgyra utaló jellemző alakú jelek:
  - *jelkép* vagy *szimbólum* (bánya, vadászház, kikötő)
  - *mértani jelek* (rézbánya, mozi stb.)

Elrendezésük szerint a jelek lehetnek:

- *pontszerű jelek* (kereszt, barlang)
- *vonalas jelek* (út, határ)
- *felületi jelek* (bozótos, temető).

A jelek csoportosítására a 3.1.1. ábrán mutatunk be példát.



3.1.1. ábra: Jelek csoportosítása

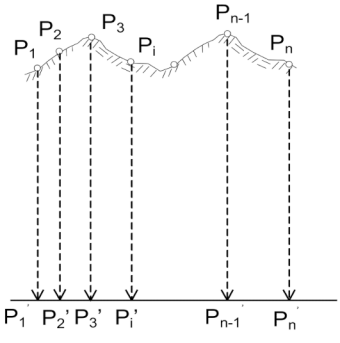
Egyezményes jelként használhatók a különböző színek (víz – kék, növényzet – zöld).

3.1.2. Raszteres és vektoros ábrázolás

A 2.1.2. fejezetben a térképeket *tónusos és vonalas* térképekre csoportosítottuk. Mindkét esetben feltétel, hogy a térbeli objektumok pontjait párhuzamos vetítősugarakkal vetítsük le (ortogonális, vagy derékszögű vetítés, 2.1.2. ábra). Innen származik az ortofoto (ortogonális fénykép) elnevezés is.

Mint láttuk (2.1.2. fejezet), a tónusos térkép digitális változata a *raszteres adatmodell*, a vonalas térkép digitális változata pedig a *vektoros adatmodell*. E két adatmodellre is igazak az eddig elmondottak, de a számítógépes tárolás és a modellek lehetőségei között jelentős különbségek vannak. Mindkét adatmodell több, mint az analóg változat, mert a térképi elemekhez (a geometriai, vagy helyzeti adatokhoz) azonosítókat (kódokat), illetve az objektumot jellemző leíró adatokat, attribútumokat rendelünk. Az adatmodellek tehát két lényeges összetevőből állnak:

- helyzeti, vagy geometriai adatok
- leíró adatok, vagy attribútumok.



3.1.2. ábra: Ortogonális vetítés

A tónusos térkép *analóg változata* a térképi elemekkel kiegészített, a térkép szelvényezési rendszerében elhelyezett fénykép, az ún. ortofoto térkép, a vonalas térkép analóg változata a mérettartó alapra, asztralon lapra, vagy papírra *szubjektív szelekcióval* készült, szerkesztett papír térkép. A fénykép mindent regisztrál, így több, mint a vonalas ábrázolás, ugyanakkor azonban, ill. éppen ezért sokszor tele van olyan elemekkel, amelyek a célirányos felhasználót zavarják. A fényképszerű térképeknek ezt a többlet tartalmát más irányban törekednek kihasználni, ilyenkor kerül előtérbe a minőségi értelmezés, a fénykép értelmezése, vagy, idegen szóval, fotointerpretáció.

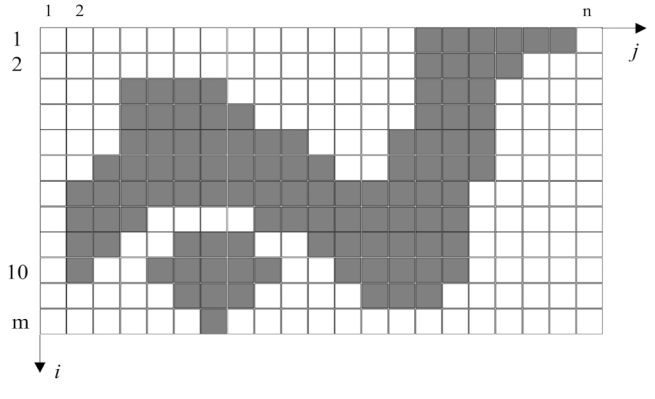
Az adatmodelleket, ill. a közöttük lévő különbségeket tekintjük át a továbbiakban.

Mindjárt előre bocsátjuk, hogy a földi adatgyűjtés, s ezen belül a geodéziai mérések (5. fejezet) célja vonalas térképek készítése, ill. ezek digitális változatainak, a vektoros adatmodelleknek az előállítása. Mind a földmérési alaptérképek, mind a topográfiai alap- és levezetett térképek vonalas térképek, így digitális változatuk a vektoros adatmodell törvényszerűségei szerint realizálódik. Ezt a tényt tükrözi a DAT (digitális alaptérkép) szabvány is. A *fotogrammetriai* úton előállított tónusos termékeket is vagy kiegészítik vonalas (vektoros) elemekkel, vagy a fényképi tartalom alapján állítják elő a vonalas terméket. A raszteres adatmodelleknek elsősorban a tematikus térképeknél van nagy jelentősége, ott azonban nélkülözhetetlenek. Megjegyezzük, hogy tisztán számítógépes szempontból nézve, a vonalas térkép is előállítható raszteres formában.

A *raszteres ábrázolás* során az eredeti digitális, vagy a raszteres digitalizálóval (szkennerrel, 5.4.1. fejezet) digitalizált képet szabályos, többnyire négyzetes képelemekből, a pixelekből (picture element: pixel), cellákból álló mozaik (angolul: tesselation, magyar helyesírással: tesszeláció) reprezentálja (2.1.4. ábra). Geometriai szempontból nézve a raszteres ábrázolás kizárólag felületekkel történő ábrázolást jelent, a pontok és vonalak is felületek formájában jelennek meg.

A raszteres adatmodell arra ad választ, hogy „mi található valahol”? Mi, milyen tulajdonság van egy adott helyen? Egyszerűsített lényege, hogy ismert helyű pixelekhez, elemi felületekhez megkeressük azokat az adott tulajdonságokat, vagy tulajdonság csoportokat, amelyek az adott helyre jellemzőek. A raszter minden adatot szelekció nélkül rögzít. Ebből is fakad, hogy a számítógépes tárolás szempontjából helyigénye rendkívül nagy. A szelekció hiánya miatt a raszteres adatok viszonylag hamar elévülnek.

Minden egyes képelem egy **P**(*m, n*) méretű mátrix eleme (3.1.3. ábra). A P(*i,j*) pixel az *m*n* méretű mátrix *i.* sorában és *j.* oszlopában helyezkedik el. Ha megadjuk a raszter bal felső sarkának (a raszter kezdőpontjának) koordinátáit, úgy ez – a pixel méretének ismeretében – egyértelműen rögzíti a pixel helyzetét. Pl. 50 m * 50 m terepi pixelméret esetén a P(3,6) mátrix elem azt jelenti, hogy – mondjuk EOV vetületi koordinátarendszerben – a pixel a kezdőponttól *x* irányban 6*50 = 300 m-re, y irányban 3*50 = 150 m-re helyezkedik el (a számítógépen történő megvalósításkor az 1. sor és oszlop elemet gyakran jelölik 0-val is.

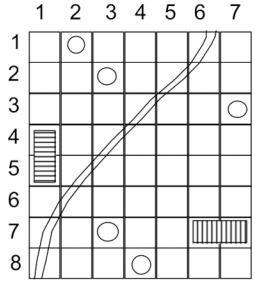


3.1.3. ábra: A raszter, mint mátrix

Az egyes pixelek teljes tartalmához ugyanazok a helyzeti adatok tartoznak, tehát a fenti példában az ábrázolás pontossága mindkét irányban 50 m. Ezt az értéket a raszter ún. terepi geometriai felbontásának nevezzük. A méretarány függvényében ennek az értéknek mindig egy konkrét képi felbontás felel meg. A geometriai felbontás a raszteres adatmodell legkisebb, tovább már nem osztható egysége. Kis felbontás nagy pixelméretet, nagy felbontás kis pixelméretet és ezzel, nagyobb ábrázolási pontosságot és információdúsabb állományt jelent.

A raszteres adatmodell további jellemzője a dinamikai felbontás. A dinamikai felbontás a képelemeken megkülönböztethető szürkeségi (fénysűrűségi) fokozatok, fekete-fehér fényképek esetén a fekete és a fehér közötti átmenetek száma. Ez 1 bites tárolás esetén 1 vagy 0, vagyis $2^1 = 2$, a szokásos 8 bites tárolás esetén $2^8 = 256$. Színes képek esetén minden egyes szín a három alapszín (vörös, kék, kékeszöld) fénysűrűség fokozatainak variációja: 256^3=16777216. A fénysűrűség fokozat számszerű értéke lesz automatikusan a pixel kódja.

A kódolás történhet másképpen is (3.1.4. ábra). Képzeljük el, hogy az akár tónusos, akár vonalas képre (térképre) szabályos idomokból álló rácshálót helyezünk. Adjunk minden cellának kódot aszerint, hogy a cellára jellemző tulajdonságok közül melyik a legjellemzőbb (pld. mely fafajtából található az adott cellával lefedett területen a legtöbb). Ha ezt végrehajtottuk, minden cellának lesz egy kódolt értéke. Ez az objektum kódja.



térképrészlet

0	2	0	0	0	1	0
0	0	2	0	1	1	0
0	0	0	1	1	0	2
3	0	1	1	0	0	0
3	1	1	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
1	0	2	0	0	3	3
1	0	0	2	0	0	0

kódolás

1. példa:

A 3.1.4. ábra bal oldalán lévő térképrészlet (az analóg modell) az út, a fa, az épület entitások objektum megfelelőit tartalmazza. Az egyes objektumokhoz rendeljük az alábbi kódokat: út: 1; fa: 2; épület: 3: Az üresen hagyott pixelekhez nem tartozik értelmezhető adat: ezeknek a kódja legyen 0.

3.1.4. ábra: A raszteres adatmodell kódolása

A raszteres adatmodellben a pixelek csoportja alkot egy fedvényt (2.1.2. fejezet, 2.1.3. ábra) a hozzájuk akár automatikusan, akár mesterségesen rendelt értékkel. Ha a tematikus dimenzióból (2.1.2. fejezet) adódóan egy cellához több érték is rendelhető, a különböző értékeket a különböző entitástípusoknak megfelelően különböző fedvényekben kell elhelyezni (talajvíz mélysége, földhasználat, PH-érték), vagyis egy fedvényen belül minden pixelhez csak egy információ kapcsolódhat. Ha pld. egy topográfiai térkép valamilyen pontjához 4 adat tartozik: magasság, vízrajzi elem – patak, híd, birtokhatár, ez 4 fedvényt eredményez a raszteres adatmodellben, stb. A topográfiai térkép más pontjaihoz más és más adatok tartozhatnak, más és más fedvényekkel. Egy átlagos raszteres adatmodell fedvényeinek a száma megközelítheti a százat.

A GIS szempontjából nagyon fontos, hogy a *raszteres ábrázolásnál* a szomszédsági, átfedési viszonyok egyértelműek, viszonylag egyszerű algoritmusokkal komoly elemző műveletek végezhetők.

Raszteres adatmodell jön létre a fotogrammetria és a távérzékelés során a digitális légi-, vagy űrfelvételek készítésekor, az analóg felvételek (fényképek), a vonalas térképek szkennelésekor, vektoros állományok raszterizálásakor (5.4.1. fejezet). *Raszterizálás* alatt a a számítógépes vektoros állomány raszterré alakítását értjük (5.4.1.1. fejezet). Vonalas térképek szkennelése után a létrejött raszteres adatmodellt a számítógép képernyőjén történő digitalizálással rendszerint újra vektoros adatmodellé alakítják vissza (az *on screen*, vagy *softcopy* digitalizálás, 5.4.2. fejezet).

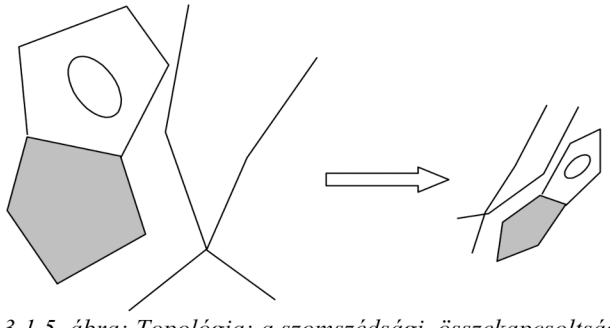
A *vektoros ábrázoláskor* az objektumokat vektorok segítségével írják le. A vektorok az ábrázolás tárgyának mindazon határoló pontjait kötik össze, amelyet egy adott tulajdonság, vagy tulajdonság-csoport jellemez. A matematikából ismert vektor fogalom itt is érvényes: a vektorokat kezdő- és végpontjuk rendezett párjával, az ún. irányított szakasszal állítják elő. A vektoros rendszer alapegysége a pont és annak (rendszerint vetületi) koordinátái (2.1.4. ábra). A vektorok összessége általában térbeli görbe vonal, amelyet a síkban törtvonallal közelítünk.

Az egyes pontok összekötése másfajta vonalakkal is lehetséges (pld. *körívek*, *parabola ívek*, egymást követő pontok esetén *spline*-ok). Vektoros modellt láthattunk pld. analóg formában a 2.3.1. ábrán.

A *vektoros adatmodell* az alábbi jellemzőket tartalmazza:

- térbeli adatok (síkrajzi ábrázolásnál ezek síkba vetített képe) – koordinátákkal tárolt, szabálytalan geometriai elemek halmaza,
- objektum azonosító – a vektoros elemek azonosítása az ábrázolt objektum osztályoknak megfelelően,
- geokód – a vektoros elemek egyedi azonosítására szolgál, összekapcsolja a geometriai (helyzeti) és a leíró adatokat,
- szakadatok – táblákba foglalt attribútum (leíró) adatok,
- minőségi adatok – a vektoros adatmodelleknél kiemelkedő fontosságú a különböző forrásokból származó helyzeti és leíró adatok minőségi jellemzése,
- topológia – a geometriai elemek közötti kapcsolatokat, szomszédsági viszonyokat írja le.

A vektoros adatmodell a „hol található valami”? kérdésre ad választ: hol vannak az 1 hektárnál nagyobb területek, hol található utak, források, stb. Vagyis meg kell keresnünk az ábrázolás tárgyának (a földfelszínnek) mindazon szélső (határoló) pontjait, amelyeket egy adott tulajdonság, vagy tulajdonság csoport jellemez. A vektoros adatmodell csak a szükséges, lényegi információkat tartalmazza, egy nagyobb kiterjedésű terület esetén csak a határoló elemeket tárolja, az utak esetében pld. csak az út tengelyvonalát írja le. A tárolandó adatmennyiség rendszerint csak töredéke a raszteres adatmodell helyigényének. A vektoros adatok viszonylag lassan évülnek el.



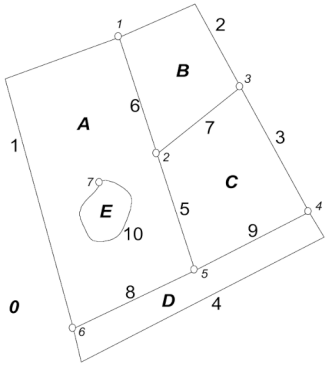
3.1.5. ábra: Topológia: a szomszédsági, összekapcsoltsági, beágyazottsági viszonyok a torzulások hatására nem változnak

A jó vektoros adatmodell legfontosabb alkotó eleme a geometriai elemek térbeli kapcsolatait leíró topológia. *A topológia a geometriának az az ága, amely a folytonos geometriai alakzatok torzulás (méretarány változás, eltolás, forgatás) hatására sem változó tulajdonságaival (szomszédság, összekapcsoltság, beágyazottság) foglalkozik* (3.1.5. ábra).

A topológiai adatábrázolás alapegysége a koordinátáival adott pont. A vonalakat pontok építik fel. A vonalak egymást nem metszik, csak a kitüntetett szerepű pontokban, a csomópontokban találkoznak. Minden egyes vonal a síkot két részre osztja. A záródó vonalak területrészeket különítenek el. A modell tehát pont–vonal-terület sorrendben épül fel, a topológia az egyes építőelemek közötti lépcsőfokot jelenti. Az egyes elemek közötti kapcsolódás oda-vissza irányban járható. A pont–vonal-terület topológián túl a vektoros adatmodellben más topológiák is értelmezhetők: pont-terület, pont-vonal-pont. A 3.1.6. ábrán példaképpen a vektoros elemek közötti alábbi kapcsolatokat értelmezzük:

- terület-vonal topológia: azt írja le, hogy egy területrészt mely egymással összekapcsolódó vonalak határolnak. A területeket a határoló vonalelemek megadásával írjuk le, a közöttük lévő területrészeket pedig a határoló elemek megfelelő oldalához kapcsoljuk. A vonalas objektumot térképezzük, a területeket a vonal két oldalához

kapcsoljuk. Így nincs szükség arra, hogy külön ábrázoljuk a területeket és külön a vonalakat, elkerülve a veszélyt, hogy egymásra rajzolódjanak.



Terület-vonal topológia

Terület	Vonalak listája
0	1, 2, 3, 4
A	1, 5, 6, 8, 10
B	2, 6, 7
C	3, 5, 7, 9
D	4, 8, 9
E	10

Vonal-terület topológia

Vonal	Bal, jobb terület
1	**0 - A**
2	**0 - B**
3	**0 - C**
4	**0 - D**
5	**A - C**
6	**A - B**
7	**B - C**
8	**A - D**
9	**C - D**
10	**A - E**

Vonal-pont topológia

Vonal	Kezdő, záróppont
1	*6 - 1*
2	*1 - 3*
3	*3 - 4*
4	*4 - 6*
5	*5 - 2*
6	*2 - 1*
7	*2 - 3*
8	*6 - 5*
9	*5 - 4*
10	*7 - 7*

Vonal	Koordináta lista
1	*x6y6 ... x1y1*
2	*x1y1 ... x3y3*
3	*x3y3, x4y4*
4	*x4y4 ... x6y6*
5	*x5y5, x2y2*
6	*x2y2, x1y1*
7	*x2y2, x3y3*
8	*x6y6, x5y5*
9	*x5y5, x4y4*
10	*x7y7 ... x7y7*

Pont-vonal-pont topológia

Csomópont	Vonal	Hova
1	1	*6*
	6	*2*
	2	*3*
2	5	*5*
	6	*1*
	7	*3*
3	2	*1*
	3	*4*
	7	*2*
4	3	*3*
	4	*6*
	9	*5*
5	5	*2*
	8	*6*
	9	*4*
6	1	*1*
	4	*4*
	8	*5*
7	10	*7*

3.1.6. ábra: Kapcsolatok vektoros elemek között

- terület-vonal topológia: azt írja le, hogy egy területrészt mely egymással összekapcsolódó vonalak határolnak. A területeket a határoló vonalelemek megadásával írjuk le, a közöttük lévő területrészeket pedig a határoló elemek megfelelő oldalához kapcsoljuk. A vonalas objektumot térképezzük, a területeket a vonal két oldalához kapcsoljuk. Így nincs szükség arra, hogy külön ábrázoljuk a területeket és külön a vonalakat, elkerülve a veszélyt, hogy egymásra rajzolódjanak.
- vonal-terület topológia: az előbbi kapcsolattípus fordítottja, amely megadja, hogy egy vonal bal- és jobb oldalán milyen területek találhatók.
- vonal-pont topológia: ez a kapcsolat azt írja le, hogy az egyes vonalak mely pontok között húzódnak.
- pont-vonal-pont topológia: ez a kapcsolat megadja, hogy milyen útvonalakon juthatunk el az egyik pontból a másikba. Ha ismerjük az érintett vonalak hosszúságát, kiválaszthatjuk a legrövidebbet.

Vektoros adatmodell jön létre a terepi adatrögzítővel ellátott elektronikus tahiméterek (5.2.5.3. fejezet) és a GPS használatakor (5.3. fejezet), pontok koordinátáinak billentyűzetről történő – igen nehézkes és hosszadalmas bevitelekor, vonalas grafikus térképek digitalizáló tábla segítségével való digitalizálásakor, illetve raszteres állományok vektorizálásakor (5.4.2. fejezet). *Vektorizálás* alatt a raszteres állományok vektoros állománnyá alakítását értjük (5.4.2.1. fejezet).

A *raszteres és vektoros adatmodelleket* az alábbiakban hasonlíthatjuk össze:

- a raszteres adatmodell esetében a tematikus kódok a fontosak, az egyes tematikákat az egyes fedvények képezik, a vektoros adatmodelleknél a legfontosabb a vektoros elemek egyedi azonosítására szolgáló *geokód*, valamint a geometriai elemek térbeli kapcsolatát leíró topológia,
- a vektoros formában tárolandó adatmennyiség rendszerint csak töredéke a raszteres adatmodell helyigényének,
- a vektoros adatok kevésbé évülnek el,
- a vektoros adatmodell elemző műveletei, a szomszédsági, átfedési viszonyok megállapítása bonyolultabbak, de a helyzeti és a leíró adatok közötti kapcsolat könnyen

megteremthető, a raszteres modell nagy előnye ezzel szemben az elemzési lehetőségek gazdagsága,
- a vektoros ábrázolás helyzeti pontossága döntően az adatok előállításához használt mérőeszközök és műszerek pontosságától függ, míg a raszteres ábrázolás pontosságát a pixelek mérete határolja be.

Mindebből következik, hogy a pontos vonalas térképek készítésére a *vektoros ábrázolás* alkalmas. A *raszteres ábrázolási mód* a tematikus térképek rendszerint kisebb pontossági igényét elégíti ki, elsősorban felületekhez tartozó adatok kezelésekor, számítógépes elemző műveletek végzésekor előnyös. Használata olyankor célszerű, amikor valamilyen tulajdonság megléte és a tulajdonsággal rendelkező terület nagysága fontosabb, mint a terület pontos helyzete és alakja. Hangsúlyozzuk, hogy mindkét adatmodell lehetőségei túlmutatnak a tisztán digitális térképezés igényein. A lehetőségekkel a GIS (2.1.2. fej.) keretében célszerű és kell élni.

3.2. A domborzat ábrázolása (topográfia)

A domborzatot a 2.1. fejezetben összefoglalt térképtípusok jelentős részében ábrázolják, de elsősorban a *topográfiai térképeken* található információmennyiség jelentős hányadát képezik a domborzat idomai. Maga a görög eredetű topográfia szó, bár szó szerint helyleírást jelent, olyan leíró anyagot takar, amely valamely tereprész, országrész földrajzi viszonyaival, síkrajzával és domborzatával foglalkozik. Szűkebb értelemben *topográfiának* nevezik a geodézia domborzat meghatározással és ábrázolással foglakozó részét. Amikor tehát egy terület topográfiájáról beszélünk, szűkebb értelemben a domborzatot értjük alatta.

A domborzat ábrázolásával már a régi egyiptomiak és görögök is foglalkoztak. A napjainkban alkalmazott szintvonalas ábrázolás bevezetéséig hosszú út vezetett a legkülönfélébb ábrázolási módokon keresztül. Így a nagy kiterjedésű, magas hegységek vonulatait méhkasszerű halmok sorozatával, fűrészfogazásos sávokkal, hernyószerűen tekergő rajzokkal fejezték ki. A XV. század elejétől vált általánossá a hegységek oldalnézetben való ábrázolása, egyenlő nagyságú kis halmok („vakondtúrások") sorozatával. Az oldalnézet tökéletesítése vezetett el a hegységek madártávlati ábrázolásához. A hegyeket – plasztikusan - úgy ábrázolták, ahogy egy magas hegytetőről látjuk a környező tájat. A domborzat meredeksége plasztikusabbá tételének igénye hozta létre a pillacsíkos ábrázolást. Hazánkban ezen ábrázolási módot a neves polihisztor, akinek 2000-ben ünnepeltük születésének 300., halálának 250. évfordulóját, Mikovinyi Sámuel is alkalmazta a XVIII. század elején.

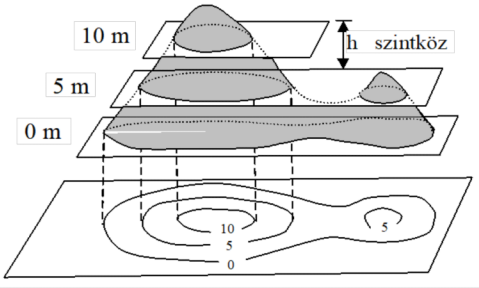
A ferde megvilágítás alapján való ábrázolás az árnyékhatást használta fel a domborzat kiemelkedő, illetve bemélyedő idomainak feltüntetésére. Feltételezték, hogy a napsugarak délnyugatról északkeletre 45^0 alatt érkeznek, s így a domborzatnak azok a részei, amelyek a fénysugarat szemben kapták, világosan, az ellenkező oldalaik sötéten jelentek meg a térképen. A kép tetszetős volt, de a meredekséget nem juttatta kifejezésre.

A plasztikus, szemléletes és áttekinthető domborzatábrázolás számos mérnöki tevékenység megalapozója. Itt most elegendő csak az út- és vasútvonalak tervezési feladatait megemlíteni. Az eddigi ábrázolási módok nem tettek lehetővé mérnöki tervezéseket. A felsorolt szempontoknak leginkább a szintvonalas domborzatábrázolás tesz eleget, bár, kétségkívül, szemléletessége nem kielégítő. Napjainkban – elsősorban műszaki tervezés céljára – alkalmazzák a kótás projekciót (számozott ábrázolási módszert), amely kifejezés térképrajzi szempontból mást jelent, mint az ábrázoló geometriában.

3.2.1. A szintvonalas ábrázolás

A szintvonalas ábrázolást – melyet először vízmélységek bemutatására használtak – általánosan csak a XIX. században vezették be. Elterjedésének fő akadálya volt, hogy az alkalmazáshoz nem ismerték a földfelszín jellemző formáinak tengerszint feletti magasságait.

A szintfelület fogalmát a 2.2.1.1. fejezetben tisztáztuk, e szerint a szintfelület a Föld nehézségi erőtere által meghatározott vízszintes felület. A szintvonalak a szintfelületeknek a földfelszíni formákkal kimetszett metszésvonalai, más szavakkal, a földfelszín azonos tengerszint feletti magasságú pontjait összekötő vonalak, amelyek a térképi ábrázolásban ortogonális (derékszögű) vetületben jelentkeznek. A *szintvonalas domborzatábrázolás* elvét a 3.2.1. ábrán szemléltetjük.



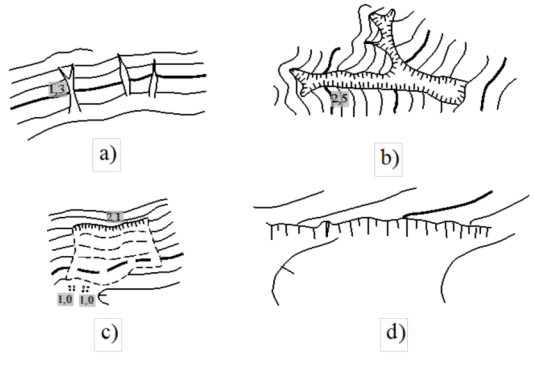
3.2.1. ábra: A szintvonalas domborzatábrázolás elve

A szintvonalakkal jelölt szintfelületek (ábránkon vízszintes síkok) egymástól való merőleges távolsága a szintköz. A szintköz lehet állandó (pld. 5 m, mint ábránkon) és lehet változó. A szintköz függ a térkép méretarányától és a domborzat jellegétől. Az állandó szintközű szintvonalak közötti merőleges távolságot alapszintköznek nevezzük.

Kisebb méretarányú térképeken a szintköz nagyobb, nagyobb méretarányú térképeken kisebb. Ugyanazon térképen belül is a szintközöket gyakran módosítják a domborzat jellegétől függően. Az 1:10.000 méretarányú topográfiai térképeken pld. az alapszintköz síkvidéken 1,0 m, dombvidéken 2,5 m, a hegységekben 5,0 m.

A térképen ábrázolt legkisebb szintközű, folyamatosan megrajzolt szintvonalakat alapszintvonalaknak nevezzük. A domborzati viszonyok, a magasságkülönbségek gyorsabb leolvasása, áttekinthetősége érdekében általában minden ötödik szintvonalat vastagítva rajzolnak. Ezek a főszintvonalak. Ha az alapszintköz nem elégséges a kielégítő domborzatábrázoláshoz, pld. ott, ahol a terep ellaposodik, jellegtelenné válik, ún. kiegészítő, vagy segédszintvonalakat rajzolnak. A két alapszintvonal közötti magasságot felező, esetleg negyedelő szintvonalakat hosszabb, illetve rövidebb darabokból álló szaggatott vonallal jelölik.

Ahol a terepfelszín nem követhető, (a felszín hirtelen, meredek leszakadásai ⟶ sziklafal, bevágás, horhos; a tájra jellemző, jól tájékoztató kis formák ⟶ homokbucka, víznyelő, töbör, mesterséges tereptárgyak), az alapszintvonalakat megszakítjuk és, a leszakadás méretét figyelembe véve, az előző irányhoz képest kissé eltolva folytatjuk. Különleges ábrázolási módot igényelnek a sziklás területek is. Néhány példát a 3.2.2. ábrán mutatunk be (a) és b): vízmosás, c): suvadás, d): sziklafal).



3.2.2. ábra: A szintvonalas ábrázolás nem követhető terepfelszínnél

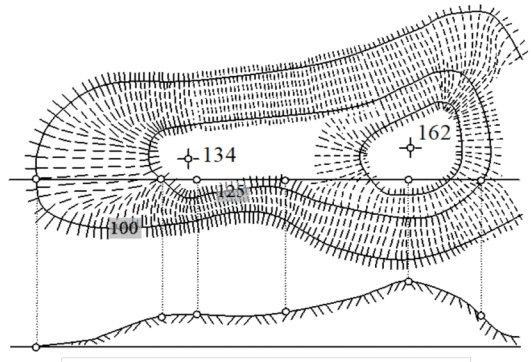
Csak a szintvonalrajz alapján a magasabb és alacsonyabb részek még nem állapíthatók meg. Ezt a tengerszint feletti magasságot mutató szintvonalszámok alapján tudjuk meghatározni. További segítséget nyújtanak a szintvonalakra rajzolt esésttüskék és a térképen ábrázolt egyéb elemek, elsősorban a vízfolyások és a magassági számok (kóták).

A szintvonalszámokat úgy írják meg, hogy talpuk a lejtés irányába mutasson, de a térképet szemlélve, ne „álljon fejre” (északra néző hegyoldal helyett déli oldalra kerülnek a számok). Az *esésttüskék* a lejtés irányába mutató kis vonalak).

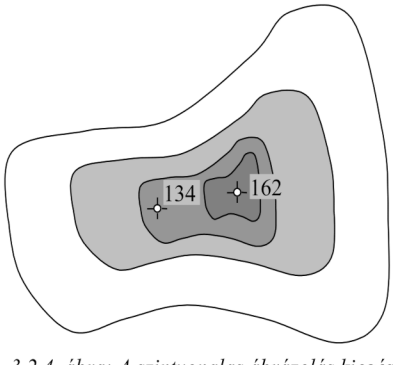
A szintvonalak fő *sajátosságai*:
- a szintvonalak egymást sohasem metszik,
- a szintvonalak önmagukba visszatérnek,
- meredek terepen a szintvonalak sűrűbbek, lankás terepen ritkábbak,
- a szintvonalak nem párhuzamosak egymással, de párhuzamosságot mutató görbék.

A szintvonalas ábrázolás előnye tisztán mérnöki mivolta, lehetővé teszi a pontok magasságának meghatározását, illetve mérhetőségét. Egy térképi pont magasságát abból a közelítésből kiindulva határozzuk meg, hogy két szintvonal között a terep esése egyenletes, ekkor a pont magassága a két szintvonal magasság között lineáris grafikus interpolációval adódik. Hátrány, hogy a domborzat képét még nagy gyakorlattal sem könnyű közvetlenül szemlélni, az ábrázolás nem eléggé plasztikus. A szintvonalas ábrázolást általában az 1:500 és 1:100000 méretarányú térképeken használják, de elsődlegesen – mint mondtuk – a topográfiai térképek domborzatábrázolási módja. Az analóg térképeken a szintvonalakat sárkányvér színnel jelölik.

A módszer szemléletességét, plasztikusságát növelni lehet, ha a szintvonalas ábrázolást csíkozásos, színfokozatos vagy színtörléses domborzatábrázolással egészítjük ki. A csíkozásos domborzat ábrázolásnál a meredekebb lejtők sötétebb, a lankásabb lejtők világosabb árnyalat benyomását alakítják ki a szemlélőben, s a plasztikusságot ez úton növelik (3.2.3. ábra). A csíkok merőlegesek az elképzelt szintvonalakra. A csíkokat fekete, vagy barna színben rajzolják a térképre.



3.2.3. ábra: A szintvonalas ábrázolás kiegészítése csíkozással



3.2.4. ábra: A szintvonalas ábrázolás kiegészítése színfokozatokkal

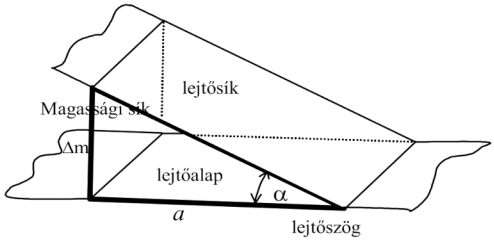
A színfokozatos domborzatábrázolás lényege, hogy az egyes szintlépcsőket azonos színnel ábrázolja. Gyakorlati megfontolásokból a magasabb lépcsőket sötétebb, az alacsonyabb területeket pedig világosabb színnel ábrázolják. Kétfajta megoldást alkalmaznak: vagy egyetlen szín különböző tónusait variálják (3.2.4. ábra), vagy az egyes lépcsőket különböző színekkel töltik ki. A színtörléses ábrázolási mód a ferde megvilágítás alapján történő ábrázoláshoz hasonló: azt a jelenséget használja, amikor a megvilágítás hatására a meredekebb lejtők sötétebb, a lankásabb lejtők pedig világosabb képet mutatnak.

A magyarországi topográfiai térképeken kiegészítő módszereket – a térképek túlzsúfoltságának elkerülése céljából – nem alkalmaznak.

3.2.2. A domborzat idomai és törvényszerűségei

3.2.2.1. A lejtő

A földfelszín domborzatának szinte végtelennek tűnő formagazdagságát egyetlen idomnak, a lejtőnek rendkívül változatos összetétele adja.

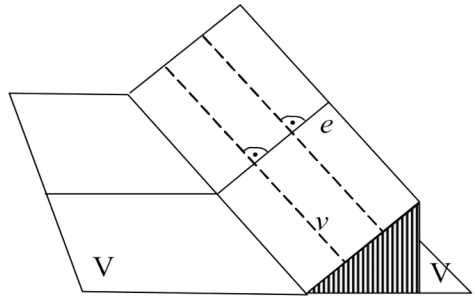


3.2.5. ábra: A lejtő elemei

Lejtőnek nevezzük a vízszintes helyzetű síkkal valamilyen szöget bezáró másik (ferde (síkot). A ferde terepi sík a lejtősík a vízszintes sík a lejtőalap síkja. A lejtőalap síkja és a lejtősík által bezárt szög a lejtőszög. A lejtősíkot metsző, a lejtőalap síkjára bárhol merőlegesen emelhető sík a magassági sík (3.2.5. ábra).

Mindhárom síkra merőleges síkkal a lejtőháromszöget metsszük ki (vastag vonallal jelzett háromszög). A *Δm* a lejtőmagasság, az *a* a lejtőalap (ez a kettő a felszín alatt van), a lejtőháromszög átfogója a lejtővonal. A lejtőszögtől függ a lejtősség (a lejtésviszonyok). A *lejtősség* a lejtősíkon lévő különböző irányokban más és más, de két főiránya van (3.2.6. ábra):

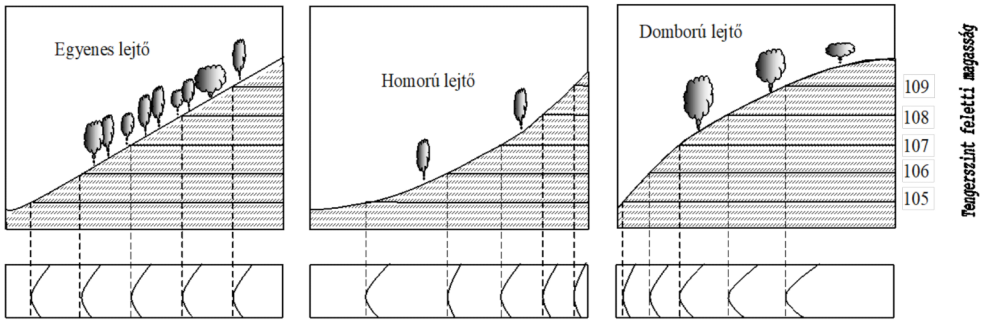
1. a lejtő vízszintes iránya, a csapásvonal, *v*, párhuzamos a VV vízszintes síkkal (szaggatott vonalak). A kerek értékű csapásvonalak, ha magassági értékeiket megadjuk, szintvonalakká válnak.
2. A lejtő *legrövidebb iránya* alatt a lejtőn lefutó víz irányát értjük. Neve főesésvonal, *e* (folyamatos vonal). A főesésvonal merőleges a lejtő vízszintes irányára, a *csapásvonalra*.



3.2.6. ábra: A lejtő főirányai

Alakjuk szerint *három lejtésformát* különböztetünk meg (3.2.7. ábra). A lejtő formája a szintvonalak futásából állapítható meg. A szintvonalak távolsága egymástól:

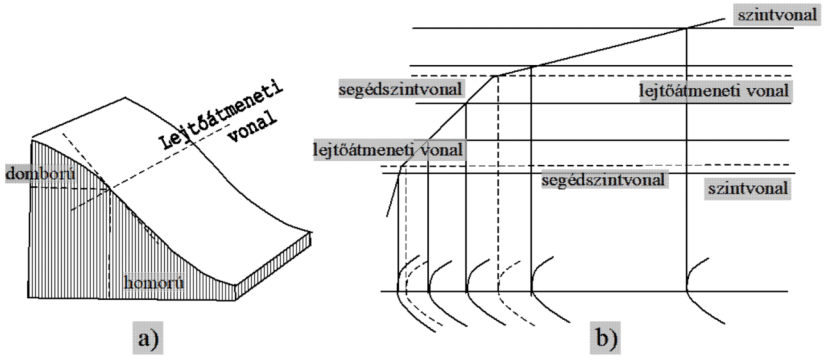
- az egyenes lejtőnél egyenlő,
- a homorú lejtőnél az emelkedés irányában csökken és
- a domború lejtőnél az emelkedés irányában nő.



3.2.7. ábra: A lejtő főirányai

Olyan lejtőnél, ahol egy domború és egy homorú, vagy két különböző szögű síklejtő találkozik, lejtőátmeneti vonal alakul ki (3.2.8a. ábra). A lejtőátmeneti vonalak a természetben

jól felismerhetők. A lejtőátmeneti vonalakat a térképen *segédszintvonalakkal* kifejezésre kell juttatni (3.2.8b. ábra).

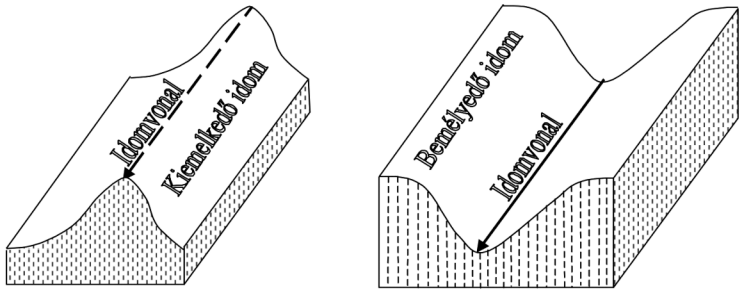


3.2.8. ábra: Lejtőátmeneti vonalak

Idomvonal és idomváz

Sík lejtőkön a főesésvonal mindig azonos irányú, egyenes vonal. Amikor az idom alakja változik, változnak a lejtőviszonyok és a főesésvonal olyan görbe vonal lesz, amelynek a mindenkori szintvonalakkal való metszései merőlegesek.

A főesésvonalak hosszai szintvonaltól szintvonalig a terep lejtősségétől függően különbözőek. Kiemelkedő (vízválasztó) idom (hát), vagy bemélyedő (vízgyűjtő) idom (teknő) (3.2.2.2. fejezet) esetében a leghosszabb főesésvonal a legmagasabb és a legmélyebb pontokat köti össze. Ezt a vonalat idomvonalnak nevezzük (3.2.9. ábra)



3.2.9. ábra: Kiemelkedő és bemélyedő idomok legmagasabb és legmélyebb pontjait összekötő vonalak: idomvonalak

Egy meghatározott területre vonatkozó idomvonalak összességét idomváznak nevezzük. Az idomváz idomvonalainak megkülönböztetése végett a bemélyedő idomok idomvonalait folytonos, a kiemelkedő idomok idomvonalait pedig szaggatott vonallal jelölik. Bármilyen idomról van szó, az idomvonalat úgy kell megrajzolni, hogy az idomvonallal egyben az idom esési irányát is jelöljük, ezért az idomvonal végére az esésirányban nyilat rajzolunk. Az idomváz a szintvonalas domborzatábrázolás *megtervezésének* nélkülözhetetlen eszköze és tartalmaznia kell

- az idomvonalakat és a lejtőátmeneti vonalakat,
- a csapásvonalakat.

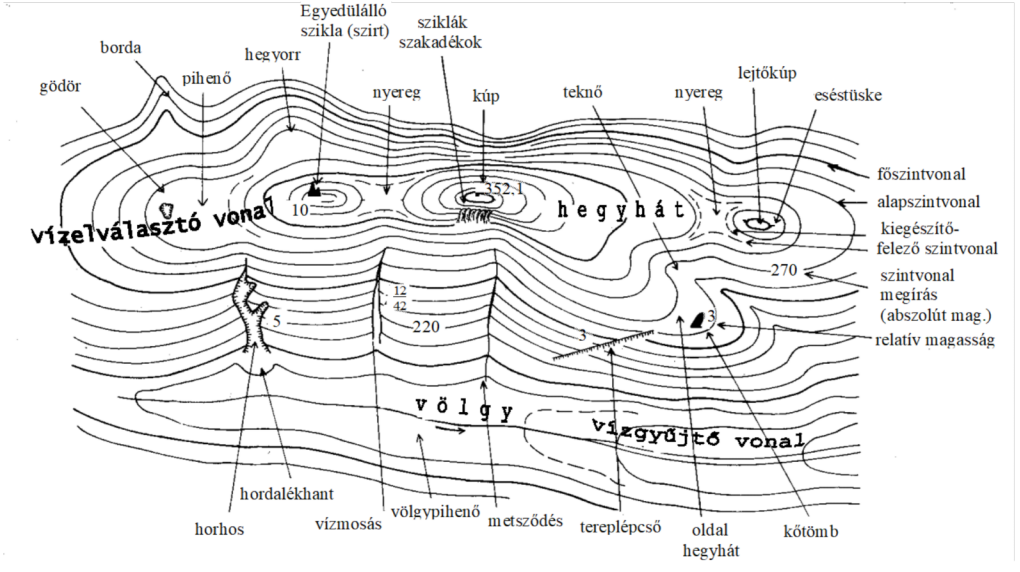
A lejtőátmeneti vonalakat rövid, szaggatott vonallal, a csapásvonalakat rövid, folytonos vonallal jelölik. Az idomvázra példát a 3.2.12. ábrán látunk.

3.2.2.2. A domborzati idomok

A *nagyból a kicsi felé haladás* elve alapján megkülönböztetünk főidomokat, mellékidomokat és részletidomokat. Ezen típusokon belül két főcsoportot választunk szét: a kiemelkedő, vagy vízválasztó és a bemélyedő, vagy vízgyűjtő idomokat.

A *főidomok* egy nagy kiterjedésű tereprész domborzati jellegét adják meg. A főidomokon belül vízelválasztó idomok a hegyhátak, vízgyűjtő idomok a völgyek.

A *mellékidomok* csoportjába soroljuk a főidomokat képező hegyhátak és völgyek között található vízelválasztó oldalhegyhátakat és a vízgyűjtő teknőidomokat.

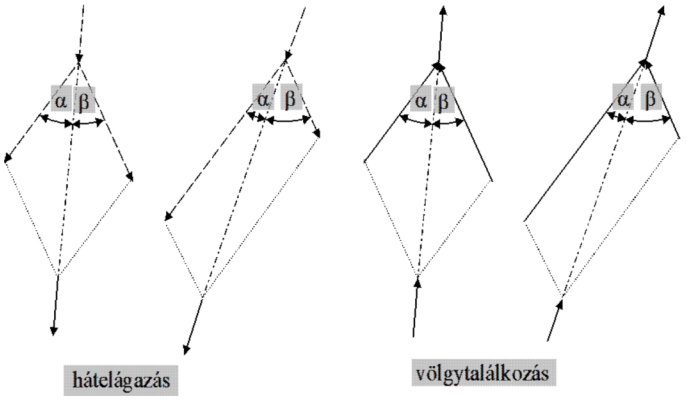


3.2.10. ábra: Domborzati idomok

A *részletidomok* a főidomokon és mellékidomokon előforduló kisebb-nagyobb terjedelmű kiemelkedések, bemélyedések és gyűrődések, amelyek a földfelszínt alakító belső és külső erők együttes hatására jöttek létre. Vízelválasztó részletidomok a halom, kúp, csúcs, nyereg, hátpihenő, hegyorr, borda, lejtőkúp, hordalékhant, törmelékkúp. Vízgyűjtő részletidomok a lyuk, a metsződések, árkos metsződések, vízszakadások, horhosok. Egyéb, az eddigiekhez nem sorolható részletidomok a meredélyszalag, terepfüggöny, tereplépcső, terepfok. A domborzati idomok szintvonalakkal történő, ill. rajzi ábrázolását egy honvédségi oktatóábra alapján a 3.2.10. ábrán foglaljuk össze.

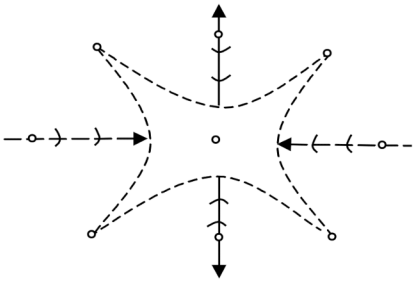
A domborzattal kapcsolatos kutatások azt mutatják, hogy a hegyhátak elágazásai, illetve a völgyek találkozásai bizonyos törvényszerűségeket követnek. Ha az oldalhegyhátak a hátvonal eredeti irányával azonos szöget zárnak be, akkor a két oldalhát azonos hosszúságú és azonos esésű (3.2.11. ábra). Ellenkező esetben a kisebb szöget bezáró oldalhát hosszabb és lankásabb. Ugyanez igaz az arra az esetre, amikor oldalvölgyek, teknők a fölérendelt völgybe futnak be. Ez esetben nem elágazásról, hanem találkozásról beszélünk. Ezt a törvényszerűséget parallelogramma szabálynak is nevezik.

Meg kell jegyezni, hogy a fő-, illetve mellékidomok között idomtani szempontból csak méreteikben, s ennek megfelelően az elnevezésekben van különbség. Már csak azért sem határolhatók el szigorúan, mert a domborzat fő- és mellékjellege a vizsgált terület kiterjedésétől függ.



3.2.11. ábra: A parallelogramma szabály

A 3.2.12. ábrán a nyereg idomvázára látunk példát. Az idomváz terepi elkészítéséhez az ún. magassági részletpontokat használjuk, amelyeket az ábrán kis körökkel jelölünk. Az ábrán a kiemelkedő idom idomvonalát (a vízválasztó vonalat) hosszú szaggatott, a bemélyedő idom idomvonalát (a vízgyűjtő vonalat) folytonos, a lejtőátmeneti vonalakat - mint mondtuk - rövid szaggatott vonalakkal ábrázoljuk. Rövid, folytonos vonallal a csapásvonalakat is feltüntettük. Ahhoz, hogy a szintvonalakat térképezni lehessen, a magassági részletpontok vízszintes és magassági koordinátáit is ismernünk kell.



3.2.12. ábra: Nyereg idomvázlata

3.2.3. A digitális domborzatábrázolásról

A domborzat – előző pontban szemléltetett - rendkívüli sokféleségének számítógépes leírása nem könnyű feladat. A *digitális térképeken* a domborzatábrázolás a digitális terepmodell (DTM) segítségével történik. A *digitális terepmodell* a terepre vonatkozó numerikus adatok rendezett halmaza, amely mind a síkrajz, mind a domborzat elemeit egyaránt tartalmazza. A modellnek csak a domborzatot tartalmazó része a digitális felületmodell (DFM). A digitális felületmodell a terep felszínének *matematikai függvényekkel közelített* magassági modellje, amelyet ismert vízszintes és magassági részletpontok közötti számítógépes interpolációval állítanak elő. Az interpoláció pontossága a domborzattól, az ismert pontok számától és elhelyezkedésétől, valamint az interpolációs függvénytől függ. Megjegyezzük, hogy a légi- és űrfényképekből készített digitális felületmodell nem a terepfelszín, hanem a fényképen rögzített ún. borított felszín (épületek, vegetáció) magassági modellje, hiszen a terepfelszín a képen nem látható. A borított felszín előnyös a digitális ortofotó előállítása szempontjából, de a terep modellje csak úgy lesz belőle, ha egyéb – földi mérésekből, vagy meglévő térképről nyert adatokkal kiegészítjük. Természetesen, ahol nincs felszínborítás, ott a digitális felületmodell azonos a terep magassági modelljével. A digitális felületmodell nehézségei különösen a domborzatilag bonyolult terep (törésvonalak, árkok, metsződések) megjelenítésében jelentkeznek.

Az analóg domborzatábrázolással szemben, a digitális felületmodellből a szintvonalak mellett *számos egyéb tematika* is levezethető: dőlés-, kitettség-, megvilágítás-térkép.

Attól függően, hogy milyen a numerikus adatok rendezett halmaza, a digitális felületmodellnek két fő típusát különböztetjük meg: a GRID és a TIN.

A GRID egy négyzetes raszter elemekből álló, a terep törésvonalait és a markáns magassági pontokat is integráló digitális felületmodell, amelyben a raszterpontok a négyzetek közepén helyezkednek el. Az egyes raszterpontokhoz tartozó értékek az interpolált – többnyire tengerszint feletti - magasságok. Mint minden raszteres adatmodellnek, a GRID-nek is egyik legfőbb jellemzője a geometriai felbontás. Minél nagyobb a felbontás, azaz minél kisebb a raszter mérete, annál pontosabban rajzolható meg a domborzat képe. A GRID megjelenítésének néhány lehetőségét vázoltuk a 2.1.2. fejezetben (2.1.2. ábra: 3 dimenziós objektumok).

A GRID raszterpontjainak magasságai előállíthatók már meglévő szintvonalakból, földi mérésekből és fotogrammetriai úton.

A TIN (triangulated irregular network – háromszögesített szabálytalan háló) szabálytalan elhelyezkedésű pontokra fektetett háromszögek hálózata. A szabálytalan elrendezésű mintapontok a terephez illeszkednek, számuk az egyenetlen terepen nagyobb, a sima, lankás terepen kisebb. A modellben a mintapontokat egyenesekkel kötik össze úgy, hogy azok háromszöghálózatot alkossanak. A háromszög belsejében a felület általában sík. A TIN mintapontjait meglévő, nagyfelbontású GRID-ből, illetve digitalizált szintvonalakból választják ki, különböző számítógépes algoritmusok felhasználásával. A kiválasztott mintapontok a háromszöghálózat csúcsai, amelyek többféle módon köthetők össze háromszögekkel.

A TIN modell használata egyszerű és gazdaságos, leginkább a törésekkel (hegyhát, teknő, mélyedések) szabdalt, erősen tagolt terepen előnyös, a háromszögek csúcsai magasság tulajdonságokkal, élei dőlés és irány tulajdonságokkal rendelkeznek. Ugyanezen jellemzőket a GRID-ben le kell vezetni. Lankás, domborzatilag jellegtelen terepen a GRID előnyösebb. A digitális felületmodellező szoftverek és a GIS-ek többsége a GRID-et használta, az utóbbi időben egyre gyakrabban jelennek meg a TIN-t alkalmazó szoftverek is.

3.3. A térképek tartalma

A térképek tartalmi kérdéseit már a fentiekben is érintettük. Most részben röviden összefoglaljuk, illetve kiegészítjük az eddigi ismereteket, részben pedig részletezzük néhány számunkra fontosabb térképtípus (földmérési és topográfiai alaptérképek, erdészeti üzemi térképek) tartalmi jellegzetességeit.

A térképek tartalmát – mint láttuk - a *síkrajz* és a *domborzatrajz* adja. Síkrajzot minden térkép tartalmaz, azt a térképet, amelyen domborzatábrázolás is található, háromdimenziós térképnek nevezzük. A síkrajz és a domborzatrajz együtt a térkép geometriai tartalma, a GIS-ben a helyzeti adatok összessége. A geometriai tartalmat mind az analóg, mind a digitális térképen szöveges magyarázattal egészítik ki. Az analóg térképen e szöveges magyarázatok terjedelme korlátozott, a digitális térképet viszont a szöveges magyarázatok (attribútumok) – elvileg korlátlan méretű - leíró adatbázisban való szerepeltetése GIS-sé, térinformációs rendszerré egészíti ki. Mind az analóg, mind a digitális térkép szöveges magyarázatának térképszelvényen belüli része tartalmaz névrajzot, a szelvénykereten kívüli része keretrajzot, és a kereten kívüli része megírásokat. A kisebb méretarányú térképeken a valóságos méreteikkel nem ábrázolható tárgyakat egyezményes jelekkel jelöljük (3.1.1. fejezet).

A *névrajz* egyrészt a térképi alakzatok rendeltetését (árok, kert, udvar, épület), részben megnevezését (települések, utcák, patakok, folyók) írja le. Vigyázni kell a megírás elhelyezésével: lehetőleg az ábrázolt objektum alaprajzán belül kell elhelyezni úgy, hogy az a térképlap forgatása nélkül olvasható legyen és egyértelműen a megnevezett alakzatra vonatkozzon. A kereten kívüli megírás mindig tartalmazza a térkép szelvényszámát és méretarányát, esetenként a térkép kezelésére vonatkozó utalásokat is. A szocialista államrendszerben nagy súlyt fektettek a topográfiai térképek titkosságára, az erre vonatkozó utalást a kereten kívül feltüntették. A térképek keretrajza és kereten kívüli megírása méretarányonként és térképtípusonként változó.

Az analóg térkép megírásakor, illetve a digitális térkép analóg megjelenítésekor alapelv, hogy minden fontos elemet megírjunk, minden lényeges adatot megadjunk anélkül, hogy a térképet fölösleges megírásokkal terhelnénk. A sűrű síkrajzú, valamint az erősen tagolt domborzatú részeken a kevésbé fontos elemeket nem kell megírni és a kisebb jelentőségű számszerű adatok mennyisége is csökkenthető. A kis sűrűségű tereprészeken a jelentéktelenebb elemeket is meg kell írni és a számszerű adatokat is mind fel kell tüntetni.

3.3.1. A földmérési alaptérképek tartalma

A földmérési alaptérképek tartalmát, a Földmérési és Távérzékelési Intézet (röv. FÖMI) által készített DAT - (digitális alaptérkép) szabvány (2.1.1. fejezet) foglalja össze. Ez a szabvány váltotta fel a sokáig érvényben lévő „Az egységes országos térképrendszer földmérési alaptérképeinek készítésére" vonatkozó F7. Szabályzatot (Budapest, 1983).

A *földmérési alaptérképek* elnevezés 1975-ben, az Egységes Országos Vetületi rendszer bevezetésekor született, addig a kataszteri térkép elnevezést használták. Magyarország *kataszteri felmérése* 1856-ban indult meg, azzal a céllal, hogy nemcsak jogilag, hanem pontos területi adatokkal is megbízhatóan alátámasszák a földadó kivetését. A pontos területi adatok alapja minden olyan határvonal felmérése, amelynek alapján a telkek területe meghatározható. A felmérés magában foglalta a művelési ágak, valamint a telkek tulajdonjogi viszonyainak grafikus formában való rögzítését is. A kataszteri térképeket ölrendszerben készítették, 1:2880, ill. 1:1440 méretarányban (2.2.16. ábra).

A földmérési alaptérképek az EOV szelvényezési rendszerében készülnek, 1:500, 1:1000, 1:2000 és 1:4000 méretarányban. Az 1:500 méretarányt csak különlegesen sűrűn beépített belterületen, az 1:1000 méretarányt városok belterületén, az 1:2000 méretarányt községek és városok külterületén használják, az 1:4000 méretarányú térképek lefedik az ország egész területét. Az 1:500, 1:1000 és 1:2000 méretarányú földmérési alaptérképek viszont sokszor csak egy-egy kiválasztott objektumot tartalmaznak, így itt megengedett az EOV szelvényezéshez képest eltolt szelvényezés is, azért, hogy az ábrázolandó objektum minél kevesebb térképlapon elférjen.

A földmérési alaptérképek tartalmát a DAT szabvány objektumosztályokba sorolja:

- Geodéziai alappontok
- Határok
- Épületek, kerítések és tereptárgyak
- Közlekedési létesítmények
- Távvezetékek, függőpályák
- Vizek és vízügyi létesítmények
- Domborzat
- Területkategóriák

A földmérési alaptérképek tartalmazzák a települések és belterületek elhatárolását, a nem EOV rendszerben lévő település és belterületi határpontokat, földrészleteket és művelési ágakat. Mint minden térkép, a földmérési alaptérkép is tartalmazza a szelvénykeretet, a szelvénykereten kívüli megírásokat, magyarázó vázlatokat és a km-hálózati vonalakat helyettesítő ún. őrkereszteket.

A DAT Szabvány mellékletei a földmérési alaptérképekre kirajzolási mintákat adnak meg. A kirajzolási minták tartalmazzák azokat a jeleket, amelyeket az alappontok, a határvonalak, földművek, közutak, vasutak, vezetékek, vizek, aknák, élőfák és egyéb természetes és mesterséges tereptárgyak kirajzolásánál alkalmazni kell.

A földmérési alaptérképeken tervezési munkák is végezhetők. Ennek lehetőségeit azonban behatárolja részben az, hogy a földmérési alaptérképek kétszínnyomással készülnek (minden vonal és a megírások fekete, a szintvonalak barna színűek), részben pedig az, hogy a

túl sok információ a tervezést zavarja. A földmérési alaptérképhez kapcsolódó egyéb fogalmakra a 9.1.1. fejezetben térünk vissza.

3.3.2. A topográfiai alaptérképek tartalma

A topográfiai alaptérképek készítésénél a MÉM (Mezőgazdasági és Élelmiszeripari, azóta többször nevet változtatott) OFTH (Országos Földügyi és Térképészeti Hivatal, ma: FTH – Földügyi és Térképészeti Hivatal) T.1. Szabályzata („Az 1:10000 méretarányú földmérési topográfiai térképek felújítása az egységes országos térképrendszerben", Budapest, 1976) előírásait, a levezetett topográfiai térképek készítésénél a MÉM OFTH T.2. Szabályzata („Az egységes országos térképrendszer 1:25000 és 1:100000 méretarányú levezetett topográfiai térképeinek készítése", Budapest, 1977) előírásait kell figyelembe venni. 2001-ben létrehozták a digitális topográfiai adatbázis szabványát (DITAB)[1]

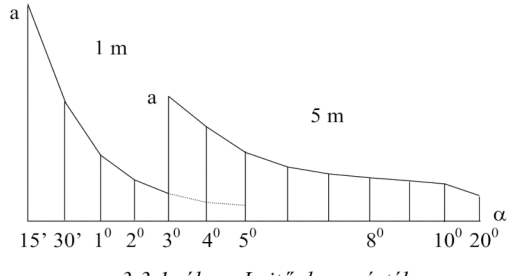
A topográfiai térképek a geodéziai alappontokat, a síkrajzot (különös figyelemmel a vízrajzra) és a domborzatrajzot tartalmazzák. A geodéziai alappontokat mindig *egyezményes jelekkel* ábrázolják. A kisebb méretarány miatt az egyezményes jeleknek a topográfiai alaptérképeken megkülönböztetett szerepe van, az ezeket magyarázó jelkulcsot a térképszelvénykereten kívül tüntetik fel. Ugyancsak a kereten kívül található a topográfiai alaptérkép vetületi rendszer szerinti száma, méretaránya, illetve az ún. méretarány-skála, amely a térképi távolságok mérését teszi lehetővé. A topográfiai térképeken rendszerint az egyes km-hálózati vonalakhoz, illetve a szelvény sarokpontokhoz tartozó vetületi és földrajzi koordinátákat (szélesség, hosszúság) is megadják.

A kisebb méretarány miatt előfordul, hogy szomszédos tereptárgyak egyezményes jeleit egymásra kellene rajzolni. Ez esetben összevont jelet kell alkalmazni, illetve a kevésbé fontos részleteket el kell hagyni. Ez a 2.1.1. fejezetben már említett generalizálás művelete.

A topográfiai térképeket többszínnyomással készítik: a síkrajzot és a hozzátartozó névrajzot, a szelvénykeretet és a hálózati vonalakat fekete, a vízrajzot kék, a domborzatrajzot barna (sárkányvér) színnel készítik, a síkrajzhoz tartozó erdőket és gyümölcsösöket zöld, a portalanított burkolattal ellátott utakat és a kő-, beton-, vagy téglaépületeket piros felülnyomással látják el.

A topográfiai térképek fontos elemei a közlekedési vonalak, a közigazgatási és növényzethatárok. Különösen sok információt tartalmaznak a topográfiai térképek az erdőkről, illetve az egyéb, de csak az állandó jellegű növényzetről.

A topográfiai térképek a különböző létesítmények tervezése, illetve a domborzaton való könnyebb eligazodás céljából ún. lejtőalap-mértéket tartalmaznak (3.3.1. ábra).



3.3.1. ábra: Lejtőalap-mérték

Tudjuk, hogy meredek terepen a szintvonalak sűrűbbek, lankás terepen ritkábbak (3.2.1. pont). Ezért a szintvonalak alapján a lejtőszög értéke meghatározható. A 3.2.5. ábra szerint, ha két szintvonal merőleges térképi távolsága egymástól a (a lejtőalap), magasságkülönbségük Δm, úgy a lejtőszög nagysága

$$\alpha = \arctan \frac{\Delta m}{a} . \qquad (3.3.1.)$$

Mivel a Δm szintköz állandó szám, szerkeszthetünk olyan léptéket, amelyben a különböző térképi távolságokhoz a lejtőszög értékét írjuk. Mivel az a értéket a térkép méretarányában olvashatjuk le, minden méretarányhoz és Δm szintközhöz más-más léptéket kell szerkeszteni. A 3.3.1. ábrán 1 m-es és 5 m-es alap-szintközre szerkesztett lejtőalap-mértéket mutatunk

[1] MSz 7772-2

be. Az abszcissza tengelyen az α lejtőszögeket, az α értékekhez tartozó merőlegesekre pedig az

$$a = \frac{\Delta m}{\operatorname{tg}\alpha} \qquad (3.3.1a)$$

ordináta értékeket rakják fel a térkép méretarányában. A lejtőszög megállapításához a szintvonalak térképi távolságát körzőnyílásba veszik, a s a lejtőszöget becsléssel leolvassák.

A topográfiai térképek is előállíthatók *digitálisan*, egyéb szabályozás hiányában a fenti előírások érvényesek.

3.3.3. Az erdészet és a vadgazdálkodás üzemtervi térképei

Az ország erdő- és vadgazdálkodásának a gazdasági és társadalmi életben betöltött szerepét, funkcióit, ennek megfelelően az ezekkel kapcsolatos tevékenységeket törvények és rendeletek szabályozzák. A 10 évre szóló erdőállomány-gazdálkodási terv, illetve a vadgazdálkodási üzemterv készítését, gazdálkodási egységekre bontva, jogszabály írja elő. Az üzemtervek készítésének egyik legfontosabb alapja az üzemi térkép.

Az FVM (Földművelési és Vidékfejlesztési Minisztérium, illetve jogelődjei) keretén belül működő Állami Erdészeti Szolgálat (ill. egyik jogelődje, az Erdőrendezési Szolgálat) által kiadott útmutatók a „Térképészeti feladatok" c. fejezetben részletesen ismertetik az elvégzendő feladatokat, jelen helyen csak a legfontosabb tudnivalókat ismertetjük.

A jelenleg érvényben lévő rendeletek:

- ÚTMUTATÓ az erdőállomány-gazdálkodási tervek készítéséhez (1986)
- ÚTMUTATÓ a digitális üzemi térkép készítéséhez és mintaállományaihoz, ÁESz, Budapest 2000.
- ÚTMUTATÓ a vad-gazdálkodási üzemtervek készítéséhez (1981).

3.3.3.1. Az erdészeti üzemtervek térképei

„Az erdőtervek készítésével kapcsolatos *térképészeti munkálatok* célja az erdő- és a hozzátartozó egyéb területek gazdasági beosztásának, az erdőgazdálkodáshoz kapcsolódó létesítmények elhelyezkedésének, megközelítésének és a tervfeladatoknak térben jó áttekintést, valamint számítógépes feldolgozás lehetőségét nyújtó meghatározása, mérethelyes, valósághű ábrázolása, továbbá területhű adatok szolgáltatása" (ÚTMUTATÓ, 57. oldal).

Az üzemi térképeknek szorosan kapcsolódniuk kell az országos földmérési, térképészeti és ingatlan-nyilvántartási rendszerekhez. Ennek megfelelően alapját az 1:10.000 méretarányúra kicsinyített földmérési alaptérkép képezi. Mérettartó anyagon (asztralon lapon) készül a módosított öl rendszerű sztereografikus vetületben, a 2.2.18. ábrán vázolt szelvényezés szerint (az Egységes Országos Vetületre való áttérés megkezdődött, az üzemi térképek digitalizálása után – ami igen hosszadalmas folyamat –fejezhető be).

Az üzemi térképek az alábbi alapanyagok figyelembe vételével készülnek:

- földmérési alap- és átnézeti térképek
- topográfiai alaptérképek
- korábban készült üzemi térképek alaplapjai
- erdészeti célú geodéziai mérések (alappont- és részletpont-mérések) eredményei
- az egy- és kétképes fotogrammetriai kiértékelések eredményei (foto- és ortofotó térkép, esetleg video-felvételek).

A földmérési térképekről átveszik a közigazgatási és belterületi határokat, az erdők birtokhatár-vonalait, vasutak, szilárd burkolatú utak nyomvonalait, a légi fényképek kiértékelésével nyert, erdőn belül korrigált, vagy új vonalakat, továbbá az olyan birtokhatáron kívüli vonalakat és tereptárgyakat, amelyek a jobb tájékozódást, az erdő és környezetének jobb kapcsolatát biztosítják. Az üzemi térképen ábrázolják a terepi mérésekkel meghatározott vonala-

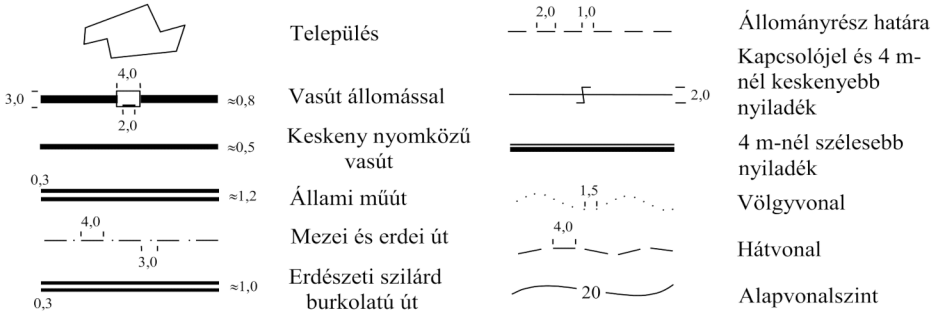
kat, ezen belül az erdészeti épületeket és létesítményeket és minden olyan tárgyat, amely az erdőgazdálkodás szempontjából fontos.

Az üzemi térképek alaplapjai a már meglévő alaplapok *kiegészítésével* és *javításával*, valamint új alaplapként készülnek.

Az alaplap kiegészítéséről akkor beszélünk, ha kiegészítő mérésekről, esetenként szelvényhatárok átszerkesztéséről van szó.

Új alaplapot készítenek akkor, ha a már meglévő alaplapoknak az 1:10000 méretarányú topográfiai térképekkel való összevetésével végzett *felülvizsgálata* során a szelvényhálózati vonalaknak, valamint a térképi tartalom alapvonalainak ábrázolási pontossága az adott hibahatárokat meghaladják. A térképi tartalom alapvonalai az üzemi térkép szempontjából: vasutak, szilárd burkolatú állami és erdészeti utak, meghatározó jellegű földutak és vízfolyások, nyiladékhálózat. Ugyancsak új alaplapot készítenek, ha a rajz minősége nem megfelelő, az alkalmazott térképi jelek jelentősen eltérnek az előírtaktól, vagy ha az asztralon alaplap állaga rossz.

Az 1:10000 méretarányú üzemi térképek kirajzolásához a 3.3.2. ábrán összefoglalt jelkulcsot alkalmazzák.



3.3.2. ábra: 1:10000 méretarányú üzemi térképek jelkulcsrészlete

Hegy- és dombvidéken egyes üzemi térképeket szintvonallal is kiegészítenek. A szintvonalakat tartalmazó kiegészítő térképet mérettartó fóliára rajzolják.

3.3.3.2. Erdőállomány-gazdálkodási térképek

Az erdőállomány-gazdálkodási térképek 1:10000 vagy 1:20000 méretarányban készülnek az üzemi térkép másolása, kicsinyítése, montírozása útján. Az erdőállomány-gazdálkodási térképek típusait a 2.1 fejezetben már felsoroltuk, feladataikat, céljukat az alábbiakban foglaljuk össze:

A terület-nyilvántartó térkép feladata a fatermelési (világoszöld[2]), magtermelési (sötétzöld), üdülési (lila), védelmi (piros), természetvédelmi (barna), vadgazdálkodási (szürke), tudományos, kísérleti (kék) célú, mezőgazdasági művelésre átalakítandó (narancssárga) és egyéb erdőterületek nyilvántartása. A területekben bekövetkező növekedést eltérő zöld, a csökkenést eltérő piros színnel ábrázolják. A rendeltetésben történt változást a felület átragasztásával és újbóli színezéssel vezetik át.

Az állománytípus-térképen a különböző állománytípusokat az erdőrészletek felületi színezésével jelöli, éspedig:

Tölgy	*piros*	Akác	*piros*	Egyéb lomb	*kék*
Cser	*lila*	Nyár	*narancs*		
Bükk	*zöld*	Fenyő	*kék*		

[2] A területeket megfelelően a zárójelekben felsorolt színezéssel jelölik.

színekkel.

A fahasználati terv- és nyilvántartó térkép célja a tervezett használatok megjelölése teljes felületszínezéssel. Ezen belül a véghasználati bontóvágást lila, a vég- és tarvágást piros, a növedékfokozó gyérítést barna, a törzskiválasztó gyérítést kék, a tisztást zöld színnel jelölik. A meglévő utakat folyamatos, a tervezett utakat szaggatott, 0,8 mm vastag, narancsszínű vonallal jelölik.

Az erdőművelési terv- és nyilvántartó térképen a tervezett erdősítési munkákat az alábbi felületszínezéssel jelölik:

- tervezett véghasználati területek (távlati kötelezettség) — citromsárga
- elvégzett véghasználati területek (aktuális kötelezettség) — narancssárga
- erdőtelepítés — lila

A talajtípus térképen a genetikus talajrendszertani típusokat teljes felületszínezéssel, míg a termőhely típusokat kódszámmal adják meg.

3.3.3.3. Erdészeti áttekintő és átnézeti térképek

Az áttekintő és átnézeti térkép célja, hogy lehetővé tegye nagy területek időszerű erdőgazdasági információinak gyors áttekintését. E térképek külön igények alapján készülhetnek az ötéves távlati, regionális, megyei és országos tervekhez kapcsolódva és az erdőtömbök egymáshoz, a vonalas létesítményekhez, üzemekhez viszonyított elhelyezését szemléltetik.

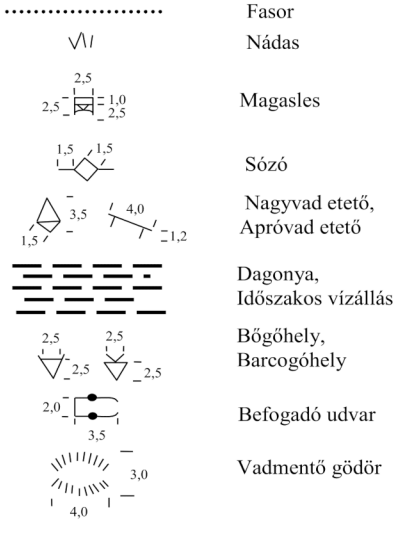
Az erdészeti áttekintő térképek méretaránya egységesen 1:50000, szelvényezése a közigazgatási átnézeti térképekhez igazodik.

3.3.3.4. A vadgazdálkodási üzemtervi térkép

A vadgazdálkodási üzemtervi térkép méretaránya 1:25000. A térkép tartalmában megfelel az erdőgazdasági üzemtervi térképpel szemben támasztott követelményeknek. E mellett tartalmazza:

- a fontosabb vonalas létesítményeket belterületen és mezőgazdasági területen (út, vasút, gát, csatorna, stb.)
- a vadgazdálkodási és vadászati berendezéseket, vadföldeket és vadgazdálkodási célú erdőrészleteket
- a közúti forgalmat veszélyeztető fő vadváltókat
- a vadkárnak különösen kitett területeket.

A vadgazdálkodási üzemtervi térkép jelkulcsa azonos az erdészeti térképekével, néhány kiegészítéssel (3.3.3. ábra).



3.3.3. ábra: Vadgazdálkodási jelkulcs kiegészítés

Mindkét térkép kiegészül még az „Útmutató” mellékletében szereplő ún. közjóléti jelkulccsal (tűzrakó hely, esőház, erdei tornapálya, stb.). Vadgazdálkodási üzemtervet 1980-ig csak nagyvadas területről készítettek. A térkép alapja az 1:25000 méretarányú topográfiai térkép volt, amelyre felszerkesztették a gazdálkodás szempontjából fontos elemeket.

Az 1980-tól az üzemtervezés a nagyvadon kívül másra is kiterjed. A térkép alapja továbbra is az 1:25000 méretarányú topográfiai térkép, amelyet úgy másoltak össze az ugyanilyen méretarányúra kicsinyített 1:20000-es erdészeti üzemtervi térképpel, hogy lehagyták a szintvonalakat és az alappontokat. Az 1990-ben lejárt üzemtervek helyett (melyeket évenként meghosszabbítanak) még készültek újak.

3.3.4. A digitális erdészeti térkép (DET)

A Földművelési Minisztérium (ma Földművelési és Vidékfejlesztési Minisztérium) Erdőrendezési Szolgálata (átszervezés előtti név) már az 1980-as évek vége óta foglalkozik a az erdészeti üzemi térképek digitális formára való átalakításával, tartalmi megújításával, az EOV térképrendszerébe (EOTR – Egységes Országos Térképrendszer) történő átalakítással. 1989-1992 között Erdészeti Térinformatikai Rendszer (ETIR) megnevezéssel a felsorolt célokra fejlesztést végzett. Elkezdődött az Erdészeti Digitális Térképbázis (EDIT) digitalizálással való létrehozása. A digitalizálást előkészítő munka előzte meg: az üzemi térkép erdőrészlet határainak átrajzolása a EOV rendszerébe. Ennek során megtörtént a részlethatárok felülvizsgálata és részben, különböző módszerekkel történő javítása. A munka során kiderült, hogy a külső erdőrészlet-határok sok helyen eltérést mutatnak a földmérési alaptérkép hasonló vonalaitól. Ennek vizsgálata hosszú és nehézkes munka.

1997-ben az Erdőrendezési Szolgálat megbízta a Soproni Egyetem (ma Nyugat-Magyarországi Egyetem) Földmérési és Távérzékelési Tanszékét, hogy a DigiTerra Bt-vel együttműködve, az állami földmérés DAT szabványával összhangban, dolgozza ki a Digitális Erdészeti Térkép (DET) *formátum specifikációját*.

A Digitális Erdészeti Térkép *formátuma* – összhangban a DAT MSZ 7772-1 szabvány előírásaival - elsősorban, de nem kizárólag az 1:10000 méretarányú erdészeti üzemi térképek GIS-ben való *adatábrázolásának* elméleti és logikai modelljét írja le, tartalmazza a használt terminológiát, a használható adatforrásokat, az adatszerkezetet és adatmodellt, az adatok szegmentálását, be- és kimeneti formátumát. Ajánlásokat tartalmaz az adatvédelemre, a tematikus megjelenítésre és egy általános, bevezető jellegű ismertető is található benne a GIS-ről. Az adatok pontosságára vonatkozóan nem tartalmaz előírásokat. A DET formátum többcélú erdészeti felhasználást biztosít, lehetőséget nyújt az erdészeti szakigazgatáshoz kapcsolódó néhány szakterület erdőhöz kötődő térképezési igényeinek kielégítésére.

A DET olyan adatszerkezetet valósít meg, ami lehetővé teszi a pont, vonal, terület, felület geometriai objektumokkal és az objektumokhoz kapcsolt attribútumokkal történő teljes körű *topológiai adatábrázolást* (3.1.2. fejezet). A formátum maga viszonylag kevés objektumot határoz meg. Az adatszerkezet kialakításakor tekintettel kellett lenni arra, hogy az erdőhöz kötött adatok jelentős körét az Állami Erdészeti Szolgálatnál karbantartott Országos Erdőállomány Adattár tartalmazza. Az ebben található adatok széles köre, kiegészítve a jelen formátumban megadott adatokkal lehetővé teszi nem csak az erdészeti üzemi térképek, hanem egyéb tematikus térképek előállítását is.

A DET irányelvei:

A formátum kialakításában számos (*tradicionális, racionális*) irányelvnek kell érvényesülni. A formátumot úgy kell meghatározni, hogy a DET:

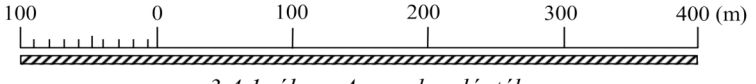
- digitális térképi adatábrázolása a térképi objektumokat különböző osztályokba, csoportokba és típusokba sorolja, az objektumok elkülönítése a leíró információk szerint történjen
- megtartsa a hagyományos 1:10000 méretarányú üzemi térkép műszaki és tartalmi színvonalát és betartsa a korábbi technológiához kötött műszaki paramétereket
- tegye lehetővé a hagyományos térképi megjelenést, támogassa a megszokott térképi szimbólumokat, vonaltípusokat, feliratokat
- támogassa mind az egyszínű, mind a színes digitális térképek előállítását
- szoftver és platform független legyen, tartalmazzon alapvető előírásokat az egyes számítógépes alkalmazásokhoz
- rendelkezzen egy hozzáférhető kimeneti formátummal az egyes alkalmazások közötti adatcseréhez
- a GIS adatábrázolás topológiai legyen, tartalmazza az GIS elemzésekhez szükséges elemeket
- az adatábrázolás tegye lehetővé az összetett objektumok leírását, például: több poligonból álló területek, szigetek stb.
- az adatábrázolás minden térképi objektumhoz egy elsődleges adatrekordot rendeljen, mely tartalmazza az objektum alapvető jellemzőit: típusát, azonosítóját és utaljon a kapcsolt attribútumokra
- követelményrendszere illeszkedjen a DAT MSZ 7772-1 szabványához.

3.4. A térképek szerkesztése

Az *analóg térképek* szerkesztése a mérési eredmények alapján hagyományos eszközökkel, a *digitális térképek* szerkesztése a számítógépbe billentyűzetről, vagy a korszerű geodéziai műszerek (teljes mérőállomások, GPS vevők) terepi adatrögzítőjéről csatlakozó kábelen át bevitt mérési adatok felhasználásával, térképszerkesztő szoftver segítségével történik. A digitális térképszerkesztés részben utánozza az analóg szerkesztés megfelelői lépéseit, ezért, bár utóbbiak szerepe az utóbbi időben jelentős mértékben csökkent, *üzemszerű alkalmazásuk* megszűnőben van, esetleg meg is szűnt, először az analóg módszerekkel, ill. néhány alapvető fontosságú egyszerű segédeszközzel kell megismerkednünk.

3.4.1. Az analóg térképezés eszközei

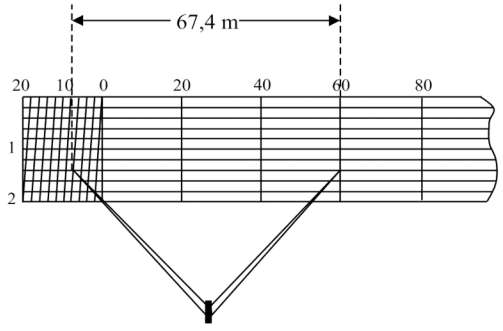
Azokon a térképeken, térkép-kivágatokon, vázlatokon, amelyekről olyan sokszorosított, kicsinyített anyag készül, amelynek méretaránya – éppen a változó méret miatt – nem adható meg, vagy nem kerek érték, általában vonalas léptéket szerkesztenek fel. A vonalas lépték a térkép eredeti méretarányában készül, segítségével egy körzőnyílásba vett térképi hossz természetbeni hossza határozható meg (3.4.1. ábra).



3.4.1. ábra: A vonalas lépték

Egyes régebbi térképeken a vonalas léptéknél pontosabb adatlevételre alkalmas, ún. átlós léptéket találhatunk, amelynek a rácson lévő átlós vonalai segítségével a rajzi pontosságot elérő (± 0,1 – ±0,3 mm középhibájú) adatlevétel és felrakás végezhető el (3.4.2. ábra).

Az átlós léptéket, mint az egyik legegyszerűbben használható *felrakó eszközt*, különböző méretarányban fém (többnyire réz) lemezre vésve is készítik, amelyről a mérendő hosszakat osztókörzővel, illetve az ún. ütközőszálas körzővel vehetjük le.



3.4.2. ábra: Az átlós lépték

A 3.4.2. ábrán látható átlós léptéken egy főbeosztás a térképen 2 cm, amely 20 m-t jelent, a baloldali rács egy mellékbeosztása 2 m. A rácson lévő átlós vonalak segítségével a 2 m további 10 részre bontható, azaz a lépték 20 cm élességű terepi méretek levételére alkalmas. Ez 1:10000 méretarányban 0,2 mm térképi élességnek felel meg.

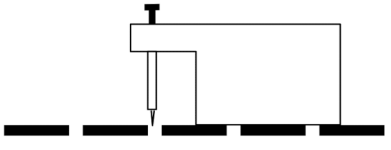
Az analóg térképezés eszközeihez soroljuk az *analóg fotogrammetriai kiértékelések* eszközeit és műszereit is.

3.4.1.1. Felrakó eszközök

Azokkal a térképező eszközökkel, amelyekkel hosszakat, szögeket, koordinátákat szerkesztünk fel a térképre, általában le is vehetünk adatokat. Ezeket a továbbiakban felrakó eszközöknek nevezzük.

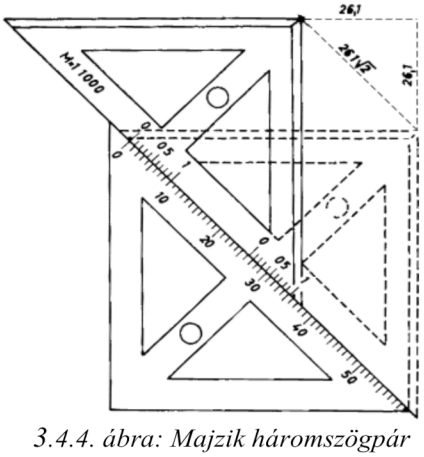
A térképszerkesztés legrégibb eszközei a hálózatszerkesztők, a hosszfelrakó vonalzók, szögfelrakók és a poláris felrakók.

A kézi eszközökkel végzett alap- és részletpont felrakás alapja a térképlapra szerkesztett 5, vagy 10 cm oldalhosszúságú négyzetekből álló koordinátahálózat. A hálózat rácspontjait az ún. hálózatfelrakó lemezzel jelölik meg. Ez kis hőtágulási együtthatójú fémötvözetből készített, 2 mm vastag, nagy pontossággal megmunkált síklemez, amelyen az 5*5 (esetleg 10*10) cm-es négyzethálózat rácspontjaiban 3 mm átmérőjű furatok vannak. A furatokba rugós pontleszúró tű (3.4.3. ábra) illeszthető és a lemez alá helyezett térképlapra a koordinátahálózati vonalak metszéspontjai egyenként átszúrhatók. A leszúrásokat a térképlapon a koordinátatengelyek



3.4.3. ábra: Hálózatfelrakó lemez és pontleszúró tű

irányában az ún. őrkeresztekkel jelöljük meg. Az őrkeresztek méretarántól függő kerek koordináta értékeket jelentenek. A rácspontok szerkesztésének pontossága mintegy ±0,1 mm-es középhibával jellemezhető.

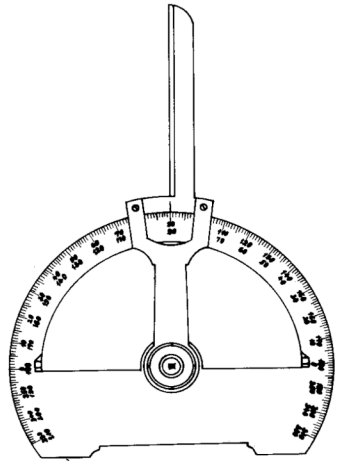


3.4.4. ábra: Majzik háromszögpár

A legelterjedtebb felrakó vonalzó a Majzik-féle háromszögpár (3.4.4. ábra), amely kb. 2 mm vastag, fémből készített, 2 db egyenlőszárú háromszögből áll. Az egyik háromszög átfogója mentén a megfelelő méretarányban végig beosztott, a másik – a befogói mentén fazettázott – háromszög átfogóján nóniusz osztás van. Előbbit alapháromszögnek, utóbbit rajzoló háromszögnek is nevezik. A Majzik-háromszögpár előnye, hogy egyetlen vonalzó fektetéssel két egymásra merőleges irányban – a befogók mentén – lehet távolságot felrakni és - miután az átfogó beosztása a befogók megfelelő méretének $\sqrt{2}$ - szöröse, pontosabb beállítást lehet vele elérni. Pontossága $\pm 0{,}1$ mm.

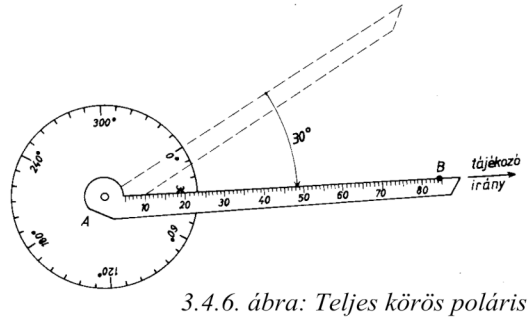
Ha a vízszintes részletmérés eredményei poláris koordináták, úgy a részletpontokat az álláspont felszerkesztett térképi helye körül szögfelrakó és hosszfelrakó vonalzó együttes alkalmazásával, vagy szögek és távolságok felrakására egyaránt alkalmas poláris felrakó segítségével rakjuk fel.

A térképezésre alkalmas *szögfelrakók* fémből készült szögbeosztással ellátott kör alakú eszközök. Az irányt a kör középpontja körül forgatható kar (vonalzó) mentén jelöljük ki, a karra karcolt index, esetleg nóniusz segítségével. A szögfelrakók lehetnek *félkörösek*, vagy *teljes körösek*, ezen belül az óramutató járásával egyező és ellentétes irányú osztásúak (3.4.5. ábra).



3.4.5. ábra: Félkörös szögfelrakó

Ha a szögfelrakót olyan vonalas beosztással ellátott fémvonalzóval egészítik ki, amelynek kezdőpontja (0 osztása) a kör középpontjába esik, a poláris koordinátafelrakó elvéhez jutunk.



3.4.6. ábra: Teljes körös poláris felrakó

A 3.4.6. ábrabeli elrendezésben a szögfelrakó indexét a tájékozó (ismert pontokat összekötő) irányra[3] *mért* irányértékre állítjuk be (30^0), majd az álláspont térképi helyére helyezzük a kör középpontját úgy, hogy a vonalzó éle (iránya) a tájékozó irányra essék. Az összes mért irányértéket és távolságot ehhez viszonyítva rakjuk fel.

Maguknak a szögeknek a felrakása, de a metszéssel meghatározott pontoknak a helyzete is viszonylag pontatlan, ezért a gyakorlat jobban kedveli a mérési eredmények derékszögű koordinátákká való átszámítását, s mind az alappontok, mind a részletpontok koordinátákként történő felrakását. Ez utóbbi célra alkalmas eszközök a koordinatográfok.

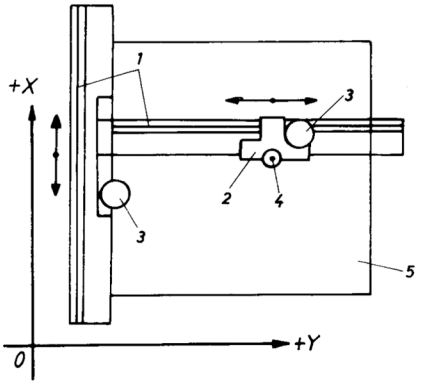
A koordinatográfok

A *koordinatográfok* olyan szerkezetek, amelyek derékszögű tengelyrendszerükkel viszonylag nagy felületet hidalnak át és úgy a szelvényhálózat-keret, mint az alappontok koordinátáinak, ill. a koordinátáikkal adott részletpontok koordinátáinak felrakására alkalmasak. Egyik típusuk, a mechanikus koordinatográf a XIX. század végén jelent meg.

A *mechanikus koordinatográf* olyan asztal, amelynek egyik oldalán szabatosan készített fogaslécen számláló szerkezettel ellátott fogaskerekekkel mozgó szerkezet van. E szerkezet mozgatásával állítjuk be az egyik (pl. az y) koordinátát. A szerkezethez ugyancsak fogaslécen az előbbi irányra merőlegesen mozgó kocsi csatlakozik, amelyet szintén számláló szerkezettel láttak el. Ezen állítjuk be a másik (esetünkben az x) koordinátát. A kocsi a rajzfelület bármely pontjára állítható. A térképezendő pontot a kocsin lévő pontleszúró tű, vagy egyéb

[3] A tájékozó irány fogalmával az 5.2.2.2. fejezet "Az irányértékek tájékozása" c. alfejezetében ismerkedünk meg.

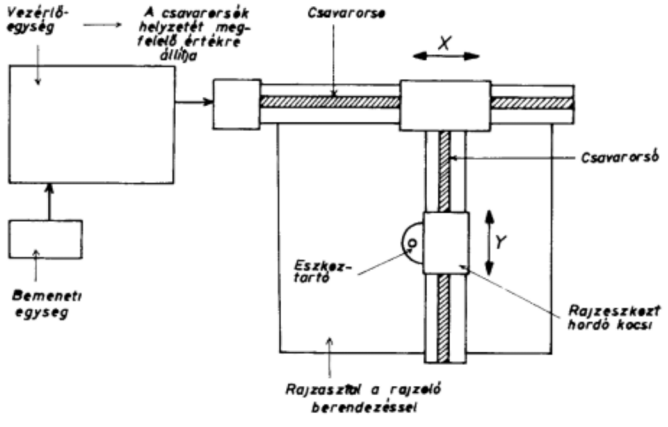
rajzeszköz jelöli meg. A mechanikus koordinatográf szerkezeti vázlatát a 3.4.7. ábrán mutatjuk be. A 3.4.7. ábra jelölései:



3.4.7. ábra: A mechanikus koordinatográf

1 - főosztások; 2 – mozgó kocsi; 3 – számlálószerkezet; 4 – eszköztartó; 5 – rajzasztal. A eszköztartóban a pontleszúró tű pontra állásra alkalmas eszközzel, pl. lupéval cserélhető ki, ami a kész térképen a koordináták mérését teszi lehetővé.

Az automatikus koordinatográfok működési alapelve abban megegyezik a mechanikus koordinatográféval, hogy a rajzeszköz mozgatása a két tengely irányában egymástól független. A rajzeszköz azonban nem kézzel mozgatható, hanem azt elektronikus vezérlőegység irányítja elektromechanikus áttételen keresztül. Az ábrázolandó koordináták valamilyen adathordozóról elektromos impulzusok formájában érkeznek a vezérlőegységbe.



3.4.8. ábra: Automatikus térképező berendezés

Napjaink korszerű számítógépes térképező berendezéseinek, automatikus rajzgépeinek (digitális plotter) közvetlen elődei az automatikus térképező berendezések (3.4.8. ábra). Átmenetet képeznek az analóg és a digitális felrakó eszközök között, mert már alkalmasak voltak arra, hogy - összekapcsolva a számítás és a rajzolás műveleteit - a számítógépek által szolgáltatott információkat rajzban rögzítsék.

3.4.1.2. A felmérési térkép készítése

Az analóg térképkészítés bonyolult, nagy élőmunka igényű folyamat.

A tulajdonképpeni térképezés, azaz a felmért pontok felrakása a megfelelő méretarányban az ún.„nagyból a kicsi felé haladás” követi (2.3. fejezet). Először a koordinátákkal rendelkező alappontokat rakjuk fel, hálózatfelrakó lemez, vagy koordinatográf felhasználásával, majd a részletpontok következnek felrakása következik (Majzik-háromszögpárral, szög-, hossz-, poláris felrakókkal). Ha a részletpontok mérési eredményeit derékszögű koordinátákká

számítjuk át, ezek felrakását is az alappontokhoz hasonlóan végezzük. Tehát térképezéskor a pontokat meghatározásuk sorrendjében ábrázoljuk.

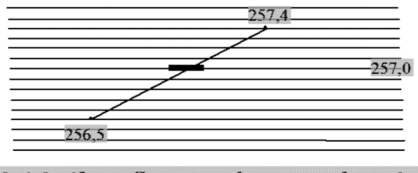
A bemért tereppontok felrakása után a térkép síkrajzának kidolgozása, a továbbiakban pedig a domborzat szintvonalainak megszerkesztése következik. A síkrajz megrajzolását utasítások szabályozzák, a földmérési alaptérképek készítésénél elsősorban a DAT Szabályzat (3.1.2. fejezet) az irányadó mind a részletpontok összekötésének, mind a jelkulcsnak a tekintetében. A síkrajzi részletpontok összekötésekor a mérés idején kötelezően elkészített, az alap- és részletpontok elhelyezkedését és számozását, a síkrajzi elemeket felvázoló, ún. mérési vázrajzot is felhasználjuk. Ha a mérési vázlatot a domborzati elemekkel is kiegészítjük, a vázrajznak e része az idomváz (3.2.2.1. fejezet).

Szintvonalak szerkesztése

A kellő számban és a domborzatnak megfelelően kiválasztott magassági részletpontok magasságait fölhasználva a szintvonalak jellemző pontjait kézi módszerrel interpolálják. E pontokra folyamatos, lehetőleg törés nélküli szintvonalakat illesztenek. Befejezésül tussal el kell készíteni a tisztázati rajzot, majd fóliákra a különböző színnel nyomtatandó tematikák másolatait.

A magassági részletpontokat a vízszintes részletpontokkal együtt rakjuk fel a térképlapra (természetesen a síkrajzot jellemző vízszintes részletpontoknak is lehet magassági adata). A részletpontok számított magassági értékeit még a pontok felrakásakor a pont mellé írjuk. Az így kialakított ponthalmaz képezi a *szintvonalas ábrázolás* alapját. Az ábrázolás szükséges segédeszköze a jól elkészített *idomváz*.

A különböző magasságú pontok között először a kerek értékű szintvonalak helyét kell meghatároznunk. Ez a szomszédos részletpontok között *interpolálással* történik. Az interpolálás lineáris, tehát csak akkor hajtható végre, ha a szomszédos részletpontok jó közelítéssel egy terepen fekvő egyenletes lejtésű egyenessel összeköthetők. A szintvonalakat megkapjuk, ha az azonos kerek magassági értékű pontokat folytonos görbe vonallal összekötjük.



3.4.9. ábra: Szintvonalpont szerkesztése

Az interpolálást legegyszerűbben egy átlátszó papírra szerkesztett egyenlő távolságú *párhuzamos egyenes-sor* segítségével végezhetjük (3.4.9. ábra). Tételezzük fel, hogy a szintvonalakat 1 m-es szintközzel tervezzük. A feladat a 257,4 m és a 256,5 m magasságú, az esés irányába eső pontok között a kerek 257 m értékű szintvonalpont megszerkesztése.

Az egyenes-sort úgy forgatjuk el a térképlapon, hogy az adott pontok két olyan párhuzamosra essenek, amelyek között a dm-ben kifejezett magasságkülönbségnek megfelelő számú párhuzamos helyezkedik el. Ekkor a kívánt pont a két pont összekötő egyenesének és a 257,0 m értékhez tartozó párhuzamosnak a metszéspontja. Ezt aztán átszúrással vihetjük át a térképre.

A szintvonalak rajzolásánál legyünk tekintettel arra, hogy azok mindig merőlegesek a legrövidebb esés irányára, a főesésvonalra. Utóbbiakat – min tudjuk - a jól elkészített idomváz tartalmazza.

Maga a *szintvonalszerkesztés* két lépésben történik. Először egy „nyers” szintvonaltervet készítünk, amely többnyire az azonos magasságú pontokat összekötő egyenesekből áll. A második lépésben a nyers szintvonalterv birtokában az egyeneseket íves, törés nélkül csatlakozó görbe vonallal helyettesítjük.

3.4.2. A digitális térképezés eszközei

Az 1960-as évek végétől hosszú út vezetett a digitális térképezés mai eszközeiig. A digitális (számítógépes) úton történő térképezésnek előfeltétele egy – a mérési eredmények számítógépes feldolgozását végző és a feldolgozás eredményeit analóg formában megjeleníteni képes szoftver. A megjelenítés történhet a számítógép monitorán, vagy digitális rajzgépen (plotteren). A személyi számítógépek üzemszerű elterjedésével nagyszámú ilyen szoftver született. A szoftverek nem csak az adatállomány megjelenítésére, hanem a gyűjtött adatok fogadására és feldolgozására is alkalmasak. Ilyen pld. az AutoGEO v2.0. geodéziai programrendszer.

Összhangban a 2.1.1. fejezetben a digitális térképre adott megfogalmazással, a digitális térképezés eszközei alatt itt csak azon számítógépes lehetőségeket értjük, amelyek a már meglévő számítógépes adatállomány alapján az *analóg térkép megjelenítésére* alkalmasak. Feltételezzük, hogy az adatállomány már létezik. A adatállomány létrehozásának folyamatához tartozó műveleteket (adatgyűjtés, adatfeldolgozás, elemzés) erre a célra létrehozott szoftverek (pld. az AutoGEO v2.0. programrendszer) végzik.

3.5. A térképek használata

A *térképek használatán* a térképen való tájékozódást, eligazodást, a térképi-terepi elemek felismerését, illetve minden, a térképpel összefüggő tevékenységet értünk. Ilyenek:

- térképi információk, méretek, területek levétele, tervezés
- új terepi információk (változások), országos alappontokra támaszkodó mérési eredmények felvitele (felrakása) térképre
- térképek összemásolása, kisebbítése.

Az utolsó pontban szándékosan kihagytuk a térképek *nagyobbítását* (méretarányának növelését). Egy adott méretaránynak megfelelő tartalmú térkép ugyanis a mérési és a térképi ábrázolási hibák megengedhetetlen felnagyításával jár, tehát – bár a nagyobbítás elvileg lehetséges – mindenképpen kerülendő. A digitális térképezésnél a nagyítás mértékét az *adatsűrűség* határozza meg (2.2.1. fejezet).

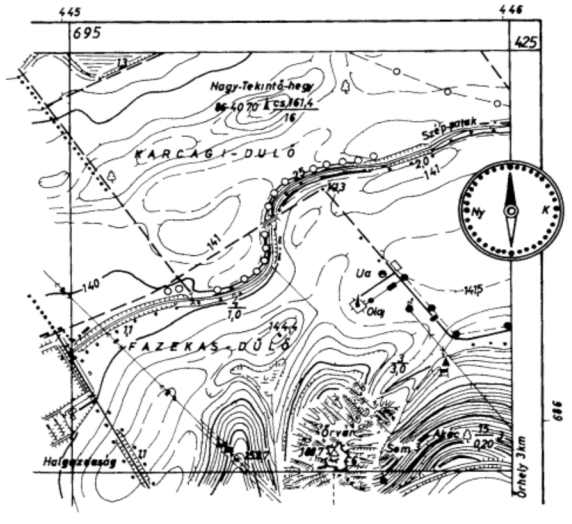
A felsorolt tevékenységek az *analóg térképeken* végezhetők. A *digitális térképeken* minden, az *analóg térképekre* jellemző tevékenység elvégezhető, egyrészt, mivel megjeleníthetők *analóg formában,* másrészt, mivel e tevékenységek elvégezhetők számítógépes műveletek formájában is (kivétel a térképek terepi használata, itt általában analóg térképre van szükség). A *digitális térképek* használatához tartoznak a GIS (a számítógépes földrajzi információs rendszerek) - elméletileg korlátlan – elemzési-döntési lehetőségei is. Az alábbiakban elsősorban az analóg térképeken is végezhető tevékenységeket tekintjük át. A digitális térképek használatáról röviden a 3.5.2. fejezetben ejtünk szót.

3.5.1. Analóg térképek használata

A térképeket – elsősorban a *topográfiai térképeket* – az ábrázolt síkrajznak és domborzatrajznak megfelelően különböző feladatok megoldására használják. A következőkben néhány, a gyakorlatban leggyakrabban előforduló feladattal foglalkozunk.

3.5.1.1. Tájékozódás a terepen

A térkép tájékozása



3.5.1. ábra: Térkép tájékozása iránytűvel

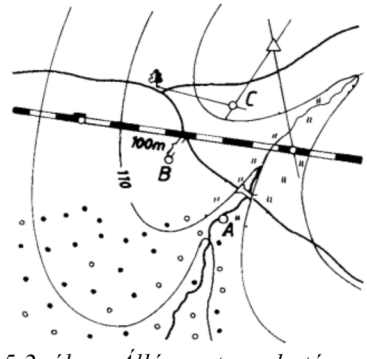
A térkép tájékozását közelítőleg elvégezhetjük a térképen azonosítható tereptárgyak, létesítmények alapján, a pontosabb tájékozáshoz azonban fokbeosztásos iránytű szükséges. A *tereptárgyak alapján történő tájékozáshoz* valamilyen térképen azonosítható vonal szükséges (út, birtokhatárvonal, stb.). Ekkor, egy vonalzót a térképi vonal mentén a térképre helyezve, a térképpel együtt addig forgatjuk el, amíg a vonalzó éle mentén a terepet szemlélve, a terepi egyenes a megfelelő térképi vonallal párhuzamos lesz. Ha a térképen is azonosítható ponton állunk (útkereszteződés, kilométer-tábla) és egy másik, ugyancsak azonosítható pontot látunk, a tájékozást a két pont összekötő egyenese mentén végezzük el.

Az *iránytűvel való tájékozásnál* az iránytű 0 (északi) osztását a térképszelvény keretvonalához illesztjük, s a térképpel együtt addig forgatjuk el, míg az iránytű északi vége a 0 osztásra esik (3.5.1. ábra).

Álláspont meghatározása a térképen

Legegyszerűbb, ha a térképen is ábrázolt tárgy közelében állunk fel. Ekkor maga a tárgy (ill. egyezményes jele) lesz álláspontunk térképi helye is. Ha álláspontunk nem egyezik meg térképen azonosítható ponttal, lehetőségeink a következők:

- térképen azonosítható közeli tereptárgyak alapján a térképet tájékozzuk, az álláspontunk helyét szemre jelöljük ki (a 3.5.2. ábrán az A pont);
- csak egy azonosítható tárgy esetén a térképet vonalzó segítségével tájékozzuk és a vonalzó mentén egyenes vonalat húzunk. A terepen megmérjük (legegyszerűbben lépéssel) a tereptárgy és az álláspont távolságát, majd ezt méretarányhelyesen felrakjuk a húzott vonal mentén (a 3.5.2. ábrán a B pont);
- ha álláspontunk közelében nincs tereptárgy, úgy távoli, térképen azonosítható tárgyak (gyárkémény, templomtorony, kilátó, hegycsúcs, jellemző fa, stb.) segítségével oldjuk meg a feladatot.



3.5.2. ábra: Álláspont meghatározása a térképen

Legalább két látható tárgy esetén a térképet tájékozzuk, s a mindkét tárgy irányából húzott egyenes vonalak metszéspontja álláspontunk térképi helyét (a 3.5.2. ábrán a C pont).

A térképen ábrázolt tárgy megkeresése a terepen

A térképét tájékozzuk és meghatározzuk rajta álláspontunkat. A vonalzót az álláspont és a tárgy képe (egyezményes jele) mentén helyezzük a térképre. A vonalzón leolvasható távolság és a kijelölt irány figyelembevételével a tárgy felkereshető.

Tereptárgy megkeresése a térképen

A térképet tájékozzuk és megkeressük álláspontunkat. A tárgy irányában nézve a térképen megkeressük a tárgyat, vagy egyezményes jelét, a terepen becsült távolság figyelembevételével. Ha a tárgyat a térképen nem találjuk, úgy ellenőrizzük a térkép tájékozását és álláspontunk helyét. Ha a tárgy a térképen még mindig nem lelhető fel, úgy a tárgy már a felmérés végrehajtása után került a terepre, vagy valamilyen okból a felmérés során nem ábrázolták.

Haladás a terepen térkép alapján

Úton, vagy más vonalas létesítmény mentén haladáskor előzetesen tanulmányozzuk a térképen az útvonalat, s megjelöljük az út mentén lévő, tájékozódás céljára alkalmas tereptárgyakat (hidak, útkereszteződés, kilométerkő, emelkedők, lejtők, stb.), az útról látható egyéb kiemelkedő létesítményeket (jellegzetes házak, gyárkémények, stb.). A kiindulási pontban a térképet tájékozzuk, meghatározzuk álláspontunkat. Ezt megismételjük minden következő azonosítható pontban, s így útvonalunkat a térkép alapján végig követjük.

Ha a terepen vonalas létesítmény nincs, a térképen jelöljük ki útvonalunkat. A tájékozódás céljára a térképen útba eső minden jelentős tárgyat felhasználunk.

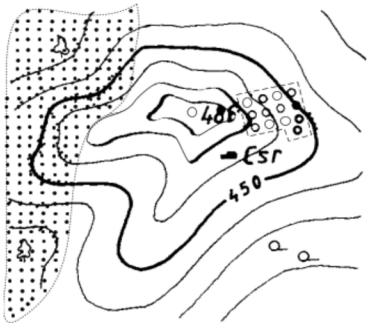
A térképen fel nem tüntetett útelágazáshoz érve, el kell döntenünk, melyik úton menjünk tovább. E célból a térképen megjelöljük álláspontunkat, megállapítjuk haladási irányunk irányszögét, a terepen közelítően meghatározzuk az elágazó utak irányszögeit, s azon az úton megyünk tovább, amelyiknek irányszöge a térképi haladási irányhoz legközelebb esik.

3.5.1.2. Térképi információk, méretek, területek levétele, tervezés

Mint láttuk, a térképek (az analóg térképek is) rendkívül sok, mennyiségi és minőségi információt tartalmaznak. A *minőségi információk* a térképről többnyire egyszerűen leolvashatók, a *mennyiségi információkhoz* jutás azonban általában különböző eszközöket, ill. műveleteket igényel. Az eszközök között szerepelnek a *felrakó eszközök* (3.4.1.1. fejezet), a területek meghatározása azonban egyéb eszközöket is igényel. Fentieken túlmenően a térképek – többnyire a szintvonalas magassági ábrázolással összefüggő - *tervezési feladatok* alapját is szolgáltatják. Mind a mennyiségi információk, mind a tervezési feladatok közül az alábbiakban néhány fontosabbat mutatunk be, a teljesség igénye nélkül.

Adott pont magasságának meghatározása

A térképen a tengerszint feletti magasságok meghatározására a szintvonalak és az egyes magassági jelekhez írt számok adnak útbaigazítást. Figyelemmel kell lenni a viszonylagos magassági értékekre, amelyek az árkok, töltések, gödrök, szakadékok, sziklák mélységi (magassági) adatait mutatják (3.2.2., 3.2.3. ábrák).



3.5.3. ábra: Magasság meghatározása

A magasság meghatározása a topográfiai és a turista térképeken a szintvonalak segítségével történik. Nézzünk egy példát!

Határozzuk meg a 3.5.3. ábrán látható csárda tengerszint feletti magasságát! A csárda a 460 m-es és a 470 m-es szintvonalak között úgy helyezkedik el, hogy közelebb esik a 460 m-eshez, ezért interpolálással 463 m-es magasságban fekvőnek minősíthetjük. Ezzel a módszerrel a térképen minden tereptárgy magassága megközelítőleg meghatározható.

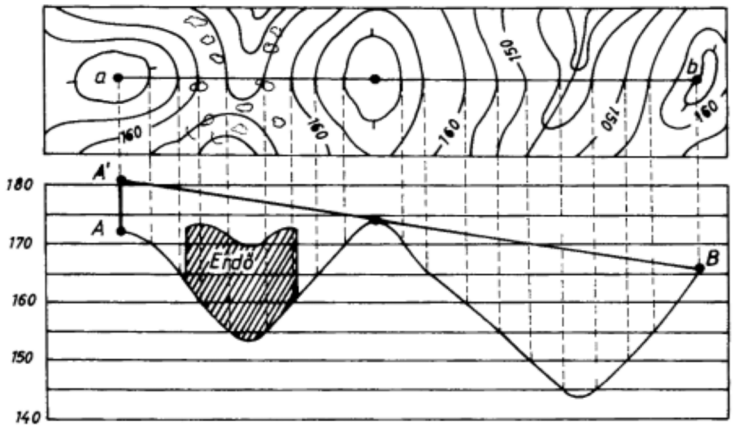
A lejtésviszonyok és a lejtőszög meghatározása

Mint a 3.3.2. fejezetben láttuk, a szintvonalas térképeken szoros összefüggés van a szintvonalak futása és a lejtő alakja között. Így a szintvonalak futásából megállapíthatjuk a lejtő alakját. Ez a feladat merülhet fel pld. egy terepbejárás megszervezésekor, ha tudni akarjuk, hogy terepjárónk képes-e felkapaszkodni az adott lejtőn, vagy a műszaki gyakorlat számára (út-, vasút-, közműépítés) szükséges lejtőszög meghatározása esetén. A lejtőszög meghatározható a (3.3.1) összefüggésből, az *a lejtőalap* és a Δm *szintköz* alapján, vagy a 3.3.1. ábra szerint a *lejtőalap-mérték* felhasználásával.

Összeláthatóság, metszetszerkesztés

Gyakran előforduló feladat, hogy meg kell határoznunk két térképi pont *összeláthatóságát* (pld. a hagyományos geodéziai mérések előkészítésénél). Ilyenkor a térkép alapján *metszetet* kell készítenünk.

Metszet alatt a terep és egy függőleges sík metszésvonalát értjük. A szerkesztést a szintvonalak felhasználásával hajtjuk végre, a 3.5.4. ábrán feltüntetett módon.



3.5.4. ábra: Metszetszerkesztés szintvonalak alapján

A térképi *ab* metszet különböző domborzati formákat ábrázoló szintvonalakat metsz. A metszéspontokat egy adott szintközű (esetünkben 5 m-es) beosztott papírra vetítjük át a szintvonalak magassági értékeinek megfelelően. A 3.5.4. ábra alsó részén az *AB* vonal a metszet.

A metszet alapján megállapítható, hogy a metszet két pontja összelátszik-e vagy sem. Ábránkon az *A* és a *B* pontok nem látszanak össze. Ha az összelátást biztosítani akarjuk, az ábrából leolvashatóan pld. az *A* ponton minimálisan 8 m magas *ideiglenes jelet* kell építeni.

Fedett terep esetén az összelátást egyéb tárgyak (fák, épületek, stb.) is akadályozzák. Ha a térkép ezen tárgyak magasságára vonatkozó információkat tartalmaz, a metszeten érdemes e tárgyakat is feltüntetni. Ábránkon az erdő az összelátást nem akadályozza.

Egy adott területen a metszeteket megfelelő sűrűségben felvéve, egy kiinduló szintfelülethez képest, a metszetek területe és térképi távolságuk alapján *földtömegszámítás* is végezhető.

Távolság meghatározása a térképen

A feladat valamilyen térképi vonal (út, birtokhatárvonal, erdőrészlet-határ, stb.) hosszának (tulajdonképpen a – vízszintes - vetületi hossz) meghatározása a térkép alapján. A vonalhosszak meghatározását legegyszerűbben a térképlapon feltüntetett *vonalas lépték* (3.4.1. ábra) segítségével végezhetjük el. Pontosabb távolság meghatározáshoz *átlós léptéket* használunk (3.4.2. ábra). Nem metrikus (pl. öles) méretarányokban, vagy nem kerek méretarányszámú légi felvételről történő méréskor szükség lehet a megfelelő méretarányú *átlós lépték megszerkesztésére*. A szerkesztés alapja a lépték *i* osztásköze. Utóbbit úgy számítjuk ki, hogy az valamilyen kiválasztott kerek *t* terepi hossznak feleljen meg. Értéke cm-ben az alábbi:

$$i\,(\mathrm{cm}) = \frac{t}{0{,}01\,a}\,, \qquad (3.5.1)$$

ahol a *t* értékét m-ben adjuk meg, *a* – a méretarányszám.

A térképi vonalak mérését *osztókörzővel* végezzük. Egyenes szakaszokból álló *tört vonal* esetén célszerű úgy eljárni, hogy az egyenes szakaszok hosszát a körző hegyei között folyamatosan összegezzük. *Görbe vonalak* esetén azokat egyenesnek vehető szakaszokra osztjuk, s így végezzük el az összegzést.

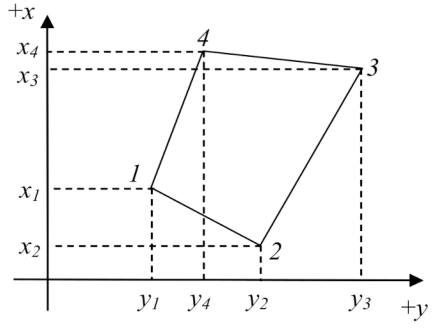
Napjainkban már sokkal gyakoribb a számítógépen, a digitális térkép monitoros megjelenítésén történő távolság meghatározás.

Területek meghatározása a térképen

A vetületi koordinátarendszerben készült térképeknél *területen* az adott idom térképen ábrázolt (vízszintes vetületi) területét értjük. A térképről ez vehető (mérhető) le, s nem egyezik meg pontosan a földfelszínen lévő valódi területtel. A terület meghatározás gyakori feladat mind az erdőmérnöki gyakorlatban, mind egyéb, a környezettel kapcsolatos tevékenység esetén: pld. erdőtömbök, erdőrészletek területét kívánjuk az üzem- (erdő-) tervi térképeinken meghatározni. A terület meghatározás sok esetben a tereprendezéssel és a terep átalakításokkal kapcsolatos földtömegszámítások céljára szolgál.

Egy térképen ábrázolt idom területének meghatározása analóg módszerekkel függ a terület alakjától. Ha a területet határoló vonal egyenes vonalakból áll és ismertek (kellő pontossággal meghatározhatók, levehetők) az egyes szakaszvégpontok koordinátái, a területet a koordinátákból határozzuk meg (terület meghatározás koordinátákból): ez a *numerikus módszer*. A meghatározás történhet még elemi területrészekre bontással, majd az elemi területek ezt követő összegzésével, ill. az ún. planiméterrel (területmérő műszerrel). A két utóbbi módszer mind egyenes, mind görbe határoló vonalak esetében is alkalmazható: ez a *grafikus módszer*.

Terület meghatározás koordinátákból



3.5.5. ábra: Terület meghatározás koordinátákból

Legyen feladatunk a 3.5.5. ábrán látható szabálytalan négyszög területének meghatározása. A sarokpontok koordinátái az *y, x* koordinátarendszerben $y_1, x_1, \ldots\ldots, y_4, x_4$. Az alakzat területe az $1y_1y_3 34$ és az $1y_1y_3 32$ idomok területének különbsége (y_1-el és y_3-mal jelöltük most az *y* – tengellyel való metszéspontokat is). A két terület különbsége trapézok területének az alábbi előjelhelyes összege:

$$T = \frac{x_1 + x_2}{2}(y_1 - y_2) + \frac{x_2 + x_3}{2}(y_2 - y_3) + \frac{x_3 + x_4}{2}(y_3 - y_4) + \frac{x_4 + x_1}{2}(y_4 - y_1),$$

vagy, általánosan:

$$T = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^{n} (x_i + x_{i+1}) \cdot (y_i - y_{i+1}). \qquad (3.5.2a)$$

A terület, természetesen, számítható azokból a trapézokból is, amelyek alapja az *x* – tengelyen van:

$$T = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^{n} (y_i + y_{i+1}) \cdot (x_i - x_{i+1}). \qquad (3.5.2b)$$

A fenti összefüggések felírhatók a

$$T = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i \cdot (y_i - y_{i+1}), \qquad (3.5.3a)$$

vagy a

$$T = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^{n} y_i \cdot (x_i - x_{i+1}) \qquad (3.5.3b)$$

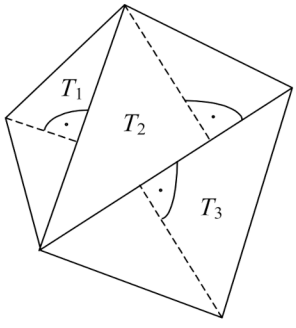
alakban. Utóbbiak az ún. Gauss-féle összegképletek. Ha a területet határoló sokszög sarokpontjait tetszőleges körüljárási értelemben 1-től *n*-ig folyamatosan számozzuk, az 1. sarokpontot az *n*. sarokpont előzi meg, az utolsó, az *n*. sarokpontot az 1. sarokpont követi, vagyis, ha $i = 1$, akkor $i - 1 = n$, ha pedig $i = n$, úgy $i + 1 = 1$. Az eredmény akkor helyes, ha minden koordináta azonos előjelű. Ellenőrzésül célszerű a területet mind a (3.5.3a), mind a (3.5.3b) képlettel kiszámítani. A (3.5.3b) összefüggés az óramutató járásával egyező körüljárás és pozitív koordináták mellett a területet negatív előjellel szolgáltatja.

Terület meghatározás elemi területekre bontással

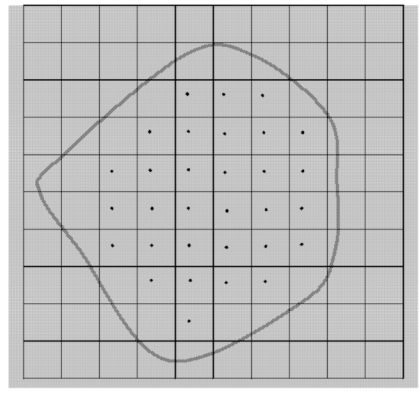
Az egyenes vonalakkal határolt térképi idomot – az idom alakjától függően – háromszögekre, vagy, ritkábban, trapézokra bontjuk, ezek területeit külön-külön határozzuk meg, majd összegezzük (3.5.6. ábra). A háromszögek alapját és magasságát pld. a Majzik-féle háromszög párral megmérjük (3.4.4. ábra).

Görbe vonalakkal határolt idomok területének meghatározására legegyszerűbb – de a legkevésbé megbízható – eljárás az idom négyzetekkel történő behálózása (négyzetrács), amely négyzeteknek a területe a térkép méretarányában kerek és ismert nagyságú (3.5.7. ábra). Hogy ne kelljen a négyzethálót szerkeszteni és a térképet fölösleges vonalakkal terhelni, a

megfelelő méretarányokhoz üveglapra, vagy átlátszó műanyaglapra pontos osztású négyzetrácsot („*üveg planiméter*”) készítettek. Az osztott üveglapot ráfektetve a görbe vonalakkal határolt idomra, megszámoljuk a területre eső egész négyzeteket, azokat a négyzeteket pedig, amelyeken a görbe vonal áthalad, a négyzet területének tizedéig megbecsüljük a meghatározandó területbe eső részét.



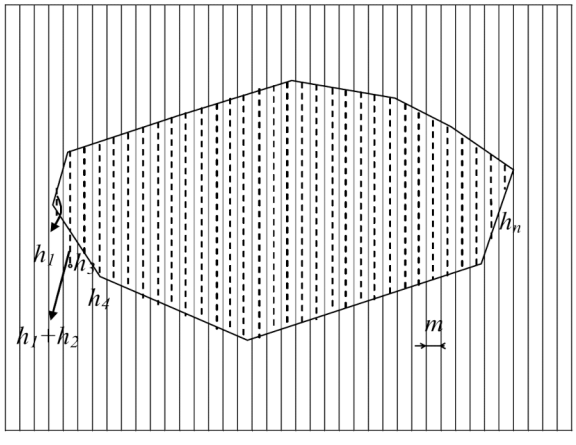
3.5.6. ábra: Területelemekre bontás egyenes vonalakkal határolt idomoknál



3.5.7. ábra: Négyzetrács szerkesztés görbe vonalakkal határolt idomoknál

Ellenőrzésül és a durva hibák elkerülése céljából a négyzetrácsnak a meghatározó idomon kívül eső területét is hasonló módon meghatározzuk. A két terület összege az egész rács területe. A különbséget a terület nagysága szerint el kell osztanunk.

Görbe vonalakkal határolt idom területét meghatározhatjuk kis, egyenlő magasságú trapézekre történő felbontással is. A felbontást nem a térképre rajzoljuk, hanem a térképre helyezhető ún. Alder-féle hárfával végezzük el (3.5.8. ábra). Ez rézkeretre kifeszített lószőrhúrozásból áll, ahol a húrok egymástól való távolsága pontosan ismert (többnyire 2 mm, de különleges méretarányhoz más is lehet).



3.5.8. ábra: Alder-féle hárfa

Az egyszerűbb számozás kedvéért minden ötödik szálat színeznek.

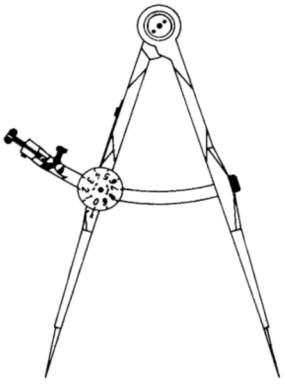
Az Alder-féle hárfát ráhelyezzük a meghatározandó területre és ezzel azt egyenlő magasságú keskeny trapézokra osztottuk fel. A trapéz területét a középvonal és a magasság szorzata adja. Mivel a trapézok m magassága azonos, azt kell megszorozni a trapézok középvonalainak összegével.

A középvonalakat nem egyenként mérjük, hanem *mérőkörzővel* egyszerre többet összegezünk.

Az első középvonalat (h_1) körzőnyílásba fogjuk és a következő (h_2) mellé helyezzük. Amikor a körzőt a második végpontjáig kinyitjuk, akkor a körzőben $h_1 + h_2$ lesz. Ezt az összegzést ad-

dig folytatjuk, amíg a körző csúcsai között a léptékünkben még lemérhető hossz lesz. A leolvasott középvonalhosszt leírjuk. A eljárást addig folytatjuk, amíg nem összegeztük az egész meghatározandó területet. Ezt végül megszorozzuk a közös *m* magassággal.

Az Alder-féle hárfához különleges *mérőkörzőt* (ún. ütközőszáras mérőkörzőt) készítettek, amelyet egy meghatározott nagyságig lehet csak kinyitni. Ahányszor ezt a teljes nyílást elérjük, egy számláló korong egy számjeggyel tovább ugrik (3.5.9. ábra). Nem kell tehát rész középvonal-összegeket lemérni, hanem csak a végső maradékot, a többi hossz a számláló korongról leolvasható.



