

Tartalomjegyzék

Bevezetés, célkitűzés	3
1. 1. A térképészet fejlődése, a térképalkotások pontosságát befolyásoló tényezők	5
1.2. Térképek pontosságát befolyásoló tényezők	15
1.2.1. A mérés pontossága	15
1.2.2. Az elsődleges, földi felméréssel nyert adatok hibalehetőségei..	15
1.2.3. Másodlagos hibalehetőségek	18
1.3. A műholdas helymeghatározás fejlődése, pontosságának változása	25
1.4. A távérzékelés fejlődése, pontosságának változása	34
1.4.1. A távérzékelés pontosságának változása	35
1.4.2. A távérzékelés pontosságát befolyásoló általános tényezők.....	40
2. Anyag és módszer	51
2.1. A térképi pontosságvizsgálatok során alkalmazott módszerek és a kutatás menete.....	51
2.2. A műholdas helymeghatározással kapcsolatos pontosságvizsgálatok során alkalmazott módszerek és a kutatás menete.	55
2.2.1. A vizsgálatba bevont mintaterületek.....	56
2.2.2. A felhasznált eszközök	58
2.2.3. A méréspontok kiválasztásának módja, a mérés menete	59
2.3. A távérzékeléssel kapcsolatos pontosságvizsgálatok során alkalmazott módszerek.....	61
Eredmények	69
3.1. A térképi pontosságvizsgálat eredményei.....	69
3.1.1 A domborzatmodell felbontásának megállapításához végzett vizsgálatok	69
3.1.2. Különböző méretarányú alaptérképekről származtatott kvantitatív adatbázisok összevetése	78
3.1.3. Különböző módszerekkel készített kvantitatív adatbázisok összevetése	83
3.2. A műholdas helymeghatározással kapcsolatos vizsgálatok eredményei	92
3.2.1. A műholdgeometria hatásának vizsgálata a pontosságra.....	92
3.2.2. A két mintaterületen végrehajtott abszolút és relatív mérések eredményei	92
3.2.3. A 12 órás mérés eredményei	99
3.2.4. A bázisállomás pozícióhibájából származó eltérés korrigálása.....	101
3.3. A távérzékeléssel kapcsolatos pontosságvizsgálatok eredményei..	108

3.3.1. Eltérő vetületi transzformációs módszerek hatása a raszteres adatbázisokra.....	108
3.3.2. Az eltérő felbontás hatása a raszteres adatbázisokra	111
5. Angol nyelvű összefoglaló.....	123
6. Irodalom.....	133
7. A témában megjelent publikációk listája.....	141

Bevezetés, célkitűzés

Az elmúlt évtizedekben a földrajzi kutatások módszereiben döntő változások következtek be. A felszíni objektumok felméréséhez, a különböző földrajzi folyamatok nyomon követéséhez olyan berendezéseket fejlesztettek ki, melyek révén a mérés pontossága lényegesen növekedett, a mérés-idő pedig drasztikusan csökkent. Ilyen például a lézeres mérőállomás, amellyel a terepi mérések a korábbi teodolitos méréseknél megszokottól nagyságrendekkel nagyobb hatókörben, pontosabban és gyorsabban végezhetők. De ugyanitt említhetjük a műholdas helymeghatározás technológiáját és berendezéseit, melyekkel a földrajzi koordináták meghatározásának időtartama és pontossága jelentős mértékben csökkent.

A változások másik kiváltó oka a számítástechnika rohamos fejlődése volt. Már a hatvanas évektől megindultak a kísérletek a számítógép földrajzi célú felhasználására, de az igazán széleskörű alkalmazás a személyi számítógépek elterjedésével indult meg a 80-as években (*Maguire, D. J., 1989*). A hardverek fejlődése magával hozta a geográfiában használható szoftverek gyors fejlesztését, és jelenleg a térinformatikai célú szoftverek széles palettája áll a felhasználók rendelkezésére. Ezekkel olyan feladatokat tudunk automatizálva megoldani, melyeket néhány évtizede még rendkívül időigényes módszerekkel, manuálisan kellett elvégezni. Emellett az eredmények legtöbbször jóval precízebbek, és a pontosság sokkal egyenletesebb, mint a hagyományos módszereknél.

A fenti technikák és módszerek széles körű elterjedése, illetve alkalmazása, továbbá az a tény, hogy bármely kutató viszonylag egyszerűen képes látványos eredményeket elérni, azonban veszélyforrás is egyben. A szoftverek kifinomult algoritmusokat használnak, melyeket különböző paraméterekkel a feladathoz kell hangolni, a műszerek kezeléséhez pedig ugyancsak alapos háttérismeretekre van szükség. Előbb–utóbb a legtöbb kutatóban felmerül a kérdés: az általa alkalmazott módszereknek mekkora a pontossága, mennyire megbízhatóak a kapott eredmények?

A dolgozat célja, hogy a pontosság szempontjából megvizsgáljunk néhány, a földrajzi kutatásokban széles körben elterjedt új adatgyűjtési és feldolgozási módszert. Természetesen mindegyik, a földrajzi kutatásokban alkalmazott módszer pontosságával, illetve megbízhatóságával foglalkozhatnánk. Dolgozatunkban azon módszerek pontosságát vizsgáltuk meg, melyeket sokszor alkalmaznak, és nagy a pontosság jelentősége a kapott eredmény szempontjából.

Kutatásaink során három nagyobb területet érintünk:

- Megvizsgáljuk, hogy milyen pontossági paraméterek jellemzik a hagyományos térképek digitális adatbázissá alakítását, valamint meghatározzuk a manuális és számítógépes kartográfiai kutatási módszerekkel végzett kutatások eredményeinek pontosságát.
- Méréseket végzünk a ma már széles körben elterjedt adagyűjtő eszközzel, a műholdas helymeghatározó (GPS) berendezéssel, majd a mérési eredményekből meghatározzuk azok különböző feltételek melletti pontosságát.
- Különböző szenzorral készített űrfelvételek és légifotók felhasználásával megvizsgáljuk, hogy azok kiértékelése, összevetése milyen pontossági problémákat vet fel.

A földrajzi kutatások története során a térképek alapvető fontosságúak voltak. Napjainkban a számítógépek és egyéb digitális eszközök (pl. műholdas helymeghatározók) rohamos térnyerésének lehetünk szemtanúi, de – meghúzódva a háttérben – a térképek, mint adatbázisok semmit nem vesztek szerepük fontosságából. A térképek azonban sohasem lehetnek tökéletesen pontosak, hiszen a geoid-alakú Föld tökéletesen nem képezhető le a síkra, vagy síkba kiteríthető felületre. Ezeknek a térképi torzulásoknak az ismerete napjainkra azért is vált különösen fontossá, mert az új műszerek (pl. lézeres mérőállomások, differenciális GPS-vevők) révén már akár a helyszíni méréseknél érzékelhető lehet a térképi pontatlanság.

Az elmúlt századok során létrehozott térképművek mindegyike a pontosság szempontjából más és más fokot képvisel. Ezt a szintet megadhatjuk a teljes térképre, vagy annak egyes részeire, esetleg az ábrázolt objektum-típusokra egyenként. A térképek pontosság-változásának ismerete tehát azért lényeges, mert ennek ismeretében határozhatjuk meg, hogy az általunk megkívánt pontosságnak mely térképművek (vagy egy térkép mely objektumai) felelnek meg, és melyek nem teljesítik az általunk meghatározott pontosságot.

Ezek szellemében a dolgozatban a hagyományos és digitális térképi adatbázisok összevetésekor két térképművet használtunk fel: a hivatalos polgári EOTR szelvényeit, valamint az 1969-ben kiadott, koordináta-rendszer-jelölés nélküli szelvényeket.

1. Történeti és irodalmi áttekintés

1. 1. A térképészet fejlődése, a térképalkotások pontosságát befolyásoló tényezők

Az elmúlt évszázadok-évezredek folyamán a térképek mindig kulcsfontosságú szerepet játszottak a fejlődés különböző fokán álló civilizációk életében. Folyamatos változásuk-fejlődésük motorja a mindig változó társadalmi igények kielégítése volt.

Pontosságuk ugyancsak ezekhez az igényekhez igazodott. A térképek sok évszázados változása azonban nem tekinthető egy folyamatos, monoton javuló fejlődésnek. Egy adott időszakban a Föld különböző területein létező társadalmaknál a térképészetnek – és hozzá kapcsolódóan azok pontosságának – fejlettségi foka különböző szinten állt. A fejlődés nemcsak megtorpanhatott, hanem olykor még a visszafejlődés is bekövetkezett (pl. az európai középkor egyes időszakai alatt).

Természetesen hosszabb távon a különböző – elméleti és gyakorlati – technikáknak (pl. műszerek, felmérési módszerek, stb.), valamint a tudományoknak (pl. matematika, fizika, stb.) a fejlődése a térképészetet egyre magasabb szintre emelte. Ennek köszönhetően a terepi munkák, illetve a térképek pontossága, és ebből adódóan a megbízhatóságuk fokozatosan javult.

Térképeket vagy terület-leírásokat a legtöbb, írással (vagy rajzolással) rendelkező társadalomnál találtak. Szerepük már akkor igen szerteágazó volt: a szűkebb és tágabb élőhely jellegzetességeinek rögzítésén kívül az élelemszerzésben és a szomszéd törzsekkel való hadászatban vagy a velük való kereskedelemben is fontosak voltak. Jellemzőek voltak a kultikus célú térképi ábrázolások is: minden nagy civilizáció megalkotta a maga világképét, az azt bemutató térképpel együtt. Mivel ezek jórészt elvont, a hitvilággal összefüggő munkák voltak, esetükben nincs értelme pontosságuk vizsgálatának.

Az első, a pontosság valamilyen szintjét mutató térképek azonban már korán megjelentek. Jó példa erre az Eufrátesz mentén létezett Nippur városát ábrázoló térképtöredék, melyet a megtalálása után sikeresen használtak a település további feltárásához. Szintén nagyon régre datálhatók az egyiptomi birodalom első kezdetleges telekkönyvi térképei. Ennek oka az évenként kiáradó Nílus visszavonulása utáni telekhatárok rekonstrukciójának a szükségessége volt.

A fentieknél lényegesen magasabb fejlettségi szintet, és ezáltal nagyobb pontosságot értek el azok a térképek, melyeket a Kr.e. II. században készítettek Kínában. Méretarányuk a kortársakéhoz képest nagy (1:170 000 – 1:190 000), megbízhatóságuk szintje pedig olyan magas, melyet *Klinghammer I. – Papp-Váry Á. (1983)* szerint Európában csak a XVI. században értek el.

A távoli területek iránti érdeklődés, ismeretszerzés, az utazók és kereskedők kikérdezése és a hallottak rendszerezése (logográfia) a görögöknél nyitott új utat a térképészetnek. Az elbeszélések térképi formában történő megjelenítésekor az új információ ábrázolása volt a cél, a pontosság alárendelt szerepet játszott.

A világ felépítésére vonatkozó áttekintő térképek szerepe az előzőekben tárgyaltakhoz hasonlóan fontos volt az ókori Görögországban. A változó kozmológiai kép hétköznapi életben betöltött szerepének fontossága itt érezhető először. Az idők folyamán olyan alapvető felismerések születtek, melyek a térképszerkesztés pontosságát alapjaiban határozták meg. Ezek egyike a Föld alakjának megítélése volt. A kezdeti elméletek szerint a szárazföldek lapos korongját Ókeánosz tengere veszi körül (Hésziodosz, Kr.e. VII. sz.). A három irányú kiterjedésre először Anaximandrosz utalt (Kr. e. VI. sz.), aki a Földet henger alakúnak írta le. A gömb alak először filozófiai érvek alapján született meg Püthagorasz tanítványainál, az első megalapozott „bizonyítás” pedig Arisztotelészhez (Kr. e. IV. sz.) köthető.

Jelentős újítás volt Nagy Sándor uralkodása alatt a kifejezetten távolságmérésre alkalmazott lépésmérők (bemmatisták) megjelenése. Szintén a hellenizmus korához köthetjük a térképi pontosság két, napjainkig alapvető fontosságú eszközét, a fokhálózatot és a vetületet. Eratoszthenész (Kr. e. II. sz.) szakítva az addigi módszerrel, a térkép megrajzolása előtt egy 9 szélességi és 9 hosszúsági szakaszból álló hálózatot szerkesztett matematikai úton és ezzel egyfajta fokhálózatot készített, majd ebbe rajzolta bele a földrajzi objektumokat. *Klinghammer I. – Papp-Váry Á. (1983)* szerint ezzel egyfajta kezdetleges hengervetületet hozott létre, amely a későbbi vetületek elődjének tekinthető. A fokhálózat megszerkesztése azért volt pontosságnövelő hatású, mert így szükségessé vált minél több földrajzi pozíció csillagászati meghatározása.

Eratoszthenész előtt többen adtak becslést a Föld méreteire, de ő volt az első, akinél a mérés módszere ismert: megfigyelte, hogy amikor Thébában (mai Asszuánban) a napsugarak beesési szöge merőleges a felszínre, Alexandriában, mely nagyjából ugyanazon a délkörön fekszik, kisebb szögben érkeznek a napsugarak. Meghatározta a két beesési szög kü-

lönbségét, valamint a két település távolságát, majd ezekből az adatokból kiszámította a Föld területét. Eredményül 5000 stadiont kapott (*Gábris Gy. et. al., 1998*), ami meglepően pontos (szerinte a Föld területe: 39 375 km², jelenleg 40 008 km²), a valóshoz képest alig van eltérés. Eredményével kapcsolatban azonban két megjegyzést kell tennünk.

A mérések, majd a számítások során annyi durva hibát halmozott fel, hogy eredményének nagy pontossága kizárólag a véletlennek köszönhető. Például a távolságot a karavánoknak abból a tulajdonságából számította, hogy a teve meglehetősen egyenes sebességgel halad, valamint abból indult ki, hogy az út egyenesen köti össze a településeket.

Az eredményt stadionban adta meg, ennek hossza pedig 111 és 192 méter között változott. A legkedvezőbb értéket úgy kapjuk, ha 157,5 méteres stadionnal számolunk.

A hellenizmus alatt nemcsak a térképszerkesztés elmélete, de annak gyakorlata is sokat fejlődött. Új műszerek jelentek meg, melyekkel pontosabb méréseket lehetett végezni. A gnomon, melynek segítségével az égtájak kijelölését végezték, már ekkor sem számított újdonságnak. A Hérón által szerkesztett szögkitűző és szintező viszont jelentősen pontosította a kor méréseit. Az újabb műszerekkel pontosabb méréseket lehetett végezni. Nem véletlen tehát, hogy ekkor finomította Hipparkosz (II. sz.) a kör felosztását 60°-ról 360°-ra.

A II. században Ptolemaiosz munkásságában összegződött a mediterrán térképészet addigi fejlődése. A térképek pontosságát több módszerrel javította. Felismerte, hogy a karavánok megtett útja alapján számított távolságokat a nem nyílegyenes haladási irány miatt harmadával redukálni kell, az eztán rajzolt térképeken a távolságra vonatkozó pontosság lényegesen javult. Felismerte a gömb síkba vetítésénél elkerülhetetlen torzulás problémáját, és új, valódi vetületeket alkotott. Emellett általánossá tette a térképek vetületben történő szerkesztését. Ez nemcsak az adott vetületben szerkesztett térképek pontosságát növelte, hanem lehetővé vált az is, hogy más vetületekbe transzformálják matematikai számításokkal a már egyfajta vetületben lévő térképet, a pontosság degradálódása nélkül. Szintén tőle datálhatjuk az északi tájolást, és a fokhálózat berajzolását. Térképein jelenik meg először a Kárpát-medence. Ez azért jelentős lépés, mert jól mutatja azt az irányt, melynek nyomán már nemcsak a lokális pontosságra törekedtek, hanem az egyre távolibb területek lehetőleg pontos ábrázolásának igénye is erősödni kezdett.

A Római Birodalom növekedésével párhuzamosan a térképek jelentősége tovább fokozódott. Megjelentek a birodalmon belüli tájékozódást

megkönnyítő, ún. úttérképek. Ezek pontossága azonban nem javult, inkább nőtt a torzítottság a térkép céljához igazodva. A nagy számban létrehozott új telepek kialakításához viszont sok földmérőre volt szükség. *Klinghammer I. – Papp-Váry Á. (1983)* úgy fogalmaz, hogy a földmérés hivatássá vált. Fontos volt a megtervezett település minél pontosabb kivitelezése, így a kitézés, a földmérési munkák fejlődése volt a leggyorsabb. E folyamat révén a településekről, beépített területekről készített térképek pontossága rohamosan javult. Meg kell azonban említenünk, hogy a telepekről-településekről készített térképek egyediek, egymástól földrajzilag elkülönülők voltak, tehát közel sem beszélhetünk egy nagyobb terület (ország) ilyen pontosságú egységes ábrázolásáról.

