

A háromdimenziós geodézia és perspektívái

Borza Tibor

*Földmérési és Távérzékelési Intézet, Koszmos Geodéziai Observatórium
Budapest, Bosnyák tér 5. borza@sgo.fomi.hu*

Busics György

*Nyugat-Magyarországi Egyetem Földmérési és Földrendezői Főiskolai Kar, Geodézia Tanszék
Székesfehérvár, Pirosalma utca 1-3. bg@csim.hu*

Bevezetés

A vízszintes és a függőleges a földfelszínen élő ember elemi fogalmai közé tartozik. E fogalmak kialakítója, a nehézségi erő, olyan tényezője a földi létnek, amely az ember mindennapi tevékenységét alapvetően meghatározza. A korlátozott méretű mérnöki létesítményeket horizontális és vertikális rendszerben: alaprajzilag (felülnézetben) és metszetekkel ábrázoljuk. A horizontális rendszerekkel azonban a Föld görbülete miatt országnyi területek térképi ábrázolását nem lehet megoldani, ezért a Föld alakját minél jobban megközelítő, de matematikailag kezelhető alapfelületet kellett választani. A vízszintes koordinátákat eredendően az alapfelületen értelmezték, de a magasságot csak a tengerszinttől tudták mérni. Az *elkülönült vízszintes és magassági alapfelületeket és hálózatokat, a (2+1)D geodéziát*, tehát a szükségszerűség hozta létre. Az ellentmondásmentes ábrázolás miatt a valóságban mért adatokat redukálni kell az alapfelületre. Ebből adódik, hogy – ha a vetületi torzulásoktól el is tekintünk, – a koordinátákból számított geometriai adatok nem egyeznek a terepen mért valódi méretekkel. A kétdimenziós felületi ábrázolásnak további problémája, hogy a magassági adatokat nem lehet az alapfelülettől mérni, mert az alapfelület fizikailag nem érhető el. Helyette bevezették a geoid fogalmát.

Háromdimenziós térbeli ábrázolásra tehát a Föld méreteihez képest igen kicsiny méretekben lehet gondolni, amikor a függővonalak nem párhuzamos voltából eredő hiba még elhanyagolható, vagy globális méretekben, amikor nem egy felületi ponthoz kötjük a koordináta-rendszert, hanem a Föld középpontjához. Ez utóbbi így az egész Földet magába foglalja, Z tengelye egybeesik a forgástengellyel. Bár az igény a globális koordináta-rendszer bevezetésére már a múlt században felmerült, a gyakorlati alkalmazás lehetőségét csak a műholdakra alapozott kozmikus geodézia hozta meg.

A kozmikus geodéziai megfigyelőműszerek fejlődése elvezetett a GPS technikához, amelynek megjelenésével a *háromdimenziós geodézia (3D geodézia)* napi gyakorlattá vált. A műholdas technika rutin felhasználói talán nincsenek is mindig tudatában annak, hogy azok a műveletek, amelyeket végeznek, gyökeresen eltérnek a geodézia többszáz éves hagyományaitól.

Ebben a cikkben megkíséréljük *bemutatni* ezeket az *eltérő elemeket*, valamint azt, hogy a geodézia gyakorlatában *milyen változásokkal kell számolnunk* már a közeljövőben. Ezek a kérdések nem csak tudományos vonatkozásúak, hanem gazdasági szempontból is izgalmasak, hiszen az uralkodó tendenciák késői felismerése általában gazdasági hátránnyal, technikai lemaradással jár együtt.

A helytálló trendek meghatározásához *a múlt és a jelen alapos megismerésén, elemzésén keresztül vezet az út*, amelyet a leghatékonyabban úgy lehet bemutatni, ha szembeállítjuk őket. Ennek érdekében a következőkben rövid, táblázatos formában összefoglaljuk a (2+1)D és a 3D geodézia leglényesebb ismérveit, majd kiegészítő megjegyzéseket fűzünk hozzájuk.

Változások a vonatkozási rendszerben

(2+1)D	3D
Külön-külön létezik vízszintes és magassági vonatkozási rendszer. A vízszintes mérések alapfelülete az ellipszoid, a magasság-méréseké a geoid.	Egynemű egységes térbeli vonatkozási rendszer létezik, amely háromdimenziós euklideszi térbe helyezi a valódi Földet.

Országokként eltérőek, azaz lokálisak a vonatkozási rendszerek, bár az alapfelületeket igyekeztek a lehető legjobban közelíteni a geoidhoz.	Világszinten azonos, az egész Földre és környezetére kiterjedő, azaz globális a rendszer.
A vízszintes vonatkozási rendszer definiálása csillagokra végzett észlelésekkel történik. Az alacsonyabb rendű méréseket a földi geodéziai hálózatok már ismert pontjaihoz viszonyítva végzik.	A térbeli égi vonatkozási rendszer definiálása kvazárokra végzett VLBI mérésekkel történik, a Földhöz kötése műholdas lézermérésekkel (SLR). Az alacsonyabb rendű mérések is mesterséges holdakra történnek (GPS).
Inhomogén , mert vízszintes értelemben geometriai, magassági értelemben fizikai fogalmakhoz kötődik	Homogén , mindhárom irányban geometriai mennyiséggel dolgozik.
A mért mennyiségeket mindig redukálni kell az alapfelületre (majd vetületre), ezért a koordinátáson tárolt adatok nem egyeznek a valódi értékekkel.	A 3D rendszerben mért adatokat semmilyen redukcióval nem kell ellátni, ezért a koordinátákból számított adatok megegyeznek a valódi értékekkel.
A magassági vonatkozási rendszerek a szintezés technikájával, egy vagy több önkényesen választott kezdő magasság elfogadásával kerültek kialakításra. Ezért az alapfelületül kijelölt geoid-darabok országokként eltérőek .	Függetlenül a Föld potenciálterétől, a magasság geometriai fogalomként jelenik meg, mint az alapfelületről való normális távolság. Az ellipszoid geocentrikus elhelyezésű, tehát világszerte azonos a magasság értelmezése.