3.5.9. ábra: Különleges mérőkörző az Alder-féle hárfához

Terület meghatározás planiméterrel

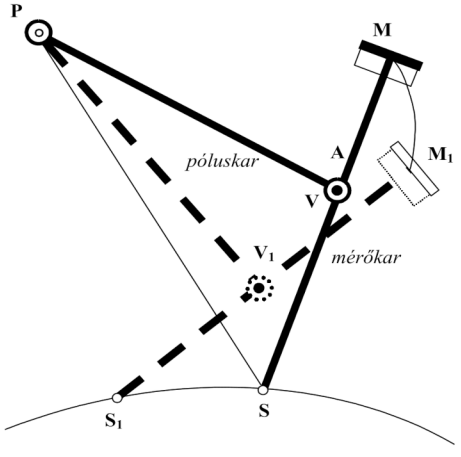
Az analóg területmeghatározásnak ez a módja *mechanikus területmérés*. Műszerei a területmérő műszerek, a planiméterek, amelyekkel a térképi idom területét közvetlenül meg tudjuk mérni. A *planiméterek* tulajdonképpen *integrátorok*, amelyekkel területi integrálok számértékei automatikusan határozhatók meg anélkül, hogy a térképi görbe vonalak egyenletét felírnánk (általában nem is írhatók fel). A gyakorlatban az ún. *„kerületen járó”* planimétereket használjuk, a területet a körülvevő kerület definiálja. E planiméterek elve és kivitele attól függ, hogy a (3.5.4) terület integrál kifejezést derékszögű, vagy poláris koordinátarendszerre vonatkoztatjuk. Derékszögű rendszerben a

$$T = \int f(x) \cdot \mathrm{d}x \qquad (3.5.4)$$

poláris rendszerben a

$$T = \int f(\varphi) \cdot \mathrm{d}\varphi \qquad (3.5.5)$$

alakú integrálok számértékeit határozzuk meg automatikusan. Eszerint beszélünk derékszögű, vagy ortogonális és poláris planiméterekről. A gyakorlatban a poláris planiméter terjedt el, a továbbiakban ezt ismertetjük.

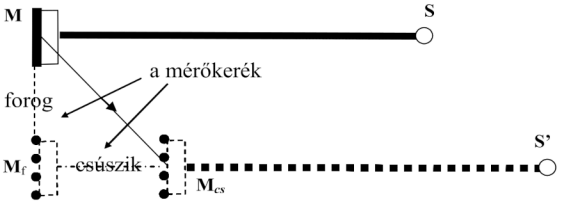


3.5.10. ábra: A poláris planiméter vázlata és működése

A *poláris planiméter* egymással a **V** pontban csuklósan összekapcsolt két fémrúdból (póluskar és mérőkar) áll (3.5.10. ábra). A póluskar **V** csuklóval ellentétes végén a területmérés közben mozdulatlan „nehezék”, általában a térképbe szúrható tű, a pólus (P) helyezkedik el. A mérőkar V csuklóhoz közelebbi végén van a mérőkerék (M), távolabbi végén a térképlapon mozgatható index, a mérőcsúcs (S). A mérőkerék egy, a mérőkarral párhuzamos, vízszintes tengely körül forog. Az indexet a mérendő idom kerületén végig vezetjük, miközben az e tengelyen lévő végtelencsavar a mérőkerék egyszeri körülfordulá-

sa után a vele kapcsolatban lévő *fordulatszámláló* fogaskerekét egy értékkel elforgatja. A mérőkerék rendszerint 100 részre osztott, egy nóniusz segítségével egy osztásnak a tized részét becsülhetjük. A fordulatszámlálón a mérőkerék egész számú fordulatait, a mérőkeréken 00-tól 99-ig, a nóniusz mentén pedig 0-tól 9-ig olvashatunk le. A leolvasás eredménye tehát egy 4 jegyű szám. A régebbi egyszerűbb planimétereknél a mérőkerék érintkezik, a szabatos planimétereknél a mérőkerék nem érintkezik a térképlappal, de mindkét esetben csúszik, vagy gördül a térképlapon aszerint, hogy a mérőcsúcsot milyen irányba mozdítjuk el. Ha a mérőcsúcs a mérőkar hossztengelye irányában mozdul el, a mérőkerék csúszik, ha pedig a mérőkar irányára merőlegesen mozdul el, a mérőkerék elfordul.

A mérőcsúcs minden egyéb irányban történő mozgásánál a mérőkerék részben csúszó, részben gördülő mozgást végez. Minden ilyen mozgás úgy tekinthető, mintha egy derékszögű háromszög egyik befogója mentén a mérőkerék csak csúszott, a másik befogója mentén csak gördült volna (3.5.11. ábra).



3.5.11. ábra: A mérőkerék mozgása

A planiméterrel mért terület a

$$T = c \cdot (n_v - n_k) = c \cdot \Delta n \qquad (3.5.6)$$

összefüggéssel fejezhető ki, ahol a c a planiméter szorzóállandója, az $n_v - n_k$ érték a mérőkerék n_k kezdeti és n_v végső leolvasásának különbsége.

A póluskar és a mérőkar egymásra merőleges helyzetében a mérőcsúccsal egy kör írható le anélkül, hogy a mérőkerék elfordulna, azaz a mérőkerék csak csúszik. Ezt a kört a planiméter alapkörének (*alapvonalának*) nevezzük.

Összefoglalva, a területmérést a következő módon hajtjuk végre:

A planiméter pólusát úgy helyezzük el, hogy a terület a mérőcsúccsal körüljárható legyen. Ezután a csúcsot a kerület egy kijelölt pontjára állítjuk és leolvassuk a *fordulatszámlálót* (n_k), majd az óramutató járásával egyezően végigvezetjük az alakzat kerületén egészen a kiinduló pontig, ahol ismét leolvasunk (n_v). Ekkor a terület a (3.5.6) összefüggésből számítható.

A térképi alakzat nagyságától függően a planiméter pólusát elhelyezhetjük az alakzaton kívül (külső pólusfekvés) és az alakzaton belül (belső pólusfekvés). Külső pólusfekvés esetén a számítás a (3.5.6) képlettel történik, belső pólusfekvés esetén viszont a planiméter csak az alapkör és az alakzat kerülete közötti területet méri, amit a terület meghatározásánál figyelembe kell venni. A területet ekkor a következő összefüggésből számítjuk:

$$T = c \cdot (\Delta n + q), \qquad (3.5.7)$$

ahol – az eddigieken túl – q – a planiméter összeadóállandója, az alapkörnek a mérőkerék osztásegységében kifejezett területe. A planiméter állandói a mérőkar (általában állítható) hosszától és a térkép méretarányától függnek. A térképről mért területek általában kicsik, ezért a gyakorlatban a külső pólusfekvést használják.

A c állandó meghatározását legegyszerűbben valamilyen, a térkép méretarányában *ismert T_0 területű* szabályos mértani idom (négyzet, kör) körüljárásával végezhetjük külső pólusfekvésben. Ekkor a terület ismert, a Δn - t mérjük, s így, a (3.5.6) alapján

$$c = \frac{T_0}{\Delta n}. \qquad (3.5.8)$$

A q állandó meghatározása célszerűen úgy történhet, hogy a pólust egy – szintén a térkép méretarányában ismert - T_0 területű négyzeten vagy körön belül helyezzük el és belső pólusfekvésben az óramutató járásának megfelelő irányában a kiinduló ponttól a kiinduló pontig körülvezetjük a mérőcsúcsot, majd képezzük a Δn leolvasás különbséget. A (3.5.7) képletből fejezzük ki a q – t:

$$q = \frac{T_0}{c} - \Delta n. \qquad (3.5.9)$$

Ha a körüljárásnál a mérőkerék forgása fordított irányú, ez azt jelenti, hogy a választott alakzat területe kisebb az alapkör területénél. Ez esetben a $\Delta n = n_v - n_k$ különbség negatív, vagyis ekkor a Δn abszolút értékét a $\frac{T_0}{c}$ értékhez hozzá kell adni.

Az ismert terület lehet a térképek km-hálózatának egy ismert területű része. Ez azzal az előnnyel jár, hogy a térkép esetleges méretváltozását ki lehet küszöbölni.

Néhány fontos szabály a planiméter használatánál:

- az állandók meghatározását minden területmérés előtt végezzük el,
- a mérőcsúcsot csak szabadkézzel, egyenletes sebességgel szabad vezetni,
- mérés közben a mérőkar és a póluskar ne zárjon be 30^0-nál kisebb ill. 150^0-nál nagyobb szöget,
- radír és egyéb szennyeződés ne akadályozza a mérőkerék szabályos mozgását (csúszás és gördülés),
- a terület körüljárását legalább egyszer meg kell ismételni.

A térképek méretváltozásai

Az *eredeti felmérési térképek* általában mérettartó anyagon (asztralon, műanyag vagy fémbetétes papír) készülnek, az ezekről készült másolat azonban papír, ritkábban műanyag fólia. A papírosra készült térkép, lévén anyaga nedvszívó és nem homogén, a levegő nedvességének hatására változtatja méreteit. A fóliamásolatok szintén torzulást szenvedhetnek a készítés során, mechanikai és hőhatásra.

A térképanyag méretváltozásairól csak úgy tudunk meggyőződni, ha azon olyan jelek vannak, amelyek egymástól való távolságának helyes értékét ismerjük. Ezekre – mint láttuk – a planiméter állandóinak meghatározásához is szükség volt. Ilyenek az alappontok közötti távolságok, továbbá az „őrkeresztek", (a koordinátahálózat pontjai) és a szelvénykeret oldalai, ugyanis ezek adottak. Ezeket a hosszúságokat a térképről lemérve és az eredményt az adott hosszúsággal összehasonlítva a méretváltozást jellemző számérték, a méretváltozási tényező számítható. A *méretváltozási tényező* az eredeti (d) és a lemért (d') hossz alábbi hányadosa:

$$\varepsilon = \frac{d}{d'} \qquad (3.5.10)$$

Ha nem mérettartó anyagon készült méreteket akarunk levenni, akkor a kérdéses helyen gondosan meg kell határozni a térkép y, x irányú méretváltozását és a kétirányú hatás eredőjét vesszük számításba.

A térkép beszáradása miatt a térképi területek is torzulnak. Ezt a területváltozási tényező fejezi ki:

$$\tau = \frac{T}{T'}, \qquad (3.5.11)$$

ahol τ a területváltozási tényező, *T* a terület eredeti értéke és *T'* a terület mért értéke.

Gyakorlati tevékenységünk során előfordulhat, hogy a térképi változás akkora, hogy a térképszelvény egy részét, vagy akár az egész térképszelvényt újra fel kell mérnünk és térképeznünk. A digitális térkép mentes a méretváltozás veszélyétől.

3.5.1.3. Térképek másolása, kisebbítése

A műszaki, s ezen belül, mint láttuk, az erdészeti gyakorlatban is gyakran előfordul, hogy már meglévő régebbi térképek, vagy térképrészletek tartalmát a készítendő új térképen fel kívánjuk tüntetni, de előfordulhat az is, hogy egy régebbi térképet más térképen, vagy egyéb (pld. foto-, ortofotó-) alapanyagon lévő részletekkel ki kívánjuk egészíteni. Ez a feladat a térképi részletek másolását jelenti.

A másolás történhet eredeti vagy más méretarányban. A térkép eredeti méretarányban történő másolásának legegyszerűbb eszközei:

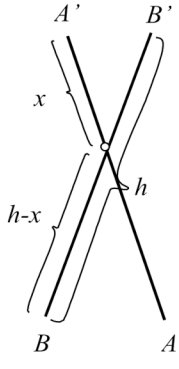
- átlátszó papír fektetése a térképlapra és átrajzolás;
- másolás rajzlapra alulról erős fénnyel megvilágított üvegtáblán rögzített térképlapról;
- a térképlap pontjainak átvitele az alatta elhelyezett rajzlapra átszúrással: az eljárás pontos, de rongálja a térképlapot;
- másolás négyzethálóval: mind a térkép-, mind a rajzlapra megfelelő sűrűségű négyzethálót szerkesztünk, s az átmásolást a pontok koordinátáinak lemérésével és átvitelével végezzük el;
- fénymásolás, xerox;
- fényképészeti úton, kontakt másolás útján.

Az így másolt térképek valamilyen konkrét feladathoz rendszerint *munkatérképként* szolgálnak.

A más méretarányban történő másolás nem egyéb, mint a térkép kicsinyítése, vagy nagyítása. Utóbbi esetben a *nagyítás* során lecsökkent pontosság (a térkép hibái is felnagyítódnak) mindenképpen a felhasználás céljának rovására megy, ezért ezt kerüljük.

Az alábbi eljárások értelemszerűen kicsinyítésre és nagyításra egyaránt használhatók:

- *Másolás négyzethálóval*: az eredeti méretarányban való másolástól abban különbözik, hogy a lemért koordinátákat átszámítjuk az új méretarányra és úgy rakjuk fel. Az eljárás elég lassú. Sok esetben az átvitel történhet szemre történő becsült arányosítással.



- *Másolás aránykörzővel* (3.5.12. ábra). E speciális körző csuklóját állíthatóan helyezik el a körző szárán. A csuklónak a végponttól mért távolsága mm-es beosztás és nóniusz segítségével pontosan beállítható. A másolás aránya:

$$n = \frac{A'B'}{AB} = \frac{x}{h - x} \qquad (3.5.12)$$

- *Másolás redukciós vonalzóval*: a vonalzó élén elhelyezett léptékhez két beosztás tartozik, az eredeti és a másolandó méretarányban;
- *Másolás pantográffal:* eszközei a pantográfok.

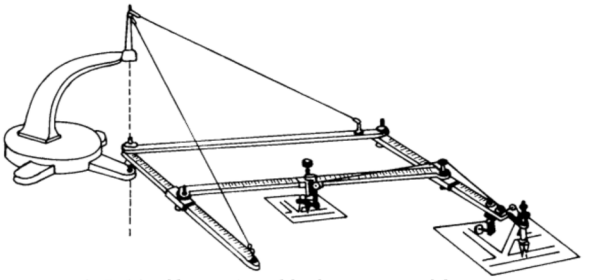
3.5.12. ábra: Aránykörző

A pantográf

A pantográfok működési elve a hasonló háromszögek azon törvényszerűségén alapszik, hogy a megfelelő oldalak aránya egyenlő. A számítógépes térképezés a pantográfokat

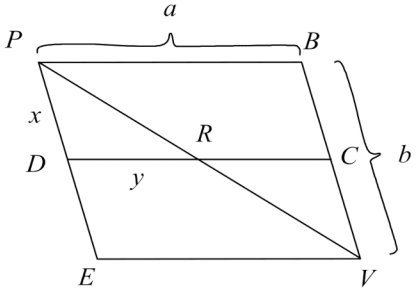
már kiszorította a gyakorlatból, a leghosszabb ideig az ún. milánói pantográf (3.5.13. ábra) volt használatos.

Egy parallelogrammának két szemben fekvő oldalát meghosszabbítják (3.5.14. ábra). A **P** pólus mozdulatlan, a **V** vezetőcsúcsot az eredeti térképlapon vezetjük a másolandó idom mentén, miközben az **R** rajzolócsúcs az idom másolt (kicsinyített) képét rajzolja az új lapon. A parallelogramma csuklók körül az alakját változtatja.



3.5.13. ábra: A milánói pantográf

A másolás méretaránya a PE és PB karokon a CD híd segítségével állítható be. A PDR és PEV háromszögek hasonlóságából kapjuk:



3.5.14. ábra: A milánói pantográf működési elve

$$\frac{x}{b} = \frac{\overline{PR}}{\overline{PV}}; \quad \frac{y}{a} = \frac{\overline{PR}}{\overline{PV}},$$

ahonnan, figyelembe véve, hogy a kicsinyítési arányszám

$$n = \frac{\overline{PV}}{\overline{PR}};$$ adódik :

$$\frac{x}{b} = \frac{\overline{PR}}{\overline{PV}}; \quad \frac{y}{a} = \frac{\overline{PR}}{\overline{PV}}. \quad (3.5.13)$$

Az x és az y értékét a 3.5.13. ábrán látható osztások mentén állítják be.

Megjegyezzük, hogy a pólus, a vezetőcsúcs és a rajzolócsúcs szerepe felcserélhető. Pld. V ↔ R esetén a kicsinyítés helyett nagyítás történik. A milánói pantográf használható középre helyezett pólussal is.

Másolás optikai úton

A kicsinyítés (nagyítás) e módszer szerint fényképezés és fényképi másolatkészítés útján történik. Az eredeti térképlap sarokpontjait felszerkesztjük egy lapra az új méretarányban. Erre a lapra a fényképfelvételt rávetítjük, miközben a nagyítóberendezést úgy állítjuk be, hogy egymásnak a lapon és a fényképen megfelelő pontok fedésbe kerüljenek. Ezután a fényérzékeny papírt a lap helyére tesszük és elkészítjük a fényképmásolatot.

Ha nem kívánjuk az eredeti térkép minden vonalát átmásolni, akkor a fényképezés helyett a képet optikai úton a megfelelő méretarány változtatással homályos üveglapra vetítjük és az üveglapra helyezett átlátszó anyagra (pausz, asztralon) kézzel csak a kívánt vonalakat rajzoljuk át. Az e célra készített szerkezeteket optikai pantográfoknak is nevezzük.

3.5.2. Digitális térképek használata

A digitális térképek használatának jelentős része egybeesik az analóg térképek használatával, hiszen a használathoz a térkép analóg formában történő megjelenítése szükséges. Így pld. a 3.5.1.1. fejezetben az analóg térképek terepi használatára vonatkozó ismeretek itt is aktuálisak, így megismétlésükre nincs szükség. Ez vonatkozhat mind a papíron történő megjele-

nítésre, mind pedig arra az esetre, ha note book-ot használunk a terepen, s a monitoron való megjelenítést is analóg térképnek tekintjük. Természetesen számos olyan feladat van, amelyek laboratóriumi munkát igényelnek. A digitális térkép használatának tekintünk minden olyan műveletet, amelyet a digitális térkép vizualizálására alkalmas számítógépes monitor tesz lehetővé, hiszen a kódolt formában lévő számítógépes adatállományhoz másként nem is férhetünk hozzá. A digitális térképek a földrajzi információs rendszerek (GIS) helyzeti adatbázisai (8.1.2. fejezet), használatuk a megfelelő GIS szoftverek lehetőségeitől függ. Digitális rajzgépen (plotteren) való kinyomtatásuk után éppúgy használhatók, mint az analóg térképek.

A térképek másolása, kicsinyítése, esetleg nagyítása a digitális térkép esetén kizárólag az *adatsűrűségtől* függ, s - megfelelő szoftver esetén - akadályba nem ütközik.

4. A geodéziai mérések matematikai feldolgozása

4.1. A matematikai feldolgozás lényege

A geodéziai mérések matematikai feldolgozása alatt azon matematikai műveletek összességét értjük, amelynek végrehajtása során a mérések hibáiból eredő, ellentmondásokkal terhelt mérési eredmények felhasználásával

1. ellentmondásmentes (kiegyenlített) adatrendszert hozunk létre,

2. meghatározzuk a ellentmondásmentes adatrendszer megbízhatóságát, pontosságát jellemző mérőszámokat.

Az 1. pontban végzendő műveletek összességét kiegyenlítésnek nevezzük. Az *adatrendszer* mind a kiegyenlített mérési eredményeket, mind az ezekkel valamilyen függvénykapcsolatban lévő - de nem mért - adatokat, a kiegyenlített ún. ismeretleneket is tartalmazza. A kiegyenlített mérési eredmények és az ismeretlenek megegyezhetnek. A 2. pontba foglalt feladatokkal a geodéziai hibaelmélet foglalkozik. A két feladat sem a tárgyalás, sem a végrehajtás szintjén nem különül el egymástól, a kiegyenlített adatokkal egyidejűleg a pontossági mérőszámokat is szolgáltatni kell.

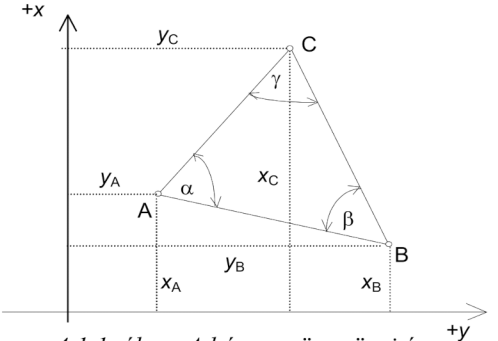
A *kiegyenlítés* csak az ellentmondásokat szünteti meg, a mérési hibákat nem. Utóbbiak - az ellentmondások megszüntetésével egyidejűleg - a kiegyenlítés alapjául szolgáló valamilyen előírt, ill. elfogadott matematikai feltételnek megfelelően oszlanak meg a kiegyenlített adatrendszer elemei között.

A geodéziai feladat megbízhatósági követelményeitől függően a *kiegyenlítés történhet*:

1. *Szigorú módszerrel* (a geodéziai gyakorlat itt a legkisebb négyzetek módszerét részesíti előnyben);

2. *Közelítő módszerekkel* (kiegyenlítés helyett itt szokásos a közelítő hibaelosztás elnevezés is).

Ha megmérjük egy síkbeli háromszög mindhárom szögét, az elkerülhetetlen mérési hibák miatt a három mérési eredmény összege 180°-tól eltér. Az eltérés értéke az *ellentmondás*. A kiegyenlítés feladata ekkor olyan - *kiegyenlített* - értékek számítása a három szögre, amelyeket összeadva, a háromszög szögeinek összege 180°. A kiegyenlítés eredményeként tehát az ellentmondás megszűnik, de ez nem jelenti azt, hogy a kiegyenlített szögértékeket nem terheli mérési hiba. Az utóbbira vonatkozóan információhoz a kiegyenlítés után jutunk.



4.1.1. ábra: A háromszög szögei és csúcspontjainak koordinátái

Helyezzük el a sík háromszöget egy sík derékszögű koordinátarendszerben (4.1.1. ábra). A háromszög csúcsainak derékszögű koordinátái és a háromszög szögei közötti szigorú függvénykapcsolat miatt a szögek kiegyenlített értékei a derékszögű koordinátákra, mint nem mért adatokra, mint az *ismeretlenekre* vonatkozóan is ellentmondásmentes értékeket szolgáltatnak.

A 4.1.1. ábra jelölései: y_A, x_A, y_B, x_B, y_C, y_C - a háromszög csúcspontjainak koordinátái, α, β, γ - a háromszög szögei.

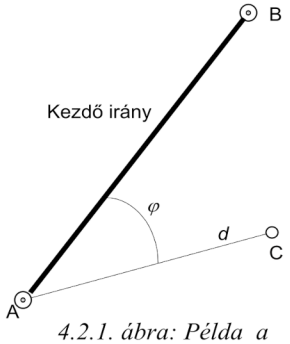
4.2. Közvetlen és közvetett mérések

Ha a geodéziai mérések közvetlenül magukra a keresett mennyiségekre irányulnak, közvetlen mérésekről, ha a keresett mennyiségekkel valamilyen (függvény-) kapcsolatban álló egyéb mennyiségekre, közvetett mérésekről beszélünk.

Általánosan:

Legyenek *x, y,....., z* közvetlen mérési eredmények. Ekkor tetszőleges $u = ax + by + ... + cz$ lineáris, vagy $u = f(x, y, ..., z)$ nem lineáris függvények a *közvetett mérések* eredményei.

A földi helymeghatározás végső eredményei általában derékszögű koordináták. A térképezés során ezen felül - a rendelkezésünkre álló eszköztártól függően - közvetlenül használhatunk poláris koordinátákat, szögeket, távolságokat is. Ha pl. egy mért vízszintes távolságot közvetlenül ábrázolunk a térképen, *közvetlen* mérésről beszélünk. Ekkor azonban tudnunk kell, hogy az adott távolságot *milyen irányban* rajzoljuk rá a térképre. Ez utóbbi egy - valamilyen szempontból kitüntetett - kezdőirányhoz képest értelmezett szög ismeretét igényli.



4.2.1. ábra: Példa a közvetlen mérésekre

Ekkor - a közvetlen távolságmérés mellett - *közvetlen szögmérést* is kell végezni (4.2.1. ábra). Most és a továbbiakban az ismert, adott helyzetű pontokat belsejében pontot tartalmazó - kitöltött - körrel, az ismeretlen meghatározandó, ill. térképezendő pontokat pedig üres, kitöltetlen körrel fogjuk jelölni. Az adott pontokat összekötő vonal pedig a továbbiakban vastag vonal. A 4.2.1. ábrán

φ - a közvetlen szögmérés eredménye,

d - a közvetlen távolságmérés eredménye.

A közvetlen mérések eredményeként a térképen megkapjuk a C pont helyét.

Ha a térképezést egy egységes sík derékszögű koordinátarendszerben végezzük, a kezdőirány a koordinátarendszer x tengelyével párhuzamos egyenes (4.2.2. ábra). Ez esetben térképezendő a δ_{AC} *irányszög*. A δ_{AC} irányszöget közvetlenül nem mérjük, de az adott δ_{AB} irányszögű $\overline{AB}$ irány alapján a

$$\delta_{AC} = \delta_{AB} + \varphi \qquad (4.2.1)$$

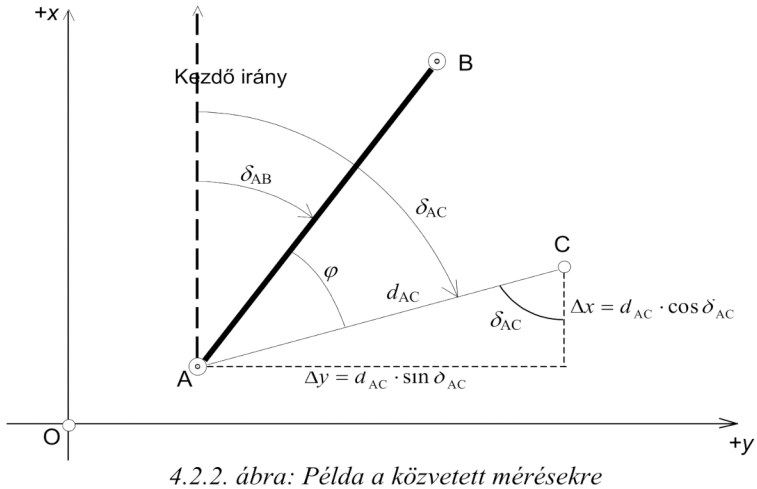
függvény szerint számítható. Ekkor a δ_{AC} értéke *közvetett mérés* eredménye. Végezhetjük a térképezést a derékszögű koordináták, vagy az A ponthoz viszonyított koordinátakülönbségek alapján. Ekkor a koordinátakülönbségek tekinthetők a közvetett mérés eredményeinek, vagyis a 4.2.2. ábra alapján (2.2.2.2. fejezet, 2.2.27a. képlet):

$$\begin{aligned} \Delta y &= d_{AB} \cdot \sin\delta_{AB} \\ \Delta x &= d_{AB} \cdot \cos\delta_{AB} \end{aligned} . \qquad (4.2.2)$$

Természetesen, a folyamat megfordítható, vagyis pld. a (4.2.2) összefüggésekből a δ_{AB} kifejezhető (2.2.2.2. fejezet, 2.2.28a. képlet):

$$\delta_{AB} = \arctan\frac{\Delta y}{\Delta x} . \qquad (4.2.3)$$

A közvetlen és közvetett mérések nem rögzíthetők egyszer s mindenkorra. Különböző mérési körülmények között ugyanaz a mérés lehet közvetlen, vagy közvetett is.



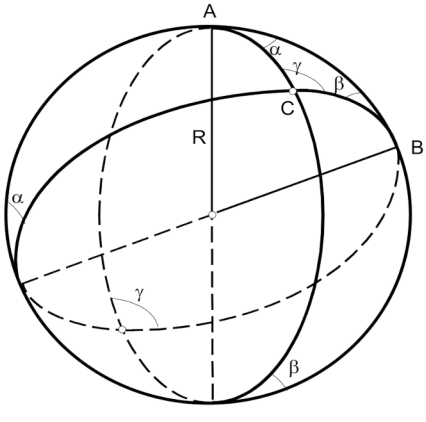
4.2.2. ábra: Példa a közvetett mérésekre

4.3. A mérési eredmények szabályos és véletlen hibái

A mérési eredményeket szabályos és véletlen hibák terhelik.

1) A *szabályos hibák* meghatározható módon, nyomon követhetően hatnak a mérések eredményeire. A ható tényezők lehetnek *állandók*, ill. a hely és/vagy az idő függvényében változók, de mindenképpen *ismertek*, ill. *megismerhetők*. A megismerés után a szabályos hibák figyelmen kívül hagyhatók, többnyire azzal a feltételezéssel, hogy azok nincsenek számottevő hatással a mérés eredményére, ill. a mérés elvégzése után *korrekcióként* figyelembe vehetők.

Ha egy vagy több, a szabályos hibát befolyásoló tényezőt nem ismerünk, ez meghamisítja a kiegyenlítés eredményét.



4.3.1. ábra: Gömbi szögfölösleg

A jó közelítéssel *gömbnek* tekinthető Földet *síkkal* helyettesítjük. Vizsgáljuk meg, hogy ez a helyettesítés mekkora, "elegendően kis" kiterjedésű földfelületen vezet figyelmen kívül hagyható szabályos hibához abból, hogy a gömbön értelmezett háromszög szögeinek összege nagyobb 180°-nál, míg a síkon pontosan 180°. Ebben az esetben szabályos hiba a kettő közötti különbség, ε, az ún. *gömbi szögfölösleg* (4.3.1. ábra).

Legyenek α, β, γ az ABC gömbi háromszög szögei, ekkor levezethető, hogy az

$$\varepsilon = \alpha + \beta + \gamma - 180^o \qquad (4.3.1)$$

gömbi szögfölösleg szögmásodpercben az

$$\varepsilon'' = \frac{F}{R^2} \cdot \rho'' \qquad (4.3.2)$$

összefüggésből számítható, ahol F - a gömbi háromszög felülete, R - a földgömb sugara (mintegy 6370 km), ρ'' pedig az 1 radián - ε kicsinységét figyelembe véve - szögmásodpercekben kifejezett értéke:

$$\rho'' = 206\ 264{,}8''.$$

Az ε'' értéke még F = 200 km^2 esetén is csak mintegy 1″, az *alsó-geodéziában* - a szögmérő műszerek pontosságával összevetve - figyelmen kívül hagyható. Ekkora felület mintegy 8 km sugarú körnek felel meg, az elhanyagolás az összes *alsó-geodéziai* mérésre kiterjed. *Felső-geodéziai* mérések esetén viszont a gömbi szögfölösleg elhanyagolása *szabályos hibát* okoz.

---

2) A geodéziai mérések véletlen hibáira ható tényezők általában ismeretlenek, számuk rendkívül nagy és véletlenszerűen, nem kimutatható módon befolyásolják a mérés eredményét.

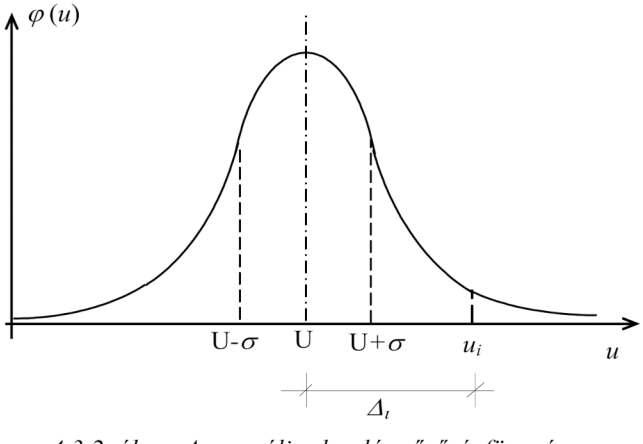
A geodéziai mérések matematikai feldolgozásakor sokirányú gyakorlati tapasztalattal alátámasztott elméleti megfontolások alapján azzal a feltételezéssel élnek, hogy a *mérési eredmények* eloszlása normális.

Az egydimenziós normális eloszlás a

$$\varphi(u) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(- \frac{(u - \mathrm{U})}{2 \cdot \sigma^2} \right) \qquad (4.3.3)$$

sűrűségfüggvénnyel jellemezhető (4.3.2. ábra) és azt fejezi ki, hogy a függvény maximumhelye, az U érték körül hogyan "sűrűsödnek" a mérési eredmények. Az U érték a normális eloszlású mérési eredmények várható (ún. valódi) értéke, a σ pedig a szórása. A $\varphi(u)$ függvény szimmetrikus az U pontra.

A $\varphi(u)$ függvény *végtelen* számú mérés esetén ábrázolja a mérési eredmények gyakorisági eloszlását. A geodéziai gyakorlatban a sűrűségfüggvény nem folytonos, részben a mérési eredmények korlátozott száma, részben pedig amiatt, mert bizonyos értékű mérési eredmények a gyakorlatban nem fordulhatnak elő.



4.3.2. ábra: A normális eloszlás sűrűségfüggvénye

Az *i.* mérési eredmény véletlen hibája a

$$\Delta_i = u_i - \mathrm{U} \qquad (4.3.4)$$

valódi hiba. A véletlen mérési hibák várható értéke 0, szórása σ.

A $\varphi(u)$ sűrűségfüggvény tulajdonságai:

1. A görbe az abszcissza-tengely fölött helyezkedik el, minthogy a függvény értéke semmilyen Δ érték mellett nem lehet sem negatív, sem zérus;
2. A sűrűségfüggvény értékei az u = U körül abszolút értékben egyenlő pozitív és negatív Δ értékekre egyenlők;
3. Az u = U helyen a $\varphi(u)$ ordináta maximális értéket vesz fel;

4. Mivel a $u = U$ helyen a görbének maximuma van, ugyanakkor a görbe aszimptotikusan tart az abszcissza-tengelyhez, ezért két inflexiós pontja van. Az inflexiós pontokhoz az $u = U - \sigma$ ($\Delta = -\sigma$) és az $u = U + \sigma$ ($\Delta = +\sigma$) értékű mérési eredmények tartoznak;

A véletlen mérési hibák tulajdonságai:

1. A Δ véletlen hiba értéke az U középérték körüli $t \cdot \sigma$ szélességű szimmetrikus intervallumba adott $P(-t \cdot \sigma \le \Delta \le +t \cdot \sigma)$ valószínűséggel esik. Annak a valószínűsége, hogy a véletlen hiba értéke a szórás háromszorosát nem haladja meg, 99,7 % ("*szinte teljesen bizonyos*"). Ez a geodéziai gyakorlat ún. 3σ szabálya;

t	P
1	0,6827
2	0,9545
3	0,9973

4.3.1. táblázat: A véletlen hibák előfordulási valószínűségei normális eloszlásnál

2. A pozitív és negatív előjelű véletlen hibák azonos valószínűséggel fordulnak elő;
3. Abszolút értékben kisebb hibák előfordulási valószínűsége nagyobb;
4. A mérési eredmények számának növekedésével a véletlen hibák számtani középértéke zérus felé tart:

$$\lim_{n \to \infty} \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i}{n} = 0; \qquad (4.3.5)$$

5. A véletlen mérési hibákra létezik az alábbi határérték:

$$\lim_{n \to \infty} \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i^2}{n} = \sigma^2 . \qquad (4.3.6)$$

A fenti meggondolások arra az esetre vonatkoznak, amikor szabályos hibák nincsenek, ill. azok ismert értékeivel a mérési eredményeket korrigáltuk. Ennek igazolására a *statisztikai hipotézisvizsgálat* eszközei nyújthatnak támpontot, de mindezzel együtt is nehezen ellenőrizhetők. A geodéziai mérési gyakorlat az utólagos vizsgálat helyett a szabályos hibák előzetes kiküszöbölését részesíti előnyben, amikor mérési szabályzatokban, utasításokban előírja

1. a szabályos hibák felderítésének módját;
2. a geodéziai műszerek előzetes vizsgálatát, igazítását, egy *etalonnal* történő összehasonlítását, ún. komparálását, vagy hitelesítését;
3. a mérés külső körülményeinek (hőmérséklet, légnyomás, szél, napsütés, stb.) nyomon követését és hatásainak vizsgálatát;
4. fentiek figyelembevételével megfelelő mérési technológia megválasztását.

4.4. A kiegyenlítés

Az adott mennyiségre vonatkozó szükséges mérésen túl ún. fölös méréseket is végeznünk kell. A keresett ismeretlenek kiegyenlített értékeit és pontossági mérőszámait a szükséges és fölös mérések összessége alapján számítjuk.

Az U várható értéket és a σ szórást a valóságban általában nem ismerjük, hanem a mérési eredmények alapján számítjuk. A mérési eredményekből számított közelítést kiegyenlítésnek, a közelítés számszerű értékét pedig kiegyenlített értéknek nevezzük. A mérési eredmény eltérése a kiegyenlített értéktől a mérési javítás. A továbbiakban feltételezzük, hogy méréseinket szabályos hibák nem terhelik.

4.4.1. A legkisebb négyzetek elve

A geodéziai mérések *kiegyenlítésekor* többnyire az ún. legkisebb négyzetek elvén alapuló módszert alkalmazzák. A geodéziai célokra a XIX. század elején Gauss és Legendre által kidolgozott, s a későbbiekben a matematikai statisztikai becsléselmélet integráns részévé is vált elv az ismeretlenek kiegyenlített értékeinek meghatározását abból a feltételből kiindulva írja elő, hogy a mérési eredményeknek a kiegyenlített értékektől való eltérései, a mérési javítások négyzetösszege *minimális* (4.4.1. képlet):

$$F = \sum_{i=1}^{n} v_i^{\,2} = \sum_{i=1}^{n} \left(u_i - \bar{u}\right)^2 = \min . \qquad (\, i = 1, 2, ..., n) \tag{4.4.1.}$$

A (4.4.1) képlet jelölései:

$\bar{u}$ - a mérendő mennyiség kiegyenlített értéke;

$v_i = u_i - \bar{u}$ (4.4.2)

az *i.* mérési eredményre vonatkozó *mérési javítás*;

n - a mérések száma.

4.4.2. Egyetlen mennyiségre végzett közvetlen mérések kiegyenlítése

Igazoljuk, hogy a (4.4.1) feltétel - a legkisebb négyzetek elve - a számtani középértékhez vezet.

A (4.4.1) függvénynek ott van minimuma, ahol az első deriváltja zérus:

$$\frac{\mathrm{d}F}{\mathrm{d}\bar{u}} = \frac{\mathrm{d}\sum_{i=1}^{n} (u_i - u)^2}{\mathrm{d}\bar{u}} = 0 . \tag{4.4.3}$$

Az összeg deriváltja egyenlő a tagok deriváltjainak összegével:

$$\frac{\mathrm{d}\sum_{i=1}^{n} (u_i - \bar{u})^2}{\mathrm{d}\bar{u}} = \frac{\mathrm{d}\sum_{i=1}^{n} (u_i^{\,2} - 2 \cdot u_i \cdot \bar{u} + \bar{u}^{\,2})}{\mathrm{d}\bar{u}} = \sum_{i=1}^{n} \left(-2 \cdot u_i + 2 \cdot \bar{u}\right) = -2 \cdot \sum_{i=1}^{n} u_i + 2 \cdot n \cdot \bar{u} = 0 , \tag{4.4.4}$$

ahonnan

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^{n} u_i}{n} , \tag{4.4.5}$$

amivel állításunkat igazoltuk. A második derivált értéke

$$\frac{\mathrm{d}^2 F}{\mathrm{d}\bar{u}^{\,2}} = \frac{\mathrm{d}\left\{-2 \cdot \sum_{i=1}^{n} u_i + 2 \cdot n \cdot \bar{u}\right\}}{\mathrm{d}\bar{u}} = 2 \cdot n > 0,$$

tehát a szélsőérték valóban minimum.

Az $\bar{u}$ értékét a geodéziában elfogadott szóhasználattal egyszerű számtani középnek nevezzük.

A $v_i = u_i - \bar{u}$ egyenlőség figyelembevételével $\sum v_i = \sum u_i - \bar{u} \cdot n$ és (4.4.5) miatt $\sum v_i^2 = 0$.

4.4.3. Az előzetes és utólagos középhiba

A σ *szórást* a geodéziában a mérési eredmények *pontosságának* jellemzésére használjuk. Ez könnyen belátható, ui. ha figyelembe vesszük, hogy a mérési eredmények valódi, vagy kiegyenlített értékeitől való eltérések a valódi hibák, vagy a mérési javítások, akkor a szórás egyfajta *közepes hibaértéket* jelent, ezért is használjuk rá a geodéziában a közepes hiba, röviden középhiba elnevezést. A középhiba képleteinek nevezőjében mindig a fölös mérések száma áll.

Attól függően, hogy a *középhibát ismert*, vagy *ismeretlen* valódi értékek alapján kívánjuk meghatározni, megkülönböztetünk előzetes (a priori) és utólagos (a posteriori) középhibát. Ennek megfelelően *előzetes középhibáról* beszélünk, ha ismert az U várható érték. A *fölös mérések száma* ekkor egyenlő a mérések számával, *n*-nel. Az - először K.F. Gauss által definiált - előzetes középhiba a

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i^2}{n}} \qquad (4.4.6)$$

összefüggésből számítható. Felhívjuk a figyelmet a középhiba *kettős előjelére*: a μ középhiba ugyanis - a σ szóráshoz hasonlóan, a 4.3. fejezetben a véletlen hibák 1. tulajdonsága alapján - az U - ra vonatkozóan egy *szimmetrikus tartományt* szolgáltat.

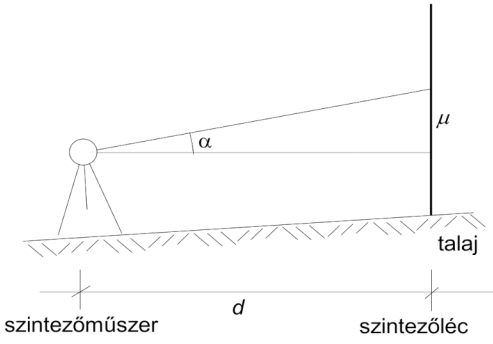
Ha az U várható értéket nem ismerjük, hanem azt, mint ismeretlent, az egyszerű számtani középpel határozzuk meg, *utólagos középhibáról* beszélünk. A fölös mérések száma ekkor *n*-1, s a (4.4.6) képlet úgy módosul, hogy az alább definiált utólagos középhiba nevezőjében *n*-1 szerepel:

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^2}{n-1}} \quad . \qquad (4.4.7)$$

A geodéziai mérési gyakorlat szempontjából a kétfajta középhiba közötti megkülönböztetésnek *alapvető jelentősége* van:

Az *előzetes középhiba* egy geodéziai mérőműszer használhatósági kritériuma, a műszergyártó cég által - etalonnal történt összehasonlítások (hitelesítés, komparálás) eredményeként - meghatározott érték, amelyet a műszerhez mellékelt leírás, ill. a műszer népszerűsítésére szolgáló prospektus tartalmaz. A felhasználó ezen érték alapján tudja kiválasztani - az általa tervezett mérési pontosságtól függően - az adott célra pontossági szempontból alkalmas műszert. Az előzetes középhiba értékét meghatározhatja maga a felhasználó is, ehhez azonban az összehasonlítás alapjául szolgáló etalonra van szüksége.

A geometriai szintezés előzetes középhibájának meghatározásakor szükség van az ún. irányvonal-középingadozás (α) értékének meghatározására (4.4.1. ábra).



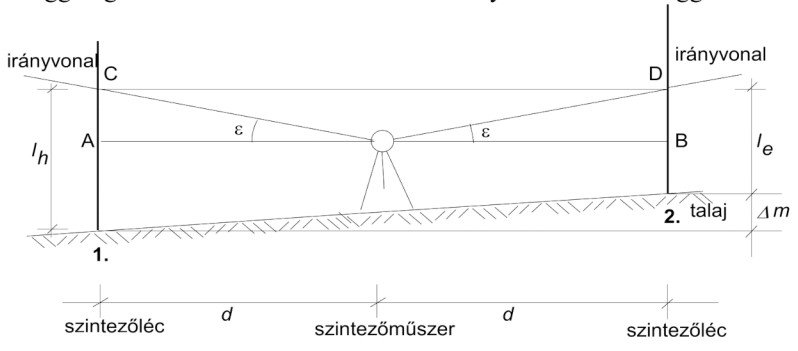
4.4.1. ábra: Az irányvonal középingadozása

A szintezőműszerrel a szintezőlécen végzett lécleolvasás előzetes középhibáját jelöljük μ - vel. Ez az érték a d műszer - léc távolság függvénye. A 4.4.1. ábra szerint az α *irányvonal-középingadozás* értéke független a léctávolságtól, s alkalmas arra, hogy vele - mint *előzetes középhibával* - a szintezőműszerek teljesítőképességét jellemezzük. Az α értéke a 4.4.1 ábrából kifejezhető az

$$\alpha'' = \frac{\mu}{d} \cdot \rho'' \qquad (4.4.8)$$

összefüggéssel, ahol μ egyetlen hátra, vagy előre leolvasás előzetes középhibája, ρ'' az 1 radián szögmásodpercekben kifejezett értéke ((1.2.2) képlet).

Az α értékét meghatározhatjuk, ha - mint *etalon* - ismert az 1. és 2. pontok Δm magasságkülönbsége (4.4.2. ábra). A 4.4.2. ábrán az l_h *és* l_e értékek mérési eredmények, s a szintezőműszer szabályos hibája miatt az irányvonal nem vízszintes, hanem attól mind az 1., mind a 2. ponton függőlegesen álló szintezőlécre történő irányzásnál kis ε szöggel eltér.



4.4.2. ábra: A magasságkülönbség meghatározása szintezéssel

Végezzünk n számú mérést az ismert Δm magasságkülönbségre. Az egyes mérések között - az eredmények függetlenségének biztosítására - változtassuk a műszermagasságot. A lécleolvasást optikai mikrométerrel (5.2.19. ábra) végezzük, a leolvasás élessége 0,1 mm. A műszer-léc távolság 30 m = 30000 mm.

Az *i.* mérés eredménye a 4.4.2. ábra alapján

$$\Delta l_i = l_{h_i} - l_{e_i},$$

ahol l_h - az 1., l_e - a 2. ponton álló szintezőlécre kapott lécleolvasás (*hátra* és *előre* leolvasás, 5.2.4.1. fejezet). Az ε szög hatása kiesik, vagyis a szabályos hiba figyelmen kívül hagyható, ha a műszer a két szintezőléc között középen helyezkedik el, mert $\overline{AC} = \overline{BD}$.

Az *i.* mérési eredmény *valódi hibája* (az *i.* mért magasságkülönbség eltérése a Δm ismert magasságkülönbségtől):

$$\Delta_i = \Delta l_i - \Delta m.$$

A (4.4.6) képlet alapján számíthatjuk a Δm magasságkülönbség meghatározásának előzetes középhibáját:

$$\mu_{\Delta m} = \pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\Delta_i^{\,2}}{n}}. \qquad (4.4.9)$$

Az ismert magasságkülönbség legyen Δm = 1,4460 m. Az n = 10 mérés számszerű eredményét a 4.4.1. táblázatban foglaljuk össze, a közbenső számításokkal együtt.

A mérés sorszáma	A mérési eredmények, Δl_i (m)	$\Delta_i = \Delta l_i - \Delta m$ (mm)	Δ_i^2 (mm^2)
1	1,4465	+0,5	0,25
2	1,4458	-0,2	0,04
3	1,4460	0,0	0,00
4	1,4457	-0,3	0,09
5	1,4459	-0,1	0,01
6	1,4458	-0,2	0,04
7	1,4461	+0,1	0,01
8	1,4457	-0,3	0,09
9	1,4462	+0,2	0,04
10	1,4463	+0,3	0,09
			$\sum\Delta_i^2$ =0,66 mm^2 $\mu_{\Delta m} = \pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\Delta_{l_i}^{\,2}}{n}} =$ $= \pm\sqrt{\frac{0{,}66}{10}} = \pm 0{,}26$ mm.

4.4.1. táblázat: Példa az előzetes középhiba meghatározására

A $\mu_{\Delta m}$ a hátra- és előre leolvasások különbségeinek (a magasságkülönbségeknek), s nem maguknak a lécleolvasásoknak az előzetes középhibája. A *hibaterjedés törvénye* (4.5. fejezet) alapján egyetlen hátra-, vagy előre leolvasás előzetes középhibáját megkapjuk, ha a $\mu_{\Delta m}$ értékét $\sqrt{2}$ - vel osztjuk (4.5. fejezet, (4.5.6) képlet):

$$\mu = \frac{\mu_{\Delta m}}{\sqrt{2}}.$$

Az α *irányvonal-középingadozás* értéke a (4.4.8) képlet alapján végül az alábbi:

$$\alpha'' = \frac{\mu}{d\cdot\sqrt{2}}\cdot\rho'' = \pm\frac{0{,}26}{30000\cdot\sqrt{2}}\cdot 206265'' \approx \pm 1{,}3''.$$

Az *utólagos középhiba* meghatározásának célja a kiegyenlített mérési eredmények pontosságának utólagos becslése. Az utólagos középhiba meghatározása mindig a felhasználó feladata, ill. érdeke. Az előzetes és utólagos középhibák összehasonlításából a felhasználó ellenőrizheti az általa végzett mérések *korrektségét*. Az utólagos középhiba ((4.4.6) képlet) ugyanis - megfelelő mérésszám esetén - elméletileg megegyezik az előzetes középhiba értékével, az eltérés matematikai ellenőrzése a statisztikai hipotézisvizsgálat (normális eloszlás esetén a Fisher-teszt) útján történhet. A hipotézisvizsgálat negatív eredménye többnyire a szabályos hibák jelenlétére utal.

4.4.4. A súly

A mérési eredmények matematikai feldolgozásakor célszerű bevezetni egy, a mérések viszonylagos pontosságát jellemző *segédmennyiséget*, amely kifejezi azt, hányszor pontosabb az egyik mérési eredmény a másiknál. E segédmennyiség a súly.

Súly alatt azt a *pontossági mérőszámot* értjük, amely a mérési eredmények szórásnégyzetével fordítva arányos:

$$p_1 = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_1^2};\ p_2 = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_2^2};\ .....;\ p_n = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_n^2}. \qquad (4.4.10)$$

A számítás kezdetekor a súlyokat a gyakorlatban a szórásnégyzet helyett többnyire az *előzetes középhiba* négyzete alapján számítjuk:

$$p_1 = \frac{\mu_0^2}{\mu_1^2};\ p_2 = \frac{\mu_0^2}{\mu_2^2};\ .....;\ p_n = \frac{\mu_0^2}{\mu_n^2}. \qquad (4.4.11)$$

A μ_0^2 értéke tetszőlegesen választható konstans, megválasztásában csak a súlyok matematikai kezelhetősége játszik szerepet. Ha pld. $\mu_0^2 = \mu_1^2$, úgy a (4.4.11) a

$$p_1 = 1;\ p_2 = \frac{\mu_1^2}{\mu_2^2};\ .....;\ p_n = \frac{\mu_1^2}{\mu_n^2} \qquad (4.4.12)$$

alakot ölti, amiből következik, hogy az első mérési eredmény súlya egységnyi, az összes többié pedig a μ_1^2 érték viszonya a többi mérési eredmény középhibájának négyzetéhez. A $\mu_0^2 = \mu_1^2$ helyett választhattunk volna tetszőleges $\mu_0^2 = \mu_i^2$ értéket, ekkor az *i*. mérési eredmény súlya lenne egységnyi és a többi súlyt viszonyítanánk ehhez. A μ_0^2 természetesen bármely, a középhiba négyzetek sorozatában nem szereplő érték is lehet. Azt a mérést, amelyre a súly egységnyi, egységsúlyú mérésnek, az erre vonatkozó μ_0 értéket a súlyegység középhibájának nevezzük. A súlyegység középhibája is lehet *előzetes* és *utólagos*. A súlyegység előzetes középhibája a fentiek szerint előzetesen megválasztott tetszőleges érték, az utólagos középhibát a mérési eredmények kiegyenlítése után számítjuk.

A súlynak, mint pontossági mérőszámnak előnye, hogy akkor is megadható, ha a középhibákat nem ismerjük. A geodéziai gyakorlatban leggyakrabban az alábbi három eset fordul elő:

1. *Súlyozás a mérések száma szerint*:

$$p_1 : p_2 : ..... : p_n = m_1 : m_2 : ..... : m_n, \qquad (4.4.13)$$

   ahol p_i az *i.* mérendő mennyiség súlya, m_i az *i.* mérendő mennyiségre végzett mérések száma.

2. *Súlyozás az álláspont és az irányzott pont közötti távolsággal egyenes arányban*:

$$p_1 : p_2 : ..... : p_n = \frac{d_1}{c} : \frac{d_2}{c} : ..... : \frac{d_n}{c}. \qquad (4.4.14)$$

3. *Súlyozás az álláspont és az irányzott pont közötti távolsággal fordított arányban*:

$$p_1 : p_2 : ..... : p_n = \frac{c}{d_1} : \frac{c}{d_2} : ..... : \frac{c}{d_n}. \qquad (4.4.15)$$

A (4.4.14) és (4.4.15) képletekben a *c* arányossági tényező - a súlyegység előzetes középhibájához hasonlóan - tetszőlegesen választható.

4.4.5. A súlyozott számtani közép

Különböző súlyú mérések esetén a legkisebb négyzetek (4.4.1) feltétele az alábbi:

$$\sum_{i=1}^{n} p_i \cdot v_i^{\,2} = \sum_{i=1}^{n} p_i \cdot \left(u_i - \bar{u}'\right)^2 = \min . \qquad (4.4.16)$$

A (4.4.16) függvénynek ott van minimuma, ahol az $\bar{u}'$ szerinti első deriváltja zérus:

$$\frac{\mathrm{d}F}{\mathrm{d}\bar{u}} = \frac{\mathrm{d}\sum_{i=1}^{n} p_i \cdot (u_i - \bar{u}')^2}{\mathrm{d}\bar{u}'} = \frac{\mathrm{d}\left(\sum_{i=1}^{n} p_i \cdot u_i^2 - 2 \cdot \bar{u}' \cdot \sum_{i=1}^{n} p_i \cdot u_i + \bar{u}'^{\,2} \cdot \sum_{i=1}^{n} p_i\right)}{\mathrm{d}\bar{u}'} = 0 .$$

Továbbá:

$$-2 \cdot \sum_{i=1}^{n} p_i \cdot u_i + 2 \cdot \bar{u}' \cdot \sum_{i=1}^{n} p_i = 0 ,$$

ahonnan a súlyozott számtani közép:

$$\bar{u}' = \frac{\sum_{i=1}^{n} p_i \cdot u_i}{\sum_{i=1}^{n} p_i} . \qquad (4.4.17)$$

A továbbiakban $\sum_{i=1}^{n} p_i \cdot v_i = \sum_{i=1}^{n} p_i \left(u_i - \bar{u}'\right) = \sum_{i=1}^{n} p_i \cdot u_i - \bar{u}' \cdot \sum_{i=1}^{n} p_i$ és a (4.4.17) figyelembevételével $\sum_{i=1}^{n} p_i \cdot v_i = 0$.

A súlyegység *utólagos középhibája* a (4.4.7) összefüggés módosításával felírható a

$$\mu_0 = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} p_i \cdot v_i^{\,2}}{n-1}} \qquad (4.4.18)$$

alakban. A súlyegység utólagos középhibájának és a súly (4.4.11) definíciójának felhasználásával számíthatók az eredeti mérési eredmények utólagos középhibái. A

$$p_i = \frac{\mu_0^2}{\mu_i^2}$$

összefüggésből ugyanis

$$\mu_i = \frac{\mu_0}{\sqrt{p_i}} , \qquad (4.4.19)$$

ahol a μ_0 helyébe most annak (4.4.18) képlettel számítható utólagos értékét helyettesítjük.

Egyenlő súlyú mérési eredmények esetén természetesen minden súly egységnyi, ekkor nyilvánvalóan minden u_i - re igaz, hogy $\mu_0 = \mu_i$.

4.5. A hibaterjedés

A hibaterjedés azt jelenti, hogy nem csak a közvetlen, hanem a közvetett mérési eredmények (4.2. fejezet) is hibával terheltek. A közvetett mérési eredmények középhibáinak és súlyainak meghatározását a közvetlen mérési eredmények középhibáinak és súlyainak ismeretében a hibaterjedés törvényének nevezzük.

Legyen az *x, y, ... , z* (i = 1, 2, ..., n) mérési eredményekhez tartozó *u* közvetett mérési eredmény a következő:

$$u = f(x, y, \dots, z). \tag{4.5.1}$$

A mérési eredmények függetlenségének feltételezésével, s a levezetés mellőzésével az *u* közvetett mérési eredmény középhibájának négyzete (a hibaterjedés törvénye) a

$$\mu_u^2 = a^2 \cdot \mu_x^2 + b^2 \cdot \mu_y^2 + ... + c^2 \cdot \mu_z^2 , \tag{4.5.2}$$

alakban írható fel, ahol μ_x, μ_y,....., μ_z a közvetlen mérési eredmények középhibái, az *a, b, ... , c* együtthatók pedig az *u* függvény *x, y, ... , z* szerinti

$$a = \frac{\partial u}{\partial x} \; ; \quad b = \frac{\partial u}{\partial y} \; ; \; \dots\dots\dots\dots \; c = \frac{\partial u}{\partial z} \tag{4.5.3}$$

első parciális deriváltjai.

Ha függvény lineáris, azaz

$$u = a \cdot x + b \cdot y + ... + c \cdot z , \tag{4.5.4}$$

az első parciális deriváltak az *a, b, ... , c* együtthatók.

Az együtthatók $a = b = ... = c$ és a középhibák $\mu_x = \mu_y = ... = \mu_z = \mu$ egyenlősége, vagyis egyenlő súlyú mérési eredmények esetén

$$\mu_u^2 = n \cdot \mu^2 \; , \tag{4.5.5}$$

vagy

$$\mu_u = \sqrt{n} \cdot \mu \, . \tag{4.5.6}$$

A (4.5.2) összefüggés mindkét oldalát osszuk el a súlyegység középhibájával, μ_0^2 - tel:

$$\frac{\mu_u^2}{\mu_0^2} = \mathrm{a}^2 \cdot \frac{\mu_x^2}{\mu_0^2} + \mathrm{b}^2 \cdot \frac{\mu_y^2}{\mu_0^2} + ... + \mathrm{c}^2 \cdot \frac{\mu_z^2}{\mu_0^2} \; . \tag{4.5.7}$$

A súly definíciója szerint a függvényérték súlya:

$$\frac{1}{p_u} \; = \; \frac{\mathrm{a}^2}{p_x} \; + \; \frac{\mathrm{b}^2}{p_y} \; + \; ..... \; + \; \frac{\mathrm{c}^2}{p_z} \; , \tag{4.5.8}$$

ahonnan, $a = b = c = 1$ és egyenlő súlyú mérési eredmények esetén adódik:

$$\frac{1}{p_u} \; = \; \frac{1}{1} \; + \; \frac{1}{1} \; + \; .... \; + \; \frac{1}{1},$$

vagy, végül

$$\frac{1}{p_u} = n, \text{ vagy } \; p_u = \frac{1}{n} \, . \tag{4.5.9}$$

4.5.1. A számtani közép és a súlyozott számtani közép középhibája és súlya

A hibaterjedés törvénye alapján határozzuk meg a számtani és a súlyozott számtani közép középhibáját és súlyát.

Mind a számtani, mind a súlyozott számtani közép úgy is tekinthető, mint *közvetett mérési eredmény*, s így alkalmazható rájuk a hibaterjedés (4.5.2) összefüggéssel meghatározott törvénye. Az *egyszerű számtani közép* (4.4.5) képlete felírható a

$$\overline{u} = \frac{\sum_{i=1}^{n} u_i}{n} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} u_i \qquad (4.5.10)$$

alakban. A (4.5.2) figyelembevételével

$$\mu_{\overline{u}}^2 = n \cdot \frac{1}{n^2} \cdot \mu^2 = \frac{1}{n} \cdot \mu^2 \qquad (4.5.11)$$

ahonnan

$$\mu_{\overline{u}} = \frac{\mu}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^2}{n \cdot (n-1)}} \quad , \qquad (4.5.12)$$

ahol μ - az egyes mérési eredmények középhibája.

A számtani közép súlyát a (4.5.11) összefüggés μ_0^2-tel való osztásával kapjuk:

$$\frac{\mu_{\overline{u}}^2}{\mu_0^2} = \frac{1}{n} \cdot \frac{\mu^2}{\mu_0^2} = \frac{1}{n} \cdot \frac{\mu^2}{\mu^2} = \frac{1}{n}, \qquad (4.5.13)$$

mert azonos középhibájú mérési eredmények esetén - mint láttuk - $\mu_0 = \mu$, s ezért

$$\frac{1}{p_{\overline{u}}} = \frac{1}{n},$$

ahonnan

$$p_{\overline{u}} = n, \qquad (4.5.14)$$

vagyis az egyszerű számtani közép súlya egyenlő a mérési eredmények számával.

A (4.5.14) összefüggés igazolja a súlyok megválasztásának a 4.4.4. fejezetben már bemutatott lehetőségét: több mennyiség mérésekor az egyes mennyiségekre vonatkozó mérési eredmények súlyai az egyes mennyiségekre végzett mérések számával *egyenesen arányosak* (4.4.13. képlet).

A súlyozott számtani közép középhibája az egyszerű számtani középre bemutatott levezetéshez hasonlóan kapható meg:

$$\overline{u}' = \frac{\sum_{i=1}^{n} p_i \cdot u_i}{\sum_{i=1}^{n} p_i} = \sum_{i=1}^{n} \frac{p_i}{\sum_{i=1}^{n} p_i} \cdot u_i \quad ,$$

A (4.5.2) összefüggés alapján kapjuk:

$$\mu_{\bar{u}'}^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{p_i^2}{\left(\sum_{i=1}^{n} p_i\right)^2} \cdot \mu_i^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{p_i}{\left(\sum_{i=1}^{n} p_i\right)^2} \cdot \frac{\mu_0^2}{\mu_i^2} \cdot \mu_i^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} p_i}{\left(\sum_{i=1}^{n} p_i\right)^2} \cdot \mu_0^2 = \frac{\mu_0^2}{\sum_{i=1}^{n} p_i} . \quad (4.5.15)$$

Végül, a súlyozott számtani közép középhibája az alábbi:

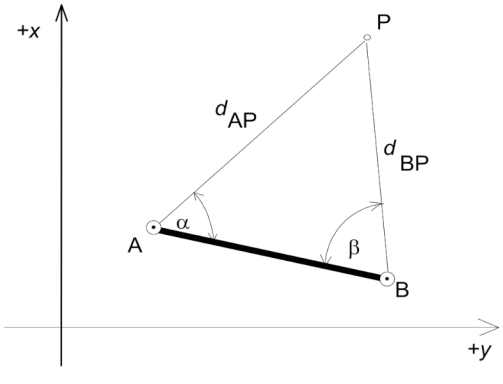
$$\mu_{u'} = \frac{\mu_0}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} p_i}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} p_i \cdot v_i^2}{\sum_{i=1}^{n} p_i \cdot (n-1)}} . \quad (4.5.16)$$

A (4.5.16) összefüggés és a súly (4.4.11) definíciója alapján $p_{\bar{u}'} = \sum_{i=1}^{n} p_i$.

Az előzetes és utólagos középhibák esetleges eltérései vagy fel nem derített szabályos hiba jelenlétére utalhatnak, vagy, ami valószínűbb, arra, hogy túl kevés a mérési eredmény. Az eltérés szignifikanciáját (jelentős voltát) statisztikai hipotézisvizsgálattal mutathatjuk ki (a normális eloszlás esetében a Fisher-teszttel).

4.6. Több mennyiségre végzett mérések kiegyenlítése (alapfogalmak)

Egyetlen mérendő mennyiségnél, s ismeretlen valódi érték esetén a fölös mérések száma - mint láttuk - $f = n - 1$. Ha nem egyetlen, hanem több mérendő mennyiség egyidejű meghatározása a feladat és az egymással függvénykapcsolatban lévő m számú *szükséges* mennyiség (az ismeretlenek) meghatározásához $n >= m$ számú mérést végzünk, a *fölös mérések* száma $f = n - m$. Ez független attól, hogy magukat a mennyiségeket, vagy a velük valamilyen függvénykapcsolatban álló egyéb mennyiségeket mérjük, ill. keressük. Az alábbi példában két ismeretlenre négy mérést végzünk:



4.6.1. ábra: A P pont koordinátáinak meghatározása

A P pont koordinátáit adott koordinátájú A és B pontokból kiindulva, távolság- és szögmérések felhasználásával akarjuk meghatározni úgy, hogy a koordinátákra közvetlen méréseket nem végzünk, azok *közvetett mérések* eredményei (4.6.1. ábra).

A közvetlen mérési eredmények: α, β, d_{AP} és d_{PB}. Keressük a P pont x_P és y_P koordinátáit. Utóbbiak a keresett ismeretlenek. A mérési eredmények száma 4, a keresett ismeretlenek száma 2, ahonnan a *fölös mérések száma* $f = 4 - 2 = 2$.

A fenti feladatot úgy tekinthetjük, mint a 3.4. fejezetben leírtak kiterjesztését több dimenzióra. A kérdés tárgyalásához lineáris algebrai ismeretekre és a nem lineáris függvények linearizálására van szükség. Utóbbi Taylor sorba fejtéssel történik. Több dimenzióban az u mérési eredmény helyett a mérési eredmények **u** vektora, az U várható érték helyett az **U** vektor, a μ középhiba helyett a **K** négyzetes kovariancia mátrix, a p súly helyett a **P**

négyzetes súlymátrix szerepel. A súly és a középhiba (4.4.11) összefüggését a súlymátrix és a kovariancia mátrix közötti

$$\mathbf{P} = \mu_0^2 \cdot \mathbf{K}^{-1} = \mathbf{Q}^{-1} \tag{4.6.1}$$

összefüggés váltja fel, ahol a $^{-1}$ kitevő az inverz mátrixot jelöli. A (4.6.1) képletben **Q** az ún. súlykoefficiens mátrix.

A legkisebb négyzetek elve a (4.4.16) összefüggés helyett a

$$\mathbf{v}^{\mathrm{T}} \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v} = \min. \tag{4.6.2}$$

kvadratikus formában fogalmazható meg, ahol a ^{T} a transzponált mátrixot jelöli.

Több ismeretlen egyidejű kiegyenlítése kétfajta úton történhet:

1. Közvetett mérések kiegyenlítése (koordináta-kiegyenlítés),
2. Feltételes mérések kiegyenlítése (korreláta-kiegyenlítés).

1. A koordináta-kiegyenlítés kezdetekor a közvetett mérési eredményeket fejezzük ki a keresett ismeretlenek függvényében, ezek a közvetítő egyenletek, s eredményül a keresett ismeretleneket kapjuk. A korreláta-kiegyenlítés során először a mérési javításokat határozzuk meg, a keresett ismeretleneket ezután - a mérési javítások ismeretében - számítjuk ki. E célból - első lépésként - meg kell keresnünk azokat a függvénykapcsolatokat, feltételeket, amelyek a mérendő mennyiségek között fennállnak, s meg kell határoznunk ezek számát. Mindkét típusú kiegyenlítés ugyanazon eredményekhez vezet.

A koordináta- és a korreláta-kiegyenlítés eltérésének szemléltetésére tekintsük azok kiinduló összefüggéseit a 4.6.1. ábra példáján.

A *közvetítő egyenletek* felírásához fejezzük ki az α, β, d_{AP} és d_{PB} mérési eredményeket a P pont x_{P} és y_{P} koordinátáinak függvényében. Az α és a β szögek felírhatók két irányszög különbségeként (4.2.2. ábra):

$$\begin{aligned}
\alpha &= \delta_{\mathrm{AB}} - \delta_{\mathrm{AP}} = \arctan\frac{y_{\mathrm{B}} - y_{\mathrm{A}}}{x_{\mathrm{B}} - x_{\mathrm{A}}} - \arctan\frac{y_{\mathrm{P}} - y_{\mathrm{A}}}{x_{\mathrm{P}} - x_{\mathrm{A}}}, \\
\beta &= \delta_{\mathrm{BP}} - \delta_{\mathrm{BA}} = \arctan\frac{y_{\mathrm{P}} - y_{\mathrm{B}}}{x_{\mathrm{P}} - x_{\mathrm{B}}} - \arctan\frac{y_{\mathrm{A}} - y_{\mathrm{B}}}{x_{\mathrm{A}} - x_{\mathrm{B}}}.
\end{aligned} \tag{4.6.3}$$

A d_{AP} és d_{PB} távolságok a Pitagorasz-tétel segítségével fejezhetők ki az ismeretlen koordináták függvényében:

$$\begin{aligned}
d_{\mathrm{AP}} &= \sqrt{(y_{\mathrm{P}} - y_{\mathrm{A}})^2 + (x_{\mathrm{P}} - x_{\mathrm{A}})^2}, \\
d_{\mathrm{BP}} &= \sqrt{(y_{\mathrm{P}} - y_{\mathrm{B}})^2 + (x_{\mathrm{P}} - x_{\mathrm{B}})^2}.
\end{aligned} \tag{4.6.4}$$

A (4.6.3) és (4.6.4) összefüggések a koordináta-kiegyenlítés közvetítő egyenletei.

2. A korreláta-kiegyenlítés kezdetekor a 4.6.1. ábra szerint feltétel, hogy a P pontnak az A és B pontból kiindulva számítható koordinátái (2.2.2. fejezet) megegyezzenek:

$$\begin{aligned}
y_{\mathrm{A}} + d_{\mathrm{AP}} \cdot \sin\delta_{\mathrm{AP}} &= y_{\mathrm{B}} + d_{\mathrm{BP}} \cdot \sin\delta_{\mathrm{BP}} \\
x_{\mathrm{A}} + d_{\mathrm{AP}} \cdot \cos\delta_{\mathrm{AP}} &= x_{\mathrm{B}} + d_{\mathrm{BP}} \cdot \cos\delta_{\mathrm{BP}}
\end{aligned}. \tag{4.6.5}$$

ahol

$$\delta_{\mathrm{AP}} = \delta_{\mathrm{AB}} - a\,;\ \delta_{\mathrm{BP}} = \delta_{\mathrm{BA}} + \beta\,.$$

A (4.6.5) összefüggések a korreláta-kiegyenlítés feltételi egyenletei. Vegyük észre, hogy a közvetítő egyenletek száma az összes mérés számával (4), a feltételi egyenletek száma a fölös mérések számával (2) egyezik meg. A kiegyenlítés során mindkét esetben linearizá-

lunk, értelmezzük a mérési javításokat és alkalmazzuk rájuk a legkisebb négyzetek elvét. Jelenleg szinte mindig a koordináta-kiegyenlítést alkalmazzák. További részletes ismereteket bármelyik, a kiegyenlítő számításokkal foglalkozó könyv, vagy jegyzet tartalmaz.

4.7. Közelítő kiegyenlítés

A korszerű és pontos geodéziai műszerek (teljes mérőállomások, GPS vevők) elterjedésével a megfelelő számítógépes szoftver birtokában egyszerűen végrehajtható, de elméletében meglehetősen nehézkes szigorú kiegyenlítést gyakran helyettesítik közelítő módszerekkel. Sok esetben nem is kiegyenlítésről, hanem hibaelosztásról beszélnek. E közelítő módszerek általános jellemzője, hogy a legkisebb négyzetek elve helyett egyszerű, könnyen áttekinthető eljárást alkalmaznak a pontok végleges helyének meghatározására. A módszerek alkalmazhatóságának kritériuma, hogy a szükséges és fölös mérések bevonásával az ugyanazon pontokra több úton kapott közelítő koordináták egymástól való eltérései egy megadott értéknél kisebbek legyenek. A közelítő kiegyenlítésnek (hibaelosztásnak) a geodéziai gyakorlatban sűrűn előforduló tipikus példája a sokszögelés (6.1.4. fejezet).

A közelítő kiegyenlítés alkalmazása számos esetben indokolt lehet. A közelítő módszerek kétségkívüli hátránya, hogy a *pontossági mérőszámok nem számíthatók*.

A geodéziai gyakorlatban a mérések körülményeit, a megengedhető hibákat, eltéréseket utasításokban, szabályzatokban foglalják össze. E szabályzatok lényeges adata az ún. vonalas eltérés, amelyet – fenti példánkra alkalmazva, a következőképpen értelmezhetünk:

$$d = \sqrt{dy^2 + dx^2}\,, \text{ ahol } \quad dy = y' - y'' \text{ és } dx = x' - x''. \qquad (4.7.1)$$

A (4.7.1) képletben az y', y'' és az x', x'' koordináta-párokat a fölös mérések figyelembe vételével kapjuk, eltéréseik a mérési eredmények, esetleg a már ismert adott kiinduló pontok hibáira vezethetők vissza. Ha a d értéke nem halad meg egy, a szabályzatban rögzített $d_{\text{megengedett}}$ értéket, vagyis ha $d < d_{\text{megengedett}}$, akkor – ha csak más érv, pld. a pontossági mérőszámok számítása nem szól ellene – az eltérés „elegendően kicsi", következésképpen a közelítő módszer alkalmazása elfogadható.

A közelítő kiegyenlítés különböző példáival a megfelelő alappontsűrítési eljárások tárgyalásakor találkozunk majd.

5. A földi helymeghatározás és digitalizálás eszközei és műszerei

A földi helymeghatározás során Földünk felszínéről, illetve környezetéről részben mennyiségi (hely, méret, alak), részben minőségi adatokat (az objektum megnevezése, tulajdonságai, összefoglalóan attribútumai, 3.1.2. fejezet) gyűjtünk. A mennyiségi és minőségi adatok szoros kapcsolatban vannak egymással: tudnunk kell egyrészt, hogy minek, milyen tulajdonságokkal bíró objektumoknak határozzuk meg a helyét, méreteit, alakját, másrészt, természetesen, tudni kívánjuk, hogy az adott attribútumokkal rendelkező objektum hol van, mekkora, milyen az alakja.

A *mennyiségi adatgyűjtést* végezhetjük mérések útján, az adatgyűjtés eszközei a mérőeszközök, illetve mérőműszerek és digitalizálás útján, az adatgyűjtés eszközei ekkor a (*vektoros* és *raszteres*) digitalizálók. A meghatározandó objektumokra közvetlenül végzett méréseket elsődleges adatgyűjtésnek, a *digitalizálást*, mint már korábban feldolgozott adatok újbóli feldolgozását, másodlagos adatgyűjtésnek nevezzük. Az *elsődleges adatgyűjtésnél* szokás még megkülönböztetni a közvetlen és a közvetett adatgyűjtést. A közvetlen adat a terepen végrehajtott mérés eredménye, a közvetett adatgyűjtés során az ábrázolandó tárgy matematikai vagy geometriai megfelelőjén végzünk méréseket. Közvetett adatgyűjtést végzünk a fotogrammetriában, a mérés folyamán a terepről készült fényképek közbeiktatásával.

A *minőségi adatgyűjtés* részben tudatunk és ismereteink felhasználásával, részben a távérzékelés eszközeivel és műszereivel történik. Szigorú határ a kettő között nem vonható meg, minőségi adat automatikusan a mérés során is létrejön, hiszen mindig tudjuk, mi az, amit mérünk, ugyanakkor többnyire azért végezzük el a mérést, mert sejtjük, vagy közelítően ismerjük a mérendő objektum helyét, méreteit, kiterjedését. A csoportosítás alapja az, hogy az adatgyűjtéskor a mennyiség, vagy a minőség az elsődleges.

Az adatgyűjtés történhet a Föld felszínén rögzített, illetve a Föld légkörében a Földhöz képest, esetleg a Földdel együtt mozgó (stacionárius) tárgyakról (repülőgépek, mesterséges holdak). A Föld felszínén végzett *mennyiségi adatgyűjtést* a továbbiakban geodéziai méréseknek, a légkörben végzett, egyszerre *mennyiségi és minőségi* adatgyűjtést távérzékelésnek fogjuk nevezni. A távérzékelés fontos területe a fotogrammetria, amely – nevéből fakadóan is – elsősorban *mennyiségi adatgyűjtés*. Utóbbinak a minőségi adatok kiértékelésével foglalkozó része a fotointerpretáció.

5.1. A geodézia mérési eredményei

Mint láttuk, a geodézia célja a *földi helymeghatározás*, vagyis a földi pontok helyének meghatározása valamilyen koordinátarendszerben, s azoknak a későbbiekben térképen történő ábrázolása. E célból a Földön (a felszínen, a felszín alatt, ill. felett) geodéziai méréseket végzünk. A geodéziai mérésekhez tartozónak tekintjük a levegőből repülőgépekről, ill. a műholdakról készült felvételeken végzett méréseket és kiértékeléseket is. A geodéziai méréseket a mérések eredményeivel dokumentáljuk. Az eredmények rögzítése történhet analóg (mérési jegyzőkönyv), vagy digitális (adatrögzítő) formában, ill. (analóg, vagy digitális) fényképen.

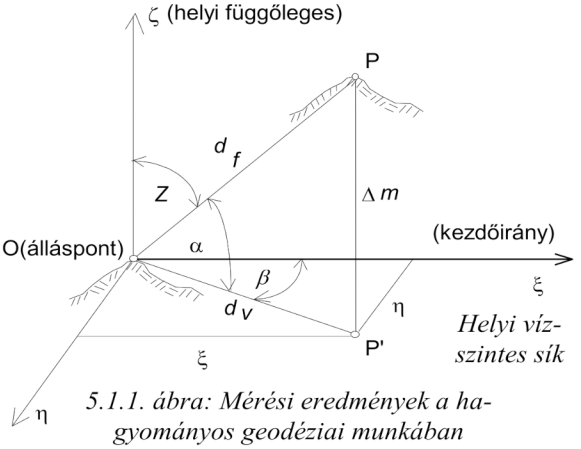
A geodéziai mérések eredményei különböző dimenziójúak. A hagyományos (a műholdakat nem használó) geodéziai munkában a mérések eredményei szög, ill. távolságértékek. A szögek elhelyezkedhetnek a vízszintes, ill. a függőleges síkban, nevük ennek megfelelően vízszintes, ill. magassági (vagy zenit) szög (5.1.1. ábra).

A távolságok elhelyezkedhetnek vízszintes, ferde és függőleges síkban, nevük ezért vízszintes távolság, ferde távolság, valamint magasság, ill. magasságkülönbség. A vízszintes távolságok lehetnek sík derékszögű koordináták, ill. koordinátakülönbségek is.

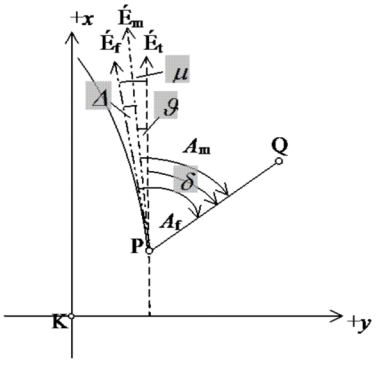
Az 5.1.1. ábrán a hagyományos geodéziai *mérési eredményeket* foglaljuk össze a geodéziai műszerek koordinátarendszerében (műszer-, vagy helyi koordinátarendszer).

Az 5.1.1. ábra jelölései:

β - vízszintes szög,
d_v - vízszintes távolság,
d_f - ferde távolság,
α - magassági szög,
Z - zenitszög,
Δm - magasságkülönbség.



5.1.1. ábra: Mérési eredmények a hagyományos geodéziai munkában



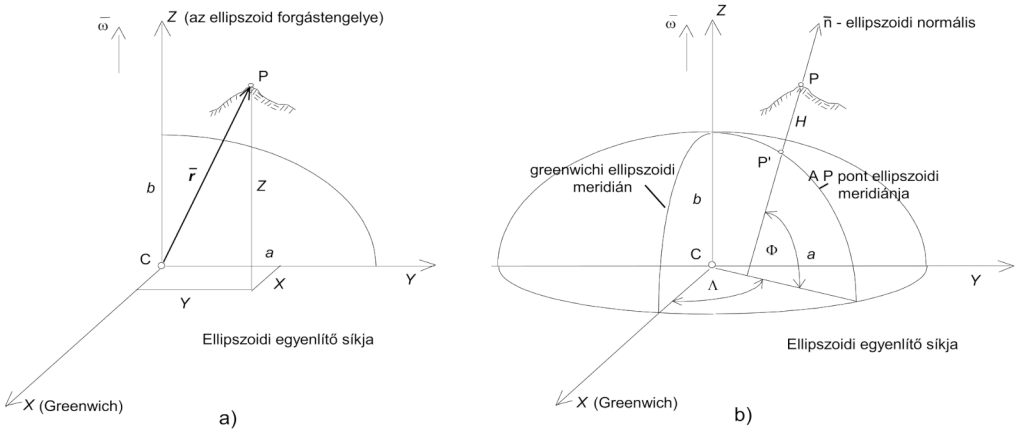
5.1.2. ábra: A földrajzi és a mágneses azimut

A kezdőiránytól függően a β vízszintes szögnek különböző elnevezéseket adhatunk, a leggyakoribb esetben a kezdőirány a szögmérő műszer (teodolit) 0 osztása, ilyenkor az irányérték elnevezést és az I jelölést fogjuk használni. A magassági és a zenitszög egymást 90°-ra egészítik ki. A η, ξ, ζ helyi (állásponti, műszer-) koordináták nem közvetlenül mért, hanem levezetett értékek.

A hagyományos geodéziai mérési eredményekhez tartozik a földrajzi azimut (2.2.2.1. fejezet). A továbbiakban A_f - fel fogjuk jelölni. A mágneses azimut alatt egy földfelszíni iránynak a mérőálláspontón áthaladó mágneses északi iránnyal az óramutató járásával megegyező értelemben bezárt szögét értjük és a továbbiakban A_m – mel jelöljük. A két fajta azimutot összefoglalva az 5.1.2. ábrán szemléltetjük.

A földrajzi és a térképi északi irányok által bezárt μ szög a *vetületi meridiánkonvergencia* (2.2.2. fejezet, 2.2.12. ábra), a mágneses és a térképi északi irányok által bezárt szög a ϑ mágneses tájékozó szög. A földrajzi és a mágneses északi irányok egymással a Δ deklináció szöget zárják be, eszerint a mágneses tájékozó szög értelmezhető úgy, mint a meridiánkonvergencia és a deklináció különbsége: $\vartheta = \mu - \Delta$.

A GPS (Globális Helymeghatározó Rendszer) vevőkkel egy földfelszíni álláspontban kapott mérési eredmények *távolságok* (5.3.2. fejezet). Az álláspontnak *X, Y, Z* térbeli derékszögű koordinátái a mérési eredményekből levezetett értékek a WGS84 ellipszoid derékszögű koordináta rendszerében (5.1.3.a. ábra). E koordinátarendszer *XZ* síkja átmegy a greenwich-i ellipszoidi kezdőmeridiánon. A WGS84 ellipszoidon értelmezett koordináták (5.1.3.b. ábra) a derékszögű koordinátákkal szigorú függvénykapcsolatban lévő Φ ellipszoidi földrajzi szélesség és a Λ ellipszoidi földrajzi hosszúság, ill. a H ellipszoidi magasság (2.2.1.3. fejezet, 2.2.10. ábra).



5.1.3. ábra: GPS mérésekből levezetett eredmények

Az ellipszoidi térbeli derékszögű koordináták és az ellipszoidi földrajzi koordináták között zárt összefüggések állnak fenn (5.3.4.1.fejezet).

A GPS vevők az *X, Y, Z*, és a *Φ, Λ, H* koordinátahármasokat opcionálisan szolgáltatják.

5.2. Geodéziai mérő- és kitűző eszközök és műszerek

A geodéziai mérőeszközök és műszerek alatt részben a hagyományos geodézia 5.1.1. és 5.1.2. ábrán, részben a GPS technika 5.1.3. ábrán bemutatott mérendő mennyiségeinek *földi álláspontból* történő meghatározására alkalmas eszközöket és műszereket értjük, beleértve a GPS vevőket is. Mérőeszközök alatt az egyszerű, közvetlen mérésre alkalmas, mérőműszerek alatt a fizika, matematika, elektronika és számítástechnika eredményeit felhasználó bonyolultabb tárgyakat értjük. A kitűzés eszközei és műszerei jelentős részben megegyeznek a mérőeszközökkel és műszerekkel.

5.2.1. A hagyományos geodéziai eszközök és műszerek

A hagyományos eszközökhöz és műszerekhez sorolunk minden földi geodéziai eszközt és műszert a GPS vevőkön kívül. A mindennapos geodéziai gyakorlatban használatos ezen eszközöket és műszereket a mérendő mennyiségeknek megfelelően a következőképpen csoportosíthatjuk (zárójelben a mérendő mennyiségek):

Szögmérő és szögkitűző eszközök és műszerek (a φ, α, Z, A_f, A_m szögek mérésére és kitűzésére, közülük néhány kiegészítő műszerelemmel, korlátozott pontossággal távolságmérésre, illetve közvetett mérésként magasságmérésre is alkalmas);

Távolságmérő eszközök és műszerek (d_f, d_v);

Szintezőműszerek (Δm);

Tahiméterek (szögek, magasságok és távolságok mérésére alkalmasak).

A legkorszerűbb elektronikus, digitális műszerek beépített számítógépes programjaik révén - az A_f és A_m azimutok kivételével - egyidejűleg szinte minden mérendő mennyiség eredményét képesek szolgáltatni, beleértve a η, ξ, ζ helyi (állásponti, műszer-) koordinátákat is.

A hagyományos geodézia eszközeinek és műszereinek megismeréséhez hozzátartozik néhány - a középiskolai tanulmányok során többnyire már megismert - optikai alapfogalom, illetve néhány, a műszerek működéséhez elengedhetetlenül szükséges, műszerelem megismét-

lése, ill. ismertetése. E részben térünk ki az elektronikus műszerekkel kapcsolatos néhány alapvető ismeretre is.

5.2.1.1. Optikai alapfogalmak

A mérési közeg. *Mérési közeg* alatt a Föld légkörének talaj közeli részét értjük, amelyben a geodéziai méréseket végezzük. A légkör mindenkori fizikai állapota (hőmérséklet, légnyomás, páratartalom) befolyásolja mérési eredményeinket azáltal, hogy megváltoztatja az elektromágneses hullámok irányát, sebességét és intenzitását.

A geodéziai méréseknél az irányzott mérési jel képét mindig a *látható fény* közvetíti műszerünkbe. A különböző fizikai állapotú levegőben az egyenes vonalú fénysugár "elgörbül". A vízszintes és magassági szögmérés, valamint az optikai távolságmérés eredményeit a megváltozott irány befolyásolja, amelyet méréseinknél általában figyelembe kell vennünk.

Az elektronikus távmérők és tahiméterek az ún. *közeli infravörös* (a látható vörös fény melletti) tartományban dolgoznak. Ezeknél a műszereknél a mérési közeg változása közvetlenül befolyásolja a távmérés eredményét.

Az optikai közeg (amelyből valamennyi geodéziai és fotogrammetriai műszer optikai elemei készülnek) tökéletesen átlátszó, homogén, szennyeződés- és buborékmentes üveg. Az optikai üvegeket igen sokféle sűrűségben állítják elő. A különböző üvegekben a fény terjedési sebessége más és más, lényegesen lassúbb, mint a levegőben.

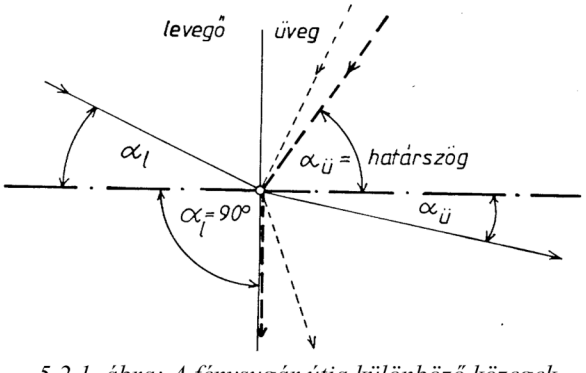
A sebességváltozás az egyenes vonalban terjedő fény irányát - a fizikai változás határán - megtöri. A változást, amelyet a különböző közegekben érvényes terjedési sebességek hányadosával fejezhetünk ki, törésmutatónak nevezzük.

Tehát:

$$n = \frac{v_{\text{levegő}}}{v_{\text{üveg}}}, \tag{5.2.1}$$

vagy, a beesési szögek szinuszaival kifejezve

$$n = \frac{\sin \alpha_l}{\sin \alpha_{ü}}. \tag{5.2.2}$$

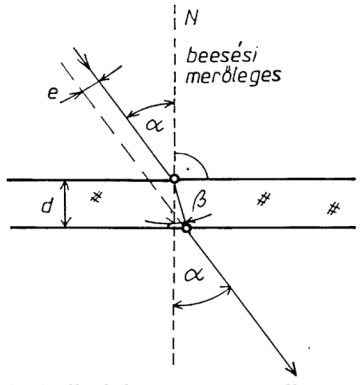


5.2.1. ábra: A fénysugár útja különböző közegek határán

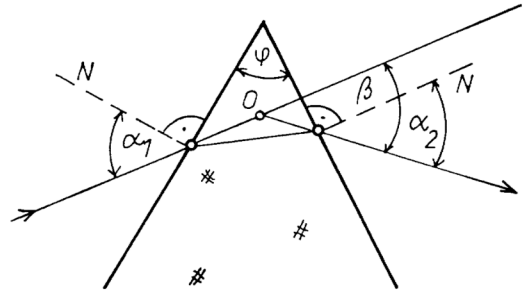
Ha sűrűbb közegből ritkább közegbe lép a fénysugár (5.2.1. ábra), akkor abban az esetben, ha a kilépő fénysugár eléri (hosszú szaggatott vonal),vagy meghaladná a 90°-ot rövid szaggatott vonal), a fénysugár nem lép ki a közegből, hanem *teljes visszaverődést* szenved. Azt a legkisebb szögértéket, melynél a fénysugár nem lép ki az üvegből (visszaverődik, tükröződik) a *teljes visszaverődés határszögének* nevezzük.

A *planparallel* (*síkpárhuzamos*) *üveg* optikai üvegből készült, két, egymástól *d* távolságra lévő párhuzamos felülettel rendelkező üveglemez (5.2.2. ábra). A ráeső fénysugár kettős törés után irányváltoztatás nélkül, de önmagával párhuzamosan *e* értékkel eltolódva hagyja el

a lemezt. Az eltolódás mértéke függ a lemez vastagságától, az üveg törésmutatójától és az α beesési szögtől.



5.2.2. A síkpárhuzamos üveg fénysugár-eltérítése

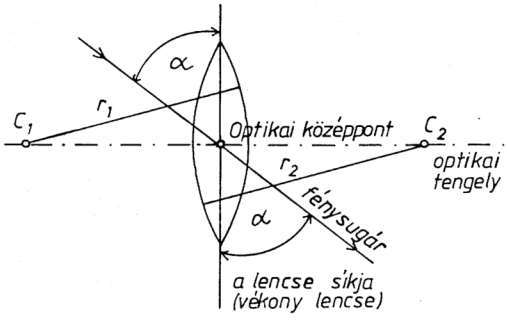


5.2.3. A prizma fénysugár-eltérítése

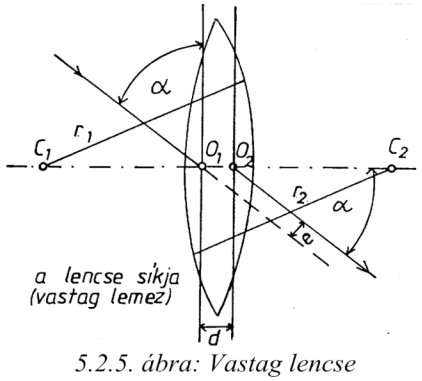
A *prizma* két egymáshoz hajló síklappal határolt üvegtest (5.2.3. ábra). A prizmán belépő fénysugár kétszer megtörve úgy lép ki a prizmából, hogy iránya *ß eltérési* szöggel attól eltér. A *ß* eltérési szög függ a prizma *ékszögétől*, φ - től, az üveg törésmutatójától és az α_1 beesési szögtől. Mivel a törésmutató az átmenő fény hullámhosszától is függ, a prizma a *fehér fényt színeire bontja.*

A *lencsék* optikai üvegből készült két gömb-, esetleg egy sík- és egy gömbfelülettel határolt, simára csiszolt felületű testek. *Gyújtólencsék* azok, amelyeknek a közepe vastagabb, mint a széle, *szórólencséknek* pedig a közepe vékonyabb, a széle felé vastagodik.

Az elméletileg *vékony lencse* optikai tengelye a lencsét határoló két gömb (melynek r sugara általában különböző) középpontjait összekötő egyenes (5.2.4. ábra). Az optikai tengely döféspontját a *lencse síkjában* optikai középpontnak nevezzük.



5.2.4. ábra: Vékony lencse



5.2.5. ábra: Vastag lencse

A valóságban csak ún. *vastag lencse* létezik, ezért egy lencsének nem egy, hanem *két síkja* van (5.2.5. ábra). Láthatjuk, hogy a fénysugár változatlan α szöggel, de *e* értékkel eltolódva lép ki a lencséből, tehát a két sík között a fénysugár úgy viselkedik, mint a *planparallel* lemez esetén. Az O_1 és O_2 pontokat az objektív csomópontjainak nevezzük.

Szerkesztéseknél az egyszerűség kedvéért a továbbiakban a lencséket vékony lencsének tekintjük.

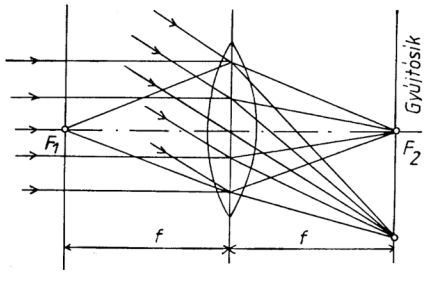
A lencsék további fontos pontjai a *gyújtópontok* vagy *fókuszpontok*. Az optikai tengellyel párhuzamos sugárnyalábokat a gyűjtőlencse egy pontban, a *gyújtópontban* gyűjti össze (5.2.6. ábra).

A gyűjtőlencse a tengellyel α szöget bezáró, de egymással párhuzamos sugárnyalábokat is egy pontban gyűjti össze és ez a pont a gyújtópontban, az optikai tengelyre merőlegesen felállított síkban, a *gyújtósíkban* van. A gyújtópont (és a gyújtósík) a lencse síkjától *f fókusztávolságra* van. Ugyanez a helyzet a szórólencséknél, csak itt a lencse a párhuzamos sugárnyalábokat szétszórja, a szétszórt sugarak visszafelé történő meghosszabbításai a tárgyfelőli gyújtópontban találkoznak (5.2.7. ábra).

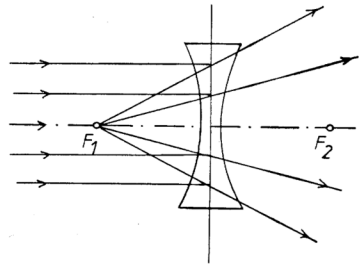
Minél rövidebb a lencse gyújtótávolsága, annál nagyobb a lencse törése, annál erősebb a lencse. A gyújtótávolság reciprok értékét a lencse *erősségének* nevezzük és az ún. dioptria értékkel adják meg:

$$D = \frac{1}{f} \qquad (5.2.3)$$

ahol az *f* gyújtótávolság méterben értendő.

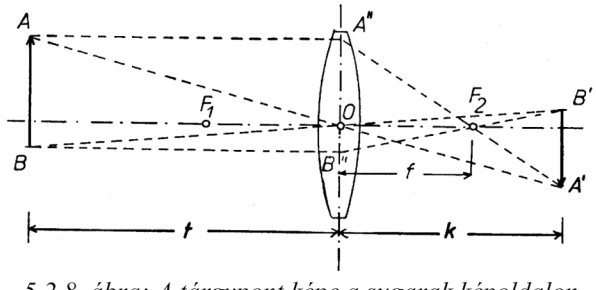


5.2.6. ábra: A lencse gyújtópontjai



5.2.7. ábra: A szórólencse a párhuzamos sugárnyalábokat szétszórja

Képalkotás lencsékkel. Egy meghatározott helyzetű és nagyságú tárgy képét úgy szerkesztjük meg, hogy a tárgypontokról jövő fénysugarak közül 2-2 sugarat kiválasztunk, melyeknek a lencsén történő áthaladási törvényszerűségét ismerjük. Ezeknek a sugaraknak a képoldalon lévő metszéspontja adja meg a tárgypont képi pontját (5.2.8. ábra).



5.2.8. ábra: A tárgypont képe a sugarak képoldalon lévő metszéspontja

Egy *AB* tárgy képét két pontjának megszerkesztésével kaphatjuk meg. Az *A* tárgypontról az optikai tengellyel párhuzamosan haladó fénysugár úgy törik a lencsén áthaladva, hogy a gyújtóponton áthalad, az optikai középponton áthaladó fénysugár pedig változatlanul tovább halad. A két sugár metszése adja az *A'* képpontot. Ugyanígy megszerkeszthetjük a *B'* képpontot is.

A *t tárgytávolságban* lévő tárgy képe az adott *f* gyújtótávolságú lencsén át meghatározott *k képtávolságban* keletkezik. E három távolság nem tetszés szerinti, hanem határozott szabályok szerint alakul. Az ábra alapján (hasonló háromszögek segítségével) levezethető a következő összefüggés:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{t} + \frac{1}{k} \qquad (5.2.4)$$

Ez a lencse alapegyenlete, amelynek alapján pl. kiszámíthatjuk a különböző tárgytávolságokhoz tartozó képtávolságokat:

- ha a tárgy a végtelenben van, a kép a fókusztávolságban van (a kép kisebb),
- ha a tárgy a fókusztávolságban van, a kép a végtelenben van,
- ha a tárgy a kétszeres fókusztávolságban van, a kép is kétszeres fókusztávolságban van (a kép ugyanakkora mint a tárgy),
- ha a tárgy az egyszeres és kétszeres gyújtótávolság között van, akkor a kép a kétszeres gyújtótávolságon kívül fekszik (a kép nagyobb),
- ha a tárgy az egyszeres gyújtótávolságon belül fekszik, akkor a tárgy oldalán valós (nem fordított állású) nagyított képet látunk (*lupe vagy nagyító*).

A lencse nagyítása a képtávolság és tárgytávolság aránya:

$$N = \frac{k}{t} \qquad (5.2.5)$$

Lencserendszerek (összetett lencsék). A gyakorlatban rendszerint nem egy lencsét, hanem több lencséből álló lencserendszereket alkalmazunk. Egy lencserendszer mindíg helyettesíthető egyetlen, képzeletbeli lencsével, az ún. *egyenértékű (ekvivalens) lencsével*, melynek *eredő gyújtótávolsága* kiszámítható. Két lencse esetén az eredő gyújtótávolság:

$$f_e = \frac{f_1 \cdot f_2}{f_1 + f_2 \cdot e}, \qquad (5.2.6)$$

ahol *e* a két lencse távolsága.

A *lencsék képátalakítási hibái* részben abból adódnak, hogy a képalkotó sugárnyalábok nem egy elméleti pontban egyesülnek, hanem ettől a ponttól többé-kevésbé eltérnek, másrészt pedig abból, hogy az optikai középponton átmenő sugarak hajlásszöge az optikai tengelyhez nem ugyanakkora a tárgyoldalon és a képoldalon.

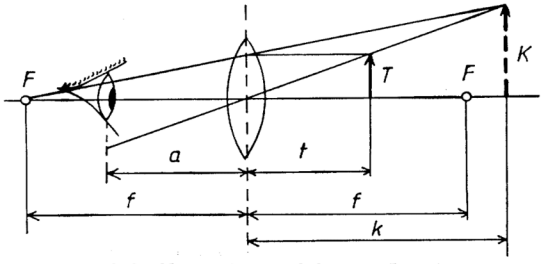
Az előbbi okból származó hibák a *gömbi eltérés* (szférikus aberráció), a *színi eltérés* (kromatikus aberráció), a *kóma* és az *asztigmatizmus* (pontnélküliség). Ezek a kép nem egészen éles leképzésében mutatkoznak. Az utóbb említett a *képek torzulásához, elrajzolásához (disztorzióhoz,* hordó és párnaalakú torzuláshoz) vezet. A disztorzió kiküszöbölésének a fotogrammetriában van jelentősége.

Lencserendszerekkel a lencsék hibáit minimumra lehet szorítani.

A reflexió-csökkentő réteg. Az üveg felületére érkező fénysugaraknak csak egy része hatol be az üvegbe, egy része mindig visszaverődik. A visszaverődő rész fényveszteséget jelent és a szétszórt fény homályosítja a képet. Ezt a hibát úgy csökkentik, hogy a felületére ún. *reflexió-csökkentő réteget* visznek fel különböző fémek *"rápárologtatásával",* mely réteg a reflektált fényeket *interferenciával* kioltja. A réteg vastagsága a fény hullámhosszának negyed része ($\frac{\lambda}{4}$).

5.2.1.2. Műszerelemek

A geodéziai műszerek optikai berendezései



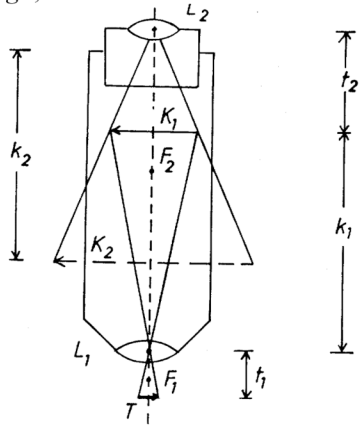
5.2.9. ábra: A nagyítóüveg (lupe)

A nagyítóüveg (*lupe*). A nagyítóüveg kis gyújtótávolságú gyűjtőlencse. A tárgyhoz képest úgy tartandó, hogy az a feléje eső gyújtóponton belül foglaljon helyet (5.2.9. ábra). Bevezetve az *a* szemtávolságot, a lupe nagyítása az

$$N_l = \frac{l-a}{f} + 1 \qquad (5.2.7)$$

összefüggésből számítható, ahol *l* a *kényelmes látás távolsága*, kb. 25 *cm*.

A mikroszkóp. Az egyszerű mikroszkóp két lencséből áll (5.2.10. ábra). A szemlélendő *T* tárgyat kis gyújtótávolságú L_1 objektív elé helyezzük úgy, hogy annak az objektívtől való t_1 távolsága nagyobb legyen az egyszeres, de kisebb a kétszeres gyújtótávolságnál. Ekkor előáll a tárgy fordított reális képe, a K_1, amelyet, az L_2 lencsével (*okulár*) szemlélve, s ezzel azt tovább nagyítva, a K_2 virtuális (képzetes) síkban látunk.



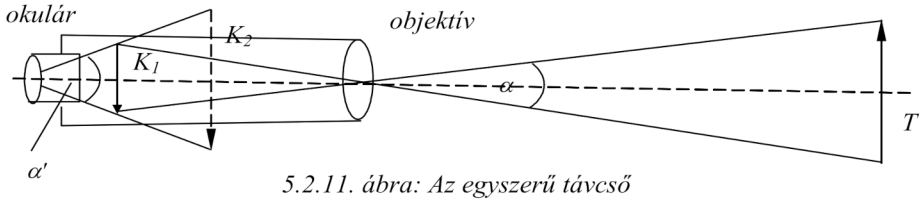
5.2.10. ábra: A mikroszkóp

A távcső. Az egyszerű távcső - mely arra szolgál, hogy messze lévő tárgyakat jól láthassunk - két gyűjtőlencséből áll (5.2.11. ábra).

A tárgy az objektívtől kétszeres fókusztávolságon kívül helyezkedik el, tehát a tárgyról kicsinyített, fordított állású képet állít elő.

Ezt a valódi képet szemléljük felnagyítva az okulárral. A távcsőnek, a mikroszkóppal szemben, csak *szögnagyítása* van:

$$N_{Sz} = \frac{\alpha'}{\alpha}, \quad \text{vagy} \quad N_{Sz} = \frac{f_{\text{objektív}}}{f_{\text{okulár}}} \qquad (5.2.8)$$



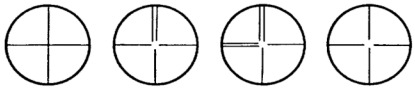
5.2.11. ábra: Az egyszerű távcső

A geodéziai távcső

A geodéziai távcsövet az egyszerű távcsőtől az különbözteti meg, hogy a *mérőjel megirányzása* céljából ún. szálkereszttel látják el. A *szálkereszt vízszintes* és *függőleges (magassági)* síkok kijelölésére szolgáló irányszálakból áll. Az irányszálakat néhány ezred *mm*-es vonalakkal metszik vagy maratják az ún. szállemezre. Utóbbit a távcsövön úgy helyezik el, hogy a szálkeresztet a tárgy képével együtt élesen láthassuk. A szállemez többnyire fémgyűrű fog-

lalata lehatárolja a távcső *látószögét* és *látómezejét* (a látott képterületet). A szállemez szabad nyílását diafragmának nevezzük.

Az 5.2.12. ábrán néhány szálkereszt-formát mutatunk be. A szálkereszt középpontját az objektív geometriai középpontjával összekötő egyenes a geodéziai távcső irányvonala, vagy irányzótengelye. Irányzáskor a szálkereszt középpontját a kiválasztott geodéziai jelre kell állítani.



5.2.12. Szálkereszt-típusok

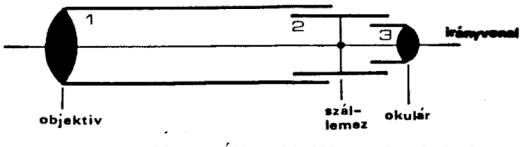
A *kettőzött szálkereszt* karcsú geodéziai jel esetén használható jól, amikor a jelet a kettős szál közé fogjuk, felhasználva a szem kiváló szimmetriaérzékét.

A geodéziai távcsőnek három alapvető típusát különböztetjük meg:

Az állandó fókusztávolságú távcső

Egyéb ismeretes elnevezései: Kepler-féle távcső, szálcsöves távcső, közönséges (egyszerű) geodéziai távcső, klasszikus geodéziai távcső.

Az ilyen típusú távcsöveknél a tárgytávolság változásával változik a kép éles leképzésének helye. Ezért a távcső 3 egységből áll: objektívcsőből *(1)*, szálcsőből *(2)*, okulárcsőből *(3)*. A szálcső az ún. képélesség-állító *(parallaxis)* csavar segítségével mozgatható az objektívcsőben. Mozgatáskor együtt mozog vele az okulárcső is. E mozgatással visszük a szállemezt az objektív által alkotott kép helyére. Az okulárcső külön mozdítható a szálcsőben. Ezáltal a szemlélő a szálkereszt élességét állíthatja be a szeméhez.



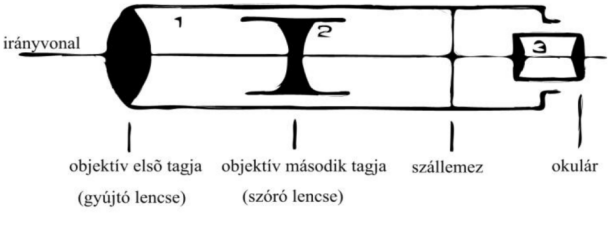
5.2.13. ábra: Állandó fókusztávolságú távcső

Vázlatos elrendezését az 5.2.13. ábrán mutatjuk be. A távcső lencséi összetett lencsék. Ezzel a távcsőtípussal már csak muzeális értékű régi műszereken találkozunk.

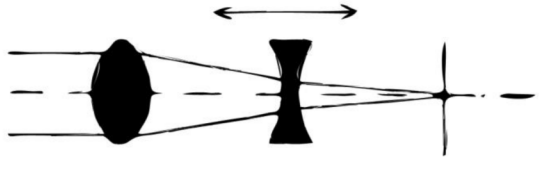
A változó fókusztávolságú távcső

Egyéb használatos elnevezései: belső képállítású, teleobjektíves távcső.

Működési elve azonos az állandó fókusztávolságú távcsővel, azonban az objektívcsőben *(1)* az objektív két összetett lencsetagból áll. Ezek közül a második a homorú (szóró) lencse-tag *(2)*. Ez a parallaxis csavar segítségével elmozdítható, így a kép mindig azonos helyen képződik, mégpedig a mozdulatlanul beépített szállemez síkjában. Az okulárcső *(3)* szerepe változatlan.



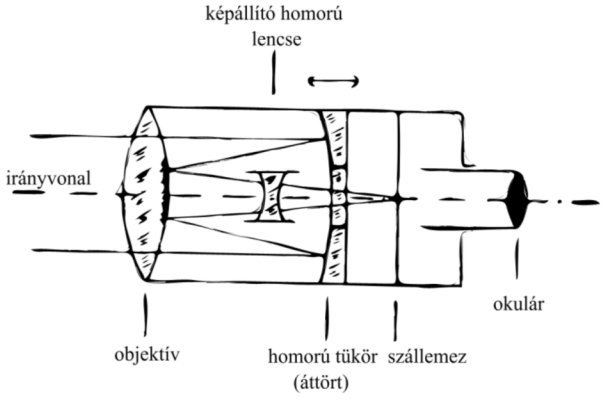
Vázlatos elrendezését az 5.2.14. ábrán mutatjuk be. Előnye az állandó és kisebb méretű szerkezeti hossz, a könnyebb kezelhetőség, és az optikai távmérésnél az elhanyagolhatóan kicsi *összeadóállandó*.



5.2.14. ábra: Változó fókusztávolságú távcső

Tükrös-lencsés távcső

Előnye, hogy az optikai utat mintegy "összecsomagolja" , ezért a távcső hossza igen rövid lehet. Hátránya, hogy az objektívre felhordott tükröző felület csökkenti a távcső fényerejét, s emiatt az objektív átmérőjét növelni kell. Példaként az 5.2.15. ábrán a Zeiss gyár belső képállítású tükrös-lencsés távcsövét mutatjuk be.



5.2.15. ábra: Tükrös-lencsés távcső

Az eddig tárgyalt geodéziai távcsövek fordított állású képet alkotnak.

Az egyenes állású képet adó távcsöveknél a képfordítást egy újabb lencserendszerrel történő leképzéssel, vagy képfordító prizmákkal érik el. Emiatt viszont fényerőcsökkenéssel kell számolni.

Leolvasóberendezések

Mint említettük, a geodéziai gyakorlat mérései szögek (irányok) és távolságok mérését jelentik. A geodéziai műszerek távcsővel történő irányzása után meg kell ismernünk (le kell olvasnunk) a távcső vízszintes, esetleg magassági irányát (szögét) a műszer tengelyrendszerére szerelt *osztott körökön.* Ezek az osztott körök régebben *ezüstből*, ma már csak *üvegből készülnek.* A körök *"finom"* osztásait csak megfelelő berendezéssel és nagyításban tudjuk leolvasni.

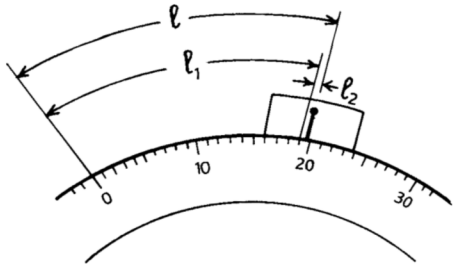
Leolvasás alatt valamely beosztás kezdővonása (zérus vonása) és a beosztáshoz tartozó *indexvonás* távolságának meghatározását és kifejezését értjük a beosztás mértékegységében. A leolvasóberendezések a leolvasást két részből, egy fő- és egy csonkaleolvasásból állítják össze. A főleolvasást általában rátekintéssel, a csonkaleolvasást tizedbecsléssel, vagy leolvasóberendezésekkel határozhatjuk meg.

Az 5.2.16. ábrán $l_1 = 19^0$; $l_2 = 0{,}7^0$. A leolvasás értéke: $l = l_1 + l_2 = 19{,}7^0$, vagy $19^0 42'$.

A főleolvasás értékét ránézésre, a csonkaleolvasás értékét tizedbecsléssel kaptuk.

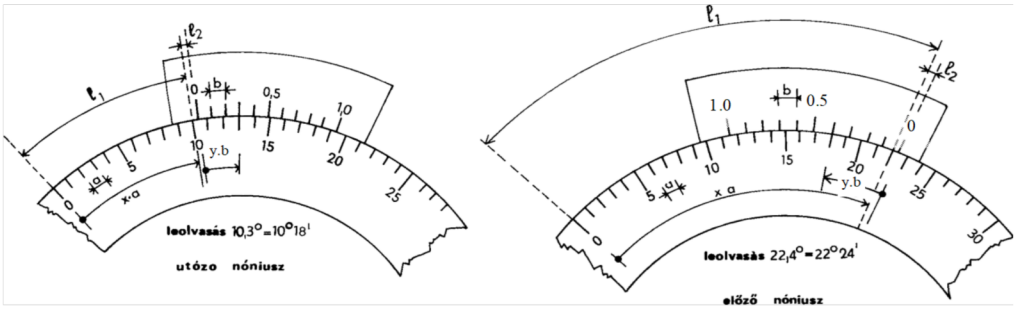
A továbbiakban csak a ma használatos és elterjedt leolvasóberendezéseket ismertetjük.

A nóniusz egy olyan segédbeosztás, mely arra szolgál, hogy a leolvasási helyhez tartozó *index* helyzetét két osztás között ne becsléssel kelljen meghatározni. Beosztását úgy készítik, hogy



5.2.16. ábra: A leolvasás elve

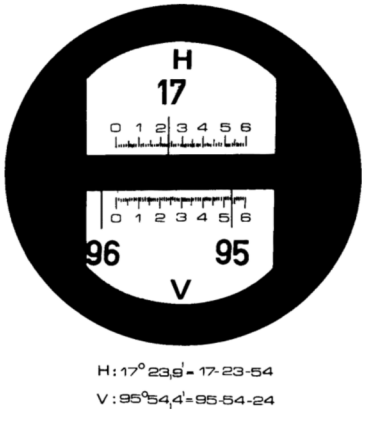
m számú főbeosztás (esetünkben a legkisebb osztásköz) hosszát *(a) n* számú segédbeosztásközre *(b)* osztják úgy, hogy fennálljon az $m \cdot a = n \cdot b$ egyenlőség. A gyakorlatban két eset fordul elő, amikor $m = n-1$, vagy $m = n+1$. Ha $m = n-1$, akkor pld. 9 főbeosztás hossza 10 részre van osztva a nóniuszon (5.2.17. ábra), a segédbeosztás közei kisebbek, a nóniusz *egyirányú (utózó).*



5.2.17. ábra: Előző és utózó nóniusz

Ha $m = n+1$, akkor 11 főbeosztás van 10 részre osztva. Ezt a nóniuszt *ellenirányú (előző)* nóniusznak nevezzük. A nóniuszok leolvasását általában *lupéval* végzik (ritkábban mikroszkóppal).

A nóniusz leolvasó indexe a rajta feltüntetett 0 osztásvonása. A főbeosztás kezdetétől leolvassuk a nóniusz 0 osztásáig a főosztásokat ($l_1 = x \cdot a$) és megkeressük azt a helyet, ahol valamelyik nóniusz osztás egybevág egy főbeosztás vonásával. A nóniusz nullájától az egyezés helyéig leolvasott nóniusz egységek adják a csonkaleolvasást ($l_2 = y \cdot b$). Ha egyik nóniusz osztás sem egyezik pontosan főbeosztás vonással, akkor feles, vagy köztes állásról beszélünk. A leolvasó képesség ekkor $\frac{a}{2 \cdot n}$.

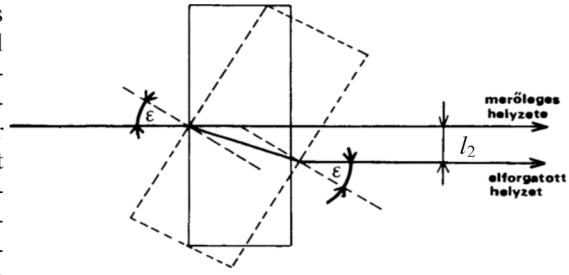


A beosztásos mikroszkóp egy mikroszkóp, amelynek szállemezén *beosztás* (segédlépték) található (5.2.18. ábra). A leolvasás úgy történik, hogy leolvassuk azt a főbeosztás értéket, melynek osztásvonása metszi a segédléptéket (főleolvasás), majd a segédléptéken leolvassuk annak *0* osztása és a metsző főbeosztás vonala közötti értéket (csonka leolvasás). *H* a *vízszintes* (horizontális), *V* a *magassági* (vertikális) szögek leolvasási helye.

5.2.18. ábra: Beosztásos mikroszkóp

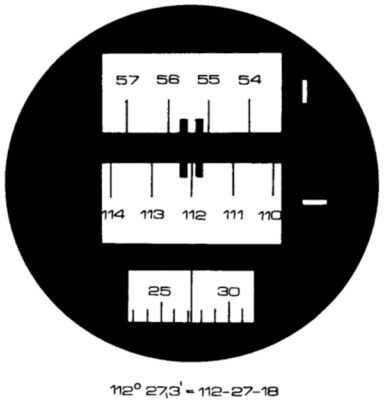
Az optikai mikrométeres mikroszkóp szállemezének közepén csak egy jel, többnyire kettős szál található, amelyre az objektív rávetíti a kör osztásainak képét. Az objektívbe érkező sugármenet útjába egy ún. *optikai mikrométert* helyeznek (5.2.19. ábra), amely nem más, mint egy *planparallel lemez*, amely egy, a síkjával párhuzamos tengely körül elforgatható.

A planparallel lemez (5.2.2. és 5.2.19. ábra) a sugárnyalábot önmagával párhuzamosan eltolja egy forgatási intervallumban egy alaposztásnyit. A leolvasás úgy történik, hogy a mikrométer csavarjának segítségével egy főbeosztást a kettős szálak közé viszünk és leolvassuk értékét (főleolvasás), ezután a mikrométerskála bevetített képén egy indexszál segítségével leolvassuk az eltolás mértékét (csonkaleolvasás) (5.2.20. ábra).

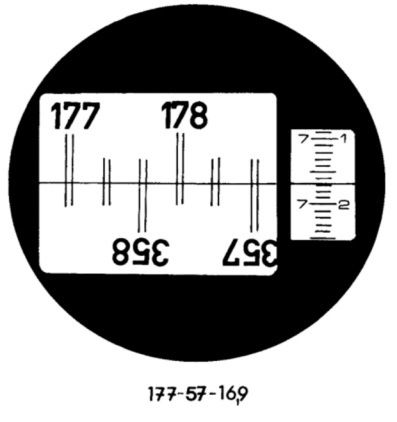


5.2.19. ábra: A planparallel lemez - az optikai mikrométer elve

A korszerű üvegkörös műszereken a diametrális leolvasást úgy oldották meg, hogy a két diametrális leolvasó hely képét, egy kettős optikai mikrométeren keresztül, egymás fölé vetítik a látómezőbe. A két leolvasó helyet a mikrométercsavarral egymáshoz képest eltolhatjuk úgy, hogy az összes szembenálló osztásvonal metszésbe kerüljön, miközben a mikrométer bevetített képén az eltolás mértéke leolvasható. Ezt a műveletet (a metszésbehozást) koincidálásnak nevezzük (5.2.21. ábra). Az ún. *főleolvasást* a *diametrális leolvasások* között végezhetjük el. A diametrális leolvasások 180°-kal különböznek egymástól, pld. az 5.2.21. ábrán a diametrális leolvasások 177°50' és 357°50'. Előfordul, hogy a diametrális párok helyét egy bevetített indexvonás is jelzi.



5.2.20. ábra: Optikai mikrométeres mikroszkóp látómezeje



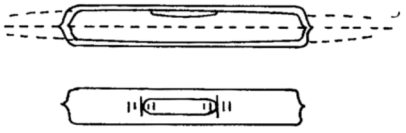
5.2.21. ábra: Koincidencia állító optikai mikrométeres mikroszkóp látómezeje

A libellák

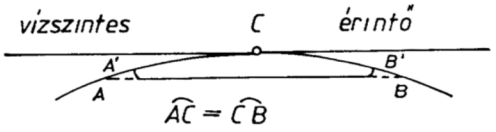
Geodéziai méréseinket a ponthoz tartozó *helyi vízszintes síkhoz* és annak normálisához, a *helyi függőlegeshez* (5.1.1. ábra) képest értelmezzük.

A helyi vízszintes sík és a helyi függőleges kijelölésére a *libellák* alkalmasak. A libellák folyadékkal - általában alkohollal, vagy éterrel - töltött zárt üvegedények, melyeknek belső csiszolata kívülről nézve *homorú hordó(donga)*-, vagy *gömb* alakú. A folyadékban egy gőzzel telített légzárvány, *buborék* van.

A *csöves libella* (5.2.22. ábra) olyan hengeres üvegcső, amelynek belső részét úgy csiszolják, hogy az egy adott sugarú körív húrja (a libella tengelye) körüli megforgatásával keletkező felület legyen (hordó vagy donga felület).A forgatási tengelyen átmenő metszete kör alakú.



5.2.22. ábra: A csöves libella



5.2.23. ábra: A csöves libella buborékjának geometriai középpontja, C

Ha a libella nyugalomban van és a benne lévő folyadékra csak a nehézségi erő hat, akkor a folyadék felszíne - a buborék alsó felülete - *szintfelület.* A buborék a körív legmagasabb pontján helyezkedik el, így a körív legmagasabb pontjához húzott érintő, a libella tengelye *(C)* (5.2.23. ábra) párhuzamos a folyadék felszínével, azaz a *helyi vízszintes síkot* jelöli ki. Ha a libella tengelye ezzel a síkkal párhuzamos, a *C* pont egyúttal a libella *O geometriai középpontjával*, vagy főpontjával is egybeesik. Utóbbi a libella osztásainak a középpontjában van.

A libella kimozdulását a rajta elhelyezett osztásokon olvashatjuk le. Ezek 2 *mm*-re vannak egymástól (régebben 2,256 *mm = 1 pars*). Az egy osztáshoz tartozó ε középponti szöget a *libella állandójának* (5.2.9. képlet), reciprokát *a libella érzékenységének* nevezzük.

$$\varepsilon'' = \frac{2}{r(\mathrm{mm})} \cdot \rho'' \qquad (5.2.9)$$

Az (5.2.9) képletben ε'' a libella állandója szögmásodpercben, r a libella görbületi sugara, ρ'' az 1 radián (analitikus szögegység) szögmásodpercben kifejezett értéke.

A szelencés libella olyan lapos, általában alacsony henger alakú üvegedény, amelynek felső lapja belülről *gömbsüveg* csiszolattal van ellátva, ennek megfelelően valamennyi metszete (mely átmegy a gömb középpontján is) kör alakú. A görbületi sugár határozza meg a szelencés libella állandóját.

A szelencés libellák görbületi sugara, illetve érzékenysége kicsi, de mivel rátekintéssel is két egymásra merőleges irány eltérését lehet vizsgálni, szinte valamennyi geodéziai műszer közelítő beállításához alkalmazzák.

5.2.1.2. Az elektronikus műszerek alapfogalmai

Az elektronikus geodéziai műszerekben a *leolvasás* a számítógépes feldolgozás számára "érthető" alakban rögzíthető, de a mérés helyén és idején tízes számrendszerbeli számjegyek formájában (analóg módon) is megjeleníthető. Az utóbbi részben a mérő személy tájékoztatására szolgál, részben lehetőséget ad a hagyományos jegyzőkönyv-vezetésre is. E feladatokat a műszerbe épített ún. mikroszámítógép látja el. A mért adatok rögzítése és a digitális számjegy kijelzés alapján e műszereket digitális műszereknek is nevezik.