Az újonnan megalkotott eszközök is a földmérés feladataihoz igazodtak. Ilyen volt például a groma, melyet a derékszögek kitézésénél használtak. Nem szorosan a térkép pontosságához tartozik, de fontos lépés volt a térképekkel kapcsolatos bürokrácia megszervezése: birtokosi bizonylatok, áttekintő vázlatok, birtokjegyzékek készítése és őrzése. Ezáltal a térképek rendszerezése, tárolása vált jóval pontosabbá.

A kora-középkori Európa térképészetének fejlődése drasztikusan lelassult, bizonyos tekintetben visszafejlődött. A térképkészítés az eddigieknél alacsonyabb fokon, az egyházon belül folyt. Találón nevezí *Unger J. (2003)* a kor térképészetét „kolostorkartográfiának”. A kis méretű, egyszerű vázlattérképek mellett csak néhány nagyobb munka maradt fenn. Ezek pontossága is elmaradt az ókoriaktól, számunkra az egyetlen jelentős lépés az, hogy az abstorfi kolostorban talált térképen először jelenik meg Magyarország (Ungria) neve (a Pannonia név már a régebbi térképeken is szerepelt). Itt tehát a földrajzi nevek írásmódjának pontosabbá válásával találkozunk.

A méréstechnika pontosításának fejlődése is lelassult. A kevés új leírás alkotói közül kiemelkedő II. Szilveszter, aki még apátként írt könyvet – többek közt – földmérési ismeretekről.

A kor térképészetének legmagasabb szintjét az arab világ érte el. *Klinghammer I. – Papp-Váry Á. (1983)* szerint e térképek pontossága sem érte el az ókoriakét, de a keresztény vázlatoknál lényegesen pontosabbak voltak. A pontosság növelésének újabb állomását képviselte al-Idriszi, aki csak akkor vitt térképre újabb földrajzi nevet, ha három utazóból kettő elbeszélése megegyezett. Itt tehát nem újabb eszköz, hanem egy új módszer segítségével igyekeztek a térkép pontosságát növelni.

A kor újdonsága volt az iránytű térképészeti célú használata. Ennek köszönhető a hajósok navigációját megkönnyítő, vonalhálózattal ellátott portolántérképek megjelenése. A vonalak kikötőtől kikötőig légvonalban

mutatták az irányokat, így könnyítve meg a navigálást az iránytű segítségével a bel- és peremtengereken. A portolántérképek révén megindult a tengerpartok addigiaknál sokkal pontosabb felmérése. A pontosabb térképek birtokában pedig a hajózás és a kereskedelem erőteljes fejlődésének lehetünk tanúi. Nem véletlen tehát, hogy a nagy földrajzi felfedezések és a tengerek – tengerpartok felmérésének fellendülése egy időszakra tehető.

A XV. században, a nyílt óceánra merészkedés idején a portolán vonalhálózat már inkább hátrány volt, és a földrajzi fókálózat vált a navigáció eszközévé. Ez nem feltétlenül jelentett pontosabb térképeket, de a nyílt vízi hajózásban pontosabb térképi helyzetmeghatározást igényelt.

A kereskedelem erőteljes fejlődése hatással volt a tengerparttól távolabb eső területekre is, ahonnan és ahová végső soron zajlott az áruszállítás. Ez megkövetelte a pontosabb térképek készítését, a szárazföldi kereskedelem a tengerpartok pontos feltérképezése után a belső területek addiginál részletesebb ismeretét is igényelte.

Ptolemaiosz munkáinak XIV. – XV. századi újrafelfedezésével a keresztény térképészet lassan újra elérte az ókor legjobb munkáinak pontosságát és a reneszánsz alatt fejlődése új lendületet vett. Térképkészítő és kiadó műhelyek jöttek létre, és a nyomtatás rendszeresítésével a nagyközönség számára is elérhetővé váltak a kor legpontosabb térképei.

A vetületek fejlődése ugyancsak döntő lökést kapott ebben a korban. A perspektivikus ábrázolás igénye a festészet mellett a térképészetet is elérte. Perspektív vetületet szerkesztett például Albrecht Dürer és Gerardus Mercator. A hajózás fejlődésével a vetületek (ezáltal a térképek) optimalizálása jelentette a másik fő újítást (Gede M., 2006). Mercator hengervetületén a hajózást segítő loxodromák egyenesként jelentek meg, így a tengeri közlekedésben az ilyen vetületben készült térképek gyorsan elterjedtek, hiszen a térképek pontossága mellett fontos szempont, hogy milyen pontosan állapíthatjuk meg földrajzi helyzetünket a térkép segítségével.

Az egyedi térképek mellett megjelentek a térképgyűjtemények. A kiadványok térképeit nem feltétlenül az adott műhelyben készítették, általánossá vált kész térképek átvétele, és újabb kiadások esetén azok helyesbítése, vagy újabb, pontosabb változatokkal való lecserélése. Természetesen a mások által szerkesztett térképek átvétele a pontosság csökkenését is okozhatta, hiszen minden átrajzolás növelte a hibák számát és mértékét. Emellett akár a többszörös kiadás is okozhatott ugyanilyen elrajzolások okozta pontatlanságokat, ha a nyomólemezeket újra el kellett készíteni.

A nem egyetlen személy által készített térképgyűjtemények megkívánták a lapok valamilyen szintű egységesítését. A folyamat Ortelius és Mercator atlaszaiban teljesedett ki a XVI. sz. végén.

Az 1500-as évek számunkra legjelentősebb vonatkozása a Lázár-térkép 1528-as ingolstadti megjelenése. Ez az első ismert magyar térkép, ami fennmaradt, és pontosságával, gazdag névanyagával a kor kiemelkedő teljesítményének számított. Súlyát növelte, hogy a Mohácsi vész után a török megszállás másfélszáz éve alatt nem készült újabb felmérés az országról, csak Lázár térképét másolták és helyesbítették. Még a török kiűzése utáni első magyarországi térképgyűjteményt is (1589) Hevenesi Gábor szintén csak az addigi térképek felújításával szerkesztette. A mások által készített térképek átvétele, átrajzolása, nyomólemezzre vésése a már említett pontatlanság-növekedéssel jár, így a felújítás-pontosítás mellett a térkép egyes részein a pontatlanság növekedésével itt is számolni kell.

Említést kell tenni a térkép pontosságával kapcsolatos kételyekről. Mivel a térképet Lázár halála után adták ki, *Klinghammer I. – Papp-Váry Á. (1983)* szerint valószínű, hogy a nyomtatásra rendezés során rajzolták meg rossz irányba az égtájakat. 45°-ban jobbra forgatva a térképet a földrajzi objektumok a megfelelő helyre kerülnek. Pontossága révén a térkép már alkalmas egyes változások nyomon követésére is, például a Tihanyi-félsziget még szigetként jelenik meg a Balatonban.

A korszak érdekessége az előbbieket fordítottjának első esete: összességében helyesen rajzolt térkép tudatos elrajzolása, pontosságának csökkentése. A Kolumbusz testvérek - a nyugat felé vezető tengeri úthoz szükséges támogatás megszerzése okán - a Bartolomeo Diaz 1488-as útján felfedezett afrikai partszakaszokat elrajzolják, hogy a fűszerekhez vezető keleti hajóút hosszabbnak tűnjön.

A kor műszereinek fejlettsége viszonylag pontos földrajzi szélesség-meghatározást tett lehetővé. A földrajzi hosszúság megállapítása azonban nehézségekbe ütközött. Ezért ezeknél a térképeknél (főként a tengeri szakaszok) Kelet-Nyugati irányban jelentős torzulások voltak. (A problémára csak az 1760-as években, John Harrison megfelelően pontos órája ad végső megoldást).

A török uralom utáni első helyszíni mérések Luigi Ferdinando Marsigli és Christoph Müller nevéhez köthetők. Az egész országot lefedő térképük 1709-ben jelenik meg. A térkép pontossága az elvégzett helyszíni mérések miatt lényegesen jobb volt, mint az addig kiadott térképeké.

A XVI. – XVII. századi geodéták munkáját több régebbi módszer szisztematikus végzése (pl. az egyre több pont csillagászati helymeghatározása), és

több újítás is segítette. Mivel egyre nagyobb méretarányú térképek láttak napvilágot (Apianus – 1:45 000), a gömbfelület síkba fejtésénél elkerülhetetlen torzítás csökkentésére széles körben elterjedtek az első matematikai vetületek. A hosszak felmérésére mérőláncot használtak, függőleges szögek meghatározására pedig kvadránst alkalmaztak, valamint az 1600-as években megjelentek a távcső nélküli teodolitok is (*Gábor I. – Horváth Á., 1979*). Nagyobb távolságok mérésére bevezették a háromszögelés módszerét, ezzel először lehetett nagyobb területeken kerethálózatot kialakítani. Az újítások hatását jól szemlélteti XVI. Lajos megjegyzése, amit Cassininak tett, miközben zajlottak Franciaország addig nem látott pontosságú felmérései: „Sajnálattal értesültem, uraim, hogy az önök utazása országom jó nagy részétől megfosztott.” Az elkészített térképek pontossága az új eszközök és módszerek révén tehát addig soha nem tapasztalt pontosságot tett lehetővé. A kiadott térképek már nemcsak átnézeti célokra voltak jók, hanem konkrét mérések, földrajzi helymeghatározások, terület- és távolságmérés elvégzésére is alkalmasak voltak. A már nagy számban meglévő vetületek közül azt alkalmazták, amelyik az adott térképen a legnagyobb pontosság elérését tette lehetővé (pl. kis méretarányú térképeknél földrajzi fokmérés, nagy méretarányú térképeknél területtartás, távolságtartás, stb.).

A XVIII. század elején, Mikoviny Sámuel elkészíti az ország jelentős részének matematikai úton szerkesztett térképeit. A számítások útján megrajzolt térképek jelentős előrelépést jelentettek a hazai térképek pontosságában.

Ennek jelentőségét akkor láthatjuk igazán, ha meggondoljuk, hogy a jóval később, 1764 és 1785 között végrehajtott első katonai felmérés során vetület és háromszögelési hálózat használata nélkül készült el az ország teljes szelvénySORA 1:28 800-as méretarányban. A vetület hiánya a felmérés minőségét, a szelvénylapok pontosságát nagyban csökkentte. A szelvényhatárok-nál az eltéréseket tapasztalati úton csökkentették, sok helyen azonban ezek után is komoly eltérések maradtak. A hegycsúcsok magasságát legtöbbször „a la vue” (ránézésre) módszerrel határozták meg. A lejtés mértékét először lendületcsíkozással, majd pillacsíkozással (minél meredekebb, annál sötétebb) érzékeltették, ezek pontos lejtés megállapítására alkalmatlanok voltak, csupán tájékoztató szerepük volt. Érdeme viszont a térképműnek, hogy ez volt az első, egységes irányelvek alapján készített munka, a mellékletként csatolt országleírás pedig részletesen tárgyalja a térképen nem ábrázolt adatokat. Igaz, az egységesség nem csökkentheti a hibák nagyságát, de meglévő torzulások hasonló módon mutatkoznak, így egységes figye-

lembe vételük sokszor segítséget ad a torzulások korrigálásához (pl. az eltérő szelvényhatárokon az összefűzéshez).

A katonai felméréssel párhuzamosan kezdődött, átfogó kataszteri felmérés adhatott volna elsőként egységes formában és nagy méretarányban pontos képet az országról, befejezésére azonban nem került sor (*Ligetvári F., 1998*), az első, ilyen jellegű, teljes felmérés csak 1856-ban kezdődött.

Lipszky János 1806-ban 12 lapon kiadott térképe részletességében, méretarányában (1:470 000) elmarad az I. katonai felméréstől.

Az I. katonai felmérés pontossága elmaradt a megkívánttól, így 20 évvel annak befejezése után, 1806-ban elkezdődött a II. katonai felmérés. Fontos megemlíteni, hogy a pontosság szem előtt tartása volt az első számú feladat, ezért a szükséges háromszögelési hálózat megteremtése volt az első munkafázis. A pontosság lényeges eleme, hogy a térképmű nagyrészt vetületben készült (Cassini-féle hengervetület). 1871-ben az addigi Monarchia-beli mértékegységekről a térképészetben is áttértek a méter alapú mérési egységek használatára, nagy mértékben növelve a kompatibilitást más országok térképrenszerével, és megkönnyítve az átváltási számításokat a térképen történő méréseknél. A sok tizedes helyiértékű átváltások megszűnése a térképi mérések pontosságában jelentős előrelépés volt.

A két katonai felmérés során az alkalmazott mérőeszközök sokat fejlődtek. Az I. katonai felmérésnél használt kompasz, mérőlánc, és asztrolábium már megszokott eszközök voltak. Újdonság volt viszont a mérőasztal, mellyel jelentősen lehetett gyorsítani a felmérést. Ennek segítségével, grafikus háromszögeléssel történtek a mérések. A II. katonai felmérésnél a terepi mérőasztal már bevált eszköznek számított, de a vonalzót távcsővel látták el. Ugyancsak kiforrott műszerként használták a kompaszt. Összességében az alkalmazott eszközök és módszerek révén a térképmű horizontális pontossága lényegesen jobb volt az elődjénél, de *Tímár G. – Molnár G. (2003)* szerint egyes részletein a torzulások még így is elérhetik a 200 métert.

A magasságok meghatározása még olykor „a la vue” történt, de egyre több magassági értéket határoztak meg barométer vagy trigonometrikus mérés segítségével. Ez utóbbit a legfontosabb újítás, az 1820-as évektől rendszeresített teodolittal végezték. Az új műszerek, és a megfelelő matematikai-vetületi megalapozás miatt a II. katonai felmérés lényegesen részletesebb és pontosabb volt az elsőnél. A magassági értékeket azonban csak relatív módszerrel lehetett meghatározni, mert még mindig kevés trigonometriai abszolút magassági adat állt rendelkezésre az ország területén. A meghatározott értékeket bécsi ölben adták meg. A felmérés utolsó éveiben készült

szelvények már átvezetnek a III. katonai felméréshez: több magassági adatot tüntetnek fel, és megjelenik a szintvonalas domborzatábrázolás.

A szintvonalak megjelenése a domborzat ábrázolásának pontosságát drasztikusan javította. A módszert B.M. du Carla mutatta be a Francia Akadémián, 1771-ben (*Klinghammer I. – Pápay Gy. – Török Zs., 1995*). A magasságok izovonalas ábrázolása tette lehetővé a domborzat pontos ábrázolását, és mérések végzését (*Lóki J. et al., 2006*).

A III. katonai felmérés már teljesen egységes háromszögelési hálózat alapján készült, nagy számú és pontos csillagászati helymeghatározással, teodolittal, rendszeres szintezésekkel, jórészt méterrendszerben, poliéder-vetületben. A pontosabb felmérés lehetővé tette, hogy nagyobb méretarányú szelvényeket (1:25 000) készítsenek a torzulások túlzott megnövekedése nélkül. A kezdő hosszúságot Ferrótól számították. A XX. század első felében a ferróit lecserélték a Greenwich-től számított meridiánra. Mivel az át-számítás nem érintette a vetületet, sem pedig a felmért pontok relatív helyzetét, a nullmeridián cseréje nem okozott pontosságcsökkenést, viszont lehetőséget adott hibás térképi helymeghatározásra (például ha megszokásból, vagy figyelmetlenségből a ferrói fokhálózat értékét olvassa le, de azt mint greenwich-i koordináta írja fel). A III. katonai felmérés pontosságát az is növelte, hogy az 1849-ben megkezdődött első kataszteri felmérés eredményeit ennél már felhasználták pontosítására.

Megjegyezzük, hogy a különféle mértékegységek közötti átváltás problematikája nem lezárt. Az 1875-ös nemzetközi méterkonferencia az európai egységesítést jórészt megoldotta, de az angolszász mértékegységrendszer differenciája jelentősen bonyolítja a világtérképek pontosságát, és kihat a kutatások egyéb területeire is (gondoljunk a Mars Polar Lander űrszondára, mely a két mértékegység átváltási problémái miatt vallott kudarcot).

A múlt század közepén a Varsói Szereződés tagállamai egységesen a Gauss-Krüger-t választották vetületi rendszernek. 6° széles vetületi sávokra osztva a forgási ellipszoidot a torzulás közepén minimális, a maximumot pedig mindig a sáv peremén éri el, melynek értéke *Tikász et al. (1995)* szerint $1+6.8 \cdot 10^{-4}$, tehát kilométerenként 68 cm. Ha ennél kisebb az adott feladat által megkívánt maximális torzulás, a vetületi sávok szélességét 3°-ra redukálják. 1960-ban a tagállamok egységesen áttértek a balti alapszintre. Mivel ez utóbbi magasabb 0.6747 méterrel, minden addigi magassági értékhez azt hozzáadták. Az átállás – hasonlóan a nullmeridián váltáshoz – sok hibára adott lehetőséget.