A vonatkozási rendszerről

A vonatkozási rendszer értelmezése napjainkban más és más. Jelen írásban vonatkozási rendszer alatt az alappontok helymeghatározó adatai keletkezésére szolgáló illetve arra befolyással bíró összes tényező megadását értjük. Így a vízszintes vonatkozási rendszer megadása a vízszintes *hálózat* összes mérésének és kiegyenlítésének, a hálózat elhelyezésének és tájékozásának, az *alapfelület*, a *vetület*, a *síkkoordináta-rendszer* és a *mértékrendszer* felvételének a megadását jelenti. A magassági vonatkozási rendszer az *alapfelület* és az *alapszint* felvételét, a szintezési *hálózatot* és annak kiegyenlítését jelenti. A térbeli vonatkozási rendszer is az *alapfelület* geometriai és geofizikai paramétereinek megadását és egy földi *alaphálózatot* jelent.

Fontosnak tartjuk megjegyezni, hogy a vonatkozási rendszer definiálása nem öncélú, hanem a geodézia alapfeladatát van hivatva szolgálni, azaz a helymeghatározás, a térképkészítés, a geo-információs rendszer megvalósítását a kor sokféle igényének megfelelően.

A vonatkozási rendszer élettartamáról

A hagyományos vonatkozási rendszerek kiépítése igen hosszadalmas folyamat, mivel a hagyományos hálózatmérés időigényes. Érthető, ha a nagy költséggel, kemény munkával létrehozott vonatkozási rendszereket hosszú ideig szeretnénk életben tartani. Viszonylag ritkán került sor a múltban váltásra a vonatkozási rendszerek között, bár ezt a kérdést a műszaki-technikai oldalon kívül számos egyéb tényező is motiválja.

Az Amerikai Egyesült Államok vízszintes vonatkozási rendszere (*North American Datum = NAD*) például az új alapfelület (Clarke, GRS80) és az új hálózat bevezetése miatt 1983-ban változott (*NAD27*, *NAD83*). Európában minden ország a saját vonatkozási rendszerét használja, de tudományos célból, az egyes országok hálózatainak közös kiegyenlítésével közös európai vonatkozási rendszereket is létrehozottak (Vízszintes vonatkozásban *European Datum = ED50*, majd *ED87*; magassági vonatkozásban: *Unified European Levelling Network = UELN73*, majd *UELN95*, *UELN98*).

A magyar vízszintes vonatkozási rendszer hivatalos jelölése *HD72* (*Hungarian Datum = HD*), mivel 1972-ben történt meg az 1948 óta mért felsőrendű hálózat végleges kiegyenlítése, a GRS67 ellipszoid, az EOVS és EOTR bevezetése. Jól ismert, hogy történelmünkben következően még

számos más vízszintes vonatkozási rendszer van használatban ma hazánkban. Azt is tudatosítanunk kell, hogy ma egyidejűleg két magassági vonatkozási rendszer él Magyarországon: a Bendefyhálózatra épülő ún. "Balti-rendszer" és az EOMA, amely a hálózatépítés lassúsága miatt csak a Dunától Keletre szolgál gyakorlati célokat. (Kezdomagassága mindkettőnek a Nadapi főalappont.)

Ami a térbeli vonatkozási rendszereket illeti, azokat ma a GRS 80 (WGS 84) ellipszoidhoz tartozó különböző alaphálózatok szerint különböztetjük meg. A WGS 84 rendszert az USA Nemzetvédelmi Minisztériuma felügyelete alatt működő NAVSTAR rendszer földi követő állomásai definiálják. Az ITRF rendszert (*International Terrestrial Reference Frame = ITRF*) az IGS (*International GPS Service = IGS*) permanens állomásai testesítik meg. Az ITRF89 világrendszert meghatározó állomásokból kiemelték az európai állomások GPS észleléseit és az önálló feldolgozás eredményeként létrejött az ETRF89, ami azonos az EUREF89 rendszerrel. (*European Reference Frame = EUREF*). . Megjegyzendő, hogy a különböző időpontú mérések évszámmal (időponttal) jelölt, különböző vonatkozási rendszereket jelentenek. A műholdas mérések, elsősorban a GPS, akár naponta új és új vonatkozási rendszer létrejöttét teszik lehetővé.

A műholdas vonatkozási rendszerek élettartama jóval rövidebb, mint a hagyományosoké, ezért az időadatok megadása is feltétlenül szükséges az elnevezésben. A pontosság növekedése következtében a legújabb ITRF és WGS rendszerek már csak mm szinten térnek el egymástól, a gyakorlati feladatok számára ezért akár fel is cserélhetők, nem tévesztve szem elől, hogy ilyenkor számolni kell a pontok koordinátáinak időbeli változásával.