Az elektronikus műszerekben a beosztásvonásokat a kettes számrendszerben kódolják. A főleolvasás automatizálása történhet kódkiolvasással és inkrementális módszerrel. A kódkiolvasás során a főleolvasás kódolása a limbuszkörön fokozatosan csökkenő sugarú sávokban történik (5.2.24. a) ábra). A főbeosztás vonások a kör legnagyobb sugarú sávjában (a legszélén) helyezkednek el, utána egy - a diametrálisan ellentétesen elhelyezkedő vonások számára fenntartott - üres sáv következik. A további sávokban a beosztásokhoz tartozó kódolt számok találhatók. A főbeosztás szögértéke a kódolt sávok mennyiségétől függ. A leolvasást egy beépített számolómű alakítja át a mérő személy számára is érthető "analóg" leolvasássá, amely megjelenik az automatikus műszer digitális kijelzőjén.



5.2.24. ábra: a) kódkiolvasás; b) inkrementális módszer

Az ún. inkrementális (vagy számlálással történő) eljárás során a műszer megfelelő szerkezeti elemének forgatásakor a leolvasóberendezés megszámlálja az indexvonás előtt elhaladó beosztásközöket. A limbuszkör kialakítása jóval egyszerűbb, mint a kódkiolvasás esetén (5.2.24. b) ábra), a körosztásban azonos nagyságú, de ellentétes optikai tulajdonságú elemek váltakoznak. Az indexvonás tulajdonképpen egy fotodióda, amelyre a leolvasáskor változó erősségű fény jut, amely a létrejövő elektromos jelben periódusos változást idéz elő. A periódusok egy-egy beosztásegységnek felelnek meg, ezek összessége állítja elő a főleolvasást.

A csonkaleolvasás csak az irányzás befejezése után állítható elő. Itt is megkülönböztetjük a kódkiolvasást és az inkrementális módszert.

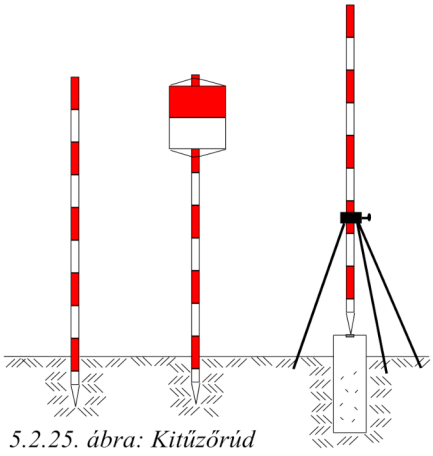
A kódkiolvasáskor az ún. fotoelektromos interpolációt alkalmazzák. A planparallel lemez állandó szögsebességgel forog, a szögelfordulás mértéke az időmérés kezdetétől a végéig eltelt idővel arányos. Az időmérés végét a koincidencia automatikus felismerése jelzi. Az inkrementális módszer esetén egyetlen beosztás egység egyenletes elosztásban négy fotodiódát tartalmaz. A csonkaleolvasást az osztásegység mentén szinuszos fényerősség eloszlás változása teszi lehetővé.

5.2.2. Szögmérő és szögkitűző eszközök és műszerek

5.2.2.1. A vízszintes irányok és szögek kitűzésére alkalmas egyszerű eszközök

Ezen eszközök segítségével irányok, többnyire egyenesek, valamint 90^0, 180^0, ritkán 45^0 értékű szögek tűzhetők ki valamilyen adott dokumentáció alapján.

A *kitűzőrúd* (5.2.25. ábra) 2-4 m hosszú, 2,5-4 cm átmérőjű, kör-, vagy háromszög keresztmetszetű, impregnált göcsmentes fenyőfa, vagy, újabban, műanyag rúd. A rudat olajfestékkel festik be, a légnedvesség káros hatásának megelőzésére. Utóbbi biztosítja, hogy a rúd ne görbüljön el, illetve ne vetemedjen. Műanyag esetében ilyen gond nincs, de a geodéták nem nagyon kedvelik. A jelző-rúd alsó része vas-saruban végződik. A rudat általában 20 cm-nyi szakaszokban fehérre és vörösre, ritkábban fehérre és feketére festik. A rudat vagy a cövek helyére szúrjuk be, vagy a cövek tetejére állítjuk. Utóbbi esetben az ábrán bemutatott ún. vasháromlábat használjuk (jobb szélső ábra).

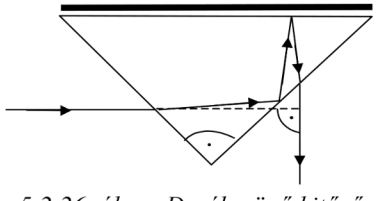


A rudat a rúdhoz illeszkedő szelencés libella segítségével hozzuk függőleges helyzetbe: A rúd mintegy 500 m-es távolságig látható szabad szemmel, 500-1000 m-ig a rúd tetejére vörös-fehér zászlót kötünk, ennél nagyobb távolságnál vékony pálcikákkal kimerevített lobogót helyezünk el a tetején (középső ábra).

5.2.25. ábra: Kitűzőrúd

A *szögtűző prizmák* a fentebb említett kerek értékű, előre megadott szögek kitűzésére, terepi megjelölésére szolgálnak, lehetnek egyszerű, vagy összeépített prizmák.

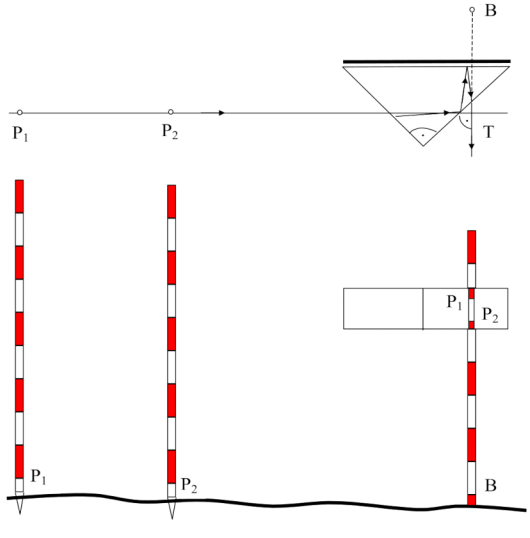
A legegyszerűbb a derékszög kitűzésére alkalmas ún. derékszögű, vagy háromoldalú prizma. Az optikai üvegből csiszolt egyenlő szárú derékszögű háromszög átlóoldali lapját foncsorozzák, vagyis tükröző felülettel látják el. A prizmába érkező fénysugár menetét a 5.2.26. ábrán követhetjük végig.



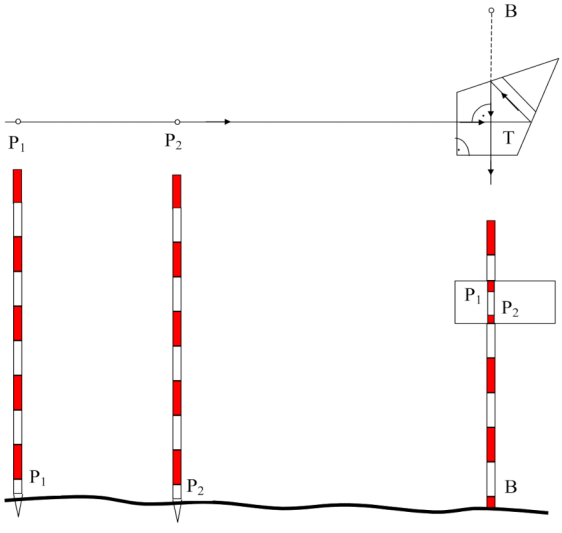
5.2.26. ábra: Derékszögű kitűző prizma

Előfordul, hogy a kétszeres fényvisszaverődés helyett csak egyszeres volt a visszaverődés. Ekkor a prizma sík tükörként működik. Erről úgy győződhetünk meg, hogy a prizmát függőleges tengely körül elforgatjuk. Ez esetben is 90^0-os sugáreltérítést kapunk, ha a beeső sugár merőleges a prizma egyik befogójára. A prizma használatát mutatja az 5.2. 27. ábra.

Ha pld. az 5.2.27. ábra szerinti P_1 és P_2 kitűzőrudakkal adott egyenesre merőlegest kell állítanunk a T pontban, akkor felállunk a T pontban függőlegesen tartott prizmával úgy, hogy annak foncsorozott oldallapja közel párhuzamos legyen a $\overline{P_1P_2}$ egyenessel. Ezután addig megyünk előre, vagy hátra, amíg a két kitűzőrúd képe fedi egymást a prizmában. Ekkor a prizma a $\overline{P_1P_2}$ egyenes T pontja fölött van. A B kitűzőrudat úgy intjük be, hogy az a P_1 és P_2 kitűzőrudak prizmabeli képével essen egybe.



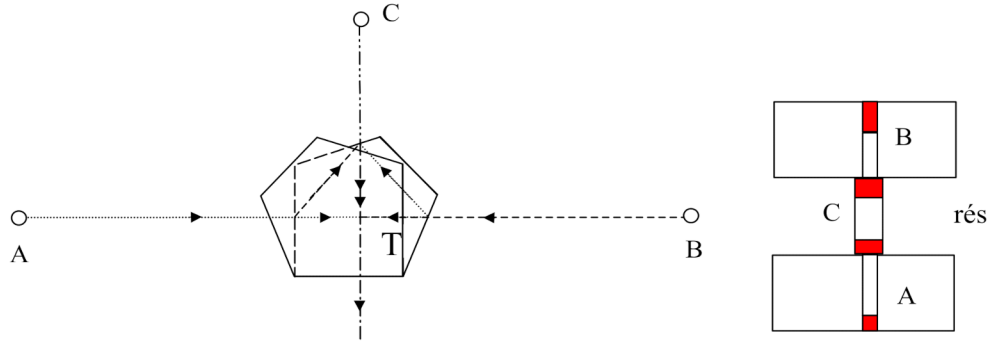
5.2.27. ábra: A derékszögű kitűző prizma használata



5.2.28. ábra: A pentagonális prizma és használata

A szögtűző prizmák másik, legelterjedtebb alakja a pentagonális prizma. Sugármenetét és használatát az 5.2.28. ábra mutatja. A prizmának két oldalát foncsorozzák, ezek 45^0 alatt hajlanak egymáshoz. Mivel ezeknek az oldalaknak teljes hosszára nincs szükség, azokat lecsiszolják, ezáltal kapja ötszögletes alakját. A prizma másik két lapja 90^0-ot zár be egymással.

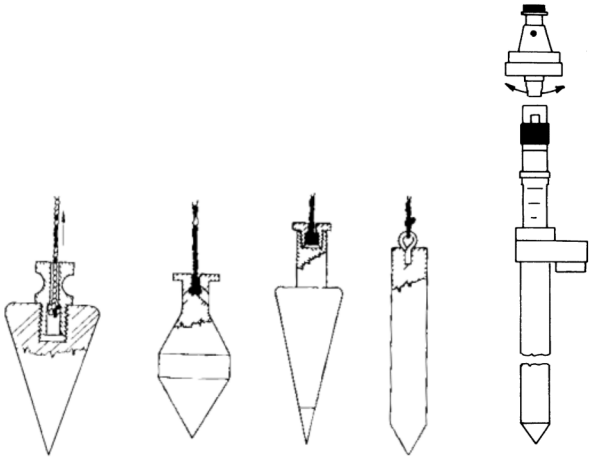
A kettős prizmák a 180^0-os szögek kitűzésére készülnek. Ezek két, egymás fölé helyezett prizmából állnak, amelyek mindegyike 90^0-os szöget tűz ki. A két prizma közötti légrés lehetővé teszi egyenesen kívül fekvő pont egyenesen fekvő merőleges talppontjának megkeresését, vagy a merőleges kitűzését. Számos változata közül legelterjedtebb a kettős pentagonális prizma (5.2.29. ábra).



5.2.29. ábra: Kettős pentagonális prizma és használata

A prizma előnye, hogy fényerős képet ad, nagy a látómezeje és benne zavaró képek nem keletkeznek. Kézben tartás közben nem érzékeny a billegésre, a függőlegesen felállított kitűzőrudat mindig függőlegesen látjuk.

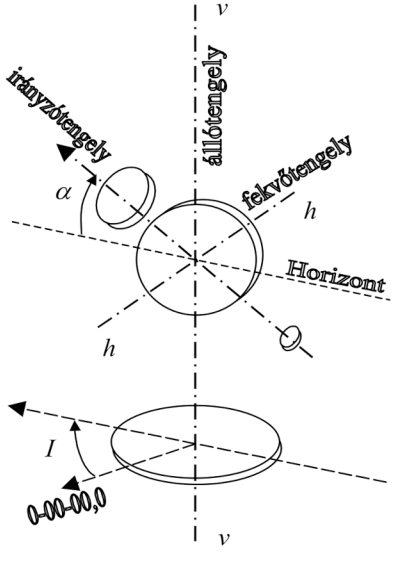
A prizmákkal a prizma fogantyújára akasztott ún. zsinóros vetítővel (néhány különböző alakját az 5.2.30. ábrán láthatjuk), más néven függővel, vagy függélyezővel, vagy a fogantyúba dugott ún. botvetítővel állunk a pont fölé.



5.2.30. ábra: Zsinóros és botvetítő

5.2.2.2. A teodolit

A teodolitok mindmáig a legfontosabb és legpontosabb szögmérő műszerek. A hagyományos teodolitokat szokás optikai teodolitoknak is nevezni. A tudomány és technika fejlődésével egyre inkább terjed digitális változatuk, az elektronikus teodolit.



5.2.31. ábra: A teodolit tengelyei és a mért mennyiségek

A teodolit elvi felépítését tekintve egy olyan irányzó berendezés, amely egymásra merőleges függőleges, illetve vízszintes tengely körül elforgatható és az elforgatás mértékei meghatározhatók (5.2.31. ábra). Az 5.1.1. ábrán feltüntetett adatok közül közvetlenül a φ vízszintes szög és az α magassági, ill. a Z zenit szög mérésére alkalmasak, közvetve, korlátozott pontossággal mérhető a d_f ferde távolság, ill. számítható a d_v vízszintes távolság és a Δm magasságkülönbség is. E jelöléseken túl az 5.2.31. ábrán I a kezdőosztástól vett vízszintes szög, az *irányérték* (5.2.17a és b. képletek).

Az első teodolitnak tekinthető műszert Sisson angol műszerész készítette 1730 körül, e műszerrel az irányzást még az ún. nézőhasadékkal végezték. Az első távcsővel felszerelt teodolitot Reichenbach készítette 1804-ben. Ugyancsak ő szerkesztette a teodolithoz az első távmérő berendezést, a távcső szállemezére szerkesztett és máig az ő nevét viselő Reichenbach-féle távmérő szálakat.

Az optikai teodolitok korszerűsítése a svájci Wild nevéhez fűződik, az ő gyárában hozták létre először az üvegkörös leolvasóberendezéseket és a belső képállítású távcsöveket. Magyarországon a geodéziai műszerek gyártása a Süss Nándor által alapított gyárban indult meg az 1870-es évek nagy fellendülése idején. Utódában, a Magyar Optikai Művekben még sokáig gyártottak nemzetközi hírű teodolitokat, a Nyugat-Magyarországi Egyetem Földmérési és

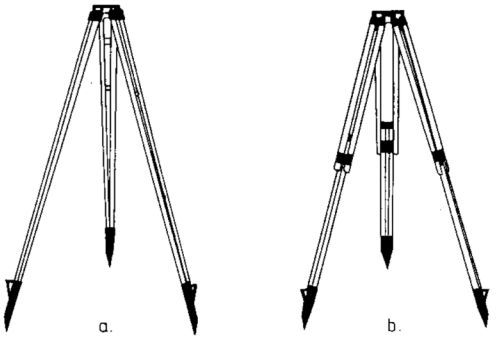
Távérzékelési Tanszékének 1965-79 között volt vezetője, Dr. Bezzegh László a cég elismert konstruktőre volt.

Jelenleg Magyarországon a MOM utódja gyártja a Te-o2 és Te-o3 típusjelű teodolitokat.

A teodolit hordozója a műszerállvány. Utóbbi lehet merevlábú és állítható lábhosszúságú (5.2.32. ábra).

Maga az alábbi fő részekből áll:

- Műszertalp (alsó rész) a műszernek az a része, amely a műszer használatakor az állványhoz rögzítve mozdulatlanul áll.
- Alhidádé (középső rész) a műszernek az a része, amely használatkor a talprészben lévő csapágyazásban függőleges tengely (az állótengely) körül elforgatható.
- Távcső (felső rész) a műszernek az a része, amely az alhidádé villáiban lévő csapágyazásban a műszer használatakor a vízszintes tengely (a fekvőtengely) körül billenthető. A távcső tengelye a teodolit harmadik tengelye, az ún. irányzótengely, vagy irányvonal (5.2.31. ábra). A távcsövet a továbbiakban az alhidádéhoz tartozónak fogjuk tekinteni (5.2.32. ábra).



5.2.32. ábra: Műszerállványok: a) merev, b) összecsukható

A fenti tagozódás a régebbi műszereken figyelhető meg jól. A korszerű, de elsősorban az elektronikus teodolitok formatervezettek, burkoltak, az egyes műszerrészek nehezebben ismerhetők fel. A korszerű műszerek használójának már egyre kevesebb a lehetősége arra, hogy az egyes szerkezeti elemekhez hozzáférjen, azokat szükség esetén igazítsa. Ezért a továbbiakban a teodolitot csak olyan részletességgel ismertetjük, amelyre a műszert használó mérnöknek feltétlenül szüksége van ahhoz, hogy azt szakszerűen üzemeltesse és a terepi mérésekhez szükséges alapvető vizsgálatokat el tudja végezni.

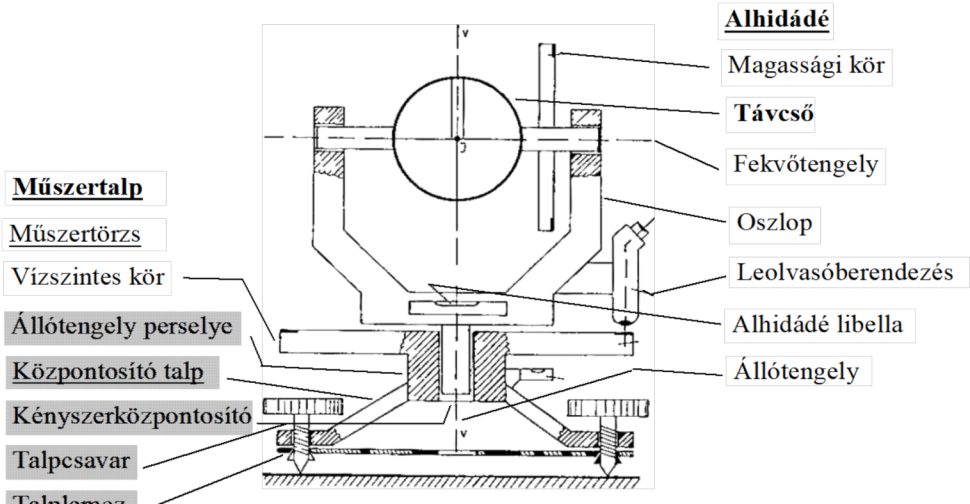
A teodolit általános felépítése az 5.2.33. ábrán látható.

- A ***műszertalp*** a műszerállvány összekötőcsavarjának befogadására alkalmas szerkezeti elemet, az *állótengely* függőlegessé tételét lehetővé tevő *talpcsavarokat*, a vízszintes kört (a *limbuszt*) és az állótengely befogadására szolgáló perselyt foglalja egy szerkezeti egységbe. A műszertalp két további részre bontható: a központosító talpra és a műszertörzsre.

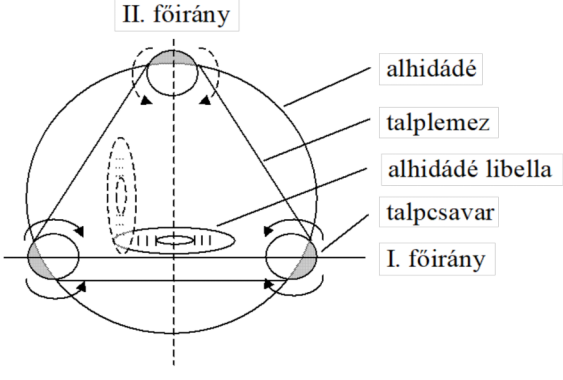
A *központosító talp* talplemezén helyezkednek el az állótengely függőlegessé tételére szolgáló talpcsavarok és a kényszerközpontosító rész, amelyből az alhidádé kiemelhető, helyére más műszer vagy jel (mérőjel, jeltárcsa stb.) tehető, vagyis lehetővé teszi, hogy a műszert és a jelet (jeltárcsát, prizmát) úgy cseréljük ki egymással, hogy forgástengelyük azonos térbeli helyzetet foglaljon el, azaz ugyanabba a függőlegesbe essék.

A három talpcsavar egymástól az állótengelyhez viszonyítva 120°-os szögben helyezkedik el úgy, hogy segítségükkel, továbbá az alhidádén elhelyezett ún. alhidádé libella segítségével az állótengely függőlegessé tehető. Ekkor, ha a fekvőtengely, illetve a vízszintes kör

merőleges az állótengelyre (5.2.31. ábra), mindkettő a méréshez szükséges vízszintes helyzetbe kerül.



5.2.33. ábra: A teodolit felépítése



5.2.34. ábra: Főirányok az állótengely függőlegesítéhez

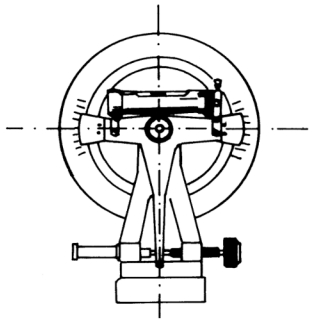
Az állótengelyt az 5.2.34. ábrán látható módon függőlegesítjük: kiválasztunk két ún. főirányt. Az alhidádén rögzített alhidádé-libellát az I. főirányba forgatjuk, majd - igazított libella esetén - a libella buborékját az I. főirányba eső két talpcsavar egyidejű, egyenlő nagyságú, de ellenkező irányú forgatásával középre állítjuk. Az alhidádé-libellát ezután a II. főirányba forgatjuk és a kitért buborékot a harmadik talpcsavarral középre állítjuk.

A teodolitok talprészén (esetleg az alhidádén) a közelítő gyors beállításhoz egy szelencés libellát helyeznek el. Ennek segítségével a tengelydőlés iránya közvetlenül megfigyelhető.

A műszer törzsén helyezkedik el a vízszintes kör, vagy limbuszkör, amely az állótengelyre merőleges és központos, továbbá az állótengely csapágya (hüvelye), valamint a kényszerközpontosító rész csatlakozója. A legtöbb műszeren a vízszintes kör az állótengely körül az alhidádétól függetlenül is elforgatható.

- Az ***alhidádé*** (eredeti jelentése: oszlopocska) a teodolit állótengelye körül forgó felső rész, amely az alábbi elemeket foglalja magában:
  - az állótengelyre merőleges vízszintes tengelyt,
  - a vízszintes tengelyre merőleges magassági kört,
  - a vízszintes tengelyre merőleges és az állótengely síkjában lévő geodéziai távcsövet, amely áthajtható és átforgatható,

- az irányzáshoz szükséges vízszintes, valamint a magassági kötő- és parányscsavarokat,
- a vízszintes és a magassági kör leolvasó berendezéseit,
- a különböző libellákat, amelyek lehetővé teszik a teodolit tengelyeinek függőlegessé-, ill. vízszintessé tételét,
- a magassági indexlibella állítócsavarját és az indexeket.



5.2.35. ábra: A magassági index

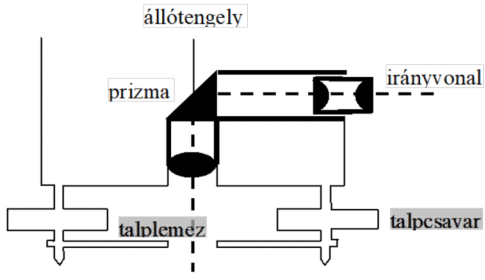
A magassági kör merőleges a fekvőtengelyre, ahhoz mereven kötött és együtt forog a távcsővel. Számozása többféle lehet: *magassági szög szerint számozott*, ekkor vízszintes távcső helyzetnél a hibátlan leolvasás értéke 0, valamint *zenitszög szerint számozott*, ekkor a 0 leolvasás a zenitben van, vízszintes távcső helyzetben a leolvasás az I. távcsőállásban 90^0, a II. távcsőállásban 270^0. Ez ma a leggyakrabban alkalmazott megoldás. A *magassági indexlibella* és a hozzákapcsolt leolvasó indexek (az ún. magassági indexek: 5.2.35. ábra) teszik lehetővé, hogy a magassági körről mindig a helyi vízszinteshez képest, vagy az erre merőleges függőlegeshez képest olvashassuk le a magassági, ill. a zenitszögeket (5.1.1. ábra).

A napjainkban gyártott műszereken az indexlibella helyett az ún. indexkompenzátort (automatikus magassági indexet) alkalmazzák, amely a nehézségi erő hatására a magassági leolvasóberendezés valamelyik optikai elemét mozdítja el olyan mértékben, hogy az a leolvasás értékét automatikusan a vízszintesnek megfelelő értékre módosítja. Működésének előfeltétele, hogy a műszer állótengelyének előzőleg már közelítően függőlegesnek kell lennie. Mivel irányzásonként a magassági indexlibellát nem kell állítani, a mérés sokkal gyorsabbá válik. Hátrány, hogy a kompenzátor rezgésérzékeny, így pld. a szél-, vagy a talajrezgések (pld. közutak, vasútvonalak mentén) hatására a leolvasás bizonytalanabb.

A teodolitra szerelt távcső a műszer állótengelye körül az alhidádéval együtt elforgatható és a fekvőtengely körül áthajtható. Ezért a távcsővel bármely távoli pontot két ún. távcsőállásban lehet megirányozni. A teodolit távcsövén ún. célzó kollimátor található, ez teszi lehetővé az irányzott pont közelítő megkeresését. Megállapodás szerint I. távcsőállásnak szoktuk tekinteni a távcsőnek azt a helyzetét, amikor a teodolitot az okulár felől nézve, a magassági kör balkéz felé esik. A II. távcsőálláshoz úgy jutunk, hogy a távcsövet az I. távcsőállásból az alhidádéval együtt 180^0-kal átforgatjuk és a fekvőtengely körül (szintén 180^0-kal) áthajtjuk (az I., II. jelölést a gyárak néhány műszertípusnál a távcsőtartó villákra rá is írják).

A teodolit kiegészítő felszerelései és tartozékai

A teodolit elengedhetetlen tartozékai a műszerállványok és az előző pontban már említett vetítők. A zsinóros és botvetítőkön túl a teodolitoknál meg kell említenünk a legpontosabb felállítást biztosító optikai vetítőt.



5.2.36. ábra: Az optikai vetítő

Az optikai vetítő egy tört csövű távcső: a sugárnyaláb iránymódosítását derékszögű prizma végzi. Az optikai vetítő szállemezén koncentrikus körök találhatók, ezekkel állunk rá a pontra. Az optikai vetítőt többnyire az alhidádéba, vagy a műszertalpba építik be, s a tört távcső az üreges állótengelyen és az állványösszekötő csavaron át tekint a talajra. Az 5.2.36. ábrán egy műszertalpba épített optikai vetítő elrendezését mutatjuk be.

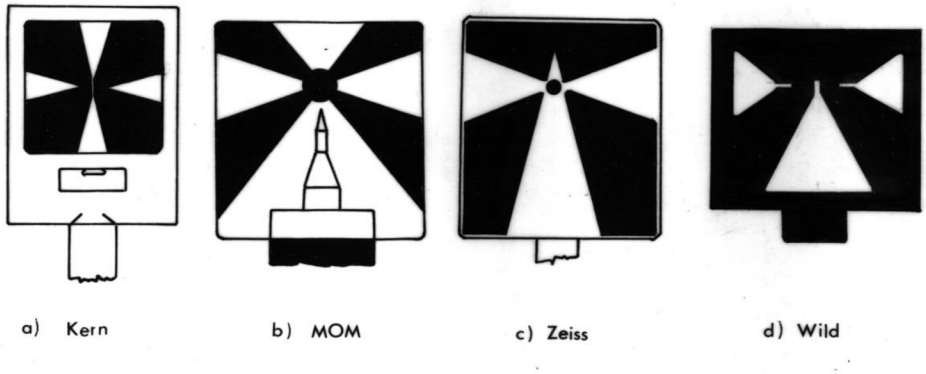
Az optikai vetítő helyes működéséről a teodolit körbeforgatásával győződhetünk meg. Ez esetben körbeforgatáskor a pont képe nem mozdul ki a célkörből. Ellenkező esetben az optikai vetítő igazításra szorul, amelyet célszerű hozzáértő műszerésszel elvégeztetni.

A különböző vetítőkkel a pontra állás megbízhatóságát a következő *előzetes középhibákkal* jellemezhetjük:

zsinóros vetítő: ± 3-5 mm
botvetítő: ± 1-2 mm
optikai vetítő: ± 0,5 mm.

Pilléren, műszerasztalon való felállást biztosít a vetítő pálcával ellátott műszeralátét.

Az irányzott pont szabatos megjelölését jeltárcsákkal (jeltáblákkal) biztosítjuk. A jeltárcsákat a különböző műszergyárak különböző jelábrákkal, rajzolatokkal készítik. Néhány jeltárcsa típust mutatunk be az 5.2.37. ábrán.



5.2.37. ábra: Jeltárcsa típusok

A teodolitok szállemezére az ún. Reichenbach-féle távmérőszálakat (5.2.53. ábra) is felszerkesztik. A távméréshez használatosak még a távcső objektívje elé szerelhető feltét prizmák, a kényszerközpontosítóba helyezhető invár bázislécek és a különböző festésű távmérő lécek. Utóbbiakról az optikai távolságmérés (5.2.3.2. fej.) tárgyalásakor adunk áttekintést.

A jeltárcsák, önálló optikai vetítők, az invár bázislécek használatához további műszerállványok és kényszerközpontosító talpak szükségesek. A teodolitok jelentős részéhez kiegészítő feltétként teljes körös, vagy csöves mágneses tájolókat is szállítanak. Meredek irányzásokhoz okulárprizmákat vagy törtokulárokat készítenek.

A klasszikus felső-geodéziai mérések végzésekor a műszereket világítással is ellátták. Egyes teodolitokhoz a földrajzi azimut méréséhez rátét giroszkópokat készítettek (pld. a MOM ma már lassan a műszertörténethez tartozó Gi-C és Gi-D típusú *rátét giroszkópjai*).

Csillagászati mérésekhez a legnagyobb pontosságú teodolitokhoz a fekvőtengelyre helyezhető ún. *Horrebow-libellát*, a Napra irányzáshoz *napprizmát*, vagy az ún. *meridián kereső prizmát* használtak.

Minden teodolitnak tartozéka a szállításra szolgáló *hordláda*, vagy *tok*, amelyben úgy helyezhető el a műszer, hogy szállítás közben az állótengely és a talpcsavarok tehermentesítve legyenek, s a műszer elmozdulás- és sérülésmentesen szállítható legyen. Készülhet fából, fémből, műanyagból. Többnyire ebben helyezik el a zsinóros vetítőt, néhány szerszámot a műszer igazításához, kevés műszerolajat és porecsetet a műszer tisztításához, ápolásához.

A teodolitok csoportosítása

Minden csoportosítás önkényesen kiválasztott ismérvek alapján történik. A teodolitokat csoportosíthatjuk leolvasóberendezésük, közvetlen leolvasó képességük, felhasználási területük és mérési pontosságuk alapján. Az utóbbi szempontból a teodolitokat osztályokba szokás sorolni. Utóbbiakat a műszergyárak különbözőképpen jelölik. Pld. a MOM teodolitjait a Te megjelöléssel, s az ABC nagy betűivel jelölték, ahol az A betű a legnagyobb, az E a legkisebb pontosságú kategóriát jelentette (Te-B, Te-C, ...). A B osztályú műszerek az ún. *másodperc teodolitok*, leolvasóberendezésük felbontóképessége (élessége) 1". A C osztályban a megfelelő érték 5", a D osztályban pedig 10". A WILD-LEICA cég teodolitjait T betűvel és arab számokkal látják el, ahol a kisebb számok a kisebb pontosságú, a nagyobb számú a nagyobb pontosságú műszereket jelentik (WILD T0, T1, T2, T3, T4). A magyarországi felsőrendű vízszintes alapponthálózatot a T3 típussal mérték. A T4 kategória csillagászati mérésekre alkalmas klasszikus műszer. Vannak műszergyárak, ahol a műszerek jelölése egyben a műszer pontosságára is utal.

Elektronikus teodolitok

Mint láttuk, a teodolitok igen bonyolult, szabatos, optikai, finom-mechanikai műszerek. A legutolsó évtizedekben ezen ún. optikai teodolitok mellett, s - azokat egyre inkább kiszorítva - megjelentek a legkorszerűbb elektronikus teodolitok. Az 5.2.38. ábrán a D pontosságnak megfelelő optikai, az 5.2.39 ábrán elektronikus teodolitot mutatunk be.



5.2.38. ábra: Az NT 4D márkajelű japán optikai teodolit



5.2.39. ábra: Az NE 10 márkajelű japán elektronikus teodolit

Az *elektronikus teodolitok* a szögmérésnek, mint terepi mérési eljárásnak automatizálására irányuló törekvés eredményei, s mint minden egyéb automatizált műszert, ezt is megelőzte a geodéziai számítások és a térképkészítés automatizálásának folyamata. E tény legin-

kább azzal magyarázható, hogy a terepi munka automatizálási lehetőségei - szemben a számítás és térképezés lehetőségeivel - meglehetősen korlátozottak. A szögmérés komplex folyamatában nem automatizálható a műszerálláspont felkeresése, a pontra állás és az állótengely függőlegessé tétele.

Az irányzás automatizálására is csak korlátozottan van lehetőség. A teljes automatizáltság az elektronikus teodolitoknál csak a körleolvasások tekintetében valósult meg. Ennek érdekében az elektronikus teodolitokat mikroprocesszorokkal és mágneses adattárolókkal (terepi adatrögzítőkkel) látták el. A körleolvasások automatizálásának eredményeként

- a terepi automatikus adatrögzítés eredményei közvetlenül alkalmasak számítógépes feldolgozásra;
- a mikroprocesszor lehetővé teszi a szögmérés szabályos hibái egy részének meghatározását, s így kiküszöbölését.

Az alhidádé libella igazítása

Az alhidádé libella azon pontját, amelyben az érintő merőleges az állótengelyre, a libella N *normálpontjának* nevezzük. Ha a normálpont egybeesik a buborék C középpontjával, úgy a fekvőtengely vízszintes. Ha emellett a buborék középpontja egybeesik a beosztás O geometriai középpontjával, akkor az alhidádé libella "igazított" az állótengelyhez. Igazított alhidádé libella esetén a libella tengelye merőleges az állótengelyre, a főirányokhoz kapcsolódó műveletek elvégzése után (5.2.34. ábra) az alhidádé körbe forgatásakor a libella nem mozdul ki, azaz az állótengely függőleges. Ha a buborék kitér, az alhidádé libella igazítatlan. Ilyen műszerrel csak bizonyos határok között lehet mérni, de rendszerint ki kell igazítani.

Az igazítást az 5.2.40. a), b) és c) ábráknak megfelelően végezzük: Az I. főirányban (5.2.34. ábra) a helyi vízszintest a $C_1 = 0$ ponthoz húzott érintő, a libella tengely jelöli ki. 180^0-os átforgatás után a buborék kitér a C_2 pontba, a libellaív e pontjához húzott érintő a helyi vízszintes. A C_1C_2 ív felezőjében található az N normálpont (5.2.40.a. ábra). A C_1C_2 libellaívhez tartozó középponti szög 2α, az állótengely ferdeségének (α) kétszerese. Ha az így meghatározott N normálpontra hozzuk a libella buborék középpontját a talpcsavarok segítségével, akkor a műszer állótengelyének ferdeségét kiküszöböltük, a műszer ebben a helyzetben mérésre alkalmas (5.2.40.b. ábra). Ekkor a libellatengely az állótengelyre még nem merőleges.

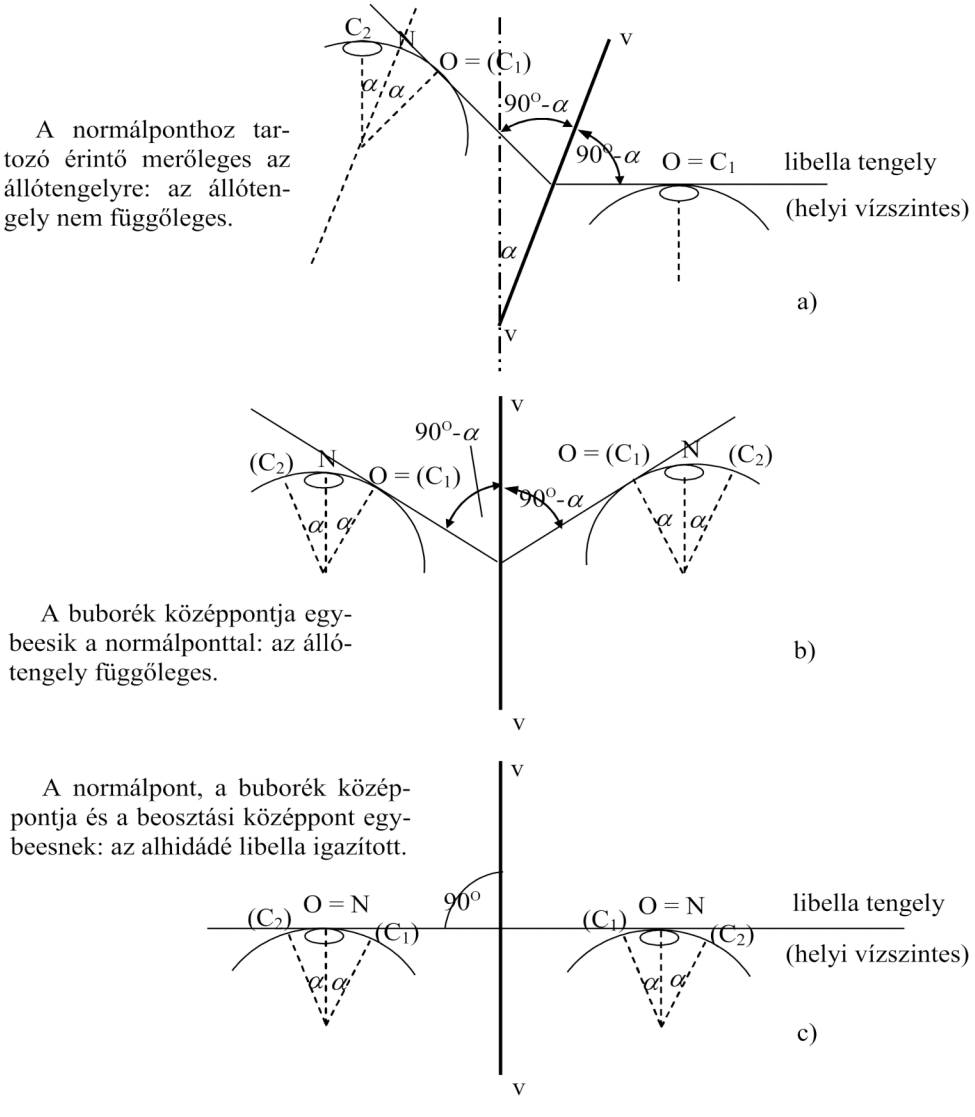
Elvégezzük a libellatengely igazítását az állótengelyhez. A libella függőleges igazító csavarjával kiküszöböljük a libellatengely ferdeségét (α). A műszer állótengelye ekkor függőleges és a libella igazított (5.2.40.c. ábra). Ekkor a normálpont és a libellaosztás geometriai középpontja egybeesik (N = O), s a libella tengely merőleges az állótengelyre.

A teodolittal végzett mérések szabályos hibái

A teodolittal végzett vízszintes és magassági szögméréseket

- a szabályos műszerhibák
- a külső körülmények hibái és
- a személyi hibák terhelik.

A szabályos hibák hatása csökkenthető a hiba megszüntetésével (műszer igazítása, mérési utasítások betartása), megfelelő mérési módszer alkalmazásával (pld. a két távcsőállásban történő mérés), végül, a hiba nagyságának meghatározásával és a hiba értékének a mérési eredményben való figyelembevételével.



5.2.40. ábra: Az alhidádé libella igazítása

A teodolitok szabályos műszerhibái

A korszerű műszereken a szabályos műszerhibák többségének szükséges keretek között tartását a gyártó cég szavatolja. E műszereknél a szabályos hibák meghatározhatók, de többségük nem igazítható. A megengedettnél nagyobb és nem igazítható szabályos hibák esetén a műszerrel mérni nem szabad. A teodolitok szabályos műszerhibái között megkülönböztetjük a mértékadó és az egyéb szabályos hibákat.

Mértékadóknak azokat a szabályos hibákat nevezzük, amelyek nagysága jelentősen meghaladhatja a teodolit leolvasó képességét. A mértékadó szabályos hibák általános jellemzője, hogy vizsgálatukkor a hiba kétszerese jelentkezik és a két távcsőállásban végzett mérési

eredmények számtani középértékéből kiesnek. A *mértékadó műszerhibák* vizsgálati (esetleg kiküszöbölési) lehetőségük sorrendjében az alábbiak:

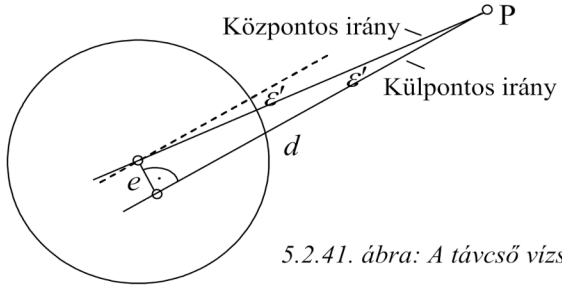
- vízszintes szögmérésnél: a kollimáció hiba, a távcső vízszintes értelmű külpontossága és a fekvőtengely ferdeségi hibája,
- magassági szögmérésnél: a magassági index hibája és a távcső függőleges értelmű külpontossága.

A kollimáció hiba az irányvonal merőlegességi hibája, abból adódik, hogy az irányvonal nem merőleges a fekvőtengelyre. Ha az irányvonal és a fekvőtengely által bezárt szög eltérése a 90°-tól γ, úgy ennek hatása az α magassági szög függvényében

$$\gamma' = \frac{\gamma}{\cos\alpha}. \qquad (5.2.10)$$

Vizsgálatához közel vízszintes irányvonal mellett megirányzunk egy *végtelen távoli* pontot. Végtelen távoli pont a vizsgálandó teodolittal szemben állított geodéziai távcső szálkeresztjének végtelenben keletkező képe. Ilyen elrendezés mellett csak a kollimáció hiba hatása érvényesül. A két távcsőállásban végzett mérések különbsége a kollimáció hiba kétszerese. Mivel a szálkereszt középpontja az irányvonal egy pontja, az irányvonal helyzetének módosítása, vagyis a kollimáció hiba kiküszöbölése a szálkeresztet hordó diafragma gyűrű megfelelő mértékű eltolásával lehetséges.

A távcső vízszintes értelmű külpontossága azt jelenti, hogy az irányvonal nincs benne az állótengelyt tartalmazó síkban, azt nem metszi. Nagysága az 5.2.41. ábráról olvasható le.



5.2.41. ábra: A távcső vízszintes értelmű külpontossága

Ha a hiba nagysága *e*, a hiba hatása az

$$\varepsilon' = \arcsin\frac{e}{d} \qquad (5.2.11)$$

képlettel fejezhető ki, ahol *d* az irányzott pont távolsága az állótengelytől.

A hiba *vizsgálatához* közel vízszintes irányvonal mellett két távcsőállásban megirányzunk egy *közeli pontot*. Ilyen elrendezés mellett a kollimáció hiba mellett a távcső külpontosságának hatása érvényesül. Ha most a kollimáció hiba értékét már meghatároztuk, ennek ismeretében a külpontossági hiba is kiszámítható. Korszerű műszereken a hiba nem igazítható.

A fekvőtengely ferdeségét az okozza, hogy a fekvőtengely nem merőleges az állótengelyre. Ha az eltérés mértéke ω, úgy a hibának a vízszintes kör leolvasásában érzékelhető hatása az

$$\omega' = \omega \cdot \mathrm{tg}\,\alpha \qquad (5.2.12)$$

összefüggéssel fejezhető ki, ahol α a mért magassági szög. Látjuk, hogy közel vízszintes irányoknál a hiba hatása nem érzékelhető.

A hiba *vizsgálatához* viszonylag *meredek irányvonal* (legalább 30°) mellett két távcsőállásban megirányzunk egy *közeli pontot*. Ilyen elrendezésnél a kollimáció hiba és a távcső külpontosságának hatása mellett a fekvőtengely hatása is érvényesül. Ha most az előző két hiba értékét már meghatároztuk, ezek ismeretében a ferdeségi hiba kiszámítható. Korszerű műszereken a hiba nem igazítható.

A magassági index hibáját (röviden indexhibát) az indexlibella esetén (5.2.35. ábra) az okozza, hogy a libellatengely nem párhuzamos a leolvasó indexekkel. Hasonló jellegű a hiba

az indexkompenzátor esetén is: a leolvasó indexek összekötő egyenesét az indexkompenzátor nem teszi vízszintessé.

A kollimáció hibánál bemutatott elrendezésben a magassági körleolvasást csak az indexhiba terheli, ez a hiba tehát kiszámítható.

Jelöljük az indexhibát ζ-val. Ekkor – zenitszög leolvasású műszereken – az indexhibával megjavított zenitszög értéke

$$\begin{aligned} Z &= Z^{\mathrm{I}} + \zeta, \\ Z &= 360^{\mathrm{o}} - Z^{\mathrm{II}} - \zeta. \end{aligned} \qquad (5.2.13)$$

Az (5.2.13) képletben Z^{I} az I., Z^{II} a II. távcsőállásban mért zenitszög. A képletek összevetéséből adódik:

$$\zeta = \frac{360^{\mathrm{o}} - \left(Z^{\mathrm{I}} + Z^{\mathrm{II}}\right)}{2} \qquad (5.2.14)$$

Az indexlibellát úgy igazítják, hogy amikor az indexlibella állítócsavarjával az index libella buborékját középre hozzák (a libella tengelye a vízszintes síkba kerül), akkor az indexek alaphelyzetbe kerüljenek. Az indexkompenzátor hibája felhasználói körülmények között nem igazítható.

A távcső függőleges értelmű külpontossága abból adódik, hogy a távcső irányvonala nem metszi a fekvőtengelyt. Hatása hasonló a vízszintes értelmű külpontosság hatásához:

$$\kappa' = \arcsin\frac{k}{d'}, \qquad (5.2.15)$$

ahol k most a távcső külpontossága, d' az irányzott pont távolsága a műszer fekvőtengelyétől.

A hibát a vízszintes értelmű külpontosságnál tárgyalt elrendezésben vizsgálhatjuk, ekkor a magassági körleolvasást az indexhiba és a távcső függőleges értelmű külpontossága együttesen terheli. Ha az indexhibát már meghatároztuk, a külpontossági hiba kiszámítható. Korszerű műszereken a hiba felhasználói körülmények között nem igazítható.

A *teodolitok egyéb fontosabb szabályos hibái* az alábbiak:

- Szálferdeség: függőleges állótengely mellett a vízszintes szál nem vízszintes, ill. a rá merőleges függőleges szál nem függőleges. Hatása jelentéktelen, ha mindig célszerűen a szálkereszt középpontjával irányzunk.
- A limbusz merőlegességi hibája: a kör síkja nem merőleges az állótengelyre. Hatása jelentéktelen.
- A limbusz külpontossága: az állótengely nem megy át a limbusz középpontján. Hatása több szögmásodperc hibát is okozhat. Két távcsőállásban végzett mérések átlagából kiesik.
- A limbusz osztáshibáinak hatása: korszerű műszereknél figyelmen kívül hagyható. Ennek ellenére ismételt mérések esetén a szabályzatok előírják, hogy az egyes ismétlések között (fordulónként, 5.2.42. ábra) a limbuszt el kell forgatni.
- A leolvasó berendezések hibái: a beosztásos mikroszkópnál a főbeosztás képe nem a szállemezen lévő mikrométer beosztás síkjában keletkezik, a főbeosztás nagyított képe különbözik a mikrométer beosztás kezdő és végvonása közötti távolságtól. Ez a beosztásos mikroszkóp ún. nagyítási hibája. A koincidencia állító optikai mikrométeres mikroszkóp esetén az optikai mikrométer kezdő állásánál az alhidádé libella paránycsavarjával koincidálunk. Ekkor az optikai mikrométer végállásában a következő diametrálisan ellentétes osztásoknak kell koincidenciában lenniük. Ha nem így van, a mikroszkópnak ún. run (rön) hibája van. Sem a nagyítási, sem a run

hiba felhasználói körülmények között nem szüntethetők meg, szabatos méréseknél számítással figyelembe vehetők.

- Ma már léteznek a műszerek hitelesítésére szolgáló *hitelesítő laboratóriumok*, amelyek részben mentesítik a felhasználót a szabályos hibák vizsgálata alól, s erről tanúsítványt is adnak. Ilyen található az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézetében.

A külső körülmények hibái

Az állvány elcsavarodását a Nap egyoldalú besugárzása okozza, amelynek következtében az állvány követi a Nap haladását. Egyenletes besugárzásnál az elcsavarodás is egyenletes. Egyenletes mérőtempóval a hiba csökkenthető, ha az I. távcsőállásban az óramutató járásával megegyező, a II. távcsőállásban az óramutató járásával ellenkező irányban mérünk.

A levegő, mint tudjuk, nem homogén gáz, ezért a különböző állapotú légrétegek határán az (5.2.1) összefüggéshez hasonlóan kifejezhető törésmutató szerint megtörik. A törésmutató pontról pontra, s még ugyanabban a pontban is az idő függvényében változik. A fénysugártörés következtében kialakult, optikailag legrövidebb vonal a térbeli refrakciógörbe, amely mindig hosszabb a geometriailag legrövidebb vonalnál, az egyenesnél. A mérés folyamán az irányzott pontokat nem az egyenes, hanem a refrakciógörbe álláspontbeli érintője mentén látjuk. A refrakciógörbe vízszintes vetületét oldalrefrakciónak, függőleges vetületét magassági refrakciónak nevezzük.

Az *oldalrefrakció* a vízszintes szögmérést befolyásolja, általában kis érték, de vigyázzunk arra, hogy az irányvonal ne haladjon napsütötte, erősen felmelegedett tárgyak (pld. épületek) mellett. A *magassági refrakció* jóval nagyobb mértékben befolyásolja a magassági (zenit) szögek leolvasását, mint az oldalrefrakció a vízszintes szögekét. Definíciója:

$$k = \frac{R}{r}, \qquad (5.2.16)$$

ahol k az ún. refrakció együttható, R - a Föld, r - a körrel közelített magassági refrakciógörbe sugara. A refrakció együttható átlagos értékét K.F. Gauss adta meg: $k = 0{,}13$. Az évszak és a napszak függvényében a k értéke egészen szélsőséges lehet, elvileg a $[-2; +2]$ intervallumban is vehet fel értéket, vagyis a Föld sugara meghaladhatja a refrakciógörbe sugarát. A refrakciógörbe görbületi sugara a Föld sugarával ellentétes irányú is lehet, vagyis alulról nézve domború. A magassági refrakció értékének meghatározására a trigonometriai magasságmérés tárgyalása során térünk vissza.

A léglengés napfelkeltekor és napnyugtakor előforduló, egy középhelyzet körüli kis frekvenciájú, nagy amplitúdójú hibaforrás. Elsődlegesen szintén a magassági szögmérést befolyásolja. Az említett napszakokban ne mérjünk!

Az erősen felmelegedett talaj, épületek kisugárzása légrezgést okoz. A hiba következtében a megirányzott jel egy középhelyzet körül nagy frekvenciájú, kis amplitúdójú rezgést szenved. A jelenség a déli órák felé egyre erősödik, úgyhogy a mérés szempontjából ezt az időszakot is kerüljük. Általában elmondható, hogy a teodolittal végzett méréseket borult időben a legcélszerűbb végezni. A külső körülmények hatásaira a geometriai szintezés tárgyalásakor, az 5.2.4.1 fejezetben még visszatérünk. A fent említett légköri hatások ui. a magasságmérést a vízszintes mérésnél jobban befolyásolják.

A személyi hibák

Az irányzás pontossága nem választható el az észlelő emberi szemtől, tehát terhelik az észlelő személyi hibái is. Ezek véletlen hibák, kiküszöbölésük nem lehetséges. Előfordulásukat, mértéküket befolyásolja az észlelő szemének minősége, az észlelő gyakorlottsága, lelkiismeretessége. Az irányzások és leolvasások ismétlésével a mérés pontossága növelhető.

A teodolit felállítása

A teodolit felállítása alatt azt a műveletsort értjük, amelynek eredményeként a műszer központosan a műszerállást jelképező geodéziai pont felett mérőkész helyzetbe kerül.

A felállítás során - többnyire egyidejűleg - két fő műveletet végzünk. Vetítő segítségével központosítunk az álláspont fölé (néha alá) és az alhidádé libella segítségével a műszer állótengelyét függőleges helyzetbe hozzuk. Az eljárás függ a használt vetítő típusától.

A teodolit felállítása zsinóros vetítővel

- Az állványt közel vízszintes állványfejezettel a pont fölé helyezzük, hogy az összekötőcsavar horgára akasztott függő csúcsa közelítően a pontjelre mutasson;
- A lábakat benyomjuk a talajba, majd a lábak hosszát úgy szabályozzuk, hogy a műszer elhelyezése megfeleljen testmagasságunknak, az állványfej emellett maradjon vízszintes, s a függő közelítően a pontjelre mutasson. Közben a zsinór hosszát természetesen változtatni kell;
- A talpcsavarokkal a szelencés libella buborékját középre állítjuk;
- Az állványösszekötő csavart lazítjuk, s a műszert az állványfejezeten úgy toljuk el, hogy a vetítő most már pontosan (1 mm-en belül) a pontjelre mutasson, majd az összekötő csavart meghúzzuk;
- A talpcsavarokkal előbb az I., majd a II. főirányban középhelyzetbe hozzuk az alhidádé libella buborékját (az 5.2.34. ábra kísérő szövege);
- Ellenőrizzük a központos felállást szemléléssel két egymásra merőleges irányból, az állótengely függőlegességét pedig a műszer lassú körbe forgatásával.

A teodolit felállítása botvetítővel

- Közel vízszintes állványfejjel a pontjel fölé állunk úgy, hogy a közelítőleg függőlegesre állított botvetítő csúcsát a pontjelre állítjuk;
- A lábakat betapossuk, hosszukat beállítjuk úgy, hogy az állványfej közel vízszintes, s a botvetítő közel függőleges legyen;
- A talpcsavarokkal a szelencés libella buborékját középre állítjuk;
- Az állványösszekötő csavar lazításával a műszert addig toljuk az állványfejen, míg a botvetítő szelencés libellája középállásba kerül, s az összekötő csavart meghúzzuk;
- Az előző eljárással hasonló módon az állótengelyt függőlegesítjük, s elvégezzük az ellenőrzést.

A teodolit felállítása optikai vetítővel

- Az állványt felemelve, s az optikai vetítőt figyelve, úgy állunk a pont fölé, hogy a látómezőben megjelenjék a pontjel képe, s az állványfej közel vízszintes legyen;
- Az állvány lábait betapossuk a talajba, a talpcsavarokkal megirányozzuk a pontjelet, majd a lábak hosszának változtatásával a műszer szelencés libelláját középre állítjuk;
- A talpcsavarokkal az I. és II. főirányban beállítjuk az alhidádé libellát;

- Az állványösszekötő csavar oldásával a műszert az állványfejen csúsztatva az optikai vetítő célkörével megirányozzuk a pontjelet, majd meghúzzuk az összekötő csavart;
- Az állótengelyt ismét függőlegesítjük, ellenőrizzük a felállást. Ha szükséges (a vetítő célköre lemozdul a jelről), a műveletet megismételjük.

A teodolit felállítása pilléren

Vetítő pecekkel ellátott pilléralátéttel történik.

- Központosan felhelyezzük a pilléralátétet és rögzítjük;
- A pilléralátét rögzített beépítésű összekötő csavarjára felcsavarjuk a műszert;
- Az állótengelyt függőlegesítjük és elvégezzük az ellenőrzést.

A központos felállás után a műszer távcsövét világos háttér (általában egy fehér lap) felé irányítjuk, s a távcső okulárcsavarja segítségével a távcső szálkeresztjét élesre állítjuk.

Irányzás teodolittal. Az irány- és a szögmérés.

Az irányzás során a következőket végezzük:

- Felállítjuk a műszert, majd a műszert I. távcsőállásba hozzuk (a magassági kör baloldalra kerül);
- Oldjuk a vízszintes és a magassági kötőcsavarokat, a célzó kollimátorral közelítően megkeressük az irányzott pont jelét, majd finoman megszorítjuk a kötőcsavarokat, s a látott képet élesre állítjuk a képélesség-állító (parallaxis-) csavarral.
- A vízszintes és a magassági paránycsavarokkal a szálkereszt középpontját pontosan fedésbe hozzuk a mérendő pont jelével;
- Ellenőrizzük, hogy nincs-e parallaxis hibánk. Szemünket föl-le mozgatva az okulár előtt, a kép a szálkereszthez képest nem mozdulhat el. Ha elmozdul, ezt a parallaxis csavar kismértékű forgatásával megszüntetjük.

A leolvasóberendezéseket ebben a helyzetben olvassuk le. Ha a magassági kört is leolvassuk, indexlibellával szerelt műszer esetén annak buborékját középre hozzuk. Mint tudjuk, a teodolit szabályos hibáinak jelentős része két távcsőállásban végzett mérésből kiesik, ezért a mérést két távcsőállásban végezzük.

Az irányérték (I) a limbusz 0 osztáshelye és az irányzott pontra mutató irány közötti szögérték a 0°-tól az óramutató járásával megegyező irányban értelmezve. Számítása az

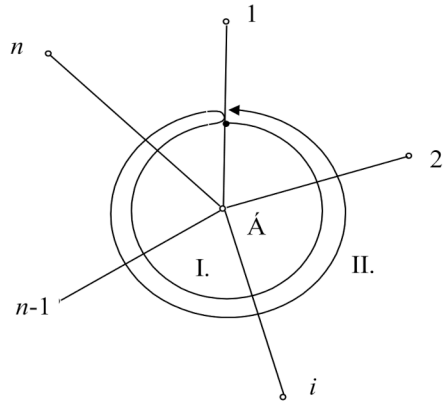
$$I = l_1^{\mathrm{I}} + \frac{l_2^{\mathrm{I1}} + l_2^{\mathrm{I2}} + l_2^{\mathrm{II1}} + l_2^{\mathrm{II2}}}{4} \qquad (5.2.17a)$$

összefüggésből történik, ahol l_1^{I} a főleolvasás értéke az I. távcsőállásban, l_2-vel a finom (csonka) leolvasásokat jelöljük. A felső indexekben a római számok a távcsőállást, az arab számok a kör átmérője mentén diametrálisan elhelyezett leolvasó indexek leolvasásai.

A koincidencia állító optikai mikrométeres leolvasóberendezés egyetlen leolvasása már diametrális leolvasás a körátmérő két leolvasó helyének egymás fölé vetítése folytán. Ilyen műszereknél, valamint ott, ahol nincs lehetőség diametrális leolvasásra, az irányértéket két leolvasásból képezzük:

$$I = l_1^{\mathrm{I}} + \frac{l_2^{\mathrm{I}} + l_2^{\mathrm{II}}}{2}. \qquad (5.2.17b)$$

Az iránymérés a teodolittal végzett vízszintes szögmérés leggyakoribb módja, amelyet akkor alkalmazunk, ha a műszerálláspontból több irányt mérünk. A mérés eredményei az egyes irányokra kapott irányértékek.



5.2.42. ábra: Iránymérés

Az 5.2.42. ábra szerint *n* számú irányt kívánunk megmérni. Műszerállás-pontunk "Á". Kiválasztunk egy jól látható, távol fekvő, pontosan irányozható kezdő irányt (1). Innen kiindulva az óramutató járásával egyező irányban I. távcsőállásban megmérjük az összes *n* irányt, végül a kezdőirány újbóli irányzásával ellenőrizzük a limbusz mozdulatlanságát (horizontzárás). Ezután II. távcsőállásban fordított sorrendben irányozzuk a pontokat, majd a kezdő irányra ismét horizontzárást végzünk. A fenti műveletsort nevezzük fordulónak.

Ha egyetlen fordulóban mért irányértékek pontossága nem megfelelő, a mérést több fordulóban (körfekvésben) végezzük el. Az egyes fordulók között - mint az osztáshibák tárgyalásánál már utaltunk rá - a limbuszkört $180^o/m$ értékkel elforgatjuk, ahol *m* - a fordulók száma. Mivel így az egyes iránymérési eredmények összehasonlíthatatlanok, az iránysorozatot nullára forgatjuk. Ez azt jelenti, hogy a *fordulónként* kapott irányértékekből sorra levonjuk a kezdőirányra kapott irányértéket, így az egyes fordulókban a kezdőirányra zérus, a többi irányra pedig egymástól kissé eltérő értékeket kapunk:

$$I_{l0}^{j} = I_{l}^{j} - I_{1}^{j} \quad (j = 1,2,...,m;\ l = 1,2,...,n),$$

ahol I_{l0}^{j} - az *l.* irány nullára forgatott értéke a *j.* fordulóban, I_{l}^{j} - az *l.* irányra mért irányérték a *j.* fordulóban, I_{1}^{j} - a kezdőirányra vonatkozó irányérték a *j.* fordulóban.

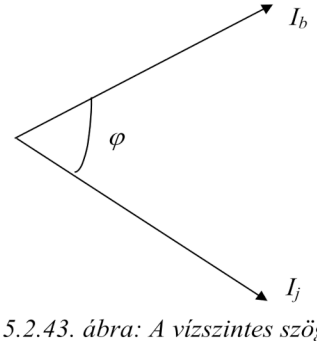
Az egyes irányok végleges irányértéke a nullára forgatott irányértékek egyszerű számtani középértéke:

$$I_l = \frac{\sum_{j=1}^{m} I_{l0}^{j}}{m}$$

A tulajdonképpeni szögmérésnél a mérési eredmények mindig két irányérték különbségei, hibaelméleti szempontból közvetett mérés eredményei:

$$\varphi = I_j - I_b \ , \qquad (5.2.18)$$

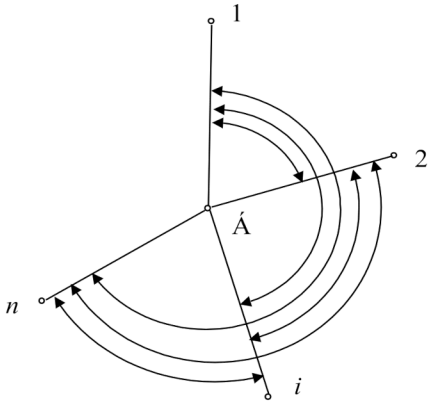
ahol I_j a jobb-, I_b pedig a baloldali irányra az (5.2.17b) képlet alapján számított irányérték (5.2.43. ábra).



5.2.43. ábra: A vízszintes szög, mint közvetett mérési eredmény

Az 5.2.43. ábrabeli elrendezésben szereplő *n* irány relatív helyzetét a közöttük lévő *n*-1 számú szög egyértelműen meghatározza.

Joggal feltételezzük, hogy az irányértékek előzetes középhibái egyenlők: $\mu_{I_j} = \mu_{I_b} = \mu_I$. Ekkor a hibaterjedés (4.5.6.) összefüggése alapján $\mu_\varphi^2 = \pm 2 \cdot \mu_I^2$, a (4.5.8) és (4.5.9) képletek alapján pedig $p_\varphi = \frac{1}{2}$ írható, vagyis a mért szög súlya fele a mért irányérték súlyának.



5.2.44. ábra: Szögmérés minden kombinációban

A minden kombinációban való szögmérésnél (5.2.44. ábra) az *n* irány által alkotott összes független szöget mérjük a 360°-ra való kiegészítő szög kivételével. Ezáltal az egy állásponton szereplő valamennyi szög egyenlő súlyú. *n* számú irány esetén a mérendő szögek száma $\frac{n\cdot(n-1)}{2}$. A mért irányértékek száma $n\cdot(n-1)$, míg az iránymérésnél csak *n* irányt mérünk.

A tulajdonképpeni és a minden kombinációban való szögmérést csak szélső pontossági igény esetén alkalmazzuk, tekintettel arra, hogy az iránymérés lényegesen kevesebb munkával jár, mint a szögmérés. Az iránymérés hátránya, hogy a műszer mozdulatlanságát hosszú időre kell biztosítani, s a mérésre kijelölt irányoknak egyszerre kell látszaniuk. Ellenkező esetben ún. csonka iránysorozatokat mérünk, egyenként legalább két-két közös iránnyal, hogy a sorozatok utólag *összeforgathatók* legyenek.

Irányok és szögek központosítása

Mind az iránymérésnél, mind a tulajdonképpeni szögmérésnél gyakran előfordul, hogy vagy az állásponton, vagy az irányzott ponton nem tudunk felállni. Ekkor a mérést vagy az állásponthoz, vagy az irányzott ponthoz képest külpontos helyzetben kell végeznünk. Ezen belül lehet csak az álláspont külpontos (külpontos műszerállás), csak az irányzott pont külpontos (külpontos pontjelölés), ill. egyidejűleg mindkettő külpontos (külpontos műszerállás és pontjelölés).

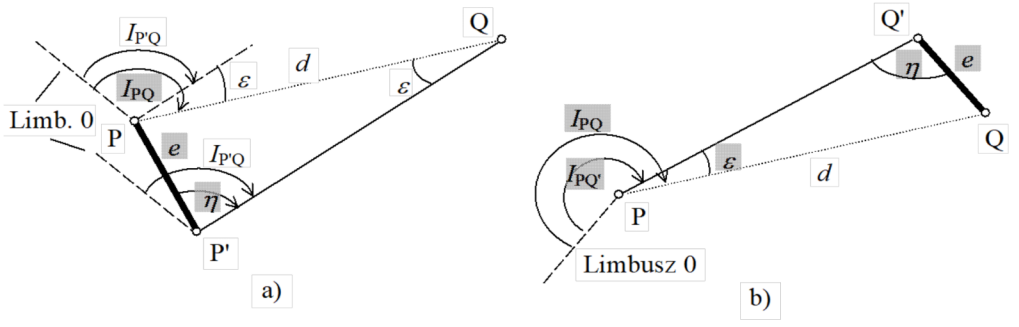
Külpontos mérések esetén iránymérésekor az irányértékeket, tulajdonképpeni szögmérésnél a szögeket központosítanunk kell, azaz a mérési eredményeket olyan külpontossági redukciókkal kell ellátnunk, amelyekkel azok olyanok lesznek, mintha mind a műszer, mind a jel a pontok felett központosan állt volna. Külpontos műszerállás esetén vagy az irányértékeket, vagy a szögeket kell megjavítanunk, külpontos pontjelölés esetén csak az irányértékeket.

Bármely fenti esetben ismernünk (mérnünk) kell az ún. külpontossági elemeket. Ezek a külpontosság lineáris mértéke *e* (a külpontos műszerálláspont vagy a pontjelölés távolsága a központtól) és a szögértéke vagy tájékozó szöge η.

A külpontosság *lineáris mértékét* közvetlen hosszméréssel mérőszalaggal (5.2.3.1. fejezet), esetleg elektronikus távmérővel (5.2.3.3. fejezet) kell a *lehető legnagyobb pontossággal* meghatározni. Az η szögértéket viszont elegendő közelítően, néhány perc pontossággal mérni, éspedig a külpontnak a központtól való távolsága függvényében teodolittal, vagy, ha a távolság túl kicsi, a célzó kollimátor (dioptra), esetleg a külpontosság irányában meghosszabbított, kifeszített zsinór segítségével. Fentieken kívül közelítően ismernünk kell az irányok végpontjainak távolságát. Ezt elegendő térképről, vagy vázlatról leméri, ismert pontok esetén koordinátákból számítjuk.

Irányértékek központosítása

Az irányértékek központosítását külpontos műszerállás esetén az 5.2.45.a., külpontos jel esetén az 5.2.45.b. ábra szerint végezzük el.



5.2.45. ábra: a) Külpontos műszerállás és b) Külpontos pontjelölés központosítása

Az 5.2.45a) ábrán P a központos, P' a külpontos álláspont, az 5.2.45b) ábrán Q a központos, Q' a külpontos jel. Az első esetben mérjük az $I_{P'Q}$, a második esetben az $I_{PQ'}$ külpontos irányértékeket. Mindkét esetben mérjük a külpontosság elemeit: e és η, valamint ismernünk kell a d távolságot. Keressük az ε külpontossági redukciót, ill. az I_{PQ} központosított irányértéket.

A PP'Q, ill. a PQQ' háromszögekből szinusz tétellel kapjuk:

$$\sin\varepsilon = \frac{e}{d}\cdot\sin\eta\,,$$

ahonnan

$$\varepsilon'' = \arcsin\left(\frac{e}{d}\cdot\sin\eta\right). \qquad (5.2.19a)$$

Kis ε szög esetén megengedhető közelítéssel

$$\varepsilon = \rho''\cdot\frac{e}{d}\cdot\sin\eta \qquad (5.2.19b)$$

írható, ahol $\rho'' = 206264{,}8''$, az 1 radián szögmásodpercben kifejezett értéke.

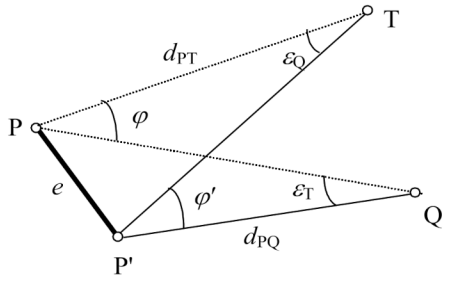
Az ε külpontossági redukció előjele az óramutató járásával megegyező irányban értelmezett η szög nagyságától és ezen keresztül a $\sin\eta$ előjelétől függ, az ábrákon vázolt helyzetekben $\eta < 180^o$, tehát az ε szög értéke pozitív.

A keresett I_{PQ} központosított irányérték az 5.2.45a) ábra esetén az $I_{PQ} = I_{P'Q} + \varepsilon$, az 5.2.45b) ábra esetén az $I_{PQ} = I_{PQ'} + \varepsilon$ összefüggésekből számítható.

Abban az esetben, ha mind az álláspont, mind az irányzott jel külpontos, a külpontossági redukció a két redukció előjelhelyes összege.

Mért szög központosítása

A központosítás elvét az 5.2.46. ábrán követhetjük végig. Az ábrán P a központos, P' a külpontos álláspont, az irányzott pontok a Q és a T. Mérjük az e, η_Q és η_T külpontossági elemeket, az $I_{P'Q}$ és az $I_{P'T}$ külpontos irányokat (az ábra túlzsúfolásának elkerülése céljából ezek - az e kivételével - az ábrán nem szerepelnek), s az (5.2.19a), vagy az (5.2.19b) képletek szerint meghatározzuk a külpontos iránymérésre vonatkozó ε_Q és ε_T külpontossági redukciókat. A mért irányok különbségéből meghatározzuk a mért külpontos vízszintes szöget:



5.2.46. ábra: Szög központosítása

$$\varphi' = I_{P'Q} - I_{P'T}\,.$$

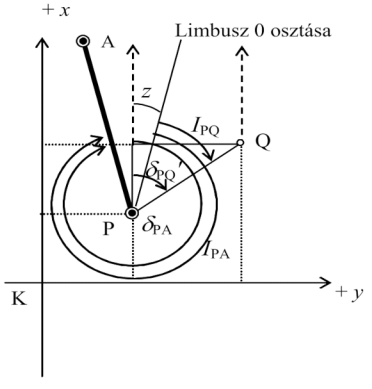
Az irányok javítása után

$$\varphi = \left(I_{P'Q} + \varepsilon_Q\right) - \left(I_{P'T} + \varepsilon_T\right), \quad (5.2.20)$$

vagy

$$\varphi = \varphi' + \left(\varepsilon_Q - \varepsilon_T\right). \quad (5.2.21)$$

Az irányértékek tájékozása



5.2.47. ábra: Az irányértékek tájékozása

Az 1. geodéziai főfeladat (2.2.2.2. fejezet, 2.2.13. ábra) alkalmazásakor az iránymérési eredmények birtokában megoldható legyen, az egyes iránymérési eredményeket *irányszögekké* kell átalakítanunk. Ehhez legalább egy, de lehetőség szerint több olyan irányra van szükségünk az iránysorozat pontjai között, ahol mind az álláspont, mind az irányzott pont koordinátái ismertek. Az ilyen irányokat tájékozó irányoknak nevezzük.

Az 5.2.47. ábrán P és A ismert pontok. Ekkor a PA irány tájékozó irány és a 2. geodéziai főfeladat szerint a (2.2.28a) képletből számítható a δ_{PA} irányszög.

Ekkor
$$\begin{aligned} z &= \delta_{PA} - I_{PA} \quad \text{és} \\ \delta'_{PQ} &= I_{PQ} + z \end{aligned} \quad . \quad (5.2.22a)$$

A z értékét tájékozási szögnek, a δ'_{PQ} értékét tájékozott irányértéknek hívjuk, s, mint látjuk, az irányszögtől jelölésben is megkülönböztetjük. A fenti műveletet minden, a tájékozó irányok között nem szereplő irányra el kell végezni. Ha most nem egy, hanem több, pld. m számú tájékozó irányunk van, a *tájékozási szöget* a tájékozó irányokra vett z értékek *egyszerű*, vagy *súlyozott számtani középértékeként* számítjuk:

$$z_k = \frac{\sum_{j=1}^{m} z_j}{m}, \quad \text{vagy} \quad z_k = \frac{\sum_{j=1}^{m} d_j \cdot z_j}{\sum_{j=1}^{m} d_j}. \quad (5.2.22b)$$

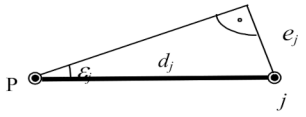
ahol az (5.2.22b) első képlete az egyszerű, második képlete a súlyozott középtájékozási szög. A $p_j = d_j$ súlyok az álláspont és az irányzott pontok közötti távolságok, az ún. irányhosszak, amelyeket célszerűen, az irányhossz nagyságának függvényében 100 m, vagy km egységben helyettesítünk be.

Ha a középtájékozási szögből valamelyik tájékozó irányra számítunk *tájékozott irányértéket*, a tájékozó irány adott irányszögének és tájékozott irányértékének különbségét irányeltérésnek nevezzük. Pld. a j. tájékozó irányra az irányeltérés az alábbi:

$$\varepsilon_j = \delta_j - \delta'_j = \delta_j - \left(I_j + z_k\right) = z_j - z_k\,. \quad (5.2.23a)$$

Az iránymérések tájékozásánál megadják az *irányeltérés* megengedett értékét, az ezt meghaladó tájékozó irányokat a középtájékozási szög számításából ki kell hagyni.

Az irányeltérésből kifejezhető az irányzott pontnál merőlegesen jelentkező, a tájékozó irány hosszától függő távolságeltérés (5.2.48. ábra):



5.2.48. ábra:Távolságeltérés

$$e_j = d_j \cdot \sin \varepsilon_j .$$

Mivel ε_j kicsi érték,

$$e_j = \frac{\varepsilon_j''}{\rho''} \cdot d_j . \qquad (5.2.23b)$$

Tájoló teodolitok

A tájoló teodolitok olyan szögmérő műszerek, amelyek az A_m mágneses vagy az A_f földrajzi azimut (5.1.2. ábra) mérését teszik lehetővé, elkerülhetővé téve ezzel az *irányértékek tájékozását*, ill. azt, hogy tájékozó irányokra legyen szükség. Ebből következik, hogy alkalmazásuk elsősorban fedett terepen (erdőben), esetleg föld alatti méréseknél (bányák, metró) indokolt. A mágneses és a földrajzi északi irányok (5.1.2. ábra) mindenhol rendelkezésünkre állnak. A tájoló teodolitok mindegyike használható a fentebb már leírt irány- és szögmérések céljára is. Ilyenkor azt mondjuk, hogy a tájoló teodolitot egyszerű teodolitként használjuk.

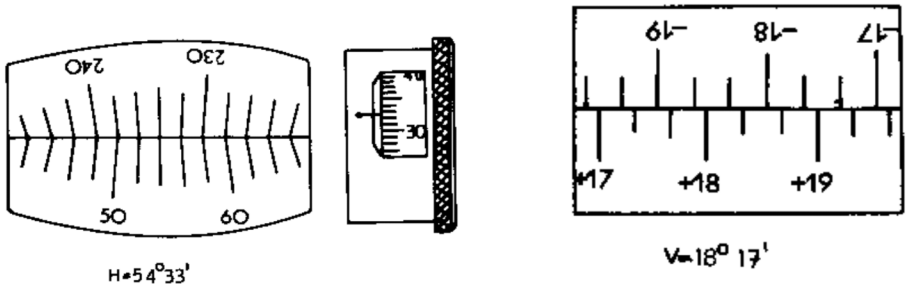
A tájoló teodolitok között megkülönböztetjük az A_m mágneses azimut közvetlen mérésére alkalmas busszola-teodolitokat és az A_f földrajzi azimut közvetlen mérésére szolgáló giro-, vagy pörgettyűs teodolitokat. Az erdőmérnöki gyakorlat hagyományos földi terepi mérőműszere a *busszola-teodolit*, a giroteodolitok erdőmérnöki gyakorlatban való alkalmazására Magyarországon is voltak kísérletek (*Tvordy György* erdőmérnök egyetemi doktori értekezése, 1976), de méretei és a hosszadalmas mérési eljárás miatt az erdészeti alkalmazásban nem tudott elterjedni. Az elterjedést nem indokolta a giroteodolitok busszola-teodolitoknál jóval nagyobb pontossága sem, az erdőmérnöki gyakorlat ezt nem igényelte.

A busszola-teodolitok

A *busszola-teodolitok* elvi felépítése hasonló a kispontosságú teodolitokhoz. Működésük azon az egyszerű elven alapszik, hogy a mágnesezett acéltű (mágnestű, iránytű, kompasz) megfelelő csapágyazással a Föld mágneses erőterének hatására beáll a mágneses észak-déli irányba. Megkülönböztető részük tehát egy mágneslemez, amelyet a teodolit vízszintes köréhez erősítenek.

A műszeren ún. arretáló (rögzítő) kar található, amellyel a vízszintes kör a teodolit talprészéhez köthető, amikor is a busszola-teodolit úgy működik, mint egy egyszerű teodolit. Ha az arretáló kart oldjuk (dezarretáljuk, szabaddá tesszük), úgy a vízszintes kör a rászerelt mágneslemezzel a központosan elhelyezett csapágytűn szabadon forog, azaz a mágneslemez a kör *0 osztásával* együtt beáll a mágneses északi irányba. Ekkor a vízszintes kör leolvasása az álláspontbeli mágneses azimut értékét adja meg.

A 5.2.49. ábrán a hazai erdészeti gyakorlatban elterjedt WILD T0 típusú busszola-teodolit leolvasási helyeit szemléltetjük. Vízszintes körének leolvasása az alhidádén elhelyezett *lupe* segítségével történik, a leolvasó berendezés *koincidencia állító optikai mikrométer.* Látómezeje képelválasztó prizmával kettéosztott, a két diametrális leolvasó hely képét egymás felett látjuk (5.2.49a. ábra). A vonalak egyeztetését optikai mikrométerrel végezzük. A körosztás egysége 2°, ami a koincidencia állítás miatt 1°-ot jelent, a leolvasás élessége $1'$.



a) b)

5.2.49. ábra: A WILD T0 busszola-teodolit vízszintes és magassági leolvasóberendezése

A magassági kör 20′ osztásközű, a kört a távcső mellett elhelyezett mikroszkóp segítségével olvassuk le. Nem tartozik hozzá optikai mikrométer, így a diametrálisan átvetített osztások, mint leolvasó indexek mentén a diametrális párok között 1′ élességgel becsléssel olvasunk le (5.2.49b. ábra).

A *busszola-teodolitok hibaforrásai* azonosak a teodolitoknál tárgyalt esetekkel. Különbség van abban, hogy ezek a műszerek kisebb pontosságuk folytán kisebb pontosságú feladatok megoldására alkalmasak, s így az eddigiekben tárgyalt hibák sokszor elhanyagolhatók.

Az alábbiakban röviden csak a busszola részhez kapcsolódó hibákat soroljuk fel:

A mágnestű érzékenysége:

A tűt vastárggyal kb. 20° értékig kitérítjük nyugalmi helyzetéből, majd a vastárgy eltávolítása után a mágnestűt lengeni hagyjuk. A tű kellő érzékenységű, ha nyugalmi helyzete körül legalább 7 lengést végez, s a beállás után annak hibája nem haladja meg a műszer leolvasó képességét.

Ha a mágnestű pár lengés után leáll, többnyire a beállási hiba is nagyobb a megengedettnél. Erről a vizsgálat ismétlésével meggyőződhetünk. Ilyenkor többnyire a tű csapja, néha a csapágy, vagy mindkettő kopott. Ha van rá lehetőségünk és eszközünk, cseréljük ki a tű csapját, esetleg a csapágyat.

A mágnestű permanenciája:

Ha az előbbi vizsgálatnál azt tapasztaljuk, hogy a mágnes a kívánt mennyiségű lengést elvégzi ugyan, de beállása bizonytalan, akkor a mágnestű elvesztette permanenciáját. Ezen csak újra mágnesezéssel lehet segíteni. Az újabb műszereken alkalmazott ún. szintetikus mágnesek permanenciája hosszú használat után sem veszít értékéből, s így ez a hiba nem jelentkezik.

A WILD T0 busszola-teodolit 0 osztáshibája:

Ha a mágneslemezre erősített vízszintes kör *0 osztása* nem a mágneses északi irányba, hanem egy attól csekély mértékben eltérő irányba áll be, azt mondjuk, hogy a busszola-teodolit 0 osztásának hibája van. Az osztáshiba és a mágneses tájékozó szög (5.1.2. ábra) összege együttesen határozható meg, ez a WILD T0 műszer ún. tájékozási állandója.

A *tájékozási állandó* a felmérési területen, vagy annak közelében elhelyezkedő ismert irány segítségével határozható meg, a vetületi *meridiánkonvergenciához* hasonlóan (2.2.12.b. ábra). Ha a vetületi koordinátarendszerben adott két pont a vetületi koordinátáival, úgy számítható a δ irányszög (2.2.26a. képlet). Ha ismerjük, vagy mérjük a mágneses azimutot, úgy a *tájékozási állandó* értéke az 5.1.2. ábrának megfelelően:

$$\vartheta' = A_m - \delta \,. \qquad (5.2.24)$$

Külső körülmények hibái:

A műszer közelében vastárgy található: Ne tartsunk magunknál vastartalmú tárgyat, ill. ilyen építmények közelében ne mérjünk busszola-teodolittal.

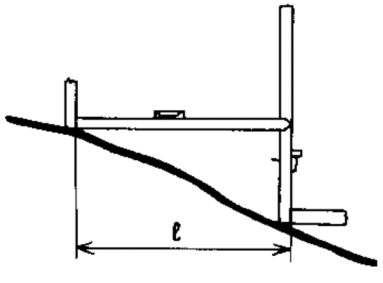
Mágneses vihar van: A mágneses viharoknak csak egy része érzékelhető, pld. ne mérjünk zivataros időben. Ha a vihar nem érzékelhető, akkor a mérési eredmények feldolgozásakor mutatkozó ellentmondások utalnak rá. Ilyenkor a méréseket meg kell ismételni.

5.2.3. Távolságmérő eszközök és műszerek

A távolságmérő eszközökkel és műszerekkel a hagyományos geodéziai mérési eredmények közül általában a d_f (5.1.1. ábra) ferde távolságot mérjük. A kapott ferde távolságot még el kell látnunk olyan redukciókkal, amelyek segítségével a mérési eredményből térképezhető *vetületi távolság* lesz (5.2.3.4. fejezet). Vannak olyan műszerek, amelyekkel közvetlenül a vízszintesre redukált távolság mérhető.

A távolságmérésnél megkülönböztetünk közvetlen és közvetett távolságmérést. A *közvetlen távolságmérést*, vagy más néven hosszmérést távolság- (hossz-) mérő eszközökkel hajtjuk végre, a mérés közvetlenül a meghatározandó távolságra irányul. A közvetett távolságmérés (távmérés) végrehajtása a távolságmérő műszerekkel történik, ilyenkor a távolságot közvetett módon, a távolsággal függvénykapcsolatban lévő más mennyiségek mérése útján kapjuk. Az optikai (geometriai) távmérés hasonló derékszögű, vagy egyenlőszárú háromszögek megoldásán, az elektronikus (fizikai) távmérés valamilyen elektromágneses jel adott közegben való terjedési sebessége, a jel futásának időtartama és a jel által befutott út közötti ismert összefüggésen alapul.

5.2.3.1. Távolságmérő eszközök

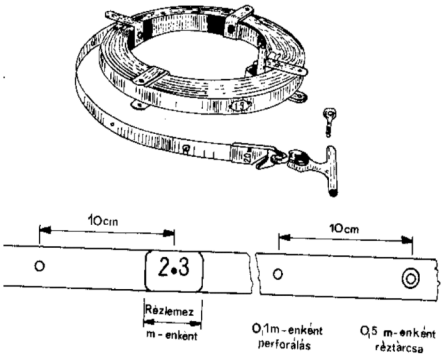


5.2.50. ábra: A libellás mérőléc

Az ún. libellás mérőlécet (közhasználatú népies nevén stafli lécet, 5.2.50. ábra) lejtős terepek mérésére szerkesztették. Jelentősége elsősorban az útépítésben, az ún. keresztszelvények felvételében volt. A *libellás mérőléc* tulajdonképpen két léc: a vízszintes állású, 4 m hosszú, cm osztású távolságmérő lécbe csöves libellát építettek úgy, hogy a libella tengelye a léc alsó lapjával párhuzamos legyen. Ezzel mérjük a vízszintes távolságot. A *távolságmérő léc* a másik, függőleges elhelyezésű ún. oszloplécen csavarral elmozgatható csúszó lemezen fekszik fel. Az *oszloplécen* is cm beosztású, leolvasható róla a léchosszhoz tartozó magasságkülönbség értéke is, tehát a vízszintes távolság meghatározása mellett magasságkülönbség mérésére is alkalmas.

A mérőszalagok számos kiviteli megoldásban készültek. A ma már ritkán használt mezei mérőszalag (5.2.51. ábra) 20, 30 vagy 50 m hosszban készített 12-20 mm széles, 0,3-0,4 mm vastag hajlékony acélszalag. A szalag feszítésére a szalag két végén fogantyúk talál-

hatók. A szalag névleges (nominális) hosszát végvonások jelölik, a végvonás helyén a jelzőszeg beillesztésére hasíték található. A szalagon a kerek métereket színesfém lappal, azon domborított számmal jelölik, a fél méterek jele színesfém szegecs, a decimétereket furattal jelölik. Használaton kívül a szalagot fémkeretre csévélve tárolják. A mérőszalaghoz karikára fűzött jelzőszög készlet tartozik. Egy készlet 2 karikából és 11 szegből áll. A szegek a végvonások helyének jelölésére szolgálnak, miközben a szalag tovább halad a mérendő egyenesen, s egyúttal alkalmat ad a mért hosszak számlálására is.



5.2.51. ábra: A mezei mérőszalag

Általánosan használatosak a *nyeles, "forgattyús"* kézi mérőszalagok. Ezek vékonyabb anyagból készülnek, könnyebben szakadnak. Nagy pontosságot igénylő mérésekhez használhatnak még invárból készülő szabatos mérőszalagokat. Az *invár* 36% nikkelből és 64% acélból készített ötvözet, amelynek *hőtágulási együtthatója* igen kicsi, így hőmérséklet változáskor kevésbé változtatja hosszát. Szabatos mérésnél a szalagot dinamométerrel előírt erővel feszítik, mérik a hőmérsékletet a hőtágulás okozta változás számítására, a szalagvégeken indexvonás, vagy mm-es végbeosztás található a szabatos leolvasás biztosítására.

Az *acél mérőszalagokkal* mintegy 1/2000 *relatív* mérési pontosság érhető el (100 m-enként ± 5 cm, 5.2.3.3. fejezet).

Magyarország elsőrendű vízszintes alaphálózata alapvonalainak mérésénél (6.1.2., 6.4.1. fejezet) igen nagy pontossági igények kielégítésére (1/1000000 relatív pontosság, vagyis km-enként 1 mm) használták a 24 m hosszú, 1,6 - 1,7 mm átmérőjű invár mérődrótot. A mérődrót használatához hosszadalmas, bonyolult mérési eljárás kapcsolódott, a létrehozott alapvonalak hossza - a drót hosszából adódóan - a 24 m egész számú többszöröse. Az alapvonalaknak az elsőrendű vízszintes alapponthálózatban betöltött szerepére a 6.4.1. fejezetben térünk vissza.

A távolságmérő eszközök *névleges* (*nominális*) hossza általában nem egyezik meg pontosan a *tényleges* hosszukkal. Ez az eltérés a méréskor halmozódó *szabályos* hibát okoz, ezért pontos mérésekhez szükséges a mérőeszközök tényleges hosszának meghatározása. Azt a műveletet, amikor valamely távolság- (hossz-) mérő eszköz tényleges hosszát az eszköz leolvasó képességét legalább egy nagyságrenddel meghaladó pontossággal meghatározzuk, a mérőeszköz komparálásának nevezzük.

A mérőszalag komparálása

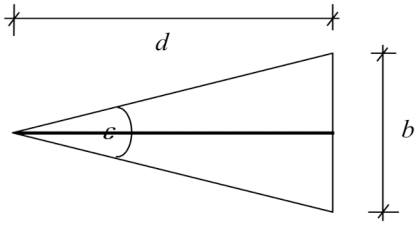
A *komparálás* célja a mérőszalag tényleges hosszának meghatározása. A *komparálást* vízszintes és sík felületen a mérőszalag névleges hosszának megfelelő távolságban kijelölt mérőpályán hajtjuk végre. A mérőpálya két végén mm beosztású fémlemezeket helyezünk el, ezek zérus vonásai közötti távolság a komparáló alapvonal $H_{\text{pálya}}$ hossza. Feltételezzük, hogy a $H_{\text{pálya}}$ értékét a mérőszalagnál pontosabb mérőeszközzel megmérték, ill. ismerjük.

A mérőszalagot a szalagra előírt tömeggel feszítve, legalább öt ismétlésből megállapítjuk a pálya hosszát szalagunkkal mérve. A valódi és a tényleges érték hányadosából számítható a szalag hosszváltozási tényezője, m:

$$m = \frac{H_{\text{pálya}}}{H_{\text{mért}}} \qquad (5.2.25)$$

A terepen a mérőszalaggal kapott eredeti mérési eredményeket az *m* hosszváltozási tényezővel szorozni kell. A komparálás alatt mérni kell a hőmérsékletet, hiszen a hosszváltozási tényező erre a hőmérsékletre vonatkozik. Pontosabb mérések esetén az ettől eltérő hőmérsékletnél a szalag *hőtágulását* is figyelembe kell venni.

5.2.3.2. Optikai (geometriai) távmérők



5.2.52. ábra: Az optikai távmérés elve

Az *optikai* (*geometriai*) távmérés hasonló derékszögű, vagy egyenlőszárú háromszögek megoldásán alapuló mérési eljárás. Az 5.2.52. ábra szerint az egyenlőszárú háromszögben ε -nal jelölt szög a távmérőszög, vagy parallaktikus szög, a vele szemben fekvő oldal az alapvonal, vagy bázis (*b*). A feladat megoldásához a bázis és a távmérőszög ismerete szükséges. A távmérő típusától függően az egyik ismert állandó érték, a másikat mérjük. E szerint beszélünk változó bázisú (állandó távmérőszögű) és állandó bázisú (változó távmérőszögű) optikai távmérőkről.

Attól függően pedig, hogy a bázis hol helyezkedik el, megkülönböztetünk külső bázisú és belső bázisú távmérőket. Külső bázisú a távmérő, ha a bázis a műszertől távol, a mérendő távolság végpontján van, belső bázisú pedig akkor, ha a bázis magán a műszeren van. Fentiek alapján megkülönböztetünk

- külső változó bázisú
- külső állandó bázisú
- belső változó bázisú
- belső állandó bázisú optikai távmérőket.

A *belső állandó bázisú távmérőket* a geodéziai gyakorlat nem használja. A *külső változó bázisú távmérőket* az egyszerű állandó száltávolságú és a prizmás távmérőkre csoportosítjuk. A geodéziai műszertechnika fejlődése a prizmás távmérőket kiszorította a gyakorlatból, ezekkel - a belső állandó bázisú távmérőkhöz hasonlóan - szintén nem foglalkozunk.

Külső bázisú távmérők

Egyszerű állandó száltávolságú (változó bázisú) távmérők

Egyszerű állandó száltávolságú távmérővé alakítható a műszer távcsöve, ha szállemezére *állandó* száltávolsággal távmérő (feltalálójáról Reichenbachnak nevezett) szálakat készítenek. Ezek jelölik ki az állandó távmérőszöget. Ha a mérendő távolság másik végpontján cm beosztású távmérőlécet állítunk fel, a távcsőben lévő távmérő szálak a lécen kijelölik a változó külső bázist. A távmérés elvét az 5.2.53. ábrán követhetjük nyomon.

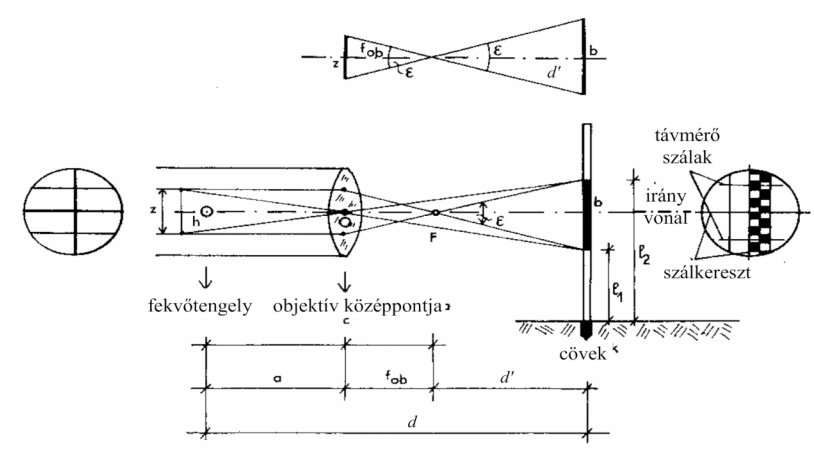
A távmérő szálak között a bázis értékét 0,1 cm élességgel, becsléssel olvashatjuk le:

$$b = l_2 - l_1 . \qquad (5.2.26)$$

Az 5.2.53. ábra felső részén látható hasonló háromszögekből kapjuk:

$$d' = b \cdot \frac{f_{ob}}{z} = k \cdot b \qquad (5.2.27)$$

ahol $k = \frac{f_{ob}}{z}$ - az ún. szorzóállandó, mert a távcső f_{ob} fókusztávolsága és a Reichenbach-szálak *z* távolsága is állandó értékek.



5.2.53. ábra: Optikai (geometriai) távmérés a Reichenbach - féle szálakkal

A fenti háromszögből

$$\operatorname{ctg}\frac{\varepsilon}{2} = \frac{f_{ob}}{\frac{z}{2}} = \frac{2 \cdot f_{ob}}{z} = 2 \cdot k\,. \qquad (5.2.28)$$

Ha most az egyszerűség kedvéért $k = 100$, úgy $\varepsilon = 2 \cdot \operatorname{arc\,ctg} 200 = 34'22{,}6''$ az állandó távmérőszög értéke. Távmérő szálakat 50-es és 200-as szorzóállandókhoz is készítenek, egyes műszerek szállemezén a $k = 100$ szorzóállandó mellett ezek valamelyike is megtalálható.

Mivel a távmérőszög csúcsa általános esetben (5.2.53. ábra) nem a műszer fekvőtengelyéhez esik, a d' távolsághoz még a

$$c = a + f_{ob} \qquad (5.2.29)$$

ún. összeadóállandót még hozzá kell adni:

$$d = d' + c = k \cdot b + c \quad . \qquad (5.2.30)$$

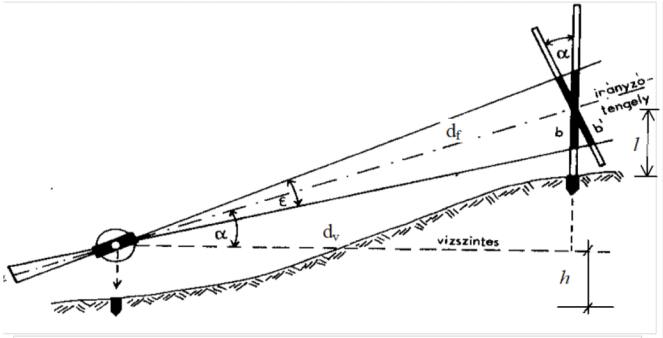
A ma használatos teodolitokat úgy szerkesztik, hogy a távmérőszög csúcsa a fekvőtengelyhez essék, az ilyen műszerek *összeadóállandója* elhanyagolható, vagyis $d = d'$.

Az (5.2.30) összefüggésben szereplő távolság az irányvonal α magassági szögének megfelelő ferde távolság, vagyis $d = d_f$. Az 5.2.54. ábrából a d_v vízszintes távolság

$$d_v = d_f \cdot \cos\alpha = k \cdot b' \cdot \cos\alpha \qquad (5.2.31)$$

Mivel az 5.2.54 ábra szerint e képlettel vízszintes távolságot csak az irányvonalra merőleges b' bázis esetén kapunk, a távmérőlécet viszont megbízhatóan csak függőlegesen tudjuk felállítani, a függőleges lécről a Reichenbach-féle szálak mentén leolvasott b bázist még a merőleges helyzetre redukálnunk kell. Kis elhanyagolással írhatjuk, hogy

$$b' = b \cdot \cos\alpha\,,$$



5.2.54. ábra: Vízszintes távolság a Reichenbach-szálas távmérőknél

majd behelyettesítve a (5.2.31) összefüggésbe, a vízszintes távolságra véglegesen írhatjuk:

$$d_v = k \cdot b \cdot \cos^2 \alpha \quad . \qquad (5.2.32a)$$

Ugyanez a módszer lehetővé teszi a Δm magasságkülönbség meghatározását is, csak itt az 5.2.54. ábra szerint nem cos α - val, hanem sin α - val szorzunk, s figyelembe vesszük a h fekvőtengely-magasságot, valamint a szálkereszt vízszintes szála által kimetszett lécosztás l magasságát a pont fölött:

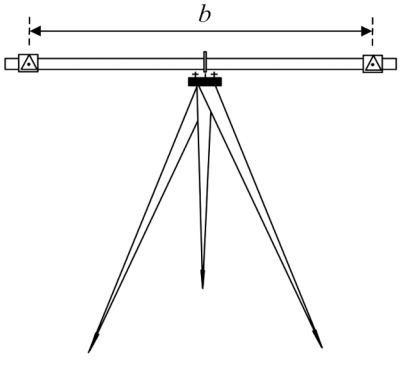
$$\Delta m = k \cdot b \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha + h - l \qquad (5.2.32b)$$

A gyakorlatban valamennyi teodolit és busszola-teodolit, sőt a legtöbb szintezőműszer távcsövének szállemezét is ellátják távmérő szálakkal. Önálló távmérő műszerként viszont nem használják.

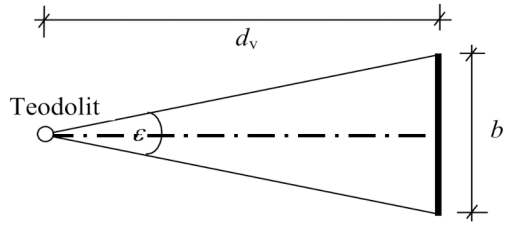
A Reichenbach-szálas távmérés középhibája $k = 100$ szorzóállandó esetén, kedvező külső körülményeket feltételezve, mintegy ±0,15 m / 100 m. A távolság növekedésével a mérés pontossága csökken, ezért 100 m-t meghaladó távolságokat nem mérünk ilyen módszerrel.

Külső állandó bázisú távmérők (bázisléc és teodolit)

Ezt a módszert *trigonometriai úton* végzett távolságmérésnek is nevezik. A mérendő távolság egyik végpontján a teodolit, a másik végpontján a távméréshez szükséges, szabatosan ismert hosszúságú ún. bázisléc áll (5.2.55. ábra). A bázisléc invár betétes, végvonásai szabatosan irányozható kiképzésűek. Kényszerközpontosítóval ellátott műszertalpba helyezve, műszerállványon állítjuk az irányzott pont fölé, vízszintes helyzetét a műszertalp szelencés libellája, a központos felállást vetítő, az irányvonalra merőleges helyzetét pedig *célzó kollimátor* biztosítja. Szállításhoz összehajtható.



5.2.55. ábra: Bázisléc



5.2.56. ábra: Bázisléc és teodolit

A teodolittal mért irányértékekből meghatározzuk a bázisléc *végvonásaira* mutató irányok vízszintes vetületbeli közbezárt szögét. Ez a távolságtól függő *változó nagyságú távmérőszög* (ε). A *vízszintes távolságot* a

$$d_v = \frac{b}{2} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\varepsilon}{2} \qquad (5.2.33)$$

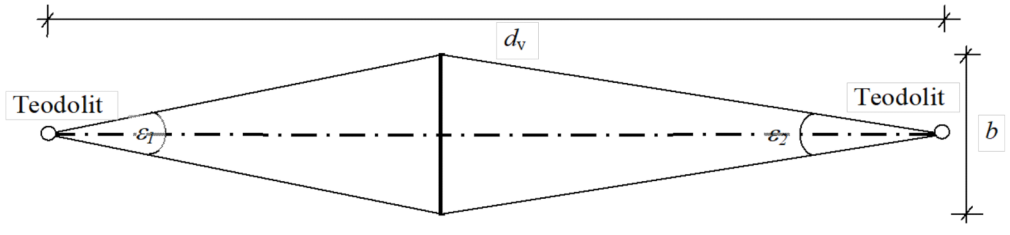
összefüggésből számíthatjuk (5.2.56. ábra). A bázisléc leggyakrabban 2 m hosszú, ekkor $\frac{b}{2} = 1\,\text{m}$, s így számértékben $d_v = \operatorname{ctg} \frac{\varepsilon}{2}$. Az ε szög méréséhez másodperc közvetlen leolvasó képességű teodolitot használunk. Gondos méréssel elérhető, hogy a szögmérés középhibája ne haladja meg a $\mu_\varepsilon = \pm 1''$ értéket. Ez esetben a hibaterjedés törvényének a figyelembe vételével a távolságmérés középhibája a távolság függvényében az alábbi:

$$\mu_d = \pm \frac{d^2}{b \cdot \rho''} \cdot \mu_\varepsilon . \qquad (5.2.34)$$

A fenti képlet szerint a távolságmérés pontossága 100 m-nél nem nagyobb távolság esetén $\pm 2\,\text{cm}$ - nél nem nagyobb középhibával jellemezhető.

100 m és 200 m közé eső távolságok esetén a távolságot két szakaszra bontva mérjük az 5.2.57. ábra szerint:

$$d_v = d_1 + d_2 = \frac{b}{2} \cdot \left(\operatorname{ctg} \frac{\varepsilon_1}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\varepsilon_2}{2} \right) \qquad (5.2.35)$$

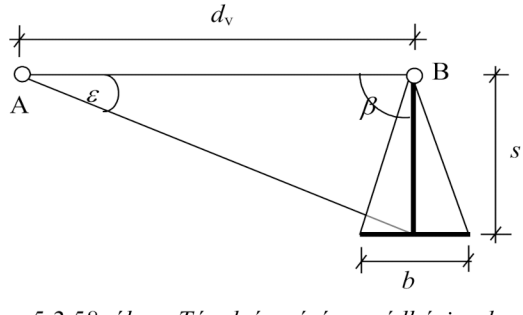


5.2.57. ábra: 100 m és 200 m közötti távolság mérése két szakaszban

Ha 200 m-t is meghaladó távolság mérése szükséges, akkor a mérendő távolság egyik végpontján (B) merőleges *segédbázist* (*s*) tűzünk ki, s ezt mérjük meg a bázisléc felállításával. Ezután az A pontban felállva a teodolittal a segédbázis végpontjain elhelyezett jeltárcsákra mérünk szöget az 5.2.58. ábra szerint. Ekkor, $\beta = 90^0$ esetén

$$d_v = s \cdot \operatorname{ctg} \varepsilon , \qquad (5.2.36a)$$

vagy, ha a B pontban nem, vagy nem pontosan tűztük ki a derékszöget $(\beta \neq 90^0)$:



5.2.58. ábra: Távolságmérés segédbázissal

$$d_v = \frac{s \cdot \sin(\varepsilon + \beta)}{\sin \varepsilon} . \qquad (5.2.36b)$$

Az utóbbi esetben, természetesen, a β - t mérnünk kell. E módszerrel még elfogadható pontossággal mintegy 600 m-ig mérhetjük meg a távolságot.

Még nagyobb távolságoknál az 5.2.58. ábrának megfelelő segédbázist a mérendő távolságnak közelítőleg felében vesszük fel, s a két oldalról erre mért ε_1 és ε_2 távmérőszögekkel számítható a két résztávolság:

$$d_v = d_1 + d_2 = s \cdot (\operatorname{ctg}\varepsilon_1 + \operatorname{ctg}\varepsilon_2) \qquad (5.2.37a)$$

Ha a segédbázis nem merőleges a mérendő távolságra, a távolság itt is számítható két sinus-tétel megoldásának eredményeként:

$$d_v = d_1 + d_2 = s \cdot \left(\frac{\sin(\varepsilon_1 + \beta_1)}{\sin\varepsilon_1} + \frac{\sin(\varepsilon_2 + \beta_2)}{\sin\varepsilon_2} \right) \qquad (5.2.37b)$$

A távolság mérése több szakaszban is elvégezhető, az eddigiekhez hasonló elrendezésekkel. Ilyenkor a távolság a szakaszokra mért távolság összegeként adódik.

Az elektronikus távmérők megjelenése előtt közvetett úton a legnagyobb távolságokat ezzel a módszerrel tudták mérni úgy, hogy az 1/10000 relatív pontosság biztosítva legyen (pld. 1 km-re 10 cm).

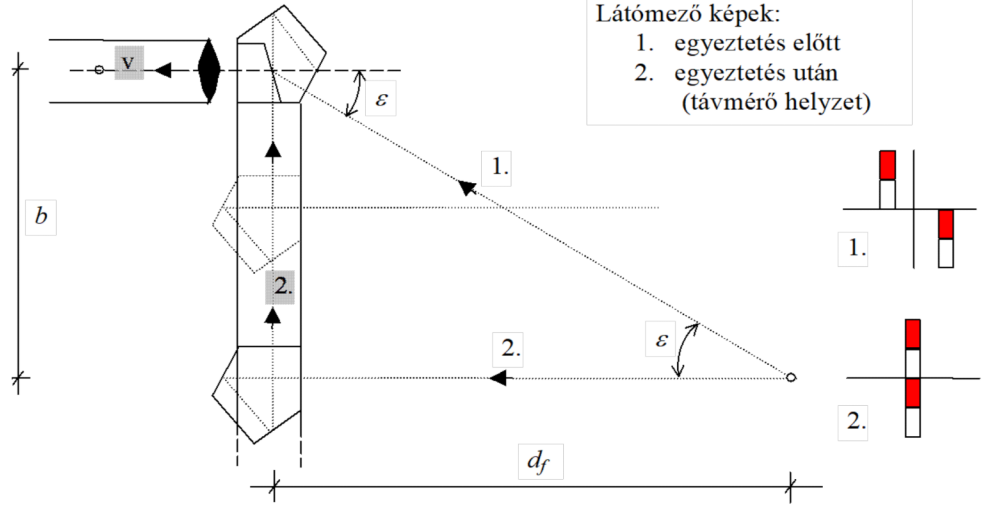
Belső változó bázisú távmérők

A távolságtól függően változó bázis magán a műszeren található, a mérendő távolság másik végpontjára csak pontjelet (pld. kitűzőrudat) kell állítani.

Az ilyen távmérővel felszerelt műszer távcsövének látómezeje kettéosztott. Az objektív egyik fele előtt egy ε törőszögű optikai ék a pontjelről érkező fénysugarat ε távmérőszöggel az okulár felé vetíti (5.2.59. ábra). A bázislécen egy futókocsin mozgó pentaprizmára merőlegesen érkező sugarat pedig a pentaprizma 90^0-kal eltérítve vetíti ki az objektív másik fele előtt lévő és az okulár irányába újabb 90^0-os eltérést végző álló pentaprizma felé. Így az eltérített és az eltérítetlen sugarak alkotta képet, a függőleges jel két részét csak a futókocsi megfelelő állásában látjuk egymás fölött.

A távmérés során a futókocsit addig távolítjuk a bázislécen, amíg a két fél látómezőben a kitűzőrúd két képe koincidál. Ebben a helyzetben a mm beosztású bázislécről leolvassuk a belső bázis hosszát. Általános esetben az 5.2.59. ábrán jelölt derékszögű háromszög ferde síkban fekszik, így a d_f ferde távolság az alábbi:

$$d_f = b \cdot \operatorname{ctg}\varepsilon = b \cdot k \qquad (5.2.38)$$



5.2.59. ábra: A belső változó bázisú távmérés elve

A ctg ε a törőéktől függő szorzóállandó (k), értéke a törőék cseréjével változtatható, általában 100, ill. 200. A különböző szorzóállandók a műszerek mérési tartományának növelésére szolgálnak. A műszerek hátránya kisebb pontosságuk.

A fenti elven működő műszerek közül a régebben az erdészeti gyakorlatban is kedvelt *Zeiss Teletop-ot* említjük meg.

A *Teletop* kis pontosságú, de egyes geodéziai feladatokhoz (pld. parkok felmérésénél a fák, cserjék beméréséhez, erdőrészletek határvonalainak felméréséhez) célszerűen volt használható. Alapműszere a busszola, a busszoláról és a magassági körről $0{,}1^0$ élességű leolvasások végezhetők leolvasó indexek mentén. A műszer távcsöve tört vonalú, a kép élességét a képélesség-állító csavar helyett lyukrekesz biztosítja. Belső bázisléce 30 cm hasznos hosszúságú, mm beosztású, a leolvasó indexek mellett a tizedmilliméterek becsülhetők.

5.2.3.3. Elektronikus (fizikai) távmérők

Az elektronikus (fizikai) távmérés *közvetett távolságmérés*, amely valamilyen elektromágneses jel adott közegben való terjedési sebessége, a jel futásának időtartama és a jel által befutott út közötti alábbi ismert összefüggésen alapul:

$$d = v \cdot \tau \,, \tag{5.2.39}$$

ahol d – az (általában ferde) távolság, v – valamilyen elektromágneses jel (fény, mikrohullám) adott közegben való terjedési sebessége, τ - a jel futásának időtartama. A v sebesség az elektromágneses hullámok vákuumban való c terjedési sebességétől a haladási közeg átlagos n törésmutatója miatt a

$$v = \frac{c}{n} \tag{5.2.40}$$

összefüggés szerint tér el.

A fenti elv gyakorlati megvalósításához az elektromágneses jelet kibocsátó adóra, s az azt fogadó vevőre van szükség. Ha az adó és a vevő külön, a mérendő távolság két végpontján helyezkednek el, egyutas, ha mindkettő egy helyen, az egyik végponton egy műszerben található, kétutas elektronikus távolságmérésről beszélünk. Az egyutas távolságmérés alapvető problémája, hogy az adóban és a vevőben egyaránt olyan órára lenne szükség, amelyek teljesen azonosan járnak, s ezáltal nagy pontossággal lehetővé teszik az idő *szinkronizálását.* Rövid, néhány km-es földi távolságok mérésekor az idő szinkronizációjában elkövetett pld. 1 nanosec hiba – figyelembe véve az elektromágneses jel kb. 300000 $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$ értékű terjedési sebességét - $3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \cdot 10^{-9}\ \text{sec} = 0{,}3\ \text{m}$ távolságmérési hibát okoz, ami a geodéziában az elektronikus távolságméréstől elvárt pontossági követelményeket nem elégíti ki.

A ppm és a relatív hiba

Azt a mértékegységet, amely kifejezi, hogy 1000000 egységre hány ugyanolyan dimenziójú egység esik, ppm-nek (*pars per million - a millióra eső rész*) nevezzük. A *ppm* fogalmának bevezetésére elsősorban a távolságméréshez kapcsolódó esetekben van szükség. Ha például a vetületi számítások végzésekor a *hosszredukcióra* a (2.2.24a) és a (2.2.24b) képletek alapján $s \approx 2825\,\text{m} = 2825000\,\text{mm}$ alapfelületi távolságra $\Delta s = 0{,}180\,\text{m} = 180\,\text{mm}$ érték adódik, akkor a $2825000\,\text{mm} : 180\,\text{mm} = 10^6\ \text{mm} : \Delta s_{\text{ppm}}$ aránypárból a hosszredukció értéke ppm-ben kifejezve a $\Delta s_{\text{ppm}} = \frac{180 \cdot 10^6}{2{,}825 \cdot 10^6} \approx 63{,}7\ \text{ppm}$.

Az előző bekezdésbeli példában említett 0,3 m távolságmérési hiba ppm-ben kifejezve annál kisebb, minél nagyobb távolságra vonatkozik. Az alsó-geodézia gyakorlatában gyakori, pld. 1 km = 1000000 mm-es távolságnál a 0,3 m = 300 mm távolságmérési hiba 300 ppm értéket jelent. A ppm érték és a 10^6 mm hányadosát relatív hibának nevezzük (a hasonló relatív pontosság fogalommal az 5.2.3.1. fejezetben a mérőszalag tárgyalása során már találkoztunk). A *relatív hibát* általában hányados formában fejezik ki, esetünkben pld. a távolságmérés relatív hibája $\frac{0{,}3 \cdot 10^3}{10^6} = \frac{0{,}3}{10^3} \approx \frac{1}{3333}$.

A kétutas távolságmérés

Az egyutas távolságmérés rövid távolságokon a megengedettnél nagyobb hibát okoz, alkalmazására a meghatározandó földi állásponton elhelyezett GPS vevő és a műholdak közötti távolságok mérésekor kerül sor.

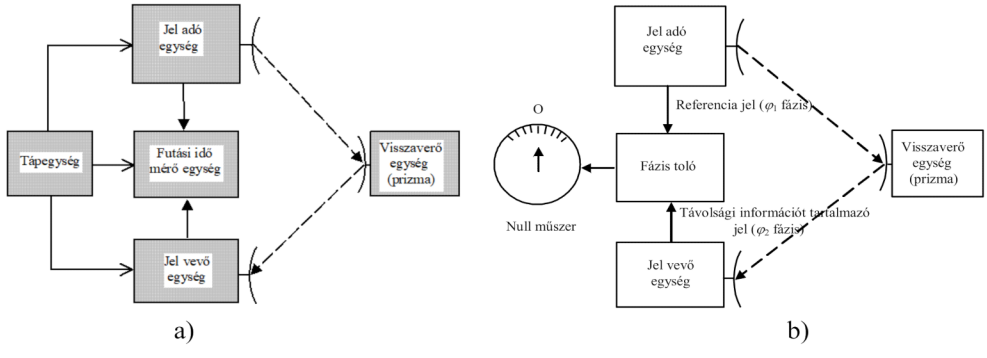
A *kétutas távolságméréskor* - mint mondtuk - a távolság egyik végpontján az adó és vevő szerepét is betöltő műszer, a másik végpontján egy (*aktív* vagy *passzív*) visszaverő egység áll. Az *aktív visszaverő* egységnél a visszaverést a ráeső jel átalakítása és erősítése előzi meg, a *passzív visszaverő* nem okoz változást a jelben, szerepe a ráeső jel minél szűkebb nyalábban való visszaküldése a vevőhöz.

A jeladó egység által kibocsátott elektromágneses jel az elektromágneses spektrumnak csak két tartományában fordul elő:

- a mintegy 0,4 - 1,0 μm hullámhosszúságú (látható fény és a közeli infravörös hullámok) és a
- kb. 8 mm - 10 cm hullámhosszúságú (mikrohullámú) tartományban.

Az első esetben elektrooptikai, vagy fénytávmérőkről, a második esetben mikrohullámú, vagy rádiótávmérőkről beszélünk. A mai korszerű elektronikus távmérők *passzív visszaverővel* rendelkező *elektrooptikai távmérők*, jeladójuk, az ún. *lumineszcensz dióda* a közeli infravörös tartományban amplitúdójában modulált elektromágneses jelet bocsát ki. Az eredeti jelet vivőjelnek, vagy vivőhullámnak, a modulált jelet - mivel a mérés ennek segítségével történik - mérőjelnek, vagy mérőhullámnak, a hozzátartozó frekvenciákat mérőfrekvenciáknak nevezzük.

A kétutas távolságmérésnél megkülönböztetünk időmérésen és fáziskülönbség mérésen alapuló műszereket. Az időmérésen alapuló műszerek leegyszerűsített szerkezeti felépítését az 5.2.60.a., a fáziskülönbség mérésen alapuló műszerek egyszerűsített sémáját pedig az 5.2.60.b. ábrán láthatjuk.



5.2.60. ábra: Idő- és fáziskülönbség mérésen alapuló elektronikus távmérők elve

Az *időmérésen alapuló* elektronikus távmérőknél a mérőjel a vivőjelre "ültetett" egyetlen impulzus, ennek a futási idejét mérik, vagyis azt az igen kis időt, amely alatt az impulzus az oda-vissza távolságot befutja.

A *fáziskülönbség mérésén alapuló* elektronikus távolságmérés viszonylag egyszerűen visszavezethető az időméréses távolságmérésre. A fizikából a harmonikus rezgőmozgásra ismert $\varphi = \omega \cdot t$ összefüggés szerint a referencia jel φ_1 fázisa és a távolsági információt tartalmazó jel φ_2 fázisa közötti fáziskülönbség felírható a

$$\varphi_2 - \varphi_1 = \omega \cdot (t_2 - t_1) = 2 \cdot N \cdot \pi + \Delta\varphi \qquad (5.2.41)$$

alakban. Az (5.2.41) képlet jelölései:

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ - a körfrekvencia (*f* a modulált jel frekvenciája)

t_1 és t_2 - a referencia jel kibocsátási és a távolsági információt tartalmazó jel beérkezési időpontja

π - a Ludolf-féle szám

N - a kétszeres távolságban elhelyezkedő egész mérőhullámok száma

$\Delta\varphi$ - a fáziskülönbség egy mérőhullámon belüli része.

A (5.2.41) összefüggésben tehát N egész szám, $\Delta\varphi < 2 \cdot \pi$. Az összefüggést ω - val végigosztva, kapjuk:

$$\tau = t_2 - t_1 = N \cdot \frac{1}{f} + \frac{\Delta\varphi}{2 \cdot \pi \cdot f}. \qquad (5.2.42)$$

Mivel $f = \frac{1}{T}$, ahol *T* - a periódusidő, ezért

$$\tau = t_2 - t_1 = N \cdot T + \frac{\Delta\varphi}{2 \cdot \pi} \cdot T. \qquad (5.2.43)$$

A kétszer befutott távolság miatt a ferde távolságot az (5.2.36) összefüggés módosításával, az összefüggés jobboldalának 2-vel való osztásával kapjuk:

$$d_f = \frac{v}{2} \cdot \tau, \qquad (5.2.44)$$

ahol a *v* sebességet az (5.2.40) összefüggéssel határozhatjuk meg. Helyettesítsük most az (5.2.43) összefüggést az utolsó képletbe:

$$d_f = N \cdot \frac{v \cdot T}{2} + \frac{v}{2} \cdot \frac{\Delta\varphi}{2 \cdot \pi} \cdot T \qquad (5.2.45)$$

A $v \cdot T$ szorzat a *v* sebesség és a periódusidő szorzata, vagyis nem más, mint a mérőhullám hossza, $\lambda = v \cdot T$. Ez utóbbi helyettesítéssel

$$d_f = N \cdot \frac{\lambda}{2} + \frac{\Delta\varphi}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{\lambda}{2} \qquad (5.2.46)$$

írható. Az (5.2.46) összefüggésből látszik, hogy a ferde távolság meghatározásához egyrészt a kétszeres távolságban elhelyezkedő egész hullámok számát, másrészt a fáziskülönbséget kell ismernünk. Érdekes az összefüggést összevetni a közvetlen távolságméréssel: ha ugyanis a "hosszmérő" eszközünk hossza a mérőhullám $\frac{\lambda}{2}$ fél hullámhossza, úgy ezt *N*-szer a mérendő távolság mentén "lefektetve" és a $\frac{\Delta\varphi}{2 \cdot \pi}$ arányában adódó "maradék" részt hozzáadva, a keresett ferde távolságot kapjuk.

A $\Delta\varphi < 2\cdot\pi$ érték meghatározása viszonylag egyszerű, hiszen csak az egész hullám tört részének meghatározását jelenti, viszont ugyanazon $\Delta\varphi$ értékekhez még tetszőleges N egész hullám tartozhat, ami a mért távolság többértelműségét okozza. A többértelműség feloldása több mérőfrekvencia alkalmazásával lehetséges, ekkor a ferde távolság meghatározására szolgáló (5.2.46) összefüggésnek megfelelő egyenletek alkotta egyenletrendszerből az N értéke, ill. a távolság egyértelműen meghatározható. Az elektronikus távolságmérő műszerekben a *mérőfrekvencia* vagy *folyamatosan változtatható*, vagy pedig *több rögzített mérőfrekvenciát* alkalmaznak. A ma használatos műszerekben ez utóbbi módszert alkalmazzák, elsősorban azért, mert a mérőfrekvenciák nagyobb pontossággal tarthatók állandó értéken, mint amilyen pontosan a változó frekvencia mérhető terepi körülmények között.

Az elektronikus távolságmérést befolyásoló hibák

Más geodéziai műszerekhez hasonlóan, az elektronikus távolságmérést is különböző hibák befolyásolják.

A legfontosabb hibák az alábbiak:

- Az elektronikus távolságmérés nem a műszer állótengelye függőlegeséből indul.
- A visszaverő egység (prizma) visszaverődési pontja nem esik egybe a prizma állótengelyével. A hiba az előző hibával együtt a távolságmérés összeadóállandója műszerállandója). Az összeadóállandó értékét egy nagy pontossággal ismert *etalon* távolsággal való összehasonlításból többszöri méréssel határozhatjuk meg:

  Legyen az etalon távolság értéke d_{etalon}. Az elektronikus távolságmérővel az etalon távolságra kapott mérési eredmények legyenek d_1, d_2, ….. , d_n . A c műszerállandót a (4.4.5) képlet szerint a

$$c = \frac{1}{n}\cdot\sum_{i=1}^{n}\left(d_{\text{etalon}} - d_i\right) \qquad (5.2.47)$$

  egyszerű számtani közép képletéből, a műszerállandó középhibáját pedig a (4.5.12) összefüggés szerint a

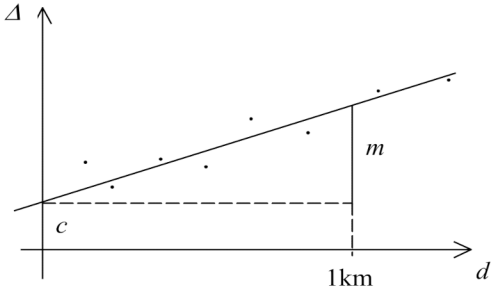
$$\mu_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^2}{n\cdot(n-1)}} \qquad (5.2.48)$$

  képletből számíthatjuk, ahol $v_i = d_{\text{etalon}} - d_i - c$. A fenti összefüggésekben a d_{etalon} értékét hibátlannak tételezzük fel.