Az Egységes Országos Térképrendszert és vetületét, az EOVT 1975-ben vezették be, hogy az addigi, eltérő szelvényezésű és vetületű térképek helyett egy egységes polgári térképmű álljon rendelkezésre. A térképrendszer a múlt század végére teljes egészében elkészült (Divényi P., 2001). A vetület kimagasló előnye, hogy derékszögű koordináta-rendszerben dolgozik, így a legtöbb GIS-szoftverbe megadhatók a koordináták „sík”-ként, még akkor is, ha az adott szoftver nem tartalmazza a vetület paramétereit. Ennek pontosságra gyakorolt hatása igen jelentős, mert nem feltétlenül szükséges a digitalizált térképet más vetületi rendszerbe transzformálni, hanem elegendő megadni a sarokpontok X-Y derékszögű koordinátáit. Azonban az EOVT sajátja, hogy a vetületi kezdőponttól kifelé haladva a torzulás gyorsan nő, és az ország északi határain eléri a 26 cm/km értéket. Ez nagyobb a régebbi vetületek által támasztott 10 cm/km-es maximálisan megengedett értéknél (Bódis K., 1999), de általános (például térinformatikai) felhasználáshoz megfelelő. Pontossági szempontból megemlíthetjük, hogy az EOVT koordináta-rendszerének origóját azért vették fel az ország területén kívül, hogy a két koordináta ne legyen összekeverhető (Detrekői Á.-Szabó Gy., 2002.), csökkentve ezzel a felcserelésből adódó hiba lehetőségét.

A térképek és vetületeik különböző okokra visszavezethető torzításai mellett ki kell térnünk a tudatos térképi elrajzolásokra és torzításokra is. A II. világháború után az 50-es és 60-as években a Szovjetunió fokozatosan titkosította térképeit, és ezt a többi szocialista országtól is megkövetelte. A magyar topográfiai térképeket is titkosították, és a polgári felhasználók számára kialakítottak egy erősen torzított, ún. „földrajzi térkép”-sorozatot, melynek paramétereit állami rendeletben szabályozták (Papp-Váry Á., 2006). A következő évtizedekben kiadott, 1:1 000 000-nál kisebb méretarányú, nyílt minőségű térképek mindegyike e hullámzóan torzított térképek alapján készült. Ez főként a megyetérképeket, és a turistatérképeket érintette. A módszer egészen a rendszerváltásig gátolta a pontos nyílt minőségű térképek megjelentetését. Papp-Váry Á. (2006) megfogalmazása szerint „A torzított, elrajzolt térképek nem tévesztették meg az „elképzelt” ellenséget, csak a hazai térképhasználatot nehezítették”.

A térképek pontosságának rövid áttekintése azért volt lényeges, mert a geográfiai vizsgálatokban napjainkban is az egyik legfontosabb adatforrásnak számítanak a térképek. Ezek pontosságának ismerete tehát a vizsgálatok szempontjából nagyon lényeges. Az elmúlt évszázadok alatt megszerkesztett térképek pontossága jelentős változásokon ment át. A folyamatosan javuló pontosság tendenciájába sok esetben (direkt vagy indirekt okokból)

ékelődtek az előzőeknél kevésbé pontos térképművek is. Korunk sok kutatási irányzatához (pl. tájváltozás-vizsgálat) elengedhetetlen e régi térképek ismerete és felhasználása. Azt azonban jelezni kell, hogy a magyar térképek esetében mai kutatásokhoz elfogadható pontosságot legkorábban csak az első, de inkább a második katonai felméréstől várhatunk. Az ezeknél régebbi térképművek legfeljebb csak lokálisan, vagy tájékoztató jelleggel használhatók.

1.2. Térképek pontosságát befolyásoló tényezők

A térképek pontosságát befolyásoló tényezőket a hagyományos de modern térképészeti módszerekkel készített, XX. század második felében kiadott térképek alapján tekintem át.

1.2.1. A mérés pontossága

A térképen ábrázolandó objektumok, valós világi alapegységek (entitások) helyzetének (azaz geometriai adatainak) megállapítása méréssel történik. *Detrekői Á. (1992)* szerint az adatszerzésnek két fő módszerét különíthetjük el aszerint, hogy közvetlenül magát az objektumot/alakzatot mérjük fel geodéziai műszerekkel, fotogrammetriai-távérzékelési módszerekkel (közvetlen és közvetett mérés), vagy már meglévő adatbázisból szerezzük meg a vonatkozó információkat (pl. térképi mérés, létező adatbázis átvétele, stb.). Előbbit elsődleges, utóbbit másodlagos adatnyerésnek nevezzük. A pontosság szempontjából azért lényeges az adatgyűjtés típusának az ismerete, mert egy már elkészült adatbázisból/térképről történő adatnyerés esetén az addigi hibák, pontatlanságok tovább nőhetnek (pl. adatok elírása, pontatlan koordináta-leolvasás, digitalizálási pontatlanságok, stb.), vagy – kisebb részben – csökkenhetnek is.

1.2.2. Az elsődleges, földi felméréssel nyert adatok hibalehetőségei

A vízszintes mérés hibalehetőségei

Az adatgyűjtést geodéziai műszerrel végezzük. Ezek pontossága széles tartományok között változik, de a műszerek fejlődésével folyamatosan javult. A geodéziai feladatok általában *Tikász E. et al. (1995)* szerint 1-2 km-es távmérésnél 1-2 cm-es pontosságot igényelnek. Általánosságban el-

mondható, hogy az optikai műszerekkel távmérésnél elérhető pontosság nagy mértékben függ a felméréndő távolság nagyságától. A mérendő szakasz növekedésével a pontosság csökken. Ennek okai a következők:

- Hagyományos optikai berendezések esetében a mérőléc egyre távolabb kerül, így a képe a távcsőben egyre kisebb, leolvashatósága nehezebb.
- A műszer és a mérőléc közötti távolság növekedésével a köztük lévő légtömeg mennyisége nő. Ennek áramlásai, a benne lebegő por és pára nagy távolságokon jelentősen rontja a képminőséget. A levegő tömege által okozott sugártörés (refrakció) jelensége miatt szintén csökken a pontosság.
- Hosszabb szakaszokon a földfelszín görbülete miatti torzulások egyre nagyobbak.

A refrakció és a görbület okozta pontatlanságok együttesen már viszonylag rövidebb szakaszokon is éreztetik hatásukat. Ennek értéke *Klinghammer I. – Papp-Váry Á. (1983)* szerint 1km-es távolság esetén már a deciméteres tartományba esik, és tovább növekszik a távolsággal.

A refrakcióra és a görbületre kidolgoztak korrekciós képleteket, ezek alkalmazásával az eltérések nagy része kiszűrhető, és a középhiba a fenti értékekhez képest egy nagyságrenddel csökkenthető. További hatása a felszíni görbületnek, hogy a sokszögek szögösszege eltér a síkban mérttől, például a háromszög szögeinek összege nagyobb mint 180° . *Bácsatyai L. (2002)* szerint egy 8 km-es sugarú körön belül történő méréseknél a geoid síknak tekintése elfogadható, de nagyobb területek esetében komoly torzító hatás lép fel.

Trigonometrikus magasságmérés (azaz optikai mérés) esetén a fent említett pontatlanságok mellett további hibaforrások jelennek meg. Hagyományos teodolittal mérve a ferde távolságot kapjuk meg. Mivel a térképre a vízszintes távolságok kerülnek, ennek értékét akkor kapjuk meg, ha a ferde távolságot a vízszintes és az irányvonal által bezárt szög koszinuszával megszorozzuk. Teodolit helyett redukáló tahimétert használva közvetlenül a vízszintes távolságot olvashatjuk le, ekkor a műszerbe épített optikai és mechanikai részek pontossága határozza meg a maximális hibát.

A geodéziai műszerek sajátosságaiból származó egyes mérési hibák (szabályos hibák) – amennyiben ezek a normál működés során is fellépnek – módosító hatása kompenzálható. Ilyen például a teodolit fekvőtengelyének (alhidáde) ferdeségi hibája, vagy ha a szálkereszt a vízszintessel szöget zár be. Ilyen a kollimációs hiba is, amikor a fekvőtengelyre nem merőleges az irányvonal, azaz a célzott pont iránygyenese.

Hibát okozhat a felmérést végző személy nem kellően előkészített műszertelepítéssel, tájolóással, konfigurálással, műszerhasználattal is.

Előfordulhatnak előre nem látható, rendszertelenül bekövetkező torzító tényezők is. Ilyenek legtöbbször vagy személyi hibára (például az eredmény-kijelzés élességének helytelen, kevés helyiértéket tartalmazó megadása), vagy valamilyen hirtelen állapot-(pl. hőmérséklet) változásra vezethetők vissza (véletlen hibák).

A szabályos és véletlen hibáknál lényegesen nagyobb eltérést okoznak a durva hibák. Ez lehet például leolvasási hiba, vagy műszer meghibásodásából származó téves eredmény. Ezeknél a hibaforrásoknál az eltérés mértéke bármekkora lehet.

Több kutató (*Klinghammer I. – Papp-Váry Á.- 1983; Tikász E. et. al. - 1995*) a hagyományos optikai távmérő műszerekkel végzett méréseknél a pontosságot 1cm/km-re teszi.

Szögmérés esetén a hagyományos, mikroszkópos leolvasással dolgozó geodéziai műszereknél általában 0.1 szögmásodperces helyiértékű leolvasási pontosság érhető el.

A geodéziai műszerek új generációi már nagyrészt elektronikus eszközök, melyek a távmérést és a szögmérések eredményeinek a leolvasását önállóan végzik, az eredményeket pedig memóriában tárolják, azok onnan számítógépre tölthetők. Ekkor a leolvasás pontosságában a személyi hiba az eredmény élességének megadásában (tehát a tizedes jegyek számában) jelentkezhethet, ugyanis a számító egység a megadott értékre kerekíti az eredményt. *Varga A. (1998)* szerint távolságmérés esetén a lézeres mérőállomások $1\text{mm}\pm 3\text{mm}/\text{km}$ pontossággal is használhatók.

A Globális Helymeghatározó Rendszer (GPS) ugyancsak az elsődleges földi felmérés eszköze. Egyre növekvő geodéziai szerepét mutatja, hogy hazánkban már több mint 1000 háromszögelési pont helyzete ismert nagy pontosságú GPS mérésekből. E pontok alkotják az országos GPS háromszögelési hálózatot (OGPSH).

A műholdas helyzetmeghatározó rendszer felépítésével és hibalehetőségeivel külön fejezetben foglalkozunk.

A fentiek mellett meg kell említeni a távérzékeléses módszer alapján történő térképszerkesztést is. Ezek közül az egyik legfontosabb a fotogrammetria, mely az adatbázis (felvétel, fotó) műszaki, mérhető tartalmát használja fel a térképkészítéshez (*Mike Zs., 1976*). Ezek elsődleges terméke az egyszerű transzformátum, mely a domborzat miatt még hibákkal terhelt (*Klinghammer I. – Papp-Váry Á., 1992*). Az ortofotók már korrigáltak a domborzat torzítása szempontjából.

A magasságmérés hibalehetőségei

Optikai magasságmérés esetén a vízszintes méréseknél már tárgyalt hibalehetőségek mellett a mérőléc képének torzulása okozhat nagy eltérést, ami jelentősebb szintkülönbség mérése esetén lép fel.

A magasság meghatározásának más módszere a barométeres magasságmérés. Ezen elven működő műszerek megbízhatósága *Fialovszky L. (1979)* szerint maximum 0.01mbar helyiértékű. Ezt a nyomásértéket magasság-különbségre átszámítva 8.3 cm-t kapunk, azaz a barométeres magasságmérés során deciméteres pontosságot érhetünk el. A módszert csak viszonylag kis távolságokon belül lehet használni, mert nagyobb vízszintes távolságok esetén a légnyomás jelentősen eltérhet egyazon magassági szintben is a *Klinghammer I. – Papp-Váry Á. (1983)* szerint ezért ilyen méréseket csak 5-10 km-en belül célszerű végezni.

Közvetett mérésen alapuló, elsődleges adatnyerési módszer a légifotók és űrfelvételek felhasználása. Az ilyen, raszteres adatbázisok térképészeti felhasználása sok tekintetben hasonlít a forrástérképek vektorizálásához, így a lehetséges hibák is hasonlóak. A módszerek során felmerülő, raszteres adatbázisokra jellemző hibalehetőségekre a légifotók és űrfelvételek hibalehetőségeit tárgyaló fejezetben térünk ki.

1.2.3. Másodlagos hibalehetőségek

A térképolvasás pontatlanságai

A megszerkesztett térképek forrásadatai – mint láttuk – sokféle hibával terheltek. *N. R. Chrisman* és *M. McGranaghan (1990)* szerint a GIS szoftverekben szerkesztett, vagy azokba importált és georeferált térbeli adatbázisoknál legtöbbször nem veszik figyelembe a hibák aktuális nagyságát, és az adatokat túlzottan nagy élességgel adják meg. Emiatt fennáll a veszély, hogy az összegződött hibák nagyságát nem ismerve a felhasználó pontosabbnak (például nagyobb méretarány) kezeli az adatbázist, mint amilyen az a valóságban. Ezért kiegészítő információként (metaadat) jelezni kell a forrásadatok pontosságát. Egymástól független hatások esetén a hibavértékek négyzetösszegéből gyököt vonva megkapjuk az átlagos pontosságát a térképnek.

A térképi mérésekhez legtöbbször valamilyen mérőeszközt - segéd-eszközt használunk (pl. planiméter, gördülő távolságmérő, stb.). Ezek pon-

tossága ugyancsak befolyásolja a mért eredményt. *Zentai L. (1991)* szerint a hagyományos kartometriai módszerek jó része már csak térképtörténeti jelentőségű, mert a számítógépes mérések nemcsak pontosabb, de gyorsabb eredményt is szolgáltatnak (természetesen csak körültekintő előkészítés esetén).

A térkép digitalizálásának pontatlanságai

Már meglévő térképnek, egyes részleteinek vagy objektumainak a bedigitalizálása (vektorizálása) történhet digitalizáló tábláról vagy monitorról. A múlt század végéig a táblás digitalizálás volt az uralkodó, napjainkra szerepe jelentősen csökkent a nagy méretű, jó minőségű monitorok megjelenésével.

Fialovszky L. (1979) szerint a 70-es évek végén már léteztek olyan digitalizáló táblák, melyeknek az abszolút pontossága 0.125 mm volt, ami a legnagyobb méretarányú térképek kivételével megfelelt a kritériumoknak. *Tikász E és szerzőtársai (1995)* a legpontosabb, szabatos eszközök abszolút pontosságára 0.025mm-t adtak meg, így a modern digitalizálók hibája elhanyagolható.

A digitalizáló táblán végzett munkák során a következő hibalehetőségek adódnak:

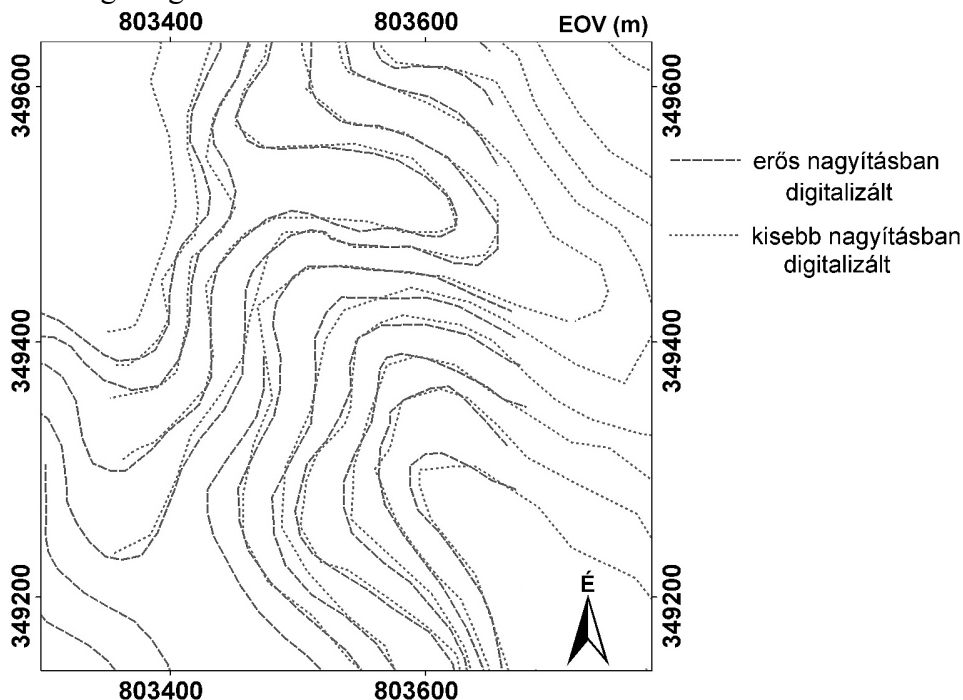
- A régebbi térképek használatakor a papír méretváltozása lehet az egész beviteli művelet egyik legjelentősebb hibaforrása. Emellett a forrástérkép alakzatainak geometriai adatpontatlanságai is átöröklődnek a vektorizált állományra.
- Súlyos hibát idézhet elő a több szelvényből álló térképek illesztő pontjainak helytelen megválasztása.
- További személyi hibák is adódnak a térképek digitalizálásakor. Ilyenek lehetnek például a geometriai- (elcsúszás), attribútum- (elgépelés), vagy topológiai- (alakzat rossz értelmezése) hibák.