Az ellipszoidról, mint magassági vonatkozási rendszerről

A 3D geodézia megjelenésével talán a magasságmérésben várható a legmélyrehatóbb változás. A színtezéssel végzett magasságmeghatározás egyik alapproblémája az, hogy az alapfelületül szolgáló geoid fizikailag nem érhető el, így a hálózatok elhelyezése önkényes. A nemzetközi kapcsolatok kiszélesedése, az uniós törekvések miatt egyre élesebben jelentkezik az egységes magassági alapfelület igénye is. Példa erre Európában a már említetten kívül az EUVN97 (*European Vertical GPS Reference Network = EUVN*) program, amelynek célja az egységes európai magassági rendszer létrehozása.

Azok a törekvések, amelyek a színtezési hálózatok egységesítésére irányulnak, elérhetnek ugyan kiváló eredményeket, de a színtezés mérési hibái miatt az ellentmondásokat nem lehet egy adott pontossági szint alá szorítani. Abszolút értelemben jelentős hibák terhelik például azokat a hálózatokat, amelyekhez a magassági szintet 1000 km-ről vagy még távolabbról hozták, magas hegységek átszelésével. Jó példa erre a (*Sacher, M - Ihde, J. - Seeger, H., 1998*) által publikált 1. táblázat, amelyben az európai nemzeti magassági hálózatokat vetik össze a GPS-szel mért EUVN hálózattal. Egy országon belül is több deciméteres a maximális eltérés a színtezett valamint a GPS és geoid segítségével előállított magasságok között (pl. Ausztriában 23 cm, Svájcban 40 cm).

Mindezen problémákat megkerülve *Steinberg* és *Papo (1998)* azt javasolják, hogy be kellene vezetni magassági alapfelületként is a WGS 84 ellipszoidot. Ezzel egyrészt megoldódna az alapfelület egységesítése, másrészt az alapfelület, a GPS technika alkalmazásával, mindenütt hozzáférhetővé válna. Problémát okoz ugyan, hogy a víz folyása nem követi az ellipszoidot, de megfelelő pontosságú globális geoid ismeretében ez áthidalható. Egy adott távolság fölött ez a technika máris felülmúlja a színtezés pontosságát, lokális területeken viszont továbbra is megmaradna a hagyományos színtezés.

Változások a geodéziai hálózatok létesítésében

(2+1)D	3D
Gyakorlati okokból közigazgatási egységenként (országokonként) létesítenek egységes hálózatokat	A koordináta-rendszerből és a műholdas technikából adódóan lehetséges az egységes világhálózat kialakítása.
Méréstechnikai okokból gyökeresen eltér a vízszintes és a magassági hálózat.	A 3D tulajdonság (térbeliség) a rendszer sajátja.
Magának az elsőrendű vízszintes hálózatnak a	A műholdas technika lehetővé teszi a több

kiépítése a mérés technikailag lehetséges legnagyobb méretű háromszögek egymás mellé építésével történik, tehát a kicsiből haladnak a nagy felé.	ezer km oldalhosszúságú hálózatok megmérését, ezért az országos hálózatok kialakításánál itt a nagyból a kicsi felé haladnak
A felsőrendű alappontok a vízszintes hálózatban magaslatokra kerülnek, a magassági hálózatban viszont általában völgyekbe, utak mellé, tehát a pontok elhelyezését, állandósítását, mérését tekintve élesen elkülönül a két hálózat. A vízszintes pontok összeláthatósága fontos kitűzési szempont.	Nincs szükség összelátásra (de az égbolt láthatóságára igen), ezért a kitűzésnél a legfontosabb szempont a terület egyenletes lefedése mellett a pont fennmaradásának biztosítása, a jó kilátás az égboltra valamint a könnyű megközelíthetőség.
A különböző rendű hálózatok szigorú hierarchikus rendszert alkotnak, amely a mérés technikájában, a pontok relatív pontosságában és az állandósítás módjában nyilvánul meg	A hierarchikus felépítés a GPS hálózat kiépítéséig megvan, utána elveszíti a jelentőségét , mert az országos hálózat valamennyi pontja abszolút értelemben (az elsődlegesen adott pontokhoz képest) azonos megbízhatóságú.
A szomszédos pontok maximális távolságát a láthatóság, a távmérő hatótávolsága, a refrakció korlátozza. (Az elsőrendű pontok átlagos távolsága ezért kisebb mint 30 km)	Az összemérhető pontok távolságának a közös holdak észlelése szab határt, de több száz vagy több ezer km-es vektor mérésének sincs akadálya. Azonos pontosság eléréséhez a hosszú vektorok mérési ideje azonban lényegesen több.
A vízszintes hálózat sűrűsége alkalmazkodik a hagyományos geodéziai műszerek adottságaihoz, nálunk 1.5 - 2.0 km az átlagos ponttávolság.	A GPS technika 10 km-en belül lényegében azonos mérési idővel és pontossággal határozza meg a vektorokat, ezért a pontmeghatározás szempontjából nem indokolt ennél sűrűbb hálózatot fenntartani.
Az állandósítás biztonsága arányban van a pont meghatározásának költségével, tehát lényeges különbség van a különböző rendű pontok állandósítása között.	Nem indokolt különbséget tenni az állandósításban, hacsak nem speciális mozgásvizsgálati feladatról van szó.
A hálózati pontok abszolút (az elsődleges adott ponthoz viszonyított) pontossága az elsőrendű hálózatok méretének a növelésével csökken.	Lehetséges az azonos abszolút pontosságú hálózat kialakítása, akár kontinens méretekben is (az abszolút pontosság itt is a hálózat elsődlegesen adott pontjaihoz viszonyítva értendő).