  Az összeadóállandót időszakonként ellenőrizni kell.
- A műszer nem a tervezett frekvenciát állítja elő. Mivel a mérőhullám a frekvenciával fordítottan arányos, ezért kisebb hibás frekvenciánál nagyobb, nagyobb hibás frekvenciánál kisebb a mérőhullám hossza, ami az (5.2.46) képlet szerint a valódinál szabályosan nagyobb, vagy szabályosan kisebb távolságot eredményez.

  A hiba értéke (az összeadóállandóval együtt) itt is meghatározható, vagy fizikai úton laboratóriumi körülmények között, vagy az ún. hitelesítő alapvonalon, amelynek szigorúan egy egyenesbe eső, általában az ún. pillérekkel megjelölt pontjai közé eső távolságokat tized milliméter pontossággal ismerik. Mivel a hiba nagysága a mért távolság hosszától függ, így, ha minden lehetséges kombinációban megmérik a távolságokat, az így kapott ponthalmazra egy

$$\Delta = m\cdot d + c \qquad (5.2.49)$$



5.2.61. ábra: Az elektronikus távolságmérők összeadó- és szorzóállandója

alakú regressziós egyenes (5.2.61. ábra) illeszthető, amelynek *m* iránytangense a távmérő frekvencia hibából eredő szorzóállandója, az ordináta tengellyel való *c* metszete pedig a műszer előzőekben említett összeadóállandója. Előfordulhat, hogy a ponthalmazra nem egyenes, hanem magasabb fokú görbe illeszthető.

- Egyéb, a mérést kevésbé befolyásoló hibák:
  - a fázismérés hibája,
  - a fázis homogenitásának hibája: a kibocsátott jelnyaláb nem az irányzott prizma közepére esik, a *koaxiális optikánál* elhanyagolható,
  - gyenge tápfeszültség, ilyen esetben nem szabad, többnyire nem is tudunk mérni,
  - a meteorológiai redukció hibája (5.2.3.4. fejezet), stb.

A hibaforrások részletesebb tárgyalásától eltekinthetünk, ugyanis a gyártó cégek megbízhatóan tájékoztatják vásárlóikat a távmérő pontossági adatairól. Általános esetben az elektronikus távolságmérőkkel való távolságmérés középhibáját egy távolságtól független és egy távolságtól függő középhiba tag összegeként az alábbi összefüggéssel adják meg:

$$\mu_d = \pm(a\ \text{mm} + b\ \text{ppm}) \qquad (5.2.50)$$

ahol *a* - a távolságtól független, *b* - a *d* távolságtól függő középhiba tag, amely - mint láttuk - megmutatja, hogy a középhiba értéke 1 km-re hány mm. Ez utóbbit kell szoroznunk a távolság km-ben kifejezett értékével.

5.2.3.4. A mért ferde távolság redukálása

Rövid, mintegy 300-400 m-es távolságig a mért ferde távolságot elegendő a vízszintesre redukálnunk. Nagyobb távolságok esetén sorrendben a vízszintesre, a tengerszintre (az alapfelületre), végül a vetületre redukálást kell elvégeznünk. Az elektronikus távmérés esetében a legelső lépés a meteorológiai redukció, ezt követi a többi három.

A meteorológiai redukció

Mint arra az (5.2.40) összefüggésben már utaltunk, az elektromágneses jelnek az elektronikus távolságmérés alapjául szolgáló hullámterjedési sebessége a levegőnek, mint terjedési közegnek a mindenkori törésmutatójától függ. A törésmutató értéke mind a fény- (ill. közeli infravörös), mind a mikrohullámokra meteorológiai adatok mérése útján határozható meg. Ezek közül a törésmutatót leginkább a hőmérséklet és a légnyomás, kevésbé a páratartalom befolyásolják. A *meteorológiai redukció* az ún. normál (t_0 = 0 C°, p_0 = 760 hgmm (1013 hP) állapotú levegőre számított n_0 *normál törésmutató*, ill. a levegő aktuális állapotára vonatkozó *n aktuális törésmutató* alábbi összehasonlításával kapható meg.

Az (5.2.40) képlet alapján

$$v_0 = \frac{c}{n_0} \quad \text{és} \quad v = \frac{c}{n}, \qquad (5.2.51)$$

ahol v_0 - az elektromágneses jel terjedési sebessége a normál,

v - a jel terjedési sebessége az aktuális légköri viszonyok mellett.

A két érték

$$c_{\mathrm{m}} = \frac{v}{v_0} = \frac{c/n}{c/n_0} = \frac{n_0}{n}\left(= \frac{\lambda \cdot f}{\lambda_0 \cdot f} = \frac{\lambda}{\lambda_0} \right) \qquad (5.2.52)$$

hányadosa az egységnyi távolságra vonatkoztatott meteorológiai redukció (λ a hullámhossz, f a frekvencia), amelynek értékét célszerűen ppm-ben adják meg. Ha a meteorológiai redukció értéke c_{m} ppm, úgy adott és km-ben kifejezett távolságra a meteorológiai redukció mm-ben kifejezett értéke

$$k_{\mathrm{m}} = c_{\mathrm{m}} \cdot d(\mathrm{km}), \qquad (5.2.53)$$

a meteorológiai redukcióval ellátott távolság pedig

$$d_{\mathrm{m}} = d + k_{\mathrm{m}} \qquad (5.2.54)$$

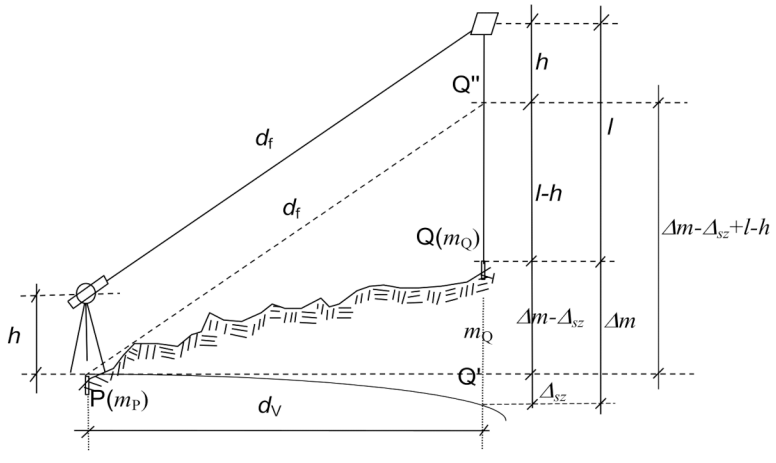
lesz. Itt természetesen a dimenziókra ügyelni kell.

A meteorológiai redukció értékét a régebbi műszereknél az ún. nomogrammról olvasták le a mért hőmérséklet és légnyomás függvényében, a korszerű számítógépes műszereken ennek figyelembe vétele automatikus. Szigorúan véve a levegő egész irányvonal menti átlagos törésmutatóját kellene ismerni, a mindennapos geodéziai gyakorlatban használt távolságmérő műszerek 1-2 km -es hatótávolsága mellett azonban a törésmutató értékét elegendő csak a műszerállláspontban meghatározni.

Redukálás a vízszintesre

A meteorológiai redukcióval ellátott $d_{\mathrm{f}} = d_{\mathrm{m}}$ távolság *ferde távolság*. A 2.1.1. és az 5.2.54. ábra szerint a vízszintes távolságot a

$$d_{\mathrm{v}} = d_{\mathrm{f}} \cdot \cos\alpha = d_{\mathrm{f}} \cdot \sin Z \qquad (5.2.55)$$



5.2.62. ábra: A ferde távolság vízszintesre redukálása a magasságok és a szintfelületi korrekció figyelembevételével

összefüggés szolgáltatja ((5.2.31) képlet)). Az így kapott vízszintes távolság a műszer magasságára vonatkozik. A redukálás - különösen nagyobb távolság esetén - pontosabb, ha ahhoz a végpontok (ismert) tengerszint feletti magasságait használjuk, a h műszermagasság, az l jel-

magasság és a Δ_{sz} szintfelületi korrekció figyelembevételével. Ekkor, az 5.2.62. ábra szerint a PQ"Q' háromszögből:

$$d_v = \sqrt{d_f^2 - \left(\Delta m - \Delta_{sz} + l - h\right)^2} \,. \qquad (5.2.55)$$

Az (5.2.55) képletben $\Delta m = m_Q - m_P$, ahol m_Q a Q, m_P a P pont abszolút magassága. A Δ_{sz} szintfelületi korrekció értéke jó közelítéssel

$$\Delta_{sz} \approx \frac{d_V^2}{2 \cdot R} \approx \frac{d_f^2}{2 \cdot R}, \qquad (5.2.56)$$

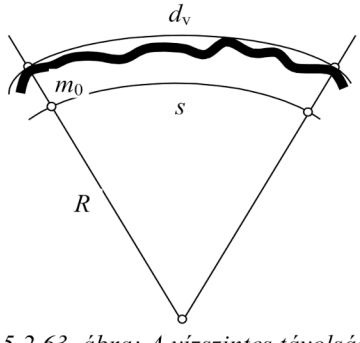
ahol R a földgömb sugara. A képletet a 6.1.7.1. fejezetben vezetjük majd le. A Δ_{sz} értéke a mért távolságtól és a magasságkülönbségtől függ, figyelmen kívül hagyása pld. már $d_f \approx 500$ m és $\Delta m \approx 50$ m mellett a redukált távolságban 0,002 m szabályos hibát okoz.

Redukálás a tengerszintre

A vízszintesre redukált távolság általában a tenger szintje felett helyezkedik el (ritka eseteket kivéve, mint pld. a mélyföldek Hollandiában). A további feldolgozáshoz szükséges, hogy a távolságot a tengerszintre (a geoidra) redukáljuk.

Az 5.2.63. ábrán a d_v vízszintes távolság átlagos tengerszint (geoid) feletti magassága m_0, a Föld sugara R, a távolság értéke a tengerszintre redukálás után pedig s. Az 5.2.63. ábra szerint felírható a

$$\frac{d_v}{s} = \frac{R + m_0}{R}$$



5.2.63. ábra: A vízszintes távolság redukálása a tengerszintre

aránypár. Vonjuk ki a kifejezés mindkét oldalát 1-ből:

$$1 - \frac{d_v}{s} = 1 - \frac{R + m_0}{R},$$

amely az

$$\frac{s - d_v}{s} = \frac{R - R - m_0}{R} = -\frac{m_0}{R}.$$

alakra hozható. A $\Delta d = s - d_v$ helyettesítéssel és az $s \approx d_v$ megengedhető elhanyagolással a

$$\Delta d = -\frac{m_0}{R} \cdot s \approx -\frac{m_0}{R} \cdot d_v \qquad (5.2.57)$$

redukcióhoz jutunk. A tengerszintre redukált távolság értéke:

$$s = d_v + \Delta d \,. \qquad (5.2.58)$$

A Δd redukció előjele negatív minden olyan távolságra, amely a tenger szintje felett helyezkedik el.

Redukálás a vetületre

A vetületre redukálás összefüggéseit a *hossztorzulási tényező* és a *hosszredukció* fogalmainak ismertetésével mind az érintő, mind a süllyesztett vetületek esetére a 2.2.2. fejezetben foglaltuk össze. E szerint a vetületre redukálás a hosszredukcióval az érintő vetületekre a

$$\Delta s = d - s = U \cdot s\,, \tag{2.2.24a}$$

a süllyesztett vetületekre

$$\Delta s = d - s = s(h_0 - 1 + U) \tag{2.2.24b}$$

képletekkel történik, a megfelelő redukált távolságok pedig a

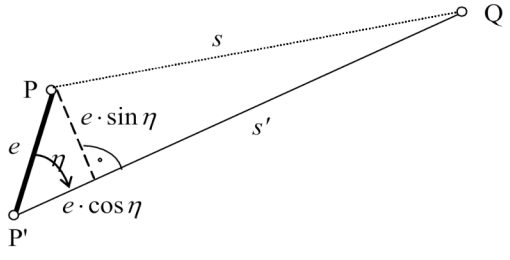
$$d = s + \Delta s = s + U \cdot s\,, \tag{2.2.25a}$$

ill. a

$$d = s + \Delta s = s + s(h_0 - 1 + U) \tag{2.2.25b}$$

képletekkel számíthatók. Az $U = h - h_0$ hossztorzulás értéke (2.2.21. képlet) - mint láttuk a 2.2.2. fejezetben - vetületenként különböző.

Külpontosan mért távolság központosítása



5.2.64. ábra: Külpontosan mért távolság központosítása

Távolságmérés esetén is előfordulhat, hogy távolságmérő műszerünket, vagy az irányzott jelet (prizmát), vagy mindkettőt nem tudjuk központosan pont fölé állítani. Ekkor az előzőekben felsorolt többi redukció (meteorológiai, vízszintesre, tengerszintre, vetületre) mellett külpontossági redukciót is kell számítanunk. A redukció számításánál figyelembe kell vennünk, hogy a külpontosság elemeit (5.2.46. ábra) a ferde távolság síkjában, vagy a vízszintes síkban mértük. A gyakrabban előforduló utóbbi esetben a tengerszintre redukált s vízszintes távolságot központosítjuk, majd utána redukálunk a vetületre.

Az 5.2.64. ábrán P a központos, P' a külpontos álláspont, az irányzott pont Q. Mérjük az e és η külpontossági elemeket, valamint - tengerszintre redukálás után - az s' külpontos távolságot. Keressük a $\Delta = s - s'$ külpontossági redukciót és az s központra redukált távolságot.

Az 5.2.64. ábra alapján a Pitagorasz tétel segítségével írhatjuk:

$$s^2 = e^2 \cdot \sin^2\eta + (s' - e \cdot \cos\eta)^2 = e^2 \cdot \sin^2\eta + s'^2 - 2 \cdot s' \cdot e \cdot \cos\eta + e^2 \cdot \cos^2\eta\,.$$

Vonjunk ki mindkét oldalból s'^2 - et. Kapjuk:

$$s^2 - s'^2 = (s - s') \cdot (s + s') = e^2 \cdot \sin^2\eta - e \cdot \cos\eta \cdot (2 \cdot s' - e \cdot \cos\eta).$$

Az e lineáris mérték általában nagyságrenddel kisebb a mért s' távolságnál ($e << s'$), ezért megengedhető közelítéssel $s + s' \approx 2 \cdot s'$ és $2 \cdot s' - e \cdot \cos\eta \approx 2 \cdot s'$. Ezekkel a helyettesítésekkel végül a külpontossági redukció felírható a

$$\Delta = \frac{e^2 \cdot \sin^2\eta}{2 \cdot s'} - e \cdot \cos\eta\,, \tag{5.2.59a}$$

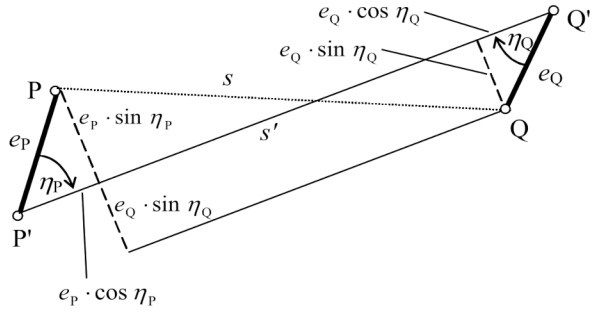
ill., szintén $e << s'$ miatt, jó közelítéssel végül a

$$\Delta = -e \cdot \cos\eta \tag{5.2.59b}$$

alakban. A központra redukált távolság ekkor

$$s = s' - e \cdot \cos\eta\,. \tag{5.2.60}$$

A mind az állásponton, mind az irányzott ponton külpontos távolságmérés központosítását az 5.2.65. ábrán követhetjük nyomon.



5.2.65. ábra: Állás- és irányzott ponton is külpontosan mért távolság központosítása

Az 5.2.65. ábrán P a központos, P' a külpontos álláspont, Q a központos és Q' a külpontos irányzott pont. Mérjük az e_P és η_P, az e_Q és η_Q külpontossági elemeket, valamint - tengerszintre redukálás után - az s' külpontos távolságot. Keressük a $\Delta = s - s'$ külpontossági redukciót és az s központra redukált távolságot.

Az 5.2.65. ábra alapján írhatjuk:

$$s^2 = \left(e_P \cdot \sin \eta_P + e_Q \cdot \sin \eta_Q\right)^2 + \left[s' - \left(e \cdot \cos \eta + e \cdot \cos \eta\right)\right]^2 .$$

Az előzőhöz teljesen hasonló levezetéssel és közelítésekkel írhatjuk:

$$\Delta = \frac{\left(e_P \cdot \sin \eta_P + e_Q \cdot \sin \eta_Q\right)^2}{2 \cdot s'} - \left(e_P \cdot \cos \eta_P + e_Q \cdot \cos \eta_Q\right), \quad (5.2.61a)$$

illetve

$$\Delta = -\left(e_P \cdot \cos \eta_P + e_Q \cdot \cos \eta_Q\right). \quad (5.2.61b)$$

A központra redukált távolság ekkor

$$s = s' - \left(e_P \cdot \cos \eta_P + e_Q \cdot \cos \eta_Q\right). \quad (5.2.62)$$

5.2.4. A magasságmérés eszközei és műszerei

Magasságmérésnél a 2.2.1.2. fejezetben definiált és a 2.2.6. ábrán értelmezett Δm *magasságkülönbséget* (*relatív magasságot*) mérjük. Ha - mint az említett fejezetben láttuk - ismert egy P pont m_P *tengerszint feletti* (*abszolút*) magassága, úgy a mért Δm ismeretében számítható a másik, pld. Q pont tengerszint feletti (abszolút) magassága is:

$$m_Q = m_P + \Delta m . \quad (2.2.10)$$

A magasságmérés módszerei a trigonometriai magasságmérés, a geometriai és a hidrosztatikai szintezés, valamint a barométeres magasságmérés.

A *trigonometriai magasságmérés* műszere a teodolit, amellyel közvetlenül az α magassági vagy a Z zenitszöget tudjuk mérni és ebből számítással, trigonometriai úton kapjuk a magasságkülönbséget. Rendszerint *vízszintes alappontok* magasságának meghatározásánál alkalmazzuk (6.1.7.1. fejezet).

A *hidrosztatikai szintezés* alkalmazására zárt létesítmények belsejében a mérnök geodézia keretén kerül sor, itt nem foglalkozunk vele. A *barométeres magasságmérés* eszköze a barométer. Elve a magasság függvényében változó légnyomás mérésén alapul, pontossága mes nagyságrendű, itt nem térünk ki rá.

A *geometriai szintezés* műszerei a szintezőműszerek. Segítségükkel közvetlenül a szintfelületek közötti magasságkülönbség nagy pontossággal határozható meg.

A magasságkülönbség közelítő meghatározására használatos egyszerű hagyományos eszköz az 5.2.50. ábrán bemutatott, hosszmérésre is alkalmas libellás mérőléc.

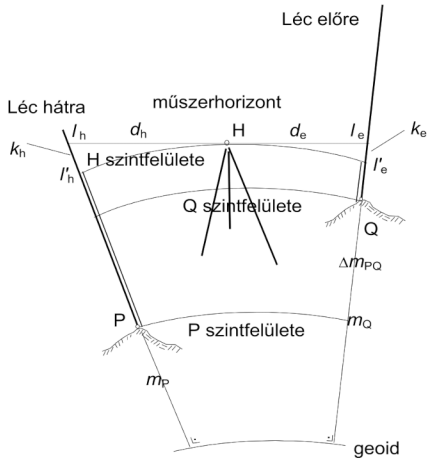
5.2.4.1. Geometriai szintező műszerek

A geometriai szintezés elve

A szintezőműszer közvetlenül nem a szintfelületet, hanem a műszer vízszintesre állított távcsövének irányzótengelyén és a vízszintes irányszálon áthaladó helyi vízszintes síkot, a műszerhorizontot jelöli ki. A Δm_{PQ} meghatározandó magasságkülönbség P és Q végpontján függőlegesen felállított beosztásos szintezőléceket a műszerhorizonthoz tartozó szintfelület az l'_h és az l'_e értékekben metszi. Ezzel szemben a műszerhorizonthoz az

$$l_h = l'_h + k_h \quad \text{és az} \quad l_e = l'_e + k_e \tag{5.2.63}$$

lécleolvasások tartoznak.



5.2.66. ábra: A geometriai szintezés alapelve

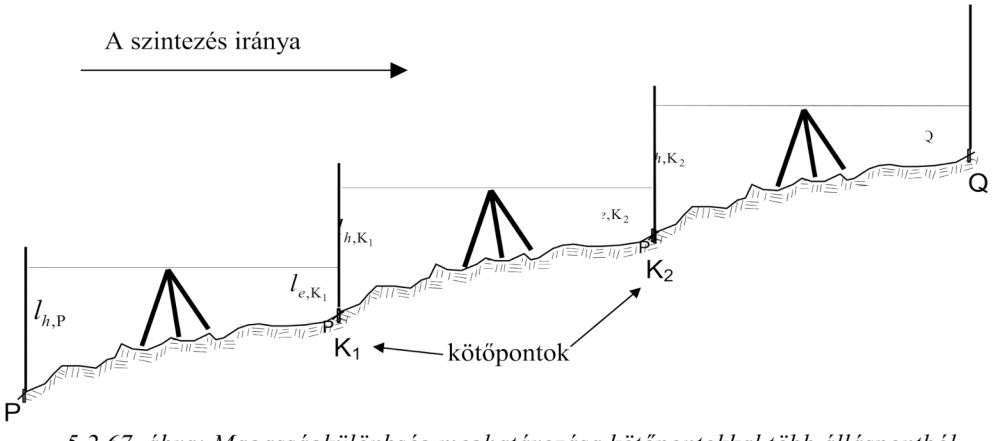
Ha most a két léc között középen állunk fel, azaz $d_h = d_e$, úgy, a szintfelületet jó közelítéssel gömbnek tekintve, $k_h = k_e$. A továbbiakban, a (2.2.10) alapján a Q pont relatív magassága P felett az 5.2.66. ábrából

$$\Delta m_{PQ} = m_Q - m_P = l'_h + k_h - l'_e - k_e \tag{5.2.64a}$$

és a $k_h = k_e$ egyenlőség miatt végül

$$\Delta m_{PQ} = m_Q - m_P = l_h - l_e, \tag{5.2.64b}$$

vagyis, két pont magasságkülönbségét megkapjuk, ha - a szintezőműszer haladási irányának megfelelő - hátul álló szintezőlécen mért l_h leolvasásból kivonjuk az elől álló szintezőlécről kapott l_e leolvasást. Ha nem középen állunk fel a



5.2.67. ábra: Magasságkülönbség meghatározása kötőpontokkal több álláspontból

Az esetek többségében a két végpont magasságkülönbségét nem lehet egy műszerállásból meghatározni. Ilyenkor a mérést több műszerállásból végezzük úgy, hogy a végpontok között segédpontokat, ún. kötőpontokat jelölünk ki (5.2.67. ábra).

Ha a mérést folyamatosan, egy vonal mentén végezzük, ezt a vonalat szintezési vonalnak, magát a szintezést vonalszintezésnek nevezzük. A szintezés irányával ellentétes irányba eső lécekre kapott leolvasások a hátra leolvasások ($l_{\mathrm{h,P}}, l_{\mathrm{h,K_1}}, l_{\mathrm{h,K_2}}$), a szintezés irányába eső leolvasások az előre leolvasások ($l_{\mathrm{e,K_1}}, l_{\mathrm{e,K_2}}, l_{\mathrm{e,Q}}$). Ekkor a magasságkülönbség (5.2.64b) meghatározása szerint a Δm_{PQ} érték az egyes műszerállásokban mért magasságkülönbségek előjelhelyes összege:

$$\Delta m_{\mathrm{PQ}} = \Delta m_{\mathrm{PK_1}} + \Delta m_{\mathrm{K_1K_2}} + \Delta m_{\mathrm{K_2Q}}, \qquad (5.2.65a)$$

vagy

$$\Delta m_{\mathrm{PQ}} = \left(l_{\mathrm{h,P}} - l_{\mathrm{e,K_1}}\right) + \left(l_{\mathrm{h,K_1}} - l_{\mathrm{e,K_2}}\right) + \left(l_{\mathrm{h,K_2}} - l_{\mathrm{e,Q}}\right) \qquad (5.2.65b)$$

és általánosan

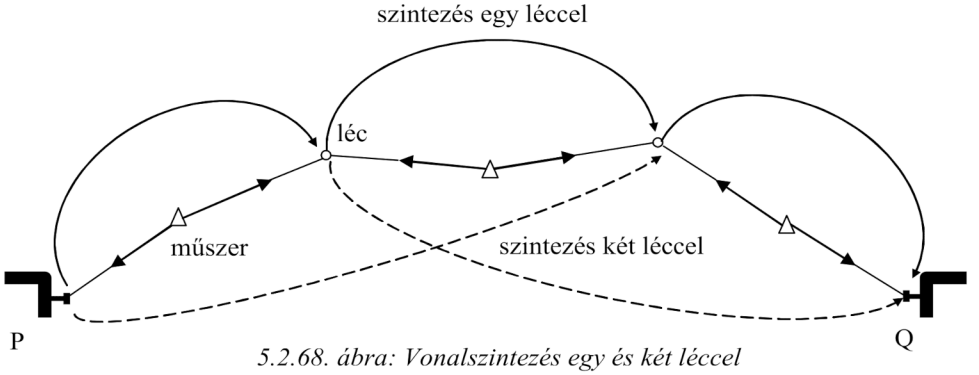
$$\Delta m_{\mathrm{PQ}} = \sum_{i=1}^{m} \left(l_{\mathrm{h}} - l_{\mathrm{e}}\right)_i, \qquad (5.2.66)$$

ahol *m* a rész magasságkülönbségek száma.

A Q pont magasságát a P pont felett tehát megkapjuk, ha a hátra leolvasások összegéből levonjuk az előre leolvasások összegét.

A szintezőléceket a végpontokban előre jelölt pontokra, a kötőpontokban ún. szintezősarura (5.2.75. ábra), igen nagy pontossági igényű méréseknél facövekbe vert, vagy burkolatba betonozott gömbölyűfejű szegekre helyezik, a szintezőléc magassági stabilitásának biztosítása céljából.

Használhatunk egy, vagy két szintezőlécet. Mozgásukat az 5.2.68. ábrán szemléltetjük. Egy szintezőléc használata esetén a méréssel meg kell várni, amíg a hátul álló léces előre jön, ez idő alatt a műszer elmozdulhat, vagy megsüllyedhet, két léc használatakor az elől álló lécből a műszer haladásakor hátul álló léc lesz és fordítva. A mérés gyorsabb és megbízhatóbb, a lécek ekkor fellépő ún. talpponthibáját (ld. később) páros számú műszerállással küszöböljük ki.



5.2.68. ábra: Vonalszintezés egy és két léccel

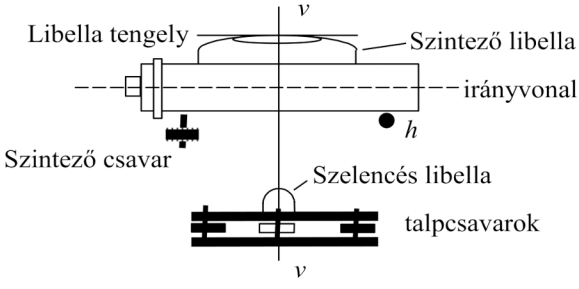
A szintezőműszert - a teodolittal ellentétben - nem megjelölt pont fölött állítjuk fel, így a központosítás kényes művelete elmarad.

Konstrukciós felépítés és a működési elv szempontjából megkülönböztetünk libellás és kompenzátoros geometriai szintezőműszereket (a továbbiakban szintezők). A legkorszerűbb technika eredményei az elektronikus, vagy digitális, működési elvüket tekintve általában kompenzátoros szintezők.

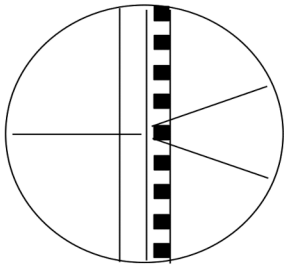
Libellás szintezők

A libellás szintezőműszerek vázlatos szerkezeti felépítését a fő szerkezeti elemekkel az 5.2.69. ábrán mutatjuk be. A műszer távcsöve a szintezőlibellával együtt a *h* fekvőtengely körül a szintezőcsavar segítségével kis mértékben elforgatható. Ha a szintező libella tengelye párhuzamos a távcső irányvonalával ($l \,||\, I$) és a libella buborékját a szintező csavarral középre hozzuk, az irányvonal vízszintes lesz.

Az alhidádé a műszertalp perselyébe ágyazott *vv* állótengely körül forgatható. Rögzítésére és a finom irányzásra kötő- és parány-csavar szolgál. A szintezőműszereknél (nem csak a libellásnál) gyakran alkalmaznak ún. frikciós (surlódásos) tengelykötést. A közelítő irányzást az alhidádé erősebb kézi forgatásával, a finom irányzást a paránycsavarral végezzük, vagyis itt hiányzik a kötőcsavar. Az állótengelyt a *szelencés libella* segítségével tesszük közelítőleg függőlegessé.



5.2.69. ábra: A libellás szintezőműszer szerkezete



5.2.70. ábra: Ékszál a lécosztások irányzására

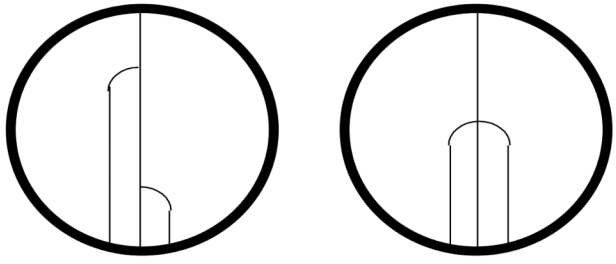
A távcső szálkeresztje a pontosabb műszereknél kissé eltér a teodolitok szálkeresztjétől (5.2.70. ábra), a vízszintes szál helyett annak meghosszabbításában a függőleges irányszál oldalán ék-alakú kettős szálat alkalmaznak, a vízszintes lécosztások így, az ékkel közrefogva, pontosabban irányozhatók. Kisebb pontosságú műszereken a - távcső szögnagyítása 15….25-szörös, pontosabb műszereken 30….45-szörös.

A kép élesre állítását itt is *képélesség-állító* (parallaxis) csavar teszi lehetővé, ez utóbbi gyakran ún. kéthatású, vagyis a csavart kettős áttétellel készítik, s negyed-, vagy félfordulatán belül a képélességet finomabban, azon túl durvábban állíthatjuk.

A szabatos szintezésre szolgáló műszerek távcsövén *optikai mikrométert* használnak a lécleolvasás pontosságának fokozására. A *síkpárhuzamos* (planparallel) üveglemezt (5.2.2. és 5.2.19. ábra) méréskor a távcső objektívje elé helyezik, mérésen kívül onnan eltávolítható, ill. a mérés a mikrométer nélkül is, kisebb pontossággal, elvégezhető. A *mikrométer csavar* a lemezt az irányvonalra merőleges vízszintes tengely körül forgatja, s ezáltal a távcső irányvonala függőleges irányban párhuzamosan eltolható. Az eltolás mértékét a lécen az optikai mikrométer beosztásáról olvassuk le.

A *szintezőlibellát* a távcső mellett hosszirányban, ahhoz mereven kötve helyezik el. Igazítására függőleges és vízszintes igazító csavarok szolgálnak. A kis és közepes pontosságú műszerek szintezőlibellájának ε állandója (5.2.9. képlet) 30"….60", a szabatos műszereké 10"….30".

Tükrös megfigyelő berendezés segítségével a szintezőlibella képét a távcső okulárja mellé vetíthetjük, ami a mérési idő csökkenése folytán a mérés pontosságát növeli. Szabatos műszereken alkalmazzák az ún. buborékvég egyeztetős libellát (5.2.71. ábra). A két buborékvég a távcső látómezejében, vagy az okulár mellett elhelyezett nagyítóval figyelhető meg.



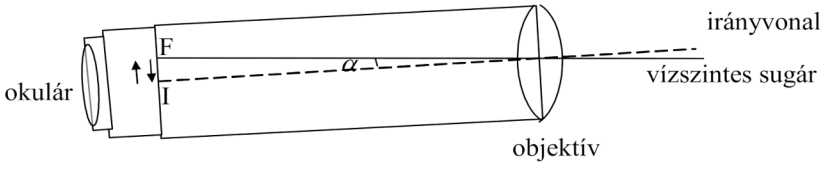
Egyeztetés előtt *Egyeztetés után*

5.2.71. ábra: Buborékvég egyeztetéses libella

A műszer felállításakor sorrendben először a szelencés libella buborékját hozzuk középre, majd elvégezzük az irányzást. A buborékvégeket a szintező csavar segítségével koincidáljuk (5.2.71. jobboldali ábra) és, ha van optikai mikrométer, azzal ráállunk a legközelebbi lécosztásra (a kettős szállal a lécosztást közrefogjuk).

Kompenzátoros szintezők

A *kompenzátoros szintezők* szerkezete csak a vízszintes iránysík kitűzését szolgáló szerkezeti elemben (a kompenzátorban) különbözik a libellás műszerek szerkezetétől. A *kompenzátor* fogalmával az 5.2.2.2. fejezetben már találkoztunk, itt is a nehézségi erő hatására működő hasonló műszerelemről van szó, amely az irányvonal helyzetét módosítja úgy, hogy az automatikusan vízszintes helyzetet foglaljon el. Mivel ezen műszertípusnál a szintező libella hosszadalmas és fáradságos középre állítása elmarad, a mérés sokkal gyorsabbá válik. Az indexkompenzátoros teodolitokhoz hasonlóan hátrány, hogy a kompenzátor rezgés-érzékeny, így pld. a szél-, vagy a talajrezgések (pld. közutak, vasútvonalak mentén) hatására a leolvasás itt is bizonytalanabb.



5.2.72. ábra: A kompenzátoros szintezők működése

Mivel a távcső vízszintessé tételére szolgáló szintezőlibella hiányzik, általános esetben az csak közelítően vízszintes, az irányvonal az 5.2.72. ábrán szemléltetett *ferde* helyzetet foglalja el, míg az objektív középpontján áthaladó vízszintes sugár attól egy α szöggel eltér. Az α szög a kompenzálás tartományát határozza meg, értéke kb. 10'-30' lehet. Minél nagyobb a kompenzálási tartomány, annál kisebb a kompenzátor érzékenysége és annál kevésbé pontosan kell az állótengelyt függőlegesíteni.

Jelöljük az irányvonalat meghatározó egyik pont, a szálkereszt középpontját I-vel, a vízszintesen érkező sugár szállemezen megjelenő képét pedig F-fel. A kompenzátorral azt kell biztosítani, hogy az F képpont és az I pont egybeessenek (I ≡ F), azaz a lécről vízszintesen beérkező sugár egyben a szálkereszt középpontjára is essék. Ezt kétfajta módon lehet elérni: a kompenzátornak vagy azt kell megoldani, hogy az irányvonal I középpontja "vándoroljon" F-be, vagy azt, hogy, fordítva, az F képpont "vándoroljon" az I-be. Első esetben irányvonal vezérlésű, második esetben fősugár vezérlésű kompenzátorról beszélünk.

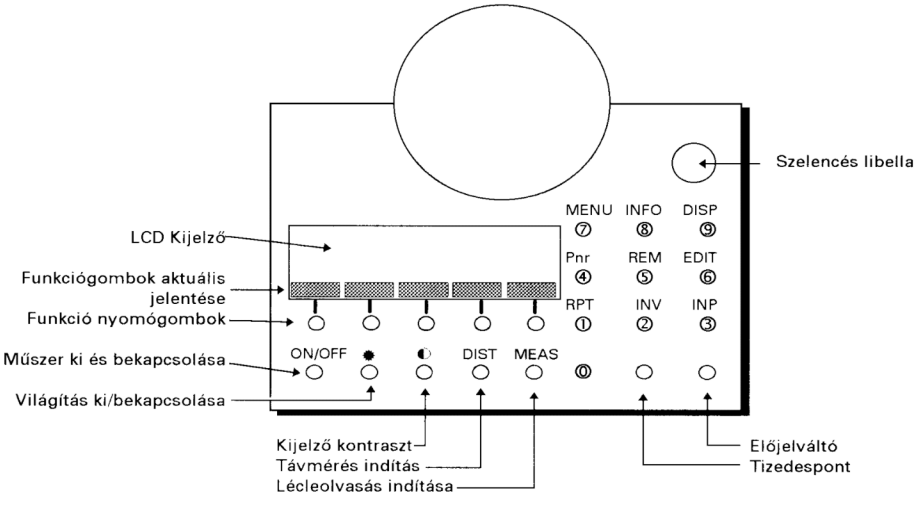
Irányvonal vezérlés esetén az irányvonal egy pontját, vagyis a szállemezt, vagy az objektívet függesztik fel inga gyanánt, *fősugár-vezérlésnél* pedig a távcső belsejében elhelyezett prizmarendszerrel a látást közvetítő fénysugarat törik meg.

Elektronikus (digitális) szintezők

Az *elektronikus szintezőműszerek* - az elektronikus teodolitokhoz hasonlóan - a mérés automatizálására irányuló törekvés eredményei. A mikroprocesszorral és mágneses adattárolóval (terepi adatrögzítővel) ellátott szintezőműszereken LCD kijelző és többfunkciójú menürendszer található. Az egyes funkciógombok jelentése típusonként változó, az 5.2.73. ábrán a japán Sokkia cég SDL 2 elektronikus szintezőműszerének kijelzőjét látjuk.

A menürendszerben általában megadhatóak

- a maximális műszer-léc távolság
- a legalacsonyabb elfogadható leolvasás érték
- a maximális lécleolvasási különbség
- a refrakció együttható értéke
- a mérés aktuális dátuma.



5.2.73. ábra: A Sokkia SDL 2 elektronikus szintezőműszer kijelzője

A beépített programok között általában megtalálhatók a szintezőműszerek ellenőrzésére és igazítására, a műszer adatrögzítője és a számítógépek közötti adatáramlás, valamint a különböző paraméterek (magasság és adatbevitel mértékegysége, lécleolvasás élessége, hangjelzés be-, ill. kikapcsolása, dátum kijelzés, stb.) beállítását biztosító, a szintezési vonal kiegyenlítésére szolgáló és egyéb programok.

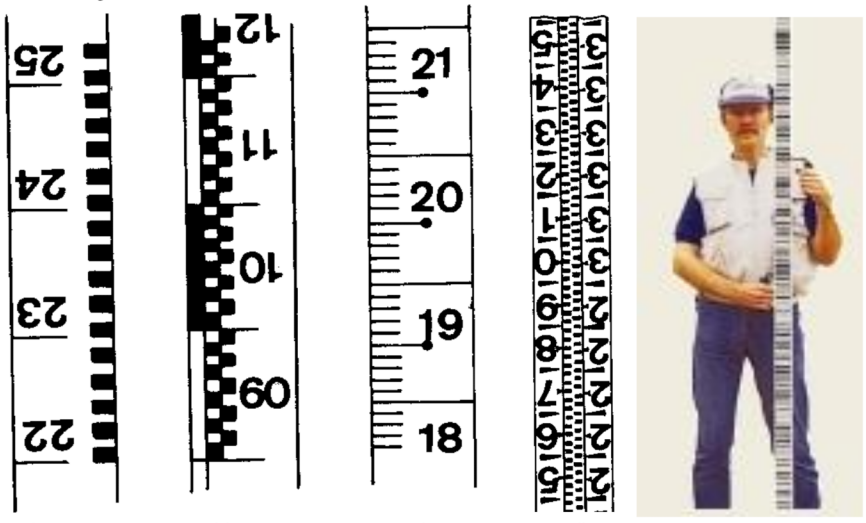
Az elektronikus szintezőműszerekhez vonalkódos szintezőlécek tartoznak (5.2.74.e. ábra), amelyekről a leolvasást a műszer automatikusan végzi el. A vonalkódos lécek mellett használhatóak a hagyományos cm beosztású *analóg* lécek is, ekkor az észlelő saját leolvasásának eredményét a megfelelő adattároló funkciógombbal rögzítheti. Az elektronikus szintezőműszerekben az automatika általában kikapcsolható, ilyenkor a műszer hagyományos műszerként is használható.

Szintezők csoportosítása a mérési pontosság alapján

A működési elv szerinti csoportosítás mellett a teodolitokhoz hasonlóan a szintezőket is csoportosíthatjuk felhasználási területük és mérési pontosságuk alapján.

A szintezőműszerek típusjelölése hasonlít a teodolitokéhoz, csak T betű helyett az N (Nivellier) betűt használják. Pld. a MOM szintezőit a Ni megjelöléssel, s az ABC nagy betűi-

vel jelölték, ahol az A betű a legnagyobb, az E a legkisebb pontosságú kategóriát jelentette (Ni-A, Ni-B, ...). A WILD-LEICA cég szintezőit N, Ni, vagy Na betűvel és arab számokkal látják el. A Zeiss cég szintezőinek jelölése szintén Ni-vel kezdődik és számmal folytatódik. E két utóbbi típusnál a kisebb számok a kisebb pontosságú, a nagyobb számú a nagyobb pontosságú műszereket jelentik.



a) b) c) d) e)

5.2.74. ábra: Szintezőlécek mérnöki és szabatos szintezőkhöz

A mindennapos alsó-geodéziai gyakorlatban a mérnöki szintezőket használjuk. E műszertípusnál a távcső szögnagyítása mintegy 28 -32 - szeres, libellája (kompenzátora) kevésbé érzékeny és a szintezőlécet közvetlenül olvassuk le. A mérnöki szintezéshez használt lécek centiméter beosztásúak, a centimétereket fekete-fehér festéssel jelölik (5.2.74a. és b. ábra). A mérő személy a szálkereszt vízszintes szála mentén a szálra eső cm osztás tizedeit tudja becsülni.

A szabatos szintezők libellája (kompenzátora) nagy érzékenységű, a távcső szögnagyítása 30-50-szeres. A műszereket olyan optikai mikrométerrel látták el, amelynek segítségével - a mikrométer osztás függvényében - akár 0,01 mm élességű leolvasást is el lehet érni, erre alkalmas, különleges invárbetétes lécek (5.2.74d. ábra) alkalmazása esetén. Az eltolt kettőzött jelölés alkalmazásával ismételt leolvasás végezhető. Az alsó-geodéziai gyakorlat általában nem igényli a szabatos szintezők használatát.

A szintezőműszerek tartozékai

A *szintezőlécek* a geometriai szintezés végrehajtásának nélkülözhetetlen eszközei. A rajtuk készült cm-es vagy fél cm-es beosztáson olvassuk le a műszer vízszintes iránysíkja által kimetszett lécosztás magasságát a pont felett. A régebbi, fordított képet adó műszerekhez a lécet is fordított jelöléssel látták el (5.2.74.a., b., d. ábrák).

A szintezőlécet általában száraz, csomómentes fenyőfából készítik. A nedvességfelvétel megakadályozása céljából valamilyen telítő anyaggal - rendszerint parafinnal - telítik, majd felületét olajfesték bevonattal látják el. A festékrétegre viszik rá az általában fekete-fehér színű beosztást. A lécek különböző keresztmetszetűek. Hosszuk 3 vagy 4 m, de különleges célokra más hosszúságú léceket is készítenek. Szélességük 6 … 10 cm. A 3 m-es lécek merevek, a 4 m-esek középen *összecsukhatók*. Alul *fémsaruban* (lécsaru) végződnek, a léc-

osztás 0 pontjának a saru alsó síkjával kell egybe esnie. Az ettől való eltérés az ún. talpponthiba.

A szintezőléc beosztása lehet *sávos*, *kettős sávos* vagy *vonásos* (5.2.74. ábra), de ezeken belül is sokféle változat létezik. Az elektronikus szintezőkhöz speciális, csak a műszer számára olvasható vonalkódos léceket készítenek (5.2.74. e. ábra).

A szabatos szintezéshez *invárbetétes* szintezőléceket használnak. A léc merev, általában 3 m hosszú, fából vagy könnyűfémből készül. Az invár betétet *rugós feszítő berendezés* feszíti ki, s a beosztást *"invársablonnal"* viszik rá. Többnyire két, egymással szemben 0,5 cmes vonásos osztást alkalmaznak (5.2.74. d. ábra). A két számozás - a pontosság növelése mellett - lehetővé teszi a durva elolvasások kiküszöbölését is.

A szintezőléc állótengelyének függőleges felállítását 5′ - 20′ érzékenységű szelencés libellával végezzük. A libellát mintegy 1 m magasságban rögzítik a léc hátoldalához. *Szabatos szintezésnél* a szintezőlécet két támasztórúddal támasztjuk ki.

A szintezőléceket a szintezés végrehajtásakor szintezősarukra helyezzük. Szintezés közben - egyéb pontjel hiányában - a léceket a lécsüllyedés megakadályozására ezekre állítjuk fel. Néhány változatukat az 5.2.75. ábrán szemléltetjük.



5.2.75. ábra: Szintezősaruk

A geometriai szintezés szabályos hibái

A teodolitokhoz hasonlóan a szintezőműszerekkel végzett méréseket is különböző szabályos és véletlen jellegű hibák befolyásolják. Ezek az alábbiak:

- a szabályos műszerhibák
- a szintezőléc hibái
- a külső körülmények hibái és
- a személyi hibák.

A szabályos hibák hatása a hiba megszüntetésével (műszer igazítása, mérési utasítások betartása) és a szintezés szabályainak szigorú betartásával (elsősorban a két léc közé történő középre állással) csökkenthető.

Szabályos műszerhibák

A *szabályos műszerhibák* közül csak a legfontosabbakra hívjuk fel a figyelmet. Ezek közül kettő mind a libellás, mind a kompenzátoros szintezőműszereknél előfordulhat:

A szelencés libella hibája azt jelenti, hogy a szelencés libella síkja nem merőleges a szintező műszer állótengelyére (5.2.69. ábra). Ha a szintezőcsavaron (5.2.69. ábra) beosztás van, a vizsgálatot az alábbi lépésekben végezhetjük el:

1. Meghatározzuk a szintezőcsavar azon σ_n *helyzetét*, amely mellett a szintezőlibella tengelye merőleges az állótengelyre: ehhez a műszer állótengelyét a szelencés libellával közel függőlegessé tesszük, majd a szintezőcsavarral középre hozzuk a szintezőlibella buborékját. A szintezőcsavar leolvasása ekkor legyen σ_1. A szintezőlibellát (a távcsövet) az állótengely körül 180°-kal átforgatjuk és a szintezőlibella buborékjának középhelyzeténél leolvassuk a szintezőcsavar σ_2 állását. Innen a szintezőcsavar *normális állása*:

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}. \qquad (5.2.67)$$

2. A szintezőcsavart a σ_n leolvasásra állítjuk.
3. Az állótengelyt a szintezőlibellával és a talpcsavarokkal a teodolithoz hasonló módon függőlegessé tesszük. Ha a szelencés libella buborékja ebben a helyzetben nincs középen, úgy azt a libella igazítócsavarjaival középre hozzuk.

A vízszintes iránnyszál hibája akkor jelentkezik, ha a szálkereszt fekvő szála nem merőleges az állótengelyre. A vizsgálathoz egy jól irányozható pontot megirányzunk a fekvő szál jobb- vagy baloldali végével, majd a távcsövet elforgatjuk az állótengely körül. Ha a fekvő szál *igazított*, akkor a pont képének a szálon kell maradnia. Ha ez nincs így, a fekvő szál helyzetét a szálkereszt *gyűrűfoglalatának (diafragma gyűrű) forgatásával* igazítjuk.

A szintező műszerek legjelentősebb hibája azonos jelenséget takar: mind a libellás mind a kompenzátoros műszereknél az irányvonal vízszintes síktól való eltérését (az irányvonal ferdeségét) okozza:

a *libellás műszereknél*

- a szintező libella tengelye nem párhuzamos a távcső irányvonalával. A hiba igazítható.

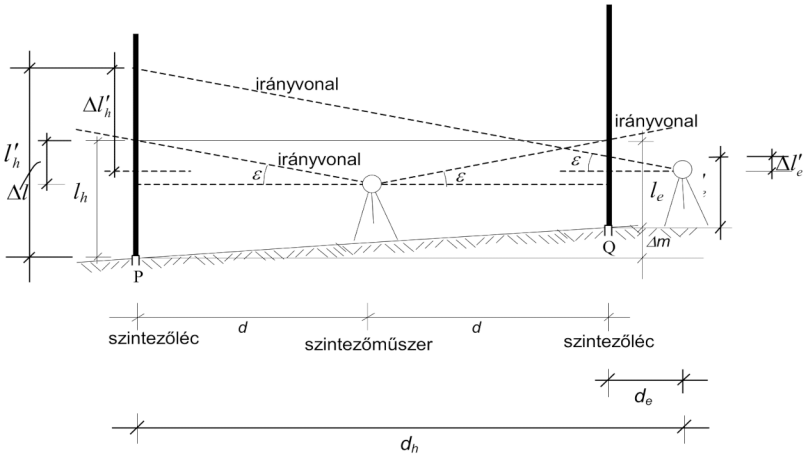
a *kompenzátoros műszereknél*

- a kompenzátor nem a vízszintes irányísíkot jelöli ki: a műszernek horizontferdesége van. A hiba nem igazítható.

Az alábbi vizsgálati eljárás egyaránt alkalmazható mindkét esetben. A vizsgálat lépései:

1. Felállunk a műszerrel a P és Q pontokon felállított lécektől egyenlő, $d \approx 30$-35 m távolságra (5.2.76. ábra), majd meghatározzuk a helyes Δm_{PQ} magasságkülönbséget (az irányvonal vízszintes síktól való eltérése a hátra- és előre leolvasás különbségéből kiesik, mert az egyenlő d távolság miatt mind a hátra-, mind az előre leolvasás értéke a helyes leolvasástól Δl értékkel különbözik):

$$\Delta m = l_h - l_e .$$



5.2.76. ábra: Az irányvonal ferdeség meghatározása

2. Felállunk a műszerrel az egyik léctől (az 5.2.76. ábrán a Q-tól) lényegesen kisebb - a képélesség-állító (parallaxis) csavar által beállítható legrövidebb - d_Q távolságra, mint a másiktól (d_P) és kiszámítjuk a

$$\Delta m' = l'_{\mathrm{h}} - l'_{\mathrm{e}}$$

hibás magasságkülönbséget (a $\Delta l'_h \neq \Delta l'_e$ egyenlőtlenség miatt az irányvonal vízszintes síktól való eltérése nem esik ki).

3. Mérőszalaggal megmérjük a műszer szintezőlécektől való pontos d_h és d_e távolságait. Az 5.2.76. ábra szerint felírhatjuk:

$$l'_h - \Delta l'_h = \Delta m + l'_e - \Delta l'_e, \qquad (5.2.68)$$

és

$$\Delta l'_h : \Delta l'_e = d_h : d_e, \qquad (5.2.69)$$

Ez utóbbi képletből $\Delta l'_e$ értékét kifejezve és behelyettesítve az (5.2.69) egyenletbe:

$$\Delta l'_h = \frac{\left(l'_h - l'_e - \Delta m\right) \cdot d_h}{d_h - d_e}. \qquad (5.2.70)$$

4. Ha jó a műszerünk, nyilvánvalóan $l'_h - l'_e - \Delta m = 0$. Ha nem jó, úgy *libellás szintezőműszer* esetében a távcső vízszintes szálát a helyes $l'_h - \Delta l'_h$ leolvasásra állítjuk be. A szintező libella ekkor kitért buborékját a libella igazítócsavarjával (ha van) hozzuk középre. Ha a libella nem igazítható, akkor a vízszintes irányszálat állítjuk be az $l'_h - \Delta l'_h$ értékre a szálkereszt függőleges igazítócsavarjával.

A hiba a kompenzátoros műszereknél nem igazítható, ha értéke túl nagy, az igazítás csak speciális szakműhelyben lehetséges. A hiba szögben kifejezett értéke az 5.2.76. ábra szerint egyszerűen számítható:

$$\varepsilon = \operatorname{arc\,tg} \frac{\Delta l'_h}{d_h}. \qquad (5.2.71a)$$

Mivel az ε szög értéke kicsi:

$$\varepsilon'' = \frac{\Delta l_h}{d_h} \cdot \rho'', \qquad (5.2.71b)$$

ahol a ρ'' az 1 radián szögmásodpercben kifejezett értéke.

A szintezőlécek hibái

A szintezőlécekkel szemben az alábbi követelményeket támasztjuk:

1. A szintezőléc szelencés libellájának síkja merőleges a léc hossztengelyére. A vizsgálathoz a lécet egy kb. 3 m hosszú felfüggesztett *zsinóros vetítővel* függőlegesre állítjuk. Ha a libella buborékja nincs középen, akkor azt a libella igazítócsavarjával középre állítjuk.
2. A lécsaru felületének síknak és a léc hossztengelyére merőlegesnek kell lennie.
3. A beosztás kezdőpontjának egybe kell esnie a lécsaru síkjával, hogy a *talpponthiba* zérus legyen. Egyetlen léc használatakor a talpponthiba a hátra- és előre leolvasás különbségéből kiesik, két léc használatakor viszont (s ez az általános) a két léc talpponthibájának különbségével hibás. Ezért a gyakorlatban elegendő, ha ez utóbbi értéket meghatározzuk. E célból a két lécet ugyanazon ponton állítjuk fel; a szintezőműszerrel a két lécen való leolvasások különbsége a két léc talpponthiba különbsége. Igazításra nincs lehetőségünk. Páros számú műszerállásnál a talpponthiba kiesik.

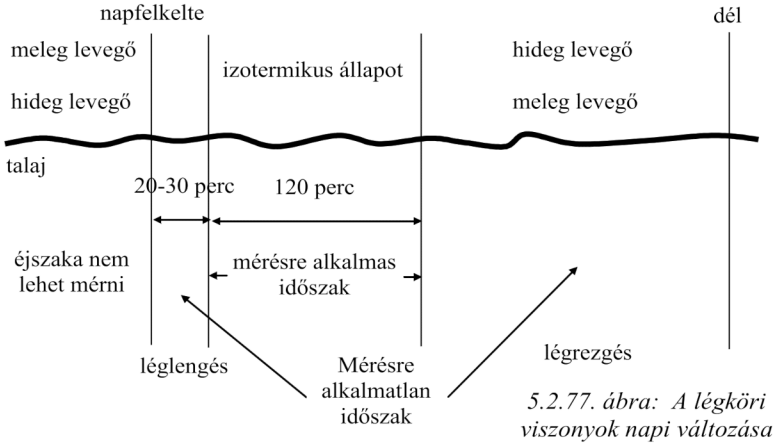
Szabatos mérésekhez a szintezőléceket komparálni kell (azaz meg kell határozni az egyes lécosztások tényleges hosszát).

A külső körülmények hibái

Az 5.2.2.2. fejezetben a teodolittal végzett mérések szabályos hibáinak tárgyalásánál már találkoztunk e problémakörrel. Az ott a magassági refrakcióra, a léglengésre, a légrezgésre elmondottak értelemszerűen itt is - talán még fokozottabban - érvényesek, hiszen mind a három a légrétegek függőleges irányú mozgását idézi elő.

Az említett hibák napszakok szerinti megoszlása ahhoz vezet, hogy a geometriai szintezést szigorúan véve csak a reggeli órákban napfelkelte után mintegy két órán keresztül, míg a késődélutáni órákban a napnyugat előtt két óra hosszat, de a mérést napnyugta előtt félórával befejezve, kell előírás szerint végezni. Ez célszerűen azt is jelenti, hogy a vonalszintezést a reggeli, az ismételt mérést a késődélutáni órákban végezzük. Az előbbit odaszintezésnek, az utóbbit visszaszintezésnek nevezzük. A talajközeli légrétegek napszak függvényében változó ″szimmetrikus″ viselkedése következtében az oda-visszaszintezés átlagából a külső körülmények hibái nagy valószínűséggel kiesnek.

Az 5.2.77. ábrán a légköri viszonyok napi változását követhetjük nyomon.



5.2.77. ábra: A légköri viszonyok napi változása

Ismeretes, hogy a Nap sugarai a talajt melegítik fel, a talaj feletti légrétegek a hőt a talajtól kapják. Az éjszakai órákban a nehezebb hideg légrétegek helyezkednek el alul, a nappali órákban pedig a könnyebb, meleg légrétegek. Így éjszaka a mérési közeg nyugodt, sajnos a látási viszonyok a mérést nem teszik lehetővé. A napfelkelte utáni 20-30 percben jelentkezik a léglengés. A szintezőléc távcsőben látható képe a kis frekvenciájú, nagy amplitúdójú függőleges mozgás következtében a legváratlanabb időpontokban elmozdul, ez időszakban szintezni nem szabad. A következő mintegy 120 percben az izotermia jelensége érvényesül: a levegő hőmérséklete a magassággal nem változik. Ez a szintezésre alkalmas idő. Az ezután következő időszakban az alul elhelyezkedő könnyebb meleg és a felül elhelyezkedő nehezebb hideg légrétegek véletlenszerű helycseréje egyre nagyobb frekvenciájú, kis amplitúdójú függőleges irányú mozgást eredményez, a szintezőléc távcsőben látható képe rezeg: a szintezés nem hajtható végre. Ez a légrezgés jelensége. A légrezgés a déli órákban éri el maximumát, ezután a talaj közeli légrétegekben fordított sorrendű változások következnek be. E miatt a szintezésre alkalmas másik napszak a napnyugta előtt félórával végződő két órás időtartam.

Mind a léglengés, mind a légrezgés jelensége - hasonlóan a *refrakcióhoz* (5.2.2.2. fejezet) - a *fénysugártörés* következtében alakul ki, a törésmutató változásának eredménye, de a tulajdonképpeni (a szintezés esetében magassági) refrakció alatt a talaj közeli légrétegek 24

órás lassú periódikus változását értjük. A változás következtében kialakult *refrakciógörbe* különböző görbületű lehet. A *k refrakció együttható* definíciójára az (5.2.16) képlet, viselkedésére az ugyanott tárgyalt jellegzetességek érvényesek. A két szintezőléc közötti rövid távolságon a refrakciógörbét *szimmetrikusnak* tételezve fel, közel sík terepen középen álló szintezőműszer mellett a szintfelület hatásához hasonlóan (5.2.66. ábra) a refrakció hatása is kiesik, erősen emelkedő terepen viszont a hátra- és előre leolvasások különböző magasságú légrétegben történnek, így a magassági refrakció hatása nem esik ki. Ezért a lécleolvasás talaj feletti magasságát a geodéziai utasításokban korlátozzák, a pontosságtól függően 30-50 cm-ben.

A teodolitoknál fontosabb *állványelcsavarodási hiba* hatása a szintezésre a viszonylag rövid idejű mérés miatt jelentéktelen, meg nem engedhető hibákhoz vezethet viszont - különösen kedvezőtlen, süllyedő talajon a műszer- és lécsüllyedés hatása. A szintezést ezért a lehető leggyorsabban és folyamatosan kell végezni.

A geometriai szintezés pontossága, a km-es középhiba

A 4.4.3. fejezetben a szórás és az előzetes középhiba fogalmának bevezetésekor már szó esett a geometriai szintezés pontosságáról, tisztáztuk az irányvonal-középingadozás és a magasságkülönbség előzetes középhibájának fogalmát (4.4.1. és 4.4.2. ábrák). Az *irányvonal-középingadozást* az

$$\alpha'' = \frac{\mu}{d} \cdot \rho'', \tag{4.4.8}$$

az egyetlen műszerállásból kapott magasságkülönbség *előzetes középhibáját* a

$$\mu_{\Delta m} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i^{\,2}}{n}}. \tag{4.4.9}$$

összefüggéssel definiáltuk. A (4.4.8) és (4.4.9) képletekben μ - egyetlen lécleolvasás középhibája, n - az ugyanarra a magasságkülönbségre vonatkozó mérések száma, d - a műszer és a szintezőléc távolsága, ρ'' - az egy radián szögmásodpercben kifejezett értéke, $\Delta_i = \Delta l_i - \Delta m$, ahol Δ_i az i. magasságkülönbség mérés *valódi hibája.*

A (4.4.9) képletben a valódi magasságkülönbség $\mu_{\Delta m}$ előzetes középhibája egyetlen - d távolságra vonatkoztatott - műszerállásból kapott magasságkülönbség középhibája. Tetszőleges távolságban lévő P és Q pontok magasságkülönbsége - mint láttuk -a

$$\Delta m_{\mathrm{PQ}} = \sum_{j=1}^{m} \left(l_{\mathrm{h}} - l_{\mathrm{e}} \right)_j \tag{5.2.66}$$

összefüggéssel számítható, ahol m - a d_{PQ} távolságon elhelyezkedő műszerállások száma. A hibaterjedés 4.5. fejezetben megfogalmazott (4.5.2) törvényszerűsége szerint, feltételezve, hogy az egyes d léctávolságok, s így az egyes magasságkülönbségek középhibái megegyeznek, a d_{PQ} távolságra vonatkozó előzetes középhiba felírható a

$$\mu_{\Delta m_{\mathrm{PQ}}} = \pm \mu_{\Delta m} \cdot \sqrt{m},$$

ill. a

$$\mu_{\Delta m_{\mathrm{PQ}}} = \pm \frac{\alpha''}{\rho''} \cdot d \cdot \sqrt{2 \cdot m} = \pm \frac{\alpha''}{\rho''} \cdot \sqrt{2 \cdot m \cdot d^2} \tag{5.2.72}$$

alakban. A (4.5.6) összefüggés alapján

$$\mu_{\Delta m} = \mu \cdot \sqrt{2},$$

a (4.4.8) - ból pedig

$$\mu = \frac{\alpha''}{\rho''} \cdot d \, .$$

Mivel $d_{PQ} = 2 \cdot m \cdot d$ a P és Q pontok közötti teljes hossz, ezért

$$\mu_{\Delta m_{PQ}} = \pm \frac{\alpha''}{\rho''} \cdot \sqrt{d_{PQ} \cdot d} \, . \qquad (5.2.73)$$

A d_{PQ} távolság különböző lehet, ezért célszerű bevezetni a kilométeres (km-es) középhiba fogalmát, amelyet úgy értelmezünk, mint a magasságkülönbség mérésének 1 km-es távolságra vonatkoztatott középhibáját. A μ_{km} *előzetes km-es középhibát* megkapjuk, ha az (5.2.73) összefüggésbe $d_{PQ} = 1\,\text{km} = 10^6$ mm -t helyettesítünk.

Az *utólagos kilométeres középhibát* az oda-vissza mérések eredményei alapján utólag számítják (6.2.1. fejezet).

Példa: A 4.4.3. fejezet szintezési példájában $\alpha = \pm 1{,}3''$. Helyettesítve a $d = 30\,\text{m} = 3 \cdot 10^4$ mm átlagos léctávolságot, a km-es középhibára kapjuk:

$$\mu_{km} = \pm \frac{1{,}3''}{206265''} \cdot \sqrt{10^6 \cdot 3 \cdot 10^4} \approx \pm 1{,}1 \text{ mm/km} \, .$$

5.2.5. A tahimetria műszerei

A tahimetria olyan mérési eljárás, amelynek során a mérési pontok vízszintes és magassági helyzetét együttesen, egy munkafolyamatban határozzuk meg. A *tahimetria* görög eredetű szó, magyarra fordítva *gyorsmérést* jelent.

A tahimetria során egy P pontra vonatkozóan a *hagyományos geodéziai* mérési eredmények (5.1. fejezet, 5.1.1. ábra) közül a *kezdőiránytól* számított φ vízszintes szöget, a d_v vízszintes távolságot és a Δm magasságkülönbséget mérjük. A *kezdőirány* általában egy *tájékozó irány* (5.2.47. ábra). A P pont a *hagyományos tahimetriában* ún. részletpont, az *elektronikus tahimetriában* lehet *részletpont* és alappont is (2.3. fejezet, 2.3.1. ábra).

A *tahimetria műszerei* a tahiméterek. Alapműszerük a *teodolit*, esetleg *busszola-teodolit*. A tahimétereket ellátják közvetett távolságmérésre alkalmas *távmérőkkel*, s a műszerek tartozékát képezik a távméréshez használt bázislécek, más néven tahiméteres lécek, ill. visszaverő prizmák.

A tahimétereknél megkülönböztetünk egyszerű, redukáló és elektronikus tahimétereket. Az egyszerű és redukáló tahiméterek ún. *optikai tahiméterek*, elnevezésük az optikai távmérésre (5.2.3.2. fejezet) vezethető vissza: mind a *vízszintes távolságot*, mind a *magasságkülönbséget optikai úton* kapják. Az *elektronikus tahiméterek* közhasználatú elnevezése az angol nyelvű eredeti elnevezés alapján a mérőállomás, vagy a teljes mérőállomás (Total Station).

Az *egyszerű tahiméter* Reichenbach-féle szálakkal ellátott teodolit, ahol a távolság és magasságkülönbség meghatározásához az α magassági, vagy a Z zenitszög mérése szükséges. A vízszintes távolságot az (5.2.32a), a magasságkülönbséget az (5.2.32b) összefüggés alapján számítással kapják.

Hagyományos *redukáló tahimétereket* ma már nem gyártanak, de néhány típusukat jelenleg még használják. Tárgyalásunkat ezért két típusra korlátozzuk: a diagramtahiméterek és a belső bázisú tahiméter. Az elnevezés mindkét esetben az optikai távmérés módjára utal.

5.2.5.1. Diagramtahiméterek

A *Reichenbach-féle távmérőszálak* (5.2.53. ábra) a szállemezre állandó z távolsággal felhordva állandó távmérő szöget jelölnek ki, s így a távcső magassági szögéhez tartozó ferde

távolságot mérjük. Ha *közvetlen vízszintes távolságot* akarunk mérni, akkor a távmérő szálak z távolságát kell az optikai távolságmérés képlete szerint az α szög függvényében z_d értékre változtatnunk:

$$z_d = z \cdot \cos^2 \alpha . \qquad (5.2.74)$$

A *magasságkülönbség* mérésekor pedig a z távolságot z_m értékűvé kell alakítanunk:

$$z_m = z \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha . \qquad (5.2.75)$$

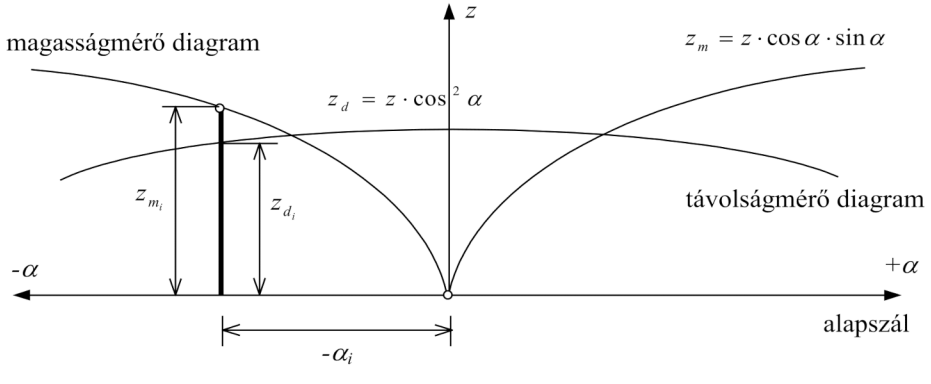
Vízszintes távcsőhelyzet mellett ($\alpha = 0^o$) $z_d = z$, mert cos $0^o = 1$, ill. $z_m = 0$, mert $\sin 0^o = 0$.

A fenti elvet a műszerkonstruktőrök a változó száltávolságú tahiméterekben valósították meg. Ezek közül a diagramtahimétereket ismertetjük az alábbiakban.

A diagramtahiméterek alapgondolatát a 19. század végén dolgozták ki Roncagli és Urbani. Vegyünk fel egy derékszögű koordinátarendszert úgy, hogy az abszcisszatengelyre előjelhelyesen a *magassági szögeket*, az ordinátatengelyre pedig a magassági szögek különböző értékeihez számított *távmérő-* és *magasságmérő száltávolságokat* (z_d és z_m) hordjuk fel az 5.2.74 és az 5.2.75. képleteknek megfelelően . Ezek értékeit összekötve, az 5.2.78. ábrán látható *diagramokhoz* jutunk. Ha most az α_i magassági szöghöz tartozó vonás helyett a mérendő távolság másik végpontján cm beosztású tahiméterléc áll, úgy arról a megváltozott z_{m_i} száltávolság szerint az alapszál és a távolságmérő diagramszál között a vízszintes távolságnak megfelelő b_d *bázishosszt*, a megváltozott z_{m_i} száltávolság szerint az alapszál és a magassági diagramszál között a magasságkülönbségnek megfelelő b_m *bázishosszt* olvassuk le. A k_d és k_m szorzóállandókkal szorozva, közvetlenül a vízszintes távolságot és a magasságkülönbséget kapjuk (az 5.1.32a. és az 5.1.32b. képletekben a szögfüggvényekkel való szorzás elmarad):

$$d_v = k_d \cdot b_d \quad \text{és} \qquad (5.2.76a)$$

$$\Delta m = k_m \cdot b_m + h - l \qquad (5.2.76b)$$



5.2.78. ábra: A diagramtahiméterek alapgondolata

Az álláspont és az irányzott pont tényleges magasságkülönbségének meghatározásához a *h-l* értéket, vagyis a tahiméter fekvőtengelyének és az irányzott pont felett álló léc pont feletti magasságának különbségét még figyelembe kell venni (5.2.54. ábra). A vízszintes távolság szorzóállandója általában 100, esetleg 200, a magassági szorzóállandó 10, 20, 50, esetleg 100. Nagyobb abszolút értékű magassági szögekhez magasabb szorzóállandójú magassági diagramok tartoznak. A magassági diagramokon feltüntetik az előjelet is, attól függően, hogy az irányzott pont az állásponthoz képest alacsonyabban (negatív előjel), vagy magasabban

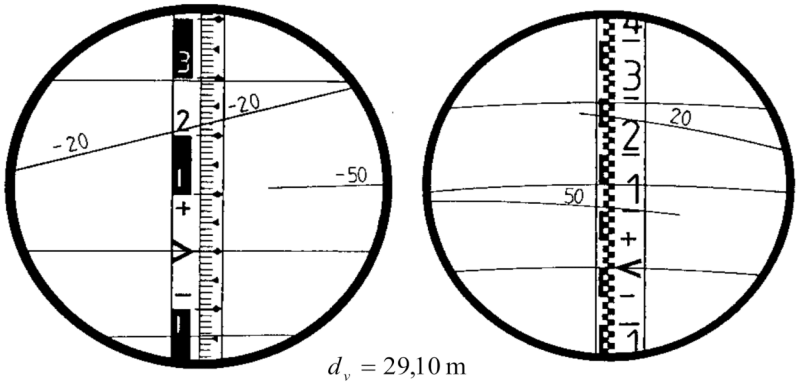
(pozitív előjel) helyezkedik el. Vagyis a magasságkülönbség - mint tudjuk - előjeles mennyiség.

Az első célszerűen használható diagramtahimétert, a még ma is használatos tahiméterek "ősét" Hammer és Fennel készítették. A diagramokat nem egyenesre, hanem egy (diagram-) körre hordták fel poláris koordinátákkal úgy, hogy a kör középpontja körül α szögelfordulási helyen a $z_d = z \cdot \cos^2 \alpha$, ill. a $z_m = z \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha$ értékek szerepeljenek. A *diagramkört* központosan szerelték a fekvőtengelyre, s a távcső fekvőtengely körüli elfordulása automatikusan vezérelte az α szögelfordulásnak megfelelő diagramrész bevetítését a látómezőbe. A diagramok merev beépítésűek, az optikai bevetítés helye változik (a bevetítő prizma fordul el a távcsővel).

Az 5.2.79. ábra a Zeiss Dahlta 010A és a MOM Ta-D4 ma is használatos diagramtahiméterek látómezejét mutatja a hozzájuk tartozó tahiméterlécekkel együtt. Az ábrán feltüntetjük a lécről leolvasható - egyébként a két tahiméternél az ábrán egyenlő - vízszintes távolságot és a magasságkülönbséget (itt a *h-l* érték nélkül).

Mindkét műszerhez speciális tahiméterléc tartozik. A Dahlta műszerhez 4 m-es léc tartozik, amelynek a léctalphoz képest 1,40 m magasságban lévő *ék alakú kezdősztása* a lécet kettő, felfelé fekete, lefelé piros színű növekvő számozású beosztásra osztja. Az alapszálat célszerű mindig az ék alakú szálra illeszteni, ekkor ez lesz mindig az *l* értéke.

A MOM Bezzegh - Gyimothy (Dr. Bezzegh László az Erdészeti és Faipari Egyetem Földméréstani Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára volt 1979-ig) szabadalma alapján készült diagramtahiméteréhez 3 m hosszúságú léc tartozik. A léc kezdősztása (itt is ék alakú jel) a léctalptól 1 m-re van, de a 70 cm-es kihúzható léctoldattal a műszermagasság beállítható. Ekkor *h-l* = 0, vagyis a magassági diagramszál mentén való leolvasás a tényleges magasságkülönbséget adja.



5.2.79. ábra: A Zeiss Dahlta 010A és a MOM Ta-D4 diagramtahiméterek látómezeje

A MOM tahiméterek előnye, hogy a diagramok jó közelítéssel kör alakúak (ún. kördiagramok), s mivel körök, gyártásuk lényegesen könnyebb volt. További előny, a diagramok a Dahltahoz képest kevésbé meredek lefutásúak, így a lécbeosztással való metszésük kevésbé bizonytalan.

A diagramtahiméterek a domborzatfelvétel, a szintvonalas térkép készítésének sokáig legkedveltebb eszközei voltak. A vízszintes távolságmérés középhibája mintegy ± 0,10-0,15 m, a magasságkülönbségé, a szorzóállandótól is függően, mintegy ± 0,25-0,30 m. A diagramtahimétereket a teodolitokhoz hasonló szabályos műszerhibák terhelik, vizsgálatuk, esetleges

igazításuk megegyezik a teodolitokéval. A diagramok vizsgálata legfeljebb a pontosságukra terjedhet ki, igazításukra lehetőség nincs.

5.2.5.2. Belső bázisú kettősképes redukáló tahiméter (BRT 006)

A *BRT 006* a Teletophoz (5.2.3.2. fejezet) hasonlóan tört távcsövű műszer, működési elvét szintén az 5.2.59. ábrán követhetjük nyomon. A műszeren redukáló berendezés található, ami lehetővé teszi a vízszintes távolság közvetlen mérését, s így - a magasságkülönbség mérési lehetőségével együtt - a műszer *tahiméterként* való használatát. A redukáló berendezés egy váltógombbal kiiktatható, ebben az esetben a ferde távolságot mérjük. A magasságkülönbség megállapítása a magassági szög leolvasásával történik. A bázisléc hossza itt is 30 cm, de a fél cm-es osztások, ill. a fél mm-es aláosztások miatt a hatótávolság $k = 100$ szorzóállandó mellett 60 m. A műszerhez speciális rövid vízszintes *jelléc* tartozik. 60 m-nél nem nagyobb távolságok esetén a középső jelet használjuk, a jelléc közepétől 15-15 cm-re, ill. 30-30 cm-re található jelek a műszer mérési tartományát 120, ill. 180 m-re egészítik ki. A távolságmérés középhibája mintegy ±0,06 m, erre utal a műszer megnevezésében szereplő szám.

5.2.5.3. Elektronikus tahiméterek

Az elektronikus tahiméterek, vagy, más néven teljes mérőállomások a legutóbbi 25-30 év műszerfejlesztésének eredményei, a hagyományos geodézia *legkorszerűbb műszerei.* Lényegében egy elektronikus teodolit, egy elektronikus távmérő, egy mikroprocesszor, egy digitális tabló (billentyűzet és kijelző), egy szoftver és egy terepi digitális adatrögzítő kombinációi, legkorszerűbb kivitelükben mindezek egybeépítve, *egyetlen műszerben* helyezkednek el (régebbi típusaik között voltak az ún. modul rendszerűek, ahol a távolságmérő, a tabló és az adatrögzítő modulként voltak csatlakoztathatók). A műszerekhez hosszú élettartamú, tölthető NiCd (nikkel-kadmium) akkumulátorok tartoznak. Az elektronikus tahiméterek a hagyományos tahiméterektől részben a felhasználás jóval szélesebb körében, részben felépítésükben, elvi megoldásaikban különböznek.

A *felhasználás* szerinti lényeges különbség, hogy míg az eddig ismertetett - optikai-geometriai elven működő - tahimétereket csak *részletmérési feladatokra*, ill. az azokhoz szorosan kapcsolódó megelőző *alappontsűrítésre* (6. fejezet) használják, addig az utóbbiak - jóval nagyobb hatótávolságuk (legalább 2-2,5 km) és pontosságuk (a távolságtól függően néhány mm) révén - az országos alapponthálózat pontjainak meghatározására (6.4. fejezet), ill. *kitűzésre* (8. fejezet) is alkalmasak.

A *felépítésbeli lényeges különbségek* az alábbiak:

- Mind a vízszintes és magassági szögmérés, mind a távolságmérés automatizált, a szögmérés az elektronikus teodolitok, a távolságmérés az elektronikus távolságmérők elve alapján történik;
- A teodolitok és távmérők egyes szabályos hibaforrásai (pld. az *állótengely ferdesége*) figyelembe vehetők, ill. a külső körülmények hatása részben már a mérés folyamán kiküszöbölhető (pld. *meteorológiai redukció*);
- A mérések jegyzőkönyvbe foglalásának fáradságos művelete az automatikus adatrögzítés révén elmarad, a műszerek billentyűzetén számos opció szolgálja az adatok későbbi számítógépes feldolgozásához szükséges információk (az álláspont száma, műszermagasság, jelmagasság, stb.) bevitelét;
- Az automatikus adatrögzítés mellett a mérések eredményei a műszer tablóján digitálisan is megjelennek, éspedig a beállított opciónak megfelelően számos variációban;

- A mérés eredményei megfelelő output-input csatlakozással PC-re vihetők, értelmező és feldolgozó program segítségével számítógépes adatfeldolgozás, ill., digitális rajzgéphez (plotterhez) csatlakoztatva, automatikus térképkészítés végezhető.



5.2.80. ábra: A Sokkia cég PowerSet elektronikus tahimétere (teljes mérőállomása)

A teljes mérőállomások menürendszerének felépítésében, mikroprocesszorral történő vezérlésében, a műszerekkel végzett mérések és számítások folyamatában típusonként eltérő lehetőségek vannak. Példaként a Sokkia cég PowerSet mérőállomás (5.2.80. ábra) lehetőségeit, a felállás és mérés legfontosabb lépéseit ismertetjük, megjegyezve, hogy kisebb módosításokkal mindegyik műszer hasonló lehetőségekkel rendelkezik:

- Felállás az állásponton: a teodolitokhoz, optikai tahiméterekhez hasonló módon;
- A műszer bekapcsolása: a bekapcsolás után közvetlenül egy önellenőrző folyamat indul el, ellenőrzi a műszer rendeltetésszerű, normális működését;
- A kijelzőn általában megjelenik az ellenőrző folyamat végeredménye, a kijelző alapállásba áll be (ez általában függ attól, milyen állapotban kapcsoltuk ki a műszert az előző használat után);
- A vízszintes és a magassági kört kiinduló helyzetbe kell állítani: ezt a folyamatot a körök indexelésének nevezzük. Ha az állótengely ferdesége nagyobb, mint a kompenzátor működési tartománya, az állótengelyt ki kell igazítani (megjegyezzük, hogy a kompenzátor általában ki- és bekapcsolható, az előbbi pld. erős szél vagy vibrációs hatás esetén);
- Bekapcsoljuk a mérés (Measure) üzemmódot. A magyar változatban a kijelzőn az alábbi jelképek és a kapcsolódó mérési eredmények jelennek meg (nem egyszerre):

ppm	meteorológiai redukció
IrÉrt	Irányérték (a szokásos jobbsodrású vízszintes körön mérve)
IrBal	Irányérték (balsodrású vízszintes körön mérve)
Mag. kör	zenitszög
Msz	magassági szög
Tferde	ferde távolság
T.vsz	vízszintes távolság
Mkül	magasságkülönbség
N	numerikus adatbevitel
A	alfabetikus adatbevitel
⊥+	kompenzátor bekapcsolva



5.2.81. ábra: A Sokkia cég PowerSet műszerének tablója

Fentiekkel egyidejűleg megjelenik az akkumulátor telítettségi szintje. Az 5.2.81. ábrán a ppm érték, a vízszintes szög, a zenitszög és a ferde távolság látható.

A mérés végrehajtása előtt a vízszintes kört az adott értékre kétféleképpen állíthatjuk be: vagy az *adott érték beadásával*, vagy a *vízszintes kör elforgatásával*. A távmérés végrehajtása előtt beállítható a *meteorológiai redukció* értéke. Mérés közben ellenőrizhető a prizmáról visszavert jel erőssége.

1 hétig tartó üzemszünet után a memóriában tárolt adatok törlődnek. Vigyázni kell arra, hogy a terepi adatrögzítő tartalmát időben számítógépre vigyük.

A legtöbb teljes mérőállomás használatakor (így a PowerSetnél is) lehetőség van arra, hogy a mérést beépített rögzített programokkal vezéreljük. Ilyenek pld.:

- Szabad álláspont meghatározás (6.1.5. fejezet)
- Az álláspont magasságának meghatározása
- A vízszintes kör tájékozása (5.2.2.2. fejezet)
- Részletpontok mérése (7. fejezet)
- Tervdokumentációban adott pontok kitűzése (8.2. fejezet).

A felsorolt lehetőségek részletesebb tárgyalására tanulmányaink során még részletesen visszatérünk.

A teljes mérőállomásokat a forgalmazó cégek olyan programcsomag(ok)kal látják el, amelyek a terepi mérés során rögzített eredményeket gyakorlatilag térképezésre kész adathalmazként értelmezik. Ennek igénybevétele nem előírás, de a lehetőség megvan rá. A Sokkia cég műszereit Magyarországon forgalmazó cég adatfeldolgozó programcsomagja a GeoProfi és az AutoGeo különböző verziói. Ezek ismertetésétől itt eltekintünk.

Érdemes megemlíteni, hogy vannak olyan elektronikus tahiméterek (egyészlelős műszerek - one man stations) is, amelyeket az észlelő a visszaverő prizma mellett állva távolról vezérel, így *elvileg* egyedül is elegendő a mérés elvégzéséhez. Ilyenkor a visszaverő prizma is aktív: fotoelektromos kapcsolatban van magával a műszerrel, amely az elvégzett mérési-számítási műveletek eredményeit rádiókapcsolat útján hozza a "*prizma tudomására*". Így az ott tartózkodó észlelő pontosan tudja, mi történik magában a műszerben. E műszertípust először a svéd AGA cég jelentette meg.

5.3. Globális Helymeghatározó Rendszer (GPS)

Az az elképzelés, hogy földi pontok helyét három dimenzióban (3D) határozzuk meg a Föld körül keringő műholdak segítségével, egyidős az első műholdak megjelenésével (1957). Az akkori két világrendszer két meghatározó hatalma, az Egyesült Államok és a Szovjetúnió egymással párhuzamosan dolgoztak a feladat megoldásán. Az időközben különböző szinten megvalósult műholdas helymeghatározó rendszerek fejlesztésébe bekapcsolódott az Európai Űrkutatási Szervezet is. A két nagyhatalom rivalizálása két perspektivikus globális helymeghatározó rendszert hozott létre: a NAVSTAR GPS amerikai és a GLONASS szovjet (orosz) műholdas rendszert. A rendszerváltozás óta - bár voltak biztató kísérletek a két rendszer együttes használatára, sőt készültek mindkét rendszer jeleinek vételére alkalmas vevők, az, amit ma GPS-nek (Global Positioning System - Globális Helymeghatározó Rendszer) nevezünk, a ma már teljes kiépítettségű NAVSTAR GPS.

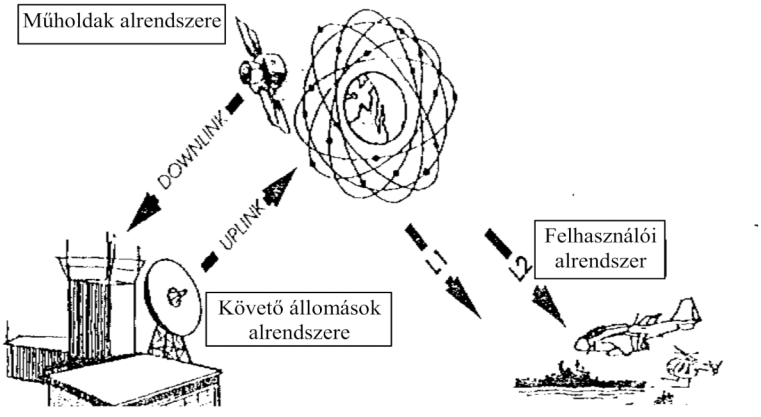
A NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging - Navigációs Műholdas Idő és Távolságmérés) GPS rendszer (a továbbiakban GPS) háromdimenziós hely-, idő és sebesség meghatározást tesz lehetővé, a föld felszínén bárhol, bármikor, időjárási körülményektől függetlenül a nap 24 órájában. Ez az elsősorban katonai célokra kifejlesztett rendszer mind földi pontok helyének meghatározására, mind mozgó objektumok navigálására használható. 1983-ban merült fel az ötlet, miszerint az USA a rendszert polgári, ill. nem NATO tagok számára is hozzáférhetővé teszi. Azóta a GPS műholdak jeleire *kétféle kódot* ültetnek, egy alacsonyabb pontosság elérésére alkalmas C/A (*Course Acquisition* - durva adatnyerés, vagy *Civil Access* - polgári hozzáférés) és egy nagypontosságú alkalmazásokat lehetővé tevő ún. P (*Precise* - pontos, vagy *Protected* - védett) kódot. A GPS rendszer polgári célú használata világméretekben 1987-től datálódik. A polgári felhasználókat sokáig két korlátozás érintette: a *Selective Availability* (*S/A*) - a szelektív hozzáférés (műhold órájának „elrontása", fedélzeti efemeridák pontatlanná tétele) és az *Anti-Spoofing, A-S* - a P kódhoz való hozzáférés korlátozása. Az S/A kódot W. Clinton amerikai elnök 2000. május 2-án feloldotta, azóta a GPS polgári célú használata egyszerűbbé és gyorsabbá, pontosabbá vált. Az *A-S* jelenleg is érvényben van: lényege, hogy a nyilvános P-kódot egy titkos, polgári célokra hozzáférhetetlen, GPS formátumú esetleges zavaró jelek ellen védelmet nyújtó ún. Y-kódra alakítják át.

Magyarországon 1988-ban számos hazai szakember és intézmény közös akcióprogramban lépett fel a GPS hazai alkalmazása és az ehhez szükséges vevőberendezések beszerzése érdekében: az - akkori elnevezések szerint - a MÉM Földügyi és Térképészeti Hivatala, a HM Térképész Szolgálat Főnökség, az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézete, a BME Geodéziai Intézete és az EFE Földmérési és Földrendezői Főiskolai Kara (jelenleg NYME Geoinformatikai Kar) vezető szakemberei egy szakértői csoportot (Bányai László, Mihály Szabolcs, Németh István, Soha Gábor) bíztak meg a GPS bevezetését elősegítő és elemző tanulmány készítésére. Az elkészült tanulmány tárgyalta a GPS hazai alkalmazásának (mára már teljesült) lehetőségeit és vázolta a GPS hazai bevezetésének három ütemét. A hazai alkalmazás talán első és legfontosabb területeként a IV. rendű EOVA (Egységes Országos Vízszintes Alapponthálózat) befejezését nevezte meg. Azóta, mint tudjuk, nem csak ez teljesült, hanem 1998-ra, a tanulmány elkészítésének 10. évfordulójára a – több mint 1000 pontból álló, s javarészt éppen IV. rendű pontokat is tartalmazó – Országos GPS Alapponthálózat (OGPSH) is (az országos alapponthálózatokkal kapcsolatos ismeretekkel a 6.4. fejezetben találkozunk majd).

5.3.1. A GPS felépítése

A GPS három ún. alrendszerből (5.3.1. ábra) áll.

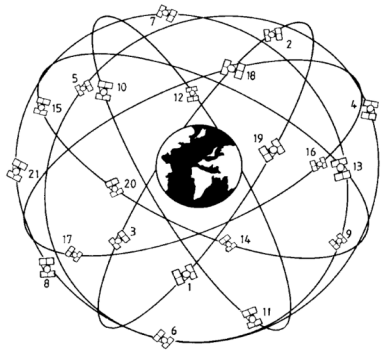
- Műholdak alrendszere
- Követő állomások alrendszere
- Felhasználói alrendszer.



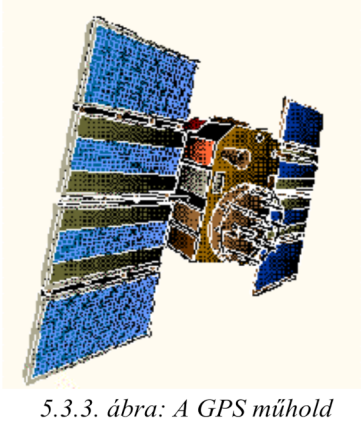
5.3.1. ábra: A GPS alrendszerei

Mint az ábrából látható, a műholdak és a követő állomások alrendszerének kapcsolata kétirányú, a műholdak alrendszerétől a felhasználói alrendszer felé egyirányú a kapcsolat, míg a felhasználói alrendszer a követő állomásokhoz csak a műholdakon keresztül kapcsolódik.

5.3.1.1. A műholdak alrendszere



5.3.2. ábra: A GPS műholdak



5.3.3. ábra: A GPS műhold vázlatos rajza

A műholdak alrendszere alatt a világűrben keringő GPS műholdak összességét (5.3.2. ábra) értjük.

A GPS műholdak száma elvileg 24, a tényleges számuk azonban általában ennél valamivel nagyobb.

Föld körüli pályájuk az Egyenlítő síkjával 55°-os szöget zár be, a pályamagasság 20200 km, a keringés periódusa egy fél csillagnap (egy csillagnap az az időtartam, amely egy saját mozgásától megfosztott végtelen távoli csillag két egymást követő delelése között eltelik), vagyis a Földet 11 óra 58 percenként kerülik meg. A jó közelítéssel napi kétszeri keringési periódus következtében minden egyes műhold ugyanazon pont felett naponta kétszer is elhalad.

A 24 műhold 6 pályasíkon kering, vagyis a műholdak száma minden pályasíkon 4.
A műholdak vázlatos rajzát a 5.3.3. ábrán láthatjuk.

A GPS műholdakat nagy stabilitású oszcillátorokkal szerelték fel, amelyeknek 10,23 MHz-es kimenő jelét két vivőfrekvenciára szorozzák fel:

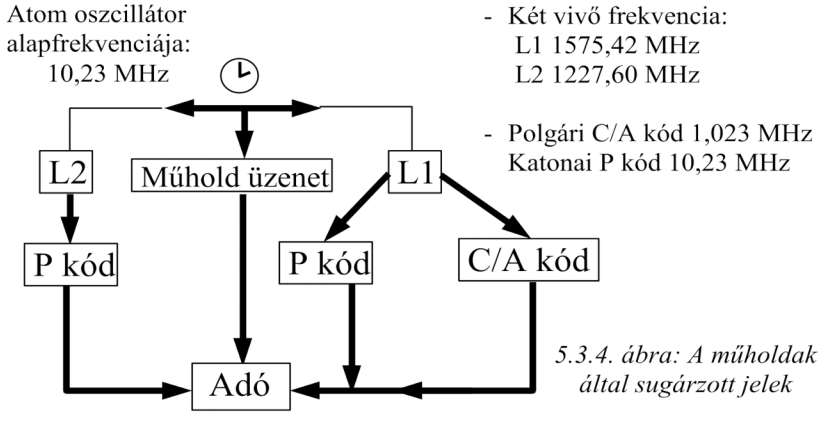
- a 154-szeres felszorzással adódó 1575,42 MHZ L1 (Link1) frekvenciára és
- a 120-szoros felszorzással kapott 1227,60 MHz-es L2 (Link2) frekvenciára.

Az L2 frekvenciájú jel a P kódot, az L1 frekvenciájú jel mind a P kódot, mind a C/A kódot tartalmazza.

A GPS műholdak által sugárzott jelekre kódokat és üzeneteket ültetnek. A GPS vevő a kódokat hasonlítja majd össze a saját kódjaival és – a jel terjedési sebességének ismeretében – számítja a műhold-vevő távolságot.

A műholdak által kibocsátott jelek struktúráját a 5.3.4. ábrán foglaljuk össze.

A C/A kód ún. *álvéletlen* jeleinek frekvenciája 1,023 MHz, A P kód szintén *álvéletlen* jeleinek gyakorisága pedig 10,23 MHz. Az L1 vivőhullámot a C/A és a P kóddal, az L2 vivőhullámot csak a P kóddal modulálják.



5.3.4. ábra: A műholdak által sugárzott jelek

A műholdak további fontos feladata, hogy üzenetet sugározzon a felhasználói alrendszer irányába. A műhold üzenet többek között az alábbi információkat tartalmazza:

- az órakorrekció együtthatóit és az adatok korát;
- a fedélzeti efemeridákat;
- az ionoszféra állapotának modelljét, a GPS és a világidő adatait, az egyes műholdakhoz tartozó információkat;
- a műhold almanachot és a 24 műhold állapotjellemzőit.

A fedélzeti efemeridák olyan, a műholdak által sugárzott pályaadatok, amelyek lehetővé teszik a műhold helyzetének meghatározását az adott időpontban. Minden műhold csak a saját efemeridáit sugározza. Az almanach az efemeridáknál pontatlanabb adatokat tartalmaz. Ezeket az adatokat mindegyik műhold sugározza. Az almanach feladata, hogy a GPS vevők a műholdakat megtalálják, ezért a kisebb pontosság is elegendő.

5.3.1.2. A követő állomások alrendszere

A követő állomások (5.3.5. ábra) feladata a műholdakkal való folyamatos kapcsolattartás, a GPS műholdak követése, ellenőrzése, Föld körüli pályáik számítása, adatok továbbítása a műholdak felé.

Az alrendszer az Egyenlítő mentén közel egyenletesen elosztott, ismert koordinátákkal rendelkező öt állomásból áll: *Hawaii, Ascencion, Diego Garcia, Kwajalein* és a *Colorado Springs* fő vezérlő központ.

Mind az öt állomás követi a műholdakat, a kapott nyers adatokat az egész rendszer működését összehangoló Colorado Springs vezérlő központba juttatják, ahol meghatározzák a műholdak órahibáját, az efemeridákat és az almanach adatokat. Ezek az adatok a műholdakra, majd műhold üzenet formájában a felhasználói alrendszerbe (a GPS vevőkbe) kerülnek.



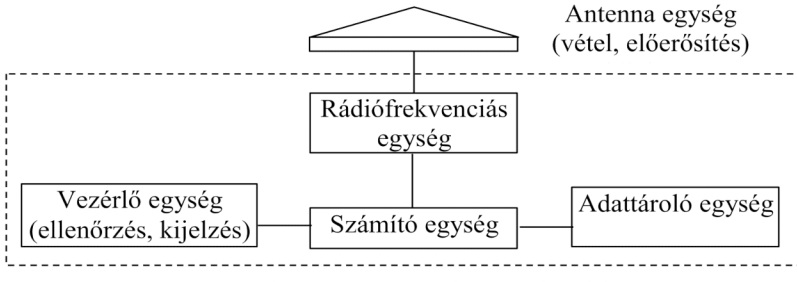
5.3.5. ábra: A követő állomások

5.3.1.3. A felhasználói alrendszer

Felhasználói alrendszer alatt a GPS vevőkészülékeket és a hozzájuk tartozó feldolgozó programok összességét értjük. A vevők veszik, elemzik és bizonyos szintig feldolgozzák a GPS műholdak jeleit és üzeneteit. Megkülönböztetünk navigációs és/vagy geodéziai célú, egy-, vagy kétfrekvenciás (csak az L1, vagy az L1 és L2 frekvenciák vételére is alkalmas), valamint a csak a C/A és mind a C/A, mind a P kód vételére alkalmas vevőket.

Számunkra a geodéziai célú (nagy pontosságú) vevők a fontosabbak. Szinte minden geodéziai műszereket gyártó cég hoz forgalomba geodéziai célú GPS vevőket is. Néhány ismertebb típus: Trimble, Astech, Leica, Rogue, Sokkia. Már itt megemlítjük, hogy amikor geodéziai pontosságot akarunk GPS vevőkkel elérni, általában nem egy, hanem két vagy több vevőre van szükség.

A GPS vevők antenna-egységből és jelfeldolgozó egységből állnak (5.3.6. ábra).



5.3.6. ábra: A GPS vevők sematikus felépítése

Az antenna-egység veszi a műholdak által kisugárzott jeleket, előerősíti azokat és továbbítja a rádiófrekvenciás egységbe. A gyakorlatban a horizont felett mintegy 10° -15°-nál kisebb magassági szög alatt érkező jelek vételét az antennákban korlátozzák, mert az ún. több

utas hullámterjedés (multipath) miatt a környező tereptárgyakról visszaverődő jelek a mérések eredményét meghamisítják.

A *rádiófrekvenciás egység* azonosítja a műholdakat és meghatározza a műhold-vevő távolságot Utóbbi kód-, ill. fázisméréssel történhet.

A *számító egység* tárolja a pályaadatokat, kiszámítja a távolságokat és meghatározza a vevő helyzetét. Utóbbi különösen a valós idejű (real time) navigáció esetén fontos.

A *vezérlő egység* - a kijelző segítségével - lehetővé teszi, hogy a felhasználó bizonyos mértékig beavatkozzon a mérés folyamatába.

Az *adattároló egységnek* elsősorban a geodéziai pontosságú helymeghatározás esetén van szerepe, abban az esetben, amikor utófeldolgozás történik.

A tápegység feladata a GPS vevő energia ellátása.

Jelfeldolgozás: a vevőkben, a műholdakhoz hasonlóan, szintén található egy oszcillátor, amely a vett jellel azonos frekvenciájú ún. referencia jelet állít elő. E jelre az oszcillátor a műholdakkal azonos kódot ültet. A műholdak időrendszere és a vevők órája közötti szinkronizációs eltérés miatt a mért időkülönbségeket az ún. órahiba terheli. Az órahibák az időben változnak, ezért órajárásról, azaz driftről beszélünk. Az órajárás oka többnyire az, hogy a GPS vevők órájának stabilitását csak jóval rövidebb időre biztosítandó, a vevőkben a jóval olcsóbb kvarcórát alkalmazzák.

A GPS vevők ma is rendkívül gyors ütemben fejlődnek. A vevők mérete, súlya folyamatosan csökken, használatuk egyre praktikusabbá válik.

A vevőkhöz adatfeldolgozó szoftverek is tartoznak. A vevők pontosságát - típusuk mellett - a szoftverek is jelentős mértékben befolyásolhatják. Megkülönböztetünk ún. kereskedelmi és tudományos igényű szoftvereket. Előbbieket a GPS vevőket gyártó cégek forgalmazzák, utóbbiak speciális kutatásokhoz készülnek és nagyobb pontosságúak.

5.3.2. A távolságmeghatározás módszerei

A GPS-sel történő háromdimenziós helymeghatározás a műholdak és a GPS vevők közötti távolságmérésre vezethető vissza. Az elektronikus távolságméréssel ellentétben a GPS távolságmérés egyutas távolságmérés, vagyis az adó és a vevő külön, a mérendő távolság két végpontján helyezkednek el (az adó a műholdon, a vevő a Föld felszínén, esetleg a levegőben). A jel futási idejének mérése a kódok futási idejének mérésével (kódtávolság) és fázismméréssel (fázistávolság) történhet.

5.3.2.1. Távolságmérés kódméréssel

A vevő a műholdról érkező jellel elvileg azonos frekvenciájú *referencia jelet* állít elő, vagyis mind a műholdak, mind a vevő ugyanazt a kódot (C/A vagy P) használják. A műholdakat és a vevőket, a *drift* határán belüli pontossággal, úgy szinkronizálják, hogy azok ezt a *kódot* egy időben (a C/A kódot minden milliszekundum kezdetén, a P kódot 267 naponta) generálják. A vevő összehasonlítja a műholdról érkező kódot a saját kódjával és méri a kód ugyanazon részei közötti *dt időkésést* (5.3.7. ábra).



5.3.7. ábra: A kódméréses távolságmérés elve

A *dt időkésés* az az időkülönbség, amely a műhold kódjának kibocsátási ideje (a műhold időrendszerében) és a vevőbe érkezésének ideje (a vevő időrendszerében) között eltelik. A műhold és a vevő közötti távolság a mért futási idő és a rádióhullámok terjedési sebességének a szorzataként számítható:

$$\rho = c \cdot dt \,. \qquad (5.3.1)$$

Az órák tökéletlen szinkronizációja miatti *órajárás* a távolságmérésnél hibát okoz. A két óra eltérése miatt ezért a *"valódi"* távolság helyett csak az ún. pszeudo- (ál-) távolság mérhető. Az órajárás a helymeghatározásra felírható egyenletrendszerbe *ismeretlenként* bevihető: a háromdimenziós helymeghatározás *3 ismeretlen koordinátájával* együtt ezért összesen *négy ismeretlent* kell meghatározni. A négy ismeretlen meghatározásához négy műholdra történő egyidejű (szinkron) távolságmérés szükséges.

A kódméréses távolságmérés pontossága C/A kóddal mintegy 3 méter. A P kóddal való mérés ennél pontosabb: mintegy 30 cm. A legújabb GPS vevőkkel már C/A kóddal is néhány dm pontosság elérhető. A kódméréses módszer elsősorban a kisebb pontossági igényű navigációs alkalmazásoknál használatos.

5.3.2.2. Távolságmérés fázismméréssel

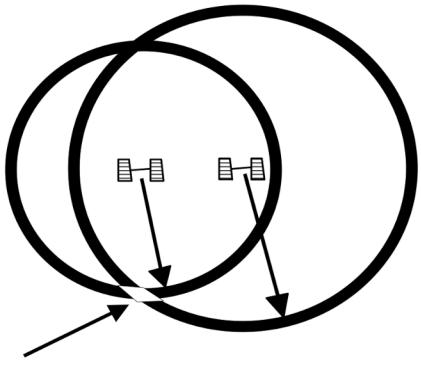
A kódmérés mellett a távolság fázismérésből is levezethető. Az adóból kibocsátott és az adótól ρ távolságban lévő GPS vevő által vett jel $\Delta\varphi$ fáziskülönbsége (kölcsönös fázishelyzete) megmérhető, de ismeretlen a teljes ciklusok N egész száma a mérés kezdő időpontjában. Ez az ún. fázis-többértelműség, amit csak több műholdra egy időben végzett mérések segítségével, számítással lehet meghatározni. Megjegyezzük, hogy - eltérően a földi elektronikus távméréstől - a műhold mérés közbeni mozgása miatt a fáziskülönbség és ezzel a műhold-vevő távolság is változik. Ez a változás az ún. Doppler-hatás révén válik mérhetővé, amelynek értelmében a vevőhöz érkező jel frekvenciája a műhold közeledésével nő, távolodásával pedig csökken.

A fázismérés során - a vivőhullámra ültetett kódok és üzenetek eltávolítása után - magára a vivőhullámra (L1, L2) vonatkozó fázisértéket mérik. Mivel a vivőhullámok hossza sokkal rövidebb, mint a kódoké, a fázismérésből levezetett távolság elméleti pontossága kb. 3 mm, a fázismérés tehát sokkal pontosabb, mint a kódmérés. Ha a műhold és a vevő között a ciklus számlálás folyamatossága megszakad, a vevőben ún. ciklusugrások lépnek fel, amelyek az *utófeldolgozás* során a legtöbb esetben korrigálhatók.

A fázismérést az általában cm nagyságrendű pontossági igényű geodéziai célú pontmeghatározások esetében alkalmazzák.

5.3.3. A GPS-es helymeghatározás pontossága

A GPS segítségével való helymeghatározás pontossága a mérés pontosságától és a műholdak geometriájától (egymáshoz és az állásponthoz képesti elhelyezkedésüktől) függ. A pontossági mérőszámok számításánál a hibaterjedés törvényét kell figyelembe venni.



5.3.8. ábra: A mérési pontosság és a műhold geometria együttes hatása

Az 5.3.8. ábrán a mérési pontosság és a műhold geometria együttes hatását szemléltetjük, a könnyebb érthetőség miatt úgy tekintve, mintha a mérési eredmények a síkban lennének. Ideális esetben az álláspont helyzete egy pont lenne, a két mértani hely metszéspontja. A mérés pontatlanságát a körök vastagsága, a műhold geometriát a metszési *alakzat* (rombusz) szemlélteti. Minél vékonyabbak a körök, annál pontosabb a mérés, s minél kevésbé torzított, lapos a metszési alakzat, annál jobb a műholdak geometriája.

5.3.3.1. A mérés pontossága

A mérés pontosságát elsősorban az alábbi tényezők befolyásolják (az S/A hatásával 2000. májusa óta nem kell számolnunk):

- a műholdak pályaadatainak hibái;
- a műholdak és vevők órahibái;
- az atmoszféra (az ionoszféra és a troposzféra) állapota;
- a vevők antennájának hibái;
- a fázis-többértelműség, ciklusugrás meghatározásának hibája (csak fázismérésnél).

A pályaadatok hibái: az efemeridák által leírt pályák különböznek a műhold valódi pályájától.

Órahibák: a GPS időt nagypontosságú rubídium - cézium frekvencia etalonok reprezentálják. Ezek elöregedése rövid időtartamban 10, hosszabb időtartamban akár 100 m nagyságrendű hibát is okozhat a távolság meghatározásában, ilyenkor a műholdakat le kell cserélni.

A mért távolságot a hullámterjedés menti törésmutató állandó változása, az atmoszférikus refrakció befolyásolja az elektronikus távolságmérésnél már tárgyalt (5.2.40) összefüggés szerint. Az *atmoszférikus refrakció* az ionoszférikus refrakció és a troposzférikus refrakció együttes hatásából tevődik össze. Az ionoszférikus refrakciót a szabad elektronok okozzák, s a légkör 50-1000 km magasságú rétegeiben, a troposzférikus refrakció a 8-13 km magasságú légrétegekben jelentkezik. Utóbbi értékét - az elektronikus távolságméréshez hasonlóan - a hőmérséklet, a légnyomás, a páranyomás befolyásolja. Az *ionoszférikus refrakció* okozta távolsághiba a zenit irányában elérheti az 5-10 m-t, a *troposzférikus refrakció* hatása 1 m körüli érték. A horizont körüli irányoknál ezek a hatások nagyságrendekkel nagyobbak lehetnek. Az ionoszférikus hibák két frekvenciás méréssel nagyrészt kiküszöbölhetők.

A vevő antennák hibái között már megemlítettük a több utas terjedésből adódó hibát, ez az ún. "multipath resistent" antennákkal nagyrészt csökkenthető. Az antennák hibája még a fázismérés során távolsághibát okozó fáziscentrum ingadozás.

A fázis-többértelműségről és a *ciklusugrásról* már esett szó. A hiba nehezen választható el az egyéb mérési hibák hatásától.

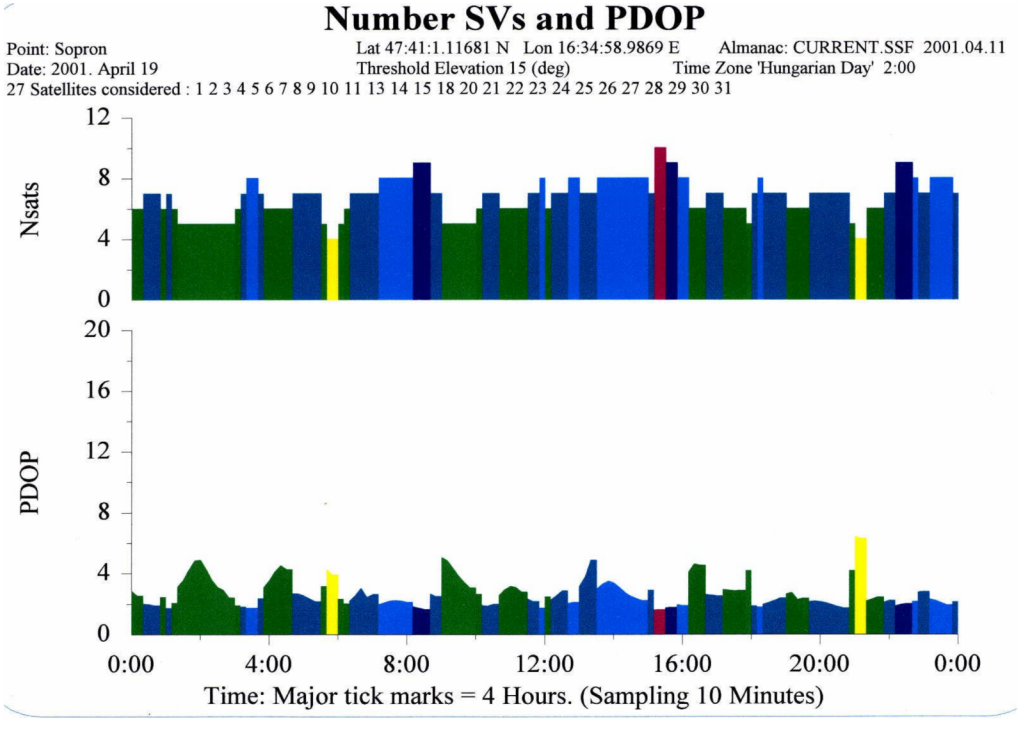
A hibák nagy része a mérés helyének precíz és körültekintő megválasztásával csökkenthető.

5.3.3.2. A műholdak geometriája

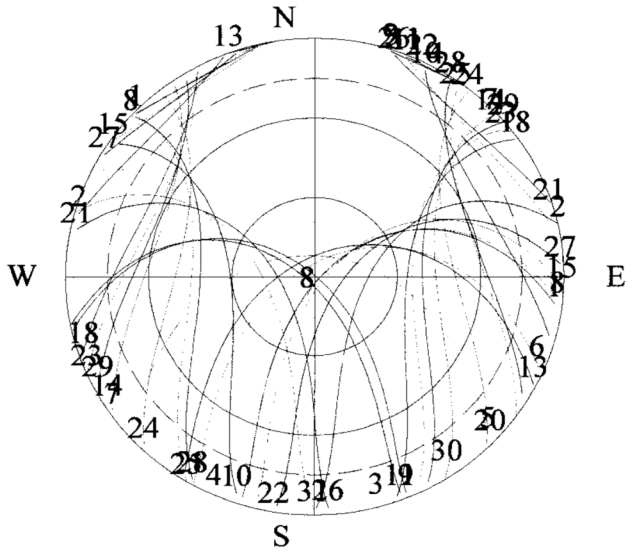
A meghatározandó pont helyét a mért távolságok metszik ki. Ha a műholdakra mért távolságok állásponthoz képesti geometriai helyzete (konstellációja) rossz (hegyesek a metszések, vagy kevés a megfigyelhető műholdak száma), az álláspont meghatározása is pontatlanabb lesz. E geometriai hatás figyelembe vételére a hibaterjedés térbeli ívmetszésre vonatkozó összefüggéseiből levezethető ún. DOP *(Dilution Of Precision - a pontosság felhígulása)* dimenzió nélküli számot használják.

Minél nagyobb a DOP értéke, annál rosszabb a műhold geometria és fordítva. A DOP - többek között - következő változatai használatosak: a PDOP a háromdimenziós helyzethiba, a VDOP magassági, a HDOP vízszintes helyzethiba és az időmeghatározás TDOP hibája. A PDOP esetén általában a 6-nál nagyobb PDOP értékeket tekintik kedvezőtlennek. Az egyes vevőkben a felhasználó által még megengedhető PDOP értéket maximálni lehet.

A GPS vevőkhöz szállított szoftverek mindig tartalmaznak egy *"előrejelző"* programrészt (*Quick plan*). E programrész biztosítja, hogy az adott állásponthoz képesti műhold konstellációk a tervezett mérések idejére előre jelezhetők, így a mérést a legkedvezőbb PDOP idején hajthatjuk végre. A előrejelző szoftverrel meghatározott időszakra egy ún. *"sky plot"* (magyarul horizontrajz: az égbolt képe a horizont felett az álláspontból nézve a műhold pályák nyomvonalával) is készíthető. Az 5.3.9. ábrán egy egynapos műhold konstellációt, az 5.3.10. ábrán a hozzá tartozó *sky plotot* mutatjuk be egy Sopron környéki álláspontból. Az 5.3.9. ábra felső részén a 10 perces időközökbe eső látható műholdak számát, az alsó részén a PDOP értékeket látjuk. Az időközök természetesen másképpen is megválaszthatók.



5.3.9. ábra: Egy napos műhold konstelláció



5.3.10. ábra: Sky plot (horizont rajz)

5.3.4. Vonatkozási és koordinátarendszerek

A GPS alkalmazása az egész Földre kiterjedő *egységes vonatkozási rendszert* igényel. Mivel az egyes országok ragaszkodnak saját rendszereikhez, ha használni akarják a GPS nyújtotta lehetőségeket, meg kell teremteniük a kapcsolatot a GPS vonatkozási rendszere és a saját rendszereik között. A különböző vonatkozási rendszerek között az *átszámítás mindkét rendszerben ismert*, ún. azonos (vagy közös) pontok segítségével térbeli transzformációval történik (2.2.3. fejezet).

A GPS műholdak pontos koordinátáit az ITRS (International Terrestrial Reference System - Nemzetközi Földi Vonatkozási Rendszer) rendszerben adják meg. Mivel a rendszert létrehozó állomások helyzete a kontinens vándorlás (a litoszféra lemezek mozgása) következtében változik, az állomások koordinátái mellett a koordináta irányú sebességeket is ismerni kell. Az ITRS mellett bevezették az eurázsiai litoszféra lemez mozgásához kapcsolódó ETRS (European Terrestrial Reference System - Európai Földi Vonatkozási Rendszer) rendszert, amelyre Európában a GPS gyakorlati mérései vonatkoznak. Az ETRS jelenleg érvényes realizációjához az ETRF89 (vagy EUREF89 - European Reference Frame 1989) európai koordináta rendszer tartozik.

A követő állomások koordinátáit a WGS84 vonatkozási rendszerben adják meg. Az említett három rendszer eltérése egymástól csak néhány cm, a gyakorlati GPS mérések végrehajtása során ettől eltekinthetünk, azaz tekinthetjük úgy, hogy a mérési eredmények a WGS84 ellipszoidra vonatkoznak. A WGS84 ellipszoid paramétereit a 2.1. táblázat tartalmazza.

Az UTM vetületi rendszer a WGS84 vonatkozási rendszer ellipszoidjára vonatkozik.

5.3.4.1. Összefüggések az ellipszoidi térbeli és az ellipszoidi földrajzi koordináták között

Az 5.1.3a. ábrán ellipszoidi térbeli, az 5.1.3b. ábrán ellipszoidi földrajzi koordinátarendszert szemléltettünk. A GPS vevők a mérési eredményeket opcionálisan e két rendszerben szolgáltatják. Az ellipszoidi térbeli és az ellipszoidi földrajzi koordináták között az alábbi összefüggések állnak fenn:

Ellipszoidi térbeli koordináták számítása ellipszoidi földrajzi koordinátákból:

$$\begin{aligned} X &= (R_N + H) \cdot \cos\Phi \cdot \cos\Lambda, \\ Y &= (R_N + H) \cdot \cos\Phi \cdot \sin\Lambda, \\ Z &= \left(\frac{b^2}{a^2} \cdot R_N + H\right) \cdot \sin\Phi. \end{aligned} \qquad (5.3.2)$$

Ellipszoidi földrajzi koordináták számítása ellipszoidi térbeli koordinátákból:

$$\begin{aligned} \Phi &= \operatorname{arctg} \frac{Z + e'^2 \cdot b \cdot \sin^3\vartheta}{p - e^2 \cdot a \cdot \cos^3\vartheta}, \\ \Lambda &= \operatorname{arctg} \frac{Y}{X}, \\ H &= \frac{p}{\cos\Phi} - R_N. \end{aligned} \qquad (5.3.3)$$

Az (5.3.2) és a (5.3.3) képletek jelölései (a 2.2.1.3. fejezetben részben már megismertük):

a, b - az ellipszoid nagy és kis féltengelye,

$R_N = \dfrac{a}{\sqrt{1-e^2 \cdot \sin^2\Phi}}$ - harántgörbületi sugár (2.2.15. képlet),

$e^2 = \dfrac{a^2 - b^2}{a^2}$ - első numerikus excentricitás négyzete

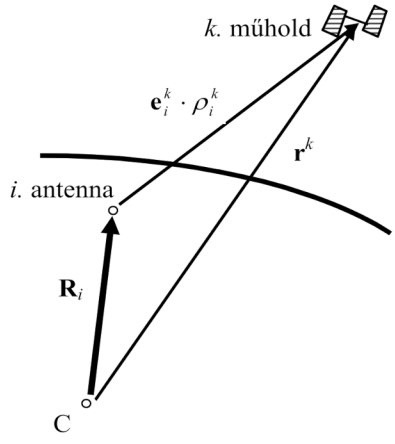
$e'^2 = \dfrac{a^2 - b^2}{b^2}$ - második numerikus excentricitás négyzete

$p = \sqrt{X^2 + Y^2}$, $\vartheta = \operatorname{arctg} \dfrac{Z \cdot a}{p \cdot b}$ - segédmennyiségek.

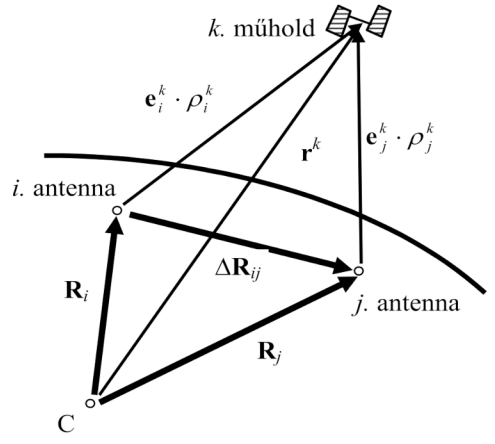
X, Y, Z - ellipszoid középpontú térbeli derékszögű koordináták,
Φ - földrajzi szélesség,
Λ - földrajzi hosszúság,
H - ellipszoidi magasság.

5.3.5. A műholdas helymeghatározás geometriai elve

A mért távolságokból (5.3.2. fejezet) megkaphatók a WGS84 ellipszoidra vonatkozó geocentrikus térbeli, vagy földrajzi koordináták (5.1.3. ábra). A *"geocentrikus"* kifejezés azt jelenti, hogy az ellipszoid középpontja a Föld tömegközéppontjában van. Ha a pontnak a koordinátarendszer origójára vonatkozó *helyvektorát*, vagy ennek három tengelyirányú komponensét (X, Y, Z), határozzuk meg, abszolút helymeghatározásról (5.3.11. ábra), ha pedig a pontnak egy másik, általában ismert pontból kiinduló *vektorának* összetevőit (ΔX, ΔY, ΔZ), relatív helymeghatározásról (5.3.12. ábra) beszélünk.



5.3.11. ábra: Abszolút helymeghatározás



5.3.12. ábra: Relatív helymeghatározás

Az abszolút helymeghatározásra felírható

$$\mathbf{R}_i = \mathbf{r}^k - \mathbf{e}_i^k \cdot \rho_i^k \tag{5.3.4}$$

vektoregyenlet tartalmazza az $\mathbf{e}_i^k$ egységvektort, a pályaadatok $\mathbf{r}^k$ vektorát és a mért ρ_i^k távolságot, ami különösen az S/A kód feloldása előtt jelentősen befolyásolta az abszolút $\mathbf{R}_i$ helyvektor pontosságát.

A *j.* antennára felírható, az (5.3.4)-nek megfelelő

$$\mathbf{R}_j = \mathbf{r}^k - \mathbf{e}_j^k \cdot \rho_j^k \tag{5.3.5}$$

összefüggésből az (5.3.4)-et kivonva, a *relatív helymeghatározásra* érvényes

$$\Delta\mathbf{R}_{ij} = \mathbf{R}_j - \mathbf{R}_i = \mathbf{e}_i^k \cdot \rho_i^k - \mathbf{e}_j^k \cdot \rho_j^k \tag{5.3.6}$$

különbségvektorhoz jutunk, amelyben a pályaadatok $\mathbf{r}^k$ vektora már nem szerepel, így a pályahibák jelentős része kiesik, ill. nagy mértékben csökken. Ha ismerjük az $\mathbf{R}_i$ helyvektort, a meghatározandó pont helyvektora a

$$\mathbf{R}_j = \mathbf{R}_i + \Delta\mathbf{R}_{ij} \tag{5.3.7}$$

összefüggésből számítható. A meghatározás lényege, hogy mind az ismert *i.* ponton, mind a meghatározandó *j.* ponton szinkron észlelést végezzünk.

A GPS gyakorlatban az $\mathbf{e}_i^k \cdot \rho_i^k$ és az $\mathbf{e}_j^k \cdot \rho_j^k$ vektorok iránya nem, csak a ρ_i^k és a ρ_j^k távolságok mérhetők. Ezért az irányok mérését több műholdra végzett egyidejű távolságméréssel helyettesítik. Ahhoz, hogy a meghatározandó pont *3 ismeretlen koordinátáját* és az *órahibát*, vagyis összesen négy ismeretlent meg tudjunk határozni, négy műholdra történő egyidejű (szinkron) távolságmérés szükséges.

5.3.6. A GPS technika mérési módszerei

Bár mindenfajta csoportosítás többé-kevésbé önkényes, e gyorsan fejlődő, a hagyományos geodéziától alapjaiban eltérő eljárásnál végképp nem vállalkozhatunk arra, hogy a ha-

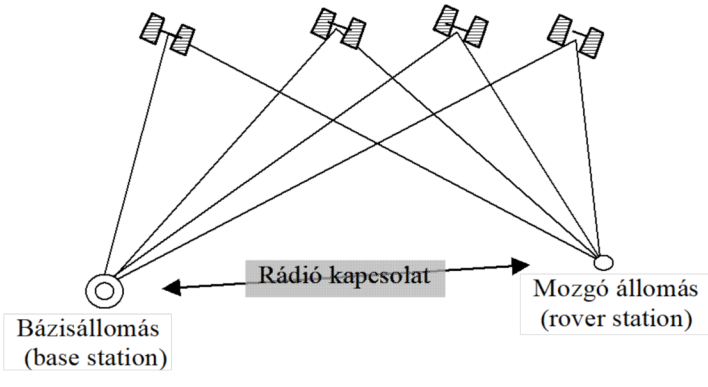
gyományos geodéziában már kialakult és megszokott módszerekhez hasonlóan itt is megkíséreljük a *szabatos csoportosítást*. Az egyes mérési módszerek a megkívánt pontosságtól, ill. a feladattól függően természetesen elkülöníthetők, de a használatos terminológia mind a GPS vevőket gyártó cégek, mind a szakemberek szempontjából még egyáltalán nem tekinthető véglegesnek. Ezért az alábbiakban a teljesség igénye nélkül csak az egymástól mind szóhasználatában, mind alkalmazásában ténylegesen eltérő módszerek rövid összefoglalására térünk csak ki. A *mérések feldolgozása* történhet valós időben (valós idejű, vagy real time) és utólag (utófeldolgozás, vagy post processing). A valós idejű relatív feldolgozás alapvető feltétele, hogy a helymeghatározáshoz szükséges GPS vevők egymással rádiókapcsolatban legyenek. Ehhez a vevőkben mind a megfelelő hardvert, mind a szoftvert biztosítani kell. Ez jelentősen megdrágította e vevők árát. Nagy pontossági igény esetén mindig az *utófeldolgozást* használjuk.