Többen (*Tikász E. et al. - 1995; N. R. Chrisman és M. McGranaghan -1990*) vizsgálták a digitalizáló táblával történő vektorizálás pontosságát. Az átlagos hibaértékek 0.2 – 0.5 mm-nek adódtak.

Monitorról történő digitalizálás esetén lehetőség van a forrástérkép eredeti méreteinek kicsinyítésére vagy nagyítására. Ennek eredményeként a vektorizálás pontossága széles tartományok között változhat, átlagos értéket megadni ezért nehéz. A hiba mértékének megszabott határok közt tartását úgy biztosíthatjuk, ha előre megszabjuk a térkép megjelenítésekor alkal-

mazható legkisebb nagyítást, igazodva a forrástérkép adatsűrűségéhez és méretarányához. Az 1. ábra két operátor által, különböző nagyítás mellett végzett szintvonal-digitalizálás eredményét mutatja. Nagyobb nagyítás mellett a szintvonalak futása gyakorlatilag hibátlanul követi az eredeti szintvonalakat. Kis nagyításnál a letett pontok (ticek) száma kevesebb, az eltérések pedig a valóságban a 15 métert is elérik, mindez befolyásolja a forrástérkép és a georeferálás pontatlanságát. Előfordulhat, hogy a különböző hibák kioltják egymást, azonban legtöbbször a különböző forrású hibák összeadódnak, így még jelentősebb eltéréseket okoznak.

A forrástérkép raszterizálása (szkennelése) után, a vektorizálás előtt az esetek döntő többségében a raszteres állományt valamilyen vetületi rendszerbe transzformáljuk. Ennek során a raszteres állomány pixelei által kialakított hálót (gridet) egy másik gridre cseréljük (ERDAS Field Guide, 1997). A transzformálás során felmerülő hibák nemcsak térképek esetén lépnek fel, hanem minden raszteres állománynál, ahol a pixelek relatív és/vagy abszolút helyzetét megváltoztatjuk. Ilyenek például a légifotók, valamint az űrfelvételek is. A transzformáció – okozta hibákat az űrfelvételekkel kapcsolatos pontosságvizsgálatok során részletezzük.



1. ábra. Két különböző operátor által, eltérő nagyítással végrehajtott monitoros vektorizálás eredménye.

A forrástérkép vektorizálása során keletkezhet hiba a pontos munka ellenére is. Ha az eredeti térképen az adatok helytelenül voltak megadva (pl. egy szintvonal, vagy egy magassági pont értéke), akkor a pontos adatátvitel során a hiba átöröklődik a digitális állományra is. Ezek a pontatlanságok a környező térképi elemek (pl. domborzat) vizsgálatával sok esetben kiszűrhetők.

Adatbázisok pontatlanságai

Már meglévő adatbázis egyik fő hibaforrása lehet, ha nincs lehetőség az adatok ellenőrzésére, a forrásadatok és az adatbázis összevetésére. Egyes adatbázisoknál igen magas lehet a személyi hiba száma és értéke (pl. elgépelés, hibás műszerleolvasás, stb.). A régebbi műszerek használata esetén a mérő személy szerepe is lényegesen nagyobb volt. A napjainkban használt digitális geodéziai műszerekkel, automatikusan létrehozott adatbázisok pontosabbak. Másodlagos adatnyerés során, ha más személy végzi a digitalizálást, törekednünk kell az ellenőrzésre. A szintvonalak vektorizálásánál a magasság hibás megadása sok esetben kiszűrhető, ha digitális domborzatmodellt hozunk létre, és szemrevételezzük az eredményt (2. ábra.).



2. ábra. Magassági érték téves megadásából származó hiba megjelenése a digitális magasságmodellen

A személyi hiba egyik különleges, de sokszor előforduló formája az adatbázisban megjelenő jelek helytelen értelmezése. A tizedesjel például

Magyarországon vessző, de a jelentősebb GIS szoftverek általában a pontot használják. Előfordul, hogy az adatbázis importálása a térinformatikai szoftverbe sikeresen megtörténik, de a tizedesvesszők miatt a szoftver nem számoknak, hanem betűknek értelmezi a cellák tartalmát. Hasonló hibára ad lehetőséget, ha egy adatbázisban nem minden cellához rendelnek értéket. Ilyen esetben a helytelen jelölés (pl. „n.a.”, vagy „-”) szintén az importálás során hibához vezet. A probléma kiküszöbölésére bevezették a „nincs adat” értéket, amely a szoftverben egy, a felhasználó által megválasztható olyan számadat, melyből biztosan nincs mérési eredmény. Például egy magyarországi területen végrehajtott domborzati felmérésnél a -1, vagy -99 lehet ilyen érték. Fel kell hívni a figyelmet, hogy ugyanezek az értékek már nem lennének használhatók pl. a Holt-tenger partján, ahol negatív előjelű magassági értékek fordulnak elő, tehát a „nincs adat” értékeket mindig az adott feladathoz kell igazítani.

A személyi hibákon felül érdekes hibatípus az alkalmazott szoftver algoritmusa által okozott hiba. Jó példát ad erre a hibatípusra *Szabó G. és Utasi Z. (2002)*, ahol az IDRISI 2.0 és a SURFER 6.0 szoftverek interpolációs algoritmusát vetik össze, és kimutatható, hogy ugyanolyan kiindulási adatokat alkalmazva az IDRISI által készített digitális magasságmodell lényegesen több hibát tartalmaz, mint a SURFER által interpolált változat.

A térképek szerkesztése és sokszorosítása során fellépő pontatlanságok

A térkép szerkesztésekor figyelembe kell venni, hogy az ábrázolni kívánt objektumok az adott méretarány mellett milyen síkbeli kiterjedéssel fognak megjelenni a rajzon. A tereptárgyak méretét egy bizonyos síkbeli kiterjedés alatt nem mérethelyesen jelöljük. A térképen jelölt objektumok közül a legkisebbek rajzi kiterjedését az emberi szem és a nyomdatechnika felbontóképessége határozza meg. Kompakt mértani jelnél (pl. négyzet, kör) a legkisebb oldalhossz vagy átmérő 0,3 mm. Vonalas objektumok még jól láthatóak maradnak kisebb vastagságnál is, így az alkalmazott legvékonyabb vonal 0,05 – 0,08 mm. Eltérő színű felület megkülönböztetésére a rajznak legalább 1 mm²-esnek kell lennie. A legkisebb, még felismerhető jelméretek mellett lényeges azok egymástól mért minimális távolsága is. Ha két objektum rajzi széle 0,25 mm-nél közelebb kerül egymáshoz, már nem lesznek egyértelműen megkülönböztethetők. A lehető legkisebb – vagy legvékonyabb – ábrázolásra azért van szükség, mert a rajz kiterjedésének méretarányos megfelelője nagyban befolyásolja a térképről történő mérés pontosságát. Ha egy 1:10 000 topográfiai térképen egy út vastagsága 1 mm, az a va-

lóságban 10 méter. Ugyanilyen vonalvastagság egy 1:100 000-es térképen már 100 métert tesz ki a méretarányosan, ugyanitt egy jelfa ikonjának a valódi mérete pedig 200 méter. Mivel a fontosabb, hangsúlyosabb objektumok kapják arányaikban a legvastagabb vagy legszélesebb jelölést, ezeknél lehet a legjelentősebb a mérési hiba.

A kész térképen történő mérés során pontatlansághoz vezethet, ha az objektum méreteit annak nem arányos rajzából vezetjük le. Hiba léphet fel akkor is, ha egy pontszerű objektum (pl. egy jelfa, vagy szélmalom) nem méretarányosan ábrázolt jelének nem a megfelelő helyén mérünk koordinátát, a jel kiterjedése ugyanis nagyobb mint amekkora az eredeti objektumé lenne.

További hibaforráshoz vezethet az általánosítás (generalizálás) és a tipizálás. Általánosítás során a térképi objektumok egy részét elhagyjuk, vagy erősen egyszerűsítjük. Például egy város épületeit is ábrázoló topográfiai térképről csak a település körvonalát (gyakorlatilag a belterületet) digitalizáljuk át, melynek pontos nyomvonaláról a térkép nem ad információt. Tipizáláskor az objektum átlagosan jellemző tulajdonságait vesszük figyelembe, az attól való helyi eltéréseket pedig a térképen nem jelöljük (pl. egy jórészt egységes szélességű út helyenként keskenyebb lesz).

A nyomtatott térkép hordozófelületét adó papír *N. R. Chrisman* és *M. McGranaghan* (ed., 1990) szerint a levegő páratartalmától 3%-os torzulást is szenvedhet. A méretváltozás nem homogén, a lap egyes részein nagyobb lehet, míg más részeken a torzulás minimális. Ilyen esetben digitalizáló tábla használata esetén a hozzávetőlegesen megegyező torzulású területeket sávokká bontják, majd ezeket transzformációs képletek segítségével összeillesztik. A térképek öregedésével a torzulás mértéke nő, így a több száz éves lapok vektorizálása digitalizáló táblán jelentős torzulásokhoz vezet.

Térképek általános átlagos torzulásai

Tisztán a mért helyzet középhibáját a térképen általában 0,2 – 0,4 milliméterben határozzák meg, tehát egy 1:10'000-es térképen a mérési középhiba 2-4 méter, az 1:50'000 méretaránynál ugyanez az érték már 10-20 méter. *Chrisman, N. R. és McGranaghan, M. (ed.), 1990* szerint az átlagos, figyelembe veendő vízszintes eltérés 0.5 milliméter, ami egy 1:10'000 térkép méretarányában 5 méternek felel meg. *Winkler P. (1997)* a magyarországi topográfiai térképek közül a 1:10'000 szelvényeken a vízszintes irá-

nyú legnagyobb eltérésre 3-5 méteres, az 1:50'000 méretarányhoz pedig 20-30 méteres eltérést ad meg.

A térképi vetületek hatása a pontosságra

Fontos része a térképi pontosság kérdésének a térkép szerkesztése során alkalmazott vetület. Napjainkban a legtöbb ország saját vetületi rendszert dolgozott ki, és egy ország is különböző vetületeket használ az egyes időszakokban, vagy különböző célú térképeken. Ezért az eltérő vetületek közötti átszámítás pontossága alapvető kérdése a mai térképek pontosságának. Magyarországon jelenleg a polgári térképészet az EOV, a katonai térképészet pedig az UTM vetületet használja. A régebben kiadott térképek esetében találkozhatunk a Gauss-Krüger, a sztereografikus, a poliéder, vagy a Cassini-féle hengervetülettel. Előfordulhat, hogy egy adott vetületi rendszerben lévő térképet transzformálnunk kell egy másik vetületbe, például ha a területhasználatban bekövetkezett változásokat vizsgáljuk, különböző időpontokban készített térképek alapján. Zárt képletekkel történő átszámítások csak egyazon vonatkoztatási ellipszoid alapú koordináta-rendszerek között végezhetők (Völgyesi L. – Tóth Gy. – Varga J., 1994). Eltérő ellipszoiddal rendelkező koordináta-rendszerek esetében közelítő egyenleteket lehet alkalmazni, úgy, hogy a maradék-ellentmondások a lehető legkisebbek legyenek. Jelenleg leggyakrabban az előbb említett EOV és UTM mellett a Gauss-Krüger (régi katonai szelvényezés) és WGS84 (GPS alapú térképek) koordináta-rendszerekkel találkozhatunk. A Gauss-Krüger vetületű térképek ellipszoidja a Kraszovszkij, az UTM és a WGS84 ellipszoidja pedig megegyezik. Az EOV ugyancsak eltérő ellipszoidot használ (IUGG67-HD72), így például az EOV-ba, vagy abból más vetületbe történő koordináta-átszámítások csak közelítő-kiegyenlítő egyenletekkel lehetségesek, közös pontok felhasználásával. Térinformatikai feladatok szempontjából lényeges *Klinghammer I. – Papp-Váry Á. (1983)* azon meghatározása, mely szerint 50km²-nél kisebb felméréendő terület esetén az alapfelület síknak tekinthető vízszintes méréseknél.

A magassági értékek meghatározásánál a fentiek mellett külön problémát jelent, hogy a különböző forgásellipszoidok és geodéziai dátumok révén egyazon pont más vetületekben eltérő magasságokban található. Így a pontok magasságának átszámítása a horizontális kiegyenlítésnél is nagyobb bizonytalanságokat tartalmazhat, a térképi pontosságot pedig nagy mértékben befolyásolja.

A fent leírt átszámítási pontatlanságok napjainkban azért különösen fontosak, mert a felmérés eszközeinek hatósugara és pontossága elérte azt a szintet, ahol már a legkisebb vetületi pontatlanság is kimutatható a hétköznapi életben alkalmazott berendezésekkel. Az infravörös és lézeres mérőállomások néhány mm/km-es hibával dolgoznak, és több km-es hatósugárral rendelkeznek. A legújabb térszkennerek pedig ugyanilyen pontossággal több száz méteres sugarú körön belül eddig elképzelhetetlen mennyiségű adatot rögzítenek, és a tereptárgyokról milliméteres-centiméteres pontosságú digitális modelleket készítenek.

A különböző országok által alkalmazott eltérő vetületekből adódó pontatlanságok vizsgálata különösen időszerű, hiszen az európai országok fokozatosan egyre szorosabbá váló kapcsolatai révén egyre gyakrabban szembesülhetünk a határ menti régiókban az eltérő vetületekből származó pontatlanságokkal, vagy az eltérő vetületek átszámításából adódó nehézségekkel (pl. *Völgyesi L. – Varga J., 2001*). Éppen ezért fontos az EUREF, mely egy egységes európai geodéziai hálózatot fémjelez (*Ádám J., 2000*).

1.3. A műholdas helymeghatározás fejlődése, pontosságának változása

A terepi álláspont helyzetének, vagy egy objektum kiterjedésének műholdakkal történő meghatározása az elmúlt század közepe óta bontakozott ki. Az első mesterséges hold pályára állítását (1957) követően egyre több, különböző célú mesterséges objektumot juttattak Föld körüli pályára. A műholdak pályájának ismeretében megmérve azok pillanatnyi pozícióját térgeometriai módszerekkel, néhány kilométeres pontossággal meghatározhatták a szemlélő földrajzi koordinátáit. A módszer továbbfejlesztésével – fotografikusan rögzítve a műholdpályákat – Ádám et. al. (2004) szerint már 5–10 méteres hibával állapították meg a mérés helyét.

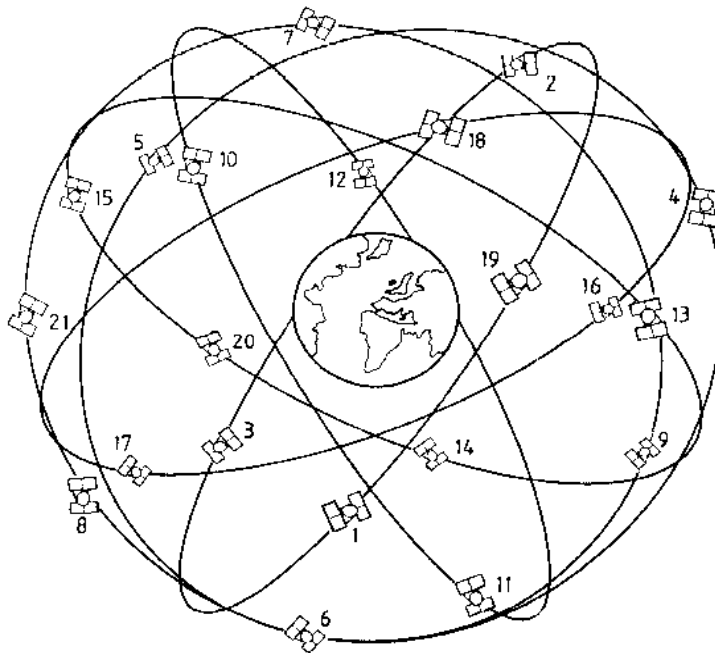
Miután lehetőség nyílt a nagy teljesítményű lézerek alkalmazására a földrajzi pozíció meghatározásában, a koordináták pontossága kezdetben 1 méter körüli értékre csökkent majd a későbbi fejlesztések hatására centiméteres nagyságrendűre mérséklődött.