A hálózatok hierarchiájáról

A GPS technika lehetővé teszi az abszolút (hálózati) pontosságban homogén hálózat kiépítését. Először, szélső pontosságú technológiát alkalmazva, globális (világ)hálózatra támaszkodva, határoznak meg néhány alappontot az országban (ezeket nevezhetjük elsődlegesen adott pontoknak). Ezeket a pontokat rögzítve ezután az ország méretétől függően, több lépcsőben sűrítik a hálózatot, mindig olyan GPS technológiát alkalmazva, hogy a sűrített új pontok abszolút pontossága ne maradjon el a már ismert pontokétól. Az OGPSH esetében például ötnapos észleléssel kapott koordinátát az egymástól több mint 200 km-re levő, 5 db EUREF pont, kétnapos észlelést végeztünk a 60 km sűrű, 20 pontos kerethálózatra és mindössze 1-3 órás periódusidő is elegendőnek bizonyult a 10 km sűrű, további 1130 pont meghatározására. Így sikerült elérni, hogy valamennyi pontnak az abszolút pontossága közel azonos legyen. Az elmondottakból következik, hogy az EUREF pontoknak és a keretpontoknak csak addig van kitüntetett szerepük, ameddig a további sűrítés el nem készül. Ha egy – abszolút pontosság tekintetében homogén – hálózatban

elpusztul egy pont (mindegy, hogy EUREF-pont vagy sűrített pont), akkor azt a szomszédos pontok alapján, kis költséggel pótolni lehet. A hagyományos hálózatokban az abszolút pontosság nem lehet állandó, mert az I. rendű hálózat kialakításánál mérés technikai okokból a kicsiből a nagy felé kellett haladni. Minél nagyobb méretű egy ilyen hálózat, annál nagyobb a pontok abszolút hibája. (Csillagászati mérésekkel ez csökkenthető, de az iránymérés pontossága ennek korlátot szab).

Az OGPSH létrehozásával előállt az a helyzet, hogy az ország egész területén azonos költséggel lehet régi pontokat pótolni, vagy új pontokat meghatározni. Ennek egyenes következménye, hogy nem csak az OGPSH, de az EOVA alaphálózatban is elveszítette jelentőségét a mindeközéig létező hierarchia, amely nem csupán az állandósításban, de az alappontok eltérő nyilvántartásában is megmutatkozik.

A hálózatok alappontjainak sűrűségéről

Gyakran elhangzik, hogy továbbra is fenn kell tartani a IV. rendű hálózatot, mert nincs minden földmérőnek GPS műszere. A válaszuk erre az, hogy nem is kell, hogy legyen, elegendő, ha van elég GPS méréseket szolgáltató vállalkozás. Ez a helyzet már ma is fennáll. Természetesen ez nem azt jelenti, hogy "el kell tüntetni a meglévő pontokat", csupán a karbantartásukra fordított költségek egy részének megtakarításáról, pontosabban átcsoportosításáról lehet szó. Az OGPSH 10 km-es átlagos ponttávolságával a legsűrűbbek közé tartozik Európában. Minden eshetőségre gondolva, ajánlatos a jövőben – a GPS hálózattól függetlenül – gondot fordítani az I. és III. rendű pontok megtartására; mindenek előtt azért, mert ezen pontok esetében az elhelyezés szempontjai, valamint az állandósítás módja nagyobb garanciát biztosít a hosszútávú fennmaradásra. Nem elhanyagolható szempont az elődeink előtti tiszteletadás sem. Hangsúlyozni szükséges, hogy a pontvédelem, mint a vonatkozási rendszer fenntartásának eszköze, továbbra is kiemelt feladat kell maradjon, de elsősorban a felsőrendű vízszintes alappontokra és az OGPSH pontjaira kell koncentrálni.

Az állandósításról

Az állandósítás költségének mindig arányban kell állnia a pont meghatározásának költségével. I. rendű pontjaink körültekintő állandósítása teljesen indokolt volt, hiszen egy I. rendű pont iránymérési meghatározása kedvezőtlen körülmények között akár egy hónapig is eltartott, miközben a szomszédos pontokon nagy költséggel felépített gúlák is ügyeletet tartottak a fényvetítő berendezésekkel. Egy I. rendű pont tehát több száz km²-es területen egyedül képviselte a vonatkozási rendszert egészen a sűrítő hálózat kiépüléséig, amire általában éveket kellett várni. Ez idő alatt egy esetlegesen elpusztult ponttal az igen költséges meghatározási munka is teljes egészében elveszett volna. Természetes tehát, hogy ehhez mérten választották meg az állandósítás technológiáját. A hálózatok besűrítésével a helyzet megváltozik, mert bármely elpusztult pont a legközelebbi pontok alapján, helyreállítható. Az OGPSH pontok esetében pontosságvesztés nélkül. Ez a tény kérdésessé teszi a különböző típusú állandósítások létjogosultságát is. Sőt, sok esetben egyszerűbb lenne egy elpusztult pontot kiváltani egy, a közelben telepített új ponttal, mint megkeresni a földalatti jelet. Ezt azonban mégsem ajánljuk, mert a régi és az új pontok közelsége zavarokhoz vezetne. A központilag nyilvántartott pontjaink esetében ezért továbbra is indokolt a földalatti jel használata, de megkérdőjelezhető ugyanez az V. rendű és a felmérési alappontok esetében. Kérdezzük csak meg a nagy gyakorlattal rendelkező mérnököket, hogy praxisukban hány esetben fordult elő ilyen pontok földalatti jelének felkeresése...