Minden mérés a GPS vevők inicializálásával kezdődik. *Inicializálás* alatt a GPS vevők mérésre kész állapotba hozását értjük. Új GPS vevőkkel való méréskor, vagy hosszabb kihagyás után hosszabb ideig (akár 10 percig, vagy még tovább) is eltarthat, amíg az adott állásponról összegyűjthető minden adat bekerül a vevő memóriájába és a vevő „megtalálja" a helyét a Földön.

5.3.6.1. Kódméréses távolságmérésen alapuló módszerek

A *kódméréses távolságmérésen* alapuló módszereket (5.3.2.1. fejezet) elsősorban navigációra használják. A módszer alkalmazható statikus (a vevő rövid ideig a meghatározandó ponton áll) és kinematikus (mozgó) üzemmódban. A statikus módszernél általában az *utófeldolgozást* alkalmazzák, a helymeghatározás pontossága ekkor ±3-10 m-en belül lehet. A kinematikus módszerek alapvető alkalmazási területe a *navigáció*, ekkor a mérések feldolgozása értelemszerűen csak *valós időben* történhet. Geodéziai célból, kisebb pontosságú *helymeghatározásra*, ismert koordinátájú pontok felkeresésére, kisebb méretarányú (1:10000 és kisebb) térképek készítéséhez adatgyűjtésre használhatók.

A kódmérések pontosabb valós idejű feldolgozása az ún. differenciális módszerrel (differenciális GPS technika - DGPS) történik. A módszerrel ±1 m nagyságrendű pontosságot lehet elérni.



5.3.13. ábra: a valós idejű differenciális helymeghatározás

A DGPS helymeghatározásnál (5.3.13. ábra) legalább egy álló és egy mozgó vevőre, valamint rádió kapcsolatra van szükség. Az álló vevő egy ismert koordinátájú ponton (bázisállomás), a mozgó vevő a mozgó járművön - gépkocsi, repülőgép, hajó - helyezkedik el. A bázisállomáson álló vevő folyamatosan számítja és egyidejűleg méri a műholdak aktuális távol-

ságát. A számított és mért távolságok különbségeit mint távolságjavításokat juttatják el a mozgó állomásra, amely számítja és valós időben kijelzi a jármű helyzetét.

A javítások adatformátuma az ún. RTCM (Radio Commission for Maritime Services) szabványnak felel meg. *RTCM bemenettel* a napjainkban gyártott GPS vevők többsége rendelkezik. Ma már a bázisállomást a (permanens) referencia állomások kiterjedt hálózata helyettesíti, a differenciális korrekciókat központilag sugározzák. Ilyen szolgáltatás ma már hazánkban is létezik (5.3.6.3. fejezet).

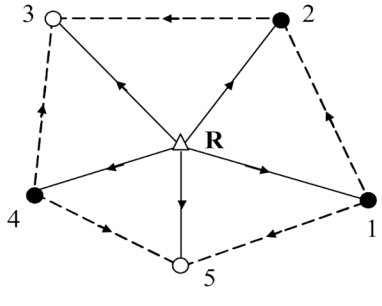
5.3.6.2. Fázismméréses távolságmérésen alapuló módszerek

Pontosabb geodéziai méréseknél a műhold-vevő távolságokat a vivőhullámok fázisából határozzák meg (5.3.2.2. fejezet). Ebben az esetben a helymeghatározáshoz legalább két vevőre és egy ismert koordinátájú pontra, valamint - hosszabb vektorok mérésénél - kétfrekvenciás vevőkre van szükségünk.

Jelenleg alkalmazott *fázismérési módszerek*:

- statikus (static) pontmeghatározás
- gyors statikus (fast/rapid static) pontmeghatározás
- félkinematikus (stop and go) pontmeghatározás
- folyamatos kinematikus (true kinematic)
- valós idejű kinematikus (real time kinematic - RTK)

A statikus pontmeghatározás esetén az egyik vevő az ismert koordinátájú alapponton (bázisállomás) mér, míg egy vagy több másik vevő a meghatározandó új pontokon. A méréseket az ismert, illetve új pontokon egyidejűleg (szimultán) végzik ugyanazokra a műholdakra. A mérés időigénye 0,5 - 24 óra, függ az adott és meghatározandó pontok távolságától. Az országos GPS hálózatok meghatározásának alapvető módszere, a mindennapos geodéziai gyakorlatban előforduló rövid, néhány km-es távolságok mérésére ma már nem használják. A statikus pontmeghatározás biztosítja a legnagyobb pontosságot (akár 1 cm-en belül). A méréskor általában kettőnél több vevőt alkalmaznak és ellenőrzési célból zárt poligonokat alakítanak ki (5.3.14. ábra).



5.3.14. ábra: A statikus, vagy gyors statikus GPS mérések egy lehetséges elrendezése

Az 5.3.14. ábrán látható centrális rendszerben az ismert pont az **R**. Erről a pontról, mint bázisállomásról a kerületen lévő ismeretlen **1**, **2**, **3**, **4** és **5** pontok helyzete a centrumból kiinduló vektorokkal meghatározható. Ha most a referencia vevővel felváltva felállunk az 1, 2 és 4 pontokon és mérjük az **1-2**, **1-5**, **2-3**, **4-3** és **4-5** vektorokat, úgy a pontok helyzetének meghatározására összesen öt, az ábrán szaggatott vonallal jelölt fölös vektorunk van. Ebben az elrendezésben mérésenként nemcsak a referencia pont változik, de az eredetileg referencia vevőnek választott vevő is helyet cserélhet a mozgó vevővel. Kettőnél több vevő használata növeli a hatékonyságot.

Mint láttuk az 5.3.2.2. fejezetben, a fázismérés legnagyobb problémája a *fázis-többértelműség*. E probléma megoldásának új módszerei, a tökéletesebb szoftverek lehetővé tették rövidebb vektoroknak az ún. gyors-statikus módszerrel való meghatározását. A mérés időigénye 5-20 perc. A gyors-statikus mérési technika a fázis-többértelműség gyors meghatározásán alapul. Vannak GPS vevők, amelyek az aktuális műhold-konstelláció alapján a kívánt

pontosságtól függően maguk határozzák meg a szükséges mérési időt. A módszer pontossága alig marad el a statikus helymeghatározás pontosságától. Az alappontok sűrítésére használják.

A félkinematikus (stop and go) módszer elvében hasonlít a *gyors statikus* eljáráshoz, de a mozgó vevőt a pontok közötti haladás idejére nem kapcsolják ki, mert a mozgó vevő a meghatározandó ponton mindössze 10-15 másodpercig áll. E miatt a vevő antennáját a haladás idején is függőlegesen kell tartani. Az egyes pontok későbbi megkülönböztetése érdekében a szoftver megálláskor stop, a következő meghatározandó pont felé induláskor go jellel választja el az adatokat. A gyors méréshez igen fontos a fázis-többértelműség gyors meghatározása. A módszert a részletpontok meghatározásában alkalmazzák, pontossága néhány cm.

A folyamatos kinematikus (true kinematic) módszernél az ismert ponton lévő antenna mozdulatlan, a másik vevő egy útvonalon folyamatosan mozog. A vevő helyzetét 1-5 másodpercenként határozzák meg. Feltétel, hogy a mozgó vevő az egész mérés folyamán folyamatosan ugyanazzal a legalább négy műholddal tartsa a kapcsolatot, vagyis a módszer csak teljesen nyitott terepen alkalmazható. A feldolgozás utólag történik. A fotogrammetriában fontos szerepe van a *külső tájékozási adatok* (a mérőkamera vetítési középpontja térbeli koordinátáinak és a kameratengely dőlésszögeinek) meghatározásakor. Pontossága mintegy 1-5 cm.

A valós idejű kinematikus (real time kinematic - RTK) mérés elve a félkinematikus mérés valós idejű változata, az álló vevő a mérés adatait folyamatosan rádión sugározza a mozgó vevőnek. Egyetlen bázis (referencia) állomás több vevőt is kiszolgál. Utóbbiak a vett adatokat a helyszínen feldolgozzák, és a WGS84 koordinátákat a szükséges (pld. EOV) rendszerbe transzformálják. Ehhez mind a bázis-, mind a mozgó vevőkbe épített különleges hardverre és ún. RTK szoftverre van szükség. A mérés hatékonyabb, ha mind a bázis-, mind a mozgó vevők egyidejűleg legalább öt kedvező konstellációban lévő műholdat „látnak". A helymeghatározás pontossága 1-5 cm. A geodéziában részletpontok meghatározására és kitűzésére alkalmazzák.

5.3.6.3. Permanens állomások

A geodéziailag fejlettebb országokban a felhasználók az ismert koordinátájú bázisállomások helyett anyagi ellenszolgáltatás ellenében *referencia pontokként* használhatják az ún. permanens állomásokat (nagy pontossággal ismert koordinátájú állomások folyamatosan működő nagypontosságú GPS vevőkkel). Hazánkban a *permanens állomások hálózata* kialakítás alatt van, jelenleg a FÖMI KGO (Földmérési és Távérzékelési Intézet Kozmikus Geodéziai Obszervatórium) kezelésében lévő 1996 óta üzemelő penci permanens állomás áll a felhasználók rendelkezésére. A tervek szerint 13 permanens állomásból álló magyarországi aktív GPS hálózat az ország területének mintegy 80%-án biztosítaná, hogy tetszőleges mérési helytől valamelyik permanens állomás 50 km-en belül legyen. 2000-ben a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen alakítottak ki permanens állomást.

5.4. A digitalizálás eszközei[1]

A korábban feldolgozott adatok általában papír, esetleg műanyag (pld. asztralon lap), röviden analóg adathordozón lévő vonalas térképek, légifényképek, vagy ortogonális vetületűre átalakított légifényképek (ortofotók) formájában állnak rendelkezésünkre. Abból a célból, hogy az ezeken a dokumentumokon lévő adatokat az elektronikus műszerekkel digitális adatrögzítőn tárolt és további feldolgozásra számítógépre vitt adatokkal ki tudjuk egészíteni, s a továbbiakban az összes adatot együttesen tudjuk kezelni, az analóg információkat számítógé-

[1] Az 5.4. fejezet Czimber Kornél „Geoinformatika" c. jegyzete (Soproni Műhely kiadványa, Sopron,1997) „Digitalizálás, szkennelés" és „Vektoros digitalizálás" c. fejezeteinek felhasználásával készült. A jegyzet 2001-ben elektronikus jegyzet formájában is megjelent http://geo.efe.hu Internet címen.

pen tárolható információkká kell átalakítanunk, s számítógépen kell tárolnunk. Az átalakításnak, ill. a tárolásnak ez a módja a digitalizálás. Az 5. fejezet bevezetőjében a *digitalizálást*, mint a már korábban feldolgozott adatok újbóli feldolgozását, másodlagos adatgyűjtésnek neveztük. A digitalizálásnak mind elvében, mind formájában, mind végrehajtásának módjában a 3.1.2. fejezetben tárgyalt térképi adatmodelleknek megfelelően két típusát különböztetjük meg:

1. raszteres
2. vektoros digitalizálás.

5.4.1. A raszteres digitalizálás

A raszter (3.1.2. fejezet) előállításának leghatékonyabb módszere a digitális letapogatók (szkenner, angolul *scanner*) használata. A letapogató berendezés soronként vizsgálja a pixeleket és fotodiódáival meghatározza minden egyes pixel intenzitás[1] értékét. A letapogató berendezések lehetnek síkágyas és dobszkennerek, előbbi letapogatója a kép felett mozog a képpel párhuzamosan, míg utóbbinál a letapogató fix és a képet egy forgó dobon helyezik el.

A szkennerek lehetnek szürkeárnyalatos (*egy diódasor*) és színes (*három diódasor*) képek digitalizálására alkalmas készülékek. Egyik legfontosabb ismérvük a felbontóképesség, amely egyben pontosságukat is meghatározza. A felbontóképességet dpi-ben (*dot per inch*) adják meg, azaz hány képpontot képes felismerni 2,54 cm-enként. A síkágyas szkennerek optikai felbontása 300-1200 dpi, míg a dobszkennereké 2400-9600 is lehet.

A szkennelt képek, térképek, egyéb analóg termékek mérete rendkívül nagy lehet, így a felbontás kiválasztásánál ezekkel számolni kell (5.4. táblázat).

A szkennelt képeket célszerű szabványos raszter-, illetve képformátumokban tárolni. Ilyenek: BMP, GIF, IMG, JPEG, LAN, PCX, RAS, TIFF.

Szkennelés		ISO lapméretek, az adatok KB-ban értendők					
Felbontás	Színmélység	A5	A4	A3	A2	A1	A0
100 dpi 0,254 mm	Színes	710	2832	5664	11329	22685	45408
	szürkeskálás	237	944	1888	3776	7562	15136
	fekete-fehér	30	118	236	472	945	1892
300 dpi 0,085 mm	színes	**6394**	25490	50980	101961	204164	408671
	szürkeskálás	2131	**8497**	16993	33987	68055	136224
	fekete-fehér	266	**1062**	2124	4248	8507	**17028**
600 dpi 0,042 mm	színes	25576	101961	203921	407842	816655	1634686
	szürkeskálás	8525	33987	67974	135947	272218	544895
	fekete-fehér	1066	4248	8497	16993	34027	68112

5.4. táblázat: Felbontás és lapméretek

Amennyiben több, különböző méretarányú és eltérő forrásból származó képet digitalizálunk, akkor a képek mindegyikét - az egységes feldolgozás céljából - azonos vetületi rendszerbe kell transzformálnunk.

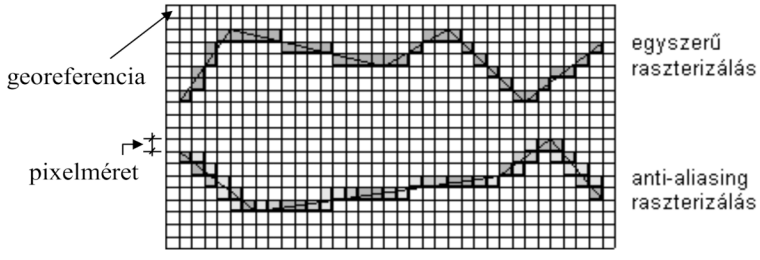
5.4.1.1. Vektor-raszter átalakítás, raszterizálás

A raszteres adatnyerés egyik lehetséges formája meglévő vektoros adatforrások konvertálása. A geometriai elemek (pont, vonal, kör, poligon) raszteres adatmodellre történő leképezése, átrajzolása minden esetben adatvesztéssel jár. Az információ csökkenés mértékét a raszter elemi celláinak mérete határozza meg. A vektor-raszter átalakítás előtt meg kell ad-

[1] Intenzitás érték: a távérzékelt képen az objektum által visszavert jel erősségének mértéke.

nunk a *raszter sorainak, oszlopainak számát és a* georeferenciát[1]. Ezen adatok ismeretében valamennyi geometriai elem koordinátája leképezhető a raszter valamelyik cellájára.

Bár a *raszterizálás* során bizonyos geometriai információk elvesztésével számolni kell, a leképezés ennek ellenére egyértelmű: a geometriai elemek mindegyikének van raszteres megfelelője. A raszter-vektor átalakításnál viszont lehetnek problémák. A raszterizálás pontosságának növelése érdekében szokták alkalmazni az *anti-aliasing* technikát, mely a pixel intenzitás-értékeivel fejezi ki a vektor középpontos elhelyezkedését a pixelhez képest. A *raszterizálást* az 5.4.1. ábrán szemléltetjük:



5.4.1. ábra: A raszterizálás szemléltetése

5.4.2. A vektoros digitalizálás

A térképek vektoros (manuális) digitalizálása egy közvetett, viszonylag olcsó és gyors adatnyerési eljárás. A digitalizálás során az egyes térképi pontokat numerikus koordinátákkal írjuk le. A digitalizálás minőségét döntően befolyásolja a felhasznált térkép minősége. A manuális digitalizálás során egy strukturált vektoros adathalmazt állítunk elő, ami azt jelenti, hogy az egyes *entitástípusokat* (2.1.2. fejezet) külön kezeljük, külön osztályokba, rétegekbe soroljuk. A digitalizálás elvégezhető a számítógéphez kapcsolt digitalizáló táblán és magán a számítógépen is, mindkét esetben megfelelő szoftver alkalmazása mellett.

A digitalizáló tábla egy *A3-A0* méretű számítógépes bemeneti eszköz. A tábla elméleti pontossága típustól függően 0,01-0,2 mm. A fémhuzalokkal behálózott tábla referencia rendszerében a pont helyét a mutatóeszközbe ágyazott tekercs segítségével indukciós elven határozzák meg. A mutatóeszköz tulajdonképpen egy szálkereszt, amelyet rendszerint nagyítóval, a táblát háttérvilágítással látják el az ergonómiai szempontból megfelelő környezet kialakítása érdekében. A digitalizálás során elérhető pontosság 0,1-0,2 mm a térkép méretarányában, amely összevethető a térképek rajzi pontosságával. Feltételezve például, hogy az 1:10000 méretarányú erdészeti üzemi térkép rajzi pontossága 0,1 mm és a térképet nem terheli beszáradás és egyéb torzulás, azt mintegy 1 m körüli pontossággal tudjuk digitalizálni.

A *vektoros digitalizáláskor* az ellenőrzött, kiválasztott térképet a táblára helyezzük, majd rögzítjük. A digitalizálás első fázisa a tájékozás, mely során ismert koordinátájú pontokat keresünk fel a térképen. A tájékozás célja, hogy a térkép rajzi koordinátái és a térképen alkalmazott vetület koordinátái között transzformációs függvényeket határozzunk meg. Ezeket a függvényeket a digitalizálást vezérlő számítógépes szoftverben definiálják. A digitalizáló tábla mutatóeszközével meg kell jelölnünk a térképen az ismert pontokat, majd megadjuk ezek koordinátáit. A tájékozás elvégzése után következhet a második fázis, a térképi elemek digitalizálása.

A digitalizálás során az egyes entitástípusokat (*folyók, határok, utak, szimbólumok, feliratok*) különböző osztályokban, rétegekben (2.1.3. ábra) helyezzük el. Nagyon fontos, bár

[1] Georeferencia:a bal-felső pixel közepének vetületi koordinátái és a cellák vetületi rendszerben értelmezett méretei

nem mindegyik szoftver támogatja, a *geokód* (3.1.2. fejezet, vektoros adatmodell) elhelyezése, amellyel a későbbiek során azonosítani tudjuk a térképi elemet és hozzá tudjuk rendelni az *attribútumokat* (2.1.1., 3.1.2. fejezetek). A digitalizáló szoftver a rétegek kialakítására, az aktuális réteg kiválasztására és a geokód megadására megfelelő funkciókat biztosít. A digitalizálás folyamán már arra is figyelemmel kell lennünk, hogy az *egyes vonalak megfelelő módon csatlakozzanak és egy vonalat csak egyszer digitalizáljunk*. A vektoros adatok későbbi felhasználása során a túlnyúlások, a hézagok javítása időigényes feladat. A geokódok megfelelő elhelyezése elengedhetetlen a leíró adatok automatikus kapcsolásához. Természetesen, ha utólag végezzük el manuálisan az attribútumok kapcsolását a geometriai elemekhez, akkor a geokódok elhelyezésére nincs szükség. Az előbb említettekből következik, hogy a digitalizáló személynek folyamatosan nyomon kell követnie a már digitalizált vonalakat, a térképet és a számítógép monitorán kirajzolt digitális térképet folyamatosan össze kell vetnie. Az állandó összehasonlítás megterhelő feladat, ezért szokás a már digitalizált vonalak átszínezése. Nagyon sokszor *A0* méretű térképlapokat kell digitalizálni, melyek áttekintése megterhelő és nem lehet kényelmesen egy helyben ülve digitalizálni sem.

A *digitalizáló táblák* ergonómiai szempontból nagyon előnytelenek. A raszteres digitalizálók (5.4.1. fejezet), a szkennerek megjelenése vetette fel a *számítógép képernyőjén történő digitalizálás*, az úgynevezett on-screen vagy softcopy digitalizálás lehetőségét. A *szkenner* segítségével digitális formára, raszterformára hozott térképet a számítógép monitorán, a számítógéphez kapcsolt mutatóeszköz (*egér*) segítségével lehet digitalizálni. A feldolgozás első fázisa itt is a tájékozás, majd a vektoros elemek elhelyezésére a digitalizáló táblánál elmondottak a mérvadók. Az *on-screen digitalizálás* nagy előnye, hogy a számítógép tetszőleges nagyításban-kicsinyítésben képes a *térkép részleteit megjeleníteni és görgetni*, valamint az, hogy a *már digitalizált vonalak a raszteres térkép fölött megjelennek*. Az eljárás ergonómiai szempontból sok előnnyel jár, ezért a digitalizálás hatékonysága felülmúlja a hagyományos táblán történő digitalizálás hatékonyságát. A jelenlegi szkennerek műszaki paramétereinek ismeretében a digitalizálás pontossága kizárólag a digitalizálandó térkép eredeti pontosságától függ.

A számítógépes digitalizálásnak nem csak a digitalizáló tábla helyettesítését szolgáló funkciói vannak. További könnyítő módszerekkel a munka akár *5-10*- szeresére is gyorsítható. Ilyen funkciók a digitális térképen, mint raszteren elvégzett keresés és nyomkövetés. Az alábbi funkciók előtt rendszerint a következő részben tárgyalt vékonyító eljárást futtatják le, mely biztosítja, hogy a raszteres vonalak egy pixelnél nem szélesebbek.

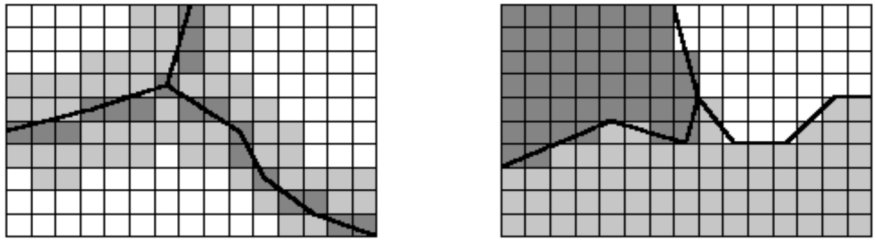
- raszterre igazító funkció (*raster snap*): a digitalizálandó raszteres vonal legközelebbi középpontját keresi meg, ezáltal nem kell pontosan a vonalra állnunk, mert a módszer biztosítja ezt.
- raszter követés (*trace*) : a digitalizálás egy megadott pontból, egy megadott irányba automatikusan folytatódik, mindaddig, amíg a raszteres vonal el nem ágazik vagy egy meglévő vektoros elembe nem ütközik. A követés során számos paraméter adható meg:
  - simítás : a nyomkövetés egy megadott görbület elérésekor egy új töréspontot helyez el.
  - hézag átugrás : a nyomkövetés során a raszteres vonalban lévő hézagok, szaggatások átugrását lehet szabályozni.
  - elágazás kezelése : ha a raszteres vonal elágazik, az aktuális pixelhez kettőnél több pixel kapcsolódik, akkor a követő megállását, balra- illetve jobbra fordulását határozhatjuk meg.

A képernyőn történő digitalizálás ilyen módon segített változatát félautomata digitalizálásnak nevezzük.

5.4.2.1. Raszter-vektor átalakítás, vektorizálás

A raszteres szkennelt térképek vagy más digitális képek (*például ortofotó, osztályozott űrfelvételek*[1]) alapján történő automatizált vektoros adatnyerési eljárás a vektorizálás. Az eljárás gyors és olcsó, de viszonylag drága hardvert és szoftvert igényel. Akkor célszerű alkalmazni, ha sok térképet kell *vektorizálni*, s ezek a térképek jó minőségűek, kevés zavaró vonalat, feliratot tartalmaznak. Általánosan elmondható, hogy vonalas jellegű, alap-, felmérési- és szintvonalas térképek esetén alkalmazható hatékonyan. Hátránya, hogy egy strukturálatlan adathalmazt szolgáltat. Előfordulhat, hogy a vektorizálás és azután a vektoros elemek osztályokba sorolása, a felesleges elemek kiszűrése több időbe kerül, mint a hagyományos digitalizálás. Bár bizonyos rendszerek képesek a vonal vastagsága, típusa alapján osztályozni a vektoros térképi elemeket és a feliratokat felismerik, de ez sem nyújt tökéletes megoldást az átfedő, egymást metsző térképi elemekkel szemben.

A *vektorizálás* (5.4.2. ábra) a digitális képanyag elkészítésével kezdődik, majd a képeket tájékozni kell a manuális digitalizálásnál megismert módon. Néhány vektorizáló program *nem biztosítja* a térkép *vetületi rendszerbe illesztését*, ilyenkor ezt utólag kell elvégeznünk a vektoros állományon. A tájékozás után kétféle vektorizálási eljárás közül kell választanunk. A középvonalas vektorizálás szkennelt vonalas jellegű térképek, a határvonalas pedig tónusos, illetve tematikus térképek esetén alkalmazható.



5.4.2. ábra: A vektorizálás szemléltetése

A középvonalas vektorizálás egy vékonyító eljárással kezdődik. Az eljárás végeredménye egy olyan raszterkép, amely 1 pixel vastagságú raszteres vonalakat tartalmaz. A vékonyítás a szomszéd pixelek vizsgálatán alapul. A nyolc szomszédos pixel ki/bekapcsolt állapota alapján 2^8=256 variáció fordulhat elő. Ha felállítunk egy táblázatot, amely minden variáció esetében eldönti, hogy a vizsgált pixelt kikapcsoljuk vagy meghagyjuk, akkor a vizsgálatot addig futtatva minden egyes pixelen, ameddig történik kikapcsolás, elvégezhető a teljes raszter vékonyítása.

Az elvékonyított raszteren (skeletonon) soronként kell az egyes vonalakat felépíteni. Az előző sor és az aktuális sor egymás alatt lévő pixelei egy szakaszt alkotnak. A *szakaszokat* az azonos végpontok alapján vonalakká tudjuk összefűzni. A nyers vonalhalmaz előállítása után általában utófeldolgozó műveletekre (post process) kerül sor. Ilyenek lehetnek az alábbiak:

[1] Osztályozott űrfelvétel: távérzékelő műholdakról készített űrfelvételek tematikák szerinti szétválasztása a felvételeken rögzített objektumok spektrális visszaverőképességei alapján.

- körök felismerése : ha egy tetszőleges számú csomópont és tetszőleges számú vonal által alkotott poligonra egy megadott toleranciával, egy tetszőleges sugarú kör illeszthető, akkor az érintett vonalakat ki lehet cserélni egy körre,
- null-körök felismerése: az előző felismerés, de egy kicsi és fix sugárral történik a kör illesztése,
- ívek felismerése: ha egy tetszőleges számú csomópont és tetszőleges számú vonal által alkotott sokszögvonalra egy megadott eltéréssel, egy tetszőleges sugarú körív illeszthető, akkor az érintett vonalakat ki lehet cserélni egy körívre,
- szaggatott vonalak felismerése : az egymást követő vonalelemek helyettesítése egy összefüggő, általában más rétegben elhelyezett vonallal,
- vonalvastagságok: a vonallánc vastagsága az eredeti raszterkép alapján meghatározható. A vonalvastagság alkalmas a vektoros elemek osztályozására, rétegekbe sorolására,
- sraffozások felismerése: egymást követő és egymással párhuzamos vonalak összekapcsolása egy sraffozási alakzattá,
- térképi szimbólumok és térképi feliratok felismerése (character recognition). Ha egy összefüggő vonallánc bizonyos szög- és távolságtolerancia mellett egy mintaadatbázisban rögzített vonallánchoz hasonlít és a hasonlóság egy előre meghatározott megbízhatósági szinten belül értelmezhető, akkor a vonalláncot ki kell cserélni a mintaadatbázis vonalláncához rendelt karakterre. Az egymást bizonyos távolságon belül követő karaktereket karaktersorozatokká lehet összefűzni. A mintaadatbázis lehet fix és lehet bővíthető, utóbbi esetben egy tanulási folyamat előzi meg a felismerést. Az ilyen elven működő programokat már mesterséges intelligencia programoknak nevezzük. Bizonyos programok esetében megadhatjuk azt is, hogy az egyes karakterek nem vízszintesen, hanem tetszőlegesen elforgatva helyezkednek el. Ez a vizsgálat nagymértékben lassítja a felismerést és sokszor nem a megfelelő karaktert kapjuk eredményül (például: n-u 6-9 d-p N-Z).

A határvonalas vektorizálás rendszerint osztályozott űrfelvételek, színezett tematikus rasztertérképek vektoros átalakítására szolgál. A feldolgozást itt egy medián szűrés[1], vagy egy él megőrző simítás[2] előzi meg. A raszterképen ezek után elemi szakaszokat kell felismerni, amelyek két, intenzitás értékeit tekintve egymástól jól elkülönülő pixel között húzódnak. A két pixel eltérése, hasonlósága rendszerint egy küszöbértékkel szabályozható. A szakaszokat az azonos kezdő és végpont alapján itt is vonalláncokká kapcsoljuk össze, azzal a különbséggel, hogy a vonal bal és jobb oldalán lévő területek színértékét, *tematikus kódját* is eltároljuk. Ez utóbbi elengedhetetlen a topológiai adatbázis[3] (3.1.2. fejezet, 3.1.6. ábra) kialakításához.

[1] Medián szűrés: egyszerű raszteres elemző funkció, amely az adott *pixel* közvetlen környezetén (ablak) belüli pixeleket sorba rendezi és amelynek eredménye a sor középső pixelének értéke.

[2] Él megőrző simítás: egyszerű raszteres elemző funkció, amely megőrzi az eltérő intenzitás értékhalmazok közötti *trendet*, határvonalat (él), de elsimítja a környező „perturbációkat", zavarokat.

[3] Topológiai adatbázis: a térképi (vektoros) elemek számítógépen tárolt halmaza, amely leírja az egyes elemek közötti kapcsolatokat, szomszédsági viszonyokat.

6. Alappontok meghatározásának módszerei

A 2.3. fejezetben az alappontokat megkülönböztettük rendűségük, valamint aszerint, hogy a térkép *síkrajza*, vagy a *domborzat* ábrázolásának alapjául szolgálnak. Megállapítottuk, hogy a térkép síkrajzának ábrázolásához vízszintes, a domborzat ábrázolásához magassági alappontok meghatározására van szükség. A vízszintes és magassági alappontok hálózata elkülönül, más az állandósítás és az ideiglenes megjelölés módja. A GPS-sel meghatározott alappontok javarészt a vízszintes alapponthálózat pontjaival esnek egybe, de a GPS Földhöz kötött koordinátarendszerében kapott (ellipszoidi térbeli, vagy ellipszoidi földrajzi) koordinátákat a síkrajz, valamint a domborzatrajz koordinátarendszerébe még át kell számítanunk (2.2.1.3. fejezet). A síkrajz koordinátarendszere a két dimenziós *vetületi* (esetleg helyi) *koordinátarendszer*, a domborzatrajz egydimenziós koordinátarendszere pedig a tengerszinthez (a geoidhoz) kapcsolódó magassági koordinátarendszer. GPS mérések esetén utóbbihoz ismernünk kell a *geoidundulációt* (2.2.17. képlet).

Az alappontoknak a részletpontok meghatározására megfelelő sűrűségben való megteremtése - a hálózati hierarchiától most eltekintve -

- önálló alappontok létesítéséből és
- az alappontok sűrítéséből

áll. Az *önálló alappont létesítés* során olyan területen határozunk meg alappontokat, ahol meglévő alappontok egyáltalán nincsenek, vagy valamilyen okból azok nem megfelelőek. Az előbbi ma már nagyon kevés helyen, a Föld *geodéziailag feltáratlan* részein fordulhat elő, vagy pedig az ún. helyi hálózatok esetében, akkor, ha a meghatározandó alappontok olyan mérnöki műtárgy építéséhez szükségesek, amelynek *együttes belső geometriája* nagyobb pontossági követelményeket támaszt, mint amelyet az országos hálózat vetületi koordinátarendszerben számított pontjai ki tudnak elégíteni.

Az *alappontok sűrítése* során az önálló alappontok létesítése során meghatározott alappontok közé, azok felhasználásával illesztünk be újabb alappontokat.

Magyarországon az önálló alappontok létesítésének kizárólag helyi hálózatok kialakításakor van jelentősége. A helyi hálózat pontjait ez esetben is általában át kell számítani az országos vetületi rendszerbe. Ehhez a területen legalább kettő, mind a helyi, mind az országos rendszerben is ismert alappont szükséges. A magassági átszámításhoz egyetlen pont helyi és országos (balti) rendszerben ismert magassága elegendő. Magyarország felső- és negyedrendű vízszintes alapponthálózata készen van, a IV. rendű hálózat létesítését GPS mérések felhasználásával fejezték be. Sajnos, ugyanez nem mondható el a magassági alapponthálózatról. Az EOMA III. rendű hálózatának mérését GPS mérések segítségével fogják befejezni. Így - bár a GPS mérések magassági pontossága (itt a geoidundulációt is ismernünk kell) nem éri el a *geometriai szintezés* pontosságát - a hálózat mérése jóval olcsóbban és gyorsabban befejezhető lesz. Elkészült viszont a több mint 1100 pontból álló Országos GPS hálózat (OGPSH), amely - figyelembe véve az ország 93000 km^2 területét, mintegy 10 km -es pontsűrűségnek felel meg.

E fejezetben a különböző típusú (vízszintes, magassági, GPS) alappontok meghatározásának módszereit mutatjuk be, rendűségüktől függetlenül.

6.1. Vízszintes alappontok meghatározása

A vízszintes alappontok meghatározása mérési és számítási módszereinek tárgyalásánál a továbbiakban feltételezzük, hogy azokat a vetület síkjában végezzük. A vetületi síkon végzett számításokat megelőzi a szögekre és távolságokra vonatkozó redukciók (vetületi meridiánkonvergencia, hosszredukció, a mért ferde távolság egyéb redukciói, 2.2.2., 5.2.3.4. fejezetek) számítása. A hosszredukció számítására mindig szükség van, a vetületi meridián-

konvergencia számítására akkor, ha mérési eredményeink *földrajzi azimutok* (2.2.12. és 5.1.2. ábrák). A továbbiak során feltételezzük, hogy ott, ahol szükséges, a mérési eredményeket a különböző redukciókkal már elláttuk.

Ma Magyarországon az e fejezetben tárgyalt eljárásokat helyi, V. rendű és felmérési alappontok meghatározásánál használják, ill. használhatják.

A vízszintes alappontok helyzetét akkor tekintjük meghatározottnak, ha számítottuk koordinátáikat a vetületi koordinátarendszerben. A koordináta számításnál minden esetben a *geodéziai főfeladatok* alkalmazására van szükség (2.2.2.2. fejezet).

6.1.1. Az alappont meghatározás munkaszakaszai

A vízszintes alappontok meghatározásának, lényeges vonásaiban az egyéb (magassági, GPS) alappontok meghatározására is kiterjeszthető, főbb munkaszakaszai - eljárásonként árnyalatnyi eltérésekkel - az alábbiak:

- előkészítés
- tervezés, kitűzés
- mérés
- számítás

Az egyes munkaszakaszok között nem húzhatók meg éles határok, azok részben átfedik egymást, részben végrehajtásukra egyidejűleg is sor kerülhet.

6.1.1.1. Előkészítés

Az előkészítés első lépése a mérésre kijelölt területen rendelkezésre álló adatok összegyűjtése, beszerzése. Az adatok jelentős részét a vízszintes, magassági és GPS *alappont leírások* tartalmazzák (2.3.1., 2.3.2. és 2.3.3. fejezetek). A szükséges pontleírások beszerezhetők a Földmérési és Távérzékelési Intézet (FÖMI), vagy a területen illetékes földhivatalok adattáraiból. Ma már nagyon sok adat digitálisan is hozzáférhető. A beszerzett adatok alapján koordináta jegyzéket kell készíteni, amely tartalmazza a területen, ill. annak közelében lévő összes beszerezhető vízszintes, magassági és OGPSH alappontok vízszintes és magassági, OGPSH pontok esetén a WGS84 ellipszoidi térbeli, és/vagy földrajzi koordinátáit. GPS mérések esetén legalább három OGPSH pontra van szükség, amelyek WGS84, EOV és tengerszint feletti magassági koordinátáinak felhasználásával az EOV-be, ill. a balti magassági rendszerbe való transzformálásához lokális transzformációs paramétereket kell számítanunk. A számításhoz szükséges szoftverek ma már viszonylag könnyen beszerezhetők. Az előkészítés során a kérdéses területről rendelkezésre álló megfelelő méretarányú, lehetőleg *domborzatot* is ábrázoló, szintvonalas térképeket is be kell szerezni.

A *koordináta jegyzék* és *térképek* felhasználásával rajzpapíron, vagy műanyag fólián kitűzési vázlatot készítünk, amely tartalmazza a térképezés szelvényhálózatát és a szelvényhálózati vonalak koordinátáit. Az adott alappontokat körrel, a pont rendűségétől függő méretben jelöljük meg. A kitűzési vázlatnak lehetőleg tartalmaznia kell a legfontosabb, tájékozódásra is alkalmas síkrajzi elemeket is.

Az előkészítéshez tartozik a kitűzési vázlaton feltüntetett alappontok felkeresése és ideiglenes megjelölése. Ha a pont földfeletti jelölése elpusztult, a megsemmisült pont helyét meg kell találni (ki kell tűzni), a földalatti jelet fel kell tárni és a pontot helyre kell állítani. A megsemmisült jel kitűzése az adott szituációtól függően a lehetséges mérési módszerek bármelyikének felhasználásával történhet.

6.1.1.2. Tervezés, kitűzés

A mérés végrehajtásának megtervezése irodában, a kitűzés a helyszínen történik.

Az alappontok helyének tervezése és kitűzése során az alábbi fő szempontokat kell figyelembe venni:

- sűrűségük feleljen meg a pontok rendűségének, szolgáltasson kellő alapot az esetleges további alappontsűrítéshez ill. a részletpontok beméréséhez,
- a talajszinti alappont fölé a mérőműszereket központosan fel lehessen állítani,
- szükség esetén későbbi fennmaradásuk biztosított legyen,
- előírásszerűen meghatározhatók legyenek (lehetőleg összelássanak, meg kell vizsgálni a magaspontokon (templomtornyokon, épületcsúcsokon) való mérés, a külpontos felállás lehetőségeit, stb.),
- be kell tartani a pontok elhelyezésére vonatkozó esetleges korlátozó, tiltó előírásokat (pld. nem szabad az állandósítandó alappontot a mezőgazdasági művelés céljára fenntartott területen elhelyezni).

Az új alappontokat szükség esetén a pont rendűségétől függően a szabályzatokban előírt módon kell állandósítani. A tervezés és kitűzés eredménye az új alappontok végleges helyének megjelölése, az alappontok egymáshoz képesti elhelyezkedésének végleges kialakítása.

6.1.1.3. Mérés

A mérések végrehajtása, az ún. észlelés megkezdése előtt ún. meghatározási tervet kell készíteni, vagy a *kitűzési vázlatot* kell *meghatározási tervvé* kiegészíteni. A meghatározási tervre sorrendben először a már meglévő alappontokat koordinátáik, majd a kitűzött új alappontokat körülbelüli helyük alapján rajzoljuk rá. Mind az adott, mind az új pontokat a rendűségükre előírt pontszámozás szerint kell megfelelő méretben és jelöléssel a meghatározási terven ábrázolni. A pontok számozásánál az EOV szelvényszámozási rendszerét kell alapul venni (2.3.1.2. fejezet).

A mérések megtervezésekor figyelembe kell venni, hogy a szükséges méréseken túl fölös méréseket is kell majd végezni. A fölös mérések típusának és számának megválasztásakor a lehető legoptimálisabb megoldásra kell törekedni. A meghatározási terven a szomszédos pontok között tervezett méréstípusokat (iránymérés, távolságmérés) előírás szerint kell megjelölni. A méréstípusok előírás szerinti jelölésére a különböző alappont meghatározási módszerek tárgyalásánál egyenként térünk vissza.

A mérésre a terepen a meghatározási terv birtokában kerülhet sor úgy, hogy a mérés során a lehető leggazdaságosabb mérési sorrendet alakítsuk ki és minden mérési szabályt szigorúan betartsunk.

6.1.1.4. Számítás

Az új alappontok koordinátáinak számítását a következő sorrendben végezzük:

- előkészítő számítások,
- a mérési eltérések vizsgálata,
- a pontok végleges koordinátáinak meghatározása.

Az előkészítő számítások során ellenőrizzük a terepi írásbeli és számítási munkákat, a mérési eredményeket megjavítjuk a szükséges redukciókkal és számítjuk a külpontos jelek koordinátáit. *Digitális mérőműszer* használata esetén az ellenőrzési munka minimális, esetleg szükségtelen, a redukciók egy részét elvégezheti maga a műszer is.

A mérési eltérések vizsgálata a szükséges és fölös mérések eredményeinek összehasonlítását jelenti. Ilyen pld. a széleskörűen alkalmazott

$$d = \sqrt{dy^2 + dx^2}\,, \text{ ahol } \quad dy = y' - y'' \text{ és } dx = x' - x''. \qquad (4.7.1)$$

vonalas eltérés (4.7. fejezet), ahol a *'*-ős és *"*-ős koordináták számítására a fölös mérések birtokában kerülhetett sor. Az eltéréseknek mindig kisebbeknek kell lenniük a mérési szabályzatokban megengedett eltérés értékeknél, ha ez nem teljesül, újbóli ellenőrzés következik, ha ez sem jár eredménnyel, a méréseket meg kell ismételni.

A pontok végleges koordinátáinak meghatározása történhet

- pontonként és
- együttesen.

A pontonkénti koordinátameghatározás lehet közelítő és szigorú, mindkét esetben egyidejűleg csak egyetlen új pont koordinátáit határozzuk meg. Az így meghatározott pontot a későbbi számításoknál adott pontnak fogjuk tekinteni, majd meghatározunk egy újabb pontot és így tovább. A 4.7. fejezetben említettük, hogy *"*a korszerű és pontos geodéziai műszerek (teljes mérőállomások, GPS vevők) elterjedésével a megfelelő számítógépes szoftver birtokában egyszerűen végrehajtható, de elméletében meglehetősen nehézkes szigorú kiegyenlítést gyakran helyettesítik közelítő módszerekkel*"*. A *szigorú megoldást* egypont-kiegyenlítés-nek is nevezzük, amelynek során a pontra vonatkozó összes mérési eredményre felírjuk a közvetítő egyenleteket és a *koordináta-kiegyenlítés* elve alapján járunk el (4.6. fejezet). Az *egypont-kiegyenlítés* a geodéziai adatfeldolgozó szoftverek kedvelt megoldása, ez esetben a keresett ismeretlenek száma 2, esetleg 3, különösen alkalmas a különböző típusú mérési eredmények együttes kezelésére.

Az együttes meghatározásnál az összes meghatározandó pontot együttes szigorú kiegyenlítésből, általában itt is *koordináta-kiegyenlítéssel* kapjuk (4.6. fejezet). A közelítő megoldásoktól eltérően az együttes kiegyenlítés egységes, homogén, ellentmondásmentes eredményekhez vezet és lehetőséget ad mind a mérési eredmények, mind a kiegyenlített koordináták utólagos középhibáinak, pontossági mérőszámainak szigorú meghatározására.

6.1.2. Az alapvonal

"Adjatok két ismert pontot és feltérképezem Nektek a világot" - mondhatta volna a képzeletbeli ógörög geodéta. A két pontot összekötő vonal (a síkban az egyenes) irányára és a két pont közötti távolságra felépíthető az a rendszer, amelyet a térképezés *mérési pontrendszerének* (2.3. fejezet) neveztünk és amelynek végeredménye Földünk hű tükre, a térkép.

Az *önálló alappontok létesítésének* kezdetekor még nincs két ilyen pont, azokat létre kell hozni. A létrehozás módja a hálózat céljától függően különböző lehet, más a megoldás akkor, amikor egy *geodéziailag feltáratlan országot* kell a Földön elhelyezni, s más akkor, amikor *helyi hálózatot* hozunk létre. Meglévő alappontok esetén is gyakran szükség lehet arra, hogy a térképezést megelőző műveletként két pontot a térképezés szempontjából a *"legjobb"* helyen határozzunk meg és a részletes felmérést erre támaszkodva végezzük. A két ismert pontot összekötő vonalat mindegyik esetben alapvonalnak nevezzük. Az alapvonal iránya megadja a létrehozandó mérési pontrendszer (ezen belül az alapponthálózat) tájékozását, hossza pedig rögzíti a mérési pontrendszer méretarányát. Alappontok sűrítésére *csak akkor* kerülhet sor, ha a már létrehozott hálózat tájékozása és méretaránya ismert.

A mérési pontrendszer általában nem egy, hanem - a hálózat merevítése és ellenőrzés céljából *több alapvonalra* támaszkodik. Az alapvonalak létrehozásával a 6.4.1. fejezetben részletesebben is foglalkozunk.

A vízszintes alappontok meghatározásának módszerei az alábbiak:

- háromszögelés,
- sokszögelés,
- szabad álláspont,
- fotogrammetria,

- GPS (ez egyben magasságmeghatározási módszer is, nem ebben, hanem a 6.3. fejezetben foglalkozunk vele).

6.1.3. A háromszögelés

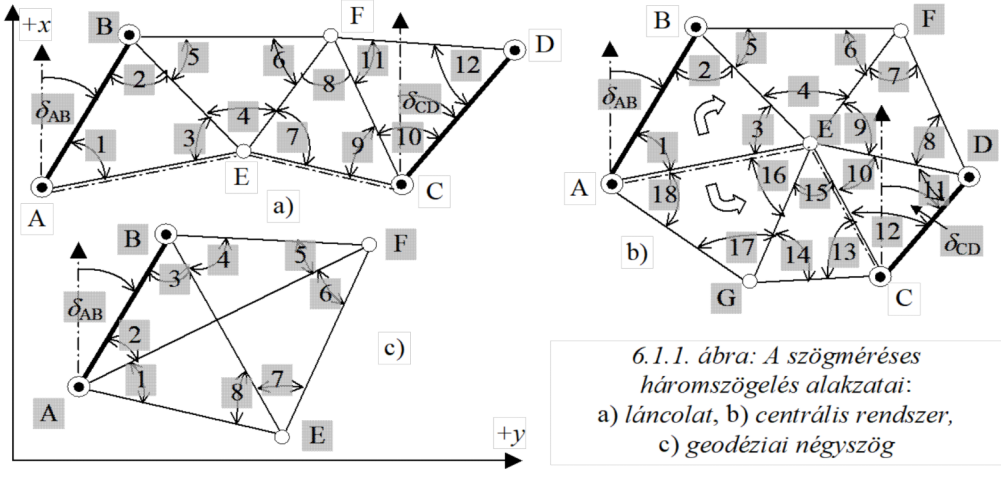
Háromszögelésen azt a vízszintes alappont meghatározási eljárást értjük, amelyben az alappontokat összekötő egyenesek olyan háromszögekből álló rendszert alkotnak, amelyben minden háromszögnek bármely szomszédos háromszöggel közös oldala van. Az egyes háromszögek különböző módon kapcsolódhatnak egymáshoz, az egyes háromszögoldalak egymást keresztezhetik. Az így létrejött rendszert háromszögelési hálózatnak nevezzük.

Attól függően, hogy a háromszögelési hálózatban szögeket, irányokat, távolságokat, vagy vegyesen, irányokat és távolságokat egyszerre mérünk, beszélünk

- szögméréses,
- iránymméréses,
- távolságméréses,
- vegyes (irány- és távolságméréses) háromszögelésről.

Magyarországon a szögméréses háromszögelést az I. rendű vízszintes alapponthálózatban, az iránymméréses háromszögelést a II., III., IV. és V. rendű vízszintes alapponthálózatban, a távolságméréses és vegyes háromszögelést a IV. és V. rendű vízszintes alapponthálózatban alkalmazták, ill. alkalmazzák. A teljes mérőállomások elterjedése óta az alappont sűrítésben a háromszögelési eljárások közül a vegyes háromszögelés dominál.

6.1.3.1. A szögméréses háromszögelés



6.1.1. ábra: A szögméréses háromszögelés alakzatai:
a) *láncolat*, b) *centrális rendszer*,
c) *geodéziai négyszög*

A 6.1.1. ábrán a szögméréses háromszögelés legfontosabb alakzatait mutatjuk be. Az a) láncolat, a b) centrális rendszer és a c) geodéziai négyszög előfordulhat külön, kettő-kettő együttesen, vagy akár mind a három együtt. A geodéziai négyszögben a háromszögoldalak metszik egymást, de a metszéspont nem alappont. Magyarországon az I. rendű vízszintes alapponthálózatban a geodéziai négyszöget nem alkalmazták.

Ahogy a 4. fejezetben (4.2.1. ábra), az ismert, adott helyzetű pontokat itt is belsejében kisebb kitöltött kört tartalmazó körrel, az ismeretlen meghatározandó, ill. térképezendő pon-

tokat pedig üres, kitöltetlen körrel fogjuk jelölni. Az adott pontokat összekötő vonalakat vastagon, az adott és új pontokat összekötő vonalakat vékonyan rajzoljuk.

A 6.1.1. ábrán az A, B, C és D adott pontok, d_{AB} és d_{CD} alapvonalak, a többi meghatározandó, új pont. Mérjük a háromszögek 1, 2, …. szögeit. A szögméréses háromszögelési hálózatban a korreláta-kiegyenlítést alkalmazták (4.6. fejezet). A szögméréses hálózat feltételi egyenletei:

1) Háromszögfeltételi egyenlet: mivel minden háromszögben az egyik szög mérése fölös mérés, azok összege a mérési hibák miatt nem lesz 180°, így pld. az a), vagy b) ábrákon lévő ABE háromszögben az 1, 2 és 3 szögekre a feltételi egyenlet az alábbi

$$1+2+3-180^o=0. \qquad (6.1.1)$$

A (6.1.1.) egyenlethez hasonló feltételi egyenlet írható fel minden háromszögre.

2) Állomásfeltételi egyenlet: a 6.1.1. b) ábra szerint a *centrális rendszer* centrumára az alábbi feltételi egyenlet írható fel:

$$3+4+9+10+15+16-360^o=0 \qquad (6.1.2)$$

3) Oldalfeltételi egyenlet: egy tetszőleges háromszögoldal hossza, egy másik, szintén tetszőleges oldalból kiindulva, a szinusz-tétel sorozatos felírásával két úton is meghatározható. Az oldalfeltétel a két úton meghatározott érték egyenlőségét fejezi ki. Az oldalfeltételek értelemszerűen csak centrális rendszerben és geodéziai négyszögben fordulnak elő (6.1.1. b) és c) ábrák). A 6.1.1. b) ábra centrális rendszerében a

$$d_{CE}=d_{AE}\cdot\frac{\sin 1\cdot\sin 5\cdot\sin 7\cdot\sin 11}{\sin 2\cdot\sin 6\cdot\sin 8\cdot\sin 12} \quad \text{és} \quad d_{CE}=d_{AE}\cdot\frac{\sin 14\cdot\sin 18}{\sin 13\cdot\sin 17}$$

összefüggések összevetéséből a

$$\frac{\sin 1\cdot\sin 5\cdot\sin 7\cdot\sin 11\cdot\sin 13\cdot\sin 17}{\sin 2\cdot\sin 6\cdot\sin 8\cdot\sin 12\cdot\sin 14\cdot\sin 18}=1, \qquad (6.1.3)$$

a geodéziai négyszögben (6.1.1. c) ábra) pedig a

$$\frac{\sin(3+4)\cdot\sin 6\cdot\sin 8}{\sin 5\cdot\sin(7+8)\cdot\sin 3}=1 \qquad (6.1.4)$$

oldalfeltételi egyenlet írható fel.

4) Irányszögfeltételi egyenlet: a hálózat egy adott irányszögéből kiindulva, a mért szögek felhasználásával egy másik adott irányszög számítható. Az irányszögfeltétel a számított és az adott irányszögek egyenlőségét fejezi ki.

A 6.1.1. a) ábra láncolatában a

$$\delta_{AB}+1\pm 180^o+3+4+7\pm 180^o+9+10-\delta_{CD}=0, \qquad (6.1.5)$$

a 6.1.1. b) ábra centrális rendszerében a

$$\delta_{AB}+1\pm 180^o+3+4+9+10\pm 180^o+12-\delta_{CD}=0 \qquad (6.1.6)$$

irányszög feltétel írható fel.

5) Alapvonalfeltételi egyenlet: egy adott alapvonalból kiindulva, a szögmérési eredmények felhasználásával a szinusz tétel folyamatos alkalmazásával, egy másik adott alapvonal hossza számítható. Az alapvonal feltétel a másik adott alapvonal számított és adott hosszának az egyenlőségét fejezi ki.

A 6.1.1. a) ábra láncolatára az alapvonalfeltétel a

$$d_{CD} = d_{AB} \cdot \frac{\sin 1 \cdot \sin 5 \cdot \sin 7 \cdot \sin 11}{\sin 3 \cdot \sin 6 \cdot \sin 9 \cdot \sin 12}, \qquad (6.1.7)$$

a 6.1.1. b) ábra centrális rendszerében az alapvonalfeltétel a

$$d_{CD} = d_{AB} \cdot \frac{\sin 2 \cdot \sin 18 \cdot \sin 14 \cdot \sin 10}{\sin 3 \cdot \sin 17 \cdot \sin 13 \cdot \sin 11} \qquad (6.1.8)$$

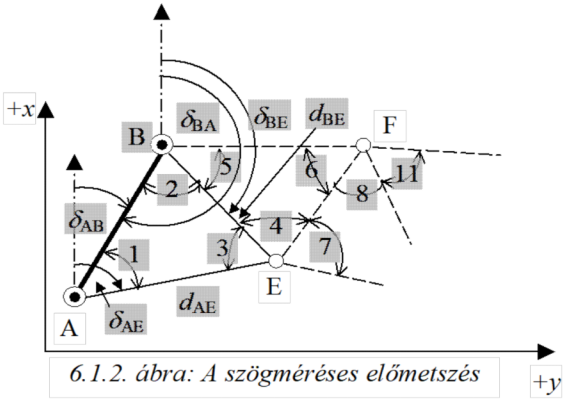
alakban írható fel.

A teljesség kedvéért megjegyezzük, hogy abban az esetben, ha a hálózatban (vagy hálózatrészen) adott három nem szomszédos pont, pld. a 6.1.1.a) ábrán A, B és C, megjelennek az ún. koordinátafeltételi egyenletek. A *feltételi egyenletek lényege*, hogy pld. a vázolt esetben az adott C pont abszcisszája és ordinátája megkaphatók, ha számítjuk a mért szögekből az irányszögeket és a szinusz-tételekből sorozatban a távolságokat és az 1. geodéziai főfeladat (2.2.2. fejezet) szerint számítható koordinátakülönbségeket pld. az A pont koordinátáihoz hozzáadjuk.

A legkisebb négyzetek elve szerint a 4.6. fejezetben vázolt kiegyenlítés után megkapjuk a mért szögek mérési javításait. Ekkor az összes fentebb vázolt feltételnek teljesülnie kell. A szögméréses háromszögelési hálózat végleges koordinátáit a szögméréses előmetszéssel számítják.

A szögméréses háromszögelési hálózat a különböző alakzatok összessége, bonyolult rendszer. Az oldalfeltételeknél a kiinduló és a kapott oldalakat sokféle módon lehet kiválasztani, az alapvonalfeltételek esetén a szomszédos háromszögek útjának megválasztása többféleképpen történhet. Hátrány, hogy általános esetben igen körülményes biztosítani a különböző típusú feltételi egyenletek függetlenségét. A szögméréses háromszögelés használata a mindennapos geodéziai gyakorlatban ma már korlátozott.

A szögméréses előmetszés



6.1.2. ábra: A szögméréses előmetszés

Ha egy háromszögnek adott két csúcspontja koordinátáival és ismerjük (mérjük, vagy számítjuk) a csúcspontoknál lévő két belső szögét, akkor a harmadik csúcspont koordinátái *szögméréses előmetszéssel* számíthatók.

A 6.1.2. ábrán adottak:

- az A és B pontok y_A, x_A, y_B, x_B koordinátái,
- az 1, 2, 3 belső szögek,

keressük:

az E pont y_E, x_E koordinátáit.

A 6.1.2. ábra alapján a δ_{AE} és a δ_{BE} irányszögek a

$$\delta_{AE} = \delta_{AB} + 1 \text{ és a } \delta_{BE} = \delta_{BA} - 2, \qquad (6.1.9)$$

a d_{AE} és a d_{BE} távolságok pedig a szinusz-tétel felhasználásával a

$$d_{AE} = d_{AB} \cdot \frac{\sin 2}{\sin 3} \text{ és a} \qquad (6.1.10)$$

$$d_{BE} = d_{AB} \cdot \frac{\sin 1}{\sin 3} \tag{6.1.11}$$

összefüggésekből számíthatók. A megoldást az 1. geodéziai főfeladat (2.2.27b) képletének megfelelően az

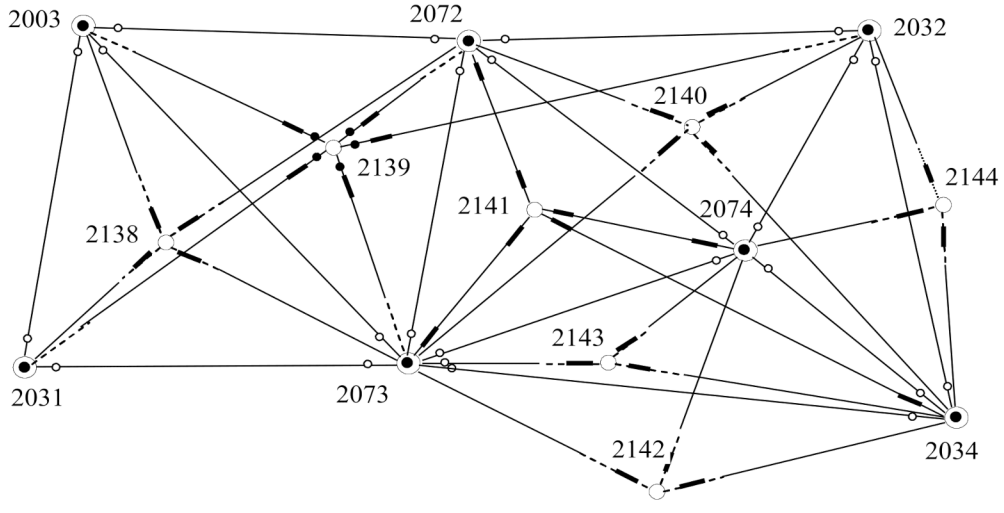
$$\begin{aligned} y_E &= y_A + d_{AE} \cdot \sin\delta_{AE} = y_B + d_{BE} \cdot \sin\delta_{BE} \\ x_E &= x_A + d_{AE} \cdot \cos\delta_{AE} = x_B + d_{BE} \cdot \cos\delta_{BE} \end{aligned} \tag{6.1.12}$$

összefüggések adják. A (6.1.12) képletekben a két-két megoldás a számítás ellenőrzésére szolgál.

Az E pont koordinátáinak ismeretében hasonló módon számíthatók az F, …, stb. háromszögelési pontok koordinátái.

6.1.3.2. Az irányméréses háromszögelés

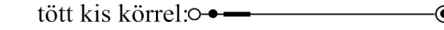
Az iránymérés fogalmával és a kapcsolódó alapvető tudnivalókkal már találkoztunk az 5.2.2.2. *"A teodolit"* c. fejezetben. Az irányméréses háromszögelésnél az egyes háromszögek csúcspontjaiban nem szögeket, hanem irányokat, ill. iránysorozatokat mérünk, az 5.2.42. ábrán bemutatott módon, az alappont rendűségétől függő számú fordulóban. Ha szükséges, elvégezzük az irányértékek központosítását (5.2.45. ábra). Az irányértékeket, ill. az iránysorozatot a matematikai feldolgozás előtt mindig tájékozni kell, az 5.2.47. ábrán látható módon és az ott leírtak szerint.



6.1.3. ábra: Irányméréses háromszögelési hálózat

A 6.1.3. ábrán irányméréses háromszögelési hálózat látható. Az ábrán megtartottuk a 6.1.1. ábra adott és új pontokra vonatkozó jelöléseit, de az egyes pontokat összekötő egyenesek mindig vékonyak. A különböző típusú irányokra az alábbi fogalmakat, ill. jelöléseket használjuk (a jelölések egyben a meghatározási terv előírt jelölései is, a rajzok nem méretűek):

- tájékozó irány: adott pontról adott pontra menő irány. A fogalommal már találkoztunk az 5.2.2.2. fejezet *"Az irányértékek tájékozása"* c. részében (5.2.47. ábra). Jelölése vékony vonal és az álláspontot jelölő kettős kör szélétől 8 mm távolságban a vonalra rajzolt 1 mm átmérőjű kör:

- meghatározó irányok: adott és új pont közötti irány:
  - külső, vagy előmetsző irány: adott pontról új pontra menő meghatározó irány, jelölése vékony vonal, a meghatározandó irányzott pontnál 4 mm hosszú vastag vonallal:  , ha az új ponton nem állunk fel, a vonalat az új pont felé eső részén 15 mm hosszban szaggatottan rajzoljuk:
    
  - belső, vagy hátrametsző irány: új pontról adott pontra menő irány, jelölése vékony vonal, rajta a meghatározandó pontnál 4 mm hosszú vastag vonal kitöltött kis körrel:  , ha az adott ponton nem állunk fel, ott a vonalat 15 mm hosszban szaggatva rajzoljuk: 
  - külső-belső irány: olyan meghatározó irány, amely mind az adott, mind az új ponton mért iránysorozatban szerepel. Jelölése két 4 mm hosszú vastag vonal:
    

A 6.1.3. ábra pontszámozása a 2.3.1.2. fejezetben leírtak szerinti, de elhagytuk az 1:100000 méretarányú szelvény két-, esetleg háromjegyű számát, tekintettel arra, hogy az ábrázolt hálózatrészen ez minden pontra ugyanaz. A számozás szerint a 2003 I. rendű, a 2031-2034 pontok III. rendű pontok, a 2072-2074 pontok IV. rendű főpontok, míg a 2138-2144 számú pontok meghatározandó IV. rendű pontok (az ábra csak példa, tekintsünk most el attól, hogy Magyarország IV. rendű vízszintes alapponthálózata már készen van).

Az irányméréses hálózat tervezése szigorú értelemben véve optimalizálási feladat, amelyben a hálózati pontok elhelyezkedése, a pontosság, a mérések megoszlása mellett a költségeket is optimalizálni kell. Ehhez kapcsolódó részletes ismereteket Sárközy Ferenc tankönyvéből[1] szerezhet az érdeklődő olvasó. A hálózattervezésnek egyéb, az adott rendű alappontsűrítésre előírt szabályai vannak, előírják a használható teodolitok leolvasási élességét, mérési pontosságát, a pontok minimális, ill. maximális távolságát, stb. Néhány fontosabb szabály:

- törekedni kell arra, hogy az új pontokat külső (előmetsző) irányokkal határozzuk meg,
- a tájékozó irányok hosszabbak legyenek az új pontokat meghatározó irányoknál,
- egy háromszögből nem szabad pontot meghatározni,
- tisztán belső (hátrametsző) irányokat csak kivételes esetben szabad használni, akkor is legalább 5-öt,
- ügyelni kell arra, hogy a metsző irányok a meghatározandó pontoknál lehetőleg 45° és 135° közé eső szögeket zárjanak be. Túl hegyes, vagy túl tompa szögek fokozzák a meghatározás bizonytalanságát.

A 6.1.3. ábrán szemléltetett hálózat *példa hálózat*, nem tesz maradéktalanul eleget a fenti előírásoknak. Az ábra jelölései szerint a 2138 pontot a 2003, 2031, 2072 és 2073 pontokból tisztán külső (előmetsző), a 2139 pontot a 2003, 2031, 2072, 2073 és 2032 pontokból tisztán belső (hátrametsző), a 2141 pontot a 2034, 2072, 2073 és 2074 pontokból külső-belső, a 2142 és a 2143 pontot a 2034, 2073 és 2074 pontokból és a 2144 pontot a 2032, 2034 és 2074 pontokból szintén tisztán külső irányokkal határozzuk meg.

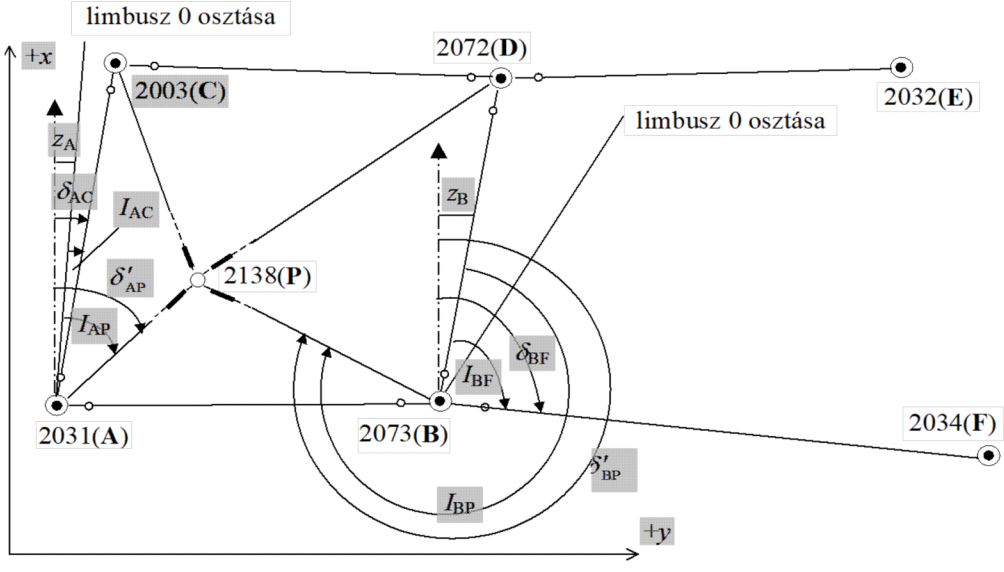
Az irányméréses háromszögelés számítása történhet pontonként (közelítő megoldás, vagy egypont-kiegyenlítés) és együttesen, szigorú kiegyenlítéssel. Az irányméréses háromszögelésnél a közelítő megoldás a külső irányokkal való meghatározásnál a tájékozott irányértékekkel való előmetszéssel, a belső irányokkal való meghatározásnál hátrametszéssel történik.

[1] Sárközy Ferenc: Geodézia. Tankönyvkiadó, Budapest, 1984. 352-362 old.

Előmetszés tájékozott irányértékekkel

A feladat bemutatására tekintsük a 6.1.3. ábrának a feladatra vonatkozó részét tartalmazó 6.1.4. ábrát!

Az egyszerűsítés kedvéért a továbbiakban a pontszámokat a 6.1.4. ábrán zárójelbe tett betűkkel helyettesítjük. A 2138 (**P**) pont matematikai meghatározásához elegendő, ha a pontot két külső irányból metsszük elő. A két külső irány tájékozásához a két adott ponton egy-egy tájékozó irány mérése szükséges. A külső irányok legyenek a 2031(**A**)-2138(**P**) és a 2073(**B**)-2138(**P**) irányok, a tájékozó irányok pedig a 2031(**A**)-2003(**C**) és a 2073(**B**)-2034(**F**).



6.1.4. ábra: Előmetszés tájékozott irányértékekkel

A 6.1.4. ábrán adottak:

- az A és B pontok y_A, x_A, y_B, x_B koordinátái,
- a C és F pontok y_C, x_C, y_F, x_F koordinátái,
- a 2. geodéziai főfeladatból (2.2.28a. képlet) számíthatók a δ_{AC} és δ_{BF} irányszögek,

mérjük:

- az I_{AC}, I_{AP} és I_{BF}, I_{BP} irányértékeket,

keressük:

- a P pont y_P, x_P koordinátáit.

Az 5.2.2.2. *"A teodolit"* fejezet *"Irányértékek tájékozása"* c. részének 5.2.47. ábrája és az (5.2.22a) képlete szerint

$$\begin{aligned} z_A &= \delta_{AC} - I_{AC} \quad \text{és} \\ \delta'_{AP} &= I_{AP} + z_A \end{aligned}, \tag{6.1.13}$$

valamint

$$\begin{aligned} z_B &= \delta_{BF} - I_{BF} \quad \text{és} \\ \delta'_{BP} &= I_{BP} + z_B \end{aligned}. \tag{6.1.14}$$

A (6.1.13) és (6.1.14) képletekben z_A és z_B *tájékozási szögek*, δ'_{AP} és δ'_{BF} *tájékozott irányértékek*.

Az A-C és B-F külső irányok egyeneseinek egyenlete:

$$y_P - y_A = (x_P - x_A) \cdot \operatorname{tg} \delta'_{AP} \qquad (6.1.15a)$$

$$y_P - y_B = (x_P - x_B) \cdot \operatorname{tg} \delta'_{BP} \qquad (6.1.15b)$$

A fenti két egyenletből a keresett P pont koordinátái meghatározhatók. Vonjuk ki pld. a felső egyenletből az alsót, kapjuk:

$$y_B - y_A = x_P \cdot (\operatorname{tg} \delta'_{AP} - \operatorname{tg} \delta'_{BP}) - x_A \cdot \operatorname{tg} \delta'_{AP} + x_B \cdot \operatorname{tg} \delta'_{BP} . \qquad (6.1.16)$$

A (6.1.16) összefüggésből az x_P ismeretlen koordináta értéke számítható. Az x_P értéke a vetületi koordinátarendszer kezdőpontjából x irányban számított távolság, s mm-ben kifejezett értéke akár 9 értékes jegyből is állhat. Pontosabb eredményhez jutunk, ha közvetlenül nem az x_P koordinátát, hanem a kevesebb értékes számjegyből álló $x_P - x_A$ (vagy az $x_P - x_B$) koordinátakülönbséget számítjuk. Fejezzük ki ezért a (6.1.16) összefüggésből az x_P-t és vonjunk ki mindkét oldalból x_A-t. Közös nevezőre hozás, az azonos tagok kiejtése és összevonása után írhatjuk:

$$x_P - x_A = \frac{(y_B - y_A) - (x_B - x_A) \cdot \operatorname{tg} \delta'_{BP}}{\operatorname{tg} \delta'_{AP} - \operatorname{tg} \delta'_{BP}} , \qquad (6.1.17)$$

ahonnan

$$x_P = x_A + \frac{(y_B - y_A) - (x_B - x_A) \cdot \operatorname{tg} \delta'_{BP}}{\operatorname{tg} \delta'_{AP} - \operatorname{tg} \delta'_{BP}} . \qquad (6.1.18)$$

Végül, a (6.1.18) összefüggést behelyettesítve a (6.1.15a) képletbe, kapjuk:

$$y_P = y_A + (x_P - x_A) \cdot \operatorname{tg} \delta'_{AP} \qquad (6.1.19)$$

A fenti megoldás során a számított koordinátákra még nincs ellenőrzésünk. *Ellenőrizhetőbb* eredményeket kapunk és pontosságnövelő hatása van, ha a δ'_{AP} és δ'_{BF} tájékozott irányértékek számításánál a 6.1.4 ábra példáján az AB és a BD tájékozó irányokat is figyelembe véve, az (5.2.22b) képletek szerint *középtájékozási*, vagy *súlyozott középtájékozási szöget* számítunk. Az egyes tájékozási szögeknek ui. meg kell egyezniük, az irányeltérésekre vonatkozóan itt is határokat adnak meg (5.2.23a) képlet). Ezzel együtt is azonban a P pontra mindössze egy koordináta párunk van, ami a fentebb közölt szabálynak, miszerint egy háromszögből nem szabad új pontot meghatározni, nem felel meg.

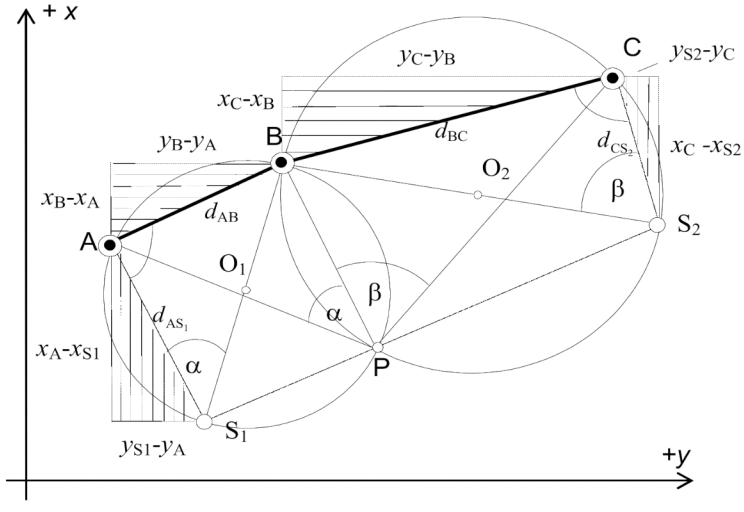
A 6.1.4. ábrán a szabálynak megfelelő megoldásra két háromszög is lehetőséget ad: a CDP és a DBP háromszögek. A C pontban a középtájékozási szöget a CA és a CD, a D pontban a középtájékozási szöget a DC, DE és a DB, azaz az utóbbi esetben 3 tájékozó irány figyelembe vételével számíthatjuk. A (6.1.18) és (6.1.19) összefüggések felhasználásával a CDP és a DBP háromszögekből a meghatározandó P pontra még egy-egy koordinátapárt kapunk. Azaz, a P pontra már összesen 3 koordinátapárunk van.

A 6.1.1.4. fejezet (4.7.1) képlete szerint a 3 koordináta pár páronkénti vonalas eltérése számítható. Ha ezek egy előre magadott értéknél kisebbek, úgy a P pont végleges koordinátái a 3 db y_P és a 3 db x_P koordinátából - hacsak valamilyen ok a súlyozást nem támasztja alá, az egyszerű számtani középpel számíthatók. Ha az eltérés értéke bármelyik esetben nagyobb, úgy a nagyobb eltérést okozó koordináta párt a számtani közép számításából ki kell hagyni, vagy, ha a meghatározási terv mérési előírása megköveteli, az eltérést okozó méréseket meg kell ismételni. A számított pontot a továbbiakban úgy tekintjük, mint adott pontot.

Hátrametszés

A feladat bemutatására tekintsük a 6.1.5. ábrát!

A P ismeretlen pont geometriai meghatározásához elegendő, ha a pontot minimálisan három belső irányból metsszük hátra. A 3 belső irány a PA, PB és a PC. Az adott A, B, C pontokat összekötő egyeneseket, mivel a rájuk vonatkozó mérési eredmények nem vesznek részt a megoldásban, most vastag vonallal jelöljük. Az egyszerűség kedvéért a belső irányok jelölését most elhagyjuk.



6.1.5. ábra: A hátrametszés Sossna-féle megoldása

A 6.1.5. ábrán adottak:

- az A, B, és C pontok $y_A, x_A, y_B, x_B, y_C, x_C$ koordinátái,

mérjük:

- az I_{PA}, I_{PB} és I_{PC} irányértékeket,

keressük:

- a P pont y_P, x_P koordinátáit.

A hátrametszésre a geodézia története során igen sok megoldás született, tekintettel arra, hogy a koordináták számítása két kör egyenletének közvetlen megoldásából annak idején komoly számítástechnikai akadályokba ütközött. Itt a megoldást a Sossna-féle módszeren szemléltetjük. A módszer a hátrametszést a *tájékozott irányértékekkel való előmetszésre* vezeti vissza.

Az A pontból az AB egyenesre szerkesztett merőleges az ABP körből az S_1 segédpontot, a C pontból a BC egyenesre szerkesztett merőleges a BCP körből az S_2 segédpontot metszi ki. A *Thales-tétel* szerint az S_1B és az S_2B egyenesek átmennek a körök O_1 és O_2 középpontjain. Tekintettel arra, hogy a P pontnál elhelyezkedő PB és PS_1, valamint a PB és PS_2 egyenesek által bezárt szögek a Thales-tétel miatt derékszögek, összegük 180°, azaz az S_1, a P és az S_2 pontok egy egyenesen helyezkednek el.

Határozzuk meg a segédpontok koordinátáit!

Az ABS_1 háromszögből, valamint a sraffozott háromszögek hasonlósága alapján

$$\operatorname{ctg}\alpha = \frac{d_{AS_1}}{d_{AB}} = \frac{y_{S_1} - y_A}{x_B - x_A} = \frac{x_A - x_{S_1}}{y_B - y_A} \qquad (6.1.20)$$

írható, ahonnan

$$y_{S_1} = y_A + (x_B - x_A)\cdot \operatorname{ctg}\alpha \quad \text{és} \qquad (6.1.21a)$$

$$x_{S_1} = x_A - (y_B - y_A)\cdot \operatorname{ctg}\alpha\,. \qquad (6.1.21b)$$

Hasonlóan, a BCS_2 háromszögből, valamint a BCP körhöz tartozó sraffozott háromszögek hasonlósága alapján felírható a

$$\operatorname{ctg}\beta = \frac{d_{CS_2}}{d_{BC}} = \frac{y_{S_2} - y_C}{x_C - x_B} = \frac{x_C - x_{S_2}}{y_C - y_B} \qquad (6.1.22)$$

összefüggés, ahonnan

$$y_{S_2} = y_C + (x_C - x_B)\cdot \operatorname{ctg}\beta \quad \text{és} \qquad (6.1.23a)$$

$$x_{S_2} = x_C - (y_C - y_B)\cdot \operatorname{ctg}\beta\,. \qquad (6.1.23b)$$

A 2. geodéziai főfeladat szerint számítható a $\delta_{S_1S_2}$ irányszög, amely egyben a PS_2 és az S_1P irányok irányszöge is:

$$\delta_{S_1S_2} = \delta_{PS_2} = \delta_{S_1P} = \operatorname{ar\,ctg}\frac{y_{S_2} - y_{S_1}}{x_{S_2} - x_{S_1}} \quad \text{és} \qquad (6.1.24a)$$

$$\delta_{S_2P} = \delta_{PS_1} = \delta_{S_1P} + 180^o\,. \qquad (6.1.24b)$$

Mivel azonban a PB egyenes merőleges az S_1S_2 egyenesre, írhatjuk:

$$\delta'_{PB} = \delta_{PS_1} + 90^o, \text{ vagy } \delta'_{PB} = \delta_{PS_2} - 90^o\,. \qquad (6.1.25)$$

A PA és PC irányok *tájékozott irányértékei*:

$$\delta'_{PA} = \delta'_{PB} - \alpha \text{ és } \delta'_{PC} = \delta'_{PB} + \beta\,. \qquad (6.1.26)$$

De $\delta'_{AP} = \delta'_{PA} \pm 180^o$, $\delta'_{BP} = \delta'_{PB} \pm 180^o$ és $\delta'_{CP} = \delta'_{PC} \pm 180^o$, vagyis - az A, P és C pontok koordinátáival együtt - ismertek a tájékozott irányértékekkel való előmetszés kiinduló értékei. A P pont koordinátáit a (6.1.18) és (6.1.19) képletek szerint kapjuk:

$$x_P = x_A + \frac{(y_B - y_A) - (x_B - x_A)\cdot \operatorname{tg}\delta'_{BP}}{\operatorname{tg}\delta'_{AP} - \operatorname{tg}\delta'_{BP}} \qquad (6.1.27)$$

és

$$y_P = y_A + (x_P - x_A)\cdot \operatorname{tg}\delta'_{AP}\,. \qquad (6.1.28)$$

Tisztán belső irányok használatakor a minimálisan 3 helyett legalább 5 irányra van szükség. Az 5 irányból egymástól független három-három irány három variációban választható ki. Általában válasszuk azokat irányokat, amelyek mellett a P pontnál lévő szög legközelebb van a 90°-hoz. A három belsőirány-hármasból a meghatározandó P pontra összesen 3 koordinátapárt kapunk.

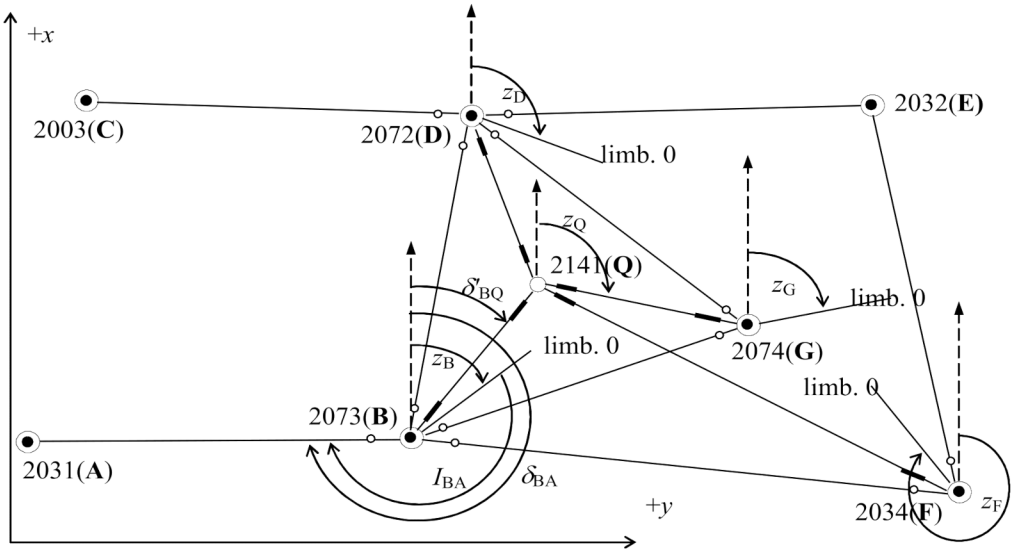
Ha a 6.1.1.4. fejezet (4.7.1) képlete szerint a 3 koordináta pár páronkénti vonalas eltérései egy előre magadott értéknél kisebbek, úgy a P pont végleges koordinátái a 3 db y_P és a 3 db x_P koordinátából egyszerű számtani középpel számíthatók. Ha az eltérés értéke bármelyik esetben nagyobb, úgy a nagyobb eltérést okozó koordináta párt - az előmetszéshez hasonlóan

- a számtani közép számításából ki kell hagyni, vagy, ha a meghatározási terv mérési előírása megköveteli, az eltérést okozó méréseket meg kell ismételni. A számított pontot a továbbiakban szintén úgy tekintjük, mint adott pontot.

A bemutatott közelítő megoldással szemben mind az egypont-, mind az együttes kiegyenlítés előnye, hogy az ismeretlenekkel egyidejűleg megkapjuk az ismeretlenek pontossági mérőszámait is. Ha a szigorú kiegyenlítésen alapuló geodéziai adatfeldolgozó szoftver áll rendelkezésünkre, a fentiek szerinti manuális számítás helyett mindig ez utóbbi megoldást válasszuk.

Egypont-kiegyenlítés az irányméréses hálózatban

A 6.1.3. ábrán a 2141 pontot *külső-belső irányokkal* határozzuk meg. Ezek a következők: a 2072(**D**)-2141(**Q**), 2073(**B**)-2141(**Q**), 2074(**G**)-2141(**Q**) és 2034(**F**)-2141(**Q**) *külső* és a 2141(**Q**)-2072(**D**), 2141(**Q**)- 2073(**B**), 2141(**Q**)- 2074(**G**) és 2141(**Q**)- 2034(**F**) belső irányok. A külső-belső irányokon felül mértük: a B ponton a 2073(**B**)-2031(**A**), 2073(**B**)-2072(**D**), 2073(**B**)-2074(**G**) és 2073(**B**)-2034(**F**), a D ponton a 2072(**D**)-2003(**C**), 2072(**D**)-2032(**E**), 2072(**D**)-2073(**B**) és a 2072(**D**)-2074(**G**), az F ponton a 2034(**F**)-2073(**B**) és 2034(**F**)-2032(**E**), a G ponton a 2074(**G**)-2073(**B**) és a 2074(**G**)-2072(**D**) *tájékozó irányokat*. A 6.1.6. ábrán feltüntettünk minden fent felsorolt, a 2141(**Q**) pont meghatározásában részt vevő irányt.



6.1.6. ábra: A Q pont meghatározása egypont-kiegyenlítéssel

Feladatunk a Q pont koordinátáinak meghatározása *egypont-kiegyenlítéssel*.

Az *egypont-kiegyenlítés* mindig koordináta-kiegyenlítés, vagyis a kiegyenlítés eredményeként megkapjuk az új pont koordinátáit, a pontossági mérőszámokkal együtt (4.6. fejezet). Mint tudjuk, a *közvetítő egyenletek* száma megegyezik a mérési eredmények számával, ez esetünkben a 4 külső, a 4 belső és a 12 tájékozó irányra összesen 20 közvetítő egyenlet.

A 6.1.6. ábrán vázolt irányméréses hálózatrészben a mérési eredmények a *tájékozó*, a *külső* és a *belső irányokra* vonatkozó irányértékek. Ez mindössze 3 típusú közvetítő egyenletet jelent, a többi felírható ezek analógiájára. A 4.6. fejezet szerint a mérési eredményeket (jelen esetben az irányértékeket) kell kifejezni a keresett ismeretlenek függvényében. A *keresett ismeretlenek* a z_B, z_D, z_F, z_G és z_Q *tájékozási szögek* és a Q pont y_Q és x_Q *koordinátái* (számunkra a végeredmény szempontjából a tájékozási szögek érdektelenek, léteznek módszerek,

amelyekkel ezek a kiegyenlítésből kiküszöbölhetők). Az összes mérés száma 20, a keresett ismeretlenek száma 7, a fölös mérések száma f = 20-7 = 13.

Az egypont-kiegyenlítés közvetítő egyenletei az iránymeréses hálózatban:

1) A tájékozó irányok közül vegyük példaként a BA irányt. A 6.1.6. ábra szerint az I_{BA} mérési eredmény a z_B keresett ún. tájékozási ismeretlen függvényében (azaz a *közvetítő egyenlet*) az alábbi:

$$I_{BA} = \delta_{BA} - z_B . \qquad (6.1.29)$$

2) A külső irányokra a közvetítő egyenletet a BQ külső irányra szemléltetjük. Kiinduló egyenletünk a (6.1.29)-nek felel meg:

$$I_{BQ} = \delta'_{BQ} - z_B . \qquad (6.1.30)$$

A δ'_{BQ} tájékozott irányértéket fejezzük ki az irányt létrehozó pontok koordinátáinak függvényében. Kapjuk:

$$I_{BQ} = \operatorname{arctg} \frac{y_Q - y_B}{x_Q - x_B} - z_B . \qquad (6.1.31)$$

A (6.1.31) összefüggés 3 ismeretlent tartalmaz: a z_B *tájékozási ismeretlent* és a Q pont y_Q, x_Q *koordinátáit*, a B pont y_B, x_B koordinátái adottak.

3) A belső irányok közvetítő egyenleteire vonatkozóan a fentiekhez teljesen hasonló meggondolások érvényesek, azzal a különbséggel, hogy a (6.1.31) típusú egyenletekben az ismeretlen y_Q, x_Q koordináták az "arctg" mögötti hányados számlálójában és nevezőjében nem elől, hanem hátul állnak. Ennek megfelelően pld. a QB belső irányra felírható közvetítő egyenlet az alábbi:

$$I_{QB} = \operatorname{arctg} \frac{y_B - y_Q}{x_B - x_Q} - z_Q \qquad (6.1.32)$$

Az egypont-kiegyenlítésből a legkisebb négyzetek elve szerint kapott koordinátákat a továbbiakban *ismert koordinátáknak* fogjuk tekinteni.

Iránymeréses hálózat együttes kiegyenlítése

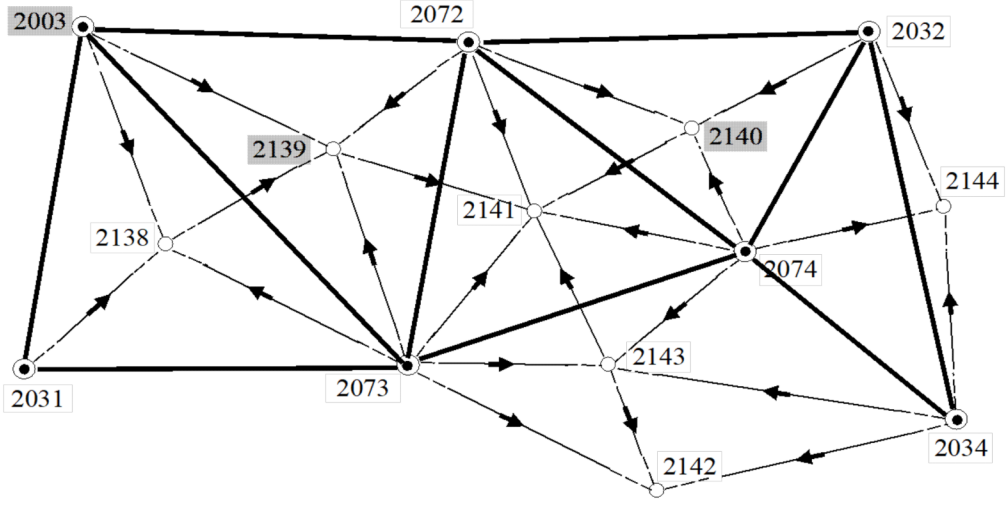
Az iránymeréses háromszögelési hálózat *együttes szigorú kiegyenlítésére* változtatás nélkül alkalmazhatók az előző pontban az *egypont-kiegyenlítéssel* kapcsolatban leírtak. A koordináta-kiegyenlítés során egy lépésben keressük az összes új pont koordinátáit, amihez a *meghatározási tervben* megfogalmazott összes mérési eredményt felhasználjuk. A *tájékozó*, a *külső* és a *belső* irányokra felírható közvetítő egyenletek ugyanolyanok, ismeretlenként szerepel valamennyi adott ponton a tájékozási szög (a *tájékozási ismeretlen*) és valamennyi új pont *y* és *x* koordinátái. Ez a 6.1.3. ábra iránymeréses háromszögelési hálózatára a 7 adott pontra 7 *tájékozási ismeretlent*, a 7 új pontra pedig 7*2=14 ismeretlen koordinátát, vagyis összesen 21 ismeretlent jelent.

Mind az egypont-, mind az együttes koordináta-kiegyenlítés előnye, hogy

- a megoldás során mindössze *három típusú közvetítő egyenletet* kell felírni, így a munka könnyen automatizálható, valamint
- az ismeretlenekkel egyidejűleg megkapjuk az ismeretlenek pontossági mérőszámait is.

6.1.3.3. A távolságméréses háromszögelés

A távolságméréses háromszögelésnél az egyes háromszögekben nem szögeket, ill. iránysorozatokat mérünk, hanem a hálózat háromszögeinek mindhárom oldalát. Ha van külpontos távolság, elvégezzük a *központosítását* (5.2.64. és 5.2.65. ábra).



6.1.7. ábra: Távolságméréses háromszögelési hálózat

A 6.1.7. ábrán távolságméréses háromszögelési hálózat látható. Az ábrán megtartottuk a 6.1.1. ábra adott és új pontjait. Az adott oldalakat most vastag vonallal jelöljük.

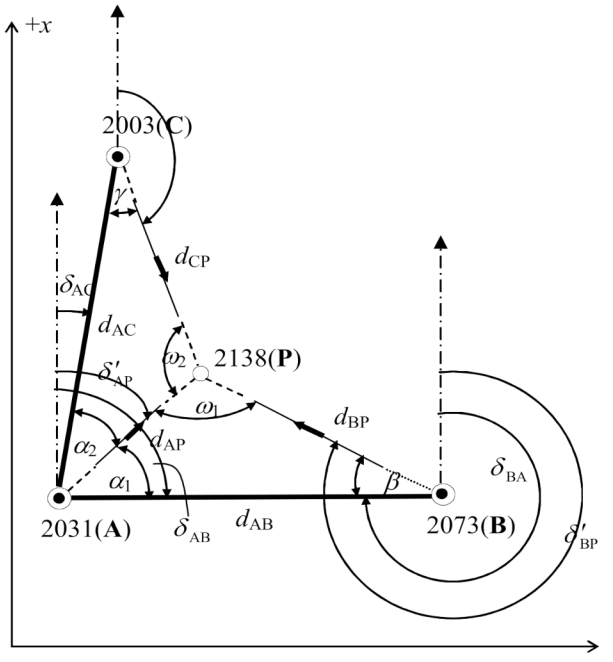
- A mért távolságok jelölése vékony vonal és a vonal közepére rajzolt 4 mm hosszú vonal, ha az egyik adott, a másik új pont, az utóbbi pont felé mutató nyíllal. Tisztán távolságmérés esetén a végpontokat összekötő vonal mindkét végét szaggatva rajzoljuk (a jelölés egyben a meghatározási terv előírt jelölése is, a rajz nem mérethű):

A magyarországi vízszintes alapponthálózatban a *távolságméréses háromszögelést* a IV. és V. rendű hálózatban alkalmazták, ill. alkalmazzák. A háromszögek három oldalának ismerete, ill. megmérése - a szögekkel ellentétben - nem jelent fölös mérést.

A 6.1.7. ábrán új pontok közötti távolságokat is mértünk, ezért a pontonkénti számításnál tartsuk be a nyilaknak megfelelő pont meghatározási sorrendet. Így pld. a 2003, 2031 és a 2073 sz. pontokból meghatározzuk a 2138 sz. pontot, majd a 2003, 2072, 2073 és 2138 sz. pontokból a 2139 sz. pontot, stb. A már meghatározott pontokat, mint az iránymméréses háromszögelésnél, a későbbi pontmeghatározások szempontjából adottnak fogjuk tekinteni.

A távolságméréses háromszögelés számítása - az iránymméréses háromszögeléshez hasonlóan - történhet pontonként (közelítő megoldás, vagy egypont-kiegyenlítés) és együttesen, szigorú kiegyenlítéssel. A távolságméréses háromszögelés közelítő megoldásánál a pontok koordinátáinak meghatározása távolságméréses előmetszéssel (az ún. ívmetszéssel) történik.

Távolságméréses előmetszés



6.1.8 ábra: Távolságméréses előmetszés

A P pont matematikai meghatározásához elegendő, ha a pontot egy, pld. az ABP háromszögből határozzuk meg.

A 6.1.8. ábrán adottak:

- az A és B pontok y_A, x_A, y_B, x_B koordinátái,
- a C pont y_C, x_C koordinátái,
- a 2. geodéziai főfeladatból számítjuk a d_{AB} és d_{AC} távolságokat.

mérjük:

- a d_{AP}, d_{BP} és d_{CP} távolságokat,

keressük:

- a P pont y_P, x_P koordinátáit.

Határozzuk meg a P pont koordinátáit az ABP háromszögből! A P pont helyét geometriailag az A és B pontok köré a mért távolságokkal, mint sugarakkal húzott körívek metszik ki. Innen ered a módszer ívmetszés elnevezése.

Az ABP háromszög szögeit pld. a *koszinusz-tétel* felhasználásával számíthatjuk ki:

$$\alpha_1 = \arccos \frac{d_{AB}^2 + d_{AP}^2 - d_{BP}^2}{2 \cdot d_{AB} \cdot d_{AP}}$$

$$\beta = \arccos \frac{d_{AB}^2 + d_{BP}^2 - d_{AP}^2}{2 \cdot d_{AB} \cdot d_{BP}} \qquad (6.1.33)$$

$$\omega_1 = \arccos \frac{d_{AP}^2 + d_{BP}^2 - d_{AB}^2}{2 \cdot d_{AP} \cdot d_{BP}}$$

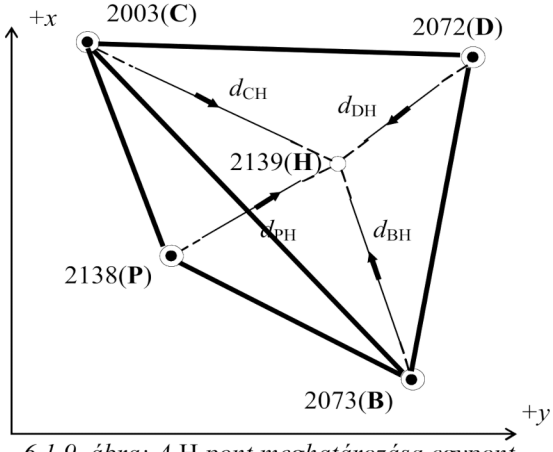
A P pont koordinátái - a szögméréses előmetszés (6.1.12) képletéhez hasonlóan - az 1. geodéziai főfeladat összefüggései szerint számíthatók.

Mivel *csak* egy háromszögből nem szabad új pontot meghatározni, a fenti eljárást alkalmazni kell az ACP háromszögre is. E szerint a meghatározandó P pontra még egy koordinátapárt kapunk. A 6.1.1.4. fejezet (4.7.1) képlete szerint a 2 koordinátapár alapján számítjuk a vonalas eltérést, ha ez egy előre magadott értéknél kisebb, úgy a P pont végleges koordinátáit - ahogy pld. a tájékozott irányértékekkel való előmetszésnél - az egyszerű számtani középpel számítjuk. Ha az eltérés értéke nagyobb, úgy a méréseket meg kell ismételni. A számított pontot a továbbiakban most is úgy tekintjük, mint adott pontot.

Vegyük észre, hogy a pontonkénti számításnál - a választott pontmeghatározási sorrendtől függően - már ismertek lehetnek a 6.1.7. ábra szerinti 2139. sz. pont koordinátái. Ekkor a P pont koordinátáinak számításához még további két háromszöget használhatunk fel.

Természetesen, a P pont így kapott koordinátáit már nem használhatjuk visszafelé, a 2139. sz. pont számításához.

Egypont-kiegyenlítés a távolságméréses hálózatban



6.1.9. ábra: A H *pont meghatározása egypont-kiegyenlítéssel*

Tételezzük fel, hogy a 6.1.7. ábra távolságméréses háromszögelési hálózatában a 2138 (**P**) pont koordinátáit már meghatároztuk. Ekkor a 6.1.9. ábra szerint a 2139 (**H**) pont meghatározásában a következő pontok között mért távolságok vesznek részt: 2003(**C**)-2139(**H**), 2072(**D**)-2139(**H**), 2073(**B**)-2139(**H**) és 2138(**P**)-2139(**H**). A 2141(**Q**) pont (6.1.7. ábra) koordinátáit még nem ismerjük, így a 2141(**Q**)-2139(**H**) távolság nem vesz részt a 2139(**H**) pont meghatározásában.

Az összesen $n = 4$ mérési eredmény megegyezik a *közvetítő egyenletek* számával.

A keresett ismeretlenek a H pont y_H és x_H koordinátái, vagyis $m = 2$. A fölös mérések száma $f = n - m = 2$.

A d_{BH} távolságra, mint mérési eredményre a Pitagorasz-tétel szerint az alábbi, a keresett ismeretleneket tartalmazó *közvetítő egyenlet* írható fel:

$$d_{BH} = \sqrt{(y_H - y_B)^2 + (x_H - x_B)^2} \ . \qquad (6.1.34)$$

Teljesen hasonló összefüggések írhatók fel a többi mért oldalra is.

A kiegyenlítés elvégzése után kapott koordinátákat a továbbiakban *ismert koordinátáknak* fogjuk tekinteni.

Távolságméréses hálózat együttes kiegyenlítése

A távolságméréses háromszögelés *együttes szigorú kiegyenlítésére* az iránymméréses háromszögelési hálózat *együttes szigorú kiegyenlítésével* kapcsolatban elmondottak érvényesek. A (6.1.34) típusú távolságmérési közvetítő egyenletek ugyanolyanok, ismeretlenek a 7 új pont y és x koordinátái (koordináta kiegészítő értékei). Ez a 6.1.7. ábra távolságméréses háromszögelési hálózatában a 7 új pontra 7*2=14 ismeretlen koordinátát jelent. A távolságmérési eredmények száma 25, a fölös méréseké 11.

A távolságméréses hálózat együttes koordináta-kiegyenlítésének előnye, hogy a megoldás során ugyanolyan *egyenleteket* kell felírni és, mint minden szigorú kiegyenlítésnél, az ismeretlenekkel egyidejűleg itt is megkapjuk az ismeretlenek pontossági mérőszámait.

6.1.3.4. Vegyes (irány- és távolságméréses) háromszögelés

A vegyes (irány- és távolságméréses) háromszögelési hálózat - mint a neve is mutatja - olyan hálózat, amelyben a meghatározási terv szerint mind különböző típusú irányokat, mind távolságokat mérünk. A pontonkénti közelítő meghatározásnál egyszerre alkalmazzuk a különböző metszési módszereket és vizsgáljuk a vonalas eltéréseket, majd a vonalas eltérések ismeretében döntünk az új koordináták elfogadásáról, esetleg az újramérésről.

Ha szigorú kiegyenlítést végzünk, úgy mind az egypont-, mind az együttes kiegyenlítéskor a mérés típusától függően vegyesen alkalmazzuk az iránymérésre vonatkozó (6.1.29), (6.1.31) és (6.1.32), valamint a távolságmérésre vonatkozó (6.1.34) alakú közvetítő egyenleteket. A vonalas eltérések vizsgálatát természetesen a szigorú kiegyenlítés esetében is el kell végezni, a szükség esetén a hálózat *"gyanús"* részeit újramérni.

A legkisebb négyzetek elve szerinti kiegyenlítés elvégzése után az eredményeket mind az egypont-, mind az együttes kiegyenlítés esetén a számítható pontossági mérőszámok birtokában tudjuk megbízhatóan értékelni.

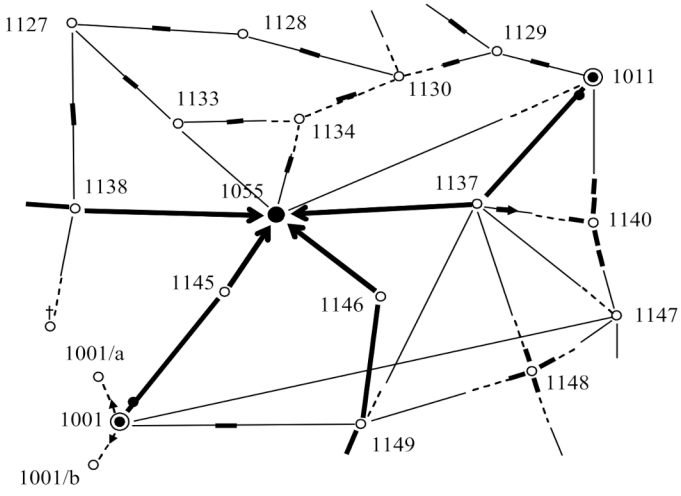
6.1.4. A sokszögelés

Sokszögelésen[2] *azt a vízszintes alappont meghatározási eljárást értjük, amelyben tetszőleges számú pont viszonylagos helyzetét úgy határozzuk meg, hogy a pontokat a vetületi síkon egyenesekkel összekötjük, mérjük a szomszédos pontok vízszintes távolságát és az egyes pontokból kiinduló egyenesek egymással bezárt, s a haladási irányban értelmezett baloldali szögét.* Az így kialakuló geometriai alakzat a sokszögvonal. A következőkben a sokszögvonal első, ill. utolsó pontját kezdő-, ill. végpontnak, a meghatározandó új pontokat a sokszögvonal töréspontjainak, vagy sokszögpontoknak, a töréspontok közötti egyeneseket sokszögoldalnak, a töréspontokon mért szögeket törésszögnek fogjuk nevezni. A sokszögelés a legelterjedtebb alappont sűrítési eljárás, több országban *önálló alappontok létesítésére* is használták.

Mint a meghatározásból kitűnik, a sokszögelés során egyidejű szög- és távolságméréseket végzünk. Az elektronikus távmérők elterjedése előtt éppen a szabatos távolságmérés nehézségei miatt a sokszögelést többnyire csak rövid, átlagosan 150 m távolságra lévő alappontok meghatározásakor alkalmazták. Nagyobb távolságra lévő pontok sokszögeléssel való meghatározásához az optikai távolságmérés egyes különleges, alkalmazásában meglehetősen bonyolult és hosszadalmas módszereit használták. Az elektronikus távmérőműszerek és az elektronikus tahiméterek elterjedésével már hosszú sokszögoldalak mérése is megfelelő pontossággal és gyorsan elvégezhetővé vált. A sokszögoldalak hosszúsága szerint a sokszögelést rövid-, ill. hosszúoldalú sokszögelésre csoportosítják. Magyarországon a hosszúoldalú sokszögelést a IV. és V. rendű vízszintes alapponthálózatban, a rövidoldalú sokszögelést a részletes felmérést közvetlenül megelőző felmérési alappontok meghatározásánál használják.

A IV. és V. rendű hálózatban a sokszögelés előfordulhat az irány- és távolságméréses háromszögeléssel együtt, ebben az esetben ezt a *meghatározási tervben* előírás szerint kell megjelölni. A meghatározási tervben a sokszögvonalak oldalait vastag vonallal rajzoljuk, a sokszögpontokat jelölő körnél 2 mm-es köz meghagyásával. A sokszögvonalnak adott ponthoz (vagy csomóponthoz) való csatlakozásánál a vastag vonalra 1,5 mm átmérőjű kitöltött kört kell rajzolni. *Csomópont* alatt olyan pontot értünk, amelyben kettőnél több sokszögvonal találkozik. Ha a *csomópont* meghatározásába az adott sokszögvonalat bevonjuk, ezt a csomópont felé mutató nyíllal jelezzük. A 6.1.10. ábrán vázolt meghatározási terv-részletben az 1055 pont sokszögeléssel (is) meghatározandó. Az 1001/a és 1001/b az 1001 felsőrendű pont őrpontjai (2.3.1.1. fejezet, 2.3.2. ábra). Az egyéb jelöléseket ld. az irány- és távolságméréses háromszögelésnél.

[2] Megjegyezzük, hogy beszélünk ún. magassági sokszögelésről is, amikor a sokszögeléssel kapott vízszintes alappontok magassági helyzetét határozzuk meg (7.4.1.1.fejezet).



6.1.10. ábra: Meghatározási terv részlete sokszögelési csomóponttal

A sokszögvonalak kezdő- és végpontja adott pont, ritkán előfordulhat, hogy a végpont koordinátáit nem ismerjük. Általános esetben a sokszögvonalnak mind a kezdő-, mind a végpontjában a törésszögek mérésének ellenőrzésére szolgáló tájékozó irányt kell mérni. Vegetációval fedett területen azonban gyakran előfordul, hogy vagy csak a kezdő-, vagy csak a végpontban, vagy egyikben sem tudunk tájékozó irányt mérni. A kezdő- és végpont ismerete, ill. a kezdő- és végpontokban a tájékozás lehetősége szerint a sokszögvonalakat a 6.1. táblázat szerint csoportosítjuk:

A sokszögvonal típusa	Adott		Mérünk tájékozó irányokat	
	a kezdő pont	a végpont	a kezdőpon-ton	a végponton
Mindkét végén tájékozott	igen	Igen	igen	igen
Egyik végén tájékozott	igen	Igen	igen	nem
Tájékozás nélküli (beillesztett)	igen	Igen	nem	Nem
Szabad	igen	nem	igen	Nem

6.1. táblázat: Sokszögvonal típusok

Azzal az esettel, amikor sem a kezdő-, sem a végpont nem adott, nem foglalkozunk. Az eset a szabad sokszögvonalhoz hasonlít, de a kezdőpont koordinátái és az első sokszögoldal tájékozása tetszőlegesek (az első sokszögoldalt szokás a helyi koordinátarendszer $+x$ tengelyének választani).

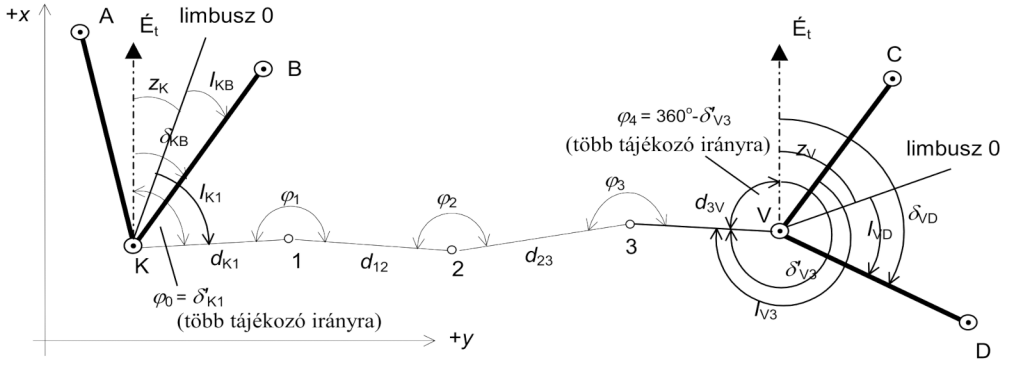
A sokszögvonal típusok tárgyalásánál a mindkét végén tájékozott sokszögvonal általános esetéből indulunk ki, a többinél csak a mérésben és számításban mutatkozó különbségekre hívjuk fel a figyelmet. Külön tárgyaljuk azt az esetet, amikor 2-nél több sokszögvonal egy közös ismeretlen pontban, a *csomópontban* találkozik (6.1.10. ábra). A busszola sokszögeléssel a részletes felmérés tárgyalásakor találkozunk majd.

A sokszögelésnél nem használható a pontonkénti meghatározás, mert az egyes sokszögpontok egyenkénti, *poláris pontként*[3] való meghatározásakor nincs fölös mérésünk. Az *együttes pontmeghatározás* történhet *közelítő*, vagy *szigorú megoldással*.

6.1.4.1. Mindkét végén tájékozott sokszögvonal

A sokszögelésnek ezt a leggyakrabban alkalmazott esetét az egyszerűség kedvéért 3 sokszögpont esetére a 6.1.11. ábrán szemléltetjük. Az elmondottak természetesen értelemszerűen és elméletileg tetszőleges számú pontra kiterjeszthetők. Az adott pontok jele - mint eddig - kitöltetlen körbe helyezett kitöltött kis kör, az új pontoké kis kitöltetlen kör. Az adott pontokat összekötő irányokat vastag vonallal jelöljük. Mind a kezdő-, mind a végponton legalább két tájékozó irányt kell mérni. Legyenek ezek a KA, KB, VC és VD irányok.

Az ábra túlzsúfolásának elkerülésére a megfelelő szögértékeket a kezdőponton csak a KB, a végponton csak a VD irányokhoz írtuk.



6.1.11. ábra: Mindkét végén tájékozott sokszögvonal

A 6.1.11. ábrán adottak:

a K, V, A, B, C és D pontok $y_K, x_K, y_V, x_V, y_A, x_A, y_B, x_B, y_C, x_C, y_D, x_D$ koordinátái.

Mérjük:

- az l_{KA}, l_{KB}, l_{VC} és l_{VD} irányértékeket (az l_{KA} és l_{VC} irányértékeket az ábrán nem tüntettük fel),
- a $d_{K1}, d_{12}, d_{23}, d_{3V}$ távolságokat,
- a φ_1, φ_2 és a φ_3 törésszögeket.

Keressük:

- az 1, 2 és 3 pontok $y_1, x_1, y_2, x_2, y_3, x_3$ koordinátáit.

Látjuk, hogy a kezdő- és a végponton *irány-*, a sokszögpontokon *szögmérést* végzünk. Mindkét ponton az iránymérési eredményekből *egyetlen szögmérési eredményt* kapunk, ha a K kezdő- és a V végponton az (5.2.22b) képletek szerint kiszámítjuk a z_K és z_V *középtájékozási szögeket*, majd a kezdőponton a $\delta'_{K1} = l_{K1} + z_K$, a végponton a $\delta'_{V3} = l_{V3} + z_V$ összefüggésekből számítható tájékozott irányértékek alapján képezzük a

$$\varphi_0 = \delta'_{K1} \text{ és a } \varphi_4 = 360^o - \delta'_{V3} \qquad (6.1.35)$$

[3] A poláris pontként történő helymeghatározás nem más, mint az első geodéziai főfeladat alkalmazása egyetlen pontra (2.2.2.2. fejezet, (2.2.27a) és (2.2.27b) képletek).

(fiktív) *törésszögeket*. Így végül is homogén mérési eredményekhez jutunk, bár *elméletileg* a tájékozó irányokból levezetett φ_0 első és φ_4 utolsó törésszög súlya a több mérés miatt nagyobb, mint a sokszögpontokon mért törésszögeké. Vegyük észre, hogy egyetlen tájékozó irány esetén (pld. a kezdőponton a KB irány, a végponton a KD irány) a φ_0 a KB és a K1, a φ_4 a V3 és a VD irányok által közbezárt szögek, s ekkor a súlyok is megegyeznek. A továbbiakban az egy és a több tájékozó irány között nem teszünk különbséget, csak előre bocsátjuk, hogy utóbbi esetben az első és az utolsó törésszög egyik szára a térképi északi irány.

A 6.1.11. ábrából kitűnik, hogy az egyes sokszögoldalak irányszögeit egymás után a törésszögek összegezésével számíthatjuk. Ha most *fölös mérésként* mérjük (számítjuk) az utolsó, φ_4 törésszöget, annak felhasználásával meg kell kapnunk a végpontban *egy tájékozó irány* esetén a tájékozó irány irányszögét, több tájékozó irány esetén pedig az $É_t$ *térképi északi irányt*. Mivel azonban ezek az értékek adottak is (több tájékozó irány esetén az irányszög értéke 0), az adott és számított irányszögek közötti különbségnek *zérusnak* kell lenni. Ez a kezdő- és végpontján csatlakozó és tájékozott sokszögvonal ún. irányszögfeltétele. A zérustól való eltérést szögzáróhibának nevezzük és a 6.1.11. ábra szerint az alábbi képletből számítjuk:

$$d\varphi = \delta_V - \delta'_V \,, \tag{6.1.36}$$

ahol

$$\delta'_V = \delta_K + \sum_{i=0}^{4} \varphi_i + 4 \cdot (\pm) 180^o \,. \tag{6.1.37}$$

A kezdőponton egy, pld. a KB tájékozó irány esetén $\delta_K = \delta_{KB}$, $\varphi_0 = I_{K1} - I_{KB}$, több tájékozó irány esetén $\delta_K = 0$, $\varphi_0 = \delta'_{K1}$, a végponton egy, pld. a VC tájékozó irány esetén $\delta_V = \delta_{VC}$, $\varphi_4 = I_{VC} - I_{V3}$, több tájékozó irány esetén pedig $\delta_V = 0$, $\varphi_4 = 360^0 - \delta'_{V3}$. A δ'_V pedig, ha méréseinkben és a számítások során nem hibáztunk, zérushoz közeli érték. A "$4 \cdot (\pm) 180^o$" szimbólum azt jelenti, hogy az egyes sokszögoldalak végpontjain a másik végpontra menő irányszögek egymástól 180°-*kal különböznek* (2.2.2.2. fejezet, (2.2.29) képlet), de attól függően, hogy az előző szög értéke nagyobb, vagy kisebb 180^0-nál, abból a 180°-ot ki kell vonni, ill. hozzá kell adni.

A 6.1.11. ábra alapján látszik az is, hogy az egyes sokszögpontokat egymás után poláris pontként számítva, mindhárom sokszögpont koordinátái meghatározhatók. Ez éppen a szabad sokszögvonal esete (6.1. táblázat). Ha most adottak a V végpont y_V, x_V koordinátái, úgy a V végpont adott és poláris pontként számítható koordinátáinak meg kell egyeznie, vagyis különbségüknek *zérusnak* kell lennie. Utóbbiak a szabad sokszögvonalon kívül mindhárom sokszögvonal típus ún. koordinátafeltételei. A zérustól való eltéréseket y-, ill. x-irányú koordinátazáróhibáknak nevezzük. A koordinátazáróhibákat az alábbi összefüggésekből számítjuk:

$$\begin{aligned} dy &= y_V - y'_V \\ dx &= x_V - x'_V \end{aligned} \,, \tag{6.1.38}$$

ahol

$$\begin{aligned} y'_V &= y_K + \sum_{i=0}^{4} \Delta y_{i,i+1} = y_K + \sum_{i=0}^{4} d_{i,i+1} \cdot \sin \delta'_{i,i+1} \\ x'_V &= x_K + \sum_{i=0}^{4} \Delta x_{i,i+1} = x_K + \sum_{i=0}^{4} d_{i,i+1} \cdot \cos \delta'_{i,i+1} \end{aligned} \,, \tag{6.1.39}$$

vagyis az y'_V koordinátát megkapjuk, ha a kezdőpont *y* koordinátájához hozzáadjuk az egyes sokszögoldalak *y*-tengely irányú, az x'_V koordinátát pedig, ha a kezdőpont *x* koordinátájához hozzáadjuk az egyes sokszögoldalak *x*-tengely irányú *vetületösszegeit* (az *i*=0 a K, az *i*=4 a V pontot jelenti, $\delta'_{i,i+1}$ az egyes sokszögoldalak *tájékozott irányértékei*, a $\Delta y_{i,i+1}$ és a $\Delta x_{i,i+1}$ az $d_{i,i+1}$ sokszögoldal vetülete az *y*, ill. az *x* tengelyre, vagyis az *y*-, ill. *x*-irányú koordináta-különbségek). Az egy irányszög és a kettő koordináta feltétel összesen *három fölös mérést* jelent. A tanulmányaink során képlet szerint már többször is előfordult (4.7. fejezet (4.7.1) képlet, (6.1.1.4. fejezet))

$$d = \sqrt{dy^2 + dx^2} \tag{6.1.40}$$

mennyiség a vonalas záróhiba.

Mivel a fölös mérések száma alacsony, a gyakorlatban szinte mindig a *közelítő megoldást*[4] alkalmazzák.

A közelítő megoldás lépései:

1. Számítjuk a szögzáróhibát:

$$d\varphi = \delta_V - \delta'_V . \tag{6.1.41}$$

   Ha $d\varphi > d\varphi_{\text{megengedett}}$, vagyis a szögzáróhiba értéke meghalad egy, az adott sokszögvonalra érvényes szabályzatban rögzített értéket, a hiba forrását ki kell derítenünk, vagy a sokszögvonalat újra kell mérnünk.

2. A szögzáróhibát elosztjuk a törésszögek számával. A törésszögekre jutó javítások egyenlők:

$$dd\varphi = \frac{d\varphi}{5} . \tag{6.1.42}$$

3. Számítjuk a javított törésszögeket[5]:

$$\varphi_i^* = \varphi_i + dd\varphi \quad (i = 0,1,2,3,4) . \tag{6.1.43}$$

4. Számítjuk az egyes sokszögoldalak javított tájékozott irányértékeit:

$$\delta^*_{i,i+1} = \delta^*_{i-1,i} + \varphi_i^* + (\pm)180^o . \tag{6.1.44}$$

   Ha számításaink során nem követtünk el hibát, úgy $\delta^*_{4,5} = \delta_V$.

5. Számítjuk a végpont koordinátáit:

$$\begin{aligned} y_V^* &= y_K + \sum_{i=0}^{4} \Delta y^*_{i,i+1} = y_K + \sum_{i=0}^{4} d_{i,i+1} \cdot \sin \delta^*_{i,i+1} \\ x_V^* &= x_K + \sum_{i=0}^{4} \Delta x^*_{i,i+1} = x_K + \sum_{i=0}^{4} d_{i,i+1} \cdot \cos \delta^*_{i,i+1} \quad (i = 0,1,2,3) \end{aligned} . \tag{6.1.45}$$

   Az y_V^* és x_V^* koordinátákat a szögzáróhiba már nem terheli.

---

[4] A szigorú módszer elvileg a *korreláta-kiegyenlítés* lenne (4.6. fejezet). Ha a meghatározási tervben a sokszögelés irány- és távolságméréses háromszögeléssel együtt fordul elő (6.1.10. ábra), a feltételek nehézkes áttekinthetősége miatt a *koordináta-kiegyenlítést* részesítik előnyben és a sokszögvonalra vonatkozó közvetítő egyenleteket az irány- és távolságméréses háromszögelés összefüggéseire vezetik vissza.

[5] Most és a későbbiekben a * jelölés azt jelenti, hogy a műveleteket már a szögzáróhiba elosztása *után* végezzük.

6. Számítjuk a koordináta záróhibákat és a vonalas záróhibát:

$$\begin{aligned} dy^* &= y_V - y_V^* \\ dx^* &= x_V - x_V^* \end{aligned} \qquad (6.1.46)$$

$$d^* = \sqrt{dy^{*2} + dx^{*2}} \qquad (6.1.47)$$

Ha $d^* > d^*_{\text{megengedet t}}$, vagyis a vonalas záróhiba értéke meghalad egy, az adott sokszögvonalra érvényes szabályzatban rögzített értéket, a hiba forrását ki kell deríteni, vagy a sokszögvonalat újra kell mérnünk.

7. A koordináta záróhibákat úgy osztjuk el, hogy az *y*-, ill. az *x*-irányú sokszögoldal vetületekre eső javítások a sokszögoldalak hosszával egyenesen arányosak legyenek, azaz

$$\begin{aligned} ddy_{i,i+1} &= \frac{dy^*}{\sum_{i=0}^{3} d_{i,i+1}} \cdot d_{i,i+1} \quad \text{és} \\ ddx_{i,i+1} &= \frac{dx^*}{\sum_{i=0}^{3} d_{i,i+1}} \cdot d_{i,i+1} \quad (i = 0,1,2,3) \end{aligned} \qquad (6.1.48)$$

8. Számítjuk a javított koordinátakülönbségeket:

$$\begin{aligned} \Delta y^{**}_{i,i+1} &= \Delta y^{*}_{i,i+1} + ddy_{i,i+1} \quad \text{és} \\ \Delta x^{**}_{i,i+1} &= \Delta x^{*}_{i,i+1} + ddx_{i,i+1} \end{aligned} \qquad (6.1.49)$$

A (6.1.49) összefüggésben

$$\begin{aligned} \Delta y^{*}_{i,i+1} &= d_{i,i+1} \cdot \sin \delta^{*}_{i,i+1} \\ \Delta x^{*}_{i,i+1} &= d_{i,i+1} \cdot \cos \delta^{*}_{i,i+1} \end{aligned} \qquad (6.1.50)$$

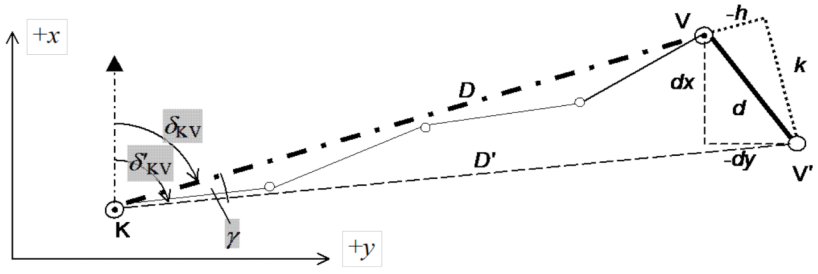
9. Számítjuk a sokszögpontok végleges, közelítő kiegyenlítésből kapott koordinátáit:

$$\begin{aligned} y^{**}_{i+1} &= y^{**}_{i} + \Delta y^{**}_{i,i+1} \quad \text{és} \\ x^{**}_{i+1} &= x^{**}_{i} + \Delta x^{**}_{i,i+1} \quad (i = 0,1,2,3) \end{aligned} \qquad (6.1.51)$$

Nyilvánvalóan $y^{**}_0 = y_K$ és $x^{**}_0 = x_K$, s ha számításaink során nem hibáztunk, úgy $y^{**}_4 = y_V$ és $x^{**}_4 = x_V$.

Ezzel a sokszögvonal közelítő kiegyenlítését befejeztük. A számított sokszögpontokat a továbbiakban adott pontoknak fogjuk tekinteni. Mind minden közelítő eljárás, ez sem szolgáltat szigorú pontossági mérőszámokat, az eredmények megbízhatóságát a szög- és vonalas záróhibára szabályzatokban megadott hibahatárok garantálják.