Az 1960-as évek második felétől kezdődött meg a helymeghatározásra alkalmas műholdrendszerek kiépítése. Első képviselője az Egyesült Államok haditengerészete által felállított TRANSIT rendszer, mely a Doppler – elv révén 15 – 20 perc mérésidővel alkalmas volt 50 méteres pontosságú abszolút helymeghatározásra. Relatív méréstechnikával pedig a decimé-

teres pontosságot is el lehetett érni. (Az abszolút és relatív mérés közötti különbségekre a későbbiekben térünk ki). A mérés lényege, hogy a szemlélőhöz képest közeledő vagy távolodó műhold által kibocsátott rádiójel frekvenciája elcsúszik, az eltérés mértékéből a távolság meghatározható.

A TRANSIT rendszer továbbfejlesztéseként indult el 1973-ban az Egyesült Államok Védelmi Minisztériuma által koordinált NAVSTAR program, mely 1994-ben érte el a tervezett optimális állapotot. Ez azt jelenti, hogy 6db. 55° -os inklinációjú pályán 24 db. műhold kering (3.ábra), tehát a földfelszín bármely pontja felett közülük legalább 4-7 db. „látszik”. Napjainkban ez az egyetlen teljesen kiépített rendszer.

A szovjet-orsz GLONASSZ jelenleg nem rendelkezik a tervezett műholdszámmal (bár India csatlakozásával újra felgyorsult a kiépítése), ahogy az európai GALILEO sem, amely a kiépülés kezdeti stádiumán áll. Ezen okok miatt a fenti rendszerek közül a NAVSTAR az, amelyet jelenleg általánosan GPS, azaz Global Positioning System-nek (Globális Helyzetmeghatározó Rendszer) szoktak nevezni. Mivel kutatási eredményeink is erre a rendszerre épülnek, a továbbiakban ennek működését részletezzük.

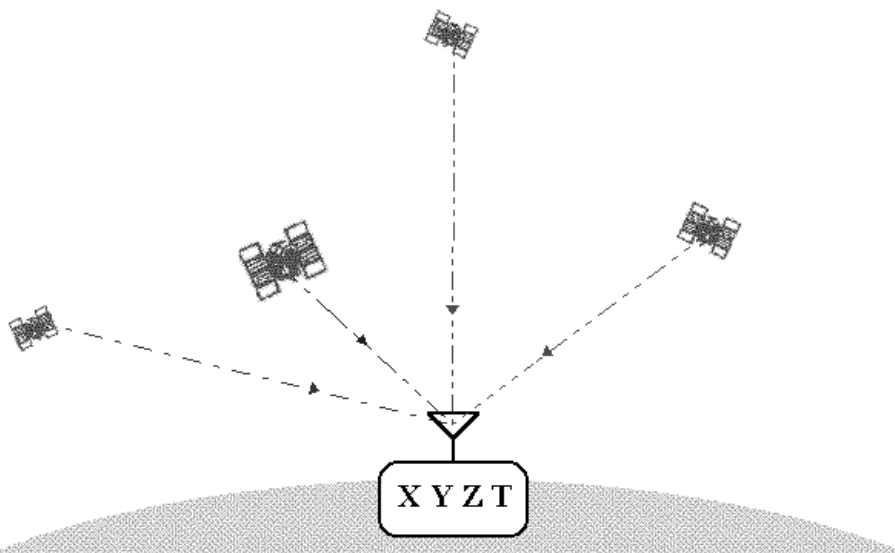


3. ábra A GPS műholdak pályái
(<http://lazarus.elte.hu/~climbela/gps32.htm> nyomán)

A NAVSTAR GPS rendszer

A rendszer elsősorban katonai célokat szolgál, de polgári felhasználásra is alkalmas, bizonyos pontossági korlátozásokkal. A műholdak száma és elhelyezkedése lehetővé teszi, hogy bármely napszakban és gyorsan mérhetünk pozíciót a Föld felszínén és a levegőben, függetlenül az időjárástól.

A helyzetmeghatározás elvi menete szerint, ha ismerjük legalább három, nem egy vonalban elhelyezkedő műhold tőlünk való távolságát, ezek ismeretében a műholdakat és az álláspontunkat összekötve kirajzolódó tetraéder segítségével meghatározható a mérési pozíció. A gyakorlatban a méréshez elengedhetetlen pontos idő meghatározására még egy műhold jelére szükség van, így a holdak minimális száma négy (4. ábra).



4. ábra. A műholdas helyzetmeghatározás elvi módszere (Dana, H. nyomán).

A műholdak túlnyomó része jelenleg két frekvencián sugároz adatokat. Az L1 hullámhossza kb. 19 cm-es, és két különböző kóddal modulálják. A polgári felhasználásra a C/A-kód áll rendelkezésre, katonai célokra pedig a P-kód. Az L2 frekvencia hullámhossza kerekítve 24 cm, és kizárólag a P-kóddal modulálják. A legújabb holdak esetében már az L2 frekvenciát is modulálják a C/A-kóddal, így jelentősen fog javulni a polgári felhasználás.

sok pontossága. Már üzemel az első olyan műhold, amely egy harmadik frekvencián (L5) is sugároz, ez tovább javítja a polgári célú pontosságot.

A műhold és a méréspont közötti távolság meghatározása több módszerrel történhet. Ezek hibahatárai eltérőek, ezért megválasztásuknál az igényelt pontosság alapvető fontosságú.

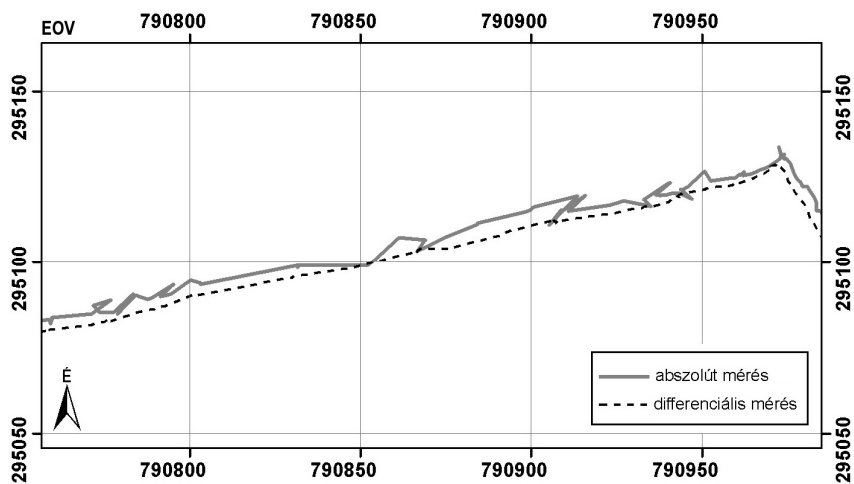
A legelterjedtebb módszer alkalmazásakor az ismert időpontban kibocsátott műholdjelet a vevő ugyanabban az időpillanatban szintén előállítja. A két kódot a műszer processzora összeszorozza, és megvizsgálja, hogy a szorzat összege mekkora. A helyben generált jelsorozatot addig csúsztatja a vevő, ameddig a szorzat összege el nem éri a legnagyobb értéket. Az elcsúszás mértékéből kiszámítható, hogy mennyi idő kellett a műhold jelsorozatának a vevő eléréséhez, ebből pedig meghatározható az adó és a vevő közötti távolság. Mivel mind a műholdak, mind pedig a vevő óráját kisebb—nagyobb hibák terhelik, ezek észlelhetően csökkentik a pontosságot. Ezért a jel futáshosszát pseudo – (ál)távolságnak nevezik.

A jelsorozat hossza alapvetően befolyásolja a pontosságot, így ez minél rövidebb, annál kisebb hiba terheli a számításokat. A C/A kód hossza 293 méter, *Ádám J. et. al. (2005)* szerint az általánosságban elfogadott becslési pontosság pedig a kód periódusának 1%-a. Tehát kódérés esetén általában az elméletileg elérhető legnagyobb pontosság kerekítve 3 méter. A titkosított (katonai célokra fenntartott) P-kód teljes hossza 29,3 méter, tehát az itt elérhető maximális pontosság kb. 30 centiméter.

A fent vázolt módszert kódérésnek vagy kódfázis-mérésnek nevezük, és ez a legelterjedtebb technika napjaink műholdas helymeghatározásában. Előnye a viszonylag gyors mérés („hideg” indításnál is max. 10-15 perc), valamint az egyéb rendszerektől független pozícionyerés (ú.n. abszolút mérés).

Az C/A kódérés 3 méteres maximális pontossága sok felhasználási terület számára nem elegendő. Több vevő párhuzamos méréseivel redukálható a hiba mértéke (differenciális mérés). Ennek során a terepen mérő egységgel (rover) párhuzamosan egy másik vevőt helyezünk el egy közeli, ismert koordinátájú ponton (bázis). Mivel mindkét vevő eredményeit ugyanazok a hibahatások torzítják, a bázis mért és valódi pozíciója közötti pillanatnyi különbségek alkalmazhatók a roverre is. A mérés pontossága ezzel a módszerrel szubméteresre javítható. Az 5. ábra egy pozíciósor rögzítésének eredményét mutatja. Abszolút mérésnél (folytonos vonal) az egymás után rögzített koordináták nem követik szorosan a műszer valódi útját, hanem különböző irányokban „szórnak”. Emellett sok esetben kimutatható valamely irányba történő hosszabb idejű elcsúszás (itt északias). Differenciális

korrekciót alkalmazva (szaggatott vonal) a vonallánc elsimul, a kiugróan eltérő pozíciók hibái jelentősen redukálódnak, a permanens elcsúszások pedig korrekcióra kerülnek. Differenciális mérésre a bázisállomástól viszonylag nagyobb távolságra is lehetőség van, természetesen távolabb a korrekció mértéke csökken, nagyjából 200 km-es hatósugáron kívül pedig a hiba korrekciója minimális. *Ádám J. et. al. (2005)* szerint speciális esetekben ennél lényegesen nagyobb vektoroknál is alkalmazható az eljárás. Az S/A kikapcsolása előtt a differenciális mérés jelentősége óriási volt, a nagy pontosságot igénylő felhasználásoknál pedig még ma is nagy.



5.ábra. Abszolút és differenciális méréssel rögzített útvonal

Geodéziai feladatokhoz szükséges pontosság eléréséhez már nemcsak a műhold által sugárzott információt használják, hanem az azt hordozó vivőjelet is. Ennek során mindkét szinuszos vivőhullámot (L1 és L2) a vevőben visszaállítják, majd megállapítják, hogy hány darab egész- és részhullám fér el a műhold és a vevő között. Az egész hullámok meghatározása közvetlenül nem lehetséges (fázis-többértelműség), ezért a két vivőhullám kombinációiból közvetett úton számítják ki a távolságot. Mivel ennél a módszernél is a kód (jelen esetben a hullámperiódus) hosszának 1%-os pontosságú becslése érhető el, a lehetséges legnagyobb pontosság hozzávetőlegesen 2 mm. Ilyen típusú méréseket rendszerint több vevő párhuzamos észlelésekor alkalmaznak, és koordináta-különbségeket képeznek, ezért relatív mérésnek nevezik (a kódméréses differenciális, valamint a fázisméréses relatív helymeghatározás ugyanarra a módszerre utal, a különböző nevek

csak az eltérő technikai megoldásokat jelölik). Nagy hátrány, hogy pontos méréseket csak viszonylag rövid vektorok esetében végezhetünk (néhány 10 km), és a mérés ideje legalább 15-20 perc. Ilyen típusú méréssel alakították ki az Országos GPS Hálózatot (OGPSH) (Lukács T., 2003), melynek pontjai közül méréseinkhez mi is többet felhasználtunk.

A differenciális mérés kiterjeszhető és automatizálható is. Ha a bázisállomást adóval látjuk el, mely folyamatosan sugározza a valós pozíciótól való eltérésvektort, a roverrel már a terepen differenciált eredményt kaphatunk. Az állami szintű differenciális kódsugárzás néhány országban már magas szintet ért el (pl. Németország), de hazánkban is folyamatos a kiépítés (Ground Based Augmentation System, azaz Földi Telepítésű Kiegészítő Rendszer). A rendszer centiméteres pontosságot biztosít, de csak viszonylag kis hatósugáron belül (kb. 100 km). Mivel az egyes országok általában nem harmonizálják ezeket a földi telepítésű rendszereket, érzékeny kérdés lehet a kapcsolódó területeken a pontosság kérdése. Elképzelhető olyan helyzet, amikor az országhatár közelében a két ország GBAS rendszere eltérő korrekciót sugároz, például különböző geodéziai alapfelület, vagy vetület miatt, így egy mért pozíció jelentősen eltérhet a másik kiegészítő rendszer használatakor. Ezért fontos, hogy közös alapokon létesüljenek ilyen rendszerek. A közép-európai országok EUPOS néven közösen építik ki GBAS hálózatuk alapjait.

Nagyobb területek összefüggő kiegészítő rendszere lehet, ha a felszínen meghatározott pillanatnyi korrekciós adatokat műhold segítségével sugározzuk. SBAS (Satellite Based Augmentation System, azaz Műhold Alapú Kiegészítő Rendszer) technológia segítségével jelenleg több rendszer üzemel, Észak-Amerika felett a WAAS, Európa felett – jelenleg még csak kísérleti üzemben – az EGNOS, Japán rendszere pedig az MSAS. Ennél a módszernél nincs a GBAS-hoz hasonló részletességű korrekciós forrásadat, így pontosság-növelő hatásuk is kisebb. Ennek ellenére a pozíciók javulása így is jelentős lehet, főként, ha mozgó egység pozíciójáról van szó (Witte, T.H. – Wilson, A.M., 2004).

Az eddig részletezett módszerek pontossága olyan esetekre érvényes, amikor a vevő hosszabb-rövidebb ideig mozdulatlan (statikus mérés). Mozgó rover esetén (kinematikus mérés) nőhet a hiba mértéke, a elvesztés esélye pedig nagyobb. Mozgó egységgel történik pl. egy terület felmérése. Ha például egy szennyezett terület kiterjedését kell meghatározni, az eredmény pontosságának már anyagi vonzata is lehet (pl. a szennyezett, eltávolítandó talaj mennyiségének meghatározása).

A gyakorlatban a műholdak pszeudotávolságának mérésében a következő hibalehetőségek léphetnek fel: műhold pálya- és órahiba, a jelterjedés hibái, vevőhibák (*A.P.M. Chiaradia et al., 2003*), valamint az észlelés során elkövetett emberi hibák. Szintén a műholdakhoz köthető hibaforrás – bár nem a sugárzott jel pontossága számít – a pozíció pontosság-hígulásának (PDOP) mértéke.

Eredetileg a C/A kód által elérhető pontosságot 400 méter körüliire becsülték (*Hoffmann-Wellenhof et al., 2001*), az ehhez képest már kezdettől elért 15-40 méteres pontosság ijesztő mértékű volt a hadsereg nézőpontjából, ezért került bevezetésre az S/A pontosság-degradáló rendszer, mely az összes pontosságot csökkentő tényező közül a legjelentősebb volt (*Hurn, J., 1989*). 2000. május 1. óta - (a hivatalos álláspont szerint „ideiglenesen”) ki van kapcsolva a szelektív hozzáférés (S/A), így ennek pozíció degradáló hatásával jelenleg nem kell számolni. Mint lehetséges hibalehetőség viszont megemlítendő.