A GPS hálózatok szerepéről

Az egyes országok geometriai rendjét a geodéziai alaphálózatok biztosítják. Ezek közül legpontosabbak a műholdas technikával létesített, ún. GPS hálózatok, amelyek – ha létesítők ügyletek rá, – az ITRF-re vonatkoznak. Ez lehetőséget teremt egyrészt arra, hogy a nagyméretarányú térképek pontosságát megjavítsuk, másrészt arra, hogy az egyes országok eltérő vonatkozási rendszereiben megadott információkat "közös nevezőre" hozzuk. Az aktív (a folyamatosan üzemelő vevők alkotta) GPS hálózat kiépülésével a referenciarendszert a permanens állomások biztosítják, amelyek részt vesznek az új pontmeghatározásokban is. Kérdés, hogy mi lesz a szerepe ekkor a passzív GPS hálózatnak?

A passzív GPS hálózat egyik feladata, hogy – együtt a fizikailag is létező, további nyilvántartott pontokkal – biztosítsa az ország referencia-rendszerét minden eshetőségre számítva. A passzív GPS

hálózat másik feladata konkrétan: biztosítani kell a kellő pontosságú lokális transzformációt a GPS és az egyes nemzeti alaphálózatok között. Erre mindaddig szükség lesz, ameddig a nemzeti rendszerek fennmaradnak, viszont a méréseket GPS technikával végzik. (Esetünkben nincs szó az EOTR felváltásáról.) Az OGPSH a 10 km-es pontsűrűségével erre a feladatra kiválóan alkalmas.

A mérés technika összehasonlítása

(2+1)D	3D
A geodéziai szög- és távmérőműszerek autonómak , nem támaszkodnak külső segítségre.	A GPS támaszkodik egy folyamatosan üzemelő külső apparátusra , a műholdak alrendszerére és a vezérlő alrendszerre.
A mérőszemély viszonylag autonóm , saját időbeosztása szerint, függetlenül mér a terepen, nincs szükség különösebb együttműködésre az egyes mérőbrigádok között.	Összehangolt, szimultán mérést kell biztosítani a relatív meghatározáskor. Egyetlen vevő-vel történő észleléshez ki kell építeni a GPS infrastruktúrát, az aktív állomások rendszerét.
A hagyományos mérés a mérőszemély jelenlétét és aktív közreműködését (irányzás, leolvasás, jegyzőkönyvezés vagy adatrögzítés) igényli.	A GPS mérés automatikus folyamat , nem feltétlenül igényli az emberi beavatkozást (bár a ponton történő felállást ill. az eszközök szállítását természetesen nem lehet automatizálni).
A műszerek, a helyi függőlegest használva, szintfelületi rendszerben dolgoznak.	Bonyolult pályaszámításon keresztül a meghatározott vektorok a 3D geocentrikus rendszerre vonatkoznak, a származtatott adatok az ellipszoidi normális hoz kapcsolódnak.
A hagyományos műszerek, eltekintve a hosszadalmas csillagászati mérésektől, abszolút meghatározásra nem képesek	A GPS képes abszolút helymeghatározásra , bár csak korlátozott (nem geodéziai) pontossággal.
Vízszintes- és magassági szöveget, azimutot, távolságot, magasság-különbséget mérnek, közvetlenül a földi pontok között .	A GPS vevő és a műholdak között távolság- és távolság-különbség méréseket végeznek. Mindkettőt az időmérésre lehet visszavezetni.
Szükséges a földi pontok közötti összelátás .	Csak a műholdakra (égboltra) kell kilátást biztosítani.
Az új pontmeghatározásnál nagy súllyal esik latba az ismert és az ismeretlen pontok között fennálló geometriai alakzat. A földi pontok és meghatározó irányok közötti jó geometriai elrendezésre külön ügyelni kell.	Nem a földi adott és új pontok viszonya a lényeges, hanem az észlelhető műholdak darabszáma valamint helyzete a GPS vevőkhöz képest (jó DOP érték szükséges).
A hagyományos mérések rendszerint egymáshoz képest mozdulatlan pontok között történnek. (Szervomotoros prizmakövetésre korlátozott távolságban van csak lehetőség.)	A kinematikus (mozgó vevővel végzett) GPS mérés egyre nagyobb bázistávolságnál is lehetséges, ami kiszélesíti az alkalmazások körét.
A geodéziai mérőműszerek egyediek, drágák, kezelésük speciális szakismeretet igényel.	A GPS vevők egy része tömegáru lesz, amelyet bárki beszerezhet és használhat. A geodéziai vevők kezelése is mind egyszerűbbé válik
A mérések elvégezhetőségének lehetőségét az időjárási viszonyok (eső, hó, köd, erős napsütés, hideg, szél stb.) korlátozzák.	Minden időben és időjárási körülmények mellett alkalmazható, csak a villámlásos zivatarokat ajánlott kerülni.