A vonalas záróhiba vizsgálata



6.1.12. ábra: Hosszhiba- és kereszthiba

A *záróhibák* vizsgálatakor tegyük fel a kérdést, hogy szétválaszthatók, ill. lokalizálhatók-e a szög- és a távolságmérés hibái. Ha igen, úgy ez segít bennünket abban, hogy egy *újramérésnél* ne az egész sokszögvonalat, hanem vagy csak a szögeket, vagy csak a távolságokat, esetleg azok közül sem mindegyiket mérjük újra. E kérdés megoldásának elsősorban a hagyományos műszerek használatakor van jelentősége, amikor a mérések számának csökkentése jelentős idő- és anyagi megtakarítást jelenthet. A *teljes mérőállomások* használatakor a szög- és távolságmérés egyidejűleg megy végbe, s e kérdés jelentősége automatikusan csökken.

A vizsgálat akkor végezhető el, ha a sokszögvonal törésszögei jó közelítéssel 180°-osak, vagyis a sokszögvonal nyújtott.

A 6.1.12. ábrán *D* a sokszögvonal ún. záróoldala (a sokszögvonal kezdő- és végpontját összekötő egyenes), V a végpont hibátlan, V′ a végpont hibás helyzete. Az ábrából látszik, hogy a V és a V′ pontokat összekötő *d* vonalas záróhiba nemcsak a *dy* és *dx* komponensekre bontható, hanem a *D* záróoldal (a sokszögvonal kezdő- és végpontját összekötő egyenes) irányába eső *"h"* hosszhibára és egy arra merőleges *"k"* kereszthibára (a *dy* és a *h* hibák negatív előjele arra utal, hogy a hibákat a fentiekben - egyébként önkényesen - a valós és a hibás ponthelyzet komponenseinek különbségeként értelmeztük). A 6.1.12. ábra szerint ugyanis

$$\gamma = \operatorname{arc\,tg}\frac{y'_V - y_K}{x'_V - x_K} - \operatorname{arc\,tg}\frac{y_V - y_K}{x_V - x_K},$$

$$\sin\gamma = \frac{k}{D'} \qquad \rightarrow \qquad \gamma'' = \frac{k}{D'}\cdot\rho'',$$

$$k = \frac{\gamma''}{\rho''}\cdot D', \qquad . \qquad (6.1.52)$$

$$h = \sqrt{d^2 - k^2}$$

Ha a *h* és a *k* értékek összehasonlítása azt mutatja, hogy $k >> h$, úgy a szögmérésben, ha azt, hogy $h >> k$, úgy a távolságmérésben követtünk el durva hibát.

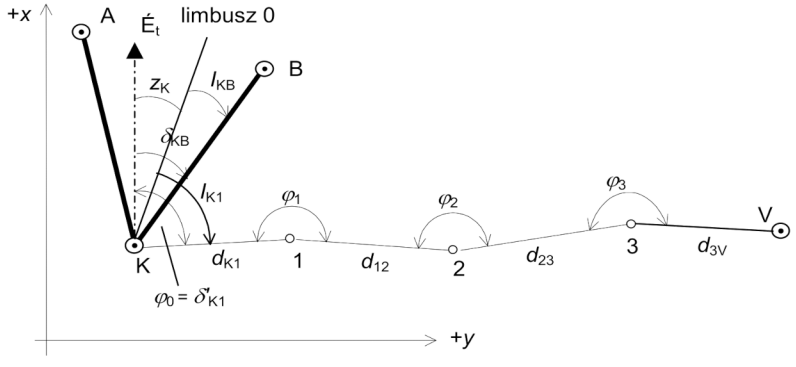
A szögmérés durva hibáját úgy lokalizáljuk, hogy a sokszögvonalat számítani kezdjük mind a kezdő-, mind a végpontjából kiindulva. Ha csak egy sokszögponton követtünk el durva szögmérési hibát, úgy az e pontra mindkét irányból számított koordináták jól megegyeznek, ui. az e ponton mért törésszög a koordinátaszámításban még nem vett részt, vagyis csak e szög mérését kell megismételni.

A távolságmérés durva hibájának lokalizálásakor azt kell megvizsgálnunk, hogy mely oldalak irányszöge esik legközelebb a vonalas záróhiba irányszögéhez, ui. a megengedettnél nagyobb vonalas záróhibát éppen olyan irányú távolságmérési hiba okozhatja. Több közel

azonos irányszögű sokszögoldal a vizsgálatot megnehezíti, annál is inkább, mert a *nyújtott sokszögvonalaknál* többnyire ez a helyzet.

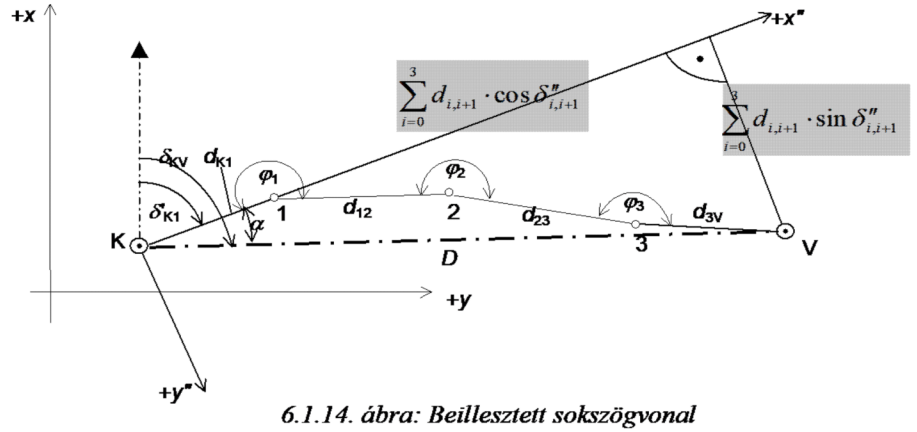
6.1.4.2. Egyik végén tájékozott sokszögvonal

A 6.1.13. ábra tanúsága szerint a V végponton nem mérünk tájékozó irányt, ezért *szögzáróhiba* nem számítható. A közelítő megoldás lépései közül csak az 5-9. lépéseket kell végrehajtani. A szög- és a távolságmérési hibákat az előző pontban hasonló módon lehet itt is elkülöníteni. Ha a kezdőpontban nincs, a végpontban pedig van tájékozó irány, nem tekinthető külön esetnek, hiszen ekkor a kezdő- és a végpont egyszerűen ″szerepet cserél″, ahol a törésszögek az eredeti sokszögvonal 360°-ra való kiegészítései.



6.1.13. ábra: Egyik végén tájékozott sokszögvonal

6.1.4.3. Tájékozás nélküli (beillesztett) sokszögvonal



6.1.14. ábra: Beillesztett sokszögvonal

A geodéziai szabályzatok előírásai szerint kerülendő sokszögvonal típus alkalmazására általában erdős területeken, sűrűn beépített belterületeken, esetleg bányavágatokban kerülhet sor, vagyis ott, ahol *megfelelő távolságban*[6] lévő tájékozó irányt sem a végponton, sem a kezdőponton nem lehet mérni. Geometriailag azt a problémát kell kiküszöbölni, hogy - tájékozó

[6] A tájékozó irányok megválasztásakor előírás, hogy a tájékozó irány hossza nem lehet rövidebb 200 m-nél.

irány hiányában - a sokszögoldalakat nem lehet tájékozni. Ha csak az első sokszögoldal tájékozását megoldjuk, vagyis a δ'_{K1} értéket meghatározzuk, úgy a problémát is kiküszöböltük.

A 6.1.14. ábra szerint a megoldást egy *egyszerű transzformáció* szolgáltatja, amelynek értelmében a δ'_{K1} transzformációs paraméter az *yx* és az $y''x''$ koordinátarendszerek elforgatási szöge. A δ'_{K1} értékét megkapjuk, ha meghatározzuk az α szöget, s kivonjuk a sokszögvonal *D* záróoldalának ismert irányszögéből:

$$\delta'_{K1} = \delta_{KV} - \alpha\,. \tag{6.1.53}$$

A számítás képletei:

$$\operatorname{tg}\delta_{KV} = \frac{y_V - y_K}{x_V - x_K}, \tag{6.1.54}$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\sum_{i=0}^{3} d_{i,i+1} \cdot \sin\delta''_{i,i+1}}{\sum_{i=0}^{3} d_{i,i+1} \cdot \cos\delta''_{i,i+1}}. \tag{6.1.55}$$

Ezzel az első sokszögoldalt tájékoztuk, s a sokszögvonal a *kezdő- és végpontján csatlakozó és kezdőpontján tájékozott sokszögvonal* mintájára számítható.

6.1.4.4. Szabad sokszögvonal

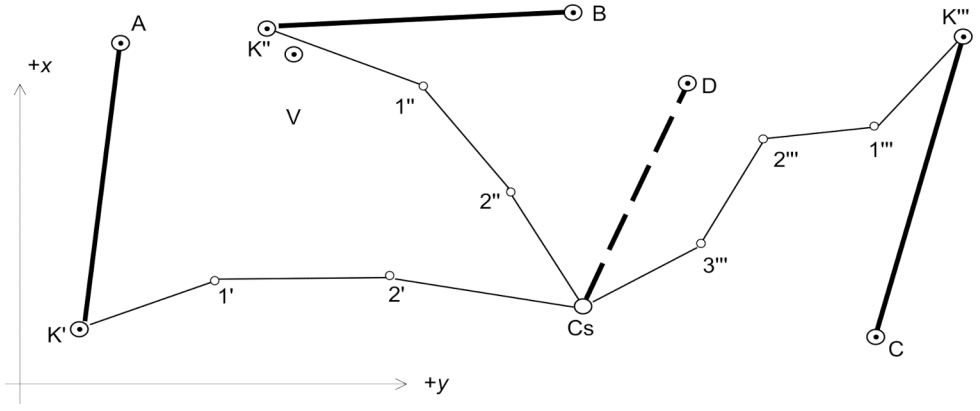
A sokszögvonal kezdőpontja adott pont, amelyben geometriailag egy, a gyakorlatban azonban legalább *két tájékozó irányt* kell mérni. Mivel a végpont ismeretlen, sem szögzáróhibát, sem koordináta záróhibákat (vonalas záróhibát) nem tudunk számítani, így méréseinkre ellenőrzés nincs. Ezért célszerű, hogy mind a szög-, mind a távolságméréseket egymástól függetlenül két mérőcsoport végzi, vagy a sokszögvonalat mind a kezdő-, mind a végpontjából kiindulva külön-külön mérjük és pontról pontra *poláris pontként* számítjuk. Az eltérések vizsgálata után a sokszögpontok koordinátáinak a kapott eredmények számtani közepét fogadjuk el.

A számításokhoz a 6.1.4.1. pontban ismertetett közelítő megoldásnak csak a 4., 8. és 9. lépéseit kell végrehajtani. A szabad sokszögvonal max. 2 sokszögpontból állhat.

6.1.4.5. Sokszögelési csomópontok számítása

Sokszögvonalakból kialakított hálózatok esetén három, vagy több sokszögvonal közös pontban, a csomópontban találkozik (ilyen pld. az 1055. pont a 6.1.10. ábrán!). A csomópont természetesen új pont, hiszen egyébként a találkozó sokszögvonalak közös kezdő-, vagy végpontja lenne.

A 6.1.15. ábrán három sokszögvonalból kialakított csomópontot mutatunk be.



6.1.15. ábra: Sokszögelési csomópont

A 3 sokszögvonal K', K'' és K''' kezdőpontjaiban mértük a vastag vonallal jelölt K'A, K''B és K'''C tájékozó irányokat (a tájékozó irányok száma, mint tudjuk, ennél általában több). Az alakzat legegyszerűbb *közelítő kiegyenlítési módja*, ha a három sokszögvonalat *szabad sokszögvonalként* számítjuk. Ekkor mindegyik sokszögvonalból a Cs csomópontra *egy-egy koordinátapárt* nyerünk. A koordinátapárok már megismert *vonalas eltéréseinek* vizsgálata után a csomópontok koordinátáit a sokszögvonalankénti koordináták *súlyozott számtani közepeként* (4.4.5. fejezet, 4.4.17. képlet) kapjuk:

$$y_{Cs} = \frac{\sum_{j=1}^{3} p_j \cdot y_{Cs,j}}{\sum_{j=1}^{3} p_j}; \quad x_{Cs} = \frac{\sum_{j=1}^{3} p_j \cdot x_{Cs,j}}{\sum_{j=1}^{3} p_j}. \qquad (6.1.56)$$

A súlyokat általában a sokszögvonalak hosszával fordított arányban állapítják meg, ami azt jelenti, hogy a rövidebb sokszögvonalból számított koordinátapárt arányosan megbízhatóbbnak tekintjük. Ha az egyes sokszögvonalak hosszát pld. 100 m-es egységben fejezzük ki, úgy a súlyok a következők lehetnek:

$$p_1 = \frac{100}{\sum d'}; \quad p_2 = \frac{100}{\sum d''} \quad \text{és} \quad p_3 = \frac{100}{\sum d'''}. \qquad (6.1.57)$$

A csomópont y_{Cs}, x_{Cs} koordinátáinak ismeretében most két út lehetséges:

1. Ha a csomóponton tájékozó irányt mértünk (a 6.1.15. ábrán a CsD irány), úgy minden sokszögvonalat a *mindkét végén tájékozott* sokszögvonal,
2. ha nem mértünk tájékozó irányt, úgy a sokszögvonalakat az egyik végén *tájékozott* sokszögvonal mintájára számítjuk ki.

Léteznek olyan eljárások is, amelyeknél a csomóponton mért tájékozó irányt már a csomópont koordinátáinak számításánál figyelembe veszik. Az egyes sokszögvonalakból a tájékozó irányra kapott tájékozott irányértékek az elkerülhetetlen mérési hibák miatt különbözni fognak. Képezve az egyes vonalakból a CsD irányra kapott tájékozott irányértékek súlyozott számtani közepét, számítjuk ennek eltéréseit az egyes vonalakból kapott értékektől. Ezeket az eltéréseket az egyes sokszögvonalakra úgy osztjuk el, ahogy a szögzáróhiba tárgyalásánál megismertük (6.1.4.1. fejezet). A Cs pont javított koordinátáinak számítása ezután már a javított szögértékekkel történik, a fentiekben már leírt módon.

A CsD irány egyes tájékozott irányértékeinek súlyozásánál a súlyokat célszerű úgy megválasztani, hogy azok az egyes sokszögvonalakban lévő sokszögpontok számának reciprokai legyenek. Vagyis az ábránkon előforduló esetre:

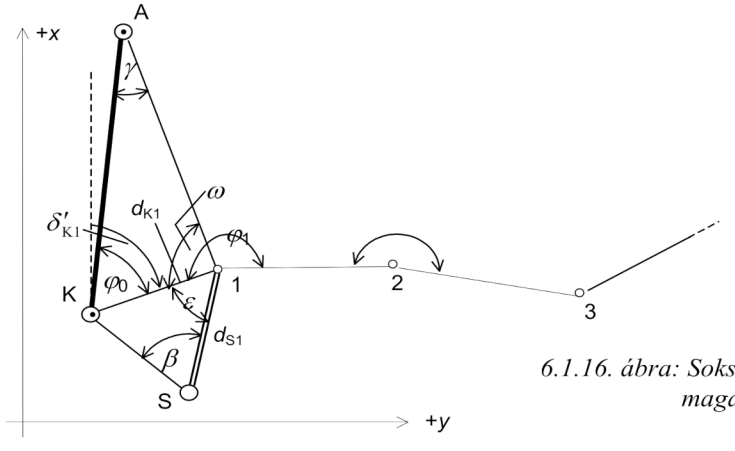
$$p' = \frac{c}{4}; \quad p'' = \frac{c}{4} \quad \text{és} \quad p''' = \frac{c}{5}. \tag{6.1.58}$$

6.1.4.6. Sokszögvonal csatlakozása magasponthoz

Ha a sokszögvonal kezdő-, vagy végpontja magaspont (pld. templomtorony), ahol a műszerrel való felállás, s így a sokszögvonal tájékozása, valamint az első (vagy utolsó) sokszögoldal hosszának mérése akadályba ütközik, nem állnak fel központosan, még akkor sem, ha ez esetleg lehetséges.

A magasponthoz való csatlakozáskor a φ_0 első törésszöget és a d_{K1} első sokszögoldalt közvetett úton, megfelelő metszést adó geometriai alakzat méréséből vezethetjük le. E feladat a körülményektől függően többféleképpen oldható meg, a szakirodalomban is többféle eljárással találkozhatunk. A 6.1.16. ábrán egyszerű esetet mutatunk be, amely végül is nem más, mint a *külpontos mérések központosítása* egy speciális esetre.

A sokszögvonal K kezdőpontjában nem tudunk felállni. A sokszögvonal 1 pontjából viszont látjuk a tájékozásra kiszemelt A pontot. Ekkor kijelölünk egy S *segédpontot*, törekedve arra, hogy a K1S háromszög közel egyenlő oldalú legyen.



6.1.16. ábra: Sokszögvonal csatlakozása magasponthoz

Mérjük:

- a d_{S1} segédbázist és a β szöget az S pontban,
- az ε, ω és a φ_1 szögeket az 1 pontban.

Keressük:

- a φ_0 és d_{K1} redukált értékeket és a δ'_{K1} tájékozott irányértéket.

A mért adatokból a K1S háromszögből szinusz-tétellel kapjuk:

$$d_{K1} = d_{S1} \cdot \frac{\sin\beta}{\sin\left[180^\circ - (\beta + \varepsilon)\right]}. \tag{6.1.59}$$

Továbbá:

$$\sin\gamma = \sin\omega \cdot \frac{d_{K1}}{d_{KA}} \quad \text{és}$$

$$\varphi_0 = 180^o - (\gamma + \omega). \tag{6.1.60}$$

Végül, a K1 első sokszögoldal tájékozott irányértéke:

$$\delta'_{K1} = \delta_{KA} + \varphi_0 \tag{6.1.61}$$

6.1.4.7. A sokszögelés végrehajtásának szabályai

A sokszögelés végrehajtásával kapcsolatos technológiai előírások, a sokszögvonal és az egyes sokszögoldalak megengedett hossza, az alkalmazható szög- és távolságmérő műszerek, a szög- és a vonalas záróhibára megengedett hibahatárok, a sokszögvonal helyének kijelölése és megőrzésére vonatkozó szabályok a sűrítendő alappontok rendűségétől és alkalmazás céljától függnek.

Az alábbiakban összefoglalásra kerülő szabályok elsősorban a régebbi műszerekkel végzett sokszögelésre vonatkoznak, a *teljes mérőállomások* alkalmazásakor a sokszögoldalak egyenlőségére és a sokszögvonal nyújtottságára vonatkozó előírások be nem tartása kevesebb problémát okoz.

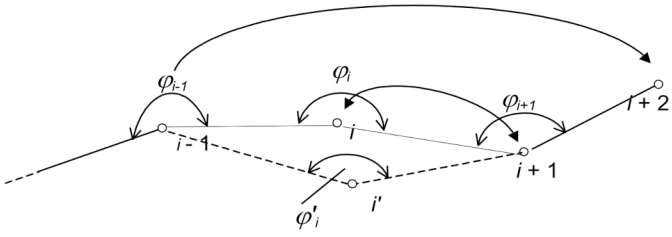
1. A sokszögvonalnak a körülményekhez képest nyújtottnak kell lennie, azaz a törésszögek minél jobban közelítsék meg a 180°-ot.
2. Ugyanabban a sokszögvonalban az oldalak közel egyenlő hosszúak legyenek, kerülnünk kell az átlagos oldalhossztól jelentősen eltérő, rövid sokszögoldalakat.
3. A sokszögvonalakat lehetőleg úgy kell vezetni, hogy mind kezdő-, mind végpontjukkal magasabb rendű alapponthoz csatlakozzanak és mindkét végén tájékozhatók legyenek (kezdő- és végpontján csatlakozó és tájékozott sokszögvonal).
4. 200 m-nél közelebb fekvő alappontra tájékozó irányt lehetőleg ne mérjünk.
5. Beillesztett és szabad sokszögvonalat csak elkerülhetetlen esetben szabad vezetni (pld. erdőben).
6. Ha a sokszögvonal hossza nagyobb a megengedettnél, ezt csomópont létesítésével kell rövidíteni, törekedve arra, hogy a csomópontnál tájékozó irányt lehessen mérni.
7. A sokszögvonallal alappont közelében csatlakozás nélkül elhaladni nem szabad.
8. Sokszögvonalak egymást nem metszhetik és keresztezhetik. A találkozási pont az egyik sokszögvonal kezdő-, vagy végpontja, esetleg csomópont.
9. Sokszögvonalak törésszögeinek mérésekor használjunk kényszerközpontosító berendezést (5.2.2.2. fejezet és 5.2.33. ábra).

A kényszerközpontosító használata sokszögelésnél

A kényszerközpontosító használatával elkerülhetjük a hibás pontra állásból eredő szögmérési hibák tovaterjedését, ezért megfelelő használatára különös figyelmet kell fordítanunk.

Elvileg legalább 3, a gyakorlatban azonban többször 4-5 műszerállványt állítunk fel egyidejűleg. A 6.1.17. ábrán a teodolit az *i.* ponton áll, a jelek pedig az *i*-1. és *i*+1. pontokon. Mind tudjuk, a kényszerközpontosító lehetővé teszi, hogy a műszer és a jel cseréjekor azok forgástengelyei - térbeli helyzetüket megőrizve - ugyanabba a függőlegesbe essenek.

Mérjük a φ_i szöget, ezután emeljük ki a műszert a kényszerközpontosító hüvelyéből és helyezzük át az $i + 1$. ponton álló hüvelybe, miközben utóbbi jele az *i.* ponton maradt műszertalp hüvelyébe kerül. Ezt az ábrán kétirányú nyíllal jelöltük. Az *i* - 1. ponton álló jelre már nincs szükségünk, ez a műszerállvánnyal együtt az $i + 2$. pontra kerül, mérjük a φ_{i+1} szöget az $i + 1$. ponton, stb.

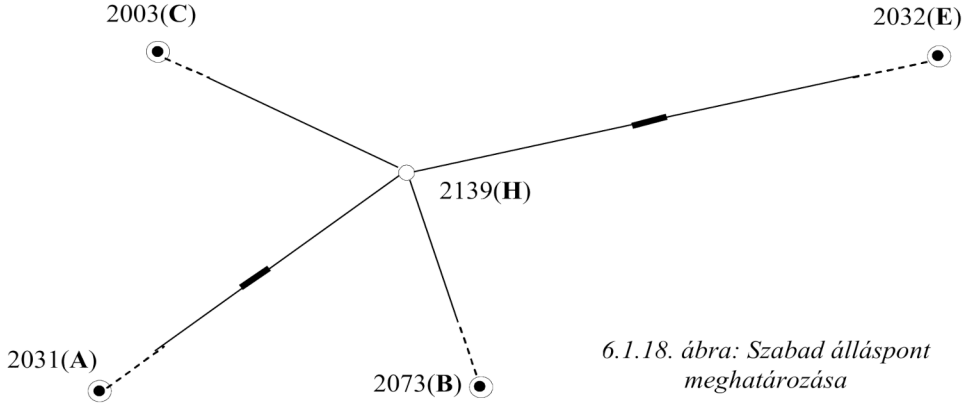


6.1.17. ábra: Kényszerközpontosító használata sokszögelésnél

Ha most az álláspont fölé hibásan álltunk is fel (a 6.1.17. ábrán az *i'* pont), de ugyanoda kerül a jel (tárcsa, prizma, bázisléc) is, úgy a hiba e ponton lokalizálódik, s a többi sokszögpontra nincs hatással. A meghatározott koordináták viszont nem a pont jelére, hanem a műszer és a jel függőlegesére vonatkoznak, s a hiba a pont későbbi felhasználásakor jelentkezik. A pontra állást ezért mindig a lehető leggondosabban kell elvégezni!

6.1.5. Szabad álláspont

A „szabad" elnevezés arra utal, hogy műszerálláspontunkat a mérés céljából alkalmas, legkedvezőbb helyen, szabadon jelölhetjük ki. Az álláspont koordinátái előzőleg nem ismeretesek, azaz – mint a *hátrametszésnél* – a műszerrel az új, ismeretlen ponton állunk fel, illetve – az álláspont meghatározása céljából – ismert pontokra irányzunk. A szabad álláspont (angolul: free station, németül: freie Stationierung) fogalma a legutóbbi 15-20 évben, az elektronikus tahiméterek (teljes mérőállomások) megjelenésével vált általánossá, amikor – az iránymérés mellett – egyidejű távolságmérés is történik, ill. történhet.



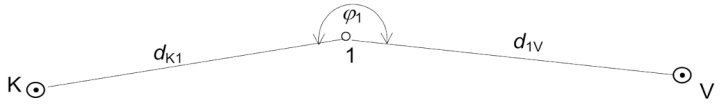
6.1.18. ábra: Szabad álláspont meghatározása

Szabad álláspontnak nevezzük azt a helymeghatározási módot, amikor az álláspontunk helyét *belső* (hátrametsző) *irányokból* és *távolságokból* határozzuk meg. A 6.1.18. ábrán vázolt esetben a 4 belső irány mérését 2 távolság mérése egészíti ki, vagyis - figyelembe véve a hátrametszésnél elmondottakat - az ismeretlen H pont meghatározásához 3 fölös mérésünk van (1 belső irány és 2 távolság).

A szabad álláspont meghatározásának elsődleges célja rendszerint nem állandósított és legfeljebb cövekkel megjelölt alappont létrehozása a *részletmérés közvetlen előkészítése* érdekében. Feltehetjük a kérdést, hogy a szabad álláspont e mellett *rendűségnek alárendelt alappontként* értelmezhető-e? Ha figyelembe vesszük, hogy, egyrészt, az alsórendű alappontokat, megfelelő feltételek mellett és kivételesen, *hátrametszéssel* is meg lehet határozni, másrészt azt, hogy a teljes mérőállomások szögmérési pontossága összehasonlítható a teodolitok szögmérési pontosságával, egyértelműen igenlő választ adhatunk e kérdésre, vagyis a szabad ál

láspont besorolható az alappont sűrítési eljárások közé. Szabad álláspontként IV., V. rendű és felmérési alappontok határozhatók meg, ekkor természetesen eleget kell tennünk az alappont meghatározás munkaszakaszaiban a tervezéssel, a szemléléssel és az állandósítással szemben megfogalmazott előírásoknak. A szabad álláspont értelmezhető úgy, mint a *vegyes* (irány- és távolságméréses) *háromszögelés* része, amikor a koordináta meghatározást pontonként végezzük, *közelítő megoldással*, ill. *egypont-kiegyenlítéssel*.

A *közelítő megoldások* alatt a belső irányok és a távolságok mérésének különböző kombinációival kapható megoldásokat értjük. A tisztán belső irányok esetén a *hátrametszésnél*, a tisztán távolságok esetén a *távolságméréses előmetszésnél* elmondottak és az adott helyeken közölt összefüggések az irányadók, az utóbbi esetben nyilvánvalóan mindegy, hogy a távolságokat az ismeretlen pontról, vagy az adott pontokról mérjük. A lehetséges kombinációk közül azzal az esettel, amikor az ismeretlen ponton két adott pontra irányt (ill. a két irány által közbezárt szöget) és távolságot mérünk, már szintén találkoztunk, ez a *beillesztett sokszögvonal* (6.1.4.3. fejezet) azon esete, amikor mindössze egyetlen sokszögpontot határozunk meg (6.1.19. ábra). A 6.1.18. ábrán vázolt esetben a H pont koordinátáit 3-3 belső irányból hátrametszésből, a két távolságból távolságméréses előmetszésből számíthatjuk, a kapott három koordinátapárra elvégezzük a vonalas eltérések már megismert vizsgálatát és - kedvező eredmény esetén - a pont végleges koordinátáit számtani középként kapjuk.



6.1.19. ábra: Szabad álláspont meghatározása beillesztett sokszögvonalban

A szabad álláspont meghatározásánál az *egypont-kiegyenlítés* teljes egészében a vegyes háromszögelésnél elmondottak szerint történhet (6.1.3.4. fejezet), a mérés típusától függően vegyesen alkalmazzuk a belső irányok mérésére (6.1.32), valamint a távolságmérésre vonatkozó (6.1.34) alakú közvetítő egyenleteket. Az egypont-kiegyenlítést tetszőleges számú belső irány- és távolságmérés esetére ma már a legtöbb teljes mérőállomás saját beépített számítási algoritmusaival végzi el, s szolgáltatja a szabad álláspont koordinátáit a felhasználó számára.

6.1.6. Fotogrammetria

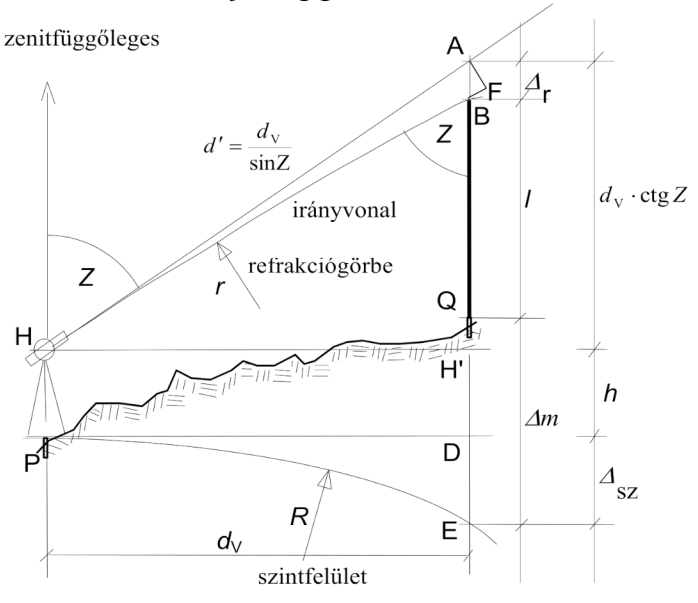
Felmérési alappontok mind vízszintes, mind magassági koordinátáinak meghatározására alkalmazott eljárás. A nehézkes terepi munka helyett a méréseket arra alkalmas, a terepről készült fényképeken, az ún. mérőfényképeken végezzük. A fotogrammetriai úton történő alappont sűrítés rendszerint a fényképi úton történő részletes felmérés, ill. a közvetlen fényképi térképtermék (foto-, vagy ortofotótérkép) készítésének előkészítő stádiuma. Részletesebb ismereteket a fotogrammetria tárgyú szak-, ill. tankönyvek tartalmaznak.

6. 1. 7. Vízszintes alappontok magasságának meghatározása

A vízszintes alappontok *y*, *x* vízszintes koordinátáin túl szükség van e pontok *m* tengerszint feletti magasságainak meghatározására is. A meghatározás célja elsősorban a távolságok vízszintesre redukálása, de a szintvonalas térképek készítését megelőző részletmérési feladatok (elsősorban a tahimetria, 7.4.1. fejezet) végrehajtásához is szükség van a vízszintes alappontok magasságára. A vonatkozó szabályzatok értelmében a vízszintes alappontok meghatározási tervét külön előírások szerint ún. ″magassági meghatározási tervvel″ kell kiegészíteni. A felső- és a IV. rendű pontok magasságait csak magassági (szintezési) alappontokból kiindulva szabad meghatározni, amelyeket a meghatározási tervben 3 mm átmérőjű körrel jelölnek. A meghatározás a trigonometriai magasságmérés módszerével történik. Ennek pontossága nagyságrenddel elmarad a geometriai szintezés pontosságától, de, mint láttuk, a vízszintes alappontok kialakítása sem felel meg a magassági alappontok létesítésekor előírt követelményeknek (2.3.1. fejezet).

6.1.7.1. A trigonometriai magasságmérés

A *trigonometriai magasságmérés* során a magasságkülönbséget közvetett úton, a két pont közötti vízszintes távolság, ill. a távcső irányvonalának teodolittal mért α magassági, ill. *Z* zenitszöge segítségével, trigonometriai elven határozzuk meg. A *trigonometriai magasságmérés* elvét a 6.1.20. ábrán követhetjük végig.



6.1.20. ábra: A trigonometriai magasságmérés elve

A 6.1.20. ábra alapján felírható az alábbi egyenlőség:

$$\Delta m + l + \Delta_r = d_V \cdot \mathrm{ctg}\, Z + h + \Delta_{sz}. \qquad (6.1.62)$$

A (6.1.62) képlet jelölései:

- Δm - a Q pont magassága a P pont felett, a keresett magasságkülönbség
- l - az irányzott jel magassága
- Δ_r - a refrakciós korrekció

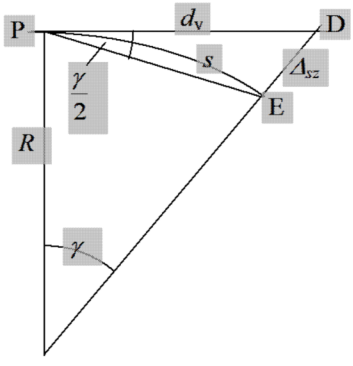
- d_V - a vízszintes távolság
- Z - a zenitszög
- h - a teodolit fekvőtengelyének magassága a P pont felett
- Δ_{sz} - a szintfelületi korrekció

A szintfelület és a refrakció hatása miatti korrekciókat a 6.1.21. ábra szerinti meggondolásokból kiindulva határozhatjuk meg.

A PDE háromszög közel derékszögű, attól csak kis, általában szögperc nagyságrendű $\frac{\gamma}{2}$ szöggel különbözik. A P pontnál lévő szög kerületi szög, a γ középponti szög fele. Megengedhető $PE = d_V = s$ közelítéssel és mert γ kis szögérték, kapjuk:

$$\Delta_{sz} = s \cdot \operatorname{tg}\frac{\gamma}{2} \approx s \cdot \frac{\gamma}{2}. \qquad (6.1.63)$$

De $\gamma = \frac{s}{R}$, s ezért



6.1.21. ábra: A szintfelületi korrekció

$$\Delta_{sz} = \frac{s^2}{2 \cdot R} \approx \frac{d_V^2}{2 \cdot R}. \qquad (6.1.64)$$

A (6.1.64) képlet a (5.2.56) képlettel azonos. Teljesen hasonló meggondolásból

$$\Delta_r \approx \frac{d'^2}{2 \cdot r}. \qquad (6.1.65)$$

A 6.1.20. és a 6.1.21. ábrán, valamint a továbbiakban az alábbi közelítésekkel élünk:

- A P és a Q pontokban a szintfelületi normálisok párhuzamosak. Ezért

$$AH' = d_V \cdot \operatorname{ctg} Z;$$
$$d' = \frac{d_V}{\sin Z}. \qquad (6.1.66)$$

- A B pontnál lévő szög is Z, ezért az ABF háromszögben

$$\sin Z = \frac{\Delta_r}{AB}, \text{ ahonnan}$$
$$\overline{AB} = \frac{\Delta_r}{\sin Z} = \frac{1}{\sin Z} \cdot \frac{d'^2}{2 \cdot r} = \frac{1}{\sin^3 Z} \cdot \frac{d_V^2}{2 \cdot r}. \qquad (6.1.67)$$

- Igen meredek irányok kivételével

$$\frac{1}{\sin^3 Z} \approx 1, \text{ s ezért}$$
$$\overline{AB} = \Delta_r = \frac{d_V^2}{2 \cdot r},$$

de mivel a refrakció együttható az (5.2.16) összefüggés szerint

$$k = \frac{R}{r} \quad \Rightarrow \quad r = \frac{R}{k}, \quad \text{ezért}$$

$$\Delta_r = k \cdot \frac{d_V^2}{2 \cdot R}. \tag{6.1.68}$$

A (6.1.62) képlet alapján, figyelembe véve a (6.1.64) és a (6.1.68) összefüggéseket, a magasságkülönbségre végül írhatjuk:

$$\Delta m = d_V \cdot \operatorname{ctg} Z + h - l + \frac{d_V^2}{2 \cdot R} \cdot (1 - k). \tag{6.1.69}$$

A (6.1.69) összefüggés utolsó tagjának értékeit $k = 0{,}13$ nagyságú refrakció együttható és $Z = 75^o$ zenitszög esetén a 6.2. táblázatban foglaljuk össze.

d_V (m)	Δm (cm)
100	0,068
200	0,273
500	1,70
1000	6,82
2000	27,3
5000	170
10000	682

6.2. táblázat: A szintfelület és a refrakció együttes hatása a trigonometriai magasságmérésre

A trigonometriai magasságmérés középhibája

A zenit- (magassági) szögmérés és a vízszintes távolság ismerete (mérése) a trigonometriai magasságmérésben véletlen, a földgörbület és a refrakció együttes hatását kifejező *refrakció együttható* szabályos hibát (4.3. fejezet) okoz. A mai korszerű teodolitokkal, a két távcsőállásban végrehajtott zenit- (vagy magassági) szögméréssel - a refrakció és a földgörbület hatásától eltekintve - a véletlen hibák hatása viszonylag szűk határok közé szorítható.

A *hibaterjedés* törvénye szerint (4.5. fejezet, (4.5.2) képlet), csak a (6.1.69) képlet jobb oldalának első tagját figyelembe véve, vagyis a fentieken túl a műszermagasság és a jelmagasság mérési hibájától is eltekintve, írhatjuk:

$$\mu_{\Delta m} = \pm \sqrt{\frac{d_v^2}{\sin^4 Z} \cdot \frac{\mu_Z^2}{\rho^2} + \operatorname{ctg}^2 Z \cdot \mu_{d_v}^2} \tag{6.1.70}$$

A trigonometriai magasságmérés középhibája a vízszintes távolság növekedésével és a zenitszög értékének csökkenésével (a magassági szög növekedésével) nő. Pld. $\mu_Z = \pm 6''$ és távolságfüggetlen $\mu_{d_v} = \pm 2$ cm mellett a magasságkülönbség középhibája a 6.3. táblázatnak megfelelően alakul.

d_V (m)	$Z = 90^o$	$Z = 85^o$	$Z = 80^o$	$Z = 65^o$
100	0,29	0,34	0,46	0,93
200	0,58	0,61	0,70	1,17
500	1,45	1,48	1,54	2,00

6.3. táblázat: A trigonometriai magasságmérés középhibái a vízszintes távolság és a zenitszög függvényében

A 6.2. és a 6.3. táblázatok összevetéséből látszik, hogy a trigonometriai magasságmérés középhibája és a (6.1.69) képlet utolsó tagjából adódó szabályos hiba mintegy 500 m vízszintes távolság mellett közel azonos (még az extrémnek tekinthető $Z = 65^o$ zenitszög mellett is). Ezért 500 m-nél kisebb távolságok esetén a földgörbület és a refrakció hatásától eltekinthetünk. Ekkor azt mondjuk, hogy a trigonometriai magasságmérést rövid távolságon végezzük. 500 m-nél nagyobb távolságoknál a 6.2 táblázat szerint az utolsó tag értéke jelentősen nő, a földgörbület és a refrakció hatását már nem hanyagolhatjuk el. Ez esetben a ″trigonometriai magasságmérés nagyobb távolságra″ kifejezést használjuk.

Az országos hálózatban a vízszintes alappontok távolsága általában meghaladja az 500 m-t, ezért szükség van arra, hogy a napszakonként mind nagyságában, mind görbületi sugarának előjelében változó refrakció együtthatót a magasságméréshez közeli időpontban ismerjük.

A refrakció együttható meghatározása

A refrakció együtthatót szintén a trigonometriai magasságmérés módszerével határozzuk meg. A meghatározásnak két módja lehetséges, attól függően, hogy azt adott, vagy ismeretlen magasságkülönbségű pontok között végezzük.

1. Adott Δm magasságkülönbséggel bíró pontok között végzett trigonometriai magasságmérésnél a (6.1.69) képletben csak a k refrakció együttható ismeretlen, értéke az egyenletből kifejezhető, s az ismert értékek behelyettesítésével számítható.
2. Ha a Δm értéke ismeretlen, úgy a pontok között egyidejű (szimultán) trigonometriai magasságmérést végzünk. A zenitszöget egyidejűleg mérjük, a P ponton h_P műszermagasságból az l_Q, a Q ponton h_Q műszermagasságból az l_P magasságú jelekre. Ekkor a (6.1.69)-nek megfelelő alábbi két összefüggés írható fel:

$$\Delta m = d_V \cdot \operatorname{ctg} Z_P + h_P - l_Q + \frac{d_V^2}{2 \cdot R} \cdot (1 - k) \text{ és}$$

$$-\Delta m = d_V \cdot \operatorname{ctg} Z_Q + h_Q - l_P + \frac{d_V^2}{2 \cdot R} \cdot (1 - k), \qquad (6.1.71)$$

ahol Z_P a P pontról a Q-ra, Z_Q a Q pontról a P-re mért zenitszög.

A (6.1.71) két egyenletében a Δm és a k a két ismeretlen. A két egyenlet összeadása után a Δm értéke kiesik és k értéke kifejezhető, ill. számítható.

Az egyidejűség nagyon fontos, hiszen a refrakció együtthatót befolyásoló légkör állapota az időben változik. Az egyidejű mérésnél megfelelő felszereléssel kell biztosítani, hogy mindkét pont egyidejűleg mind az álláspont, mind az irányzott jel funkciójának megfeleljen.

6.2. Magassági alappontok meghatározása

A magassági alappontokat (2.3.2. fejezet) a magasságmérés jelenleg is legpontosabb módszerével, a geometriai szintezéssel határozzák meg. A geometriai szintezés, ill. azon belül a vonalszintezés elvével (5.2.67. és 5.2.68. ábra) az 5.2.4.1. fejezetben ismerkedtünk meg. Ennek értelmében két, pld. a P és Q pontok közötti magasságkülönbséget a

$$\Delta m_{PQ} = \sum_{i=1}^{m} (l_h - l_e)_i , \qquad (5.2.66)$$

összefüggésből határozhatjuk meg, ahol $(l_h - l_e)_i$ az *i.* műszerálláshoz tartozó ún. *hátra-*, ill. *előre* lécleolvasások különbsége és m a rész magasságkülönbségek száma.

A *vonalszintezéssel* meghatározandó pontok lehetnek *alappontok* és *részletpontok*. Ha a vonalszintezéssel két (vagy több) magassági alappont magasságkülönbségét (különbségeit) határozzuk meg, alappontszintezésről beszélünk. Ha a magassági alappontokból kialakított magassági (szintezési) alapponthálózatban legalább egy pont tengerszint feletti magasságát ismerjük, úgy az összes többi alappont magassága is meghatározható.

A légköri viszonyok 5.2.77. ábrán bemutatott napi változása miatt - mint az 5.2.4.1. fejezet *"Külső körülmények hibái"* c. részében láttuk - az *alappontszintezésnél* az észlelést mindig oda-vissza irányban, egymástól függetlenül végezzük. Az országos magassági alappont hálózatban a szintezés eredményességére ható külső körülmények lehetőség szerinti kiküszöbölésére az *odaszintezést* a reggeli, a *visszaszintezést* a (késő-) délutáni órákban végezzük.

Két szomszédos magassági alappont közé eső vonalat szintezési vonalnak nevezzük. Ha a szintezési vonal túl hosszú, azt szintezési szakaszokra osztjuk. A szintezési szakaszok hosszát úgy választják meg, hogy oda-visszaszintezésüket egy nap alatt el tudják végezni. A szintezési szakasz megengedett hossza a felsőrendű (szabatos) szintezésnél mintegy 1-1,2 km, az alsórendű szintezéseknél 2,5-3 km.

Több szintezési vonal összekapcsolásával a (zárt) szintezési poligonokhoz jutunk. A szintezési poligonok összessége alkotja a szintezési (magassági) hálózatot. Kettőnél több szintezési vonal találkozási pontja a szintezési csomópont. Magyarország szintezési hálózatát Egységes Országos Magassági Alapponthálózatnak (EOMA) hívják (6.4.2. fejezet).

A geometriai szintezés műszeres, ill. a külső körülmények hatása miatt bekövetkező szabályos hibáinak csökkentésére az alappontszintezés végrehajtásakor az 5.2.4.1. fejezetben részben már érintett alábbi szabályok betartására kell ügyelnünk:

- Mind a libellás, mind a kompenzátoros (és, természetesen, a digitális) szintezőműszereket csak megvizsgált és igazított állapotban szabad használni.
- A szintezőműszert a hátsó s az elülső kötőpontoktól (ahol a szintezőlécek, szintezősarura, fa-, ill. vascövekre helyezve, állnak) egyenlő távolságra kell felállítani. Az egyenlő léctávolságot felsőrendű szintezésnél mérőszalaggal, alsórendű szintezésnél lépéssel kell biztosítani (digitális szintezőműszer használata esetén a léctávolság a kellő pontossággal a műszer kijelző tablóján ellenőrizhető). A szintezőműszernek nem kell a két kötőpont összekötő egyenesébe esnie.
- Libellás szintezőműszer használatakor a szintezőlibella buborékját gondosan középre kell állítani.
- Hátra- és előre irányzáskor a szálkereszt élességét szabályozni nem szabad, de lehetőleg ne nyúljunk a képélesség-állító (parallaxis) csavarhoz sem. Egyenlő léctávolság mellett utóbbira nincs is szükség. Ha az alappontszintezéssel együtt részletpont szintezést is végzünk (pld. a hossz- és keresztszelvényszintezés, 7.3.1.1. fejezet), e szabály szigorúan véve nem tartható be.
- Kötőpontként csak szintezősarut, vagy földbevert, felső lapján gömbölyű fejű szöggel ellátott facöveket, vagy vascöveket szabad használni.
- A szintezőlécek leolvasásakor a szintezőlécet függőlegesen kell tartani. Ezt a legtöbb esetben a szintezőlécre szerelt, vagy ahhoz illeszthető szelencés libellával lehet biztosítani.
- Ha a vonalszintezést két adott magasságú alappont között végezzük, a két adott pont közé eső új alappontot (pontokat) a szintezési vonalba be kell "kapcsolni".
- Az alappontszintezést csak arra alkalmas külső körülmények között szabad végrehajtani.

Mint láttuk, a vízszintes alappontoknak trigonometriai magasságméréssel adunk magasságot. Ez nem zárja ki azt, hogy a vízszintes alappontok magasságát - ha a feltételek adottak - geometriai szintezéssel végezzük. Mivel a vízszintes alappontok alakja nem teszi lehető-

vé az egyértelmű magassági azonosítást (a jel felületén), s a megkívánt pontosság is kisebb, a felsorolt (klasszikus) szabályok betartásától esetenként eltekinthetünk.

6.2.1. Az oda-visszaszintezés szintezési szakaszra és vonalra

Legyenek P az *i.* szintezési szakasz kezdő- és Q az *i.* szintezési szakasz végpontja. Jelöljük az odaszintezésre (a P-ből a Q-ba) az (5.2.65) összefüggésekből számított magasságkülönbséget Δm_i^{o}-val, a visszaszintezésre (a Q-ból a P-be) számított magasságkülönbséget pedig Δm_i^{v}-vel. A Δm_i^{o} és a Δm_i^{v} előjele különböző, ezért megállapodunk abban, hogy a továbbiakban a Δm_i^{v} előjele egyezzék meg a Δm_i^{o} előjelével (hiszen bennünket a Q pont relatív magassága érdekel a P ponthoz képest). Az *i.* szintezési szakaszra így értelmezett magasságkülönbség a legkisebb négyzetek elve szerint a két mérési eredmény egyszerű számtani közepe (4.4.2. fejezet, 4.4.5. képlet), általában ui. semmilyen érv nem szól amellett, hogy az oda- és a visszamérésből kapott magasságkülönbség pontossága, s ez által súlya között különbséget kellene tenni):

$$\Delta m_i = \frac{\Delta m_i^{o} + \Delta m_i^{v}}{2}. \qquad (6.2.1)$$

A

$$\Delta_i = \Delta m_i^{o} - \Delta m_i^{v} \qquad (6.2.2)$$

különbséget észlelési differenciának nevezzük.

Mint tudjuk (4.4.1. fejezet, 4.4.2. képlet), a v_i mérési javítások az egyes mérési eredményeknek a számtani középtől való eltérései, azaz

$$v_i^{o} = \Delta m_i^{o} - \Delta m_i = \Delta m_i^{o} - \frac{\Delta m_i^{o} + \Delta m_i^{v}}{2} = \frac{\Delta m_i^{o} - \Delta m_i^{v}}{2} = +\frac{\Delta_i}{2}$$

és hasonlóan

$$v_i^{v} = \Delta m_i^{v} - \Delta m_i = \Delta m_i^{v} - \frac{\Delta m_i^{o} + \Delta m_i^{v}}{2} = \frac{-\Delta m_i^{o} + \Delta m_i^{v}}{2} = -\frac{\Delta_i}{2}.$$

A 4.4.3. fejezet

$$\mu = \pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^{2}}{n-1}} \quad . \qquad (4.4.7)$$

képlete szerint egyetlen mérési eredmény (esetünkben vagy az oda-, vagy a visszamérés eredménye, $n = 2$) középhibája:

$$\mu_i = \mu_i^{o} = \mu_i^{v} = \pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^{2}}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{\Delta_i^2}{4} + \frac{\Delta_i^2}{4}} = \pm\sqrt{\frac{\Delta_i^2}{2}} = \pm\frac{\Delta_i}{\sqrt{2}}. \qquad (6.2.3)$$

A számtani közép középhibája a (4.5.12) képlet szerint ($n = 2$):

$$\mu_{\Delta m_i} = \pm\frac{\mu_i}{\sqrt{2}} = \pm\frac{\Delta_1}{2}. \qquad (6.2.4)$$

Az 5.2.4.1. fejezet *"A geometriai szintezés pontossága"* c. részében megfogalmaztuk az *"előzetes km-es középhiba"* fogalmát (5.2.73. képlet). A szintezési szakaszra vonatkozó

utólagos km-es középhibát (4.4.3. fejezet utolsó bekezdése) az oda-visszaszintezés mérési eredményei alapján az alábbi aránypárból számíthatjuk:

$$\mu_{i,\mathrm{km}} : \mu_{\Delta m_i} = \sqrt{1} : \sqrt{d_i}\,, \tag{6.2.5}$$

ahol d_i - az *i.* szintezési szakasz hossza km egységben. A (6.2.5)-ből

$$\mu_{i,\mathrm{km}} = \pm\frac{\mu_{\Delta m_i}}{\sqrt{d_i}} = \pm\sqrt{\frac{1}{4}\cdot\frac{\Delta_i^2}{d_i}}\,. \tag{6.2.6}$$

Ha most szintezési vonalunk k db szintezési szakaszból áll, vagyis $i = 1, 2, \ldots, k$, a hibaterjedés (4.5.2) összefüggéssel megfogalmazott törvénye alapján írhatjuk:

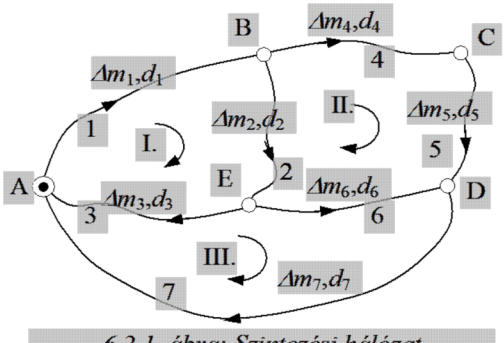
$$\mu^2 = \mu_{1,\mathrm{km}}^2 + \mu_{2,\mathrm{km}}^2 + \ldots. + \mu_{\mathrm{k},\mathrm{km}}^2 = \frac{1}{4}\cdot\sum_{i=1}^{k}\frac{\Delta_i^2}{d_i}\,, \tag{6.2.7}$$

a szintezési vonalra vonatkozó utólagos km-es középhiba pedig:

$$\mu_{\mathrm{km}} = \frac{\mu}{\sqrt{k}} = \pm\sqrt{\frac{1}{4\cdot k}\cdot\sum_{i=1}^{k}\frac{\Delta_i^2}{d_i}}\,. \tag{6.2.8}$$

6.2.2. A szintezési hálózat számítása

Tetszőleges számú szintezési poligonból álló szintezési hálózat szigorúan kiegyenlíthető mind a koordináta-, mind pedig a korreláta-kiegyenlítés módszerével (4.6. fejezet). Az alábbiakban a *korreláta-kiegyenlítés* lényegét mutatjuk be.



6.2.1. ábra: Szintezési hálózat

A *feltételi egyenletek* itt azt fejezik ki, hogy az egyes szintezési vonalakra vonatkozó magasságkülönbségek összege zárt poligonban zérus (a szintezési poligon zárt, ha egy tetszőleges magassági alappontból kiinduló, egymás után futó szintezési vonalak közül az utolsó a kiindulási alappontba fut be). A zérustól való eltérések a poligon záróhibák, a feltételi egyenletek *ellentmondásai*. Tekintsük pld. a 6.2.1. ábra szintezési hálózatát! A magasságkülönbségek előjeleinek egyértelműsége végett rögzítsük nyilakkal a körüljárási irányokat! Római számokkal a poligonokat, arab számokkal a szintezési vonalakat, Δm_j-vel a magasságkülönbségeket, d_j-vel a *j.* vonal km-ben vett hosszát jelöljük ($j = 1, 2, \ldots, 7$).

A 6.2.1. ábra szintezési hálózatában a feltételi egyenletek az alábbiak:

$$\begin{aligned} \Delta m_1 + \Delta m_2 + \Delta m_3 &= 0, \\ -\Delta m_2 + \Delta m_4 + \Delta m_5 - \Delta m_6 &= 0 \ \text{ és} \\ -\Delta m_3 + \Delta m_6 + \Delta m_7 &= 0. \end{aligned} \tag{6.2.9}$$

Ha a szintezési hálózatban legalább 1 pont (a 6.2.1. ábrán az A) adott, a többi B, C, D és E pont *abszolút*, azaz *tengerszint feletti magasságát* a kiegyenlített mérési eredmények értelemszerű hozzáadásával kapjuk, pld. a D pontra két úton is az

$$m_D = m_A + \Delta\bar{m}_1 + \Delta\bar{m}_4 + \Delta\bar{m}_5, \text{ vagy az}$$
$$m_D = m_A - \Delta\bar{m}_7 \qquad (6.2.10)$$

összefüggésekből, ahol $\Delta\bar{m}_1, \Delta\bar{m}_4, \Delta\bar{m}_5$ és $\Delta\bar{m}_7$ a mért magasságkülönbségek kiegyenlített értékei. A két úton kapott magasságoknak a kiegyenlítés után természetesen egyezniük kell. Megjegyezzük, hogy a szintezési hálózatok kiegyenlítésénél az egyes szintezési vonalakra vonatkozó magasságkülönbség mérési eredményeket a távolsággal fordított arányban súlyozzák (4.4.4. fejezet, 4.4.15. képlet), ami azt fejezi ki, hogy a nagyobb távolságokon kapott magasságkülönbségek súlya kisebb és fordítva:

$$p_j = \frac{c}{d_j}. \qquad (6.2.11)$$

A (6.2.11) képletben a *c* célszerűen, de tetszőlegesen megválasztott konstans érték.

6.3. Alappontsűrítés GPS-sel a klasszikus hálózatokban

A GPS technika megteremtette a lehetőségét annak, hogy a hagyományos vízszintes alapponthálózat (EOVA) sűrítése elvileg rendűségtől függetlenül, valamint a III. és alacsonyabb rendű magassági alapponthálózat (EOMA) legalább két GPS vevővel (ill. a *permanens állomásokra* támaszkodva, 5.3.6.3. fejezet) elvégezhető. Foglaljuk össze az alábbiakban, hogyan oldható meg és milyen problémákat vet fel ez a feladat a vízszintes, és milyeneket a magassági alapponthálózatban.

Az alappontsűrítés munkaszakaszai hasonlóak az eddig tárgyalt alappontsűrítési módszerekhez. Az *előkészítő munkák* során nyomtatják ki számítógépen a műhold konstellációkat és a horizontrajzokat (5.3.9. és 5.3.10. ábrák). A tervezés során megvizsgálják, hogy a horizonttól számítva 15° (több esetben a 20° is megengedett) felett szabad-e a kilátás az égboltra. Erdővel fedett területeken nyilvánvalóan a lombtalan időszakok a mérésre legalkalmasabbak, de eddigi vizsgálatok szerint fiatal állományokban nagyobb esély van a GPS mérés elvégzésére, mint az idősekben. A GPS pontokat a 2.3.3. fejezet szerint kell állandósítani, ideiglenes pontjelölésre nincs szükség.

A mérés legalább két db lehetőleg kétfrekvenciás GPS vevővel, a vektorok hosszától függően mintegy 10 km-ig gyors statikus, a fölött statikus üzemmódban történik. A számítást a pontosság növelése érdekében az utófeldolgozó szoftverrel végezzük.

6.3.1. Alappontsűrítés GPS-sel a vízszintes alapponthálózatban

A vízszintes alapponthálózatban az alappontsűrítést GPS-szel az 5.3.6.2. fejezetben leírtak szerint hajtják végre, statikus, ma már inkább gyors statikus módszerrel. Hagyományos kétdimenziós hálózatban végzett alappont sűrítéskor a pontok közötti vízszintes távolság meghatározási pontossága a bázispont és a meghatározandó pont közötti irányított távolság (vektor) meghatározásának a pontossága.

A korszerű felsőrendű hálózatok pontosságánál a műholdas helymeghatározás pontossága általában egy nagyságrenddel pontosabb. Ezért az alappontsűrítés során probléma, hogy a meghatározott új vízszintes hálózatrészt alacsonyabb pontosságú alappontok rendszerébe kell illeszteni. Az alappontsűrítés során be kell tartani az OGPSH létesítése során megkövetelt előírásokat (6.4.3. fejezet).

A GPS vevőkkel kapott mérési eredmények WGS84 ellipszoidi koordináták (5.3.4. fejezet). Ha a vízszintes alapponthálózatot akarjuk sűríteni, a pontok koordinátáit az Egységes Országos vetületbe kell átszámítani.

A 2.2.3. fejezet, 2.2.32. ábra szerint ez a feladat a II. a III., a IV. a VI. és a VII. utak alkalmazását jelenti. A II., III. és IV. utakat szigorú átszámítási képletekkel „járjuk végig" (5.3.4.1. fejezet képletei), míg a VI. út az azonos (közös) pontokon alapuló közelítő megoldás. Utóbbi alkalmazása 7 ismeretlenes egyenletrendszer megoldásához vezet, ahol a 7 ismeretlen a WGS84 és az IUGG/1967 ellipszoidi térbeli koordinátarendszerek közötti 3 forgatási szög, három eltolási érték és a méretarány tényező. A 7 ismeretlen meghatározásához legalább 3 pont WGS84 és EOV koordinátáira van szükség. Az e koordinátákat tartalmazó OGPSH pontleírások a Földmérési és Távérzékelési Intézetnél vásárolhatók meg. A WGS84 ellipszoidi koordinátákat zárt képletekkel WGS84 ellipszoidi térbeli, az EOV y és x vízszintes koordinátákat és a tengerszint feletti magasságokat szintén zárt képletekkel IUGG/1967 ellipszoidi térbeli koordinátákká alakítjuk, majd a két rendszer között meghatározzuk a *transzformációs paramétereket*. Ezek ismeretében tetszőleges pont GPS-sel mért WGS84 koordinátái EOV-be átszámíthatók[1].

A tengerszint feletti magasságokból az IUGG/1967 ellipszoidra való átszámításhoz szigorú értelemben a *geoidundulációkat* kellene ismerni (2.2.1.3. fejezet, 2.2.17. képlet, 6.3.2. fejezet). A tapasztalat azt mutatja, hogy az ún. lokális (kis területre kiterjedő) transzformációknál nem okoz érzékelhető hibát, ha a transzformációs paraméterek számításánál az ellipszoidi magasságokat a tengerszint feletti magasságokkal helyettesítjük. Mind a transzformációs paraméterek, mind az EOV koordináták számításához megfelelő szoftverekre van szükség[2].

Megállapították, hogy nem létezik olyan geodéziai pontosságú átszámítási módszer, amely az egész országra érvényes transzformációs állandókkal dolgozhatna[3] (Busics, 1996, Borza és társai, 1998). Ezért ugyanazon transzformációs állandókat mindössze néhány 10 km-es sugarú körön belül használhatjuk, de az így elérhető mintegy 2-3 cm-es átszámítási pontosság még mindig lerontja a nagyobb GPS pontosságot.

6.3.2. Alappontsűrítés GPS-sel a magassági alapponthálózatban

A GPS-szel – mint tudjuk - a kérdéses pont ellipszoid feletti H magasságát (2.2.10. és 5.1.3b. ábrák) tudjuk meghatározni. A magassági hálózatban azonban nem erre, hanem a tengerszint (geoid) feletti magasságra van szükség. A kettő közötti eltérést a 2.2.1.3. fejezetben az

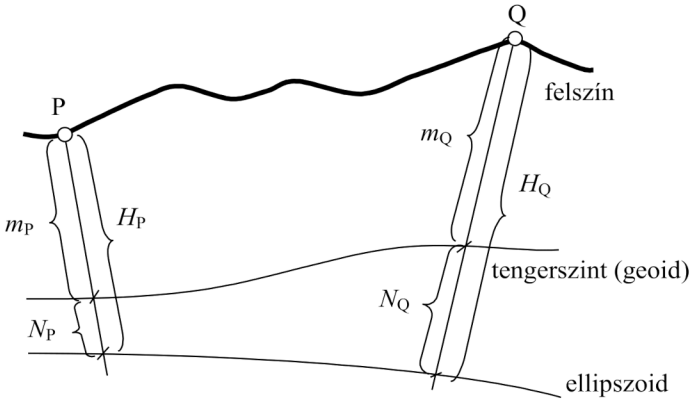
$$N = H - m \qquad (2.2.17)$$

geoidundulációval definiáltuk, ahol H – az ellipszoid feletti, m – a tengerszint feletti magasság. Az ellipszoid feletti magasság meghatározásának pontossága elmarad a geometriai szintezéssel kapható pontosságtól, jó esetben ±1-2 cm, kétségtelen előnye viszont, hogy igen rövid idő, akár 10-15 perc alatt egymástól akár 15 km távolságban lévő pontok ellipszoid feletti magasságkülönbségét is meghatározhatjuk. A kérdés most úgy tehető fel, hogy ilyen feltételek mellett helyettesíthető-e a geometriai szintezés GPS-szel, azaz végezhető-e ún. „GPS-szintezés"? Tekintsük a 6.3.1. ábrát!

[1] Husti György: „Globális Helymeghatározó Rendszer (bevezetés)", 7. fejezet, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, 2000., Bácsatyai László: „Magyarországi vetületek", 5.2. fejezet, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 1993.

[2] Ilyen szoftverek pld. a Bácsatyai László által készített HungaPro szoftver különböző verziói.

[3] Busics Gy.: Közelítő transzformációk a GPS és az EOV koordináták között. Geodézia és Kartográfia 1996/6.szám, 20-25.old.; Borza T., Kenyeres A., Németh Zs., Virág Gábor: Országos GPS hálózat. Földmérési és Távérzékelési Intézet, Budapest, 1998. Kézirat.

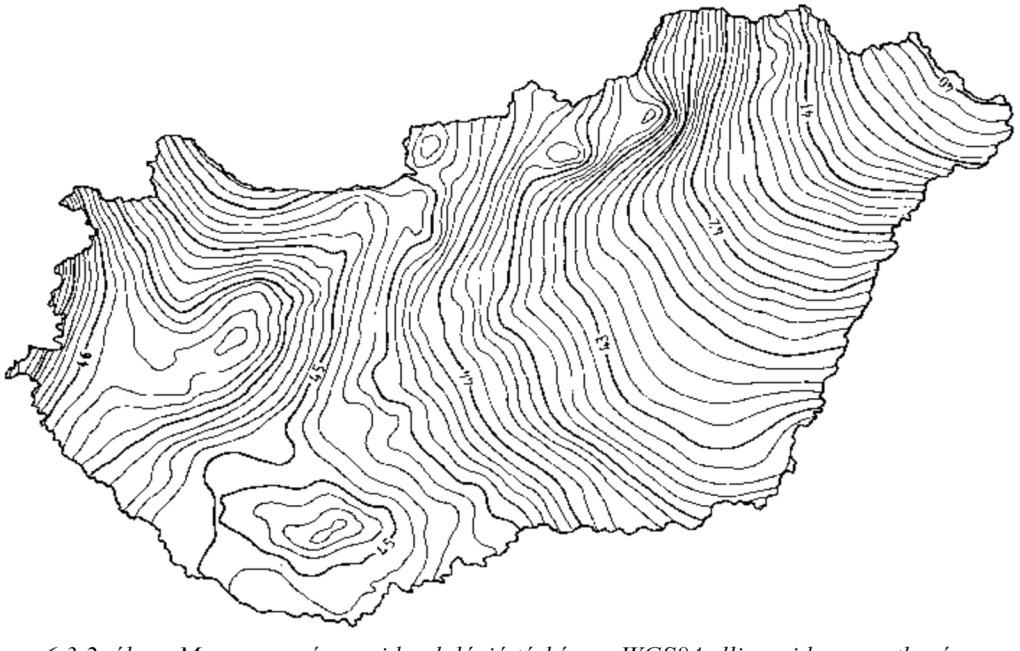


6.3.1. ábra: „Szintezés” GPS-szel

Az ábrából leolvasható, hogy a GPS csak akkor alkalmas *tengerszint feletti magasság*, ill. *magasságkülönbség* meghatározására, azaz *"szintezésre"*, ha a meghatározandó pontokban megfelelő pontossággal ismerjük az ellipszoid és a geoid távolságát, a *geoidundulációt*. A geoidunduláció meghatározásához a nehézségi térerősség ismeretére van szükség, ennek ismeretében elkészíthető a geoidunduláció térkép (6.3.2. ábra), amely nem más, mint az azonos geoidundulációjú pontokat összekötő izovonalak összessége.

A 6.3.1. ábra alapján

$$\begin{aligned} &m_P = H_P - N_P \text{ és } m_Q = H_Q - N_Q; \\ &m_Q - m_P = \left(H_Q - H_P\right) - \left(N_Q - N_P\right); \\ &m_Q = m_P + \left(H_Q - H_P\right) - \left(N_Q - N_P\right). \end{aligned} \qquad (6.3.1)$$



6.3.2. ábra: Magyarország geoidunduláció térképe a WGS84 ellipszoidra vonatkozóan

A (6.3.1) középső képletéből látszik, hogy a geometriai szintezésből közvetlenül kapható $m_Q - m_P$ tengerszint feletti magasságkülönbség akkor egyenlő a $H_Q - H_P$ ellipszoid feletti magasságkülönbséggel, vagyis a GPS akkor alkalmas „szintezésre", ha $N_Q - N_P = 0$, vagyis a két pontbeli *geoidunduláció különbség* zérus. Ha most a GPS szintezést „kellően kis" területen végezzük, úgy a 6.3.2. ábrabeli geoidundulációk jó közelítéssel egyenlők, s akkor a GPS mérésekből kapható tengerszint feletti magasságkülönbségek az unduláció értékek ismerete nélkül is kb. 10 km-es távolságig mintegy ± 2-3 cm pontossággal határozhatók meg. A geoidunduláció értékek felhasználásával a pontosság ± 1 cm alá csökkenthető.

6.4. Magyarország alapponthálózatai

Jelen fejezetben a magyarországi klasszikus és GPS alapponthálózatokról lesz szó.

Mint azt a 2.3. fejezetben, az alap- és részletpontok tárgyalásánál már említettük, a klasszikus alapponthálózatok a *nagyból a kicsi felé haladás* elve alapján épülnek fel, míg a GPS hálózatnál - bár pontjai javarészt megegyeznek a klasszikus vízszintes hálózat pontjaival - a hagyományos értelemben vett *hálózati hierarchia* nem érvényesül. A klasszikus hálózatok felső- és alsórendű hálózatból állnak, a felsőrendű hálózat kialakítása az elsőrendű hálózat létesítésével kezdődik, majd erre, mint szilárd, hibátlannak tekintett vázra támaszkodva épül fel a másodrendű, majd a harmadrendű hálózat, s ebbe illeszkedik be a negyed- és ötödrendű hálózatból álló alsórendű hálózat.

6.4.1. Magyarország vízszintes alapponthálózata (EOVA - Egységes Országos Vízszintes alapponthálózat)

A címben zárójelbe foglalt elnevezés kapcsolódik az EOV (Egységes Országos Vetület) elnevezéshez (2.2.2.3. fejezet), 1976-tól, az EOV bevezetésétől kezdve használják. Az elnevezés azt jelenti, hogy az alapponthálózat vetületi rendszere az EOV, s minden új pontot ebben a vetületi rendszerben kell meghatározni. A GPS-sel meghatározott pontokat, valamint - ma már ritkábban - a régebbi (sztereografikus, ferdetengelyű henger) vetületi rendszerekben ismert pontokat az EOV-re kell átszámítani.

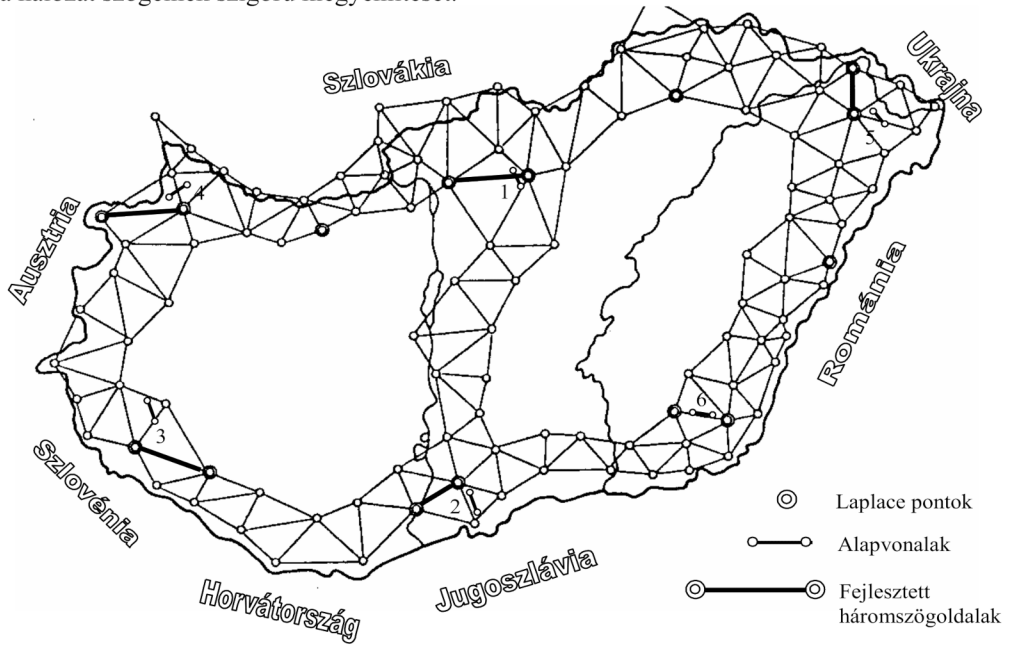
Az EOVA a felsőrendű (első-, másod- és harmadrendű) vízszintes hálózati alappontok, valamint a hagyományos és a GPS módszerrel létesített, ill. a kevésbé megbízható felsőrendű pontokból negyedrendű pontokká átminősített negyedrendű alappontok rendszere. Az EOVA-ba illeszkednek bele a nem országos alappontokként nyilvántartott ötödrendű, valamint a részletmérés és a térképezés feladatait közvetlenül megalapozó felmérési alappontok (2.3. fejezet).

Magyarország jelenlegi felsőrendű hálózatát régi, 1945 előtti felsőrendű alappontok felhasználásával a második világháború után alakították ki. Általánosan kialakult szokás szerint - a hálózat együttes kiegyenlítését megkönnyítendő - először az ország határai mentén alakítottak ki egy átlagosan 25-30 km oldalhosszúságú, amennyire lehet egyenlő oldalú háromszögekből álló keretláncolatot (*koszorút*), amelyet a Duna-Tisza közén egy ún. merevítő láncolattal kötöttek össze (6.4.1. ábra). Ez Magyarország elsőrendű alapponthálózata.

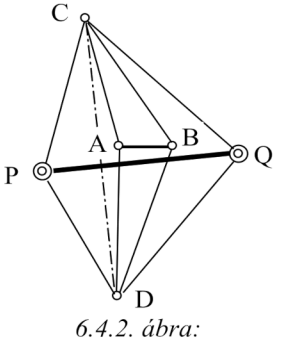
Az elsőrendű alappontok többségét hegycsúcsokon helyezték el, a szomszédos pontok jó összelátása céljából. A méréseket nem a földi pontjelről, hanem az annak függőlegesében elhelyezett mérőasztalról végezték, amelyet különleges építmény, az állványos gúla tartott mereven (2.3.10a. ábra). E gúlák biztosították egyben a pont távolról való irányozhatóságát is. A szögméréseket a Wild T3 felsőrendű teodolitokkal végezték.

A hálózat méretarányának meghatározására 6 db, az átlagos háromszögoldal hosszánál jóval rövidebb (a gyakorlatban is alkalmazható elektronikus távolságmérés akkor még nem létezett) *alapvonalat* mértek, amelyekből egy különleges háromszögelési alakzat, az alapvo-

nalfejlesztő hálózat (6.4.2. ábra) segítségével hozták létre az ún. fejlesztett háromszögoldalakat. Ha a feltétlenül szükséges egy ismert oldalnál több van, ez lehetővé teszi az ellenőrzést és a hálózat szögeinek szigorú kiegyenlítését.



6.4.1. ábra: Magyarország elsőrendű vízszintes keret- és merevítő hálózata



6.4.2. ábra: Alapvonalfejlesztő hálózat

A 6.4.2. ábrán az A és B pontok az alapvonal végpontjai, az AB az alapvonal, P és Q az ún. Laplace pontok, PQ az elsőrendű háromszögelési hálózat fejlesztett oldala. A C és D pontok az elsőrendű hálózat pontjai, a PC, QC, PD és QD oldalak az elsőrendű hálózat oldalai. Az AB alapvonalat mérték, ezután pusztán szögmérések alapján számították a CD oldalt (ez nem elsőrendű háromszögoldal!), majd a PQ fejlesztett háromszögoldalt. Tekintettel arra, hogy itt egy viszonylag rövid mért oldalból indulunk ki, a kellemetlen hibaterjedés miatt mind az alapvonalat, mind pedig a szögeket szélső pontossággal kellett meghatározni.

Ha a fejlesztett háromszögoldalakat tájékozzuk, azaz meghatározzuk a földrajzi (és a térképi) északi iránnyal bezárt szögüket, úgy azok eleget tesznek a 6.1.2. pont első két bekezdésében az alapvonalakra elmondottaknak, vagyis ezekre az oldalakra "fel lehet fűzni" az egész ország térképrendszerének alapját képező alapponthálózatot. A fejlesztett háromszögoldalak tájékozásához az összesen 14 Laplace pontban meghatározták a földrajzi szélességet és hosszúságot, valamint a 6 fejlesztett háromszögoldal azimutját. A vetületi koordinátarendszerre való áttérésnél figyelembe kellett venni a vetületi redukciókat.

Az elsőrendű hálózatot *szögméréses háromszögeléssel* (6.1.3.1. fejezet) határozták meg, a *minden kombinációban* végzett szögmérés (5.2.44. ábra) egy változatával, az ún. Schreiber-féle szögméréssel. Mivel a mért szögek súlyát a

$$p = n \cdot i \qquad (6.4.1)$$

összefüggéssel számították, azok a mért irányok n számával egyenesen arányosak, s alappontonként, a különböző számú irányok miatt, különbözőek voltak. Schreiber e problémán úgy segített, hogy a súlyokat választotta konstansnak (p=24), s a mérési ismétlések i számát csökkentette, ill. növelte az

$$i = \frac{24}{n} \qquad (6.4.2)$$

összefüggésnek megfelelően. Az egyenlő súlyokkal a kiegyenlítés lényegesen egyszerűbb volt.

Az elsőrendű pontok koordinátáit a kiegyenlített szögértékek birtokában, pontról pontra, a *szögméréses előmetszés* képleteinek alkalmazásával számították (6.1.3.1. fejezet).

A másodrendű vízszintes alapponthálózat pontjait az elsőrendű keret- és merevítő láncolat háromszögeinek súlypontja környezetében jelölték ki úgy, hogy az összes szomszédos elsőrendű alapponttal az összelátás biztosított legyen. Az így kialakított háromszögek átlagos oldalhossza 15 km. A másodrendű hálózatban az *iránymméréses háromszögelés* módszerét alkalmazták, az iránymérést pontonként *8-8 fordulóban* végezték (5.2.42. ábra). Az elsőrendű hálózat oldalaira tájékozó irányokat mértek.

A harmadrendű vízszintes alapponthálózat pontjait az első- és másodrendű hálózatból kialakuló háromszögek súlypontja körül jelölték ki úgy, hogy azok átlagos távolsága 7-8 km legyen. A hálózatot az *iránymméréses háromszögelés* módszerével mérték, 4-4 fordulóban. A másod- és harmadrendű hálózatban is elsősorban a Wild T3 felsőrendű teodolittal mértek, a hálózatok *koordináta-kiegyenlítéssel* (4.6. fejezet) számították. A harmadrendű pontokat tartalmazó háromszögeken belül, azok súlypontja közelében, ún. negyedrendű főpontokat is meghatároztak.

Az ország belsejében az üresen maradt részeken (6.4.1. ábra) a felsőrendű hálózatot nem a fent leírt módon létesítették. Azért, hogy a sík területeken az állványos gúlák igen magas építési költségét megtakarítsák, e területeken 1952 és 1960 között először egy harmadrendű, ún. kitöltő hálózatot hoztak létre. Igen gondos mérés és számítás után e hálózat pontjaiból fiktív elsőrendű (ún. domináns) pontokat hoztak létre. A domináns pontokból létrehozott hálózatot úgy egyenlítették ki, mintha elsőrendű hálózat lett volna. A kitöltő hálózat területén értelemszerűen másodrendű hálózatot sem létesítettek. Az ország most már egész területét lefedő felsőrendű hálózatban homogenitási problémák merültek fel, amelyek miatt a harmadrendű hálózatot a későbbiekben már korszerűbb mérési és számítási módszerekkel korszerűsítették.

A felsőrendű pontoktól kb. 200-500 m távolságra lehetőleg egymásra merőleges irányban két, ún. iránypontot helyeztek el, azzal a céllal, a felsőrendű pontokhoz sokszögeléssel csatlakozni lehessen akkor is, ha egyéb tájékozó irány nem áll rendelkezésre.

A negyedrendű alappontok létesítését a felsőrendű hálózati pontokra (közöttük a negyedrendű főpontokra) mint szilárd vázra támaszkodva végezték. Korszerű negyedrendű alapponthálózatunk létesítésével kapcsolatos feladatokat és előírásokat a "Szabályzat az országos negyedrendű vízszintes alappontok létesítésére" c. szabályzat[4] foglalta össze. A negyedrendű vízszintes alapponthálózat létesítését a a GPS műholdas technika alkalmazásával fejezték be, a "Szabályzat kiegészítés az országos negyedrendű hálózat létesítésére GPS technika alkalmazása esetén"[5] c. szabályzatnak megfelelően az 1990-es évek közepén.

[4] Mezőgazdasági és Élelmezésügyi Minisztérium, Földmérési Főosztály kiadványa, 1977.

[5] Készült a MÉM FTH megbízásából a Földmérési Távérzékelési Intézet Kozmikus Geodéziai Obszervatóriumában, 1990-ben.

A negyedrendű alappontokat abból a célból létesítették, hogy a további, alsórendű alappontsűrítés gazdaságosan, megfelelő pontossággal végrehajtható legyen. A negyedrendű hálózatot ezért olyan sűrűséggel fejlesztették ki, hogy minden két négyzetkilométerre jusson egy alappont (pontsűrűség: 0,5 pont/km^2). Az előírt pontsűrűség nagykiterjedésű erdőkben 0,33 pont/km^2, városokban és kijelölt községekben pedig 2 pont/km^2.

A negyedrendű alappontok létesítésének módszerei:

- Iránymeréses háromszögelés
- Távolságméréses háromszögelés
- Hosszúoldalú sokszögelés, ill. sokszöghálózat
- Fentiek vegyes alkalmazása
- Szabad álláspont
- GPS technika

A hálózat létesítése során az iránymméréseknél 1″ *közvetlen* leolvasású optikai mikrométeres leolvasó berendezéssel ellátott teodolitokat (MOM Te-B1, WildT3 és T2, Zeiss Theo 010) és legalább $\mu_d = \pm(10\,\text{mm} + 6\,\text{ppm})$ pontosságú (5.2.50. képlet) elektronikus távolságmérő műszereket kellett használni.

Az országos vízszintes alapponthálózat sűrítésével kapcsolatos munkákat az A.5. Szabályzat szabályozta[6]. A későbbiekben a sűrítés során a szabályzatot az újabb mérési technológiákkal (GPS, szabad álláspont) kiegészítették. Az alappontsűrítés célja olyan sűrűségű hálózat létrehozása, amelyre támaszkodva az adott részletmérési vagy kitűzési feladat kellő pontossággal, célszerűen és gazdaságosan elvégezhető.

Az országos hálózat sűrítése két lépésben történik:

1. ötödrendű alappontsűrítés
2. felmérési alappontok létesítése.

Az ötödrendű hálózat sűrűsége a terep domborzatától és fedettségétől, a konkrét feladat igényétől és a gazdaságosságtól függ, de nem haladhatja meg a 4 pont/km^2 átlagot. Két ötödrendű alappont távolsága 250 m-nél kisebb csak kivételesen lehet. Az ötödrendű alappontok sűrítésének módszerei megegyeznek a negyedrendű alappontlétesítés módszereivel, azzal a különbséggel, hogy itt a fotogrammetria is alkalmazható. A *felmérési alappontok létesítésére* a 7.2. fejezetben térünk vissza.

A vízszintes geodéziai alappontokra vonatkozó pontossági előírásokat, a mérések hibahatárait az A.5. szabályzat[7] tartalmazza.

6.4.2. Magyarország magassági alapponthálózata (EOMA - Egységes Országos Magassági Alapponthálózat)

Magyarország magassági alapponthálózatának 1979-ben megindult kialakításakor egyrészt tudományos szempont, a nemzetközi kéregmozgásvizsgálati együttműködés játszott szerepet, másrészt pedig az, hogy a nemzetgazdaság különböző területein folyó térképezési és építési munkák során megfelelő mennyiségű, a korábbiaknál nagyobb megbízhatóságú magassági adatra volt szükség.

AZ EOMA létesítésével kapcsolatos előírásokat a "Szabályzat az egységes országos magassági alapponthálózat létesítési munkáiról"[8] foglalta össze.

Az EOMA alapszintfelülete a balti középtengerszint. Ez váltotta fel az ún. nadapi (adriai) középtengerszintet. Utóbbit úgy értelmezték, hogy az átmegy a Fejér megyei Nadap ma-

[6] Országos Földügyi és Térképészeti Hivatal, Földmérési Főosztály, 1980.

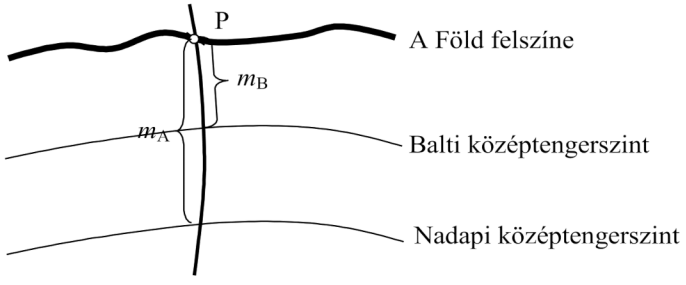
[7] A.5. szabályzat az országos vízszintes alapponthálózat sűrítésére: 36 400/1980. OFTH sz.

[8] Országos Földügyi és Térképészeti Hivatal, Földmérési Főosztály, 1979.

gassági főalappont függőlegesének az Adriai tenger szintje felett még a XIX. században meghatározott 173,8385 m-re lévő pontján. A balti és a nadapi középtengerszint feletti abszolút magasságok között az alábbi összefüggés érvényes:

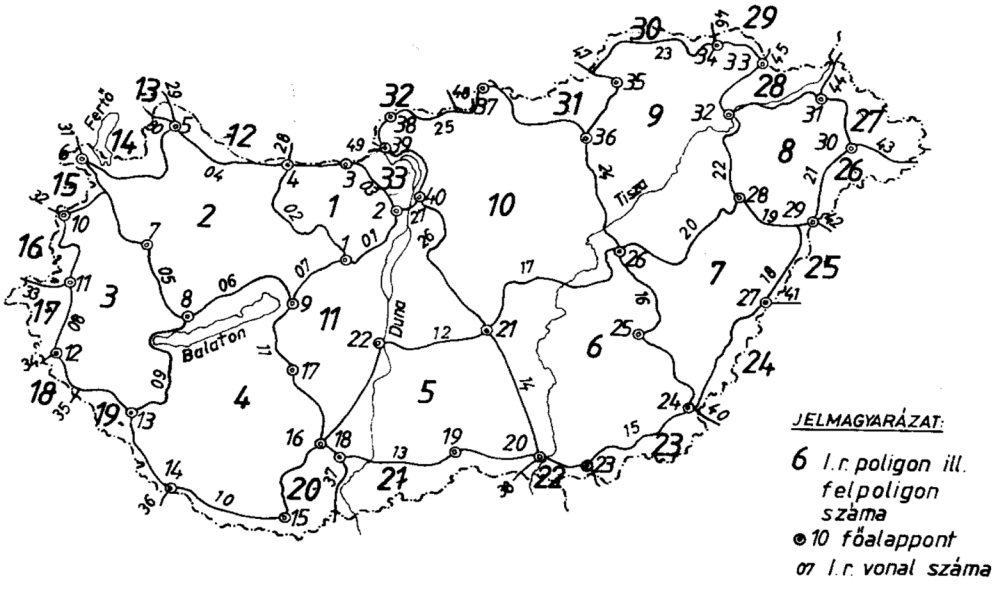
$$m_B = m_A - 0{,}675\,\mathrm{m}\,. \qquad (6.4.3)$$

A (6.4.3) képletben m_B a balti, m_A a nadapi középtengerszint feletti magasság (6.4.3. ábra).



6.4.3. ábra: Nadapi és balti magasságok

Az EOMA elsőrendű hálózatát (az ún. kéregmozgási hálózatot) a 6.4.4. ábrán mutatjuk be. Az elsőrendű hálózatot 27 *szintezési vonalból* kialakított 11 zárt poligon alkotja. A hálózatot a szomszédos országok szintezési hálózataival csatlakozó vonalak kötik össze, amelyek további, ún. félpoligonokat alkotnak. A félpoligonok száma 21. A hálózat csomópontjainak száma 17. A csomópontokban, valamint a vonalak megfelelően kiválasztott helyein 40 db *főalappontot* létesítettek. A vonalakon átlagosan 6 km-re egymástól helyezkednek el a kéregmozgási pontok (KKP-, vagy röviden K-pontok). A zárt poligonok átlagos területe 481 km^2, a vonalak átlagos hossza 134 km.

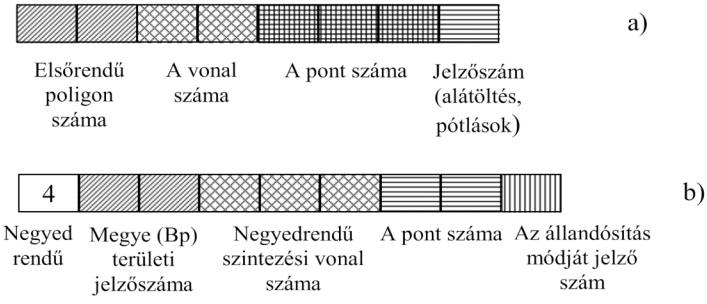


6.4.4. ábra: AZ EOMA I. rendű hálózata

A másodrendű hálózatot az elsőrendű poligonokon belül 2-6 csomópont létesítésével alakították ki. A másodrendű szintezési vonalak végpontjai másodrendű csomópontok, vagy másodrendű csomópont és elsőrendű K-pont, kivételesen két elsőrendű pont. A másodrendű csomópontok is K-pontok. A másodrendű vonalakon 5-10 km-enként szintén kéregmozgási pontokat terveztek.

Az első- és másodrendű hálózat vonalai másodrendű szintezési poligonokat alkotnak. Utóbbiakat több csomópont létesítésével harmadrendű hálózattal sűrítik. A harmadrendű vonalak végpontjai harmadrendű csomópontok, vagy harmadrendű csomópont és első-, vagy másodrendű K-pont, kivételesen első-, vagy másodrendű K-pontok. A harmadrendű hálózatban K-pontokat nem terveztek.

Az EOMA első-, másod- és harmadrendű pontjait 8 jegyű arab számmal, az EOMA sűrítésével létrejövő negyedrendű pontokat 9 jegyű számmal jelölik (6.4.5a) és 6.4.5b) ábrák).



6.4.5. ábra: Az EOMA és a negyedrendű hálózat jelölései

A főalappontoknál és az elsőrendű pontoknál a poligonszám helyén 00, főalappontoknál a vonalszám helyén is 00 áll. Az elsőrendű vonalaknak kétjegyű számuk van, az első két helyen 00 áll, a másod- és harmadrendű vonalak száma négyjegyű: az első két szám az elsőrendű szintezési poligon száma.

Az EOMA észlelését igen nagy pontosságú szintezőműszerekkel kellett végezni, olyanokkal, amelyek előzetes km-es középhibája a $\pm 0{,}3$ mm/km értéket nem haladja meg. Ilyenek voltak a Wild N3, a MOM NiA31 és a Zeiss Ni002 szintezőműszerek. Az alappontszintezés szabályait szigorúan (6.2. fejezet) be kellett tartani, a talaj közeli rendellenes refrakcióviszonyok elkerülésére az irányvonal talaj feletti minimális magasságát a másodrendű hálózatban 50 cm, a harmadrendű hálózatban 30 cm-ben maximálták. Magát a mérést HE-EH (hátra-előre, előre-hátra) sorrendben végezték. Mind az észlelési differenciákra, mind a poligon záróhibákra, mind az adott magasságú pontok közötti magassági záróhibákra szigorú előírásokat fogalmaztak meg.

Az Egységes Országos Magassági Alapponthálózat másod- és harmadrendű vonalainak telepítése - különösen a Dunántúl nagy részén - más fontos feladatok miatt még nem fejeződött be. A FÖMI KGO[9] 1998-ban vizsgálta - többek között az MTA Geodéziai Tudományos Bizottságában is folytatott viták után - a GPS technikának a harmadrendű szintezési munkálatokban való alkalmazhatóságát. A vizsgálatok eredményeként olyan teljes mérési és feldolgozási technológiát dolgoztak ki, amely összhangban van a harmadrendű szintezések pontossági követelményeivel és amelynek eredményeként a gazdaságossági és a pontossági szempontok figyelembevételével a harmadrendű hálózat létesítését a 6.3.2. pont szerint GPS

[9] Földmérési és Távérzékelési Intézet Kozmikus Geodéziai Obszervatórium, Penc

technikával fejezik be[10]. Mint láttuk (6.3.2. fejezet, 2.2.17. képlet), a szintezés GPS-sel való kiváltásához a geoidunduláció pontos ismeretére van szükség. A (2.2.17) összefüggés gyakorlati alkalmazhatóságához a FÖMI KGO-ban kidolgozott eljárást alkalmazzák.

A magassági alappontokkal kapcsolatos pontossági mérőszámok és a mérésekre vonatkozó előírások az A.4. szabályzatban[11] találhatók.

6.4.3. Az Országos GPS hálózat[12]

Az 5.3. fejezet alapján nyilvánvaló, hogy a geodézia történetében milyen mértékű változást jelent a háromdimenziós (3D) helymeghatározást lehetővé tevő GPS. Ahhoz, hogy ezt a legkorszerűbb helymeghatározási módszert a gyakorlati geodézia szintjén tudjuk alkalmazni, megfelelő *infrastruktúrára* van szükség. A GPS technika esetén ez az infrastruktúra a megfelelő sűrűségű GPS hálózat. Az ún. passzív GPS hálózat *állandósított pontokra* épül, ez Magyarországon az 5.3. fejezet 3. bekezdésében már említett OGPSH.

Milyen jelentős tényezők különböztetik meg az OGPSH-t a hagyományos hálózatoktól? A fontosabbak:

- Nem érvényesül a hagyományos hálózati *hierarchia*, egymásra épültség (2.3. fejezet).
- Együtt kezeljük a vízszintes és magassági koordinátákat.
- A pontok közötti összelátás nem szükséges, az égboltra való kilátás viszont mintegy 60°-os sugárkúpban igen.
- A GPS által szolgáltatott koordináták geocentrikusak, azaz a Föld középpontjára vonatkoznak. A gyakorlati geodéziában viszont (vízszintes) *vetületi koordinátákra*, ill. *tengerszint feletti magasságokra* van szükség. A GPS-sel történő vízszintes helymeghatározás *pontosabb*, a magassági helymeghatározás *pontatlanabb*, mint a hagyományos hálózatokban. A vízszintes értelmű helymeghatározást rontja, hogy a pontosabb GPS eredményeket kell a hierarchikus hálózati felépítés miatt pontatlanabb hagyományos hálózatba transzformálni.
- Az OGPSH nemzetközi hálózatokkal összekapcsolható.
- Lehetővé válik az eredmények egységes térinformatikai rendszerben való kezelése.

Bár - mint láttuk - az OGPSH felépítése nem hierarchikus, létrehozása a "nagyból a kicsi felé" elv alapján létesült. Először két lépésben egy, az Európai referencia hálózathoz (EUREF89, 5.3.4. fejezet) tartozó 5, majd további 19 pontból álló kerethálózatot hoztak létre, törekedve arra, hogy azok az ország területét nagyjából egyenletesen fedjék le. A 24 pontos hálózatot a 6.4.5. ábrán mutatjuk be. Az öt EUREF pontot 1991 október végén, a többit közvetlenül ezután november elején határozták meg, kétfrekvenciás TRIMBLE SST vevőkkel (ilyenek vannak a NYME Földmérési és Távérzékelési Tanszékén is).

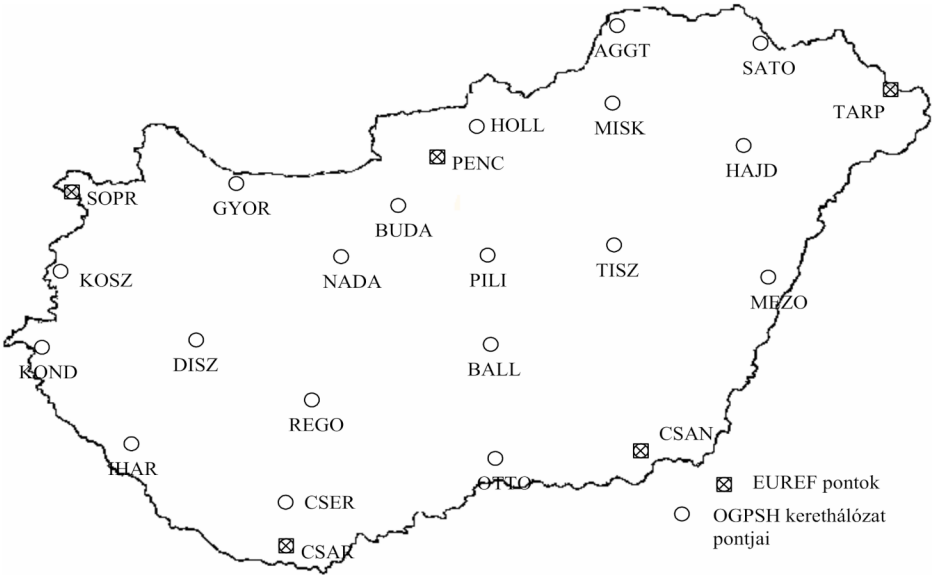
A 24 pontos hálózat sűrítésekor az OGPSH pontokat átlagosan mintegy 10 km távolságban hozták létre. A pontokat részben az állandósítási munkák költségeinek megtakarítása céljából, részben pedig azért, hogy a vízszintes alappont hálózat és a GPS hálózat ″átjárható″ legyen, az OGPSH pontokat döntő hányadban a vízszintes alappont hálózat IV. rendű pontjaiból választották ki (az ″átjárhatóság″ azt jelenti, hogy minden OGPSH pont mind WGS84, mind EOV koordinátákkal rendelkezik).

---

[10] Dr. Borza T., Kenyeres A.: Az EOMA III. rendű vonalak GPS technikával történő meghatározása: Tesztmérések és technológia kidolgozása. Beszámoló az MTA Geodéziai Tudományos Bizottság számára, Penc, 1999. március.

[11] A.4. szabályzat az egységes országos magassági alapponthálózat létesítési munkáiról. — EOMA — 70 928/1979. OFTH sz.

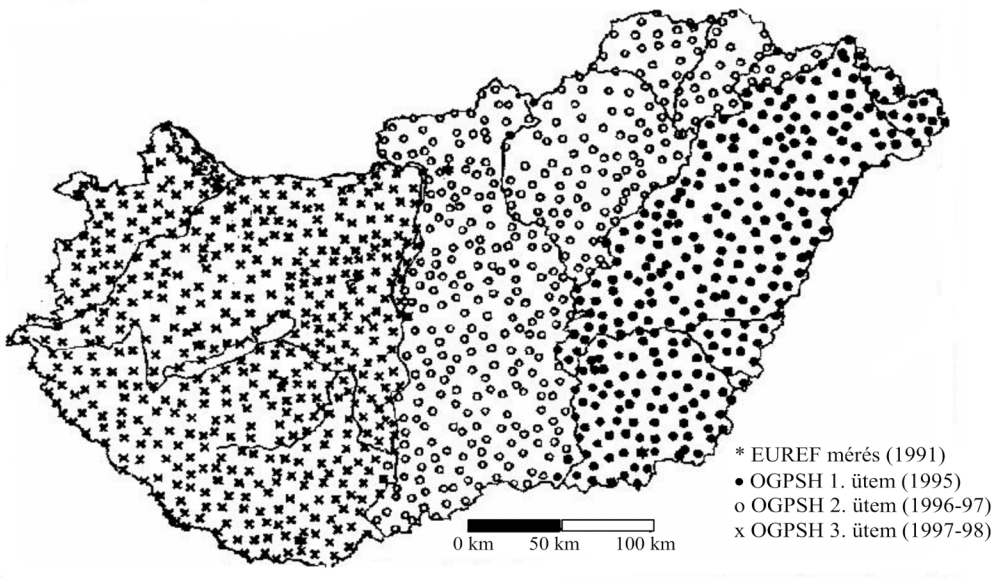
[12] E fejezet a Földmérési és Távérzékelési Intézet (Budapest, 1998) "Országos GPS hálózat" c. dokumentációja felhasználásával készült.



6.4.5. ábra: Az OGPSH kerethálózata

Az alappontok helyét 1994-ben választották ki az alábbi szempontok alapján:

- lehetőleg gépkocsival megközelíthető legyen, 20° felett legyen szabad kilátás az égboltra, s a közelben ne legyen rádió, TV adó és magasfeszültségű vezeték,
- a pont legyen szintezhető,
- fennmaradása hosszú távra biztosított legyen.



6.4.6. ábra: Magyarország Országos GPS hálózata

A mérést 9 db GPS vevővel statikus módszerrel végezték, külön e célra kialakított speciális technológiával, minden ponton legalább 1 órai méréssel (5.3.6.2. fejezet). A keretpontokat minden szomszédos ponttal összemérték, s a mérés során törekedtek arra, hogy a meghatározandó vektorok hossza - a pontosság növelése érdekében - minél rövidebb legyen.

1998-ra 3 ütemben elkészült az 1154 pontból álló, nemzetközi szempontból is kiemelkedő Országos GPS Hálózat (6.4.6. ábra). Az 1. ütemben 1995-re a Tiszántúl, a 2. ütemben 1996-97-ben a Duna-Tisza köze és az Északi Középhegység, végül a Dunántúl készült el. A hálózat kiegyenlítését a FÖMI Kozmikus Geodéziai Obszervatóriumának munkatársai az általuk kidolgozott módszer szerint végezték el.

Az OGPSH pontok mind WGS84 ellipszoidi, mind EOV koordinátákkal és tengerszint feletti magassággal rendelkeznek. Mivel az összesen 1154 OGPSH pontból mindössze 340-nek volt szintezett magassága, a többi pont magasságát a kisebb pontosságú *trigonometriai magasságméréssel* határozták meg.

7. A részletes felmérés

Az alappontok és részletpontok közötti alapvető különbségeket, a részletpontok meghatározását a 2.3. fejezetben tisztáztuk. A DAT Szabályzat (2.1.1., 3.3.1. fejezetek) szerint részletpontok

- a pontszerű objektumok (pl. kút, oszlop);
- a vonalszerű objektumok töréspontjai (pl. vágány tengelye, vezeték);
- a területszerű objektumokat körbezáró határok töréspontjai (pl. földrészlet, épület, úszótelek);
- vonalszerű objektumoknak és területszerű objektumok határainak valamilyen kombinációjában kapott metszéspontjai;
- a geokódokat (3.1.2. fejezet) meghatározó pontok.

Erdészeti szempontból részletpontok az erdőrészlethatárok, erdei utak és szállítópályák, rakodók, az erdő különböző jóléti létesítményeinek (esőbeálló, erdei parkoló, camping jellegű létesítmények, stb.) jellemző (törés-, ill. sarok-) pontjai. A felmérés (térképezés) tárgyát képező részletpontok együttes meghatározását részletes felmérésnek, vagy röviden részletmérésnek, a méréshez használatos eljárásokat pedig részletmérési eljárásoknak nevezzük.

A részletes felmérés mindig a részletpontokhoz legközelebb eső alappont(ok)ról történik. Az alappontok elhelyezkedésének és egymástól való távolságának olyannak kell lenniük, hogy a választott eljárással a részletpontok optimálisan bemérhetők legyenek. Sokszor pedig magát az eljárást kell az alappontok helyzetétől függően megválasztani.

A felmérendő részletpontok megválasztása jelentős mértékben függ a készítendő térkép *méretarányától* (digitális térkép esetén az *adatsűrűségtől*), azaz attól, hogy a terepi valódi hosszak a térképi ábrázolásban még érzékelhetők vagy pedig nem, s emiatt csak egyezményes jelek segítségével ábrázolhatók. Nagy méretarányban több, kis méretarányban kevesebb részletpontot kell meghatározni.

A részletpontok száma a méretarányon kívül a terep beépítési fokától, vízszintes és magassági értelmű tagoltságától, valamint attól függ, hogy a felmérés célja a szóban forgó területnek csak vízszintes (síkrajzi, 3.1. fejezet), vagy egyidejű vízszintes és magassági ábrázolása (3.2. fejezet). Csak magassági felmérés ritkán és síkrajzilag egyértelmű esetben, a felmérendő objektum vízszintes helyzetének ismeretében fordul elő.

7.1. A részletpontok osztályozása

A részletpontok osztályozásakor abból indulunk ki, hogy a DAT Szabályzat értelmében a térképeket 1997-től digitális formában kell elkészíteni, ill. tárolni. A csoportosításnál figyelembe vesszük a 2.1.2. fejezetben mondottakat.

A vízszintes és a magassági térképi ábrázolás céljából vízszintes és magassági részletpontokat különböztetünk meg.

A vízszintes részletpontokat a DAT Szabályzat melléklete[1] a minőségi követelmények szempontjából öt rendbe osztja:

R1: A közigazgatási egységek és alegységek jellegzetes határpontjai, valamint a belterületi földrészletek közterülettel érintkező valamennyi határpontja. Ezeket állandó módon, szabatosan kell megjelölni. Az ebbe a rendbe tartozó részletpontok azonosíthatóságát a 7.1. táblázat R1 sora szerinti középhibával kell biztosítani.

R2: A közigazgatási egységek és alegységek, valamint a belterületi földrészletek előbb fel nem sorolt határpontjai, a külterületi földrészletek állandó módon megjelölt határpontjai, továbbá az épületeknek, építményeknek és a vezetékek fel-

[1] MAGYAR SZABVÁNY MSZ 7772-1

színi létesítményeinek a jelen rendűség szerint azonosítható töréspontjai. Az azonosíthatóságot a 7.1.táblázat R2 sora szerinti középhibával kell biztosítani.

R3: A külterületi földrészletek előzőekben fel nem sorolt határpontjai, az épületeknek, építményeknek és a vezetékek felszíni létesítményeinek minden további töréspontja, valamint a közlekedési és vízügyi létesítményeknek, függőpályáknak és műtárgyaiknak a jelen rendűség szerint azonosítható töréspontjai. A részletpontok azonosíthatóságát a 7.1. táblázat R3 sora szerinti középhibával kell biztosítani.

R4: Azon részletpontok mindegyike, amelyek az előző három rendbe nem sorolhatók be és nem tartoznak az R5 rendbe. Ilyenek például a melléképületek sarokpontjai, alrészlethatárok pontjai és a különféle létesítmények előző rendűségekbe nem sorolható töréspontjai (pl.árok, töltés). A részletpontok azonosíthatósága a 7.1. táblázat R4 sora szerint alakul.

R5: A termőföld-minőségi osztályok határának pontjai, térségi jellegű területek határpontjai és a geokód pontok. Az azonosíthatóság ± 2 m, független a tűrési osztályoktól.

A síkrajzi részletpontok megengedett helyzeti középhibáit és hibahatárait a 7.1. táblázat tartalmazza.:

Részletpont rendűsége	T1		T2	
	T11	T12	T21	T22
R1	3	20	5	45
R2	5	25	7	50
R3	6	30	10	60
R4	8	45	19	90

7.1. táblázat: A vízszintes részletpontok megengedett helyzeti középhibája (cm)

A 7.1. táblázatban a T1, T2, stb. jelölések az ún. tűrési osztályt jelentik. E tűrési osztályokban értelmezik a digitális alaptérkép helyzeti adatainak minőségi előírásait. A T1 jelölés belterületet, a T2 jelölés külterületet jelent, a T11 és T21 jelölések a digitális új felméréssel és térképfelújítással történő térképkészítésre, valamint digitális átalakításhoz végzett kiegészítő terepi felmérésekre, a T12 és T22 jelölések a térképdigitalizálásra és a DAT bevezetése előtti időből származó adatok átvételével és bedolgozásával történő térképkészítésre vonatkoznak.

Az R5 rendűségbe tartozó részletpontok esetén a megengedett helyzeti középhiba ±2 m. A hibahatár ennek háromszorosa.

A megengedett helyzeti középhiba a szomszédos (és a részletpontok szempontjából hibátlannak tekintett) vízszintes geodéziai alappontokhoz viszonyítva értendő. Ha valamely részletpontnak egyidejűleg több rendűsége is lehet, akkor a szóba jöhető megengedett középhibák közül a szigorúbb az érvényes.

A síkrajzi részletpontok felmérés folyamán meghatározott helyzete és az ellenőrző mérésből számított helyzet közötti eltérés a helyzeti hibahatárt nem haladhatja meg. A hibahatár a megengedett középhiba háromszorosa, amit a 7.1. táblázat adataiból kell kiszámolni. A gyakorlatban a két számjegyre, felfelé történő kerekítéssel kapott hibahatár használható.

A magassági részletpontokat ugyancsak a DAT Szabályzat a következőképpen osztályozza:

M1: Elsőrendű magassági részletpont az, amely magasságilag belterületen 2, külterületen pedig 5 cm-en belül, síkrajzilag pedig 0,3 m-en belül azonosítható. Ilyenek lehetnek pl. a vízszintes alappontok, a síkrajzi részletpontoknak egy része és a létesítmények jól azonosítható pontjai.

M2: Másodrendű magassági részletpont az, amely magasságilag belterületen 6, külterületen pedig 13 cm-en belül, síkrajzilag pedig 0,5 m-en belül azonosítható.

M3: Harmadrendű magassági részletpont az, amelyik az előzőekhez nem tartozik, a terep jellemző pontja, magasságilag belterületen 0,1 m-en, külterületen 0,2 m-en belül, síkrajzilag pedig 2 m-en belül azonosítható.

A magassági részletpontok megengedett középhibáit és az ellenőrző mérések segítségével képezhető hibahatárokat a 7.2. táblázat tartalmazza belterületre és külterületre.

A részletpont rendűsége	Megengedett középhiba		Hibahatár	
	Belterület	Külterület	Belterület	Külterület
M1	2	5	6	15
M2	6	13	18	39
M3	10	20	30	60

7.2. táblázat: A magasságok megengedett középhibája és hibahatára(cm) — belterület, külterület

A megengedett magassági középhiba a szomszédos (és a magassági részletpontok szempontjából hibátlannak tekintett) magassági alappontokhoz viszonyítva értendő.

A magassági részletpontok és alappontok EOV koordinátáit kötelező megadni. Ha nincs mérésből meghatározott koordinátapár, akkor azt a magassági részletpontokat vagy alappontokat nyilvántartó térképről kell leolvasni a magassági részletpont rendűségétől függő helyzeti középhibával, vagy a magassági alappontok esetén legfeljebb ±5 m helyzeti középhibával. A hibahatár ennek háromszorosa.

A részletmérési eljárásoknál megkülönböztetünk:

- a vízszintes részletmérési eljárásokat,
- vízszintes helyzetükkel adott objektumok magassági felmérését
- és az egyidejű vízszintes és magassági részletmérés eljárásait.

7.2. A vízszintes részletes felmérés

A részletes felmérést megelőzően - az országos és az ötödrendű hálózatra támaszkodva - olyan sűrűségű alapponthálózatot kell létrehozni, hogy a térképezni kívánt részletpontok mindegyike, a választott mérési eljárástól és mérőműszertől függően, az alapponthálózat pontjairól bemérhető legyen. Előzőleg természetesen a területen rendelkezésre álló országos és ötödrendű alappontok leírásait az illetékes földhivataltól be kell szerezni (meg kell vásárolni). Az A.5. Szabályzat[2] szerint a kellő sűrűségű hálózatot felmérési alappontok létesítésével kell létrehozni. Az erdőben végzett részletes felmérés alappontjait az Állami Erdészeti Szolgálat Erdőtervezési útmutatója[3], valamint a 2001-ben megjelent ideiglenes útmutató[4] (a továbbiakban Útmutató) előírásai szerint létesítik.

7.2.1. Felmérési alappontok létesítése rövidoldalú sokszögeléssel

A felmérési alappontok létesítése túlnyomó többségben rövidoldalú sokszögeléssel történik.

A *rövidoldalú sokszögelést* az alábbiak szerint csoportosítjuk:

[2] A.5. szabályzat az országos vízszintes alapponthálózat sűrítésére: 36 400/1980. OFTH sz.

[3] "Útmutató az erdő-állománygazdálkodási tervek (erdőtervek) készítéséhez", 3. Térképészet c. fejezet, Erdőrendezési Szolgálat, Budapest, 1986.

[4] Az 1986-ban kiadott „Útmutató az erdőállomány-gazdálkodási tervek (erdőtervek) készítéséhez” című erdőtervezési útmutató módosítása. Térképészet fejezet, Állami Erdészeti Szolgálat, Budapest, 2001.

- Szabatos sokszögelés: általában városok belterületén alkalmazzák;
- Belterületi sokszögelés: községek, kivételesen városok belterületén alkalmazzák;
- Külterületi sokszögelés: községek és városok külterületén alkalmazzák.

A sokszögvonalakat a csatlakozópontok rendűsége szempontjából két csoportba osztjuk:

- A fősokszögvonalak mindkét végpontja országos, de legalább ötödrendű alappont, az egyik végpontja esetleg sokszögelési csomópont;
- A melléksokszögvonalak egyik végükön országos, vagy ötödrendű alapponthoz, esetleg már meghatározott sokszögelési csomóponthoz, a másik végükön sokszögponthoz csatlakoznak.

A sokszögvonalak vezetésére a sokszögelési szabályok érvényesek (6.1.4.7. fejezet), a következő kiegészítésekkel:

- A *sokszögvonal hossza*
  szabatos sokszögelésnél 1000 m-nél,
  belterületi sokszögelésnél 1200 m-nél,
  külterületi sokszögelésnél 1500 m-nél ne legyen nagyobb és a sokszögvonal legfeljebb 10 sokszögoldalból állhat;
- A sokszögvonalak átlagos hossza 150 m legyen, a 200 m-nél hosszabb és az 50 m-nél rövidebb oldalhosszakat kerüljük;
- Külterületeken a sokszögvonalakat községi határvonal, utak, dűlőutak, vasutak, folyók, csatornák stb. mentén, töréseikhez simulva, úgy kell vezetni, hogy a részletpontok a lehető legjobban legyenek bemérhetők;
- Belterületeken a telektömböket határoló utakon, utcákon kell a sokszögvonalat vezetni.

A sokszögvonalon belül szükség esetén két szomszédos sokszögpont által közrefogott sokszögoldalon, a mérési vonalon mérési vonalpont létesíthető. A *mérési vonalpont* olyan sokszögpont, amelyen, mivel rajta van a sokszögoldalon, törésszöget nem kell mérni. A mérési vonalpontot a mérési vonalon szögmérőműszerrel jelöljük ki. Ennek egyik lehetősége, hogy felállunk az egyik szomszédos sokszögponton, megirányozzuk a mérési vonal pld. jeltárcsával megjelölt másik végpontját és a vonalponto(ka)t a szálkereszt függőleges iránysála mentén kitűzzük. Ha valamelyik mérési vonalponthoz (mellék)sokszögvonal csatlakozik, a csatlakozó ponton a csatlakozó sokszögvonal tájékozására tájékozó irányokat kell mérni.

A sokszögpontokat az egész területre egységesen 1001-gyel kezdve folyamatosan számozzák, a sokszögpontok állandósítását az A.5. Szabályzatnak megfelelően végzik. Nem feltétlenül szükséges minden egyes pontot (elsősorban a mérési vonalpontokat) állandósítani, ezeket a pontokat a mérés időtartamára földben karóval, burkolt úton, vagy járdán jó minőségű (pld. HILTI) szöggel jelölik meg.

A sokszögpontok kitűzésekor kitűzési vázlatot (6.1.1. fejezet) készítenek 1:10000, szabatos sokszögelés esetén 1:5000 méretarányban. A kitűzési vázlat tartalmazza a szelvényhálózatot és a síkrajz legfontosabb elemeit, az adott és kitűzött alappontokat. A fősokszögvonalakat folytonos, a melléksokszögvonalakat szaggatott vonallal jelölik.

A sokszögvonalak törésszögeit belterületen legalább 6″ leolvasó képességű, külterületen 20″ leolvasó képességű teodolittal, vagy mérőállomással mérik. Előző esetben a sokszögoldalak hosszát szabatos sokszögelésnél mm, bel- és külterületi sokszögelésnél cm élességgel mérik, komparált acél-, vagy invár mérőszalaggal, esetleg optikai vagy elektronikus távmérővel, kétszeres ismétléssel, utóbbi esetben természetesen a mérőállomással mérik a távolságot is. A sokszögvonalak számítását közelítő hibaelosztással (6.1.4. fejezet) végzik, a számítás előtt a szükséges távolságmérési redukciókat (5.2.3.4. fejezet) el kell végezni.

A felmérési alappontokra az A.5. Szabályzatban a mindkét végén tájékozott sokszögvonalra megengedett hibahatárokat a 7.3. táblázat tartalmazza. A 7.3. táblázatban *n* a törésszögek száma, *D* a sokszögvonal hossza 100 m egységben.

		Szögzáró hiba	Vonalas záróhiba
Szabatos sokszögelés	Fősokszögvonal	40 + 2*n*	6 + 1,5D
	Melléksokszögvonal	55 + 2*n*	(6 + 1,5*D*)x1,25
Belterületi sokszögelés	Fősokszögvonal	55 + 2,5*n*	10 + 2,5*D*
	Melléksokszögvonal	75 + 2*n*	(10 + 2,5*D*)x1,25
Külterületi sokszögelés	Fősokszögvonal	70 + 3,5*n*	14 + 3,5*D*
	Melléksokszögvonal	90 + 3*n*	(14 + 3,5*D*)x1,25

7.3. táblázat: A rövidoldalú sokszögelés szög- és vonalas záróhibái

Az egyik végén tájékozott sokszögvonalakra (6.1.4.2. fejezet) a vonalas záróhiba megengedett értéke 20 %-kal nagyobb, a tájékozás nélküli (beillesztett) sokszögvonalakra (6.1.4.3. fejezet) 20 %-kal kisebb lehet.

Csomópont számítása esetén a tájékozó irány vagy a csatlakozó sokszögvonal levezetett irányszögeit 100/*n* súllyal veszik figyelembe. A csomópont végleges koordinátáit az 1/*D* arányában súlyozva számítjuk.

7.2.2. Erdészeti alappontok létesítése[5]

A sokszögelés a földi úton történő erdészeti felmérés legalapvetőbb, V. rendű alappont és felmérési alappont létesítésére, valamint részletmérésre egyaránt szolgáló mérési eljárása.

A sokszögelésnél alkalmazható szög- és távmérő eszközök - és természetesen a betartandó hibahatárok is - a mérési feladattól függően változnak:

- az V. rendű alappontlétesítésnek - a nyújtott oldalú sokszögelésnek - irány- és szögmérő eszköze az 1″ leolvasási képességű teodolit, illetve a korszerű mérőállomás, a távmérés csak fizikai távmérővel, vagy bázisléccel végezhető, s kötelező a kényszerközpontosító berendezés használata;
- a felmérési alappont létesítésnek (7.2.1. fejezet) - a rövidoldalú sokszögelésnek - szögmérő eszköze külterületen a legalább 20″ leolvasási képességű teodolit, a távmérés acélszalaggal, optikai távmérővel is végezhető, s nem kötelező a kényszerközpontosító berendezés használata;
- a sokszögelés és a rá támaszkodó részletmérés végezhető a felmérési alappont-meghatározásnál említett eszközökkel és azzal megegyező módon, de az erdészeti gyakorlatban e célra kiterjedten alkalmazható a busszola műszer is.

A sokszögelés végzése során a felmérőnek az A.5. szabályzat előírásai szerint kell eljárnia, amennyiben az útmutató a konkrét feladatra vonatkozóan másként nem rendelkezik.

7.2.2.1. Sokszögelés mérőállomással

Az erdőrendezési gyakorlatban alappont-meghatározás (V. rendű alappontsűrítés és felmérési alappontok létesítése), valamint birtokhatár bemérés céljából sokszögelés csak mérőállomással végezhető.

A mérőállomások műszaki paraméterei a sokszögvonal hosszát alapvetően a szögmérés oldaláról korlátozzák, ezért alappontsűrítéskor egy-egy sokszögvonal legfeljebb csak 6, birtokhatárméréskor legfeljebb 12 sokszögoldalból állhat.

[5] E fejezetben az Útmutatóból (7.2. fejezet első bekezdése) kisebb módosításokkal átvett szószerinti idézetek is találhatók.

Erdőn belüli vonalakat mérőállomással, vagy teodolittal csak akkor kell mérni, ha az ismert helyzetű pontok egymástól való távolsága 2 km-nél nagyobb (2 km-en belül a mérés busszolával is elvégezhető.) Az ilyen sokszögvonal oldalainak száma a körülményekhez igazodóan legfeljebb 24-25 lehet.

A megengedettnél hosszabb sokszögvonalat új alappont vagy csomópont létesítésével le kell rövidíteni. Erre a célra jól hasznosítható a GPS mérés.

Sokszögeléssel történő V. rendű alappontsűrítésnél a sokszögvonalaknak mindkét végükön országos, vagy ismert V. rendű alapponthoz kell csatlakozniuk. Egyéb sokszögvonalaknál megengedett az ugyanolyan pontosságú meghatározásból származó alappontokhoz történő kapcsolódás, elkerülhetetlen esetben szabad (csak egyik végpontján csatlakozó) sokszögvonal is vezethető. A szabad sokszögvonal azonban legfeljebb 2 oldalból állhat (szabad sokszögvonalnak lehet tekinteni a poláris pontot is).

V. rendű alappontsűrítésnél a sokszögvonalat mindkét végén tájékozni kell, lehetőleg legalább két-két tájékozó irány mérésével. Tájékozó irány mérésére felmérési alappontok létesítésekor, birtokhatárok mérésekor, de belső vonalak mérésekor is törekedni kell, bár - főként belső vonalaknál - megengedett a beillesztett sokszögvonalak vezetése is.

Előnyben kell részesíteni a sokszögelési csomóponti mérést és a kiegyenlítést biztosító sokszögvonalakat.

A sokszögpontokat erős facövekek leverésével kell ideiglenesen állandósítani, a cövekekbe - leverés után - a pont helyének véglegesítésére szöget kell beütni, vagy kis lukat kell fúrni.

A mérőállomások a mérési adatokat a beállított paramétereknek megfelelően automatikusan ellenőrzik és javítják, ezért automatikus adatrögzítés mellett az irány- vagy szögmérést nem kötelező két távcsőállásban elvégezni, illetve a távolságok mérését nem kötelező megismételni. Mivel azonban a távmérés különösebb gondot és időveszteséget nem jelent, ezért az V. rendű- és felmérési alappont-meghatározásnál javasolt a sokszögoldalak hosszának oda-vissza történő meghatározása és az átlagos hosszakkal való számítás.

Ha a sokszögelést birtokhatárok (földrészlet-határok) bemérése, vagy ellenőrzése céljából végezzük és a mérési eredményeket a földügyi szakigazgatásnak át kell adni, akkor a földmérési szakmai szabályzatoknak megfelelő módon, az előírt hibahatárok betartásával és a szükséges dokumentáció elkészítésével kell a feladatot teljesíteni.

Ha a sokszögeléshez nem áll rendelkezésre mérőállomás, s ezért a szögmérés hagyományos teodolittal, a távolság meghatározás pedig optikai úton, bázisléccel, vagy mérőszalaggal történik, úgy a mérőállomással végzett munka követelményei az alábbiakkal egészülnek ki:

- a sokszögoldalak hosszát oda-vissza méréssel kell meghatározni és a két hosszmérés vízszintesre átszámított értéke között az eltérés nem lehet nagyobb, mint $\Delta = 5+5d$, ahol Δ a megengedett eltérés cm-ben, d pedig a mért távolság 100 m egységben;
- a sokszögmérést még a terepen ellenőrizni kell a *szögzáróhiba* kiszámításával.

Elfogadható a mérés, ha a mindkét végén tájékozott sokszögvonal (6.1.4.1.fejezet) szögzáróhibája (6.1.41. képlet)

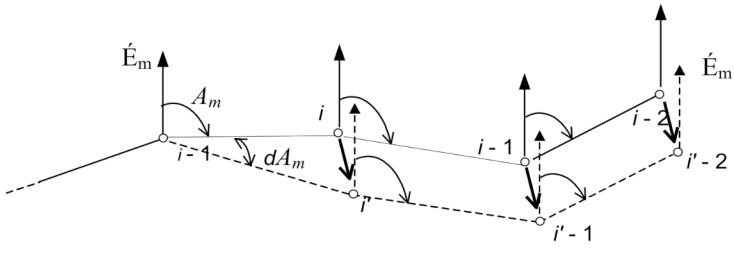
külterületi fősokszögvonalban a $\Delta\varphi'' = 70 + 3{,}5\ n$,
külterületi melléksokszögvonalban a $\Delta\varphi'' = 90+ 3\ n$

értéknél nem nagyobb, ahol $\Delta\varphi''$ a megengedett szögzáróhiba másodpercben, n pedig a törésszögek száma (7.3. táblázat).