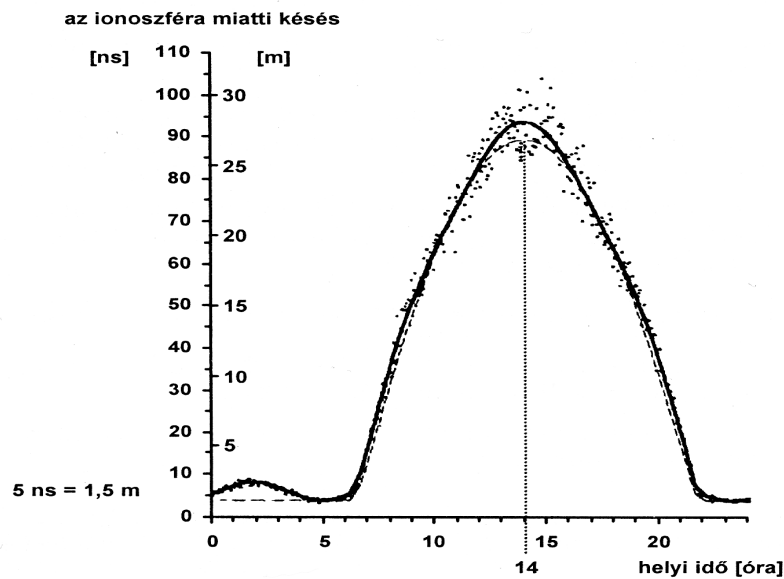
A műholdak Föld körüli keringését alapvetően a gravitációs kéttest-probléma alapján modellezik, majd ezt finomítják tovább (*A.P.M. Chiaradia et al., 2003*). Habár a pálya viszonylag jól közelíthető, pontos pályaszámítás heteknél hosszabb időszakra nem végezhető a legfinomabb részleteiben nem ismert földi gravitációs mező, az általában figyelmen kívül hagyott napszél (*A.P.M. Chiaradia et al., 2003*), és egyéb hatások miatt, így folyamatos ellenőrzésre és korrekcióra van szükség. A műholdak pályahibája *Tamás J.-Lénárt Cs. (2002)* szerint 1–2,5m körüli, *Ádám J. et al (2004)* 2,3 méterben adja meg annak átlagát.

A műhold órahiba mértéke nagy mértékben függ attól, hogy a földi állomások milyen pontossággal korrigálják azt. A jelenleg naponta kétszer végrehajtott korrekció utáni maradékhiba *Tamás J.-Lénárt Cs. (2002)* szerint elérheti a 1,5 métert, *Ádám J. et al (2004)* szerint 2–2.2m, *Parkinson, B.W. és Spilker, J.J. (ed., 1996)* pedig 1–2m-re becsüli az eltérést.

A jelterjedés hibái közül a legfontosabb az *ionoszféra* jeltorzító hatása, melynek a mérsékelt égövben okozott hatását *Ádám J. et al. (2004)* átlagosan 1,6–2,4m-től 8–12m-ig adja meg, azzal a megjegyzéssel, hogy ezek zenitirányú jelterjedésre vonatkoznak, így alacsonyabb műhold-deklináció esetén a torzítás nagyobb is lehet. A kisebb értékek éjjel jellemzők, napkelte után a helyi dél felé az érték folyamatosan nő, majd a déli kulminálás után lecsökken az éjjeli szintre. *A.P.M. Chiaradia et al., (2003)* ugyanezt az értéket 2,96m ±0,9m-ben adja meg. *Tamás J.-Lénárt Cs. (2002)* szerint a javított értékek fennmaradó hibája 5–10m is lehet. *Parkinson, B.W. és Spilker, J.J. (ed., 1996)* 2–5 méteres becslést ad. Összességében tehát a különböző

irodalmak eltérő értékei mind a „többméteres” pontossági kategóriába sorolják az átlagos eltérést.

A hiba kiküszöbölésére egyik legelterjedtebb megoldás a globális ionoszféra-modellszámítás. Ennek segítségével az ionoszféra-okozta hibák 50–60%-a kiküszöbölhető (Ádám J. et al, 2004, 98.). Az ionoszféra által okozott hiba nagyságának napi változását, és egy közelítő modellt mutat be a 6. ábra.



6. ábra. Az ionoszféra miatti zenitirányú késés napi változása (pontsor), valamint az alkalmazott koszinusz-modell (vonal). (Ádám J. et. al. 2004.)

Parkinson, B. W. és Spilker, J.J. ed., (1996) megjegyzi, hogy a mérsékelt öv felett az ionoszféra elektrontartalma viszonylag jól becsülhető, komoly fluktuációk az Egyenlítő és a sarkvidékek felett fordulnak elő. Mindezek ellenére a szakirodalmak egyetértenek abban, hogy az egyfrekvenciás, abszolút mérés pontosságának fő hibaforrása az ionoszféra.

Az ionoszféra hatásánál lényegesen gyengébb mértékben a troposzféra is torzítja a jeleket. Kiszűrése az ionoszférához hasonlóan modell segítségével részben lehetséges. Módosító hatása Tamás J.–Lénárt Cs (2002) szerint abszolút mérésnél 2-10m, Ádám J. et al. (2004) szűkebb tartományra, 2-3m-re szorítja azt. Ennél is kisebb eltérést állapít meg Parkinson, B.W. és Spilker, J.J. (ed., 1996). Eszerint a hiba nem nagyobb 1m-nél, azzal a

megjegyzéssel, hogy ez csak átlagos hőmérséklet, nedvességtartalom és nyomásviszonyok között tartható.

A *többutas terjedés* (azaz reflexió valamilyen tárgyról, multipath) mértéke az eredeti és a visszaverődött hullám fáziseltolódásának szögkülönbségétől függ. Az elméletileg lehetséges legnagyobb eltérés (180foknál) 4.75m (*Ádám J. et al. 2004*), de a jelenlegi vevők részben már ki tudják szűrni az eltérések jó részét. *Tamás J.–Lénárt Cs (2002)* szerint az átlagos hiba méteres nagyságrendű.

Az eddig felsorolt hibáknál kevésbé körvonalazható a *vevőhibák* és *emberi hibák* mértéke. A vevő meghibásodásakor bármekkora hiba előfordulhat, és ugyanez mondható el az emberi hibáról is (hallgatói gyakorlat során végzett mérésnél volt példa 4km-es eltérésre is). Felhasználó által elkövetett hiba lehet pl. rossz antenna-magasság meghatározás, hibás vevő telepítés, rossz dátum megadása, koordináták hibás leolvasása, stb.

A műholdgeometria a többi hiba együttes hatásának szorzójaként jelentkezik. Értéke az észlelt műholdak relatív elhelyezkedésétől függ: szórtabb elhelyezkedésnél alacsony, halmazos–kompakt elrendeződésnél magasabb az értéke. Meghatározására több érték elfogadott: PDOP = Position Dilution Of Precision azaz helyzeti pontosság-higulás, HDOP = Horizontal Dilution Of Precision azaz vízszintes pontosság-higulás, VDOP = Vertical Dilution Of Precision ami a vertikális irányú pontosság-higulás, GDOP = Geometric Dilution Of Precision azaz geometriai pontosság-higulás. Ezek a fogalmak hasonló módon jellemzik a műholdgeometriát, a technikai leírások általában a PDOP értéket használják.

A „minél kisebb, annál jobb” elven túl a szakirodalom nem ad meg egységes értékeket. Mind *Ádám J. et al. (2004)*, mind *Parkinson, B.W. és Spilker, J.J. (ed., 1996)* jó HDOP értéknek 2-t javasol. *Chrishtopher A. et al. (2002)* 5-nél kisebb PDOP értéket vett pontos méréshez figyelembe. *Domonyik G. (internetes hiv. 2005)* szerint ugyanennek 4 alatt kell lennie optimális esetben. Lényeges, hogy a DOP értékek minél alacsonyabbak legyenek a mérés során, mert a holdak elhelyezkedéséből adódó hibák utólag nem korrigálhatók (*Tikász–Krauter - et al., 1995*). A DOP értékek kiszámításának különböző módozataival külön szakirodalmak foglalkoznak (pl. *Zuo-ya, Z. et al., 2003*), a mérések során mi csak a műszer által megadott értékekkel dolgoztunk.

A felsorolt hibákat összegezve egyfrekvenciás vevővel, abszolút mérés esetén *Ádám J. et al. (2004)* 10 méteres vízszintes pontosságot határoz meg. Ugyancsak 10 méteres összegzést ad *Parkinson, B.W. és Spilker, J.J.*

(ed., 1996). Takács B. (internetes hiv. 2005) gyakorlati mérések alapján az átlagos vízszintes pontosságot 5 méter körül határozza meg.

Végül feltétlenül meg kell említenünk, hogy a GPS berendezésekbe programozott vetületi paraméterek is befolyásolják a pontosságot. A komolyabb vevőkben a hét paraméteres transzformációs egyenletrendszer alkalmazták, de Timár G., et al. (2002) szerint az egyszerűbb kézi készülékekhez elegendő a kevésbé bonyolult, 3 paraméteres (Molodensky–Badekas-féle) transzformáció, amely 1 méter alatti pontosságot tesz lehetővé (természetesen ez csak a vetületek közötti transzformációra vonatkozik).

1.4. A távérzékelés fejlődése, pontosságának változása

Curran, P. J., (1985) szerint a távérzékelés fogalmát a szakirodalom először 1960-ban említette, mint az objektumok érintése nélküli megfigyelési és mérési módszer. Az azóta eltelt évtizedek alatt a kutatók a távérzékelést kisebb–nagyobb eltérésekkel határozzák meg. A távérzékelés fogalmának tisztázását azért tartjuk fontosnak, mert a fogalom szűkítése, vagy bővítése befolyásolja a pontossági vizsgálatok határait. Egyes szerzők (pl. Sárközy F., 2005) tágabb értelemben használják a fogalmat, és minden, az adott objektummal közvetlen, fizikai kapcsolat nélküli adatszerzést távérzékelésként definiálnak, ezzel kiterjesztve a távérzékelés történetét az első légifényképekig. Lóki J. (1996) tovább bővíti ezt a definíciót, és a fentiek mellett az adatok feldolgozását is ide sorolja. Több szerző (McNally, Rand – ed. 1983) szűkebb teret enged a meghatározásnak, és azt konkrét módszerek vagy jelenségek említésével szorítják korlátok közé. Szerintük az elektromágneses és az akusztikus hullámok, valamint az erőterek alkalmazása a távérzékelés. Curran, P. J. (1985) viszont kizárólag csak az elektromágneses sugárzást tartja annak. Ugyanígy vélekedik Campbell, J., B., (1996), aki tovább szűkíti a meghatározást. Egyrészt megnevezi a vizsgálandó objektumokat (földfelszín és vízfelületek), másrészt az érzékelő elhelyezkedését is (fenti, függő perspektíva).

A fenti meghatározások közül távérzékelésnek a legtágabb definíciót tekintjük, a világűrben, elektromágneses hullámokkal történő mindenféle adatgyűjtést pedig űrtávérzékelésként határozzuk meg.

1.4.1. A távérzékelés pontosságának változása

A távérzékelés jelentősége az elmúlt évtizedekben folyamatosan nőtt, és ez az irány a jövőben sem látszik gyengülni. E módszer fejlődése során születtek először nagy tömegű digitális területi adatok (*Papp-Váry Á., 1990*). A tágabb értelemben vett távérzékelés kialakulása és tudományá erősödése napjainkra már több mint egy évszázadot ível át. Születését két, addig különálló technológia összekapcsolódásához köthetjük. Kezdetben a vizsgálat tárgyától való eltávolodásban a repülés, a látottak-éreztek rögzítésében pedig a fényképezés technikai fejlődése játszotta az úttörő szerepet. Az első időszak gyenge minőségű, kezdetleges felvételei meglehetősen kevés információ-tartalommal bírtak. A XIX. század közepén Tournachon párizsi és Black bostoni hőlégballonos képei csak a látottak rögzítésére voltak alkalmasak, a pontosság kérdése nem merült fel. A következő évtizedekben a javuló technikai feltételek megteremtették annak lehetőségét, hogy a tájékozódáson, felderítésen túl mennyiségi és minőségi vizsgálatokat is végezzenek. Ennek köszönhető, hogy Heim 1898-ban már geológiai célból végzett légi fényképezést a Jura-hegységről.

A múlt század első felében a sztereoszkópikus fényképezőgépek, a repülőgépekre, majd rakétákra szerelt kamerák egyre jobb minőségű képeket készítettek a felszínről. *Kőháti A. (1979)* szerint a tudományos célú felvételek elsősorban a geológia szolgálatában álltak. E fotók felbontása kilométeres nagyságrendű volt, de a *földtani nagyszerkezeti kutatásokhoz* már megfelelték. A múlt század közepén a 200km-es magasságból készült felvételekről a geológusok már meglepően sok földtani vonatkozású információt nyertek. Összességében megállapíthatjuk, hogy a nagy magasságból készített fényképek legfőbb előnyei egyrészt a nehezen megközelíthető területek felmérésénél, másrészt a nagyobb területek egységes, egyetlen képen történő megjelenítésénél, illetve ezeknek a *földtani, légköri* elemzéseinél mutatkoztak.

A 60-as években a televíziós kamera használata a távérzékelésben véget vetett a film egyeduralmának, és jelentősen felgyorsította az űrtávérzékelés fejlődését. A kamera térbeli felbontása lényegesen gyengébb volt a filménél, így a pontossága is elmaradt attól. De az időbeli felbontás, azaz az ugyanazon területről készíthető felvételek közötti időkülönbség jobb volt, így egyre gyorsabban lejátszódó folyamatok megfigyelése volt lehetséges. Különösen nagy hasznát vette az új technikának a meteorológia.

Ezzel egy időszakban a légifotók mellett megjelentek a műholdakról vagy űrállomásokról készített fényképek. A hagyományos filmes technika fejlesztésével nemcsak a térbeli felbontás nőtt folyamatosan, hanem az elektromágneses spektrum egyre szélesebb tartományában készülhettek a fotók, tehát nőtt a spektrális felbontás. Az elektromágneses sugárzás egyre szélesebb intervallumon érzékelése egyre újabb folyamatok, jellemzők detektálását tette lehetővé.

Curran P.J. (1985) szerint az ERTS-1 (LANDSAT-1) 1972-es fel-lövése döntő lendületet adott a nem fotográfiai elvű távérzékelésnek. Az MSS szenzorral felvett kép még a műholdon digitalizálásra került, és az adatokat a keringő egység így továbbította a Földre. Az egy pixel által lefedett terület 80 méter oldalhosszúságú volt, tehát egy képpont már csak 0,64 hektáros területen átlagolta a felszíni reflektanciát. Lényeges előrelépést jelentett, hogy a későbbi LANDSAT holdakra (LANDSAT-5-ig) is telepítet-ték az MSS érzékelőt, annak ellenére, hogy az újabb fejlesztésű TM rend-szer ezt teljes mértékben kiválthatta volna. Így viszont lehetővé vált vi-szonylag hosszabb időtartamú (akár több 10 éves), nagyobb pontosságú, homogén vizsgálatok és mérések végrehajtása. E módszerrel monitorozzák az angliai környezetileg érzékeny területek (ESA) változásait is (*Slater, J. – Brown, R., 2000*).

A műholdas űrfotók készítése a nagyhatalmak katonai felügyelete alatt állt. A képek akkori polgári felhasználása emiatt korlátozott volt az Egyesült Államokban, a Varsói Szerződés tagállamai számára pedig nem-csak az USA, de a Szovjetunió által készített képek beszerzése is lehetetlen volt. Az amerikai vezetés 1995-ben engedélyezte az 1960 és 1972 közötti titkos CORONA (Keyhole) felvételek nyilvánosságra hozatalát (*Mucsi L., 2005*), Oroszország szintén lehetővé tette a felvételek nagy részének szabad vásárlását. Ezeknek a fotóknak a felbontása néhány méteres volt.

A viszonylag szélesebb spektrális tartományt lefedő (pankromatikus) fotók mellett megjelentek az olyan képrögzítő berendezések, melyekkel egyszerre több, keskeny spektrális intervallumon lehetett fotókat készíteni (multispektrális rendszerek). A szűk hullámhossz-tartományokkal pontos-sabb analízis végezhető a felszíni folyamatokról, és objektumokról. Jól használható a módszer például a vegetáció állapotának vizsgálatához.

Az egyik ilyen kamerarendszer a Karl-Zeiss cég által gyártott MKF-6 volt, mellyel egyszerre hat spektrális tartományban (csatornán) végezhet-tek fotózást a földfelszínről látható és infravörös tartományokban. E néhány tíz évvel ezelőtti felvételeknek a földrajzban óriási szerepe lehet. Mivel na-gyon jó felbontású fotókról van szó, hosszú távú változások vizsgálatára (pl.

tájhasználat-változás) a mai légifotókkal vagy űrfelvételekkel összevetve különösen alkalmasak.

A folyamatos fejlesztések a pankromatikus és multispektrális berendezéseknél inkább a térbeli felbontás javításának irányába tartottak, a spektrális felbontás már kevesebbet változott. A LANDSAT-5 TM érzékelője 30 méteres multispektrális, a SPOT-1 HRV rendszere 10 méteres pankromatikus adatbázist állított elő.

Az űrfotók készítése a digitális rendszerek továbbfejlesztésével sem szűnt meg. A Pentagon – katonai céllal – folyamatosan bocsátotta fel a Keyhole-sorozatú holdakat, amelyek felbontó képessége fokozatosan javult. *Mucsi L. (2005)* szerint az 1970-es évek második felére a térbeli felbontás már elérte a 15 cm-t.