A rendszerfenntartótól való függőségről

A GPS technika elterjedése – a kézzelfogható előnyei mellett, – rejt magában némi veszélyt is. Mivel a rendszer nem autonóm, annak használata függ a rendszer fenntartóitól. A rendszer gazdái részéről elvben lehetséges olyan beavatkozás a műholdak alrendszerébe, ami korlátozza, vagy meg is akadályozza annak szabad használatát. (Az álhírekkel ellentétben a GPS használatáért semmilyen formában nem kell térítést fizetni.) A rendszerbe vetett bizalom erősítésére 1996-ban az USA elnöke aláírásával kiadtak egy deklarációt, amelyben garantálják a NAVSTAR rendszer üzemeltetését, sőt bizonyos korlátozások megszüntetését is kilátásba helyezik (A deklaráció teljes szövege olvasható a GPS World 7. évf. 5. szám. 50 oldalán.). Az is kedvező fejlemény, hogy kifejezetten a polgári felhasználók számára további frekvencia(ák) felhelyezését tervezik a műholdakra. Mindezek ellenére „*az ördög nem alszik*” címszóval az EU továbbra sem mondott le a saját rendszerének kiépítéséről (GNSS) sőt Japánban is szóba került egy önálló rendszer. Az orosz GLONASS ugyancsak szabadon használható. Az egyes országoknak maguknak kell eldönteniük, hogy milyen költséget szánnak a GPS-től független geodéziai referenciarendszer fenntartására.

A GPS egyszerűségéről

A légi és vízi közlekedésben eddig külön tudományként kezelt navigációt a GPS annyira leegyszerűsítette, hogy minden előképzés nélkül használhatják a laikusok is. Várható-e ennek bekövetkezése vajon a geodéziában is? Ilyen szinten biztosan nem. A legkorszerűbb műszerek kezelése ugyan már most sem igényel különösebb felkészülést, sőt az alsógeodéziai feladatok elvégzését is rutinszerűen lehet végezni. Ugyanakkor nem várható automatizálás a szélső pontosságú, elsősorban geodinamikai feladatok végzésekor. Továbbra is nehézséget fog okozni a létező vonatkozási rendszerek közötti átszámítás, maguknak a vonatkozási rendszereknek a fenntartása és javítása. A mérések térinformatikai rendszerekbe való bevitele, kezelése sem oldható meg amatőr szinten. Hiteles méréseket továbbra is csak szakemberek végezhetnek majd, a nagy pontosságú helymeghatározás továbbra is a geodéták feladata marad. Nem kell attól tartani tehát, hogy szakmánk megszűnik, de a gyökeres változások jelei máris tapasztalhatók.

A grazi *Helmut Moritz* professzor egy 1992-es beszédében ezt röviden így fogalmazta meg: "A GPS megjelenése utáni geodézia sokkal bonyolultabb, sokkal érdekesebb és sokkal több szakterületre kiterjedőbb lesz, mint bármikor előtte volt, és ez bizonyosan segít a geodézia megmaradásában" (*Moritz, 1992*).

A GPS és más technológiák együttéléséről

A GPS hamar kivívta magának a *leghatékonyabb alappontmeghatározó eszköz* címet. Jelenleg elfogadott, hogy az alappont-meghatározást GPS-szel, a további részletmérést pedig más földi módszerekkel a legcélszerűbb végezni. Magyarországon, a Nemzeti Kataszteri Programban eddig indult új felmérések szinte mindegyikénél a GPS volt a felmérési hálózatok kialakításának eszköze. A kinematikus GPS technikák fejlődése következtében mára a GPS – bizonyos feltételek mellett, egyes területeken – hatékonyabb lett a földi módszereknél a részletes felmérés és a kitzés terén is. A fejlődés lendülete töretlen. Több ország (Németország, Ausztria, Norvégia) máris építi a permanens állomások olyan sűrű hálózatát, amely lehetővé teszi a cm pontos valósidejű kinematikus technika alkalmazását a felhasználó egyetlen vevőjével az egész ország területén. Ez azt jelenti, hogy a mérnök a műszeréről közvetlenül a koordinátákat olvassa le, illetve cm pontossággal közvetlenül koordinátákat tűzhet ki. A beépített, fedett, takarásos területeken azonban továbbra is a földi módszereké marad a vezető szerep.

Legnagyobb technikai akadálya a GPS még kiterjedtebb használatának a kitzés. Nem véletlen, hogy e kellemetlen hatás kiküszöbölésére jelentős fejlesztések folynak. Általánosan elterjedt már például a *multipath szűrővel* ellátott GPS vevő, de nagy reményeket fűznek az *inerciális rendszerek*, a földre telepített kvázi műholdak (*pseudolite*-ok), valamint más érzékelők hozzárendelésével olyan rendszerek létrehozásához, amelyek képesek bizonyos ideig kiváltani a kitzés következményeit. A hagyományos technikák alkalmazása azonban továbbra sem kerül veszélybe. Hogy hol, mikor, mit alkalmazzunk, azt mindig a feladat és a lehetőségek szabják meg. Többek között ennek eldöntésére is csak a geodéták lesznek képesek.