7.2.2.2. Busszola sokszögelés

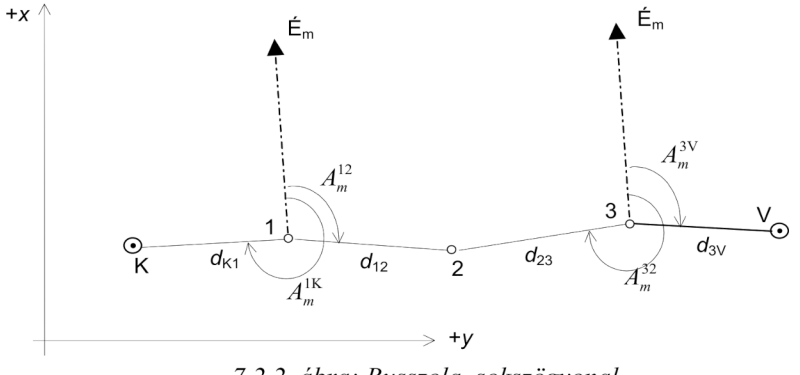
A szögmérés eszközei a busszola teodolitok (5.2.2.2. fejezet "A busszola teodolitok" c. része), ezek közül is az Útmutató előírásai szerint a WILD T0 busszola teodolit. A távolságmérés történhet acél mérőszalaggal, vagy a WILD T0 Reichenbach szálaival.

A busszola sokszögelésnél a sokszögpontokban nem a törésszögeket, hanem az A_m *mágneses azimutokat* (5.1. fejezet, 5.1.2. ábra) mérjük. Ezért a mérési hibák következtében a sokszögvonal nem csavarodik el, egyetlen mérési hiba a vonalat önmagával párhuzamosan eltolja (7.2.1. ábra). Mivel a leolvasás bizonytalanabb, mint az irányzás és az azimuthiba okozta eltolódás a sokszögvonal hosszával arányos, csak 100 m-nél rövidebb sokszögoldalakkal szabad dolgozni.



7.2.1. ábra: A mágneses azimutmérés hibája a sokszögvonalat önmagával párhuzamosan eltolja

A busszola sokszögelés előnye, hogy - a mágnestűnek nem a műszerhez, hanem egy kitüntetett irányhoz, az É$_m$ mágneses északhoz igazodása miatt - csak minden második sokszögpontban kell a műszerrel felállnunk. Miután eközben a többi - minden második - pontot *"átugorjuk"*, a módszert ugrópontos, vagy ugróállásos sokszögelésnek is nevezzük.



7.2.2. ábra: Busszola sokszögvonal

A mérés elrendezését a 7.2.2. ábrán vázoljuk. Az ábrán vázolt esetben mindössze az 1. és 3. pontokon kell felállnunk, s a mért mágneses azimutok 180°-kal történő módosításával minden sokszögoldal tájékozható.

Szükség (nagyobb pontossági igény) esetén természetesen minden sokszögpontban felállhatunk, ez esetben az azimutok mérésére ellenőrzésünk van:

$$A_m^{i,i-1} = A_m^{i-1,i} \pm 180^o. \qquad (7.2.1)$$

A busszola sokszögvonalak feldolgozása történhet numerikus és grafikus úton.

A busszola sokszögvonal numerikus feldolgozása

Az 5.1. fejezet 5.1.2. ábra magyarázó részében a *mágneses tájékozó szöget*, mint a μ meridiánkonvergencia és a Δ deklináció

$$\vartheta = \mu - \Delta$$

függvényét határoztuk meg. Az 5.2.2.2. fejezet *"A busszola teodolitok"* részében pedig a WILD T0 műszer osztáshibájának és a ϑ mágneses tájékozó szögnek az összegét a WILD T0 műszer ϑ' *tájékozási állandójának* neveztük, amelyet a

$$\vartheta' = A_m - \delta \qquad (5.2.24)$$

összefüggéssel határozhatunk meg. Az (5.2.24)-ben A_m egy adott irányra mért mágneses azimut, δ pedig ugyanezen irány ismert irányszöge volt.

Ha most a *tájékozási állandót* a busszola sokszögvonal közelében határozzuk meg, úgy a busszola sokszögvonalban mért mágneses azimutok ezzel korrigálhatók, s az egyes sokszögoldalak a vetületi koordinátarendszerben tájékozhatók:

$$\begin{aligned} \delta'_{K1} &= A_m^{1K} \pm 180^o - \vartheta' \\ \delta'_{12} &= A_m^{12} - \vartheta' \\ \delta'_{23} &= A_m^{32} \pm 180^o - \vartheta' \\ \delta'_{3V} &= A_m^{3V} - \vartheta' \end{aligned} \quad . \qquad (7.2.2)$$

A busszola sokszögvonalnak - értelemszerűen - nincs szögzáróhibája, a végpont előzetes koordinátáit a (6.1.45) képlet, a vonalas záróhibát a (6.1.46) és a (6.1.47) képletek, az egyes pontok végleges koordinátáit a 6.1.4.1. pontbeli (6.1.51) képletek alapján számítjuk:

$$\begin{aligned} y'_V &= y_K + \sum_{i=0}^{3} \Delta y_{i,i+1} = y_K + \sum_{i=0}^{4} d_{i,i+1} \cdot \sin \delta'_{i,i+1} \\ x'_V &= x_K + \sum_{i=0}^{3} \Delta x_{i,i+1} = x_K + \sum_{i=0}^{4} d_{i,i+1} \cdot \cos \delta'_{i,i+1} \qquad (i = 0,1,2,3) \end{aligned} \quad , \qquad (7.2.3)$$

$$\begin{aligned} dy &= y_V - y'_V \\ dx &= x_V - x'_V \end{aligned} \quad , \qquad (7.2.4)$$

$$d = \sqrt{dy^2 + dx^2} \quad , \qquad (7.2.5)$$

$$\begin{aligned} ddy_{i,i+1} &= \frac{dy}{\sum_{i=0}^{3} d_{i,i+1}} \cdot d_{i,i+1} \quad \text{és} \\ ddx_{i,i+1} &= \frac{dx}{\sum_{i=0}^{3} d_{i,i+1}} \cdot d_{i,i+1} \quad (i = 0,1,2,3) \end{aligned} \quad , \qquad (7.2.6)$$

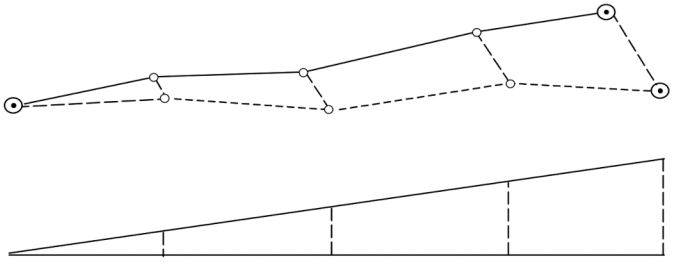
$$\begin{aligned} \Delta y'_{i,i+1} &= d_{i,i+1} \cdot \sin \delta'_{i,i+1} + ddy_{i,i+1} \quad \text{és} \\ \Delta x'_{i,i+1} &= d_{i,i+1} \cdot \cos \delta'_{i,i+1} + ddx_{i,i+1} \end{aligned} \quad , \qquad (7.2.7)$$

$$\begin{aligned} y^*_{i+1} &= y_i + \Delta y'_{i,i+1} \quad \text{és} \\ x^*_{i+1} &= x_i + \Delta x'_{i,i+1} \quad (i = 0,1,2,3) \end{aligned} \quad . \qquad (7.2.8)$$

Nyilvánvalóan most is, ha számításaink során nem hibáztunk: $y^*_4 = y_V$ és $x^*_4 = x_V$.

A busszola sokszögvonal grafikus feldolgozása

A térképezés méretarányában egy átlátszó (célszerűen pausz) papírosra a mért mágneses azimutok és a sokszögoldalak hosszának ismeretében felrakjuk a sokszögvonalat (7.2.3. ábra). A készítendő térképen a sokszögvonal kezdő- és végpontját ismert koordinátáik alapján már felszerkesztettük. Ha a pauszra rajzolt sokszögvonal kezdőpontját a térképi kezdőpontra helyezzük (azzal fedésbe hozzuk), a mérési hibák és a figyelmen kívül hagyott tájékozási állandó miatt a pauszon lévő végpont nem lesz fedésben a térképi végponttal.



7.2.3. ábra: Busszola sokszögvonal grafikus kiegyenlítése

Ha most a sokszögvonal K kezdőpontja körül addig forgatjuk a pauszt, amíg a rajta lévő és a térképen lévő végpont eltérése "kezelhető" méretű lesz (az eltérés többféleképpen is értelmezhető), ezt az eltérést úgy tekintjük, mint a vonalas záróhiba irányát és nagyságát. A felrakott sokszögvonalat a 7.2.3. ábrán szaggatott vonallal jelöljük. E vonal minden pontját a vonalas záróhiba irányában megfelelően eltolva, megkapjuk a grafikusan "kiegyenlített" sokszögvonalat (folytonos vonal). Az eltolás mértékét minden pontra egyszerű grafikus úton tudjuk meghatározni: a térkép méretarányában egy egyenesre egymás után felrakjuk az oldalhosszakat (a 7.2.3 ábra alsó része), a végpontban emelt merőlegesre pedig a vonalas záróhibát (ha szükséges, a záróhibát felnagyítjuk). A kapott pontot a kezdőponttal összekötő egyenes az egyes sokszögpontoknál húzott merőlegesekből kimetszi az egyes sokszögpontok eltolás értékeit. Az ily módon kapott sokszögvonalat a pauszról átszúrjuk a térképre.

A busszola sokszögelés szabályai

Busszola műszert kedvezőtlen terepi adottságok esetén, kisebb pontosságot igénylő, 2 km-nél rövidebb belső sokszögvonalak méréséhez lehet alkalmazni. Birtokhatárok felmérését busszolával végezni tilos.

A mérésekhez csak Wild T0 műszerek használhatók, ezek *tájékozási állandójának* (mágneses tájékozó szög + a vízszintes kör 0 osztás hibája) az adott felmérési térségben való meghatározása kötelező és a feldolgozás során a mért szögértékeket ezzel az állandóval javítani kell. A meghatározás egyszerű módon, ismert irányszöggel rendelkező vonal egyik végpontjában történő mágneses azimutméréssel végezhető el (5.2.24. képlet).

A busszolával mért sokszögvonalat ismert pontokhoz (vízszintes alappont, GPS pont, teodolit-, busszola-sokszögpont, fotogrammetriai meghatározású pont) kell kapcsolni. Kivételesen megengedett a sokszögvonal térképezett tereppontból való indítása, illetve oda történő bekötése is. Ez utóbbi esetben a tereppontokat fokozott gondossággal kell kiválasztani, s ha a terepi azonosítás pontosságát, vagy megbízhatóságát illetően kételyek merülnek fel, úgy ellenőrző méréssel meg kell győződni a terep-térkép azonosság fennállásáról. Ha az ellenőrzést nem lehet elvégezni, vagy annak eredménye nem kielégítő, a módszert alkalmazni nem szabad.

Előnyben részesítendők a csomóponti mérést és kiegyenlítést biztosító sokszögvonalak.

A sokszögvonalat - optikai távmérés esetén 100 m-nél rövidebb oldalakkal - a bemérendő részletpontok közelében kell vezetni, hogy azok közvetlenül, polárisan, vagy derékszögű koordinátákkal meghatározhatók legyenek.

A méréskor csak azokat a pontokat kell a természetben cövekkel ideiglenesen megjelölni, amelyeket állandósítani szükséges, vagy amelyeket a további mérésekhez (újabb sokszögvonal, derékszögű részletmérés) fel kívánunk használni. E pontokat, illetve a csomópontok helyét a felmérési tervben már előre jelölni kell.

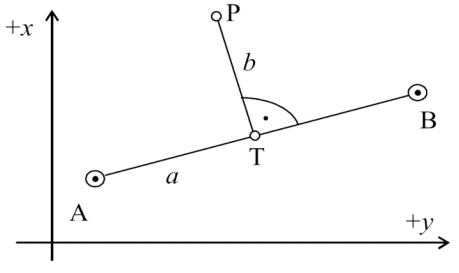
A busszola sokszögvonalakat településen belül 1-el kezdődően folyamatos számozással kell ellátni. Ha a településen több erdőtervező végez busszola - sokszögelést, akkor a vonalak számát fel kell osztani. A mérési vonalakat számukkal együtt, a kezdő és végpontok kiemelt jelölésével munkatérképen kell feltüntetni.

A mérési adatokat az e célra rendszeresített formanyomtatványon, sokszögvonalanként elkülönítve kell rögzíteni, és ugyanitt szükséges elkészíteni a természetbeli állapotnak megfelelő, alakhelyes mérési vázlatot (manuálét) is. A mérési jegyzőkönyv a mérési vázlattal együtt alapbizonylat, megőrzése a következő erdőtervezésig kötelező.

7.2.3. Vízszintes részletmérési eljárások

A vízszintes részletmérési eljárások közé soroljuk az alábbiakat:
- derékszögű részletmérés
- poláris részletmérés
- részletmérés elő- és ívmetszéssel

7.2.3.1. Derékszögű részletmérés



7.2.4. ábra: A derékszögű részletmérés elve

A derékszögű részletmérés elvét a 7.2.4. ábrán láthatjuk. Hasznos, ha átismételjük az 5.2.2.1. fejezetet. A T pont a P pont talppontja az AB mérési vonalon (az alapvonalon).

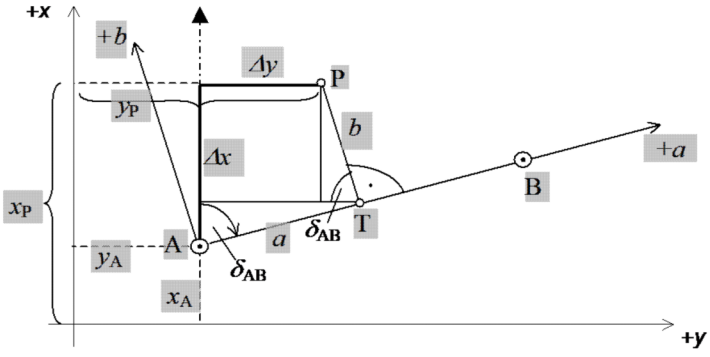
A 7.2.4. ábrán adottak:
- az A és B pontok y_A, x_A, y_B, x_B koordinátái,

mérjük: az *a* és *b* derékszögű koordinátákat,

keressük:
- a P részletpont y_P, x_P koordinátáit.

A P részletpont koordinátáit az *a, b* derékszögű koordináták egyszerű sík transzformációjával kaphatjuk meg[6] (7.2.5. ábra).

[6] Erre a transzformációra csak akkor van szükség, ha a térképezést a felmérés egész területén egységes, általában a vetületi koordinátarendszerben végezzük. Egyéb esetben a derékszögű koordinátákat az egyes mérési vonalakra vonatkozó *a,b* koordinátarendszerekben rakjuk fel a térképre valamilyen hosszfelrakóval (3.4.1.1. fejezet).



7.2.5. ábra: Derékszögű koordináták transzformációja

A 7.2.5. ábra alapján:

$$\begin{aligned} \Delta y &= a \cdot \sin \delta_{AB} - b \cdot \cos \delta_{AB} \\ \Delta x &= a \cdot \cos \delta_{AB} + b \cdot \sin \delta_{AB} \end{aligned}, \qquad (7.2.9)$$

A P részletpont koordinátái:

$$\begin{aligned} y_P &= y_A + a \cdot \sin \delta_{AB} - b \cdot \cos \delta_{AB} \\ x_P &= x_A + a \cdot \cos \delta_{AB} + b \cdot \sin \delta_{AB} \end{aligned}. \qquad (7.2.10)$$

Vezessük be az

$$\begin{aligned} r &= \sin \delta_{AB} = \frac{y_B - y_A}{d'_{AB}} \quad \text{és az} \\ \mathrm{m} &= \cos \delta_{AB} = \frac{x_B - x_A}{d'_{AB}} \end{aligned} \qquad (7.2.11)$$

jelöléseket. E jelölésekkel a (7.2.10) képletek felírhatók az

$$\begin{aligned} y_P &= y_A + a \cdot r - b \cdot m \\ x_P &= x_A + a \cdot m + b \cdot r \end{aligned} \qquad (7.2.12)$$

alakban. A (7.2.12) összefüggések a derékszögű részletmérés transzformációs egyenletei. A transzformáció 4 paramétere az A pont y_A, x_A koordinátái (eltolási paraméterek) és az elforgatást és a méretarányváltozást[7] magukban foglaló *r* és *m* paraméterek.

A derékszögű részletmérés a XIX. század második felében a kataszteri felmérések leggyakoribb részletmérési módszere volt, de városok, községek belterületének felmérésekor ma is használják. Az eljárás előnye, hogy egyszerű és olcsó eszközökkel, a derékszög kitűzésére alkalmas pentagonális prizmával (5.2.2.1. fejezet, 5.2.28. és 5.2.29. ábrák), kitűzőrudakkal (5.2.25. ábra) és 20, 30 és 50 m-es mérőszalagokkal végrehajtható, hátránya a nagy élőmunka szükséglet, valamint az, hogy a mérési eredmények általában csak manuálisan rögzíthetők. Az eljárás alkalmazása csak sík terepen ajánlható, ugyanis lejtős terepen a vonal két végén felállított kitűzőrúd képe a prizmában nem látható.

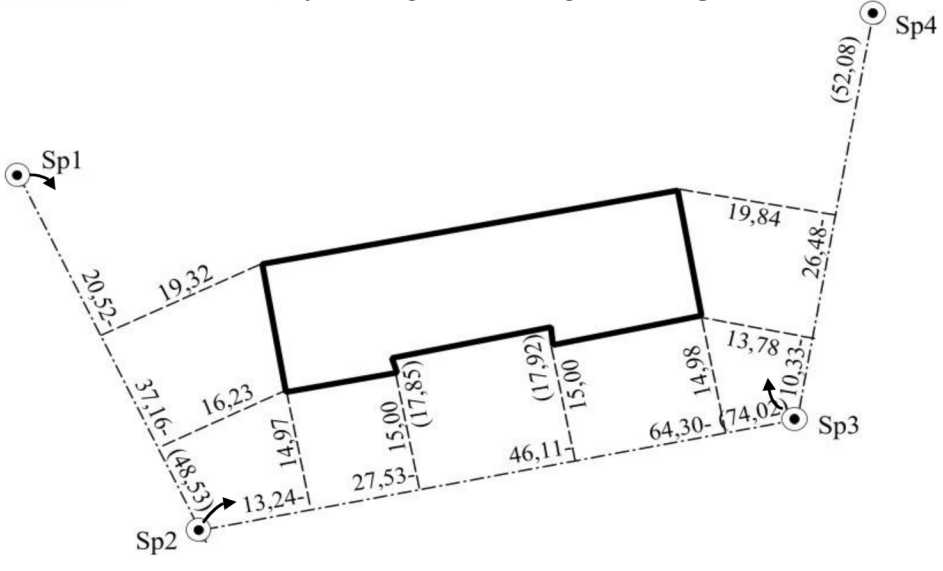
[7] A méretarányváltozást a (7.2.11) képletekben szereplő hányadosok automatikusan figyelembe veszik, hiszen a vetületi koordinátarendszerben adott koordinátakülönbségeket a mérőszalaggal mért d'_{AB} távolsággal osztjuk.

A derékszögű részletmérés feltétele, hogy megfelelő sűrűségű alappontháló álljon rendelkezésre. Ha ilyen nincs, a 7.2. fejezetben leírt módszerek valamelyikével az alappontokat sűríteni kell.

A derékszögű részletmérés gyakorlati végrehajtása két műveletet, a talppontkeresést és a hosszmérést foglalja magában, miután a mérési vonal két végpontját kitűzőrudakkal megjelöltük. A talppontkeresés a pentagonális prizmával az 5.2.29. ábrának megfelelően megy végbe. Az *"a"* abszcissza mérése az A pontból kiindulva, az AB mérési vonal mentén lefektetett 50 m-es mérőszalag mentén folyamatosan történik, a - szükség esetén - kitűzőrudakkal megjelölt részletpontok talppontjainak felkeresése után. A abszcissza mérésével egyidejűleg 20, ill. 30 m-es mérőszalaggal mérjük a *"b"* ordinátát is.

A mérés végrehajtásához optimálisan két műszaki szakemberre és lehetőleg hat segédmunkásra van szükség. Az egyik műszaki szakember keresi a részletpontok talppontjait (*"prizmáz"*), a másik készíti az ún. manuálét (mérési vázrajzot, 7.2.6. ábra), a segédmunkások a részletpontokon állnak.

A manuálé nem feltétlenül méretarányhelyesen, de mindenképpen alakhelyesen tünteti fel a felmérendő objektumot. Az abszcissza-mérés irányát nyíllal jelöljük meg, az egyes végpont méreteket pedig zárójelbe tesszük. A mérési vonalat *eredményvonallal*, az ordináta vonalakat *szaggatottan* jelöljük. A mérési vonaltól a mérés irányában jobbra és balra eső részletpontokat a talppontok sorrendjében mérjük be. Az abszcissza méreteket a manuálén a mérési vonal azon oldalára írjuk, amelyik oldalon a hozzátartozó ordinátamérést végeztük, úgy, hogy a méret után húzott rövid kötőjel az illető talpponthoz tartozó ordinátára mutasson. Ha sűrűn egymás után több talppont következik, az abszcissza adatokat párhuzamosan egymás fölé írjuk úgy, hogy a legközelebbi talppontra vonatkozó méret kerüljön a mérési vonalhoz. Az ordinátaméreteket magukra az ordinátákra írjuk fel. A derékszögű részletmérés során ún. ellenőrző méreteket is kell érnünk, ilyen lehet pld. két részletpont távolsága.



7.2.6. ábra: A derékszögű részletmérés vázrajza (manuálé)

Szükség esetén elvégzik az alappontsűrítést, majd elkészítik a mérési jegyzet alapjául szolgáló rajzot, mely tartalmazza az alappontokat, valamint a felmérendő objektumokat. Mivel az objektumokat mindig töréspontjaikkal mérjük fel, lényeges, hogy minden töréspont rajta legyen a rajzon és hogy az alappontokat összekötő egyenesekről a majdani mérési vonalak-

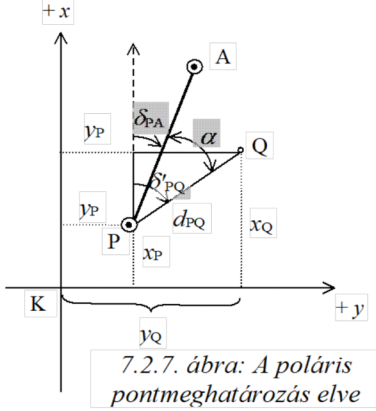
ról minden részletpontra a mérési vonalra merőlegesen rálátás legyen. A rajzot olyan méretarányban kell készíteni, hogy a mérési eredmények (távolságok) beírására kellő hely maradjon.

A mérés azzal kezdődik, hogy a segédmunkások kifeszítik a mezei szalagot az első alapponttól kezdődően az első és második alappont által meghatározott mérési vonalba. A szalag végeit jelzőszögekkel rögzítik, a mérési vonal végpontjaira pedig kitűzőrudakat helyeznek el. Egy - egy segédmunkás a vonal jobb, illetve bal oldalán felkeresi a bemérendő pontokat. Az egyik műszaki szakember a szögprizmával sorra megkeresi a felmérendő részletpontok talppontjait a mérési vonalon és leolvassa az abszcissza-értékeket a mezei szalagon. Minden abszcisszához tartozik egy ordináta érték, melyet két-két segédmunkás mér kézi szalaggal az alapvonal jobb és bal oldalán. A jegyzetvezető technikus koordinálja a segédmunkásokat és beírja a leolvasott abszcissza és ordináta értékeket a mérési jegyzetbe.

A hagyományos feldolgozás során a tereptárgyakat még a terepi irodában mérethelyesen felrakják az alappontokra támaszkodva a derékszögű méretek segítségével. Ezt a munkarészt hívják mérési vázlatnak. Számítógépes feldolgozás esetén a pontok bevitelét és koordinátaszámítását a geodéziai adatfeldolgozó, ill. GIS szoftverekkel végzik.

7.2.3.2. Poláris részletmérés

A poláris részletmérés során a részletpontokat az *első geodéziai főfeladat* (2.2.2.2. fejezet) szerint határozzuk meg.



7.2.7. ábra: A poláris pontmeghatározás elve

Ha ui. (7.2.7. ábra) PA *tájékozó irány* és mérjük az α szöget, úgy

$$\delta'_{PQ} = \delta_{PA} + \alpha \ .$$

Ha mérjük még a d_{PQ} távolságot is, a keresett Q részletpont koordinátái az alábbiak:

$$\begin{aligned} y_Q &= y_P + d_{PQ} \cdot \sin\delta'_{PQ} \\ x_Q &= x_P + d_{PQ} \cdot \cos\delta'_{PQ} \end{aligned} \qquad (7.2.13)$$

A δ'_{PQ} *tájékozott irányérték* természetesen meghatározható az 5.2.47. ábra, ill. az (5.2.22a) képlet alapján, a tájékozási szög segítségével is.

A térképezés során a részletpont helye megszerkeszthető a koordináták számítása nélkül, ilyenkor a poláris adatokat hagyományosan poláris felrakóval térképezzük (3.4.1.1. fejezet, 3.4.6. ábra). Ha koordinátákat számítunk, úgy a térképezés hagyományos eszköze a koordinatográf (3.4.7. és 3.4.8. ábrák).

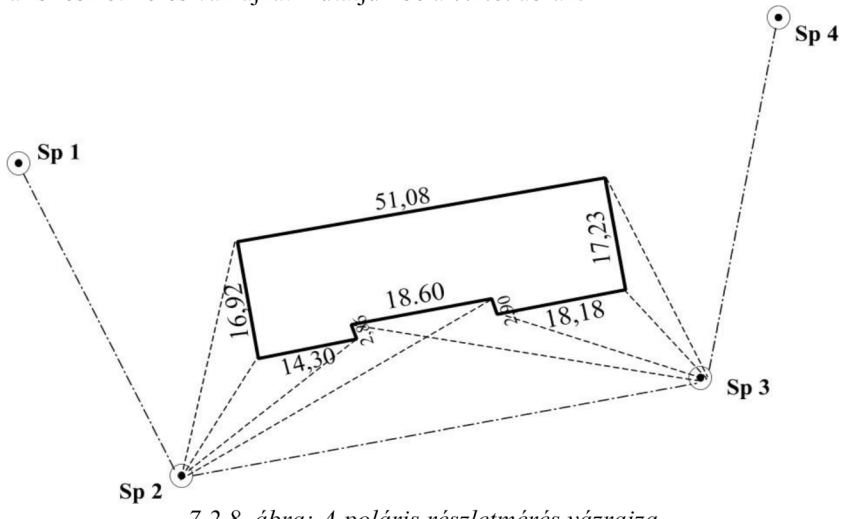
A teljes mérőállomások elterjedésével a poláris részletmérés szerepe jelentősen megnőtt. Az erdőrendezési gyakorlat is inkább kedveli a poláris részletmérést, amelyet a sokszögeléssel együtt hajtanak végre. Ilyenkor a tájékozó irány lehet az egyik sokszögoldal is.

A poláris részletmérés lépései:

- felállítjuk a teodolitot (busszola-teodolitot, teljes mérőállomást) a bemérendő részletpont-csoporthoz legközelebb eső alapponton;
- megirányzunk egy, lehetőség szerint minél távolabb eső alappontot;
- ebben a helyzetben leolvassuk a vízszintes kört;
- sorban megirányozzuk a részletpontokat, lehetőleg azonos forgási irányban (célszerűen balról jobbra), eközben egyidejűleg mérjük a távolságokat (teodolit, busszola-teodolit használatakor mérőszalaggal, vagy a Reichenbach-szálakkal, teljes mérőállomásnál elektronikus távméréssel);

- a részletpontok bemérése után ellenőrző mérést végzünk a tájékozó irányra;
- ellenőrző távolságméréseket végzünk néhány kiválasztott részletpont között kézi mérőszalaggal.

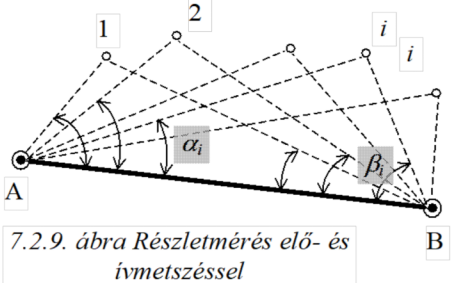
A mérést általában részben *vázrajzon*, részben *jegyzőkönyvben* rögzítjük. A vázrajz az alappontok és a részletpontok elhelyezkedését (a mérési elrendezést), ill. az ellenőrző méreteket tartalmazza. A szögeket és a mért távolságokat a mérési jegyzőkönyv, teljes mérőállomás használata esetén a terepi adatrögzítő tartalmazza. A 7.2.6. ábrán feltüntetett épületre vonatkozó poláris részletmérés vázrajzát mutatjuk be a 7.2.8. ábrán.



7.2.8. ábra: A poláris részletmérés vázrajza

A poláris részletmérés kiterjeszthető a magassági koordináta (a magasságkülönbség) mérésére is. Az egyetlen műszerrel (a tahiméterrel) végzett térbeli poláris részletmérés a tahimetria (7.4.1. fejezet).

7.2.3.3. Részletmérés elő- és ívmetszéssel



7.2.9. ábra Részletmérés elő- és ívmetszéssel

A *szög-*, vagy az *iránymeréses előmetszést* (6.1.2. és 6.1.4. ábra), ill. az *ívmetszést* (távolságméréses előmetszést, 6.1.8. ábra) fedetlen terepen nemcsak alappontok, hanem részletpontok meghatározására is használhatják. Ma már ritkán fordul elő.

A szögméréses előmetszéssel történő részletmérést a 7.2.9. ábra szemlélteti. α_i-vel és β_i-vel az AB alapvonal és az 1, 2, 3, ….. részletpontokra mutató irányok által bezárt szögeket jelöljük. Az eljárás lépései:

- a részletpontokat, ha kell, kitűzőrudakkal megjelöljük;
- felállunk a teodolittal (tahiméterrel) az egyik alapponton és tájékozunk a másik alappontra;
- sorra megirányozzuk a részletpontokat;
- ugyanezt elvégezzük a másik alapponton.

Az eredményeket jegyzőkönyvben és manuálén is rögzítjük.

A részletpontok koordinátái a szögméréses előmetszés összefüggéseiből számíthatók, ill. a mért szögek alapján közvetlenül szögfelrakóval (3.4.5. ábra) térképezhetők.

Ívmetszés esetén az alap- és részletpontok közötti távolságokat mérjük. A részletpontok koordinátáit a távolságméréses előmetszésnél leírtak alapján számítjuk, a közvetlen manuális térképezés a mért távolságok körzőnyílásba fogásával, a távolságsugarú körök metszéseként adódik. Az utóbbi eljárás csak kis pontossági igény esetén alkalmazható.

7.3. Ismert vízszintes helyzetű objektumok magassági felmérése

Az ebbe a csoportba tartozó részletmérési eljárások feladata vonalas és területi kiterjedésű objektumok, tereptárgyak magassági információkkal történő kiegészítése mérnöki tervezés céljából. Az eljárások során általában feltételezzük, hogy a felmérendő terület síkrajza már ismert. Attól függően, hogy vonalas, vagy területi kiterjedésű objektumok magassági felmérése a feladat, megkülönböztetünk

- hossz- és keresztszelvényezést és
- rácshálós terepfelmérést (területszintezést).

7.3.1. Hossz- és keresztszelvényezés

A hossz- és keresztszelvényezés művelete *vonalas létesítmények* felmérési, tervezési munkálatainál fordul elő. Ilyen létesítmények az autóutak, vasutak, erdészetben az erdei utak, vízrendezésben a csatornák, csővezetékek, elektromos és telefonvezetékek, stb. A feladat a tervezett vonalas létesítmény ún. tengelyvonalának hosszirányú felmérése (*hossz-szelvény szerkesztése*), valamint a tengelyvonal domborzatilag jellemző, vagy egyéb okokból kitüntetett pontjaiban a tengelyvonalra merőleges irányú felmérése (*kereszt-szelvények szerkesztése*). A tengelyvonal pontjai - mint mondtuk - általában ismert helyzetűnek feltételezett pontok, sokszögvonal pontok, vagy a tervezett vonalas létesítmény mellett vezetett sokszögvonalról polárisan, vagy egyéb módon mért, vagy kitűzött pontok.

A hossz- és keresztszelvényezés az egyes szelvénypontok folyamatos távolságának és magasságkülönbségének meghatározását jelenti. A domborzattól és a vonalas létesítmény kiterjedésétől függően e mennyiségeket különböző távolság- és magasságkülönbség-meghatározásra alkalmas geodéziai műszerekkel (hagyományos tahiméterekkel, teljes mérőállomásokkal, mérőszalaggal + geometriai szintezőműszerrel, esetleg akár GPS vevővel) határozhatjuk meg. Ha a hossz- és keresztszelvénypontok távolságát mérőszalaggal, magasságkülönbségüket szintezőműszerrel mérjük, akkor a gyakorlatban használt terminológia szerint hossz- és keresztszelvényszintezésről beszélünk.

7.3.1.1. Hossz- és keresztszelvényszintezés. A horizontmagasság.

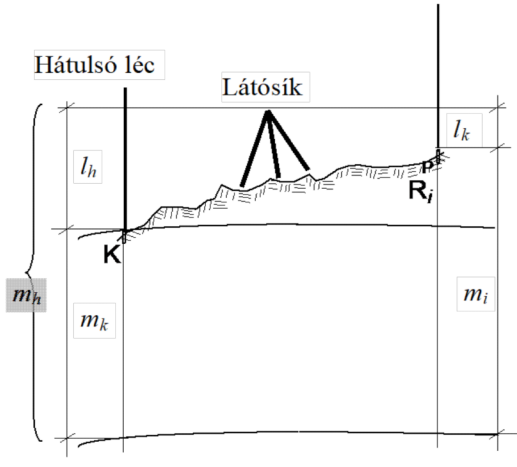
A tervezett vonalas létesítmény tengelyvonala mentén kitűzött *hossz-szelvény* pontjainak távolsága egy előre megállapított érték, a szelvény kiterjedésétől függően pld. 10, 20, 25, 50, 100, 200 stb. m. Ezen túlmenően mérni kell a szelvénybe eső síkrajzilag vagy magasságilag jellemző pontokat is. A hossz-szelvény számozása egy előre kiválasztott kezdőponttól (rendszerint a hossz-szelvény első bemérendő pontjától) kiindulva történik. Az egyes hossz-szelvény pontok számai, a szelvényszámok a kezdőponttól értelmezett, folyamatos távolságot fejezik ki. A szelvényszám két részből áll: egy kerek (pld. 100 m, 1 km) értékből és a kerek érték után mért résztávolságból. A két értéket egy + jellel választjuk el egymástól, pld. 1+53,30.

A hosszmérés végrehajtása előtt az egyes hossz-szelvénypontokat megjelöljük, burkolaton krétával vagy festéssel, egyéb esetben cövekkel. A hosszmérést folytatólagosan, 50 m-es

acél mérőszalaggal végezzük, a pontok jelölésével rendszerint egyidejűleg. A hosszmérés eredményét szelvényszámként rögzítjük a jegyzőkönyvben. Utóbbit a magasságkülönbségek ismeretében a vízszintesre redukálnunk kell.

Az egyes hossz-szelvény pontok magassági meghatározását az alappont-szintezéssel együtt végrehajtott részletpont-szintezéssel végezzük. Az alappont-szintezéssel két szomszédos magassági alappont vagy kötőpont magasságkülönbségét határozzuk meg a hátra-előre leolvasás különbségek képzésével.

A hossz-szelvénypontoknak, mint részletpontoknak szintezését a *"hátra"* leolvasások után végezzük. Ezek az ún. *"középre"* leolvasások.



7.2.10. ábra: Horizontmagasság (látósík)

Az adott műszerállásban bemérhető szelvénypontokon végzett leolvasások után történik az elülső kötőponton álló lécre az *"előre"* leolvasás. Megjegyezzük, hogy a részletpontok szintezésénél nem lehet betartani a léctávolságok egyenlőségét, a képélességállító csavarhoz hozzá kell nyúlni.

Mivel egyszerre több részletpont magasságát kell meghatározni, célszerű minden műszerállásban horizontmagasságot (látósíkot) számítani. A látósík a hátsó, már ismert magasságú kötőpont (K) tengerszint feletti magasságának és az ugyanezen ponton (hátul) álló lécen végzett *"hátra"* leolvasás (l_h) összege (7.2.10. ábra), vagyis a szintezőműszer vízszintessé tett irányvonalának tengerszint feletti magassága:

$$m_h = m_k + l_h \qquad (7.2.14)$$

Ha most egy R_i részletpontra „középre" leolvasást végzünk, annak m_i tengerszint feletti magassága a látósík magasság és a „középre" leolvasás különbsége:

$$m_i = m_h - l_k \quad . \qquad (7.2.15)$$

Szelvénypontok esetében a lécleolvasást cm, kötőpontok esetében mm élességgel végezzük. A mérési eredményeket szintezési jegyzőkönyvben rögzítjük. A szintezést oda-vissza értelemben végezzük. Az egyes szelvénypontokra képezzük a két szintezésből kapott értékek számtani közepét.

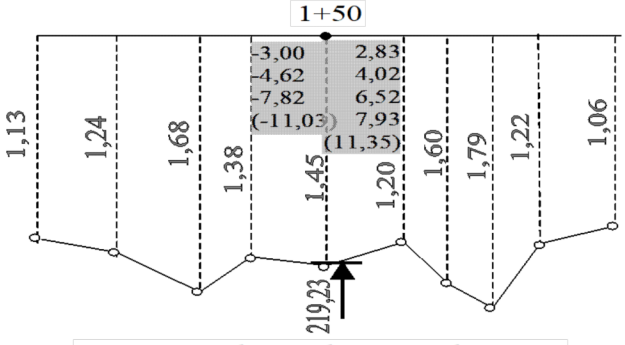
A *keresztszelvényszintezés* végrehajtása hasonló a hossz-szelvényszintezéshez, a keresztszelvény-pontok távolságát mérőszalaggal, magasságát szintezőműszerrel határozzuk meg. A keresztszelvény-pontokat a szelvény magasságilag jellemző pontjaiban, a *lejtőátmeneti vonalakon* vesszük fel (3.2.2.1. fejezet, 3.2.8. ábra). A keresztszelvényeket a tengelyvonaltól jobbra és balra rendszerint azonos távolságban tűzzük ki (20, 25, stb. méter), de előfordulhat az is, hogy a különböző hossz-szelvény pontokban felvett keresztszelvények szélessége különböző. A keresztszelvények többnyire merőlegesek a hossz-szelvényre, a merőleges kitűzését derékszögű szögtűző prizma és kitűzőrúd segítségével végezzük.

A kezdőpont a hossz-szelvény és a keresztszelvény metszéspontja (hossz-szelvénypont), a hosszakat ettől jobbra és balra is folyamatosan mérjük, vízszintesen kifeszített komparált szalaggal. Gyorsabb és folyamatosabb a mérés, ha a tengelypontra a szalag - szükség szerint megállapított - valamelyik kerek osztását helyezzük (10, 15, 20 m) és a keresztszelvénypontok távolságát folyamatosan mérjük. A hosszak leolvasása a töréspontra állí-

tott szintezőléc mellett történik, a léc leolvasásával egyidejűleg. A keresztszelvénypontokat megjelölni nem kell. Az adatokat szintezési jegyzőkönyvben rögzítjük.

A keresztszelvénypontok magassági meghatározását *részletszintezéssel* végezzük, a szintezőléc(ek)et a hosszmérés előbb vázolt sorrendjében állítjuk fel és olvassuk le (a jobboldali szélső ponttól vagy a tengelyvonalponttól jobbra és balra folyamatosan).

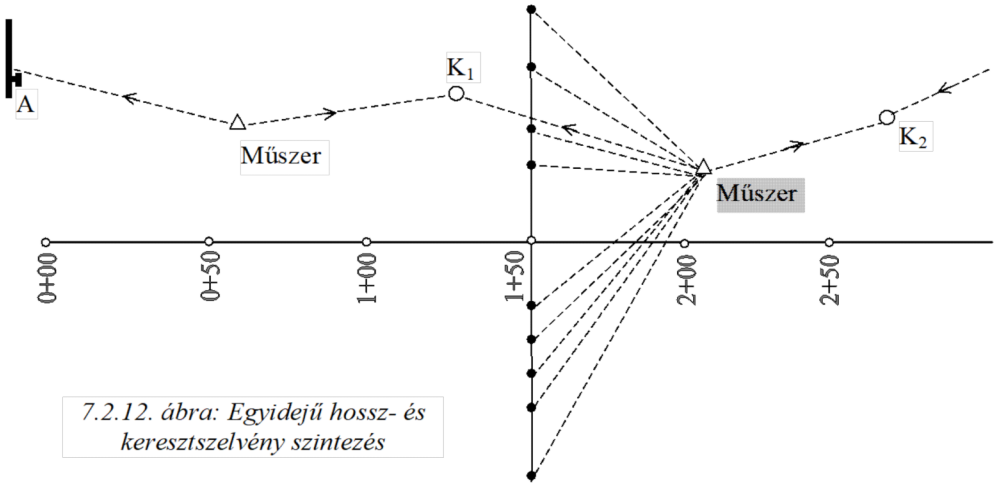
A szintezőműszerrel tetszőleges helyen állhatunk fel, törekedjünk arra, hogy lehetőleg egy műszerállásból az összes keresztszelvénypont bemérhető legyen. Ha ez nem oldható meg, kötőpontot kell közbeiktatni.



7.2.11. ábra: A keresztszelvény szintezés vázrajza

A keresztszelvény szintezés mérési adatait szükség esetén mérési vázrajzon (manuálén) is rögzítjük (7.2.11. ábra). A manuálén feltüntetjük a hossz-szelvénypont számát, ettől balra negatív, jobbra pozitív előjellel a keresztszelvénypontok tengelyponttól vett távolságait, a szaggatott vonalra pedig a szintezőlécen tett leolvasásokat. Folyamatos távolságmérés esetén a fáradságos manuálé készítés többnyire elengedhető.

A hossz-szelvény szintezésből ismerjük a tengelypont tengerszint feletti magasságát, ehhez a megfelelő lécleolvasást hozzáadva, megkapjuk az $m_h = m_k + l_h$ horizontmagasságot (7.2.10. ábra, 7.2.14. képlet). Ebből a (7.2.15) képlet szerint meghatározható a többi szelvénypont magassága is.



7.2.12. ábra: Egyidejű hossz- és keresztszelvény szintezés

A hossz- és keresztszelvényszintezést ugyanazon vonalszintezés során egyidejűleg is végrehajthatjuk. A mérés egyidejű végrehajtását szemléltetjük a 7.2.12. ábrán. A keresztszelvényt a második műszerállásból mértük be.

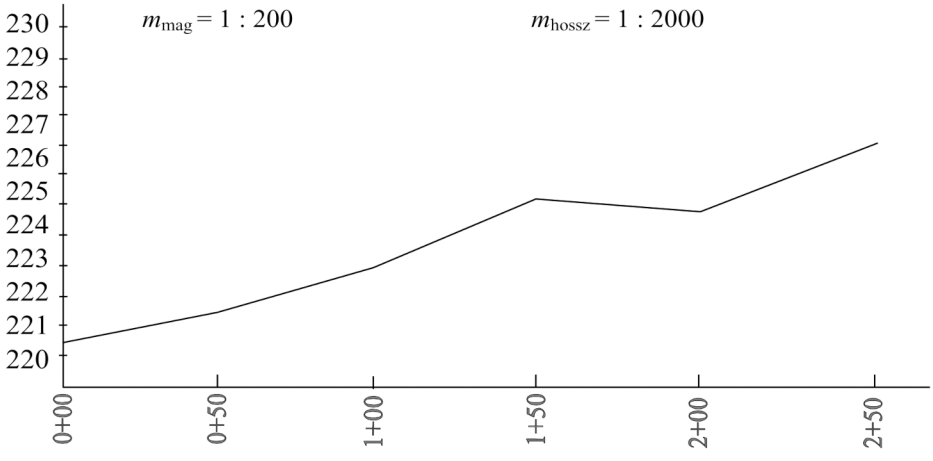
A különböző típusú vonalas létesítményeknél, a szelvényszerkesztés egyértelműsítése, a tükörképszerkesztés elkerülése végett célszerű megállapodni a jobb- és baloldal értelmezésében. Az út-, vasútépítési gyakorlatban pld. a szelvényezés (a vonalszintezés haladási iránya)

szerint kell érteni a jobb- és baloldalt (7.2.11., 7.2.12. ábrák), a vízügyi gyakorlatban ettől függetlenül, mindig folyásirány szerint.

Hossz- és keresztszelvények szerkesztése

Ma már több számítógépes program is tartalmazza a hossz- és keresztszelvények szerkesztését és ábrázolását, a szerkesztést analóg változatban célszerűen milliméterpapíron, vagy a papír fölé helyezett pauszpapíron végezzük el.

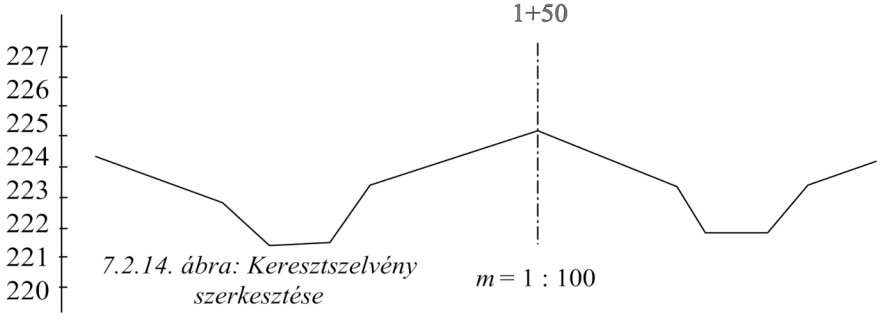
A hossz-szelvények szerkesztését a 7.2.13. ábrának megfelelően hajtjuk végre. Az abszcissza mentén a hossz-szelvénypontokat a kívánt méretarányban rakjuk fel, az ordinátatengely mentén pedig felszerkesztjük számított magassági értékeiket.



7.2.13. ábra: Hossz-szelvény szerkesztése

A magassági méretarány különbözik a hossz ábrázolás méretarányától, s lehetőleg minél nagyobbra kell megválasztani. Ha szélsőséges domborzati viszonyok, vagy sajátos tervezési szempontok nem indokolják, a magassági méretarányt a hossz ábrázolás méretarányának tízszeresében szokták megállapítani.

A keresztszelvényeket azonos vízszintes és magassági méretaránnyal, torzítás nélkül kell ábrázolni (7.2.14. ábra).



7.2.14. ábra: Keresztszelvény szerkesztése

A hossz- és keresztszelvények is alkalmasak szintvonalas térkép szerkesztésére.

Megjegyezzük, hogy az útépítési és vízépítési gyakorlatban sokszor kell hossz- és keresztszelvényt térképről mért adatok alapján szerkeszteni tervezési célból. A térképre ilyenkor felrakjuk a létesítmény tengelyvonalát és megszerkesztjük a keresztszelvények tengelyvonala-

it. Ha most a keresztszelvényekben a térképről lemérjük a *szintvonalaknak* (3.2.1. fejezet) a tengelyponttól mért távolságait, eredményül olyan adatokat kapunk, amelyekből a hossz- és keresztszelvények megszerkeszthetők.

7.3.2. Területszintezés

A hossz- és keresztszelvény szintezéssel egy hosszirányban kiterjedő, viszonylag keskeny területet, ún. *sávot* mérünk fel. Ha mind hossz-, mind pedig keresztirányban nagyjából azonos terület magassági felmérése a feladat, területszintezésről beszélünk. A feladat területi kiterjedésű létesítmények, feladatok (pld. sportpálya, repülőtér, mezőgazdasági vízhasznosítás) tervezési térképeinek előkészítésére szolgál. A magassági ábrázolás szempontjából jellegtelen, közel sík terep felmérésénél alkalmazzák. A terep részletpontjait geometriailag szabálytalan, vagy szabályos rácshálózat vonalainak metszéspontjaiban választják meg, emiatt a rácshálós terepfelmérés elnevezés is használatos.

A magassági részletpontokat a területen egyenletes sűrűségben kell felvenni.

A szabálytalan elrendezés mellett a részletpontok eloszlása tetszőleges lehet. Elsősorban ott alkalmazzák, ahol a vízszintes alappontok kellő sűrűségben találhatók, s rendszerint síkrajzi részleteket is kell mérni. A mérési eljárás ekkor hasonlít a *tahimetriához* (7.4.1. fejezet), azzal a különbséggel, hogy a tahiméter helyett olyan szintezőműszert használunk, amelynek vízszintes köre és Reichenbach-szálai vannak. A vízszintes poláris koordinátákat a szintezőlécre végzett optikai távméréssel és a szintezőműszer vízszintes körének leolvasásával, míg a magasságkülönbséget az állásponton számított horizontmagasság (7.2.14. képlet) segítségével kapjuk. Ennél az eljárásnál az alappontok fölött központosan állunk fel, s az egy állásponton mért sok részletpont miatt az állótengely függőlegesítését a teodolit állótengelyének függőlegesítéséhez hasonlóan végezzük el. Libellás szintezőműszer használatakor a függőlegesítéshez az alhidádé libella helyett a szintezőlibellát használjuk, kompenzátoros szintezőműszernél az állótengely függőlegesítésére csak a szelencés libella szolgál. Ez a módszer ma már ritkán használatos, az ilyen feladatok megoldására is inkább a teljes mérőállomásokat alkalmazzák.

A szabályos elrendezésnél szinte kizárólag a terep magassági felmérése a feladat. A magassági részletpontok ez esetben téglalap, gyakrabban négyzet alakú elemekből álló rácshálózat pontjai. Domborzatában jellegtelen, nyílt terepen a részletpontok rácspontokban való kitűzése nem jelent komoly problémát.

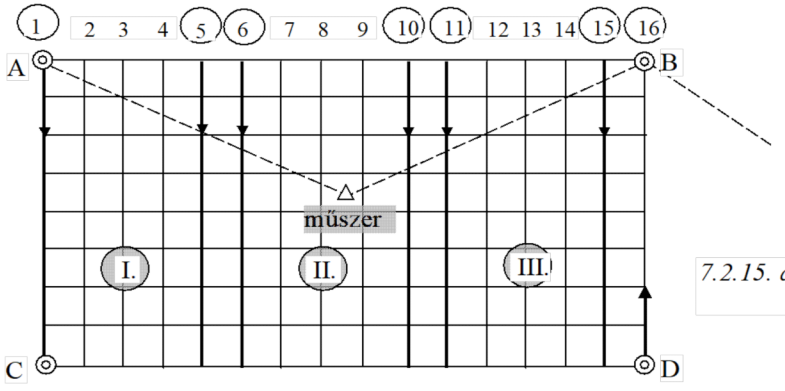
Az egyes négyzetek oldalhosszait az elérendő pontosság, az ábrázolandó szintköz (3.2.1. fejezet), a domborzati viszonyok és a használt méretarány szabják meg, általában 10, 20, 25 m, de elképzelhető rövidebb oldalhossz is. A szintköz általában 10-25 cm körül változhat.

Nagyobb kiterjedésű területen először 100-200 m oldalhosszúságú négyzeteket, esetleg téglalapokat tűzünk ki, törekedve arra, hogy ezek is szabályos hálózatot alkossanak. A sarokpontok kitűzését teodolittal és mérőszalaggal végezhetjük kitűzőrudak segítségével, vagy pld., ha van, teljes mérőállomással. A négyzetháló sarokpontjait cövekkel, esetleg betonkővel megjelöljük. A továbbiak szempontjából a sarokpontok koordinátáit vízszintes értelemben adottnak tekintjük.

Két ideiglenesen megjelölt, vagy állandósított sarokpont összekötő egyenesét is *alapvonalnak* nevezzük. A szükséges sűrűségű rácsháló pontjait a továbbiakban már ténylegesen nem tűzzük ki, hanem több szintezőléc egyidejű mozgatásával mindjárt a mérést végezzük el. A gyakorlatban az eljárás többféle módozata alakult ki.

Legyen pld. feladatunk a 7.2.15. ábrán látható 90 m * 150 m nagyságú terület felmérése. A rácsméret legyen 10 m. Az AB alapvonal cövekkel megjelölt végpontjainak vízszintes helyzetét ismerjük, tengerszint feletti magasságaikat egy közel eső magassági alappontból *vonalszintezéssel* (5.2.4.1. fejezet, 5.2.67. ábra) vezetjük le. Sok esetben elegendő, ha az egyik

végpontnak valamilyen *fiktív* magasságot adunk (pld. $m_A = 100\,\text{m}$). Az alapvonalon 10 m-enként egy-egy kitűzőrudat helyezünk el. Ezután a felmérendő területet olyan sávokra osztjuk (I., II., III.), amelyeknek felmérését külön-külön végezzük el, célszerűen a terep középső részén, egy, vagy több műszerállláspontból, a terepviszonyoktól függően.



7.2.15. ábra: Terepfelmérés rácshálóval

Az 1 (A) és 5, a 6 és 10, a 11 és 15 pontokból merőleges irányokat tűzünk ki, az irányokat kitűzőrúddal jelöljük meg. Az 1 és 5 irányokban 50 m-es mérőszalagot fektetünk le úgy, hogy a szalagok kezdővonása az 1(A), ill. az 5 pontban legyen. A szintezőműszerrel felállunk a terület közepén, s az ismert magasságú A ponton álló lécre irányozva, meghatározzuk a *horizontmagasságot*. A 2, 3, 4 és 5 pontokban további 4 szintezőléc áll a kitűzőrudak mellett.

A szintezőléceket egyenként leolvassuk, majd a szalagon álló lécesek (1 és 5) 10 m-t előbbre jönnek. Ezután a középső (3) lécest az első szalagon álló (1) léces beinti a 10 m-rel előbbre lévő vonalba. Végül a (2) és (4) lécesek állnak be a szomszédos lécek vonalába. Leolvassuk a léceket, majd a lécek hasonló módon előre mennek stb.

Az 50 m-es szalagok végére érve, azok helyét rögzítjük (pld. szeggel) és a szalagokat továbbvisszük. A mérést hasonló módon folytatjuk. Az I. sáv végére érve, a mérőszalagokat lefektetjük a 6 és 10 pontokban az alapvonalra merőlegesen és a fentiekhez hasonlóan a II. sávban végezzük el a mérést, de ellentétes irányban. Végül a III. sáv következik. Ha szükséges, a mérést a vonalszintezés szabályainak betartásával, kötőpontok közbeiktatásával több műszerállásból végezzük.

Ha a területhez jobbról újabb terület csatlakozik, a B pontban az alapvonalra merőleges irányban lévő pontokat már a szomszédos területről mérjük be. Ha a CD szintén alapvonal, úgy az alatta lévő rész felmérése is a leírtak szerint történhet.

A lécleolvasásokat cm élességgel rögzítjük. Az egyes pontok magasságait - mint ismeretes (7.2.15. képlet) - megkapjuk, ha a horizontmagasságból az egyes lécleolvasásokat levonjuk.

A mérési eredményeket a műszerállásonként felvett ún. magasságmérési jegyzetlapon, vagy folyamatosan *jegyzőkönyvben* rögzítjük.

A jegyzetlapokat térképszelvényenként 1-gyel kezdődően sorszámozzuk. A magasságmérési jegyzetlapokon tüntetjük fel a térképen ábrázolni kívánt síkrajzi elemeket, idomokat, idomvonalakat. Erre a szintvonalszerkesztés miatt van szükség (3.4.1.2. fejezet).

7.4. Egyidejű vízszintes és magassági részletmérés

7.4.1. Tahimetria

A tahimetria a térképezendő részletpontok vízszintes és magassági helyzetének egyidejű, gyors meghatározására szolgáló részletfelmérési eljárás. Ezt tükrözi eredeti jelentése: *gyors mérés* (5.2.5. fejezet). Műszerei a *tahiméterek*. Utóbbiak közül még előfordulnak a *diagramtahiméterek* (5.2.5.1. fejezet), ritkán a *belső bázisú tahiméterek* (pld. a BRT 006, 5.2.5.2. fejezet), de ma már legelterjedtebb az *elektronikus tahiméterek* (5.2.5.3. fejezet) használata. Ez utóbbiak - mint láttuk, s mint erre másik nevük, a *teljes mérőállomás* is utal - mind felépítésüknél, mind hatótávolságuknál, mind pedig pontosságuknál fogva a tahimetrián túl a geodéziai mérési gyakorlat szinte minden területén alkalmazhatók, a negyedrendű alappontok sűrítésétől kezdve a szabad álláspont meghatározásán át a trigonometriai magasságmérésig, az építőmérnöki gyakorlatban, a kitűzésben. Az elektronikus tahiméterekkel végzett részletes felmérés gyorsaságának csupán a domborzat és a terep fedettsége szab határt. Az *elektronikus tahiméter* emellett - mint adatgyűjtő műszer - megfelelő szoftver kiegészítéssel az automatizált térképkészítés egyik legkorszerűbb eszköze.

A tahimetria alkalmazása igen széleskörű. Így alkalmazzák műszaki, mezőgazdasági létesítmények (települések, vízgazdálkodási létesítmények, különleges rendeltetésű ingatlanok, parkok, arborétumok, felszíni művelésű bányák, stb.) tervezéséhez szükséges 1:500 - 1:2000 méretarányú szintvonalas térképek, földmérési alaptérképek, 1:10000 méretarányú topográfiai térképek készítésénél, ill. kiegészítésénél. Gyakran használnak elektronikus tahimétert akkor is, ha a terepet magasságilag nem, csak vízszintes értelemben kívánják felmérni.

A tahimetria mint részletmérési eljárás két részre osztható:

1. tahiméteres sokszögelés a részletmérés alappontokkal történő ellátására
2. a terep vízszintes és magassági részletpontjainak a felmérése.

7.4.1.1 Tahiméteres sokszögelés

A *tahiméteres sokszögelés* alatt a tahiméterrel végzett *rövidoldalú sokszögelést* értjük magassági kiegészítéssel. Ha műszerünk elektronikus tahiméter, úgy a sokszögelés klasszikus szabályaitól való eltérés esetenként megengedhető: pld. az oldalhosszak a részletpontok területi elhelyezkedésétől függően különbözhetnek, a nyújtott sokszögvonalvezetéstől való eltérés megengedhető, stb. A hibahatárok betartása, természetesen, ilyenkor is elengedhetetlen követelmény. További lényeges különbség, hogy a sokszögpontok vízszintes koordinátái mellett azok tengerszint feletti magasságait is meg kell határozni. Az utóbbi célból ún. magassági sokszögelést is kell végezni. Az egyes sokszögpontok magasságkülönbségeit a tahiméterrel határozzuk meg.

Ha pld. a 6.1.11. ábrán szereplő sokszögvonalban az egyes sokszögpontok között a tahiméterrel mért magasságkülönbségek rendre $\Delta m_{i,i+1}$ (i =0,1,2,3), úgy a sokszögvonal V végpontjának adott m_V magassága helyett a számított magasság az alábbi:

$$m'_V = m_K + \sum_{i=0}^{3} \Delta m_{i,i+1}\,, \qquad (7.4.1)$$

A kettő közötti eltérés a

$$dm = m_V - m'_V \qquad (7.4.2)$$

magassági záróhiba. A magassági záróhibát az egyes magasságkülönbségekre a sokszögoldalak hosszának négyzetével fordított arányban osztjuk el:

$$ddm_{i,i+1} = \frac{dm}{\sum_{i=0}^{3} d_{i,i+1}^2} \cdot d_{i,i+1}^2 \qquad (i = 0,1,2,3)\,. \qquad (7.4.3)$$

Szükség (nagyobb pontossági igény) esetén a tahiméteres sokszögpontok magasságait geometriai szintezéssel, a sokszögvonal kezdő- és végpontja között vezetett szintezési vonalban kötőpontként, vagy középre leolvasás útján is meghatározhatjuk.

Az egyes sokszögoldalakra vonatkozó javított magasságkülönbségek:

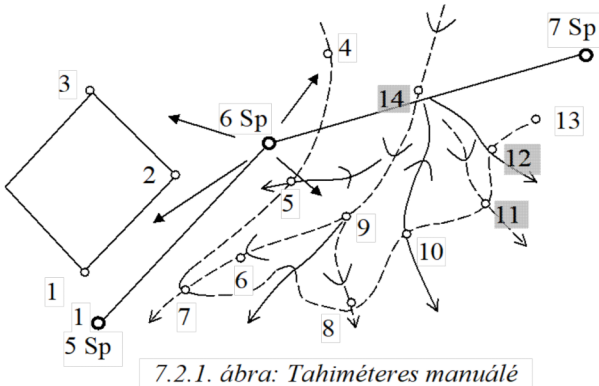
$$\Delta m'_{i,i+1} = \Delta m_{i,i+1} + ddm_{i,i+1}\,. \qquad (7.4.4)$$

A tahiméteres sokszögpontok vízszintes koordinátáit a 6.1.4. fejezet szerint, a sokszögvonal típusától függően számítjuk. Ha a tahiméteres sokszögvonal kezdő- és/vagy végpontján tájékozó irányt mérünk, ügyeljünk arra, hogy a tájékozó irány hossza a 200 m-t meghaladja.

7.4.1.2. Részletpontok meghatározása tahiméterrel

A részletpontokat a mérések gyorsasága miatt célszerű a tahiméteres sokszögeléssel egyidejűleg mérni. Az egyidejű mérésnek hátránya, hogy a tahiméteres sokszögelés során esetlegesen elkövetett hibák miatt előfordulhat, hogy egyes részletpont csoportokat is újra kell mérni.

A tahimetria során meghatározandó *vízszintes részletpontok* a természetes és mesterséges tereptárgyak jellemző pontjai: épületek sarokpontjai, patakok, utak, határvonalak töréspontjai, stb. A magassági részletpontok a terepalakulat, a domborzat jellemző pontjai, megfelelő megválasztásuk a helyes domborzatábrázolás fontos feltétele. Kiválasztásuknál alapvető szempont, hogy a készítendő (szintvonalas) térkép alapján meg lehessen állapítani tetszőleges terepi pont magasságát (3.5.1.2. fejezet), tanulmányozhatók legyenek az ábrázolt terep domborzati formái, meg lehessen határozni a lejtők irányát és meredekségét, nagy méretarányú térképeken a magassági tervezési feladatokat, a tervezett létesítmények építésekor végzendő földmunka minimalizálásához a földtömegszámítást meg tudjuk oldani.



7.2.1. ábra: Tahiméteres manuálé

A tahiméterrel végzett részletméréskor minden műszerállásponton *manuálét* (felmérési vázrajzot, 7.2.1. ábra) kell készíteni. Ennek gondos elkészítése nagyon megkönnyíti a térkép későbbi, irodában történő megszerkesztését. Célszerű már a vázrajzot is nagyjából egy bizonyos méretarány szerint készíteni. A vázrajz tartalmazza a tahiméteres sokszögvonal aktuális pontjait, a szomszédos sokszögoldalakat, a vízszintes és magassági részletpontokat.

A magassági részletpontok számát a megkívánt pontosság, a méretarány és a magassági ábrázolás részletessége határozza meg; egyenletes terepen kevesebb, erősebben tagolt terepen több magassági részletpontot kell felvenni.

A manuálén az egyes sokszög- és részletpontokat meg kell számozni. A vázrajzot ki kell egészíteni a domborzat jellemző vonalaival, azaz *idomvázat* is kell készíteni (3.2.2.1. fejezet).

Egy műszerállásponton a mérést a következőképpen hajtjuk végre:

Felállunk az ismert alappontban (tahiméteres sokszögpontban) és elkészítjük a bemérendő vízszintes és magassági részletpontokról a vázrajzot. Ezután megmérjük a műszer fekvőtengelyének *"h"* magasságát a talaj felszínétől, s ha mód van rá, diagramtahiméter használatakor a tahiméteres léc kezdőosztását a műszermagasságra ($h = l$) állítjuk. Ekkor a

$$\Delta m = k_m \cdot b_m + h - l \qquad (5.2.76b)$$

összefüggésben $h - l = 0$, s a magasságkülönbség az aktuális magassági diagramszállal a tahiméteres lécből kimetszett b_m leolvasás és a diagramszál mellett feltüntetett k_m magassági szorzóállandó szorzata (5.2.78. ábra). A Dahlta típusú tahiméterekhez tartozó tahiméteres léc kezdőosztása, mint tudjuk, mindig l = 1,40 m magasságban van (5.2.5.1. fejezet). Elektronikus tahiméterek használatakor az irányzott részletpontokon a visszaverő prizma áll, a prizma magasság mindig beállítható a fekvőtengely magasságára.

Első távcsőállásban egy minél távolabbi alappontra, ennek hiányában egy szomszédos sokszögpontra *tájékozó irányt* mérünk.

A léceket (prizmákat) - ügyelve a mérési idő szempontjából optimális sorrendre - elküldjük a vázrajzon felvett részletpontokra, mérjük az egyes részletpontokra menő irányokhoz tartozó irányértékeket, a vízszintes távolságot és a magasságkülönbséget. Az elektronikus tahiméterek esetében a mérési eredmények a terepi adatrögzítőre kerülnek, így ott manuális jegyzőkönyvet nem kell vezetni.

A részletpontok mérése után ellenőrzés céljából újból mérjük a tájékozó irányt. Ha a mérés eredménye a kiinduló értéktől egy adott értéknél kisebb értékkel tér el, úgy a mérést az adott állásponban befejezettnek tekintjük. Ellenkező esetben a mérést meg kell ismételni. Mivel egy-egy állásponton 25-30, esetleg több részletpont felvételére is sor kerülhet, az ellenőrzést célszerű gyakrabban, pld. minden 8-10. részletpont után elvégezni.

7.4.2. Részletfelmérés GPS-sel

Az 5.3.6.2. fejezetben láttuk, hogy a GPS vevők egyes mérési módszerei (félkinematikus, vagy stop and go, valós idejű kinematikus, vagy RTK) elsősorban részletpontok meghatározására szolgálnak. Azaz - pld. két vevő használata esetén - a bázisállomás a bemérendő részletpontcsoporthoz viszonylag közel elhelyezkedő alapponton helyezkedik el, a másik pedig részletpontról részletpontra vándorol. A GPS, mint részletmérési eljárás a mai korszerű GPS vevők birtokában, meglehetősen hosszú kísérleti szakasz után, ma már egyre inkább elfogadott lesz a geodéziai gyakorlatban, alkalmazása azonban nem egyértelmű, a felhasználók különböző okok miatt egyelőre az elektronikus tahimetriát részesítik előnyben.

Ilyen okok:

- a GPS használatakor szabad kilátást kell biztosítani az égboltra, a vegetációval fedett területen való mérés, ha nem is lehetetlen, de pontossága - a fedettség függvényében - kétséges,
- az elektronikus tahiméterrel való részletmérés gyorsabb,
- nem hanyagolható el bizonyos fokú *"érzelmi"* kötődés a tahimetriához, amelyet a hagyományos geodéziai eljárások iránt megnyilvánuló *"tisztelet"* is befolyásol,
- a részletmérési feladatok ellátására is alkalmas vevők ma még drágábbak az elektronikus tahimétereknél,
- nem tisztázottak kellő mértékben a rádiófrekvencia használati korlátozások,
- a részletmérés befejezése után minden részletpont helyzetét az EOV rendszerébe, ill. a Balti tenger feletti magassági rendszerbe (EOMA) transzformálni kell. Ehhez lokális transzformációs paraméterek számítására alkalmas szoftverre van szükség.

Ma már vannak Magyarországon olyan GPS vevők, amelyek opcionálisan tartalmazzák ezt a lehetőséget.

Kétségtelenül vannak érvek, amelyek a GPS használata mellett szólnak. Ilyenek:

- egyetlen bázisállomás 10-15 km sugarú területen tetszőleges számú mozgó vevőt kiszolgál,
- szükségtelen az összelátás a bázis vevő és a mozgó vevő(k) között.

A GPS vevők rendkívül dinamikus fejlődésével azok elterjedése a részletmérésben egyre inkább várható.

8. Kitűzések és területosztások

8.1. A kitűzés alapfogalmai

Kitűzés alatt olyan geodéziai feladatot értünk, amelynek során

- *földrészlet határok és*
- *tervezett mérnöki létesítmények*

jellegzetes pontjainak síkrajzi és magassági helyzetét a terepen megjelöljük. *Kitűzést* végzünk akkor is, amikor a terepen valamilyen okból már nem található *eredeti állapotot* állítunk helyre. A kitűzés geometriai alapja a mérési (kitűzési, vagy alap-) vonal, amelyhez képest a tervezett létesítmények jellegzetes pontjainak méreteit megadjuk. Utóbbiakat kitűzési méreteknek nevezzük. A mérési vonalakat rendszerint bekapcsolják az országos vízszintes és magassági alapponthálózatba, kivéve, ha a kitűzendő létesítmény belső geometriája olyan pontossági követelményeket ír elő, amelynek az alapponthálózat pontjai hierarchikus felépítésük okán nem tesznek eleget (2.3. fejezet).

A kitűzések szokott menete a következő:

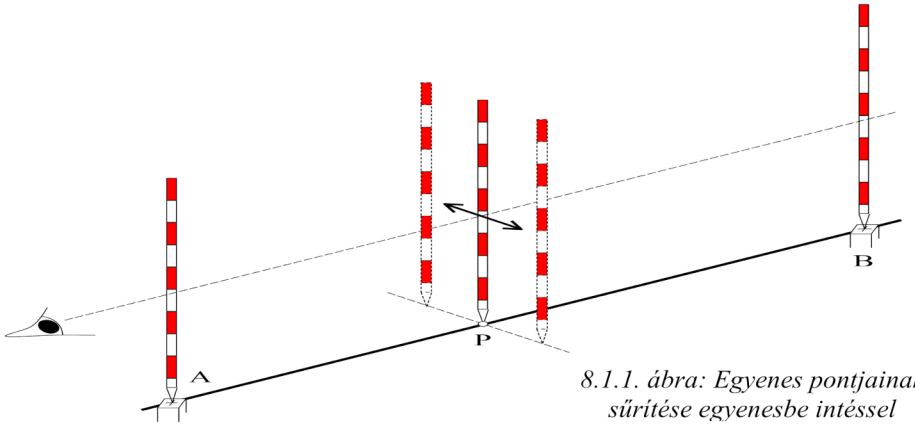
1. Az alappontsűrítésnél megismert módszerekkel a terepen megjelöljük és - szükség esetén - állandósítjuk a mérési vonalakat.
2. Kitűzzük a létesítmény jellegzetes pontjait. A jellegzetes pontok között megkülönböztetünk ún. alakjelző főpontokat és részletpontokat. Alakjelző főpontok a létesítmény tervrajzán szereplő egyenesek végpontjai, ívek eleje és vége, körív középpontja, épületek esetében főfalsíkok sarokpontjai. Minden egyéb pont részletpont.

A kitűzés alapja a *tervezési térkép* alapján készített kitűzési vázlat, amely tartalmazza a kitűzendő létesítmény alaprajzát, a kitűzéshez felhasználható vízszintes és magassági alappontokat és mérési vonalakat, valamint a kitűzési méreteket.

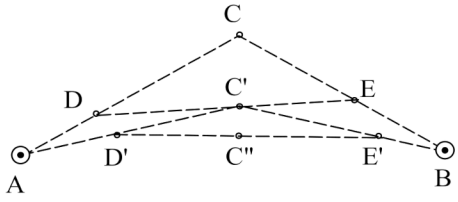
A mérési vonalakat a terepen általában kitűzőrudakkal jelenítjük meg. Sok esetben nem elég, ha a mérési vonalnak csak a végpontjain állítunk fel kitűzőrudakat, hanem a mérési vonal egyenesén belül és/vagy annak meghosszabbításában is. Ezt a feladatot egyenes kitűzésnek is nevezzük. Ugyanazon egyenesben újabb pontok elhelyezését végezhetjük

- egyenesbe intéssel
- egyenesbe állással.

Egyenesbe intésről akkor beszélünk, ha a végpontok összelátszanak. Szemmel történő egyenesbe intésre példát a 8.1.1. ábrán láthatunk. Nagyobb pontosság igény esetén az új pontot teodolittal tűzzük ki az egyenes egyik végpontjáról. Ilyenkor a szálkereszt függőleges szálát hozzuk fedésbe a kitűzőrúddal.



8.1.1. ábra: Egyenes pontjainak sűrítése egyenesbe intéssel



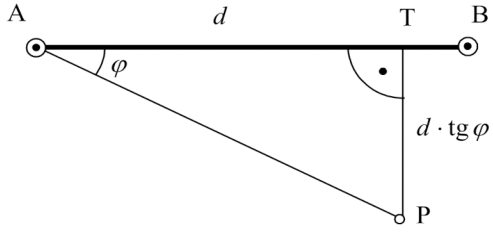
8.1.2. ábra: Egyenes kitűzése beállással

Ha a sűrítendő egyenes végpontjai nem látszanak össze, pld. azért, mert közben egy kiemelkedés van a terepen, egyenesbe állásról beszélünk. A végpontjaival adott egyenes további pontjait ilyenkor *fokozatos közelítéssel* jelölhetjük ki (8.1.2. ábra).

A sűrítendő egyenes legmagasabb helyén közelítőleg kitűzőrúddal kijelölünk egy C pontot, ahonnan A is és B is látható. Ezután az AC és a BC egyenesekbe intünk be további kitűzőrudakat (D és E pontok) úgy, hogy azok összelássanak. Intsük be most a C pontban álló kitűzőrudat a DE egyenesbe (C') és innen ismét egy-egy pontot (D' és E') az AC' és BC' egyenesbe. Így haladva fokozatosan közeledünk a C ponttal arra a helyre, amely az AB egyenesen van.

8.1.1. Szögek kitűzése

A szögek kitűzését valamilyen ismert mérési vonalhoz képest értelmezzük. Kisebb pontossági igény esetén és nevezetes szögek kitűzésére használhatjuk az 5.2.2.1. fejezetben ismertetett *vízszintes irányok és szögek kitűzésére alkalmas egyszerű eszközöket* (5.2.27 - 5.2.29. ábrák), az ott leírt módszerek értelemszerű alkalmazásával.

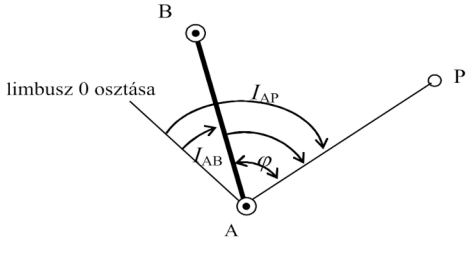


8.1.3. ábra: Szög kitűzése távolságkitűzéssel

Tetszőleges szögek kitűzése történhet úgy, hogy a szög kitűzését távolságkitűzéssel helyettesítjük (8.1.3. ábra).

Az AB mérési vonalon tetszőleges távolságban hosszmérő eszközzel, vagy távmérő műszerrel megmérünk egy tetszőleges d távolságot. A távolság T végpontjában kitűző prizmával kitűzzük a derékszöget, majd felmérjük a $d \cdot \mathrm{tg}\,\varphi$ távolságot.

A pontos szögkitűzést mindig *teodolittal* végezzük (8.1.4. ábra). Az ismert AB irányhoz tartozó I_{AB} irányértékhez I. távcsőállásban hozzáadjuk a kitűzendő φ szöget, majd a limbuszkört erre a leolvasásra állítva, a szálkereszt függőleges szála mentén kitűzőrúddal megjelöljük a P pontot. A pontosság növelése érdekében célszerű a kitűzést a II. távcsőállásban megismételni, s a P pont végleges helyét a két ponthely közepén megjelölni.



8.1.4. ábra: Szög kitűzése teodolittal

8.1.2. Távolságok kitűzése

A távolságok pontos kitűzésekor nem tekinthetünk el a ferde távolság 5.2.3.4. fejezetben tárgyalt redukcióitól. A kitűzendő ferde távolságok számításakor a redukciókat fordított sorrendben és ellenkező előjellel értelmezzük. A redukciók a kitűzési vázlatban adott távolságtól függnek. A tervezési térképen általában egy adott magasságra vonatkoztatott vízszintes távolság szerepel, a terepi kitűzéshez ezt kell redukálni a tényleges magasságban lévő ferde

terepre. Ez történhet úgy, hogy a vízszintes távolságot először a tengerszintre, majd visszafelé, a kitűzendő távolság átlagos magasságára, s végül - a terep dőlésszögének figyelembevételével - a ferde síkra redukáljuk. A kitűzés történhet komparált mérőszalaggal, vagy teljes mérőállomással, a távolságmérés ún. *kitűzési üzemmódjával*.

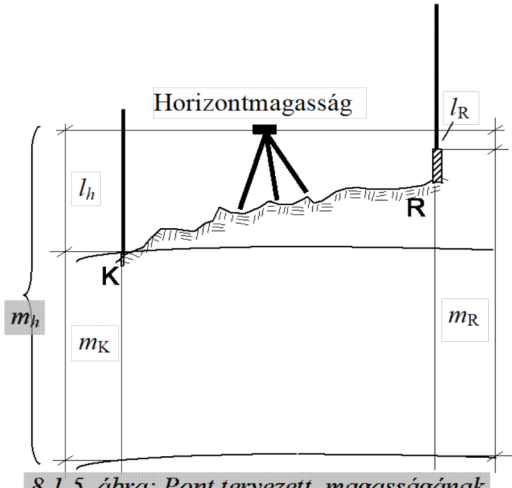
8.1.3. Pont tervezett magasságának és adott magasságú pont kitűzése

Pont tervezett magasságának kitűzéséhez a kitűzendő pont környezetében minimálisan egy, de általában legalább kettő adott magasságú pontra van szükség. Ha ilyen(ek) nincs(enek), úgy a legközelebbi magassági alappontból oda-vissza *vonalszintezéssel* ezeket létre kell hoznunk, s - a feladattól függően - többnyire állandósítanunk is szükséges.

Az ismert magasságú K pont közelében felállunk a szintezőműszerrel (8.1.5. ábra), majd arra irányozva, meghatározzuk a horizontmagasságot:

$$m_h = m_K + l_h , \qquad (7.2.14)$$

ahol m_K az adott magasságú pont tengerszint feletti magassága, l_h a lécleolvasás. Két adott magasságú pont esetén a számított horizontmagasságok különbsége egy megengedett értéknél nem lehet nagyobb. E feltétel teljesülése esetén a két érték számtani közepe lesz a horizontmagasság.



8.1.5. ábra: Pont tervezett magasságának kitűzése

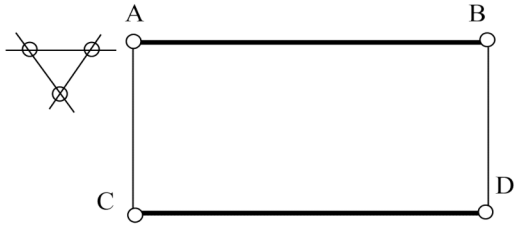
A horizontmagasságból levonva a kitűzendő m_R magasságot, megkapjuk azt a lécleolvasás értéket, amelyet akkor kapnánk, ha a léc az R ponton a kitűzendő magasságban állna:

$$l_R = m_h - m_R \ . \qquad (8.1.1)$$

A szintezőlécet a pontban felemelve és süllyesztve, elérhetjük, hogy a szintezőműszer vízszintes szála éppen a számított l_R lécleolvasás értékkel legyen fedésben. Ebben a helyzetben a szintezőléc talppontjának helyét a terepen magasságilag megjelöljük, rögzítjük.

Ezzel a módszerrel adott terepi magasságú pont is kijelölhető, csak ebben az esetben a lécet nem az adott pontban emeljük, vagy süllyesztjük, hanem azzal a terepen fel- és lefelé mozogva, találjuk meg az adott magasságú pontot. Több azonos magasságú pont is kijelölhető, ekkor ún. szintvonalkitűzésről beszélünk. Ilyenkor az l_R lécleolvasás helyét a szintezőlécen is célszerű, pld. szigetelőszalaggal, megjelölni.

8.1.4. Adott lejtőszögű vonal és sík kitűzése



8.1.6. ábra: Adott lejtőszögű vonal és sík kitűzése

A szintezőműszert úgy állítjuk fel, hogy két talpcsavart összekötő egyenes közelítőleg párhuzamos legyen az AB vonallal (8.1.6. ábra). Meghatározzuk a horizontmagasságot, majd a 8.1.5. ábra szerint kitűzzük és rögzítjük az A és B pontok tervezett magasságait. A két talpcsavar segítségével döntjük a műszer irányvonalát úgy, hogy a tervezett magasságban rögzített A és B pontokban felállított lécek leolvasásai megegyezzenek. Ekkor a műszer irányvonala párhuzamos a tervezett magasságú pontokat összekötő egyenessel.

Ha most a lécet az AB függőleges síkjának tetszőleges pontjában állítjuk fel, emeljük, ill. süllyesztjük, ezzel elérhetjük, hogy a lécleolvasás értéke megegyezzen az A és B végpontokban leolvasott értékekkel. Ekkor a szintezőléc talpa éppen az adott magasságú végpontjaival definiált lejtőszögű vonal egy pontját jelöli ki.

Az adott lejtőszögű sík hasonló módon tűzhető ki. Kitűzzük és rögzítjük az A, B, C és D pontok tervezett magasságait, majd mindhárom talpcsavart használva, az irányvonalat olyan helyzetbe hozzuk, hogy a mind a 4 ponton a tervezett magasságokban rögzített szintezőlécekre tett lécleolvasások megegyezzenek. Ekkor az irányvonal párhuzamos a tervezett dőlésszögű síkkal. A tervben, természetesen, már előzőleg ügyelni kell arra, hogy a 4 pont egy síkba essék. A szintezőműszer e helyzetében az ABCD alakzaton belül a szintezőlécet tetszőleges pontba állítva, utóbbi emelésével, vagy süllyesztésével elérhető, hogy a lécleolvasás értéke a 4 pontban leolvasott értékkel egyezzen meg. E helyzetben a léc talppontjának helyét megjelöljük, ill. rögzítjük.

8.2. Kitűzési hálózatok

Mint említettük, a különböző létesítmények kitűzéséhez *mérési vonalakat* kell létesítenünk. E mérési vonalak – a tervezett létesítmény kiterjedésétől függően – általában hálózatot, ún. mérési vonalhálózatot alkotnak. E hálózatok elvileg – a vízszintes alapponthálózatok mintájára – tetszőleges felépítésű (háromszögelési, sokszögelési) hálózatok lehetnek, de előfordulhatnak – nagyobb ipari létesítmények, épületegyüttesek helyének kitűzésekor - *szabályos rácshálók*, amelyeket olyan helyi koordinátarendszerben értelmeznek, amelynek tengelyei párhuzamosak a létesítmény tengelyirányaival. A négyzetekből, vagy téglalapokból álló rácsháló egyes pontjait állandósítják. A mérési vonalak a rácsháló pontjait kötik össze.

A leggyakrabban előforduló mérési vonalhálózatot *rövidoldalú sokszögvonalak* alkotják. Elsősorban nyomvonalas létesítmények tengelyvonalának kitűzésénél alkalmazzák, de előfordulhat más esetekben is. A mérési vonalhálózat ekkor az országos hálózat pontjai között létrehozott olyan *sokszöghálózat*, amelynek pontjai közötti *mérési vonalak* a kitűzendő pontok helyét a lehető legjobban megközelítik, s amelyekről a kitűzés a már megismert részletmérési eljárások valamelyikével (többnyire poláris, vagy derékszögű koordinátákkal) végezhető el.

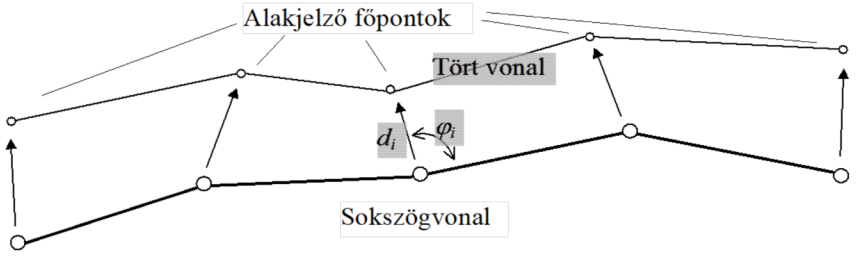
8.2.1. Kitűzés poláris koordinátákkal

A nagyobb pontossági igényű kitűzési feladatoknál, ill. zárt, sűrűn beépített helyeken a kitűzést e módszerrel hajtják végre. A kitűzés műszerei túlnyomó többségben a *teljes mérőállomások*. A kitűzést a mérési vonalhálózat egyes vonalairól szög-, ill. távolságkitűzéssel végzik (8.1.1. és 8.1.2. fejezet). A kitűzés során többnyire előírják, hogy a kitűzendő szögeket több tájékozó irányból számítsák.

8.2.1.1. Tört vonalak kitűzése

A kitűzés a tört vonal (tervezett út, távvezeték, stb.) mellett vezetett kísérő sokszögvonalról történik poláris koordinátákkal (8.2.1. ábra). A d és a δ poláris kitűzési méreteket az út tengelyvonal pontjainak tervezett koordinátáiból és a kísérő sokszögvonal számított koordinátáiból a második geodéziai főfeladat megoldásából kapják. A kitűzendő φ_i szögek (a 8.1.4. ábra mintájára) a sokszögpontokból a tengelyvonal kitűzendő pontjaira menő irányok irányszö

gei és ugyanezen sokszögpontokból más sokszögpontokra menő irányok irányszögeinek különbségei.



8.2.1. ábra: Tört vonal kitűzése poláris koordinátákkal

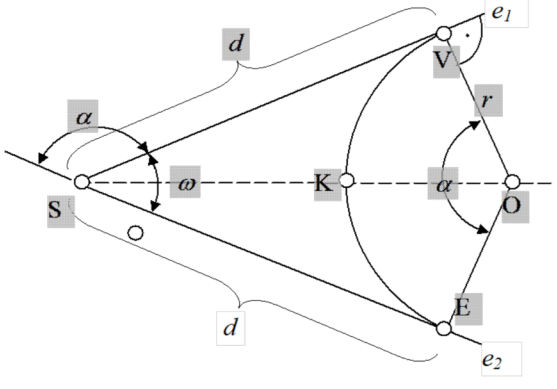
A kitűzés lépései:

- sokszögvonal mérése és számítása
- kitűzési méretek (szögek és távolságok) számítása
- kitűzés.

8.2.1.2. Körívek kitűzése

A tört vonalakat (út, vasút) jellemző tengelyvonalak pontjainak kitűzése után az egyes tengelypontokat összekötő egyenesek közé íveket illesztenek. Ezek közül az út- és vasútépítési gyakorlatban a körívek önmagukban ritkán fordulnak elő, az egyeneseken kívül különböző sugarú más körívekhez, vagy az ún. átmeneti ívekhez csatlakoznak. A körívek főpontjainak (az ív két végpontja és kezdőpontja) kitűzése a sokszögpontok koordinátáinak és a főpontok tervezett koordinátáinak ismeretében szintén történhet poláris koordinátákkal. A körívkitűzésnek ezen túlmenően is több módszere létezik, ezek közül egy egyszerű módszert ismertetünk. Ehhez ismernünk kell a kör r sugarát.

A kitűzés során először a körív főpontjait, majd megfelelő sűrűségben a részletpontjait tűzzük ki.



8.2.2. ábra: Körív főpontjai

A 8.2.2. ábra szerint az első lépésben feladatunk a terepen már kitűzött és a kitűzendő körívet érintő e_1 és e_2 egyenesek, valamint a körív sugarának ismeretében a körív E, V és K főpontjainak, esetleg a körív O középpontjának a kitűzése. Az S pont a kísérő sokszögvonal pontja, tehát általában kitűzni nem kell.

Határozzuk meg az α középponti szöget. Ehhez felállunk az S sokszögpontban, mérjük az ω szöget. Az α középponti szög ekkor nyilvánvalóan

$$\alpha = 180^{\circ} - \omega .$$

A d kitűzési méretet az SVO háromszögből kapjuk:

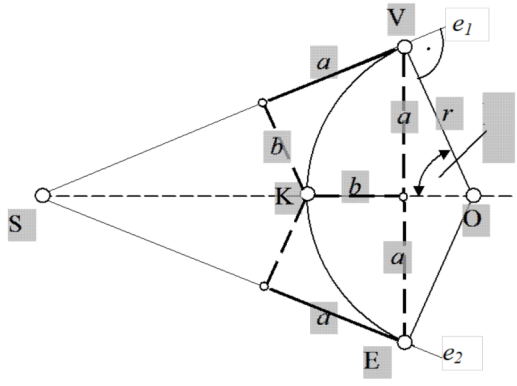
$$d = r \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} . \qquad (8.2.1)$$

Az E és V körívvégpontok terepi helyét megkapjuk, ha az így számított *d* távolságot az S pontból az e_1 és e_2 egyenesekre felmérjük.

A K körívközéppont kitűzését *derékszögű koordinátákkal* végezzük: meghatározzuk az a és b derékszögű kitűzési méreteket, s azokat az EV húrról, vagy az e_1 és e_2 érintőkről mérjük fel. A 8.2.3. ábra szerint a kitűzési méretek az alábbiak:

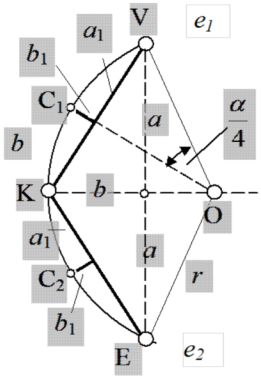
$$a = r \cdot \sin\frac{\alpha}{2},$$

$$b = r - r \cdot \cos\frac{\alpha}{2}. \qquad (8.2.2)$$



8.2.3. ábra: Körív középpontjának kitűzése

A főpontok kitűzése után a körív részletpontjainak sűrítésére előnyösen alkalmazható a húrmódszer (8.2.4. ábra). A módszer hasonló a K pont kitűzéséhez. A KV és KE húrokról tűzzük ki először a C_1 és C_2 pontokat.



A főpontok kitűzése után a körív részletpontjainak sűrítésére előnyösen alkalmazható a húrmódszer (8.2.4. ábra). A módszer hasonló a K pont kitűzéséhez. A KV és KE húrokról tűzzük ki először a C_1 és C_2 pontokat az

$$a_1 = r \cdot \sin\frac{\alpha}{4} \text{ és}$$

$$b_1 = r - r \cdot \cos\frac{\alpha}{4} \qquad (8.2.3)$$

derékszögű kitűzési méretekkel, majd a kitűzést a kör sugarától függő sűrűségben folytatjuk. Tájékoztató adat, hogy $r > 500$ m sugár mellett a részletpontok sűrűsége 20 m, 100 m $< r >$ 500 m esetén 10 m, míg 100 m-nél rövidebb sugarú kör kitűzésekor 5 m.

8.2.4. ábra: Körív részletpontjainak kitűzése húrmódszerrel

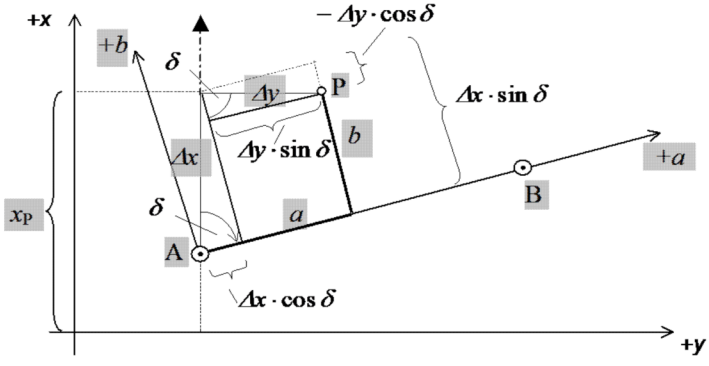
Az út- és vasútkanyarokban a mozgó járművekre ható centripetális erő hatását ki kell egyenlíteni. E célból az útkanyarokban az út kívülről befelé lejt a görbe középpontja felé, a vasutaknál pedig a kanyar külső részén lévő sín a belsőnél magasabban helyezkedik el. A centripetális gyorsulás a kanyarban folyamatosan nő, ezért az egyenes szakaszokat a csatlakozó körgörbékkel ún. átmeneti ívekkel kell összekötni. Az utaknál az átmeneti ívek az ún. klotoidok, olyan görbe vonalak, amelyeknek ρ görbületi sugara az egyenes szakasztól kiindulva a körig a végtelentől a kör *r* sugaráig változik. Vasúti kanyarokban, ill. rövid átmeneti ívek esetében a kitűzéshez harmadfokú parabolát alkalmaznak.

8.2.2. Kitűzés derékszögű koordinátákkal

A derékszögű koordinátakitűzés esetén az egyes mérési vonalakra, mint *abszcisszákra* vonatkozó *a* és *b* derékszögű koordinátákat, mint *kitűzési méreteket* a hálózati (országos, vagy helyi) koordinátákból transzformáció útján kapjuk. A hálózati koordináták a tervezés eredményei, s vagy számszerűen, vagy a tervezési térképről levehetően állnak rendelkezésünkre. A

módszer a 7.2.3.1. „Derékszögű részletmérés” fejezetben leírtak *fordítottja*, eszközei megegyeznek az e fejezetben leírt eszközökkel.

8.2.2.1. Derékszögű kitűzési méretek számítása koordinátákból



8.2.5. ábra: Derékszögű koordináták transzformációja

Az *a* és a *b* kitűzési méretek a 8.2.5 . ábrából könnyen leolvashatóan az alábbiak:

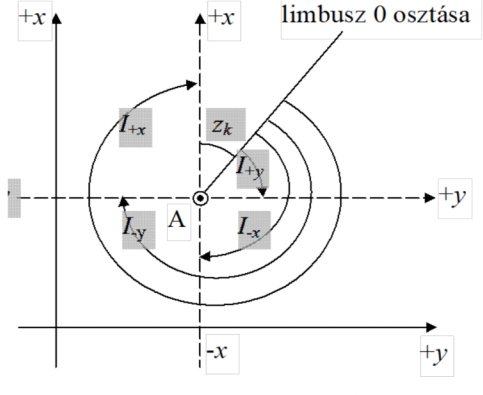
$$\begin{aligned} a &= \Delta x \cdot \cos\delta + \Delta y \cdot \sin\delta \\ b &= \Delta x \cdot \sin\delta - \Delta y \cdot \cos\delta \end{aligned}, \qquad (8.2.4)$$

ahol $\cos\delta = \frac{x_B - x_A}{d_{sz}}$ és $\sin\delta = \frac{y_B - y_A}{d_{sz}}$. A kitűzés előtt ellenőriznünk kell, hogy a kitűzött pontok megfelelően illeszkednek-e az alappontok közé. E célból az A és B pontok közötti távolságot nem csak számítjuk (d_{sz}), hanem mérjük is ($d_{mért}$). Ha a két távolság eltérése egy megengedettnél nagyobb értéket nem halad meg, az eltérést a kitűzendő pontok talpponti méreteire a derékszögű koordinátákkal egyenes arányban osztjuk el. Ellenkező esetben az országos koordinátarendszerről az A és B pontokban adódó hiba (ún. kerethiba) miatt célszerűbb önálló, helyi koordinátarendszerre áttérni, ill. a kitűzést az ún. tájékozott főirányokról végezni.

8.2.3. Kitűzés tájékozott főirányokról

Tájékozott főirány alatt a tervezés koordinátarendszerének (általában az országos koordinátarendszernek) valamelyik tengelyével, ill. tengelyirányával párhuzamos, a kitűzendő létesítmény közelében lévő, vagy ebből a célból meghatározott alapponton áthaladó irányt értünk. A főirányok kitűzése után következik a főpontok és az alakjelző részletpontok kitűzése, általában szintén derékszögű koordinátákkal.

A tájékozott főirányok kitűzéséhez felállunk az ismert (vagy e célból létesített) A alapponton és legalább 3 ismert alappontra tájékozunk. Az iránymérés eredményei alapján



8.2.6. ábra: Kitűzés tájékozott főirányokról

számítjuk a z_k tájékozási szöget (5.2.22b. képlet, 5.2.47. ábra).

Attól függően, hogy a *+x, +y, -x, -y* tengelyekkel párhuzamos főirányt tűzzük ki, a kitűzéshez a szögmérőműszer vízszintes körét megfelelően a következő leolvasásokra kell állítani:

$$\begin{aligned} I_{+x} &= 360^{o} - z_k \\ I_{+y} &= 90^{o} - z_k \\ I_{-x} &= 180^{o} - z_k \\ I_{-y} &= 270^{o} - z_k \end{aligned} \qquad (8.2.5)$$

A tájékozott főirányokról a részletpontok kitűzése egyszerű, a derékszögű kitűzési méretek a tájékozott főirány és valamelyik koordinátatengely párhuzamossága miatt egyszerű különbségképzéssel számíthatók:

$$\begin{aligned} a_i &= y_i - y_A \\ b_i &= x_i - x_A \end{aligned}. \qquad (8.2.6)$$

8.3. Területosztások

Területosztás alatt új *földrészletek* kialakításánál fellépő olyan geodéziai feladatot értünk, amelynek során síkidomok előírt és dokumentált terv alapján történő részekre bontását végezzük el. Így a területosztás egyben kitűzési feladat is, ezért e fejezetben tárgyaljuk.

Új földrészletek kialakítására a *tulajdonjogi viszonyok megváltozásakor* kerül általában sor. A magántulajdonú földrészletek keletkezésén és több tulajdonost is érintő cseréjén túl *területosztásra* kerülhet sor lakó- és üdülőtelkek kialakításakor, mérnöki, mezőgazdasági, erdészeti, vízgazdálkodási célú telekrendezéskor és egyéb telekátalakítások, valamint határszabályozási munkálatok során. A területosztás fordított művelete a telekösszevonás, amelynek során meglévő birtokhatárok megszűnnek, de új határ kialakítására általában nem kerül sor. A tulajdonjogi viszonyok megváltozásának jogi szabályozását rendeletek tartalmazzák, mind a közérdekből történő kisajátítást, mind az állami, vagy a magántulajdonú földek adás-vételi szerződéseit illetően. A területosztás jogi következményeit *geodéziai munkarészek* előzik meg. E munkarészek elsősorban a létrejött új állapot ún. megvalósulási térképének és változási vázrajzainak elkészítéséhez, valamint a változásoknak az ingatlan-nyilvántartási térképen, ill. annak átnézeti térképein való átvezetéséhez kapcsolódnak. Mind az imént említett fogalmak, mind pedig eddigiekben már többször is említett *földrészlet* értelmezésére az ingatlan-nyilvántartási és földrendezési ismeretek tárgyalásakor, a 9. fejezetben térünk vissza.

A területosztás során egyenlő, ill. a különböző elhelyezkedés és talajminőség miatt különböző értékű területek felosztását kell elvégeznünk. Az utóbbi esetben területosztás helyett az ún. értékosztás kifejezést használjuk. A területosztás a területek egyszerű geometriai felosztását jelenti, az *értékosztás* esetében a geometriai felosztás terepi elvégzése előtt meg kell ismernünk az értékkülönbséget jellemző tényezőket.

A *területosztás* az alábbi fő lépésekből áll:

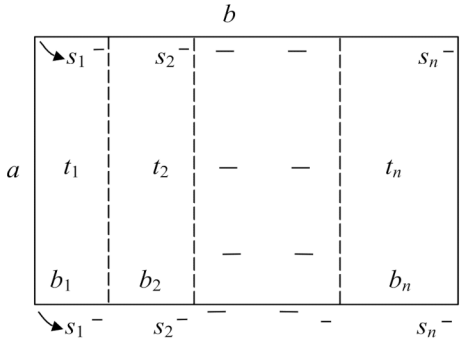
1. a felosztandó terület térképi elhatárolása, a határoló vonalak térképi azonosítása, megfelelő térkép hiányában térképkiegészítés, esetleg új részletes felmérés és térképkészítés, valamint területszámítás;
2. az elhatárolt terület felosztásának megtervezése, kitűzési méretek számítása;
3. a kitűzési méretek terepi megjelenítése, szükség szerint az új határvonalak töréspontjainak állandósítása;
4. a szükséges földhivatali munkarészek elkészítése és benyújtása, a kitűzött új területek átadása a megrendelőnek.

Az 1. pontban foglalt feladatokat a már tárgyalt részletes felmérési ismereteink alapján meg tudjuk oldani. A következőkben feltételezzük, hogy a felosztandó terület külső határvonalai, azaz a felosztandó síkidom méretei megfelelő pontossággal rendelkezésünkre állnak, s elhatárolásukat a terepen már elvégeztük. E fejezet célja a 2. pontban rögzített feladatok legegyszerűbb megoldási eljárásainak áttekintő ismertetése. A 3. pont feladatait a kitűzések ismertetése során már érintettük, a 4. pont feladataira pedig a 9. fejezetben térünk vissza.

8.3.1. Egyszerű idomok területosztása

Az egyenlő minőségű területek felosztása - mint említettük - tisztán geometriai feladat. A megoldásnak - az idom alakjától függően, de hasonló idomokra is - sokfajta változata lehet. Szemléltetésül csak néhány, gyakrabban előforduló egyszerűbb eljárást mutatunk be, egyszerű idomokra. A szabálytalan sokoldalú idomok területosztása az egyszerűbb esetekre vezethető vissza.

8.3.1.1. Derékszögű négyszög felosztása az egyik oldalával párhuzamos egyenesekkel



8.3.1. ábra: Derékszögű négyszög felosztása

A 8.3.1. ábrán *adottak* a derékszögű négyszög *a* és *b* oldalhosszai, s ezzel a $T = a \cdot b$ terület. Osszuk fel a négyszöget az *a* oldallal párhuzamos egyenesekkel előre megadott $t_1, t_2, \ldots, t_n$ területű részekre. Keressük az $s_1, s_2, \ldots, s_n$ kitűzési méreteket. Az s_n kitűzési méret maga a *b* hosszúság.

A $b_1, b_2, \ldots, b_n$ értékeket a területek arányában a

$$b_i = \frac{b}{T} \cdot t_i \quad (i = 1,2,...,n) \qquad (8.3.1.)$$

összefüggésből, az $s_1, s_2, \ldots, s_n$ méreteket az

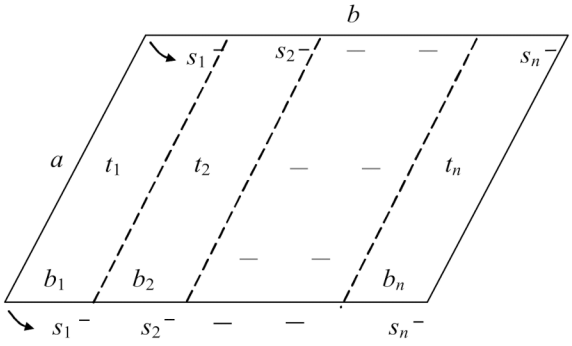
$$s_i = \sum_{j=1}^{i} b_j = \frac{b}{T} \cdot \sum_{j=1}^{i} t_j \quad (i = 1,2,...,n) \qquad (8.3.2)$$

összefüggésekből számíthatjuk.

Analóg (papír-) térképekről levett adatok esetén a papír *méretváltozását* (3.5.1.2. fejezet) figyelembe kell venni. Ilyenkor a hosszabbik oldalt (esetünkben a *b*-t) a térképről mérjük le, a rövidebb oldalt az ismert *T* területből számítjuk:

$$a = \frac{T}{b} \,. \qquad (8.3.3)$$

8.3.1.2. Parallelogramma felosztása az egyik oldalával párhuzamos egyenesekkel



8.3.2. ábra: Parallelogramma felosztása

A feladat megfogalmazása az előző feladattal azonos (8.3.2. ábra). A parallelogramma hosszabbik oldalra vonatkozó magassága:

$$m_b = \frac{T}{b} \qquad (8.3.4)$$

A kitűzési méretek számítása ezután az előző feladatra vezethető vissza:

$$s_i = \sum_{j=1}^{i} b_j = \frac{b}{T} \cdot \sum_{j=1}^{i} t_j \quad (i = 1,2,...,n) \qquad (8.3.5)$$

Ha a felosztást a b oldallal párhuzamosan kívánjuk végezni, a módosítás értelemszerűen az alábbi:

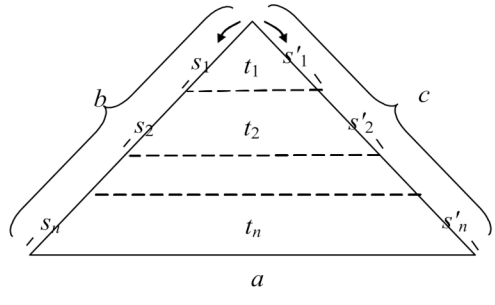
$$\left.\begin{aligned} m_a &= \frac{T}{a}, \\ s_i &= \frac{1}{m_a} \cdot \sum_{j=1}^{i} t_j \qquad (i = 1,2,...,n)\ . \end{aligned}\right\} \qquad (8.3.6)$$

8.3.1.3. Háromszög felosztása az egyik oldalával párhuzamos és a csúcsból kiinduló egyenesekkel

A 8.3.3. ábrán látható háromszöget osszuk fel pld. az *a* oldalával párhuzamosan $t_1, t_2, \ldots, t_{n\ \text{adott}}$ területű részekre, ha adottak a háromszög *T* területe és *a, b, c* oldalhosszai. Mivel a hasonló háromszögek területei úgy aránylanak egymáshoz, mint a megfelelő oldalak négyzetei, a *b* és *c* oldalra vonatkozóan az s_i kitűzési méretre írhatjuk:

$$\left.\begin{aligned} s_i^2 : b^2 &= \sum_{j=1}^{i} t_j : T \quad (i = 1,2,...,n) \text{ és} \\ s_i'^2 : c^2 &= \sum_{j=1}^{i} t_j : T \quad (i = 1,2,...,n)\ , \end{aligned}\right\} \qquad (8.3.7)$$

ahonnan

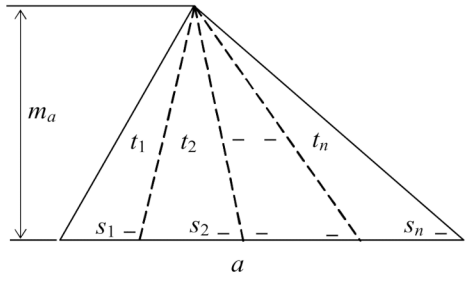


8.3.3. ábra: Háromszög felosztása az egyik oldalával párhuzamos egyenesekkel

$$s_i = b \cdot \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{i} t_j}{T}} \quad \text{és} \quad s_i' = c \cdot \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{i} t_j}{T}}\ . \qquad (8.3.8)$$

Nyilvánvalóan itt is $s_n = b$ és $s_n' = c$. Utóbbi összefüggések a számítások ellenőrzését teszik lehetővé.

Ha a háromszöget egyik csúcspontján áthaladó egyenesekkel kívánjuk felosztani, a *T* területet és a csúccsal szemben lévő oldal hosszát kell adottnak tekintenünk (8.3.4. ábra).



8.3.4. ábra: Háromszög felosztása az egyik csúcsból kiinduló egyenesekkel

A megoldáshoz felhasználjuk, hogy minden háromszögnek azonos az a oldalhoz tartozó m_a magassága. Ekkor ui. az egyes háromszögek területei úgy aránylanak egymáshoz, mint a megfelelő háromszögek alapjai. Vagyis, az i. kitűzési méretre vonatkozóan írható:

$$s_i : a = \sum_{j=1}^{i} t_j : T \qquad (i = 1,2,...,n) \qquad (8.3.9)$$

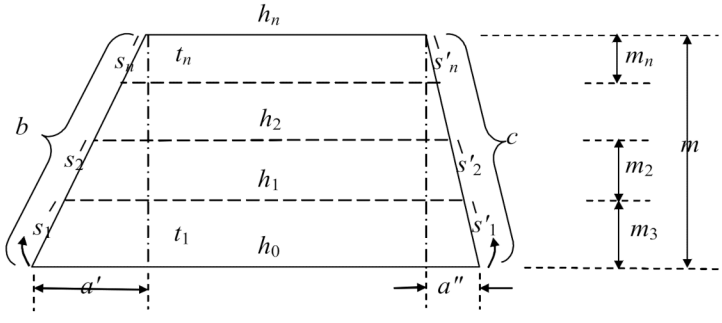
ahonnan

$$s_i = a \cdot \frac{\sum_{j=1}^{i} t_j}{T} \qquad (8.3.10)$$

Ellenőrzés: $s_n = a$.

8.3.1.4. Trapéz felosztása az alapjával párhuzamos egyenesekkel

Ha a trapéz területét alapjával párhuzamos osztóvonalakkal kívánjuk felosztani, ezt megoldhatjuk *fokozatos közelítéssel*, vagy az osztóvonalak hosszának előzetes kiszámítása útján. Ez utóbbit segíti elő a Naszluhácz-féle rövidülési képlet. Ezzel foglalkozunk a továbbiakban.



8.3.5. ábra: Trapéz felosztása az alapjával párhuzamos egyenesekkel

Ismert a trapéz T területe, hosszabb párhuzamos oldalának hossza h_0, a rövidebbé h_n, két nem párhuzamos oldala pedig b, ill. c (8.3.5. ábra). Keressük az $s_1, s_2, \ldots, s_n$ kitűzési méreteket.

A 8.3.5. ábra jelöléseinek megfelelően írhatjuk:

$$a' + a'' = h_0 - h_n = m \cdot (\operatorname{ctg}\gamma + \operatorname{ctg}\beta) \qquad (8.3.11)$$

Innen az egységnyi magasságra (pld. 1 m, vagy 1 cm) vonatkozó

$$v = \frac{h_0 - h_n}{m} = \operatorname{ctg}\beta + \operatorname{ctg}\gamma \qquad (8.3.12)$$

kifejezés az ún. hosszváltozási tényező.

Kifejezve az m értékét, kapjuk:

$$m = \frac{h_0 - h_n}{v} . \qquad (8.3.13)$$

A trapéz területe felírható a következő alakban:

$$T = \frac{h_0 + h_n}{2} \cdot m = \frac{h_0^2 - h_n^2}{2 \cdot v}. \qquad (8.3.14)$$

Fejezzük ki a (8.3.14) összefüggésből a h_n értékét:

$$h_n = \sqrt{h_0^2 - 2 \cdot v \cdot T}. \qquad (8.3.15)$$

A (8.3.15) összefüggés a *Naszluházcz-féle rövidülési képlet*. E képlet segítségével felírhatjuk az egyes kiosztandó t_1, t_2, … , t_n területekhez tartozó osztóvonalak hosszát, ui. a (8.3.15) képletbe T helyére mindig az aktuális területet helyettesítve, kapjuk:

$$h_i = \sqrt{h_0^2 - 2 \cdot v \cdot \left(\sum_{j=1}^{i} t_j \right)}, \quad (i = 1,2,\ldots, n) \qquad (8.3.16)$$

ahol h_i - az i. osztóvonal hossza.

A h_i értékek ismeretében számítható az egyes trapézok magassága:

$$m_i = \frac{2 \cdot t_i}{h_i - h_{i-1}} \quad (i = 1,2,\ldots, n). \qquad (8.3.17)$$

Az m_i értékekre végzett számításainkat ellenőrizhetjük az osztóvonalak és a területek magasságok alapján történő számításával:

$$h_i = h_0 + \sum_{j=1}^{i} m_i \cdot v, \quad (i = 1,2,\ldots, n) \qquad (8.3.18)$$

illetve

$$t_i = \frac{h_{i-1} + h_i}{2} \cdot m_i. \qquad (8.3.19)$$

Végül, a 8.3.3. ábrának megfelelő jelölésekkel az s_i és s_i' kitűzési méretek az alábbiak:

$$s_i = \frac{b}{m} \cdot \sum_{j=1}^{i} m_j \quad \text{és} \quad s_i' = \frac{c}{m} \cdot \sum_{j=1}^{i} m_j, \qquad (8.3.20)$$

ahol m - a trapéz magassága.

Számításainkra további ellenőrzéseket is végezhetünk:

$$h_n^2 = h_0^2 - 2 \cdot v \cdot \sum_{i=1}^{n} t_i; \quad m = \sum_{i=1}^{n} m_i; \quad s_n = b; \quad s_n' = c. \qquad (8.3.21)$$

8.3.2. Az értékosztás

A termőföldek értéke elsősorban a talajok termőképességétől függ. A talajok termőképességének mértékét a talajértékszámmal fejezik ki. A talajértékszámnak a domborzati, éghajlati és hidrológiai viszonyok által módosított értéke a termőhelyi értékszám. A mező- és erdőgazdasági szempontból hasznosított földeket a talaj termőképessége, valamint a várható terméseredménye alapján minőségi osztályokba sorolják. Az egyes földrészletek területe több minőségi osztályba is tartozhat, erre az esetre vezették be a minőségi alosztály fogalmát.

A földek talajának országos szinten való összehasonlítására sem a *termőhelyi értékszám*, sem a *minőségi osztály* (*alosztály*) nem alkalmas, hiszen az ilyen értelemben azonos minősítésű földek ún. *kataszteri* tiszta jövedelme vidékenként jelentősen eltér. Az országos szinten való összehasonlítás mértékszáma az ún. aranykorona érték. Az aranykorona az alapja

a mező-és erdőgazdasági területekhez kapcsolódó támogatási rendszernek is. A fenti fogalmakra a 9. fejezetben részletesebben és definíciószerűen is kitérünk.

A különböző aranykorona értékű földrészletek felosztásakor területosztás helyett értékosztást végzünk. Az értékkülönbséget jellemző tényezők ismeretében az értékosztás területosztásra vezethető vissza.

Az értékkülönbséget jellemző tényezők belterületen az egységár, külterületen pedig a minőségi arányszám.

Az *egységár* (*e*) a választott területegység (1 m^2, 1 ha) *aranykoronában* kifejezett értéke. Így *T* területű és *e* egységárú földrészlet értéke aranykoronában:

$$E = e \cdot T . \tag{8.3.22}$$

A *minőségi arányszám* a különböző aranykorona értékű földrészletek közötti értékarány, amely kifejezi, hogy a különböző elhelyezkedésű és minőségű termőföldekből hány területegység ad egy értékegységet, vagyis, minél értékesebb a föld, annál kisebb a minőségi arányszám.

Szokásos, hogy a legnagyobb területű földrészlet minőségi arányszámát *egységnek* veszik fel, az ennél jobb minőségű földrészletek minőségi arányszáma az egységnél kisebb, a rosszabbaké az egységnél nagyobb.

Ha a földrészlet tényleges területét (*T*) elosztjuk a minőségi arányszámmal (*A*), akkor a földértékegységhez (*B*) jutunk:

$$B = \frac{T}{A} . \tag{8.3.23}$$

A valamennyi földrészletre vonatkozó E, ill. B értékek ismeretében a feladat az egyszerű területosztásra vezethető vissza. Ehhez meg kell határozni, hogy az egyes lehasítandó értékeknek a kiosztás helyén mekkora terület felel meg.

A területosztás befejezése után, de teljes általánosságban bármilyen beruházás, létesítmény befejezése után a létrejött új állapotról *megvalósulási térképet* kell készíteni. A megvalósulási térkép legtöbb esetben érinti az ingatlan-nyilvántartás, valamint a *földmérési alaptérkép* tartalmát is.

Az ingatlan-nyilvántartásban, valamint a földmérési alaptérkép erre a célra szolgáló példányán, a *nyilvántartási térképen* a változások átvezetéséhez *változási vázrajzot* készítünk, amelyek felhasználhatók még a földrészletek határvonalának változását elrendelő, megállapító, vagy engedélyező államigazgatási határozatok hozatalánál.

A fenti, többségében jogi vonatkozású kérdéseket *"Az állami földmérési alaptérképek felhasználásával készülő egyes sajátos célú földmérési munkák végzéséről és az ezekkel kapcsolatos hatósági eljárások lefolytatásáról, valamint a földügyi szakigazgatásban működő adatszolgáltatás intézményi hátteréről és rendjéről"* szóló F2. Szabályzat tárgyalja. A Szabályzat 2002. március 18. után lépett hatályba. Egyes előírásaira a következő, a 9. fejezetben térünk vissza.

9. Ingatlan-nyilvántartás és földrendezés

A rendszerváltás óta eltelt időben mind az ingatlan-nyilvántartás, mind a földrendezés feladatait a folyamatos jogalkotás következtében gyakran változó rendeletek, előírások szabályozzák. Az új szabályzatokat, rendeleteket többnyire párhuzamosan használják még érvényben lévő régi szabályzatokkal. A szabályzatok többségére az eddigiek során az adott helyeken már utalnunk kellett (2.1., 3.3.1., 8.3. fejezetek). E fejezetben a vázolt ismeretek egy részére visszatérünk, azok egy részét részletesebben is kifejtjük, ill. tisztázunk néhány, az eddigiekben már említett, s egyértelműnek tűnő fogalmat, mint pld. a *földrészlet*.

A fejezet az alábbi szabályzatok és rendeletek figyelembevételével készült:

- F7. szabályzat: Az egységes országos térképrendszer földmérési alaptérképeinek készítése. Mezőgazdasági és Élelmezésügyi Minisztérium, Országos Földügyi és Térképészeti Hivatal, 1983.
- 1995. évi LXVI. törvény a köziratokról, a közlevéltárakról és a magánlevéltári anyag védelméről.
- DAT szabvány MSz 7772-1: A digitális alaptérkép fogalmi modellje. Földművelésügyi Minisztérium, Földügyi és Térképészeti Főosztály, 1996.
- DAT1. szabályzat: Digitális alaptérképek tervezése, előállítása, felújítása, adatcsereformátuma, dokumentálása, ellenőrzése, minőségellenőrzése, hitelesítése és állami átvétele. Földművelésügyi Minisztérium, Földügyi és Térképészeti Főosztály, 1996 (DAT1-M1, M2, M3, M4).
- DAT2. szabályzat (a DAT2-M1 és a DAT2-M2 mellékletekkel): A földmérési alaptérkép digitális alaptérképpé történő átalakításáról és ellenőrzéséről. Földművelésügyi Minisztérium, Földügyi és Térképészeti Főosztály, 1996.
- 1996. évi LIV. törvény az erdőről és az erdő védelméről.
- 1996. évi LXXVI. sz. törvény a földmérési és térképészeti tevékenységről.
- 1997. évi CXLI. törvény és a végrehajtásáról szóló 109/1999. (XII.29.) FVM rendelet,
- 105/1999. (XII.22.) FVM rendelet.
- F2. szabályzat: Az állami földmérési alaptérképek felhasználásával készülő egyes sajátos célú földmérési munkák végzéséről és az ezekkel kapcsolatos hatósági eljárások lefolytatásáról, valamint a földügyi szakigazgatásban működő adatszolgáltatás intézményi hátteréről és rendjéről. Földművelési és Vidékfejlesztési Minisztérium, Földügyi és Térképészeti Főosztály, 2002.

9.1. A földmérési alaptérkép

Az ingatlan-nyilvántartási és a földrendezési feladatok végrehajtása szükségessé teszi, hogy a 2.1. és a 3.3.1. fejezetekben röviden érintett ismereteket az alábbiakban összefoglaljuk, ill. kiegészítsük.

9.1.1. Alapfogalmak

Földmérési alaptérkép (2.1. fejezet) az ország felmérésével készülő, rendszeresen megújuló legnagyobb méretarányú térkép, amely a tulajdoni viszonyokat is feltünteti, kötelező alapja az ingatlan-nyilvántartási térképnek, síkrajzot és domborzatot is ábrázol.

Község: meghatározott közigazgatási egység, területe magába foglalja a település beépített területét a hozzá tartozó mező- és erdőgazdasági területeket, szőlőhegyeket, utakat, folyókat és egyéb területeket. Két jól elkülöníthető részből áll: külterület és belterület.

Belterület: a község (város) igazgatási területének az a része, amelyet a jóváhagyott általános rendezési tervben, vagy a polgármesteri hivatal határozatában belterületté nyilvánítottak.

Külterület: a község (város) igazgatási területének a belterületén kívül eső része.

Földrészlet (rajzi elem folyamatos vonal): a föld felszínének természetben összefüggő, közigazgatási, vagy belterületi határ által meg nem szakított területe, amelynek minden részén azonosak a tulajdonosi vagy a vagyonkezelői (kezelési) viszonyok. Földrészlet az építési telek a tulajdoni és vagyonkezelői viszonyoktól függetlenül, az utak, terek, vasutak, csatornák elágazással és kereszteződéssel, valamint közigazgatási vagy belterületi határ által - az országos közút, vasút vagy hajózható csatorna kivételével - meg nem szakított részei, melynek tulajdonosa vagy vagyonkezelője (kezelője) azonos.

Helyrajzi szám: a földrészlet (ingatlan) egyedi azonosítója.

Művelési ág: A mező- és erdőgazdasági művelés alatt álló földeket - rendes földhasznosítási módra tekintettel, a természetbeni állapotnak megfelelően - művelési ágak szerint is megkülönböztetjük. Művelési ágak az alábbiak:

Szántó - rendszeres szántóföldi művelés alatt áll.
Rét - rendszeresen kaszált füves terület.
Legelő – rendszeresen legeltetéssel hasznosított füves terület.
Szőlő – termesztett főnövény a szőlő.
Kert – zöldségfélével, virág vagy dísznövénnyel (fa, cserje, pázsit) beültetett terület.
Gyümölcsös – termesztett főnövény a gyümölcsfa, illetve gyümölcstermő bokor.
Nádas – amelyen ipari, építkezési vagy mezőgazdasági felhasználásra alkalmas nád, vagy gyékény terem.
Erdő – az erdő által elfoglalt terület (nyiladék, tűzpászta, faültetvény is).
Fásított terület – fás legelő, 1500 m^2 –nél kisebb kiterjedésű erdő, újtelepítés, fasor (legalább 3 sor)
Halastó - mesterséges vízzel borított terület, melyet haltenyésztésre használnak.
Művelés alól kivett terület - művelés alól kivett területnek minősülnek a település belterületének egy hektár nagyságot el nem érő földrészletei, valamint mindazok a területek, amelyen mező- vagy erdőgazdasági művelést nem folytatnak.

Alrészlet (rajzi elem szaggatott vonal): egy földrészleten belül a különböző művelési ágak és a művelés alól kivett terület- ha nagysága meghaladja a *legkisebb területi mértéket*. Az alrészleteket - egymástól való megkülönböztetésük, a földrészleten belüli elhelyezkedésük meghatározása, továbbá nyilvántartásuk végett - az *abc kisbetűivel* jelölik. A megjelölésre a magánhangzók közül csak az *a* betűt, a mássalhangzók közül pedig csak az egyjegyűeket szabad használni. Ha egy földrészleten belül azonos művelési ág többször fordul elő és területük külön-külön eléri a legkisebb területi mértéket - azt alrészletként kell megjelölni.

Legkisebb területi mérték: az a területi határ, melynél kisebb művelési ágak önálló alrészletként nem kerülhetnek ábrázolásra (nyilvántartásra). Nagysága két tényezőtől függ, a földrészlet fekvésétől és a művelési ágtól:

– település *belterületének* egy hektárt meghaladó földrészletén és a külterületen 400 m^2 (az erdő művelési ág kivételével),
– erdő művelési ág esetében 1500 m^2,
– külterületen a 800 m^2 –t el nem érő beépített földrészlet teljes területe.

Zártkert (a fogalom hivatalos használata megszűnt): külterületen, egymás mellett lévő több olyan magántulajdonú földrészlet (kiskert, üdülőtelek, ideiglenes vagy állandó épületekkel stb.) melyek természetes vagy mesterséges tereptárgyakkal (út, vasút, árok stb.) zárt egységet alkot.

Minőségi osztály: A mező- és erdőgazdasági művelés alatt álló földek minősége a talaj természetes termőképességének, valamint a terméseredményre hatással lévő egyéb tulajdonságoknak a függvényében különböző. Az azonos művelési ágban hasznosított területeket a talaj különbözőségének megfelelően *nyolc minőségi osztályba* sorolják.

Földminősítés (földértékelés): eljárás, melynek során a termőföldek minőségi osztálya és kataszteri tiszta jövedelme (aranykorona) megállapításra kerül. A földminősítés részletes szabályait a 105/1999. (XII.22.) FVM rendelet tartalmazza.