Napjainkra a polgári célú, erőforrás-kutató műholdak száma jelentősen megnőtt. Ezek érzékelői egyre nagyobb térbeli felbontásban produkálnak felvételeket a felszín objektumairól. A QUICKBIRD rendszer például 61 centiméteres oldalú pixelekből álló adatbázist szolgáltat. Az IKONOS műhold fellövésének idején (1999-ben) az USA vezetése még nem engedélyezte 1 méternél jobb felbontású felvételek kereskedelmi forgalomba hozatalát. Ezért a natív 0,81 méteres felbontást degradálják 1 méteresre, és így kerülhetnek forgalomba a felvételek. A korlátozás ellenére az IKONOS felvételek mégis különösen jó minőségűek, nemcsak a felbontás miatt, hanem a LANDSAT és SPOT felvételeknél jóval szigorúbb geometriai pontosság miatt is (*Csató É., letöltve: 2006*).

Minél több csatornán (elektromágneses hullámtartományban) rögzítik a felszíni objektumok reflektanciáját, annál pontosabb adatok lesznek a felszínről. A kezdeti egycsatornás (pankromatikus) felvételeket gyorsan kiegészítették a több keskeny (kb. 100 nanométer szélességű) csatornán érzékelő multispektrális rendszerek. Minél keskenyebb spektrumintervallumokon készülnek a felvételek, annál pontosabb képet kaphatunk a vizsgált objektumok fizikai és kémiai tulajdonságairól, vagy a vegetáció állapotáról. Ezek a hiperspektrális berendezések akár több száz csatornán érzékelik a reflektanciát. Ilyen rendszereket egyaránt alkalmaznak a légi és űrplatformokon.

A legszélesebb spektrális átfogású pankromatikusuktól az egyre keskenyebb multispektrális és hiperspektrális felvételekig haladva az érzékelőhöz jutó elektromágneses sugárzás az alkalmazott, spektrálisan egyre keskenyebb szűrők miatt csökken. Emiatt egyre nagyobb felületről kell reflektált sugárzást gyűjteni a megfelelő detektáláshoz. Így általánosságban azt mond-

hatjuk, hogy a pankromatikus műszereknek a jobb, a hiperspektrális berendezéseknek pedig a gyengébb a térbeli felbontása.

A radartechnika és az érzékelők fejlődése révén alakult ki a távérzékelés egy viszonylag elkülönülő ága, a mikrohullámú távérzékelés. Ennek két fő ágát különíthetjük el aszerint, hogy csak a napsugárzás felszíni visszaverődését mérjük (passzív módszer), vagy a platformon elhelyezett sugárforrás által kibocsátott radarhullámok reflektált részét rögzítjük (aktív módszer).

A passzív mikrohullámú távérzékelés – hasonlóan a többi, napsugárzás reflektanciáján alapuló módszerhez – a felszíni objektumok (és a légkör) fizikai–kémiai tulajdonságainak a kimutatására alkalmas. Mivel a nedvességtartalomra különösen érzékeny, ezért a geográfiában gyakran alkalmazzák (többek között) a talajtani, geomorfológiai és geológiai kutatásokban. A rendszer nagy előnye, hogy mikrohullámon a felszín és az objektumok egészen máshogy mutatkoznak, mint látható vagy infravörös hullámhosszakon. Ezért lehetőségünk van olyan jelenségeket, tulajdonságokat vizsgálni, melyek hagyományos csatornákon nem, vagy nem elég jól detektálhatók (pl. eltemetett folyómedrek).

Jelenleg a radarhullámokkal dolgozó, aktív rendszerek alkotják a mikrohullámú távérzékelés legdinamikusabban fejlődő ágát. Az első ilyen rendszerek a légi távérzékelés eszközeiként az 1950-es években jelentek meg katonai céllal (SLAR). A rendszer térbeli felbontása tíz méteres nagyságrendű volt. A széleskörű használatot elősegítette, hogy az adatminőség nem függ a felhőzettségtől, így nagy területekről először kaphattak homogén adatbázisokat. Ez az egységesség nagyban megnövelte a mérések pontosságát, mert a jelen lévő torzulások mértéke és fajtája meghatározható és korrigálható.

A radaros űrtávérzékelés az 1970-es évek végén kezdődött. Az egyre gyarapodó számú és feladatú radar-műholdak mellett az űrrepülőgépes alkalmazások érdemelnek említést. Ezek közül a legutóbbi, és legfontosabb a Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). A projekt keretében a földfelszín 80%-án a domborzatot feltérképezték 30, illetve 90 méteres felbontásban, majd (ami ennél is fontosabb) az adatokat vetületi rendszerbe transformálva az adatbázis egy részét (a 90 méteres felbontású állományt) a világhálón nyilvánossá tették. Így jelenleg a felszín túlnyomó részéről egy homogén adatbázis érhető el. Az elmúlt időszakban tették elérhetővé a javított adatbázist, főként a vízfelületek és medenceterületek korrekciójával. (*SRTM adatbázis letölthető változata, 2006*)

Lillesand és Kiefer 1994-ben azt írta az aktív mikrohullámú távérzékelésről, hogy a magas fokú kidolgozottsága ellenére a felszíni objektumok reflektanciája még mindig nem tisztázott minden lehetséges szituációban, ugyanis az eredmény rendkívül sok tényezőtől függ. Ilyen a repülési magasság, hiszen kis magasság esetén a viszonylag közeli objektumok is alacsony dőlésszög alatt látszanak. A radaros távérzékelésben máshogy torzul az objektumok képi kiterjedése és a távolságuk. A nedvességtartalom ugyancsak jelentős befolyásoló tényező, mert a víztartalom változására az objektumok radarhullám-visszaverő tulajdonsága érzékenyen reagál. A talaj nedvességtartalmának emelkedésével például a radarhullámok egyre kevésbé tudnak a felszín alá hatolni. Mivel radarhullámok visszaverődéséről van szó, alapvető fontosságú a felszíni objektumok felületi tulajdonságainak, azaz a felületek durvaságának az ismerete. Ami optikailag durva felületnek látszik, nem feltétlenül az a mikrohullámok tartományában, és fordítva. Ehhez hozzáadódik még az adott felületnek a műszerhez képesti irányultsága: egy kiválóan reflektáló felület esetében is lehet gyenge a visszaérkező jel, ha a hullámok tükrözésének iránya nem a vevő felé esik. Ezzel szemben egy durvább felületről is kaphatunk erősebb reflektanciát, mert bármilyen relatív irányultság esetén vannak a vevő felé tükröző részek. A radarhullám gyakorlatilag minden felszíni objektumról visszaverődik. Egy erdő, vagy egy város esetében tehát nem a felszín magasságát kapjuk meg, hanem a felszínen elhelyezkedő objektumokét. Ez nemcsak pontatlansághoz vezet, hanem elvi hibákat is okozhat. Egy síkvidéki erdei tarvágást például az ilyen felmérés alapján könnyen völgyként definiálhat az automatikus modellezés. Ezek miatt a felszín fedettsége alapvetően befolyásolhatja az adatbázist.

Ezek a hibalehetőségek és bizonytalanságok az adatbázisok pontosságát jelentősen csökkenthetik, így kiszűrésük a hibák minimalizálásához elengedhetetlen.

A radaros távérzékelés mellett egyre komolyabb szerepet játszanak lézeres rendszerek. Szélesebb körben értelmezve a távérzékelést, a modern geodéziai lézeres távmérők is ide tartoznak, de automatizált, repülőgépes és műholdas rendszerek is egyre nagyobb számban fordulnak elő. Ilyen berendezés például a LIDAR, melyet repülőgépre szerelnek, és igen pontos domborzati és vízmélység-méréseket végezhetnek vele. Mivel a lézeres eljárások nagyságrendekkel gyorsabb adatszerzést tesznek lehetővé a hagyományos földi felmérés módszereihez képest, ezért sok esetben megfontolandó ennek az eljárásnak a használata, akár nagyobb pontosságot igénylő mérések esetén is. Egy 1:10 000 méretarányú topográfiai térképen a magassági középhiba *Winkler P.* (1997) szerint 1–5 méter. A lézeres mérési eljárásokkal ennél

lényegesen kisebb hibával, gyorsan kaphatunk nagy területről magassági értékeket. Lényeges azonban megemlíteni, hogy a műszer csak természetes vagy mesterséges objektumoktól mentes felszín magasságát képes meghatározni. Benőtt vagy beépített felszín esetében az adott objektumok magassága torzíthatja a végeredményt.

1.4.2. A távérzékelés pontosságát befolyásoló általános tényezők

Radiometriai torzulások

A műholdon elhelyezett szenzorok nem egyforma módon reagálnak a beérkező elektromágneses sugárzásra, valamint egy érzékelőn belül is lehet inhomogenitás. Ezek mellett a felszíni objektumokról kiinduló fotonokat a detektálásukig is számos hatás éri. Ezek összességében olyan mértékben torzítják az eredeti értékeket, amit figyelembe kell venni, és korrigálni kell.

Amennyiben soros detektorról van szó (pl. a SPOT-4 SWIR érzékelője), a szélső pixelekre érkező sugárzás vastagabb légrétegen halad keresztül, ezáltal csökken a fény mennyisége és nő az elmosódás. Az atmoszféra általánosságban is csökkenti a kép élességét és a beérkező fény mennyiségét. A légkörben pillanatnyilag meglévő víz mennyisége jelentősen torzíthatja a sugárzás értékét. Mivel mind a légi, mind pedig az űrtávérzékelés műszerei a felszín és a légkör reflektanciáját-radianciáját együttesen tudják csak meghatározni, az adatbázis homogenizálásánál az atmoszféra figyelembe vétele elkerülhetetlen.

Az érzékelők élettartamuk során is változtatják karakterisztikájukat, ezért folyamatos kalibrálásra van szükség. Ezt vagy a fedélzeten elhelyezett különleges fényforrással vagy homogén földfelszíni felületekkel (pl. jégmezők, sivatagok) végzik.

Aktív rendszereknél (pl. radar) a kalibrálást nemcsak a vevőn, hanem az adón is el kell végezni.

A képfelvévő, valamint digitalizáló elektronika hibái miatt digitális zaj is megjelenhet az adatbázisban.

Geometriai torzulások

A távérzékelő szenzor objektumtól való távolságától függetlenül a perspektivikus torzulás miatt kisebb-nagyobb mértékben módosul az objek-

tumok abszolút és relatív elhelyezkedése az adatbázisban. Pontosan merőlegesen a szenzor csak egy pont felett helyezkedhet el, így minden más rögzített felszíni pont és objektum valamekkora mértékben torzulva jelenik meg.

A távérzékelő műholdak legnagyobb hányada poláris napszinkron pályán kering. Ennek az a legfőbb előnye, hogy egy adott terület fölé mindig ugyanabban az időpontban érnek helyi idő szerint. Ahogy a műhold végighalad pályáján, alatta elfordul a Föld, emellett a műholdnak is van saját tengely körüli forgása. Ezek miatt enyhe hullámmozgást végez a távcsőrendszer a haladási irányra merőlegesen. Ehhez még hozzáadódik a pálya változása, amit a gravitációs anomáliák okoznak, és befolyásolhatják a műhold pillanatnyi sebességét, vagy a haladási irányra merőlegesen kitérítetik az eszközt. Mivel a platform tengely körüli forgása egyenletes, ezek a kitérések és sebesség-ingadozások szintén a távcső imbolygásához vezethetnek. Napjaink távérzékelő műholdjai közül például a LANDSAT-7 rendelkezik ezeket a torzulásokat kiküszöbölő technikával (SLC). A rendszer azonban 2003-ban meghibásodott, így jelenleg az ilyen jellegű torzulásokat is a földi feldolgozás során kell kiszűrni. Légifelvételek készítésekor a repülőgép haladási irányát, magasságát és a repülési pálya szögét pontosan tartani kell. Egy váratlan légköri esemény (pl. hirtelen szellőkés) azonban kimozdíthatja a repülőgépet az optimális pályáról. Mivel a légifotók felbontása szubméteres is lehet, meglehetősen kis kitérés is jelentős pontatlanságot okozhat.

A legtöbb erőforrás-kutató műhold lengő tükrök segítségével képezi le a felszínt. A tükröt mozgató motor forgási egyenetlenségei szintén megjelenhetnek az adatbázis torzulásában.

A nagy magasságból végzett adatgyűjtés során különösen erős torzulást okoz a felvétel peremén a Föld görbülete. A látószög növekedésével a torzulás mértéke ugyancsak növekszik.

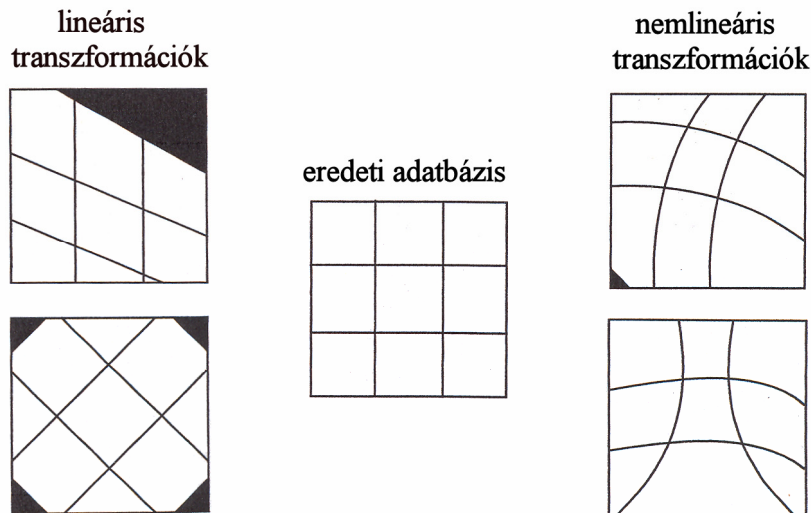
Az itt felsorolt raszteres adatbázisok (légifotók, űrfelvételek és ezek származékai) tehát különböző forrású és mértékű torzulással terheltek. Ezek kiküszöbölése során a raszteres adatbázist vagy valamilyen vetítési egyenletrendszerrel, vagy a felvételen lévő és egy adott vetületben már ismert helyzetű pontok segítségével korrigáljuk. A torzulásokat kialakító tényezők egyenként kiszámítható mértékben befolyásolják a felvétel egyes pixeleinek térbeli helyzetét. Együttes hatásuk azonban egymás erősítésétől a kioltásig olyan széles skálájú torzulást okozhat, hogy nem célszerű pusztán elméleti számításokkal végezni a korrekciót. Ezért a legtöbb esetben a felvétel egyes pontjainak helyzetét határozzák meg valamilyen módszerrel, és e pontok segítségével hajtják végre a torzítások redukcióját.

Elméleti módszerek alapján történő vetület–hozzárendelést olyan térképeknél hajthatunk végre nagy biztonsággal, amelyek papír–változata ugyancsak az adott vetületben van megszerkesztve, a raszterizálást (azaz szkennelést) pedig megfelelően pontos beállításokkal (pl. elforgatás–mentes elhelyezés, gyűrődés–mentes papír, stb.) végezzük. Ebben az esetben a helyesen előkészített alaptérkép és raszterizálás eredményeként létrehozott adatbázis sarkaihoz elegendő az ismert térképi sarokkoordinátákat hozzárendelni, rektifikációra és újramintavételezésre nincs szükség.

Kevésbé ideális esetben szükség van arra, hogy a raszteres adatbázis pixeleit tartalmazó hálót (grid) kicseréljük egy olyanra, amely illeszkedik az általunk választott vetületi rendszerhez. Ekkor rektifikációra van szükség, vagyis a régi grid pixeladatait transzformáljuk egy n -ed fokú polinomos transzformációs egyenletrendszerrel egy új griddé. Ilyenkor a pixelek értékei nem feltétlenül maradnak ugyanazok mint a transzformáció előtt, előfordulhat, hogy a szomszédos pixelek értékei alapján egy új pixel, a régi értékek átlagát megkapva alakul ki. Ezt a módszert nevezzük újramintavételezésnek. Az úrfelvételek esetében, ahol keskeny elektromágneses intervallumokon történik az objektumok visszaverő-képességének rögzítése, az itt leírt változás a pixel értékében jelentősen befolyásolhatja a felvétel osztályozásának az eredményét. Ezért célszerű először megkeresni a felvételen azokat az azonosító pontokat (földi illesztőpontok = GCP) amelyek alapján a transzformációs egyenleteket létrehozzuk, majd a nyers felvételen hajtjuk végre az elemzést, és csak a végeredményt transzformáljuk vetületbe a már rögzített GCP-k alapján. Ebben az esetben spektrálisan korrektebb módon hajthatjuk végre a felvétel elemzését, mint ha először végeztük volna el a vetületbe illesztést (*ERDAS Field Guide, 1997*).