Pontossági összehasonlítás

(2+1)D	3D
Hazai vonatkozásban a hagyományos I. rendű vízszintes hálózatunk relatív pontossága kb. 2 ppm (<i>parts per million</i>), míg a IV. rendű hálózaté mintegy 20 ppm (1/50000). Az alsórendű pontok abszolút pontossága ezért közel azonos az őket határoló I. rendű pontok pontosságával.	GPS technikával a világméretű hálózatok kialakításánál lehetséges a néhány ppb (<i>parts per billion</i>) relatív pontosság elérése is. A mm alatti pontosság ugyanakkor jelenleg igen rövid távolságokon sem reális. A jelenlegi reális értékek: vízszintes értelemben 2-3 mm, magassági értelemben pedig 3-8 mm. (A több száz km hosszú vektorok meghatározása speciális technológiát igényel.)
Az I. rendű hálózatunk 2 mm/km relatív pontossága azt jelenti, hogy az ország közepétől számítva a határszéleken már 40-50 cm eltérés várható.	A GPS hálózat az egész ország területén biztosítja vízszintes irányban a 2 cm abszolút pontosságot. (Az 5 db EUREF pont, valamint a 20 db keretpont hibája 1 cm.)
A magassági hálózatoknál az I. rendű szintezési vonalakra megadott hibahatár $1.2(L)^{1/2}$ mm, de a hálózati kiegyenlítés után ennél 2-3 szor pontosabb értékek is elérhetők. (L a vonal hossza km-ben)	A GPS-szel meghatározott ellipszoid feletti magasság-különbség pontossága 50 km távolság fölött már eléri a szintezés pontosságát. Ha az ellipszoidi magasságról át akarunk térni geoid felettre, akkor figyelembe kell venni a geoidmagasságot és számolni annak hibájával is.

A pontossági igényről

Gyakran felvetik, szükség van-e egyáltalán a pontosság további növelésére, hiszen már a "GPS előtti" geodézia által nyújtott pontosság is arányban állt a határpontok fizikai megjelölésének azonosítási hibájával?

Lokális területeken valóban nincs szükség nagyobb pontosságra: meglévő hálózataink és az arra épülő lelkiismeretes digitális felmérések minden kataszteri igényt kielégíthetnek. Országos szinten viszont azonban az európai országok tekintetében több méter hibát lehet kimutatni a hagyományos geodéziai hálózatokban. Ezek az országokénti hibák egy egységes koordináta-rendszerben már gondot okoznak. Adódhatnak (és adódnak is) ezen kívül szélső pontosságot igénylő, aránylag nagy területet érintő, mérnökgeodéziai feladatok. Az igazi területe azonban a szélső pontosság alkalmazásának a mozgásvizsgálat. A mozgások időben játszódhatnak le, ezért a pontosság növelésével fordított arányban áll a monitorozás időszükséglete, tehát egyenes arányú a költségek csökkenése. Óriási előnye a GPS technikának, hogy aktív hálózatokkal folyamatos, "naprakész", vagy óránkénti vizsgálatokat lehet végezni. Japán például már közel ezer permanens állomást üzemeltet a földrengések biztosabb előrejelzésének reményében. (*Thatcher, 1999*).

Kitekintés, várható tendenciák

A jövő helymeghatározásával kapcsolatban elsősorban (*Hofmann-Wellenhof, 1997*)-ra támaszkodva néhány gondolat. Számolni kell az európai GNSS-1 és GNSS-2 (*Global Navigation Satellite System = GNSS*) rendszerekkel amelyek egyelőre a tervezés szintjén vannak. A GNSS-2 a szokásos feladatok mellett már kommunikációs kapcsolatokat is képes létesíteni, ugyanakkor kompatibilis lenne a GPS és GLONASS rendszerekkel. Az abszolút meghatározás pontosságának nem annyira a technika, mint inkább a katonai szempontok jelentenek korlátot. A rövid időre előrejelzett pályaszámítás pontossága elérte az 1 m-es szintet; elvileg lehetséges a méternél pontosabb abszolút meghatározás is. Egy ilyen irányú nyitás a DGPS kiszorulását okozná. Addig azonban jelentős szerepe lehet a WADGPS (*Wide Area Differential GPS*) módszernek, amely a pályaadatok, az ionoszférikus hatás, valamint az órahibák finomításával, majd ezen adatoknak a felhasználókhöz történő valósidejű eljuttatásával lehetővé teszi a DGPS kiterjesztését 500-800 km-re.

A hagyományos navigációs rendszerek megszűntek (Omega, 1997. szept. 30), vagy be fogják szüntetni azokat (Loran-C, 2000 dec. 31.); szerepüket a globális helymeghatározás veszi át, amelyet további műholdas rendszerekkel egészítenek ki (pl. INMARSAT, PRARE, ENSS).