Kataszteri tiszta jövedelem: a talajosztályozási rendszerben a minőségi osztály önmagában a talaj minőségének országos összehasonlítására nem alkalmas, ezért a művelési ágak minden egyes minőségi osztályára kiszámították, hogy 1 hektár területen átlagos gazdálkodási mód mellett mennyi kataszteri tiszta jövedelem érhető el. A kataszteri tiszta jövedelmet aranykoronában (és váltópénzében, fillérben) fejezzük ki.

9.1.2. A helyrajzi számozás

A földrészletek helyrajzi számozására az analóg térképek esetében 1997. január 1. előtt az F.7. szakmai szabályzat, a digitális formában készülő új térképek esetében a DAT1. szabályzat előírásai vonatkoznak.

9.1.2.1. A helyrajzi számozás általános szabályai

Az általános szabályokat a DAT1 Szabályzat foglalja össze:

- Minden földrészletet külön helyrajzi számmal kell megjelölni. Egy közigazgatási egységen belül egy helyrajzi szám csak egyszer fordulhat elő.
- Helyrajzi számozási szempontból az egy közigazgatási egységhez tartozó, de földrajzilag elkülönülő egységeket (domíniumokat) nem kell külön kezelni, hanem a közigazgatási egység helyrajzi számozási rendszerébe kell illeszteni.
- Az új felmérés során a belterületi, illetve különleges külterületi földrészletek helyrajzi számait csak indokolt esetben szabad megváltoztatni.
- A helyrajzi számozás kiinduló pontja a központi belterület központja. A helyrajzi számozás irányát a központtól körkörösen távolodva kell felvenni.
- Belterületen áthaladó valamennyi vonalas létesítmény területét a belterület határán le kell zárni.
- Vonalas létesítmények többszintű keresztezése esetén a föld felszínén haladó vonalas létesítményt egy helyrajzi számmal, az általa megosztott vonalas létesítményeket pedig külön-külön helyrajzi számmal kell megjelölni. Nem minősül többszintű kereszteződésnek a vasúti vagy közúti áteresz.
- A közös udvarokból a különböző tulajdonban lévő épületek által lefoglalt területeket - ha ezek már korábban is önálló helyrajzi számmal voltak megjelölve - továbbra is önálló helyrajzi számmal kell ellátni még abban az esetben is, ha az épületeket időközben lebontották.
- A helyrajzi számozásból kimaradt földrészletet a mellette lévő földrészlet helyrajzi számának alátörésével kell megjelölni. Ugyanígy kell eljárni akkor is, ha egy helyrajzi számot ismételten felhasználtak. A fel nem használt helyrajzi számokat az írásbeli munkarészekben átugrottként kell kezelni.

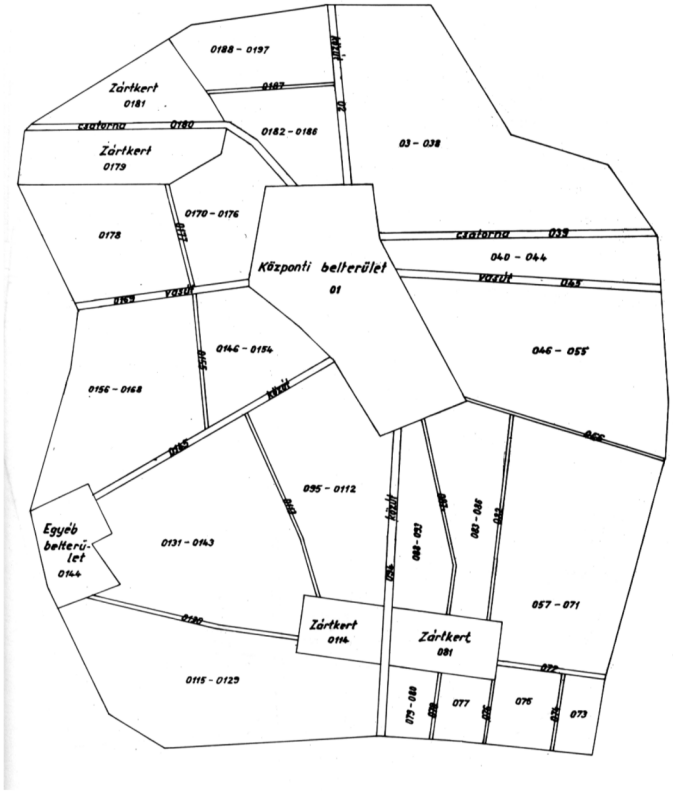
9.1.2.2. Külterületi földrészletek helyrajzi számozása

A külterületi földrészletek helyrajzi számozására a DAT1. szabályzat előírásai érvényesek, de előfordul még az F7. szabályzat használata is. A DAT1. szabályzat előírásaira való áttérés folyamatos és a földmérési alaptérképek digitális formában való előállításától függ.

Az *F7. Szabályzat szerinti előírások* az alábbiak:

- A külterületi földrészletek helyrajzi számozása során, azokkal együtt a belterületeket és a zártkerteket is, mint különálló egységeket elhelyezkedésük sorrendjében nullával kezdődő számokkal kell ellátni. A 01 számmal minden esetben a belterületet – több belterület esetén a központi belterületet - kell megjelölni.
- A külterületi földrészletek helyrajzi számozását - a zártkert kivételével - a központi belterület 01-es számát követő nullás számokkal, fekvésüknek megfelelő sorrendben kell végezni.
- Nagyüzemi gazdálkodás alá vont területen visszahagyott földrészleteket (ideértve a tanyákat is) a nullás helyrajzi szám alátörésével kell jelölni oly módon, hogy a legkisebb alátörés a nagyüzemi művelés alatt álló területet jelölje.

A 9.1.1. ábrán az F7. szabályzat szerinti helyrajzi számozásra látunk példát.



9.1.1. ábra: Helyrajzi számozás az F.7. szabályzat alapján

A *DAT1 Szabályzat szerinti előírások* az alábbiak:

- A külterületi földrészletek *0*-sal kezdődő helyrajzi számozása megszűnik.
- A külterületi földrészletek helyrajzi számozását a különleges külterületi – különle-

ges külterület hiánya esetén a belterületi – földrészletek legmagasabb helyrajzi számát követő százeggyel – de legalább ötven szám kihagyásával – kell kezdeni. Indokolt esetben a kihagyandó számok mennyiségét a megyei földhivatal ettől eltérően is előírhatja.

– Ha a közigazgatási egységen belül több külterületi egység van (pl. domínium esetén), a második és a további külterületi egységek földrészleteit az előző külterületi egység földrészleteinek legmagasabb helyrajzi számát követő százeggyel kezdve – de legalább ötven szám kihagyásával – kell számozni. Indokolt esetben a kihagyandó számok mennyiségét a megyei földhivatal ettől eltérően is előírhatja.

A DAT1. szabályzat nem tartalmaz a 9.1.1. ábrához hasonló példát a módosított helyrajzi számozásra.

9.1.2.3. Belterületi földrészletek helyrajzi számozása

- A belterületi földrészletek helyrajzi számait a belterület központjától – több belterület esetén a központi belterület központjától – körkörösen távolodva, fekvésüknek megfelelő sorrendben 1-gyel kezdődő folytatólagos egész számokkal kell jelölni.
- Ha a közigazgatási egységen belül több különálló belterület van, akkor a különálló belterületek földrészleteinek helyrajzi számait - az egyes belterületi egységek elhelyezkedésének sorrendjében - a központi belterületnél, illetőleg az előző belterületnél felhasznált legmagasabb helyrajzi szám után következő százeggyel kezdve – de legalább ötven szám kihagyásával – kell kialakítani. Indokolt esetben a kihagyandó számok mennyiségét a megyei földhivatal ettől eltérően is előírhatja.
- A megyei városok és Budapest főváros földrészleteinek helyrajzi számozására a DAT1-M1[1] 4.(3) bekezdése előírásait kell alkalmazni.
- Az utakat, utcákat és más közterületeket – elnevezésük szerint – általában egy helyrajzi számmal kell megjelölni. Utcák kereszteződése esetén a keskenyebb utcát a szélesebb, egyenlő szélességű utcák esetében a rövidebb utcát a hosszabb utca határvonalánál le kell zárni és önálló földrészletként számozni. Ha valamely közterület egy része országos közút átkelési szakasza (az országos közútnak a belterületen áthaladó része), az országos közút területét (Budapest főváros kivételével) az átkelési szakasszal érintett egyéb közterülettől elkülönítetten kell számozni.

9.1.2.4. Helyrajzi számozás földrészletek változásakor

A földrészletek változásával kapcsolatos helyrajzi számozás a földrészletek megosztása, vonalas létesítmény keletkezése vagy változása, földrészletek összevonása, közigazgatási egység határvonalának változása, közigazgatási egységek egyesítése, új település alakulása, valamint az ún. *fekvéshatár* változása esetén fordul elő. A helyrajzi számozás földrészletek változásakor aktuális előírásait a DAT1. Szabályzat 3.4.3. fejezete tartalmazza. A helyrajzi számozáshoz kapcsolódó ábrák az F7. Szabályzat mellékletei között találhatók.

9.1.3. A földmérési alaptérkép domborzati tartalma

A földmérési alaptérkép domborzati tartalmának leírásakor itt is hivatkoznunk kell mind az F7., mind a DAT1. Szabályzatra.

Az F7. szabályzat szerinti előírások:

[1] DAT1-M1 melléklet: A digitális alaptérkép adatbázisának szerkezete, adattáblázatai, adatcsereformátuma és kezelési szabályai. BUDAPEST, 1996.

- A domborzatot szintvonalas ábrázolással és ennek kiegészítéseként a jellemző (kúppont, nyeregpont stb.), valamint előírt síkrajzi pontoknak magassági megírásával kell feltüntetni.
- A topográfiai térképről a szintvonalakat felnagyítással kell átvenni.

A DAT1. szabályzat szerinti előírások:

- A domborzat ábrázolása a digitális alaptérkép síkrajzához illeszkedő felbontással és részletezéssel történik.
- A domborzatot szintvonallal és jelkulcsi elemekkel kifejezve vagy domborzatmodell formájában kell szerepeltetni.
- A domborzat digitális változatának létrehozása digitalizálással, fotogrammetriai vagy terepi felméréssel történik.
- Ahol a beépítettség nem teszi lehetővé a szintvonalas domborzatábrázolást, ott kótált pontokkal kell a magassági viszonyokat ábrázolni.
- Ha a digitális térkép előállítására vonatkozó műszaki terv úgy írja elő, akkor az 1:10000 méretarányú topográfiai térképről a szintvonalakat át lehet venni.
- Az alapszintköz értéke (3.2.1. fejezet) - számos külterületen és az 1:10000 topográfiai térképről történő szintvonal átvétel esetén - síkvidéken 1 m, buckás területeken 2 m, domb- és hegyvidéken 2.5 m, ill. 5 m lehet.
- Alapszintvonallal ki nem fejezhető domborzati részletidomoknál (nyereg, pihenő, lejtőátmenet stb.) felező szintvonalakat kell alkalmazni (3.2.1. fejezet).
- Állóvizeknél (természetes és mesterséges tavaknál) a meder mélységi viszonyainak kifejezésekor a folyóvizek partvonalán belül a meder mélységi viszonyait nem kell megadni. Relatív magassági adattal kell viszont megadni az ábrázolt árkok mélységi adatait. A vonatkozási ponthelyet az árok közepében kell feltüntetni.

9.2. Az ingatlan-nyilvántartás

Magyarországon az első földadókataszter terve II. József császár nevéhez fűződik, aki megkísérelte az általános földadó bevezetését. Adórendszerének lényege volt, hogy

- a föld állandó alapja lehet az adónak,
- az úri, egyházi, jobbágyi földek egyforma elbírálást élveznek,
- az adót a föld nagysága, termékenysége és a termék ára szerint kell megállapítani.

II. József tudta, hogy elképzeléseit a nemesek ellenállása miatt csak erőszakkal tudja végrehajtani, a megyéket katonaság szállta meg, majd elkezdődött az ország területének felmérése, ami kataszter alapját is képezte.

Ma az ingatlan-nyilvántartás törvényi hátterét az 1997. évi CXLI. törvény és a végrehajtásáról szóló 109/1999. (XII.29.) FVM rendelet biztosítja.

Ez a törvény a *gépi adatfeldolgozású ingatlan-nyilvántartás* szabályait határozza meg. A gépi adatfeldolgozású ingatlan-nyilvántartás az 1972. évi 31. törvényerejű rendelettel bevezetett ingatlan-nyilvántartásnak gépi adathordozóra változatlan formában felvett tartalma.

A gépi adatfeldolgozású ingatlan-nyilvántartás tartalma az azt kezelő számítástechnikai eszközzel olvasható és kinyomtatott formában is megjeleníthető, ahogyan azt e törvény és végrehajtási rendelete szabályozza.

9.2.1. Az ingatlan-nyilvántartás tárgya

A tulajdonjog ingó és ingatlan tárgyakat különböztet meg. Az ingatlan-nyilvántartás tárgya maga az ingatlan. Az ingatlan-nyilvántartás tárgyát képező ingatlanok lehetnek ún. önálló ingatlanok, ill. önállónak nem tekinthető „külön” ingatlanok.

Az *önálló ingatlanoknak* két fajtája van, a földrészlet és az egyéb ingatlan.

A földrészlet fogalmát a 9.1.1. fejezetben tisztáztuk. A földrészleten kívül önálló ingatlannak kell tekinteni az alábbiakat:

- az épületet, a pincét, a föld alatti garázst és más építményt, ha az nem, vagy csak részben a földrészlet tulajdonosának a tulajdona,
- a társasházban levő öröklakást, illetőleg külön tulajdonban álló, nem lakás céljára szolgáló helyiséget,
- a szövetkezeti házban levő szövetkezeti lakást, illetőleg külön tulajdonban álló, nem lakás céljára szolgáló helyiséget,
- a közterületről nyíló pincét (föld alatti raktárt, garázst stb.) függetlenül annak rendeltetésétől.

9.2.2. Az ingatlan-nyilvántartás elvei

Az ingatlan-nyilvántartás elvei az alábbiakra terjednek ki:

A bejegyzés és annak hatálya:

Az ingatlanok bejegyzése a tulajdoni lapon okirat alapján történik. A bejegyzés megkülönbözteti az átruházáson alapuló tulajdonjogot, a szerződésen alapuló vagyonkezelői jogot, a földhasználati jogot, a haszonélvezeti jogot és a használat jogát, a telki szolgalmi jogot és a jelzálogjogot.

Nyilvánosság:

Az ingatlan-nyilvántartás nyilvános. A tulajdoni lap tartalma korlátozás nélkül megismerhető: azt bárki megtekintheti, arról feljegyzést készíthet vagy hiteles másolatot kérhet. A tulajdoni lapról hiteles másolatok adhatók ki.

Közhitelesség:

Az ingatlan-nyilvántartás - ha törvény kivételt nem tesz - a bejegyzett jogok és a feljegyzett tények fennállását hitelesen tanúsítja. Ha valamely jogot az ingatlan-nyilvántartásba bejegyeztek, illetve, ha valamely tényt oda feljegyeztek, senki sem hivatkozhat arra, hogy annak fennállásáról nem tudott.

Kérelemhez kötöttség:

A jogok és jogilag jelentős tények bejegyzésére, illetőleg feljegyzésére irányuló ingatlan-nyilvántartási eljárás az ügyfél kérelmére vagy hatósági megkeresésre indul. Az ingatlan-nyilvántartásba csak az a jog, jogilag jelentős tény jegyezhető be, illetőleg kerülhet feljegyzésre, amelyet a kérelem vagy hatósági megkeresés megjelöl.

Rangsor:

Az ingatlan-nyilvántartásban a bejegyzések rangsorát a bejegyzés, ill. feljegyzés iránt benyújtott kérelem iktatási időpontja határozza meg. Ranghelyet csak olyan kérelemmel lehet alapítani, amelyhez a bejegyzés alapjául szolgáló okiratot is mellékelték

Okirat elve:

Az ingatlan-nyilvántartásban jog és jogilag jelentős tény bejegyzésére, adatok átvezetésére csak jogszabályban meghatározott okirat vagy hatósági határozat alapján kerülhet sor.

Az ingatlan-nyilvántartást vezető szervezet:

Az ingatlan-nyilvántartás vezetése, valamint az ingatlan-nyilvántartási ügyek intézése az ingatlan fekvése szerint illetékes körzeti földhivatalok (Budapesten a Fővárosi Kerületek Földhivatala) hatáskörébe tartozik. A körzeti földhivatalok a megyei földhivatalok, ill. Budapesten a Fővárosi Földhivatal hatáskörébe tartoznak.

9.2.3. Az ingatlan-nyilvántartás tartalma

Az ingatlan-nyilvántartás településenként tartalmazza az ország valamennyi ingatlanának adatait, az ingatlanhoz kapcsolódó jogokat és a jogi szempontból jelentős tényeket.

Az ingatlan adatai:

- a település neve, az ingatlan fekvése (belterület, külterület megjelölése), a belterületen lévő ingatlannál az utca (tér, krt., stb.) neve és házszáma, a helyrajzi szám és az ingatlan területének nagysága,
- művelési ága, ill. és a művelés alól kivett terület elnevezése,
- minőségi osztálya, kataszteri tisztajövedelme,
- ingatlan-nyilvántartási szempontból szükséges egyéb adatok,
- a jogosultak adatai.

Az ingatlan-nyilvántartásba bejegyezhető jogok:

- tulajdonjog, illetőleg állami tulajdonban álló ingatlan esetében az állam tulajdonosi jogait gyakorló szervezet és a vagyonkezelői jog,
- a lakásszövetkezeti tagot megillető állandó használati jog,
- megállapodáson és bírósági határozaton alapuló földhasználati jog,
- haszonélvezeti jog és használat joga,
- telki szolgalmi jog,
- állandó jellegű földmérési jelek, földminősítési mintaterek, valamint villamos berendezések elhelyezését biztosító használati jog, továbbá vezetékjog, vízvezetési és bányaszolgalmi jog, valamint törvény rendelkezésén alapuló közérdekű szolgalmak és használati jogok,
- elő- és visszavásárlási, valamint vételi jog,
- tartási és életjáradéki jog,
- jelzálogjog (önálló zálogjog),
- végrehajtási jog.

Az ingatlan-nyilvántartásba feljegyezhető tények közül a kisajátítási és telekalakítási eljárás megindítása tekinthető a geodéziához közvetlenül kapcsolódónak.

9.2.4. Az ingatlan-nyilvántartás részei

Az ingatlan-nyilvántartás az erre meghatározott számítógépes adathordozón rögzített, olvasható formában megjeleníthető tulajdoni lapból, a tulajdoni lapról megszűnt bejegyzések adatainak jegyzékéből, az okirattárból és az ingatlan-nyilvántartási térképből áll. *Ingatlan-nyilvántartási térképként* a számítógépes adathordozón rögzített földmérési alaptérképet kell használni. Az ingatlan-nyilvántartási térképpel azonos módon kell kezelni az egyéb önálló ingatlanok alaprajzát.

Az ingatlan-nyilvántartásban az ingatlan adatait, az ingatlanhoz kapcsolódó jogokat és jogilag jelentős tényeket, vagyis az ingatlan-nyilvántartás tartalmát a számítógépen kezelt **tulajdoni lapon** jegyzik be. A *tulajdoni lapokat* településenként egytől kezdődően számozzák. A tulajdoni lap száma mellett minden tulajdoni lapon a település nevét is feltüntetik. Az ingatlan-nyilvántartás számítógépes rendszerében az ingatlan *tulajdoni lapjának száma megegyezik a helyrajzi számmal*. Egyes ingatlanok sajátos nyilvántartási szempontjaira figyelemmel a tulajdoni lap - egymással összetartozó - tulajdoni törzslapként és tulajdoni külön lapként is vezethető.

A számítógépes adathordozóról megjelenített *tulajdoni lap három részből* áll:

Az I. rész az ingatlan adatait, a II. és a III. rész az ingatlanhoz kapcsolódó jogokat, illetve annak jogosultjait, valamint az ingatlanra és a jogosultakra vonatkozó tényeket tartalmazza.

A **törölt bejegyzések jegyzéke** az ingatlan-nyilvántartás egyik alapvető része. Az ingatlan-nyilvántartás számítógépesítése előtt jelentősége nem volt. Az analóg, papír alapú nyilvántartás külön szabályozást nem igényelt, hiszen a tulajdoni lapról törölt bejegyzések áthúzva a tulajdoni lapon maradtak.

Az **okirattárban** találhatók a bejegyzések alapjául szolgáló okiratok, ezek hitelesített másolatai, a bejegyzés iránti kérelmek, a megkeresések, valamint az ingatlan-nyilvántartási ügyben keletkezett egyéb iratok. Az okirattárban lévő iratokat a földhivatal egyéb irataitól elkülönítetten kezelik. Az okirattárban lévő iratok a köziratokról, a közlevéltárakról és a magánlevéltári anyag védelméről szóló 1995. évi LXVI. törvény hatálya alá tartoznak.

9.2.4.1. Az ingatlan-nyilvántartási térkép

Az ingatlan-nyilvántartási térkép számítógépes adathordozón (digitális formában) rögzített földmérési alaptérkép, ha e térkép a településről elkészült és azt az erre előírt eljárás során előzetesen hitelesítették.

Az *ingatlan-nyilvántartási térkép* az ingatlan-nyilvántartás szempontjából a következőket tartalmazza:

- a település neve és térképszelvény száma,
- a település közigazgatási határvonala, valamint a belterület, külterület határvonala,
- földrészlet határvonala és helyrajzi száma,
- épület, építmény,
- alrészlet határvonala, jelzése és megnevezése,
- a földminősítési mintatér, valamint a földminősítéssel megállapított minőségi osztályok határvonalai,
- dűlőnév, utcanév és házszám,
- közterületről, illetve más ingatlanáról nyíló pince bejárata.

Az *egyéb önálló ingatlanok* alaprajza 1:100, vagy annál nagyobb méretarányban ábrázolja az ingatlan elhatároló vonalait. Az alaprajzon feltüntetik a település nevét, az ingatlan utca, házszám, emelet és ajtószám szerinti megjelölését, továbbá az önálló ingatlan sorszámát és alapterületét.

9.2.5. Az ingatlan-nyilvántartás módja

A számítógéppel vezetett ingatlan-nyilvántartás tulajdoni lapját ingatlanonként, tehát minden ingatlant külön tulajdoni lapon vezetik.

A *nyilvántartás alapvető előírásai* a következők:

- Az ingatlan területét méterrendszerben (hektár, négyzetméter) kell nyilvántartani.
- A mező- és erdőgazdasági művelés alatt álló földet - a rendszeres földhasznosítási módra tekintettel, a természetbeni állapotnak megfelelően - szántó, rét, legelő, szőlő, kert, gyümölcsös, nádas, erdő és fásított terület művelési ágban, illetve halastóként kell nyilvántartani. Művelés alól kivett területként kell nyilvántartani a mező- vagy erdőgazdasági művelés alatt nem álló földet.
- A település belterületének 1 ha-t meg nem haladó földrészletét - a fő hasznosítási módra tekintet nélkül - művelés alól kivett területként kell nyilvántartani.
- A mező- és erdőgazdasági művelés alatt álló vagy arra alkalmas, illetőleg alkalmassá tett föld minőségét osztályba sorozással - a természetbeni állapotnak megfe-

lelően - kell megállapítani. A föld minőségeként a minőségi osztályt és az annak megfelelő kataszteri tiszta jövedelmet kell feltüntetni.

- A területegységre vonatkozó kataszteri tiszta jövedelmet (tiszta jövedelmi fokozat), továbbá egyes települések földminősítési szempontból történő besorozását, a besorozás megváltoztatását a pénzügyminiszterrel egyetértésben a földművelésügyi és vidékfejlesztési miniszter határozza meg.

Az ingatlan-nyilvántartás módja szabályozza a *szántó, rét, legelő, szőlő, kert, gyümölcsös, nádas, halastó* művelési ágak nyilvántartását. Az alábbiakban csak az *erdő művelési ágra* vonatkozó nyilvántartási előírásokat foglaljuk össze.

Erdő művelési ágban kell nyilvántartani az

- erdő által elfoglalt területet, ideértve a beerdősült és az időlegesen igénybe vett, valamint az erdőn belül előforduló nyiladékok, tűzpászták és faültetvények által elfoglalt területet is,
- a legalább három sor fával fedett területet (erdősávot),
- azt a területet, amelyen az erdő telepítését (magvetést, csemeteültetést, dugványozást) elvégezték.

Erdő művelési ágba tartozik az 5000 m^2-t meghaladó kiterjedésű külterületen található fasor, facsoport, gyárak, üzemek és egyéb ipari létesítmények, valamint a majorok bekerített területén lévő, tanyák területéhez tartozó, erdei fafajokkal fedett terület. Ugyancsak ide tartozik az 5000 m^2-t elérő vagy annál nagyobb kiterjedésű út, vasút, egyéb műszaki létesítmény tartozékát képező patak, csatornát szegélyező fasor, a folyó medrében keletkezett, időszakosan vízzel borított önálló földrészletnek minősülő zátony, ha azokat erdei fafajok fedik.

A fásított terület művelési ágban történő nyilvántartásról a jogszabály külön rendelkezik.

Fentieken túlmenően a jogszabály részletesen tárgyalja az egyéb művelési ágak, a művelés alól kivett területek, az alrészlet, a társasház, a szövetkezeti ház és az önálló épületek nyilvántartásának szabályait.

9.2.6. A földhivatalok rendszere

Az ingatlan-nyilvántartás vezetése, az ingatlanokkal kapcsolatos ügyek intézése az ingatlan fekvése szerint illetékes földhivatal (vidéken a körzeti földhivatalok, a fővárosban a Fővárosi Kerületek Földhivatala) hatáskörébe tartozik. Az ingatlan-nyilvántartást a földhivatalok településenként, azon belül fekvésenként (belterület, külterület, korábban zártkert is) vezetik. Az ingatlanok nyilvántartását és az ingatlanokkal kapcsolatos ügyek intézését első fokon a körzeti földhivatalok látják el.

A körzeti földhivatal felettes szerve a megyei földhivatal, illetve Budapesten a Fővárosi Földhivatal, amely egyben a körzeti földhivatalok szakmai irányítását, felügyeletét, ellenőrzését is ellátja.

A megyei földhivatalok szakmai irányítását, felügyeletét, ellenőrzését a Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium látja el.

9.2.6.1. A földhivatalok felépítése és feladatai

A földhivatal a hivatalvezető irányításával, a vonatkozó hatályos jogszabályok előírásai szerint végzik munkájukat az alábbi szervezeti felépítésben:

Ingatlan-nyilvántartási osztály:

Feladatkörébe tartozik a tulajdoni lapot érintő valamennyi ügy intézése függetlenül attól, hogy az ingatlan adataiban a bejegyzett jogok, tények tekintetében történt-e változás. A

változásvezetés során a tulajdoni lapon történt bejegyzésről az ügyintéző határozatot hoz, amit megküld az ügyfélnek. Feladata a bejelentett változások alapján a tulajdoni lapon szereplő személyi és cégadatok karbantartása.

Földmérési osztály:

Alapfeladata az ingatlan-nyilvántartási térképet érintő változások előzetes és végleges vezetése. Az ügyfél megrendelésére meghatározott szolgáltató (földmérési) tevékenységet végez. Kiemelt hatósági feladata a földmérő vállalkozások által készített munkák vizsgálata és záradékolása.

Földvédelem, földminősítés és földhasználati osztály:

A körzeti földhivatalok jelentős hányadában nem önálló osztály végzi ezt a feladatot. Munkája során elsődleges feladata a termőföld minősítése és védelme, a termőföld rendeltetésszerű használata, más célú hasznosítás engedélyezése és az engedély nélküli hasznosítás felderítése.

Ügyfélszolgálat, adatszolgáltatás:

A körzeti hivatalok többségében önálló ügyfélszolgálat működik, melynek feladata az ügyfelek részére történő adatszolgáltatás. Az adatszolgáltatásért jogszabályban meghatározott összegű díjat kell fizetni.

Adatok beszerzése és tárolása

- Térképek, alappontok, egyéb állami alapadatok beszerzése: az adatigénylést írásban, Adatkérő lapon kell benyújtani, a földmérési jogosultság igazolásával. Az adatokért jogszabályban meghatározott térítési díjat kell fizetni.
- A FÖMI Adat és Térkép Osztályán tárolják:
  - az országos felső és IV. rendű vízszintes és I-III. rendű magassági alappontokat számítógépes nyilvántartással,
  - a földmérési alaptérkép példányait az utolsó sokszorosításkor,
  - a topográfiai és tematikus térképeket,
  - az államhatár mérések munkarészeit,
  - a légi- és űrfelvételeket.
- A megyei földhivatalokban tárolják:
  - az I-V. rendű vízszintes és I-IV. rendű magassági alappontokat,
  - az alaptérképek eredeti, és sokszorosított példányait,
  - a numerikus munkák munkarészeit,
  - a topográfiai térképek egy sorozatát (1:10000 és 1:25000),
  - az archivált térképtári anyagok mikrofilmjeit,
  - a talajosztályozási (földminősítési) térképeket.
- A körzeti földhivatalokban tárolják:
  - a nyilvántartási térképeket, átnézeti térképeket, mérési vázlatokat.
  - a körzet-, község és fekvéshatárok, birtokhatárok koordinátajegyzékét,
  - a területjegyzéket és függelékét,
  - a sajátos célú földmérési munkákat,
  - az ingatlan-nyilvántartás egyéb munkarészeit: tulajdoni lap stb.

A munkarészek hagyományos formában, mikrofilmen, vagy számítógépen kezelhető formában állnak rendelkezésre. Nyilvántartásuk is könyvben, vagy számítógépes programmal történik.

9.3. A földmérési alaptérkép tartalmát érintő geodéziai munkák

9.3.1. A sajátos célú földmérési és térképészeti tevékenység

Sajátos célú földmérési és térképezési tevékenységnek nevezünk minden olyan geodéziai munkát, mely nem az egységes országos alappont-hálózatok létesítésével, fenntartásával, vagy az országos rendszerbe tartozó térképek készítésével és nyilvántartásával foglalkozik.

Ilyen tevékenységek az alábbiak:

- A beruházásokkal, felújításokkal kapcsolatos földmérési és térképészeti munkák:
  - tervezéshez szükséges térképek készítése (beruházási alaptérkép),
  - kitűzési méretek megállapítása és a kitűzés végrehajtása (tervezési térkép),
  - a megvalósult állapot folyamatok felmérése (állapottérkép),
  - megvalósulási térkép készítése.
- a kisajátítás (birtokbavétel) földmérési és térképészeti munkái,
- általános és részletes város/község-rendezéshez szükséges térképek készítése,
- telekalakítások földmérési és térképészeti munkája,
- mező- és erdőgazdaságok üzemi térképeinek készítése,
- a földrendezési eljárással kapcsolatos földmérési és térképészeti tevékenység,
- a talajvédelemmel, vízgazdálkodással kapcsolatos földmérési és térképészeti tevékenység,
- létesítmények, ipari üzemek üzemeltetésével kapcsolatos földmérési és térképészeti tevékenység,
- tematikus térképek készítése.

A sajátos célú földmérési és térképészeti tevékenység körébe tarozó feladatok általában (az esetek többségében) az ingatlan-nyilvántartás tartalmát érintő változást eredményeznek. Az e változásokkal kapcsolatos munkákról az F2. szakmai szabályzat rendelkezik.

Néhány fontos fogalom:

Megvalósulási térkép: a beruházás befejezésének állapottérképe. Általában a földmérési alaptérkép méretarányában készül, tartalma és pontossága megegyezik a földmérési alaptérképre érvényben lévő szabályzatokban előírt követelményekkel. Készülhet nagyobb méretarányban és nagyobb pontossággal is, ilyenkor az M.1. Mérnökgeodéziai Szabályzatot, illetve annak pontossági előírásait alkalmazzák.

Változási vázrajz: az ingatlan-nyilvántartási térkép tartalmához kapcsolódó, az állami alapadatok változását dokumentáló analóg, illetve digitális földmérési munkarész.

Telekalakítás: azon eljárás, amelynek során új építési telket létesítünk. Az eljárás során *változási vázrajzot* és *területkimutatást* készítünk. A két munkarész együttesen a telekalakítási terv.

Kisajátítás (területigénybevétel): a nem állami tulajdonban lévő ingatlanok tulajdonjogának megszerzése állam, társadalmi szervezet részére államigazgatási eljárás útján kártalanítás ellenében. Az eljárás során kisajátítási terv, illetve vázrajz készül.

9.3.2. A változási vázrajz

9.3.2.1. A változási vázrajz fajtái

- Közigazgatási egységek határvonalának változásával összefüggő változási vázrajz,
- földrészlethatár változásával összefüggő vázrajz
- kisajátítással összefüggő változási vázrajz (térkép),
- Földrészleten belüli változásokkal összefüggő változási vázrajz.

Az ingatlan-nyilvántartási térkép tartalmában változást nem eredményező alábbi vázrajzokat a változási vázrajzokkal együtt kezelik:

- kitűzési vázrajz és vázlat,
- felmérési vázlat,
- földrészleten belüli használati megosztással összefüggő vázrajz.

9.3.2.2. A változási vázrajz előállítására vonatkozó előírások

- **Általános előírások**
  - A változási vázrajz az ingatlan-nyilvántartási térkép méretarányában készül.
  - A változási vázrajz északi tájolású, vagy azon az északi irányt fel kell tüntetni.
  - A címfelirat tartalmazza a település nevét, a helyrajzi számát, stb.
  - Digitális földmérési alaptérkép esetén a változási vázrajzot és a hozzá tartozó területkimutatást analóg formában is ki kell nyomtatni.
- **Aláírások és záradékok**
  - A változási vázrajzot „A változás akaratunknak megfelelően történt" záradékkal kell ellátni. A záradékon fel kell tüntetni az időpontot, valamint a készítő, a minőséget tanúsító és a vizsgáló aláírását.
  - A munkát készítő, illetve a minőséget tanúsító személynek ingatlanrendező földmérői minősítéssel kell rendelkeznie, amelynek számát a záradékon fel kell tüntetni.
- **Rajzi tartalom**
  - A vázrajzon a változás előtti, valamint a változás után keletkező térképi állapotot az érvényes, valamint az előzetes változásokkal kiegészített ingatlan-nyilvántartási térképpel azonos tartalommal kell ábrázolni. Ezen belül ábrázolni kell a meglévő és az új földrészletek és alrészletek, alosztályok határvonalait, helyrajzi számát, ill. betűjelét, valamint a művelési ág, alosztály jelét.
  - Az épületről készített változási vázrajzon fel kell tüntetni az új, vagy változott épületet, az utcanevet és házszámot.
- **Területkimutatás tartalma, változás előtti rész**
  - a változás előtti helyrajzi számok növekvő sorrendben,
  - a földrészletek, illetve az alrészletek betűjele, művelési ága és minőségi osztálya,
  - a földrészletek, alrészletek és alosztályok területi, és kataszteri tiszta jövedelmi adatai,
  - a földrészletek területének összege.
- **Területkimutatás tartalma, változás utáni rész**
  - a változás utáni helyrajzi számok növekvő sorrendben,
  - a földrészletek, illetve az alrészletek betűjele, művelési ága és minőségi osztálya,
  - a földrészletek, alrészletek és alosztályok területi és kataszteri tiszta jövedelmi adatai,
  - az alrészletek (alosztályok) területének és kataszteri tiszta jövedelmének összege földrészletenként,
  - a földrészletek területének összege,
  - a változás utáni tulajdoni állapot (amennyiben a megrendelő kéri és az adatokat biztosítja).

A megváltozott területi adatokat a munkarészekhez csatolt területszámítási jegyzőkönyvből kell átvenni. Numerikus területszámítás, illetve digitális állami földmérési alaptérkép esetén a változás utáni terület a koordinátákból számított és m^2-re kerekített érték. A változás előtti és utáni területek összegének a hibahatáron belül meg kell egyeznie.

- **Egyéb rendelkezések**
  - A *kisajátítási térképet* és a hozzá tartozó *területkimutatást* a 11/1977. (III. 11.) MÉM rendelet szerint kell elkészíteni.
  - Az *erdő* művelési ágba tartozó földrészlet változási vázrajzának elkészítéséhez – az erdőről és az erdő védelméről szóló 1996. évi LIV. törvény 74. és 75. §-aira figyelemmel – az erdészeti szakhatóság előzetes hozzájárulása szükséges.

9.3.2.3. A változási vázrajz készítésének földmérési előírásai

A változási vázrajzot az érvényben lévő ingatlan-nyilvántartási térkép előállításánál alkalmazott szabályzatban előírt mérési, térképezési és területszámítási pontossággal, valamint tartalommal, az ingatlan-nyilvántartási térkép (adatbázis) és szükség esetén az országos alapponthálózatok hiteles adatainak felhasználásával kell elkészíteni.

Külterületen a 21/1995. (VI.29.) FM rendelet szerint a változási vázrajz csak numerikus úton készíthető.

A változás után keletkező új határpontokat a természetben ki kell tűzni, és meg kell jelölni.

Amennyiben a változási vázrajz készítéséhez alappontsűrítést kell végezni, a felmérő szerv - rendűségre tekintet nélkül – köteles azt a megyei földhivatalhoz bejelenteni.

Ha a változási vázrajz készítéséhez vízszintes alappontsűrítés szükséges, azt a vonatkozó szakmai szabályzat előírásai szerint kell elkészíteni, és az ott előírt munkarészeket kell a megyei földhivatalnak átadni.

9.3.2.4. A földrészletek határvonalának azonosítása és ellenőrzése

A földrészletek határvonalának azonosítását és ellenőrzését – függetlenül attól, hogy az milyen célból történik – a következők szerint kell végezni:

Az ingatlan-nyilvántartási térkép felhasználásával készülő sajátos célú földmérési munkák megkezdése előtt a földmérési munkával érintett terület ingatlan-nyilvántartási adatainak – digitális térképek esetében az attribútumokra is kiterjedően – egymással, valamint a helyszíni állapottal való összhangját ellenőrizni kell.

A földrészletek határvonalának helyszíni ellenőrzése során össze kell hasonlítani a rendelkezésre álló mérési adatokat, ill. a nyilvántartási térképről mért adatokat a helyszíni ellenőrző méretekkel. Az ellenőrző méreteket – a mérési jegyzeten, vázlaton stb. – a többi adattól eltérő módon kell dokumentálni (9.3.1. ábra).

A térképi és természetbeni állapotot azonosnak kell tekinteni és a terepmunkához a természetbeni állapotot, az irodai feldolgozáshoz a térképi állapotot és a nyilvántartott területi adatokat kell kiindulásként elfogadni, ha

- azok szabatosan felmért területen megtalálhatók,
- a földrészletről korábbi munkarészekben (felvételi előrajzon, mérési vázlaton stb.) számszerű mérési vagy kitűzési adatok állnak rendelkezésre és az eredeti számszerű méretek, valamint az ellenőrző méretek közötti eltérés nem nagyobb ±30 cm-nél, illetve EOTR és régi vetületi rendszerű térképeknél az F2.-ben megadott táblázat értékeinél.

Siklósdi Földmérő Kft.
A munkavégző neve

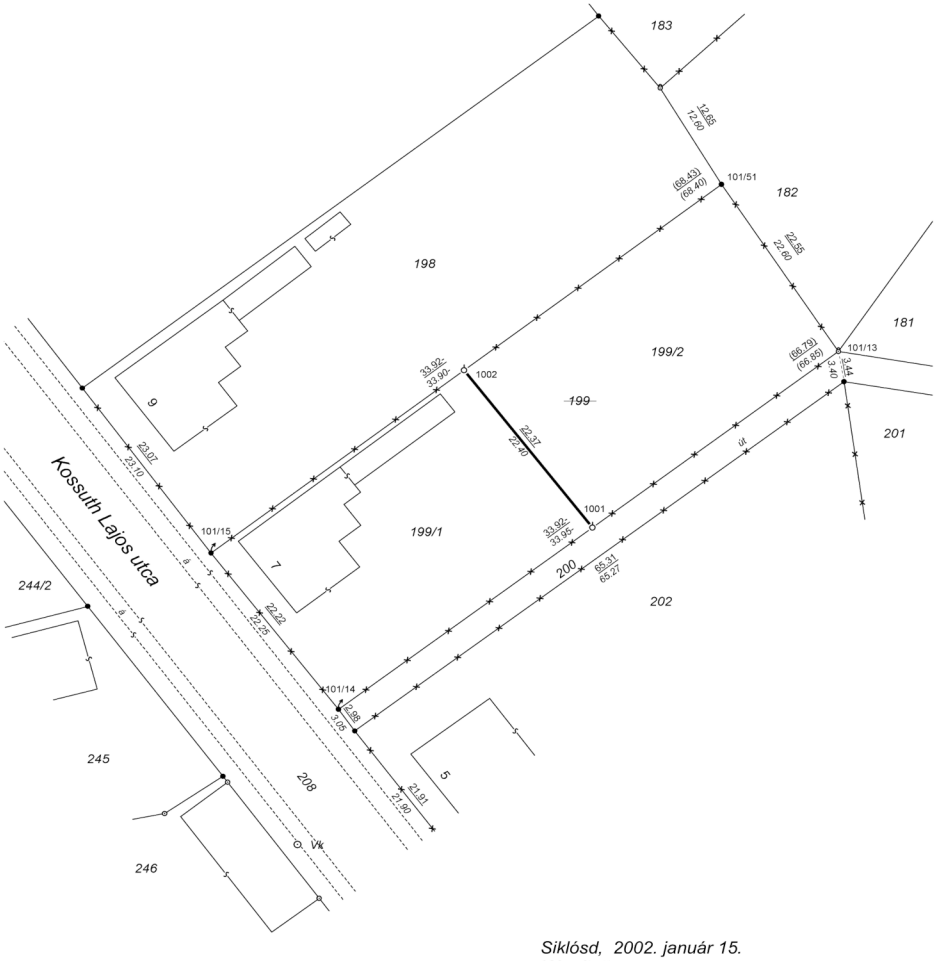
Munkaszám: **101-1/2001.**

Siklósd
belterület Község, város

8. sz. melléklet

MÉRÉSI ÉS SZÁMÍTÁSI VÁZLAT

a 199 helyrajzi számú földrészlet megosztásáról



Siklósd, 2002. január 15.
Készítette:

A megosztott földrészlet új határpontjait fakaróval jelöltem meg.

Kiss István
Készítő

Kovács József
minőséget tanúsító földmérő
Ing.rend.min.sz..: 1459/1995

P.H.

9.3.1. ábra: Földrészlet megosztásának mérési és számítási vázlata

9.3.2.5. Példák a változási vázrajz készítésére

A változási vázrajz készítésére példákat az F2. Szabályzatban találunk. Ezek a következők:

- változási vázrajz telki szolgalmi jog bejegyzéséhez,
- változási vázrajz épületfeltüntetéshez (9.3.2. ábra).

Siklósdi Földmérő Kft.
A munkavégző neve

Munkaszám: **104-1/2001**

Siklósd
belterület — Község, város

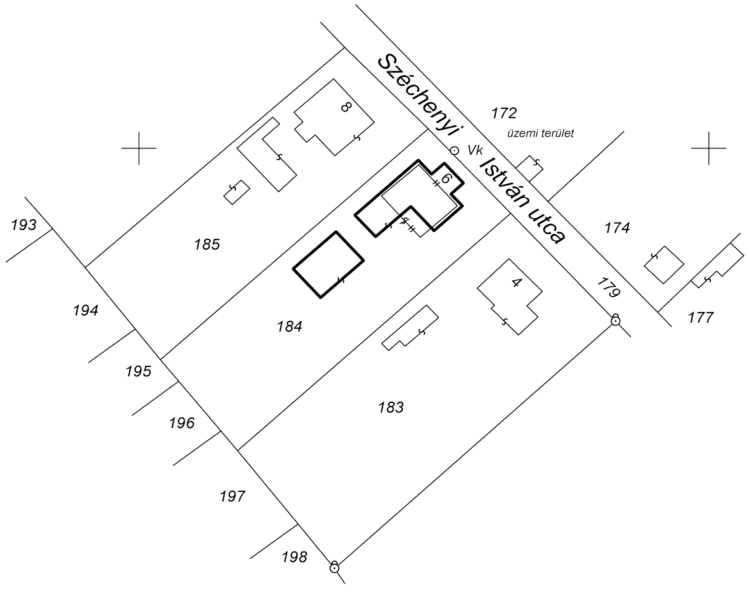
11. sz. melléklet

VÁLTOZÁSI VÁZRAJZ

a 184 helyrajzi számú földrészleten lévő épületekről

Méretarány: 1:1000 Szelvényszám: 99-121-412

(4.12)



Változás előtt							Változás után							
Helyrajzi szám	Alrészlet		Min.o.	Terület		AK	Helyrajzi szám	Alrészlet		Min.o.	Terület		AK	Jegyzet
	jel	műv. ág		ha	m²			jel	műv. ág		ha	m²		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
184	—	Kivett, Lakóház, ud-var	—	—	1375	—	184	—	Kivett, Lakóház, ud-var, gazd. ép	—	—	1375	—	—

Készítette: Siklósd, 2001. június 26.

Kiss István
Készítő

Véglegesen térképezve:

.....
vizsgáló

Ez a változási vázrajz megfelel az érvényben lévő F.2. Szabályzat tartalmi és pontossági előírásainak.

P.H. (körz. fh.)

Ing.rend.min.sz.: .....

Kovács János
minőséget tanúsító földmérő

P.H.

Ing.rend.min.sz.: 1459/1995

9.3.2. ábra: Változási vázrajz épületfeltüntetéshez

9.3.2.6. Földrészletek határvonalának kitűzése

A *kitűzés* (8. fejezet) az a munkafolyamat, amikor a hatályos ingatlan-nyilvántartási térképen (adatbázisban) ábrázolt földrészlet határpontjait kell kijelölni a helyszínen.

Előírások:

- Ha a földrészlet ingatlan-nyilvántartási térképi határvonala eltér a jogerősen megállapított határvonaltól, a kitűzést fel kell függeszteni, és az eltérésről a munkát végző köteles az illetékes körzeti földhivatalt értesíteni.
- Ismételt kitűzés esetén, vagy szomszédos földrészlet kitűzésénél a korábbi munkarészek mérési adatait – pl. mérési és kitűzési vázlat, változási vázrajz, stb. – figyelembe kell venni.
- A kitűzés előkészítése során észlelt felmérési, térképezési vagy területszámítási hiba kiigazítását az illetékes körzeti földhivatalnál kezdeményezni kell. Ilyen esetekben a kitűzési munkálatokat fel kell függeszteni, és csak a földhivatali határozat jogerőre emelkedése után szabad azt folytatni.
- Vizsgálni kell, hogy a térképi ábrázolás összhangban van-e a rendelkezésre álló adatokkal és ezek milyen mértékben használhatók fel a földrészlethatár kitűzésénél.
- A térképi ábrázolás, a mérési és területi adatok összhangja esetén meg kell állapítani a kitűzési méreteket, továbbá azokat a méreteket is, amelyek alkalmasak lehetnek a kitűzéshez felhasználható térkép-terepazonos pontok kiválasztásához.
- A kitűzés előtt ellenőrizni kell az ingatlan-nyilvántartási térkép (adatbázis) és a területi adatok összhangját.
- A földrészlethatár helyszíni kitűzését kitűzési vázlat alapján kell végezni. A vázlaton fel kell tüntetni a kitűzendő és az ellenőrzés céljára felhasználható pontokat, határvonalakat, méreteket és egyéb adatokat.
- A kitűzött határpontokat vízszintes értelemben cm élesen azonosítható jellel kell megjelölni.
- A kitűzésről a megrendelő részére – a főbb kitűzési méreteket tartalmazó – kitűzési vázrajzot kell készíteni (9.3.3. ábra).
- A kitűzés során keletkezett valamennyi munkarész egy példányát az illetékes körzeti földhivatalnak meg kell küldeni.
- Az igazságügyi földmérő szakértő által bírósági eljárásban készített kitűzési vázlatot a bíróság küldi meg a földhivatalnak.

9.4. Föld- és területrendezés

A földterületek tulajdonlásának és használatának kérdése gazdasági és politikai kérdés, melyet a mindenkori társadalmi rendszerek törvényekkel szabályoznak. Azoknak az elveknek és intézkedéseknek az összességét, amelyek a föld birtoklásával összefüggő politikai és gazdasági erőviszonyokat szabályozzák, földbirtok-politikának nevezzük. A föld kiemelt jelentőségét fokozza, hogy területe állandó, gyakorlatilag nem bővíthető, így a birtokszerkezetnek meghatározó szerepe van a mezőgazdasági termelés alakulásában, produktivitásában.

A földbirtok-politika a föld használatát számos eszközzel szabályozhatja: ellenőrizhet birtokforgalmat, korlátozhatja a földszerzés lehetőségeit, befolyásolhatja a kis- és nagyüzemi gazdálkodás arányait és alakulását, stb., mindezekre a történelemben számos példát találhatunk.

A földbirtok-politikának a legáltalánosabban alkalmazott és leghatékonyabb eszköze a földrendezés. Földrendezésnek nevezzük azt az államigazgatási eljárást, mely a mezőgazdasági (erdőgazdasági) rendeltetésű földterületek összevonására, felosztására, átalakítására, tulajdoni és használati viszonyainak rendezésére irányul.

Siklósdi Földmérő Kft.
A munkavégző neve

Munkaszám: **105-1/2001**

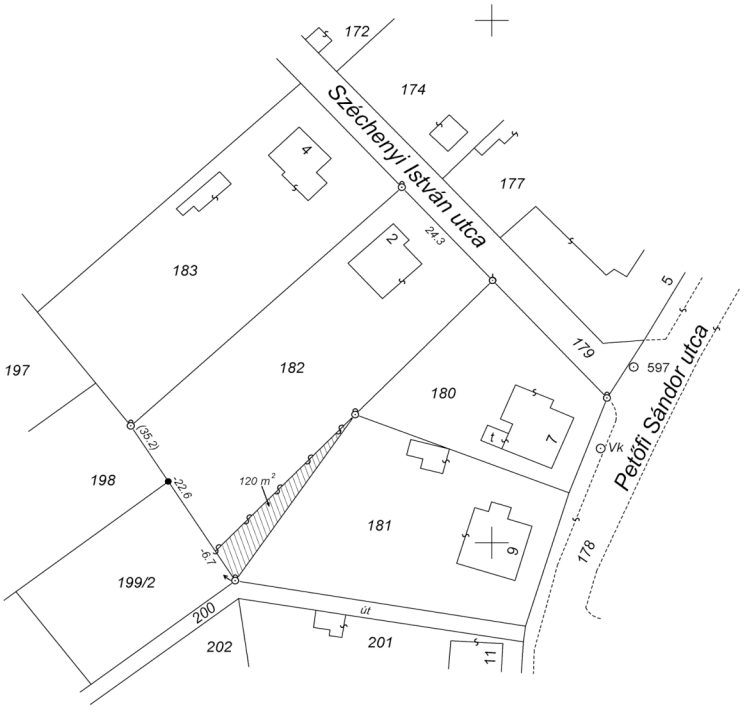
Siklósd
belterület — Község, város

15. sz. melléklet

KITŰZÉSI VÁZRAJZ

a 182 helyrajzi számú földrészletről

Méretarány: 1:1000 — Szelvényszám: 99-121-412 (4.12)



A feltüntetett méretadatok a helyszíni állapotra vonatkoznak és ±0.3 m pontossággal értendők.

A 182 hrsz. földrészlet tulajdonosa a vázrajzon jelölt területrészt nem használja, azt csak a szomszédos 181 hrsz. földrészlet tulajdonosának hozzájárulásával, vagy jogerős közigazgatási határozat vagy bírósági ítélet (egyezséget jóváhagyó végzés) alapján veheti birtokba.

A kitűzött földrészlet határpontjainak megjelölése a jelmagyarázat szerint történt.

Készítette: Siklósd, 2001. június 26.

Kiss István
Készítő

Ez a változási vázrajz megfelel az érvényben lévő F.2. Szabályzat tartalmi és pontossági előírásainak.

Kovács János
minőséget tanúsító földmérő — P.H.
Ing.rend.min.sz.: 1459/1995

9.3.3. ábra: Kitűzési vázrajz

A vázolt feladatok megoldásának *jogi intézményét* az 1999. évi XLVIII. törvénnyel módosított, a termőföldről szóló 1994. évi LV. Törvény és végrehajtási rendelete, az 1996. évi LIV. Törvény és végrehajtási rendelete, stb. jelenti. A földigazgatás gazdája a *Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium Földügyi és Térképészeti Főosztálya (FVM FTF)*, mely felelős az állami földmérési, térképészeti és távérzékelési tevékenység, az ingatlannyilvántartás, a földvédelem és földminősítés, a földbirtok-politika (földtulajdon, földhasználat, birtokrendezés) irányításáért, szabályozási és egyes hatósági feladatainak ellátásáért. A feladatok gyakorlati végrehajtása a földmérő szervezetekre (Rt.-ok, magán-földmérők) és a földhivatalokra hárul.

Az építésügyi törvény szerint a területrendezés (társfogalom) a regionális tervezés és a városrendezés fogalmát összefoglaló elnevezés, amely az építésügyi hatóságok hatáskörébe tartozó lakott területek rendezésére irányul. A területrendezési tervek gazdasági-, társadalmi mérlegelést tartalmazó műszaki-fizikai tervek, amelyek feladata a településhálózat szervezetének és fejlesztésének meghatározása, továbbá az infrastrukturális hálózatok, létesítmények térbeli elhelyezésének, az egyes területek célszerű felhasználásának megjelölése.

Mára megváltozott a földrendezés feladatköre is, fogalma sem ugyanazt jelenti, mint korábban, ma célszerűbb *mezőgazdasági területrendezésről*, vagy *komplex területrendezésről* beszélni.

A politikai változásokkal 2,6 millió ha föld kerül magántulajdonba a privatizáció és a kárpótlási törvény végrehajtása során, ezen felül 5,1 millió hektárnak és kb. 1,5 millió földrészletnek lesz újra nevesített tulajdonosa. A földrészletek magas száma és kis területe, sok esetben nagyon hosszú és nagyon keskeny alakja a gazdaságos hasznosítást akadályozza, esetleg mezőgazdasági művelésre alkalmatlan. Még nagyobb probléma az azonos tulajdonban lévő földrészletek szétszórtsága, melyek gyakran más – más községekben helyezkednek el. E probléma gyors és konfliktus nélküli megoldása a Magyar és a Német Kormány együttműködésével jött létre a TAMA Projekt, egy kísérleti program keretében (1994).

9.4.1. A TAMA Projekt (ÁlTAlános Birtokrendezés MAgyarországon)

A TAMA projekt célja, hogy példaként szolgáljon a későbbi birtokrendezési és tájrendezési eljárásokhoz, kidolgozza a jogi, szervezeti, pénzügyi háttér feltételrendszeréhez kapcsolódó javaslatokat. A cél kitűzésénél a német birtokrendezés tapasztalatai szolgáltak, melyeket a magyar körülményekhez igazítottak. Az ökológiai és ökonómiai szempontok a következők voltak:

I. Fő cél:

- Környezet és piacorientált földművelés és erdészet létrehozása és biztosítása
- a racionálisan hasznosítható és jövedelmező földek megtartása,
- a környezetbarát földművelés biztosítása.

II. Fő cél:

- A természet megújító erejének tartós biztosítása,
- az ökológiai egyensúly megtartása, illetve visszaállítása,
- a természeti veszélyforrások csökkentése.

A 4 megye területére kiterjedő kísérleti program levezetésére egy munkacsoport alakult, amelyben együttműködő partnerek az alábbiak voltak:

A szervezésben magyar részről a Földhivatalok, német részről a Bonni Agrárprojektekkel foglalkozó Társaság (GFA),

A végrehajtásban a magyar partner team az FVM és a Földhivatalok munkatársaiból állt, német részről pedig a Földértékelési Iroda szaktanácsadóiból (BFB).

A munkacsoporthoz négy birtokrendezési megbízott tartozott, akik a négy megye kiválasztott községeinek tulajdonosai, a BFB, valamint a földhivatalok közötti összekötő szerepét töltötték be.

9.4.2. A TAMA projekt folyamatának főbb szakaszai, célkitűzései

Adatgyűjtés, számítógépes feldolgozás, továbbképzés:

- Földbörze (a szétszórt földrészletek cseréje),
- a kataszteri térképek (földmérési alaptérkép) felülvizsgálata, aktualizálása, kiegészítése topográfiai információkkal. Önkormányzati tulajdonú termőföldek összegyűjtése.

Területrendezési terv:

- Védelem biztosítása az arra érdemes területeknek,
- ezen területek ápolása, karbantartása,
- a már környezetvédelmi szempontból károsodott területek rekultivációja.

Birtokrendezési terv:

- Termelési feltételek javítása,
- ökológiai minőség javítása.

Jövőkép kialakítása:

A projekt tapasztalatai alapján az FVM Földügyi és Térképészeti Főosztálya a Nemzeti Kataszteri Program (NKP) keretén belül a birtokrendezéshez biztosítja a jogszabályi feltételeket. A földhivataloknál kialakul a szakmailag biztosított elektronikus adatfeldolgozás, adatkezelés, melyhez a kormány az NKP keretén belül pénzügyi alapot biztosít a folyamatos végrehajtáshoz, fejlesztéshez.

A projekt befejezését követően a kidolgozásban résztvevő szakemberek kialakították tapaszatlataikat, amelyeket és az alábbiakban tették közzé:

- Magyarországon birtokrendezést erről szóló törvényi háttér nélkül további állami finanszírozás hiányában nem szabad kezdeményezni, nem lehet megvalósítani.
- Megállapítható, hogy a vezető szakemberek, nagygazdák támogatják, sőt igénylik a rendezést, a spekulációs célból vásárlók, bérbeadók, öntözött táblák tulajdonosai, idős tulajdonosok ellenzik

A tapasztalatok birtokában a projekt folytatódik. Szervezeti felépítettségét, az elvégzendő feladatokat tekintve eltér elődjétől (TAMA-1). Az újabb, TAMA-2 projekt végrehajtását a SAPARD (vidékfejlesztési) program támogatja. Törvényjavaslat készült az általános birtokrendezésről.

Felhasznált irodalom:

1. Sébor J.: Általános geodézia I-II. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1953., 1955.
2. Hazay I.: Geodéziai kézikönyv I-II. Közgazdasági és Jogi Kiadó, Budapest, 1956., 1957.
3. Szpravocsnyik geodeziszta. Izd. Nedra, Moszkva, 1975.
4. Bácsatyai L.-Bánky J.: Geodézia I. Egyetemi jegyzet. Kézirat, Sopron, 1983.
5. Klinghammer I. - Papp-Váry Á.: Földünk tükre a térkép. Budapest, 1983.
6. Sárközy F.: Geodézia. Tankönyvkiadó, Budapest, 1984.
7. Bácsatyai L.: Geodézia II. Egyetemi jegyzet. Kézirat, Sopron, 1985.
8. Bácsatyai László: „Magyarországi vetületek", 5.2. fejezet, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 1993.
9. Lukács T.-Staudinger J-né-Gross M.: Geodéziai és térképészeti munkák automatizálása. (Nagyméretarányú térképkészítés), Akadémiai Kiadó, Budapest, 1986.
10. Kovács Gy.: Geodéziai alapismeretek. Egyetemi jegyzet. Kézirat, Sopron, 1993.
11. Detrekői Á. - Szabó Gy.: Bevezetés a térinformatikába. Budapest, 1994.
12. Krauter A.: Geodézia. Műegyetemi Kiadó. Budapest, 1995.
13. Czimber K.: Geoinformatika. Soproni Műhely. Kézirat, Sopron, 1997.
14. Ligetvári F. (szerk.) :Földmérési és térképészeti alapismeretek. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 1998.
15. Husti Gy.: Globális Helymeghatározó rendszer (bevezetés) . Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, 2000.
16. Geodéziai műszerek kezelési utasításai (műszergyárak ismertető füzetei)
17. Busics Gy.: Közelítő transzformációk a GPS és az EOV koordináták között. Geodézia és Kartográfia 1996/6.szám, 20-25.old.;
18. Borza T., Kenyeres A., Németh Zs., Virág Gábor: Országos GPS hálózat. Földmérési és Távérzékelési Intézet, Budapest, 1998. Kézirat
19. Tvordy György: Egyetemi doktori értekezés.

Tárgy- és névmutató

3D-geodézia 40
3σ-szabály 91

A4 szabályzat az Egységes Országos Magassági Alapponthálózat létesítési munkáiról 239
A5 szabályzat az országos vízszintes alapponthálózat sűrítésére 236, 245, 246, 247
ábrázolás
alaprajzhű 49
domborzaté 55, 191
ferde megvilágítás alapján 55
helyzethű 49
madártávlati 55
magassági 243, 261
oldalnézetben 55
pillacsíkos 55
raszteres 51, 55
síkrajzi 49, 191
szintvonalas 55, 73
térképi 49, 243
topológiai adat- 53
vektoros 52, 54, 55
vízszintes 243
abszcissza 272
abszcissza-mérés 254
acélrúd
földbevert 46
adatábrázolás 68
digitális térképi 69
GIS 69
topológiai 68
adatállomány 74
adatáramlás 158
adatbázis 10
topológiai 189
adatgyűjtés 74
elsődleges 2, 103
földi 51
közvetlen 103
közvetett 103
másodlagos 2, 103, 185
minőségi 103
mennyiségi 103
adatfeldolgozás 74
adatformátum 182
adathalmaz
strukturált vektoros 186
strukturálatlan 188
adathordozó
analóg 184
adatmodell
analóg 52
raszteres 12, 50, 51, 54, 185
vektoros 12, 50, 51, 52, 54
adatok
mennyiségi 103
minőségi 53, 103
adatrendszer 87
adatrögzítés 168, 248
adatrögzítő 103, 184
terepi 125, 158, 256, 265
adatsűrűség 9, 10, 243
adattároló
egység (GPS-é) 174, **175**
mágneses 125, 158
adó 145, 175
Adriai tenger 237
AGA 170
alapfelület 19
alapháromszög 70
alapkör 82
planiméteré 82
alaplap 65
alappont 39, 63, 64, 65, 165, 220, 227, 240, 243, 245, 246, 247, 248, 253, 256, 261, 273
állandósítása 40
felmérési 40, 42, 192, 209, 222, 233, 236, 245, 247, 248
elsőrendű 199, 235
geodéziai 244
magassági 45, 223, 226, 227, 239, 245, 258, 267, 269
meghatározásának módszerei **191-239**
negyedrendű 41, 199, 206, 222, 235, 236
önálló 194, 209
ötödrendű 192, 206, 222, 246
vízszintes 40, 153, 223, 226, 227, 244, 261, 267
alapponthálózat 4, 245, 254, 267

harmadrendű vízszintes 235
másodrendű vízszintes 235
negyedrendű vízszintes 191, 199
országos 40, 168, 171, 226
vízszintes 40, 139, 191, 195, 206, 230, 233, 236, 267, 270
magassági 40, 191, 227, 230, 231, 267
szintezési 227
alappontmeghatározás munkaszakaszai **192-194**, 222
alappontsűrítés 168, 191, 193, 199, 230, 235, 236, 247, 253, 267
munkaszakaszai 230
ötödrendű 40, 236, 248
alappontszintezés 227, 238
alaprajz 267
alapszál 166
alaptérkép
digitális 244
földmérési 7, 263, 279
topográfiai 7, 263
alapvonal 139, **194-195**, 196, 233, 234, 256, 261, 262, 267
bázis 140
-feltétel 196-197
planiméteré 82
alapvonalfejlesztő hálózat 234
Alder-féle hárfa 80
alhidádé 120, **121**, 128, 136, 156
Állami Erdészeti Szolgálat (ÁESZ) 8, 27, 65, 68, 245
állandósítás 39, 191, 222
negyedrendű alapponté 41
álláspont 75, 96, 133, 146, 152, 154, 166, 167, 168, 169, 198, 221, 226, 261, 265
külpontos 153
állótengely **119**, 120, 121, 122, 125, 130, 131, 148, 156, 157, 160, 161, 261
ferdesége 168
függőlegesítése 261
alsó-geodézia 2, 90, 159
állványfejezet 130
állványösszekötő csavar 130, 131
alrendszer (GPS-é)
felhasználói alrendszer 172, 173, **174-175**
műholdak alrendszere 171, **172-173**
követő állomások alrendszere 171, **173-174**
alrészlethatár 244
analitikus szögegység 5
analóg 50, 63, 115
antenna 181
multipath resistent 177
antenna-egység 174, **175**
anti-aliasing technika 186
aranykorona (érték) 278, 279
aránykörző 84
árbóc 43
arretáló (rögzítő) kar 136
Ascencion 174
Ashtech 174
asztigmatizmus 109
asztralon 50, 65, 66, 83, 85, 184
átmeneti ív 271
attribútum 10, 50, 62, 68, 103, 187
AutoGEO programrendszer 74, 170
automatikus magassági index 122
automatikus rajzgép 72
automatikus térképező berendezés 72
automatizálás 124, 125
azimut 105
földrajzi 22, 104, 123, 136, 192
mágneses 104, 136, 249, 250, 251
azonos pontok 37
azonosító 50

balti (magassági) rendszer 191
Bányai László dr. 171
bázisállomás (bázispont, Base Station) 182, 230, 265
bázishossz 166
bázisléc **142-143**, 144, 145, 165, 168, 221
belőtt szegre erősített csapfej 45
belterület 246, 252
beosztás 159, 162
fő- 112, 113, 115
segéd- 112
segédlépték 113
betoncölöp
fúrt lyukba csömöszölt 46
bevágás 56
Bezzegh László dr. 120, 167
bipód 43
birtokhatár 274
BME (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem) 184

Geodéziai Intézet 171
borított felszín 61
buborék 114, 115, 125, 160, 161, 162, 227
középpont 125
buborékvég 157
busszola 145, 248

célzó kollimátor (dioptra) 122, 133, 142
centrális rendszer 183, 195, 196
centrifugális erő 14
ciklus 176
ciklusugrás 176
Clinton, W. 171
Colorado Springs 174
cövek 42, 43, 261
csapásvonal 58, 59, 61
csillagnap 172
csomópont 107
másodrendű 238
objektívé 107
sokszögelési 218, 220, 247, 248, 252
sokszögvonalé 209, 210, **217**
számítása **217-219**
szintezési 227, 237, 238

Dahlta 167
DAT (digitális alaptérkép szabályzat) 9, 51, 63, 68, 69, 73, 243, 244
dátum, geodéziai 19
dél
földrajzi 21
térképi 22
deklináció (mágneses) 104, 250
derékszögű négyszög
felosztása **275**
derivált 92, 97, 98
parciális 98
DET (digitális erdészeti térkép) 9, **68**
dezarretálás 136
diafragma 111, 161
diagram 166
magassági 166
távolsági 166
diagramkör 167
diagramszál 265
magassági 166, 167, 265
távolsági 166
Diego Garcia 174
DIGITERRA Bt. 9, 68
digitális felületmodell (DFM) 61
digitális plotter 72, 169
digitális rajzgép 74, 169
digitális (kijelző) tabló 168, 227
digitális terepmodell (DTM) 61
digitális térkép
használata 85
digitalizálás 103, 184, 185
félautomata 188
manuális 186, 188
on screen 52, 187
raszteres **185**, 187
soft copy 52, 187
térkép- 244
vektoros 184, 185, **186**
digitalizálók
raszteres 103, 187
vektoros 103
digitalizáló tábla **186**, 187
dimenzió 100
objektumoké 10, 11
tematikus 11
dioptra (célzó kollimátor) 122, 133
disztorzió 109
domborzatábrázolás 4, 264
digitális 61
színfokozatos 57
szintörléses 57
domborzati idomok (formák) 4, 57, **60**, 264
részlet- 60
domborzatrajz 7, 12, 62, 64, 73, 74
DOP (Dilution Of Precision - a pontosság felhígulása) **178**
HDOP 178
PDOP 178
VDOP 178
TDOP 178
Doppler-hatás 176
dőlésszög 269, 270
dpi (dot per inch) 185
drift (órajárás) 175

efemerida 174
fedélzeti 173
Egyenlítő 14, 16, 32, 36, 105, 172
Egyesült Államok 171
egyenesbe állás **268**
egyenesbe intés **267**
egyezményes jelek 8, 49, 62, 64, 243
egyidejű (szimultán) 181, 226

egységár 279
Egységes Országos Magassági Alappont-hálózat (EOMA) 40, 227, 230, **236-239**, 265
elsőrendű 237
harmadrendű hálózat 191
Egységes Országos Vízszintes Alapponthálózat (EOVA) 40, 230, **233-236**
Egységes Országos Térképrendszer (EOTR) 27, 28
ékszög 107
ekvipotenciális felület 15
elektromágneses hullámok 106, 145
elektromágneses jel 145, 149, 150
elektromágneses spektrum 146
elektronikus távmérő 144, **145-148**, 168, 209, 236, 246
elektrooptikai (*fény*-) 146
mikrohullámú (*rádió*-) 146
elemzés 74
elforgatási szög 217, 231
ellentmondás 87
ellentmondásmentes 87
ellipszoid 180
Bessel 19, 24
földi 17
forgási 18
IUGG/1967 19, 24, 231
Kraszovszkij 19, 24
vonatkozási 13, 18, 24
WGS84 19, 24, 104, 192, 230, 231, 232, 239, 241
él megőrző simítás 189
eloszlás
egydimenziós 90
normális 90, 95, 100
előkészítés **192**, 230
előmetszés 199, 256
szögméréses **197-198**, 207, 235, 256
tájékozott irányértékekkel **200-201**, 203, 207, 256
távolságméréses 206, **207-208**, 222, 256
eltolási érték 231
entitás 10
entitástípus 10, 186
EOTR (Egységes Országos Térképrendszer) 27, 68
EOMA (Egységes Országos Magassági Alapponthálózat) 40, 227, 230, **236-239**
EOVA (Egységes Országos Vízszintes Alapponthálózat) 40, 171, 230, **233-236**
erdei útépítés 4
erdei vízépítés 4
Erdészeti Digitális Térképbázis (EDIT) 68
EFE Földmérési és Földrendezői Főiskolai Kar 171
Erdészeti és Faipari Egyetem 167
Erdészeti Térinformatikai Rendszer (ETIR) 68
erdőrendezés 4, 247
Erdőrendezési Szolgálat 68
erdőrészlet 1, 145, 243
Erdőtervezési útmutató 245
eredményvonal 253
erővonal 14
értékosztás 274, **278-279**
értelmezés
minőségi 50
eséstüske 56
észak
földrajzi 21
mágneses 249
térképi 22, 112
észlelési differencia **228**, 238
észlelő állvány 43
eszközök
digitalizálás eszközei 184
szögmérő 105, 116
szögkitűző 105, 116
távolságmérő 105, **138-140**
etalon 91, 93, 147
távolság 147
Európai Űrkutatási Szervezet 171

F7 Szabályzat 279
F7 Szabályzat 63
fázis 147
fáziskülönbség 146, 147, 176
mérés 146, 147
fázismérés 175, 176
fázistávolság 175
fázistoló 146
fázis-többértelműség 176, 183, 184
fedvény (réteg, layer) 11, 52, 54, 186

fekvőtengely **119**, 120, 121, 141, 156, 166, 167, 224, 265
felállás
központos 131, 219
felbontás 185
dinamikai 52
geometriai 51, 62
képi 51
terepi geometriai 52
felbontóképesség 185
leolvasóberendezésé 124
feldolgozás
valós idejű (*real time*) 182
számítógépes 168
felismerés
íveké 189
köröké 189
null-köröké 189
szaggatott vonalaké 189
térképi szimbólumoké és térképi feliratoké (*character recognition*) 189
félpoligon 237
felrakó eszközök 69, **70**, 76
analóg 72
digitális 72
hálózatfelrakó lemez 70, 72
hálózatszerkesztő 70
(hossz)felrakó vonalzó 70, 71, 252
poláris felrakó 70, 71, 72
szögfelrakó 70, 71, 72, 257
felmérési térkép 7, **72**, 83
felső-geodézia 2, 90, 123
féltengely 180
feltétel
irányszög- 212, 213
koordináta- 212, 213
feltételi egyenlet 101, 196, 229
alapvonal- **196**
állomás- **196**
háromszög- **196**
irányszög- **196**
koordináta- 197
oldal- **196**
Fennel 167
fénysugártörés 163
FIR 3
Fisher-teszt 95, 100
fizika 4
fokmérések 5
fokrendszerű beosztás 6
fókusztávolság 108, 109, 140
fólia 66, 192
fordulatszámláló 82
forduló **132**, 198, 235
formátum 68
fotogrammetria 3, 4, 51, 103, 184, 194, 222, 236
fotointerpretáció 3, 50, 103
fototérkép 12, 65, 222
főalappont
magassági 237, 238
főesésvonal **58**, 59, 73
főfeladat 192
első geodéziai 22, 135, 198, 207, 255
második geodéziai 23, 135, 200, 203, 270
főirány 274
lejtőé 58
az állótengely függőlegesítéséhez 121, 130
tájékozott 273
földadó 63
földalatti jel 40, 192
központos 40
földértékegység **279**
föld feletti jel 40
központos 40
földfelszín helyettesítése síkkal 3
földgömb 17
földgörbület 225
Földmérési és Távérzékelési Intézet (FÖMI) 9, 63, 192, 231, 239
FÖMI KGO (Földmérési és Távérzékelési Intézet Kozmikus Geodéziai Obszervatórium) 184, 238, 239, 241
földhivatal 245
Földmérési és Távérzékelési Tanszék 9, 68, 119, 239
Földméréstani Tanszék 167
Földművelési Minisztérium 68
földosztás 2
földrajzi észak **21-22**
földrajzi információs rendszer 1, 3
földrajzi szélesség 17, 104
szintfelületi 17
ellipszoidi 18
földrajzi hosszúság 17, 32, 104
szintfelületi 17
ellipszoidi 18

Földrajzi Információs Rendszer (GIS) 74, 86, 255
földrajzi koordináták 37, 179, 191
földrendezés 274, **281-300**
földrészlet 243, 248, 267, 274, 279
belterületi 243
külterületi 243, 244
földtömegszámítás 264
főpont
alakjelző 267, 271, 273
negyedrendű 199, 235
fősokszögvonal 246, 248
fősugár-vezérlés 157
frekvencia 147, 148, 150, 173
L1 173, 174
L2 173, 174
vivő 173
frikciós (súrlódásos) tengelykötés 156
FTH (Földügyi és Térképészeti Hivatal) 64
funkciógomb 158
futókocsi 144
függélyező (függő) 118
függővonal 15, 16
függővonalelhajlás 18
függvény
lineáris 98
FVM (Földművelési és Vidékfejlesztési Minisztérium) 65

Gauss 92
Gauss-féle összegképletek 79
Gauss-gömb 19, 24, 27
Gellérthegy 27
geocentrikus 180
geodézia
hagyományos 13
geodéziai négyszög 195, 196
geodinamikai 2
geoid 13, 14, 15, 151, 191
geoidunduláció **18**, 191, 231-233, 239
geokód 53, 54, 187, 243, 244
geomatika 1
GeoProfi 170
generalizálás 7, 9, 64
georeferencia 186
giroszkóp 123
GIS 1, 4, 10, 11, 12, 68, 69, 74, 86, 255
Globális Helymeghatározó Rendszer (GPS) **171-184**, 191, 195, 230, 233, 236, 238, 248
Global Positioning System (GPS) 3, **171-184**, 191, 195, 230, 233, 236, 238
GLONASS 171
gömbi eltérés 109
gömbi szögfölösleg 89
görbületi sugár 115, 272
GPS (Global Positioning System) 3, 12, 13, 54, 104, 145, **171-184**, 230
felépítése 171
GPS hálózat
aktív 184
passzív 239
GPS-szintezés 231
GPS vevő 173, 174, 182, 230, 241, 257
álló 182
egyfrekvenciás 174
geodéziai 174
inicializálás 182
kétfrekvenciás 174, 230
mozgó 182
navigációs 174
sematikus felépítés 174
grafikus feldolgozás
busszola sokszögvonalé 251
greenwichi 104, 105
GRID 62
gúla
állványos 43, 44, 233, 235
egyszerű 43
Gyimothy 167
gyújtósík 108
gyújtótávolság 108, 109, 110

hálózat 40, 199
alsórendű 40, 233
elsőrendű 40, 233, 234, 235
felsőrendű 40, 223, 230, 233
GPS 233, 239
hagyományos 239
harmadrendű 40, 233, 235, 238
helyi 191, 194
kéregmozgási 237
kitöltő 235
klasszikus 230, 233
másodrendű 40, 233, 235, 238
negyedrendű 40, 209, 223, 233, 235
nemzetközi 239
országos 245
ötödrendű 40, 209, 233, 245
-tervezés 199

Hammer 167
harántgörbületi sugár 18, 180
hardver 188
háromszögelés 194, **195-209**
*iránymérése*s 195, **198-205**, 199, 206, 209, 213, 235, 236
*szögmérése*s **195-198**, 234
*távolságmérése*s 195, **206-208**, 209, 213, 235
vegyes 195, **208-209**, 213, 222
háromszögelési hálózat 195
*iránymérése*s 198, 199, 204, 205
*szögmérése*s 196, 197
*távolságmérése*s 206, 207
vegyes (irány és távolságmérése)s **208-209**
háromszög felosztása **276**
háromszögoldal 196, 233
fejlesztett 234
határpont 243, 244
határszög 106
hátelágazás 60
hatótávolság 168
hátrametszés 199, **202-204**, 221, 222
hatvanas fokrendszer 6
Hawai 174
hegyhát 60
helyi rendszer 4
helymeghatározás
abszolút **180-181**
DGPS 182
földi 88, 103
GPS-es 176
háromdimenziós (*3D*) 40, 176, 239
magassági 239
műholdas 180, 184, 230
poláris pontként 211, 212, 217, 248, 255
relatív **180-181**
helyvektor 181
helyzeti adatok 50, 62, 244
henger
ellipszoidi 31
transzverzális 31
képzetes 31
hibaelmélet
geodéziai 87
hibaelosztás 102, 246
hibahatár 214, 220, 244, 245, 247, 263
hibaterjedés 95, **98**, 132, 225, 234
törvénye 95, **98**, 99
hipotézisvizsgálat
statisztikai 91, 95, 100
hitelesítés 91, 93
hitelesítő
alapvonal 148
laboratórium 129
HM Térképész Szolgálat Főnökség 171
hold
kataszteri 5, 25
hordláda (tok) 124
horhos 56
horizontferdeség 161
horizontmagasság (látósík) 257, 258, 259, 261, 262, 269, 270
horizontrajz (sky plot) **178**
horizontzárás 132
hossz
névleges (nominális) 139
tényleges 139, 163
hosszhiba **215**
hosszmérés 133, 138, 253, 257, 258
hosszredukció 20, 145, 151, 191
hossz- és keresztszelvények szerkesztése **260-261**
hossz- és keresztszelvényezés **257-261**
egyidejű 259
hossz-szelvény 260
pont 257, 259, 260
szerkesztése 257, 260
szintezés 227, 257
hossz-szelvényezés 257
hossztorzulási tényező 20, 151
hosszváltozási tényező 139, 277
hőmérséklet 150
hőtágulás 140
hőtágulási együttható 139
hullámhossz 147, 150
fényé 109
hullámterjedés (multipath)
több utas 175
húrmódszer **272**

ideiglenes pontjelölés 39, 191, 192
idomok 262
bemélyedő 59
fő- 60
kiemelkedő 59, 60
mellék 60
teknő- 60

vízgyűjtő 60
vízválasztó 60
idomvonal **59**, 73, 262
idomváz **59**, 73, 264
időkésés 175, **176**
időmérés 146, 147
illesztőpontok 27
impulzus 147
index 122
leolvasó 145
magassági 122
indexelés 169
indexhiba 127, 128
indexkompenzátor (automatikus magassági index) 122, 128, 157
indexvonás 112, 114, 116
információ
mennyiségi 76
minőségi 76
térképi 76
ingatlan-nyilvántartás 274, 279, **281-300**
inkrementális 115, **116**
intenzitás 186, 189
interferencia 109
interpoláció
fotoelektromos 116
invár
bázisléc 123
ionoszféra 173
irányeltérés **135**, 201
irány
földrajzi északi 234
térképi északi 234
irányérték 104, **131**, 132, 133, 169, 198, 200, 202, 211, 268
központosítása **133**, 198
központosított 134
külpontos 134
tájékozása **135**, 136, 200
tájékozott **135**, 199, 201, 218
irányhossz **135**
iránymérés **131**, 133, 135, 193, 209, 211, 248, 273
irányok típusai **198-199**, 208
belső (*hátrametsző*) **199**, 202, 204, 205, 222
külső (*előmetsző*) **199**, 200, 201, 204, 205
külső-belső **199**, 204
meghatározó **199**
tájékozó **198**, 199, 200, 204, 205, 210, 211, 216, 217, 218, 235, 247, 248, 255, 256, 264, 270
iránypont 235
iránysorozat 132, 135, 198, 199
csonka 133
irányszál (szál) 110
vízszintes 154, 159, 269
függőleges 156, 246
irányszög 22, 23, 76, 88, 101, 135, 196, 200, 203, 212, 250, 271
iránytű 75
irányvonal (irányzótengely) 111, 120, 127, 128, 141, 156, 157, 161, 162, 223, 238, 270
irányvonal ferdeség 161
irányvonal-középingadozás 93, **94**, 95, 164
irányvonal vezérlés 157
irányzás 42, **131**
előre- 227, 238, 258
hátra- 227, 238, 258
irányzótengely (irányvonal) 111, **119**, 120, 127, 128
ismeretlen 87, 100, 101, 176
ISO 185
ivanici rendszer 25
ívmetszés 206, **207-208**, 256
izotermia 163
izotermikus állapot 163
izovonal 232

javítás 213
jel 220, 226
alaprajzi 49
álvéletlen 173
csoportosítása 50
felületi 49
irányzott 152, 223, 226
magyarázó 49
mértani 49
oldalnézeti 49
pontszerű 49
referencia 175
vonalas 49
jeladó 146
jelfeldolgozás 175
jelfeldolgozó egység 174
jelkép 49
jelkulcs 49, 64, 66, 73
közjóléti 68

vadgazdálkodási 67
jelléc 168
jelmagasság 150, 168, 225
jelrúd 43
jelrendszer
tematikus térképeké 49
erdészeti térképeké 49
jeltábla 123
jeltárcsa 43, 121, **123**, 143, 221, 246
jelvevő 146
jelzőkaró 42, 43
jelzőszeg 139

kataszteri felmérés 252
kataszteri tiszta jövedelem 278
kényszerközpontosító **120**, 121, 123, 142, 220
hüvely 220
képalkotás
lencsékkel 108
képélesség 156
képélesség-állító (parallaxis) csavar 111, 131, 156, 161, 227, 258
kéthatású 156
képfelület 19
képformátum 185
képtávolság 108
kéregmozgási (KKP-, K-pont 46, 237, 238
Kéregmozgási Szabályzat 46
kéregmozgásvizsgálati együttműködés 236
kereszthiba **215**
keresztszelvény 138, 260
pont 258, 259
szerkesztése 257, 260
szintezés 227, 257, 258
keresztszelvényezés 257
kerethálózat 239
keretláncolat 233-235
keretpont 241
keretrajz 62
keringés 172
kezdőirány 165
kezdőmeridián 32, 104
kiegészítő berendezés 43
kiegyenlítés 87, 91,92, 100, 197, 205, 230, 235,248, 251
egypont- 194, 202, **204**, 205, 206, 208, 209, 222
együttes 194, 204, 205, 208, 209
feltételes méréseké 101
koordináta- 101, 102, 194, 204, 205, 208, 213, 229, 235
korreláta- 101, 196, 213, 229
közelítő 102, 206, 213, 214, 218, 222, 231
közvetett méréseké 101
szigorú 199, 205, 206, 208, 209, 213, 234
kiegyenlített érték 91, 229
kiegyenlítő számítások 4, 102
kisajátítás 274
kis tengely 18
kitűzés 2, 168, **192-193**, **267-274**, 271, 273
egyenesé **267**
körívéké **271-272**
magassági **269**
derékszögű koordinátákkal **272**
poláris koordinátákkal **270**
szögéké **268**
távolságé **268-269**
tört vonalaké 270
kitűzési hálózat **270-274**
kitűzési méret 267, 271, 274, 275, 276, 277
derékszögű 272, 273, 274
poláris 270
kitűzési üzemmód 269
kitűzési vázlat 192, 193, 246, 267, 268
kitűzési vonal 267
kitűző eszközök 105, 268
kitűzőrúd 42, **116**, 118, 144, 252, 253, 254, 255, 256, 258, 261, 262, 267, 268
kilométeres (km-es) középhiba 165
klotoid 272
kód 52, 171
A-S (*Anti-Spoofing*) 171
C/A (Course Acquisition - durva adatnyerés) 171, 173, 174
C/A (*Civil Access - polgári hozzáférés*) 171
P (*Precise* - pontos, *Protected-* védett) 171, 173, 174
S/A (*Selective Availability - korlátozott hozzáférés*) 171, 181
Y- 171
kódkiolvasás **115**, 116
kódmérés 175
kódtávolság 175
koincidál 114, 144, 157
koincidencia 116, 128, 131
kollimáció hiba 127

kóma 109
komparálás 91, 93, **139**, 140, 163
kompenzálási tartomány 157
kompenzátor 122, 157, 159, 169
érzékenysége 157
fősugár-vezérlésű 157
irányvonal vezérlésű 157
kontinens vándorlás 179
koordináta azonosítási rendszer
UTM vetületé 36
koordináta
állásponti 105
derékszögű 103, 104, 252, 270
ellipszoidi földrajzi 105, 179-180, 191
ellipszoidi térbeli 105, 179-180, 191, 231
geocentrikus 239
helyi 105, 272
jegyzék 192
kiegészítő érték 208
magassági 239
műszer- 105
országos 272
poláris 167, 270
térbeli derékszögű 104, 105, 180
végleges 193, 201, 207, 214, 222, 247, 250
vetületi 186, 239
vízszintes 239
záróhiba 212, 214, 217
koordinátahálózat 70, 83
koordinátakülönbség 103, 197, 201, 214
koordinátameghatározás
együttes 194, 211
közelítő 194, 199, 204, 211, 217
pontonként 194, 199, 206, 207, 208
szigorú 194, 199, 211
koordinátapár 201, 202, 207, 218, 222, 245
koordinatográf **71**, 255
automatikus 72
mechanikus 71, 72
koordinátarendszer 103, 179
átszámítások 37, 231
dél-nyugati tájékozású 21, 24
ellipszoidi földrajzi 191
ellipszoidi térbeli 191
észak-keleti tájékozású 21
helyi 191, 270, 273
magassági 191, 222
országos 273
térképi 12
vetületi 12, 13, 21, 138, 192, 201, 234, 250, 252
korrekció 89
differenciális 183
refrakciós 224
szintfelületi 151, 224
koszinusz-tétel 207
kóta 56
kótás projekció 55
kozmikus geodézia 4
kördiagram 167
körleolvasás 125
közelítő függvények 37
közelítő hibaelosztás 87
közepes tengerszint 15
körív 53, **271**
eleje 272
főpontjai 271
középpontja 272
részletpontjai 271, 272
vége 272
kötőcsavar 131, 156
magassági 122
vízszintes 122
kötőpont 154, **155**, 227, 258, 259, 262
követő állomások 172, 173
közeli infravörös 106, 146
középérték
számtani 91
középhiba 93, 98, 99, 100, 143, 148, 149, 167, 168, 225, 228, 243, 244, 245
a priori (előzetes) 93
a posteriori (utólagos) 93
előzetes (a priori) 93, 94, 95, 96, 97, 132, 164
előzetes km-es 165, 228, 238
utólagos (a posteriori) 93, 95, 96, 97, 194
utólagos km-es 228
súlyegységé 96, 97
középtájékozási szög **135**, 201, 211
egyszerű **135**
súlyozott **135**, 201
középtengerszint
balti 236-237, 265
nadapi 236-237
közigazgatási
egység 243

alegység 243
közös pontok 37
központosítás
irányoké 133
szögeké 133
távolságé 152, 206
központosító talp 120, 121
közterület 243
közvetítő egyenletek 101, 204, 205, 208, 213, 222
külpontos felállás 42, 134
külpontos műszerállás 133
központosítása 134, 219
külpontos pontjelölés 133
központosítása 134
külpontosság
elemei 133, 134, 152, 153
lineáris mértéke 133
szögértéke 133
vízszintes értelmű 127
függőleges értelmű 128
külpontossági redukció 134
külső tájékozási adatok 184
külterület 244, 246
kvadratikus forma 101
Kwajalein 174

láncolat (háromszögelési) 195, 197
Laplace pontok 234
lapultság 18
látható fény 106, 146
látómező 144, 167
látósík (horizontmagasság) 257, 258, 259
lécleolvasás 94, 95, 154, 158, 164, 262, 269, 270
előre 94, **154**, 155, 161, 162, 226, 258
hátra 94, **154**, 155, 161, 162, 226, 258
középre 258
lécosztás 142, 156, 157, 159, 163
léctávolság 227, 258
léctoldat 167
lécsaru (fémsaru) 159, 162
Legendre 92
légifénykép 184
legkisebb négyzetek elve 4, 37, **92**, 102, 197, 209, 228
legkisebb négyzetek módszere 87
légkör 106
légköri viszonyok 163, 227
léglengés 129, 163
légnyomás 150
légrezgés 129, 163
Leica 174
leíró adatok 50
lejtésviszony 77
lejtő 57
domború 58
egyenes 58
homorú 58
lejtőalap 58, 77
lejtőalap-mérték **64**, 65, 77
lejtőátmeneti vonal 58, 59, 61, 258
lejtőmagasság 58
lejtősík 58
lejtősség 58
lejtőszög 58, 77, 269, 270
lejtővonal 58
lencse
alapegyenlete 109
gyújtó- 107, 108
képállító homorú 112
képátalakítási hibái 109
nagyítása 109
szóró- 107
vastag 107
vékony 107
lencserendszerek 109
leolvasás
csonka- (*fő-*) 112, 113, 114, 116, 132
diametrális 114, 131
fő- 112, 114, 116, 132
leolvasóberendezés 112, 119, 124, 131
optikai mikrométeres 236
vízszintes 136
magassági 136
leolvasó hely 114, 131
leolvasó képesség 113, 124, 139, 142
lépték
vonalas 69, 78
átlós 69, 78
létraállvány 43
libella **114**, 115, 159
alhidádé- 121, **125-126**, 130, 261
állandó 115
buborékvég-egyeztetős 156
csöves 114
érzékenysége 115, 160

főpontja 115
geometriai középpont 115, 125
Horrebow- 123
index- 122, 127, 131
normálpontja 125
szelencés 115, 117, 130, 156, 157, 160, 161, 162, 227
szintező 261
tengely 115, 125, 127, 156
tengely ferdeség 125
ív 125
limbusz (kör) (vízszintes kör) 115, 116, 121, 128, 131, 132, 200, 273
linearizálás 100
Listing 14
lupe (nagyítóüveg) 110, 112, 136
lumineszcensz dióda 146

magaspont 193, 219
magasság 15, 103, 222, 227, 263, 268
abszolút 15, 17, 151, 153, 229
balti 237
relatív 16, 153, 154, 228
ellipszoid feletti, ellipszoidi 18, 37, 104, 180, 231, 233
nadapi 237
tengerszint feletti 76, 150, 153, 229, 231, 232, 233, 239, 258, 261, 263, 269
magassági felmérés 257, 261
magassági kör 121, 122, 131, 136, 145
magassági záróhiba 238, 263
magasságkülönbség **15-16**, 94, 95, 103, 104, 119, 142, 151, 153, 154, 155, 161, 162, 164, 165, 166, 167, 169, 223, 225-230, 232, 256, 258, 261, 263, 264, 265
magasságmérés 153
barométeres **153**
trigonometriai 129, 153, **223-226**, 241
magasságmérési jegyzetlap 262
mágneses tájékozó szög 104, 250
mágneses vihar 138
mágnestű (iránytű, kompasz) 136
érzékenysége **137**
permanenciája **137**
szintetikus 136
Magyar Honvédség Térképész Szolgálat 35
Magyar Optikai Művek (MOM) 119, 123, 124, 158, 167, 236
Magyar Szabvány MSz 7772-1 243
Majzik háromszögpár 70, 72, 79
manuálé (mérési vázrajz) 73, 252, 254, 256, 259, 264, 265
másolás
aránykörzővel 84
négyzethálóval 84
pantográffal 84
redukciós vonalzóval 84
optikai úton 85
matematika 4
matematikai feldolgozás
geodéziai méréseké 87
mátrix
inverz 101
kovariancia 100
súly- 101
súlykoefficiens 101
transzponált 101
medián szűrés 189
megbízhatóság 87
meghatározási terv 193, 198, 205, 206, 209, 210, 223
magassági 223
megírás 62
melléksokszögvonal 246, 248
MÉM (Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Minisztérium 64
MÉM Földügyi és Térképészeti Hivatal 171
mennyiségi jellemzők 4
mérés 103, **193**
egységsúlyú 96
eredményei **103**, 204
fölös 91, 93, 100, 193, 194, 204, 206, 207, 212, 213
közvetlen 88, 92, 98
közvetett 88, 89, 98, 100, 132
szükséges 91, 100, 193
mérés alapegyenlete 4
mérési javítás 92, 102, 197, 228
mérési jegyzőkönyv 103, 252, 256, 258, 262, 265
mérési hiba 87, 225, 249
szabályos 89, 90, 91, 94, 226
véletlen 89, 90, 225
mérési közeg 106
mérési módszer

differenciális módszer (*DGPS*) 182
félkinematikus (*stop and go*) 183, 184, 265
folyamatos kinematikus (true kinematic) 183, 184
GPS-technika mérési módszerei **181-184**
gyors statikus (*fast/rapid static*) 183, 230
kinematikus 182
statikus (*static*) 182, 183, 230, 241
valós idejű kinematikus (*real time kinematic - RTK*) 183, 184, 265
mérési pontrendszer 39, 194
mérési tartomány 168
mérési vázlat 255
mérési vázrajz (manuálé) 73, 256, 259, 264
mérési vonal 246, 252, 255, 267, 270
mérési vonalhálózat **270**
mérési vonalpont 246
méretarány 7, 19, 20, 30, 49, 63, 194, 199, 233, 243, 250, 251, 252, 260, 261, 264
kataszteri 25
tényező 231
méretarány-függetlenség 9
méretarányszám 7
méretváltozás 275
méretváltozási tényező 83
merevítő láncolat 233-235
meridián, 24
alapfelületi 21
ellipszoidi 31, 104
meridiánellipszis 18, 32, 36
meridiánkonvergencia (vetületi) 22, 104, 138, 191, 250
meridiánkvadráns 4
mérnök-geodézia 3
mérőállomás 165, **168-170**, 194, 195, 220, 222, 246, 247, 248, 255, 256, 257
mérőcsúcs 82, 83
mérődrót
invár 139
mérőeszközök 103, 105
mérőfénykép 222
mérőfrekvencia 146, 147
mérőjel 110, 121
mérőhullám (elektronikus távmérőé) 146, 147
mérőkamera 184
mérőkar 81, 83
mérőkerék **81**, 82
mérőkörző 80, 81
mérőléc
libellás (stafli) 138, 153
távolság- 138, 164
mérőműszerek 103, 105
mérőpálya 139
mérőszalag 133, 227, 249, 252, 253, 255, 257, 261, 262, 269
acél 139, 246
invár 139, 246
mezei **138**, 255
nyeles (forgattyús) **139**
szabatos 139
mérőtorony 43, 44
mértékegység 4
méter 4
méterrendszer 5
metszet 77
metszetszerkesztés 77
Mihály Szabolcs dr. 171
mikroprocesszor 125, 158, 168
mikroszámítógép 115
mikroszkóp 110, 113, 136
beosztásos 113
koincidenciaállító optikai mikrométeres 114
optikai mikrométeres 113
minőségi alosztály **278**
minőségi arányszám **279**
minőségi osztály 244, **278**
minőségi paraméterek 4
mintapont 62
modul rendszer 168
mozgó állomás (Rover Station) 182
MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet 129, 171
MTA Geodéziai Tudományos Bizottság 238
munkatérkép 84
műhold **171-184**
almanach 173, 174
geometria 176, **178-179**
GPS műhold 172
konstelláció 178, 183, 184, 230
távérzékelő 188
műszeralátét 123
műszerasztal 123
műszerállandó 148

műszerállás 155, 162, 164, 226, 259
műszerálláspont 125, 131, 150, 262, 265
műszerállvány 43,120, 130, 142, 220
merev 120
összecsukható 120
műszer 220
digitális (*elektronikus*) 105, **115**
elektronikus (*digitális*) 105, **115**
szintező 105
szögmérő 105, 246
szögkitűző 105
tahimetria műszerei 165
távolságmérő 105, 138, **140-148**, 168
műszerelem 105
műszerhorizont 154
műszer-léc távolság 154, 158, 227
műszermagasság 94, 150, 167, 168, 225, 226, 265
műszertalp 120, 121, 142, 156, 220
műszertörzs 120, 121

nagyból a kicsi felé elv **40**, 60, 233, 239
nagy tengely 18
nagyító 156
nagyítóüveg (lupe) 110
Naszluházc
-féle rövidülési képlet **277**
NATO 35, 171
navigáció 182
valós idejű (*real time*) 175
navigálás 171
NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging - Navigációs Műholdas Idő és Távolságmérés) GPS **171**
négyzetmérföld 5, 25
nehézségi erő 13, 14, 15, 122
nehézségi gyorsulás 14
nehézségi térerősség 232
Németh István 171
nemzetközi méter 5
nemzetközi sávbeosztás 32, 33
névrajz 62
nézőhasadék 119
Newton-féle tömegvonzás 14
Nivellier
nomogramm 150
nóniusz
egyirányú (utózó) 112
ellenirányú (előző) 113
előző (ellenirányú) 113
utózó (egyirányú) 112
normálellipszis 36
normális
ellipszoidi 18, 105
geoidi 18
szintfelületi 224
nullműszer 146
numerikus excentricitás
első 18, 180
második 18, 180

NYME Geoinformatikai Kar 171
Nyugat-Magyarországi Egyetem 68, 119, 239

objektív 110, 112, 123, 144, 156, 157
objektívcső 111
objektum 10, 11, 39, 50, 52, 68, 103, 171
magassági felmérése 245
pontszerű 243
vonalszerű 243
területszerű 243
objektum osztály 11
odaszintezés 163, 227, 228
oda-visszaszintezés 163, 227, **228**, 229, 269
OFTH (Országos Földügyi és Térképészeti Hivatal) 64
OGPSH (Országos GPS Hálózat) 40, 171, 191, 192, 230, 231, **239-241**
kerethálózat 240
okulár 110, 112, 131, 144, 156
okulárcső 111
okulárprizma 123
oldalhegyhát 60
oldalrefrakció 129
one man station (egyészlelős mérőállomás) 170
optikai ék 144
optikai közeg 106
optikai középpont 107, 108
optikai mikrométer 94, 113, 156, 157, 159
kettős 114
koincidencia állító 128, 131, 136
optikai (geometriai) távmérők **140-145**, 246
állandó bázisú (változó távmérő-szögű) 140
állandó száltávolságú **140-141**

állandó távmérőszögű (változó bázisú) 140
belső bázisú 140, **144**
külső bázisú **140-142**
prizmás 140
optikai tengely 107
optimalizálás 199
órahiba 174, 175, 181
órajárás (drift) 175, 176
órakorrekció 173
ordináta-mérés 254
Országos Erdőállomány Adattár 68
Országos GPS Hálózat (OGPSH) 40, 191, 192, 230, 231, **239-241**
ortofotó 84, 184, 188
ortofotótérkép 12, 50, 65, 222
oszcillátor 173, 174
oszlopléc 138
osztásköz 77, 112
osztókörző 69, 78
osztóvonal 278
osztott kör 112
Osztrák-Magyar Monarchia 27

ölrendszer 5, 63
önálló alappontok létesítése 191, 194
őrcsapok 42
őrkereszt 63, 70, 83
őrpont 40, 41, 209
összeadóállandó
elektronikus távmérőé 148
planiméteré 82
távcsőé 111
Reichenbach-szálas távmérőé 141
összeláthatóság 77

pályaadatok 181
pályamagasság 172
pályasík 172
pantográf 84
milánói 85
optikai 85
parabola 53
harmadfokú 272
paralelogramma-szabály
domborzati idomoknál 60, 61
parallaxis (képélesség-állító) csavar 111, 131, 156, 258
kéthatású 156
parallaxis hiba 131
parallelogramma felosztása **276**
paránycsavar 156
vízszintes 122, 131
magassági 122, 131
pentaprizma 144
periódus (idő) 147, 172
permanens (referencia) állomás 183, 184, 230
penci 184
pillér 42, 123, 131, 148
pilléralátét 131
Pitagorasz-tétel 101, 152
pixel (picture element) 51, 52, 186, 188
planiméter
derékszögű 81
kerületen járó 81
mechanikus **81**
ortogonális 81
poláris 81
üveg 80
planparallel (síkpárhuzamos) üveg 106, 107, 113, 114, 116, 156
poláris pontmeghatározás 23, 211, 255
poligon 10
elsőrendű 238
szintezési 228, 229, 238
záróhiba 229, 238
zárt 237
pólus 81
pólusfekvés
belső 82
külső 82
póluskar 81, 82, 83
pont
állás- 96
adott 76, 196, 201, 222
azonos (közös) 179, 231
domináns 235
elsőrendű 238
felsőrendű 209, 223
fiktív elsőrendű 235
fókusz- 108
gyújtó- 108
háromszögelési 198
inflexiós 91
irányzott 96, 123, 131, 133, 142, 152, 166, 167
külpontos irányzott 153
pontjelölés
ideiglenes 42

külső biztosító 42
különleges 42
magassági alappontoké 45
GPS alappontoké 47, 48
pontleírás 44
magassági alapponté 192
vízszintes alapponté 45, 192
GPS alappontoké 47, 192
pontleszúró tű 70, 72
pontosság 87, 143, 145, 148, 158, 159, 164, 176, 199, 228, 230, 231, 234
GPS-es helymeghatározásé **176-179**
relatív 139, 144
pontossági mérőszám 87, 91, 96, 102, 194, 204, 205, 209, 214, 239
pontvédő berendezés 41
potenciál 14, 15
PowerSet 169
ppm (pars per million) **145**, 146, 149, 150, 170
prizma 43, 107, 148, 149, 152, 221
derékszögű kitűző 117, 267
feltét 123
képfordító 112
kettős 118
kettős pentagonális 118
meridián kereső 124
pentagonális (*penta-*) 118, 144, 252, 253, 267
szögtűző 116, 258
visszaverő 165, 170, 265
prizmarendszer 157
prizmáz 253

Quick plan (előrejelző szoftver GPS-nél) **178**

rácshálós terepfelmérés (területszintezés) 257, **261-262**
rácshálózat 261
szabályos 261
szabálytalan 261
radiáns 5
rádiófrekvenciás egység (GPS-é) **175**
rajzolócsúcs 85
raszter 185
hézag-átugrás 187
raszterre igazító funkció (*raster snap*) 187
raszter követés (*trace*) 187
simítás 187
raszterizálás 52, 185, 186
vektor-raszter átalakítás **185**
redukálás 149
tengerszintre 149, **151**, 152
vízszintesre 149, **150**, 152, 223
vetületre 149, **151**, 152
redukálás mértéke 20, 29, 36
redukáló berendezés 167
redukció 19, 138
külpontossági 134, 152, 153
meteorológiai **149**, 150, 168, 169, 170
távolságmérési 246, 268
referencia (permanens) állomás 183
referencia jel 147
reflexió-csökkentő réteg 109
refrakció 163, 225, 238
atmoszférikus 177
együttható 129, 158, 164, 224, 225, 226
ionoszférikus 177
magassági 129, 163
troposzférikus 177
oldal- 129
refrakció együttható meghatározása **226**
refrakciógörbe 129, 164, 223
regressziós egyenes 149
Reichenbach 119, 249
-féle távmérőszálak 119, 123, **140**, 141, 142, 165, 255, 261
relatív hiba 145, **146**
rendűség 39, 192, 193, 198
részletes felmérés (részletmérés) 168, 209, 221, 222, 223, **243-266**, 274
derékszögű **252-255**, 273
egyidejű vízszintes és magassági 263
GPS-sel **265-266**
részletmérési eljárások 243
egyidejű vízszintes és magassági 245
elő- és ívmetszéssel 252
poláris 252, **255-256**
vízszintes **245-257**, 252
részletpont **39**, 65, 73, 165, 170, 184, 193, 227,243, 244, 252, 253, 255, 256, 265
alakjelző 267, 273
magassági 73, 243, 244, 245, 261, 263, 264, 265

meghatározás tahiméterrel **264-265**
osztályozás **243-245**
síkrajzi 244
vízszintes 243, 263, 264, 265
rétegbeosztás 36
Rogue 174
Roncagli 166
RTCM (Radio Commission for Maritime Services) szabvány 183
RTK (real tima kinematic) szoftver 184

Sárközy, Ferenc 199
sávbeosztás 36
sávszélesség 32
segédbázis 143, 219
segédpont 202, 219
síkpárhuzamos (planparallel) üveg 106, 107, 113, 114, 116, 156
síkrajz 7, 12, 62, 64, 73, 74, 191, 246, 257, 261, 262
SI rendszer 4, 14
Sisson 119
skeleton (szkeleton) 188
sky plot (horizontrajz) **178-179**, 230
Soha Gábor 171
Sokkia 169, 170, 174
sokszögelés 102, 194, **209-221**, 235, 235, 255
belterületi 246
busszola 210, **249-252**
hosszúoldalú 209
külterületi 245, 246
magassági 209, 263
rövidoldalú 209, 245, 263
szabatos 245, 246
tahiméteres **263-264**
ugrópontos (ugróállásos) 249
végrehajtás szabályai **220-221**
sokszöghálózat 236, 270
sokszögoldal **209**, 210, 213, 214, 217, 219, 220, 250, 264
sokszögpont **209**, 212, 214, 217, 221, 246, 248, 251, 263, 271
tahiméteres 264
sokszögvonal **209**, 214, 215, 216, 217, 218, 220, 246, 247, 248, 249, 252, 257, 263, 264, 271
beillesztett 210, **216-217**, 220, 222, 247, 248
busszola 250
csatlakozás magasponthoz 219-220
mindkét végén tájékozott 210, **211-216**, 218, 220
egyik végén tájékozott 210, **216**, 217, 218, 247
kezdőpontja 210, 211, 212, 215, 216, 217, 220, 251, 264
kísérő 270, 271
nyújtott 216, 220
rövidoldalú 270
szabad 210, 212, **217**, 218, 248
tahiméteres 264
tájékozása 219
végpontja 210, 211, 212, 213, 215, 216, 217, 220, 251, 264
záróoldala 215, 217
Sopron 178
Soproni Egyetem 68
Sossna 202
spline 53
súly **96**, 98, 99, 100, 132, 218, 219, 230, 235
egyenlő 96
egységnyi 96
súlyegység középhibája 96, 97, 98
súlyozás 96
suvadás 56
sűrűségfüggvény 90
Süss Nándor 119

szabad álláspont 170, 194, **221-222**, 236, 263
szabályos hiba 89, 90, 91, 92, 139, 160, 227
állvány elcsavarodása 129, 164
atmoszféra (az ionoszféra és a troposzféra) állapota 177
egyéb 126
elektronikus távmérőké 148
fázishomogenitás hibája 149
fázismérés hibája 149
fázis-többértelműség 177
fekvőtengely ferdeségi hibája 127
kollimáció hiba 127
külpontosság 127
külső körülmények hibái 125, **129**, 138, 160, 227
lécsüllyedés 164
limbusz merőlegességi hibája 128
limbusz külpontossága 128

limbusz osztáshibái 128, 132
leolvasó berendezések hibái 128
magassági indexhiba 127
mértékadó 126
műholdak és vevők órahibái 177
műholdak pályaadatainak hibái 177
műszerhibák 125, 160
műszersüllyedés 164
nagyítási hiba 128
személyi hibák 125, **130**, 160
szálferdeség 128
szelencés libella hibája 160
szintezőléc hibái 160
run hiba 128
vevők antennájának hibái 177
vízszintes iránnyszál hibája 161
Szabályzat a negyedrendű alappontok létesítésére 235
Szabályzat az Egységes Országos Magassági Alapponthálózat létesítési munkáiról 236
Szabályzat kiegészítés a negyedrendű alappontok létesítésére GPS technika alkalmazása esetén 235
szakadat 53
szakigazgatás
földügyi 248
szálcső 111
szálkereszt 110, 111, 131, 142, 156, 157, 159, 161, 186, 227, 246, 267
kettőzött 111
szállemez 110, 111, 112, 141, 157, 165
száltávolság 166
magasságmérő 166
távmérő 166
számítás **193-194**
előkészítő 193
számozás
negyedrendű alappontoké 45
számtani közép 92, 99, 222
egyszerű 93, 99, 135, 148, 201, 203, 207, 228
súlyozott 97, 99, 100, 135, 218
százas fokrendszer 6
szegélymeridián 32
szélsőérték 92
szelvény 21, 31, 33, 34, 199
vetület nélküli 26
hengervetületi 26
szelvénycsoport 26
szelvényezési rendszer 193
EOTR 27, 31
erdőtérképeké 26
szelvényhálózat 21, 25, 192, 246
EOV-é 30
Gauss-Krüger vetületé 33
hengervetületeké 28
ölrendszerű 25, 28
méterrendszerű 25, 28
régi sztereografikus 25
új sztereografikus 25
szelvényhálózati vonalak 21, 192
szelvénylap 21, 33
szelvényszám 257, 258
szemlélés 222
szignifikancia 100
sziklafal 56
színi eltérés 109
szinkron észlelés 181
szinkronizáció 145
szintezés 94
alappont- 258
alsórendű 227
felsőrendű 227
geometriai 45, 93, 153, **154**, 159, 163, 191, 223, 226, 227, 231, 233, 264
hidrosztatikai 153
részletpont- 258
szabatos 160, 227
szintezési csap 45, 46
szintezési gomb 45, 46
szintezési hálózat 227, **229-230**
szintezési kő
normál 45
mély alapozású 45
szintezési poligon 227, 229
szintezési szakasz 227-229
szintezési vonal **155**, 158, 227-229
elsőrendű 238
másodrendű 238
harmadrendű 238
szintezőcsavar 156, 160, 161
normális állása 160
szintezőléc 45, 94, 154, 155, **159**, 162, 164, 227, 259, 261, 262, 269, 270
analóg 158
invárbetétes 159, 160
kettős sávos 160

sávos 160
vonalkódos 158
vonásos 160
szintezőlibella 156, 157, 160, 161, 227, 261
állandója 156
szintezőműszer 45, 94, 153, **154-159**, 162, 238, 257, 259, 261, 262, 269, 270
*elektronikus (digitális)*155, **158**, 227
kompenzátoros 155, **157**, 160, 161, 162, 227, 261
libellás 155, **156**, 161, 162, 227, 261
mérnöki 159
szabatos 159
szintezősaru 155, 160, 227
szintfelület 13, 15, 16, 56, 114, 154, 223, 225
szintköz **56**, 64, 65, 73, 77, 261
alap- 56
állandó 56
változó 56
szinusz-tétel 134, 196, 197, 219
szintvonal 56, 58, 64, 66, 76, 261
alap- 56, 60
felező 56
fő- 56, 60
kiegészítő 56
kitűzés 269
negyedelő 56
segéd 56, 59
szerkesztés **73**, 262
szintvonalpont 73
szintvonalszám 56
szintvonalterv 73
nyers 73
szkennelés 52, 184
szkenner (scanner, digitális letapogató) 185, 187
dob- 185
síkágyas 185
szórásnégyzet 96
szoftver 62, 68, 69, 74, 86, 188, 192, 231
adatfeldolgozó 175, 194, 255
digitalizáló 187
szomszédsági kapcsolat 53
szórás 90, 93
szorzóállandó
diagramtahiméteré 166, 167
elektronikus távmérőé 149
magassági 166, 265
Reichenbach-szálas távmérőé 140, 141, 142
planiméteré 82
Szovjetunió 171
szög
beesési 106, 107
belső 197
dőlés- 184
eltérési 107
központosítása **134-135**
külpontos vízszintes 134
magassági 103, 104, 113, 119, 122, 141, 165, 166, 168, 169, 223
távmérő (parallaktikus) 140, 141, 142, 144 165
vízszintes 103, 104, 113, 119, 132, 165, 170
zenit- 103, 104, 119, 122, 128, 169, 170, 223-226
szögmérés 88, 124, 125, 143, 209, 211, 215, 217, 225, 248
magassági 106, 125, 127, 168, 225
minden kombinációban 133, 234
tulajdonképpeni 132, 133
Schreiber-féle **234-235**
vízszintes 106, 125, 127, 131, 168
zenit 225
szögmérési hiba 220
szögnagyítás 110, 159
szögzáróhiba **212**, 213, 214, 217, 218, 220, 248, 250
szürkeségi fokozat 52

T.1. Szabályzat 64
T.2. Szabályzat 64
tahiméter 105, 165, 257, 261, 263
belső bázisú 165, 168
belső bázisú kettősképes redukáló (BRT 006) **168**, 263
diagram- **165-168**, 263, 265
egyszerű 165
elektronikus 54, 165, **168-170**, 209, 263, 265
optikai 165, 168, 169
redukáló 165
változó száltávolságú 166
tahiméter(es) léc 165, 167, 265

tahimetria (gyorsmérés) 165, 222, 256, **263-265**, 261
tájékozás 219
délnyugati 25, 28
digitalizálóké 186, 187
irányértékeké 135
koordinátarendszeré 21, 194
tájékozó irány **135**, 198, 201, 205, 210, 211, 216, 217, 218, 235, 256, 264, 265, 270
tájékozási állandó (Wild T0-é) **137-138**, 250, 250, 251
tájékozási ismeretlen **205**
tájékozási szög **135**, 201, 204, 205, 273
tájékozó szög
külpontosságé 133
mágneses 104
tájékozott főirány **273**, 274
tájékozott irányérték **135,** 199, 201, 203, 211, 213, 218, 219, 220, 255
talajértékszám **278**
talpcsavar 120, 121, 130, 161, 270
talplemez 121
talppont 269
talpponthiba 155, 160, 162
talppontkeresés 254
tápegység 146, 175
tárgypont 108
tárgytávolság 108
távcső 110, **120**, 121, 131, 144, 145, 156, 157, 161, 165, 167, 223
állandó fókusztávolságú 111
belső képállítású 111, 119
egyszerű 110
geodéziai 110, 121
Kepler-féle 111
klasszikus 111
szálcsöves 111
teleobjektíves 111
tükrös-lencsés 112
változó fókusztávolságú 111
távcsőállás 122, 125, 129, 131, 132, 248, 268
távérzékelés 3, 103
távmérőléc 140
távmérő szál 141, 166
távolság 201, 206, 211, 230
alapfelületi 145
ferde 103, 104, 119, 138, 141, 144, 145, 147, 149, 150, 152, 169, 191, 268
központosítása 152, 206
központra redukált 152, 153
külpontosan mért 152, 153
műhold-vevő 173
pszeudo- (*ál-*) *távolság* **176**
redukált 151
vetületi 138, 145
vízszintes 103, 104, 119, 141, 142, 150, 151, 165, 166, 167, 169, 170, 209, 224, 268
vízszintesre redukált 138, 151
távolságeltérés **136**
távolságkitűzés 268
távolságmeghatározás (GPS-sel) **175**
távolságmérés (távmérés) 88, 143, 152, 168, 193, 206, 209, 215, 217, 222
egyutas 145, 175
elektronikus (fizikai) 138, **145-148**, 176, 255
fázisméréssel **176**, 182
időméréses 147
kétutas 145, **146**
kódméréssel **175-176**, 182
közvetett 138, 145
közvetlen 138, 147
külpontos **152**
optikai (*geometriai*) 106, 111, 138, **140**, 141, 166, 209, 252, 261
szabatos 209
vízszintes 167
Taylor-sor 100
telekátalakítás 274
telekösszevonás 274
telekrendezés 274
Teletop 145, 167
teljes mérőállomás 69, 165, **168-170**, 215, 256, 257, 261, 263, 270
teljes visszaverődés 106
tengelyirány 270, 273
tengelypont 259, 261
tengelyvonal 257, 258, 259, 260, 270, 271
tengerszint 151, 191, 223, 269
teodolit **119-136**, 153, 165, 168, 169, 198, 199, 200, 220, 224, 225, 246, 248, 255, 261, 268
busszola- **136**, 142, 165, 248, 250, 255

csoportosítás 124
elektronikus 119, **124-125**, 158, 168
felállítása **130**
felépítés 121
felsőrendű 235
használata **130**
japán 124
másodperc- 124
MOM NiA31 238
MOM Te-B1 236
optikai 119
pörgettyűs (*giro-*) 136
tájoló **136**
térinformatikai rendszer 239
termőhelyi értékszám **278**
tetőjel 43
tereptárgy 75, 76
terjedési sebesség
elektromágneses jelé 138, 145, 150, 173
fényé 106
térkép 1, 7, 182, 186
állománytípus- 66
analóg 9, 62, 69, 74, 85
átnézeti 7, 274
digitális 3, 9, 61, 62, 68, 69, 74, **85**, 186
digitális üzemi 27
dőlés- 61
erdészeti áttekintő és átnézeti 8, **67**
erdészeti üzemi 27, 62, 68, 186
erdőállomány-gazdálkodási 8, 66
erdőművelési terv- és nyilvántartó 67
Erdőtervi Útmutató 8
fahasználati terv- és nyilvántartó 67
földmérési alap- 7, 62, **63**
földrajzi 8
Gauss-Krüger vetületű 34
globális 9
háromdimenziós 62
használata **74**
ingatlan-nyilvántartási 274
kataszteri 63
kisebbítése **84**
kitettség- 61
közhasználati célú 8
levezetett topográfiai 8
lokális 9
másolása **84**
megvalósulási 274, 279
megvilágítás- 61
méretváltozása 83
nyilvántartási 279
raszteres 187
regionális 9
számítógépes 3
szintvonalas 167, 192, 223, 260, 263, 264
tájékozása 75, 76
talajtípus 67
tematikus 8, 49, 188
terület-nyilvántartó 66
tervezési 267, 268, 272
tónusos 12, 50, 188
topográfiai 32, 64, 65, 74
topográfiai alap- 7, 62, **64**, 65
üzemi 8, 65, 66
vonalas 12, 50, 184, 188
térképezés 39, 194
analóg 69
digitális **74**
térképi észak **21-22**
térképkészítés
automatikus 168
térképrendszer 17, 234
térképszelvény 75
termőhelyi értékszám **278**
terület
meghatározása **78**
meghatározás elemi területekre bontással **79**, 80
meghatározás koordinátákból **79**
meghatározás planiméterrel **81**
grafikus módszer 78
numerikus módszer 78
területszámítás 274
területosztás 267, **274-279**
egyszerű *idomoké* **275-278**
területszintezés (rácshálós terepfelmérés) 257, **261-262**
területváltozási tényező 83
tervezés 76, **192-193**, 222, 230, 263, 264
tesszeláció 51
Thales-tétel 202
TIN (triangulated irregular network) 62
tisztalátás távolsága 110
tömegközéppont 180

topológia 53
pont-vonal-pont 54
terület-vonal 54
vonal-pont 54
vonal-terület 54
topográfia 55
torzulás 19, 20
Total Station (teljes mérőállomás) 165, 220, 246, 248, 256, 270
törésmutató 106, 107, 129, 145, 149
aktuális 149
normál 149
töréspont **209**, 244
törésszög **209**, 210, 211, 212, 213, 215, 219, 220, 246, 247, 248, 249
törtokulár 123
transzformáció 38, 192, 217
derékszögű koordinátáké 252, 272, 273
lokális 192, 231
sík 252
térbeli 179
transzformációs egyenlet 252
transzformációs paraméterek (állandók) 231, 252, 265
trapéz felosztása **277**
trigonometria 4
trigonometriai magasságmérés **223-226**, 227, 263
rövid távolságon 226
nagyobb távolságra 226
Trimble 174, 239
tripód 43
tulajdonjogi viszonyok 274
tűrési osztály 244
Tvordy, György dr. 136

Urbani 166
utófeldolgozás (post processing, GPS-nél) 176, 181, 230
utófeldolgozó műveletek 188
USA 171
ÚTMUTATÓ
az erdőállomány-gazdálkodási tervek készítéséhez 65
a vadgazdálkodási tervek készítéséhez 65

űrfelvétel 188
osztályozott 188

üzemtervi térkép 65
erdészeti **65**, 68
vadgazdálkodási 65, **67**

vákuum 145
valódi hiba 94, 164
valószínűség 91
előfordulási 91
változási vázrajz 274, 279
várható érték 90, 100
Varsói Szerződés 19
vasháromláb 116
vascövek 227
vas-saru 116
végvonás 142
véletlen hiba 89, 90, 91, 93, 160, 225
vektor 100, 181, 230
egység- 181
vektorizálás 54, **188**
határvonalas 188, **189**
középvonalas **188**
raszter-vektor átalakítás **188**
vékonyítás 188
vetítés 19
centrális 24
kettős 24, 27
vetítő
bot- 118, 119, 122, 130
optikai **122-123**, 130, 131
zsinóros 118, 119, 122, 130, 162
vetület 7, 12, 19
általános torzulású 20
Egységes Országos (EOV) 24, 26, 27, **28**, 63, 68, 184, 192, 193, 230, 231, 233, 239, 245, 265
érintő 20, 24, 27, 151
ferdetengelyű henger 24, 27, 29, 233
Gauss-Krüger 24, **31**
redukált henger 29
süllyesztett (metsző) 20, 29, 151, 152
szögtartó (konform) 20, 27
sztereografikus **24**, 65, 233
területtartó (ekvivalens) 20
Universal Transverse Mercator (UTM) **35**, 179
UTM (Universal Transverse Mercator) 24, **35**
vetületi egyenlet 19

vetületi redukció 234
vetületi rendszer 185, 188, 191, 233
vetületi sáv 32
vetülettan 4
vevő 145, 146, 175
GPS 146, 183, 194, 265, 266
referencia 183
vezérlő egység (GPS-é) **175**
vezetőcsúcs 85
visszaszintezés 163, 227, 228
visszaverő egység 146, 147
aktív 146
passzív 146
visszaverőképesség
spektrális 188
vivőjel (vivőhullám) 146, 147, 173, 176
vízmosás 56
vízszintes alappontok meghatározása **191-222**
vízszintes kör (limbuszkör) 115, 116, 120, 121, 122, 132, 136, 170, 261, 268
vízszintes sugár 157
vízszintes tengely 121, 156
vonalas eltérés 102, 194, 201, 203, 207, 208, 209, 218, 222
vonalas létesítmény 257, 259
vonalas záróhiba 213, 214, **215-216**, 217, 220, 251
vonalszintezés **155**, 163, 226, 227, 259, 261, 262, 269
völgy 60
völgytalálkozás 60
vonatkozási rendszer 2, 18, 24, 179
ITRS (International Terrestrial Reference System - Nemzetközi Földi Vonatkozási Rendszer) 179
ETRS (European Terrestrial Reference System - Európai Földi Vonatkozási Rendszer) 179
ETRF89 (EUREF89 - European Reference Frame 1989) 179, 239
WGS84 179, 184, 230, 231, 232, 239, 241

Wild 119, 124
Wild-Leica 124, 159
Wild N3 238
Wild T0 **136**, 249
0 *osztáshibája* **137**
tájékozási állandója **137**
Wild T2 236
Wild T3 233, 235, 236

Zeiss 112, 145, 159, 167
Zeiss Ni002 238
Zeiss Theo 010 236

zsinórállás 41