A 3D geodézia jövőbeni szerepét ma így ítélnék meg:

- A térképi ábrázolás a jövőben is horizontálisan, 2D rendszerben képzelhető el. A legtöbb ország megtartja a korábban bevezetett vetületi rendszerét, viszont megteremti a kapcsolatot a 3D világhálózattal. Ahol ez a kapcsolat létrejön, a WGS rendszeren, mint közvetítőn keresztül lehetővé válik a másik ország nemzeti rendszerébe való átszámítás is. Azok az országok, amelyek új térképrendszert kívánnak bevezetni, dátumnak a WGS 84 illetve az azzal lényegében megegyező ITRF koordináta-rendszert, vetületnek pedig a WGS 84 ellipszoidhoz kapcsolódó UTM vetületet fogadják el.
- Az alappont-meghatározások területén meghatározó lesz a GPS, de a részletmérések területén is jelentős szerepet kap. A hagyományos geodéziai műszereket elsősorban részletmérésre használják, illetve alappontmeghatározásra ott, ahol a GPS technika akadályozva van. Megjelennek a kombinált műszerek is. Főként gazdaságossági szempontok fogják eldönteni, hogy egy adott feladtnál melyik technika a legcélravezetőbb.
- A hagyományos geodéziai hálózatok karbantartására szánt összegek fokozatosan átkerülnek az aktív GPS hálózatok fenntartására. A 3D helymeghatározás infrastruktúráját a passzív és az aktív GPS hálózatok képezik, amelyek az egész országban biztosítják a vonatkozási rendszert, illetve ez utóbbi a bázisméréseket is végzi.
- A kinematikus GPS módszerek – kombinálva más mérési eljárásokkal – egyre nagyobb szerepet fognak játszani a térinformációs rendszerek adatnyerési eljárásai között. Olyan mobil mérőrendszerek kifejlesztése várható, amelyekben a GPS szolgáltatja a jármű helyzetét, de emellett az információ-gyűjtésben más eszközök is szerepet kapnak (INS, CCD kamera, lézertáv mérő, mélységmérő, letapogatók...)
- A GPS automatizáltsága és a műszerek árának megfizethető volta új alkalmazási területeket nyit meg. Ilyen terület például a kitűzés, szárazon és vízben egyaránt, a földmunkagépek, mezőgazdasági gépek, út- és vasútépítő gépek, toronydaruk, robotok távirányítása és automatizált működtetése...
- A magasság-meghatározásban megszűnik a színtezés kizárólagossága, de a színtezés jelentős szerepet kap az "öt" felváltó technológiához szükséges geoid pontosításában. Előtérbe kerül a lehető legpontosabb geoid-modell előállítás, amelyhez megfelelő sűrűségű gravimetriai mérésekre is szükség van.
- Színtezési hálózatokat főleg lokális méretekben létesítenek, illetve tartanak fenn, az országos színtezési hálózatoknak inkább a tudományos jelentősége marad meg. Nagypontosságú 3D hálózatokra (passzív, aktív) valamint geoid-modellre támaszkodva, GPS technikával viszik át a magasságot a lokális színtezési hálózatok között. Ahol az 1 cm pontosság elegendő, ott lokálisan is a GPS technikát alkalmazzák magasságmérésre.
- A mérések pontosságának megnövekedése előbb-utóbb hazai viszonylatban ki fogja kényszeríteni az EOVA alaphálózatra támaszkodó kataszter pontosságának javítását, de továbbra is megtartva az Egységes Országos Vetületi rendszert. Hazánkban a kataszter továbbra is az EOVA-ra támaszkodik. Az OGPSH-nak a nemzetközi feladatoknál (pl.

határmunkáknál) valamint a nagy pontosságú feladatoknál van szerepe, amellett, hogy infrastruktúrája is a 3D geodéziának.

Az előbbiekből következik, hogy a 3D geodézia nem felváltja a hagyományos (2+1)D geodéziát, hanem azzal együtt él a jövőben.

A 3D technika megvalósulását úgy is értékelhetjük, mint a geodéta társadalom nagyszerű hozzájárulását a napjainkban világszinten tapasztalható gazdasági és társadalmi egységesítési törekvésekhez.

Irodalom

Ádám J.: Az egységes európai geodéziai–geodinamikai alapok létrehozásának helyzete (ebben a kötetben).

Fejes I.: Geodinamikai projektek Magyarországon és a világban. Ezredvégi helymeghatározás. A 12. Kozmikus Geodéziai Szeminárium előadásainak gyűjteménye, Székesfehérvár, 1999.

Hofmann-Wellenhof, B. - Lichtenegger, H. - Collins, J.: GPS Theory and Practice. Springer, Wien-New York, 1997.

Hofmann-Wellenhof, B.: The future of GPS – some perspectives. Report on Geodesy, pp. 129-140. Warsaw University of Technology, 1997.

Kenyeres A.: Az aktív GPS hálózatok helyzete Európában és Magyarországon. Ezredvégi helymeghatározás. A 12. Kozmikus Geodéziai Szeminárium előadásainak gyűjteménye, Székesfehérvár, 1999.

Moritz, H.: Geodesy after GPS. Keynote speech. In: Proceedings of 6th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning. 17-20 March, 1992, Columbus, Ohio, USA.

Sacher, M - Ihde, J. - Seeger, H.: Preliminary Transformation Relations Between National European Height Systems and UELN. CERCO, Oslo, Sept. 7-9, 1998.

Seeber, G.: Satellite Geodesy. Walter de Gruyter, Berlin-New York, 1993.

Steinberg, G. - Papo, H.: Ellipsoidal Heights: the future of Vertical Geodetic Control. GPS World, February 1998, 41-43 pp.

Thatcher, W.: New Strategy Needed in Earthquake, Volcano Monitoring. EOS Transactions American Geophysical Union. Volume 80, Number 30 July, 1999.