A térinformatikai szoftverek általában lehetőséget adnak arra, hogy az alkalmazott transzformációs egyenletrendszer fokszámát meghatározzuk, azaz megadjuk hogy mekkora legyen a legmagasabb hatványkitevő a transzformációs egyenletrendszerben. Elsőfokú polinomos egyenlet esetében a transzformáció során kizárólag lineáris torzulás korrekciójára van mód (síkbeli hasonlósági transzformációk [*Detrekői Á., 1991*]). Ebben az esetben forgatást, nagyítást, és döntést végezhetünk a képen. Az elsőfokú polinomos transzformáció jól alkalmazható minden olyan raszteres adatbázisnál, ahol a torzulás lineáris, például ferdén szkennelt térkép esetén. Nemlineáris torzulások meglétekor az elsőfokú polinomos egyenletek nem képesek tökéletes transzformációra. Ilyen esetekben legalább másodfokú polinomos egyenletek kell használni. Mivel ilyenkor a grid geometriájában lokálisan eltérő fokú a torzulás, a transzformáció során az illesztőpontokat fixpontként

használva kisebb területeken eltérő módon egyenlítjük ki a hibákat. Ezért az ilyen jellegű módszereket összefoglaló képszerű néven „gumilepedőzés”-nek nevezzük. Ezzel a módszerrel olyan, nemlineáris transzformációkat hajthatunk végre, melyek közül néhányat a 7. ábrán láthatunk.



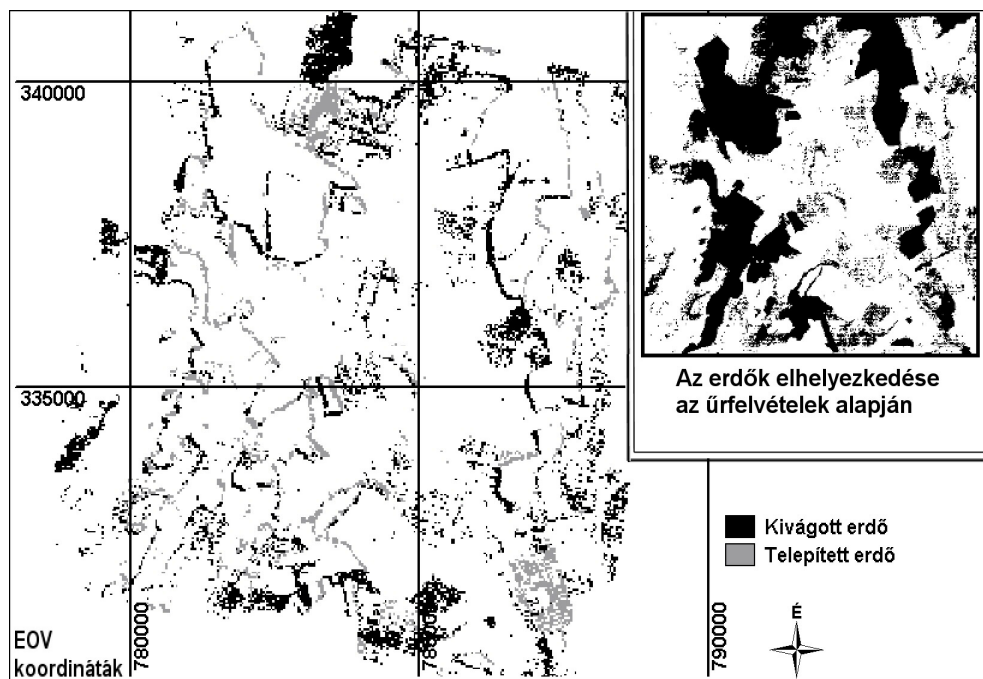
7. ábra. Lineáris és nemlineáris transzformációk néhány típusa (ERDAS Field Guide, 1997).

Másodfokú egyenletrendszert használnak pl. vetületek közötti, nem transzformációs képletekkel történő konvertáláskor (pl. földrajzi fokokból EOVS). Harmad-, vagy negyedfokú egyenletrendszert inkább csak a jelentős mértékben torzult és nagyobb kiterjedésű légifotóknál vagy űrfelvételeknél alkalmaznak. A magasabb fokszám egyre komplexebb megoldást kíván meg, nő a végrehajtáshoz szükséges idő, valamint egyre növekszik a minimálisan szükséges illesztőpontok száma is, ezért célszerű az adott adatbázis által megkívánt de még elfogadható eredményt adó fokszámot választani. Hibás GCP megadásakor magasabb fokszám mellett biztosan nagyobb lokális torzulásra számíthatunk, míg alacsonyabb fokszám esetében a szomszédos illesztőpontok valamelyest redukálják a hiba mértékét.

Az eredmény megbízhatóságát a legkisebb négyzetes hiba (RMS Error) értékével fejezzük ki. Értéke megmutatja, hogy az adott illesztőpont pixele hány pixel távolságra került az eredeti gridbeli relatív helyzetéhez képest. Ha ismerjük az RMS hiba mértékét, meghatározhatjuk, hogy mekkora a valódi eltérés a nyers és a vetületbe transzformált adatbázis között. Az

illesztőpontok vetülethelyes koordinátáinak megadásakor át kell gondolnunk a felvétel maximális pontosságát, és a feladat által megkívánt pontosságot. Hiába van ugyanis 1m felbontású légifotónk az adott területről, ha referenciapontok koordinátáit pl. egy 1:10 000 EOTR szelvényről olvassuk le, annak pontossága legfeljebb 3m lesz (Winkler P. 1997). Ilyen esetben pontosabb adatforrásra van szükség (pl. differenciális GPS). Megemlítendő a fordított szituáció is: egy LANDSAT-MSS felvétel 79 méteres pixeleihez nem feltétlenül szükséges differenciális GPS használata, ha rendelkezésre állnak viszonylag friss 1:10 000, vagy 1:25 000 térképek.

Ha túlzottan magas RMS hibával hajtunk végre vetületi transzformációt, maradék-torzulások terhelhetik a kész adatbázist. Ezek lehetnek lokálisak, de legrosszabb esetben az egész adatbázisra kihathatnak. Ennek óriási szerepe lehet akkor, ha például két, ugyanazon eszközzel, különböző időpontokban készített felvételt hasonlítunk össze (8. ábra).



8. ábra. A helytelen vetületi rendszerbe transzformálás eredménye egy cserehádi erdőterület példáján (Szabó G., 2003).

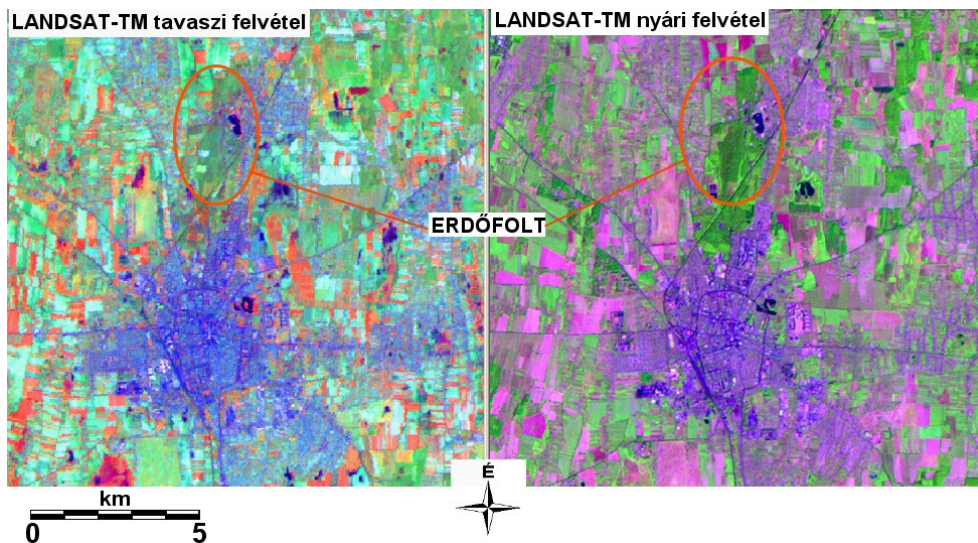
A 8. ábrán két LANDSAT-TM felvételt hasonlítottunk össze (Szabó G., 2003), melyek 9 év különbséggel készültek 1987-ben és 1996-ban. A vetületi rendszerbe transzformálás során a lokális torzulások megszűntek, de

az egyik felvétel el van csúsztatva a másikhoz képest. A kis térképen láthatjuk a területen az erdők elhelyezkedését. A nagy térképen az erdőterületekben beállt változásokat követhetjük nyomon. Jól kivehető, hogy az összes nagyobb erdőfolt körvonala jól kirajzolódik: az észak-keleti peremek, mint kivágott erdők, a dél-nyugati peremek pedig, mint telepített erdők. Tehát az 1996-os felvételt egy kissé keletebbre csúsztattuk az 1986-oshoz képest, ami gyakorlatilag kezelhetetlen mértékű hibás pixelértéket eredményezett a kész térképen.

A változatos relieffel rendelkező területeknél jelentős torzulást okoz, hogy a lejtők felületére nem merőlegesen tekint a műszer. A problémára az ortorektifikáció jelent megoldást. Ennek során a felvételt a terület digitális magasságmodellje segítségével korrigálják.

Felbontás

Campbell, J., B. (1996) szerint általános megközelítésben a távérzékelésben a térbeli felbontás a finom részletek rögzítésének és megjelenítésének képessége. Egy adatbázis térbeli felbontásának elvi meghatározásához az összes résztvevő „hardver” és szoftver teljesítményét ismernünk kell. A végső felbontást a közreműködő elemek közül a leggyengébb felbontása határozza meg. Például hiába kiváló egy légifotózásra használt film szemcsézettsége, és pontos a kamara tájékozása, ha a lencserendszer nem ad megfelelően részletgazdag, vagy kontrasztos képet. Emellett a rögzített objektum és a környezet tulajdonságai és állapota is befolyásolhatják a felbonthatóságot. Egy fekete autó az aszfaltúton egy légifotón annak ellenére nehezebben ismerhető fel, hogy a felbontás azt könnyedén lehetővé tenné. Egy fa (vagy akár egy egész erdő) pedig lényegesen könnyebben ismerhető fel az aktív vegetációs időszakban, mint lombhullástól rügyfakadásig (9. ábra).



9. ábra. Egy erdőterület képe tavasszal és nyáron ugyanazon csatornák felhasználásával (3,4,5), LANDSAT-TM felvételeken

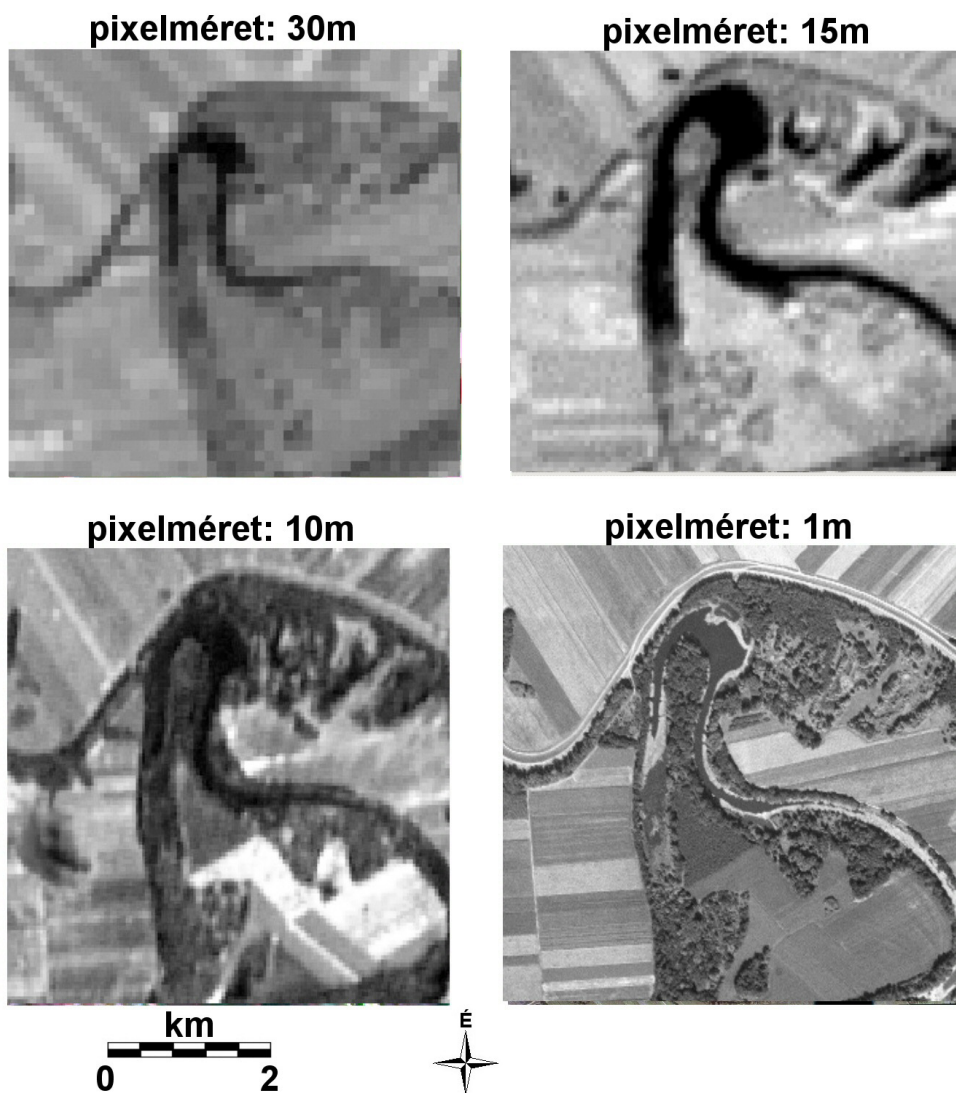
A napszakok változása ugyancsak befolyásolhatja az objektum felbonthatóságát. Egy nagy felületű tábla (pl. reklámtábla) felülnézetből nagy valószínűséggel nem bontható fel. Ha viszont alacsony napállásnál készül az adatbázis, a tábla árnyéka már érzékelhetően megváltoztatja az árnyékolt terület reflektanciáját, közvetve pedig meghatározható a tábla helye. Nem mellékes a repülési útvonal sem. Ha az adott objektumra pontosan merőlegesen fentről tekint a vevő, lehet, hogy kevésbé bontható fel, mintha kissé távolabbi felszíni vetületű sávban halad el a berendezés, és enyhén oldalról lát rá az objektumra.

A digitálisan rögzített adatbázisok esetében az egyes elemi képpontok (pixelek) értékének kialakítása is lényeges szempont. Az alkalmazott optika leképezi a felszíni objektumokat az érzékelő egységekre, így alakítva ki az elemi képpontokat. Ha a szenoregységre leképezett terület fényviszszaverő-képessége (reflektanciája) homogén, a pixel értéke ennek megfelelően az erre a reflektanciára jellemző értéket veszi fel. Ha viszont a leképezett területen többféle reflektanciájú objektum is fellelhető, a kialakított pixelértékben a vegyes reflektancia-értékek miatt nem a tiszta objektumtípusokra jellemző érték fog megjelenni, hanem köztes, egyik objektumot sem jellemző értéket kapunk. Ez a felszín objektumainak (pl. egy erdő) terület-meghatározásánál különösen problematikus lehet. Ilyen esetben vagy manuálisan döntjük el, hol húzódik az objektum pereme, vagy – nagyobb kiterjedésű vizsgált terület esetén – automatizált, szoftveres eljárás-

kat alkalmazunk. Ez utóbbi esetében is van olyan eljárás, amelynél a szoftver dönt a pixelek hovatarozásáról, kis manuális finomhangolást engedve a felhasználónak (nem ellenőrzött osztályba sorolás). Az eljárások másik típusánál viszont főként a felhasználó határozza meg a leendő reflektanciaosztályokat úgy, hogy a mintaterület egyes részleteit úgy definiálja a szoftvernek, mint az egyes osztályok mintaterületei (ellenőrzött osztályba sorolás). Az eltérő eljárások eredményeként az egyes osztályokba tartozó pixelek száma jelentősen változhat. Az optimális eljárás kiválasztása az operátor feladata.

Külön fel kell hívni a figyelmet a fentebb már említett árnyékhatásra. Egy kiemelkedő foltszerű objektum (pl. erdő) esetében a peremen vetett árnyék miatt az objektum területe látszólag megnőhet. Rosszabb esetben újabb folt típus definiálása is megtörténhet. Például egy lombhullató erdő által vetett árnyékot besorolhat a szoftver az erdőhöz, de előfordulhat, hogy annyira csökken az árnyékos területről visszavert napfény mennyisége, hogy a lombhullató helyett a fenyvesekre jellemző értéket ad az érintett pixel, és a szoftver a lombhullató erdőfolt peremén fenyvest „hoz létre”.

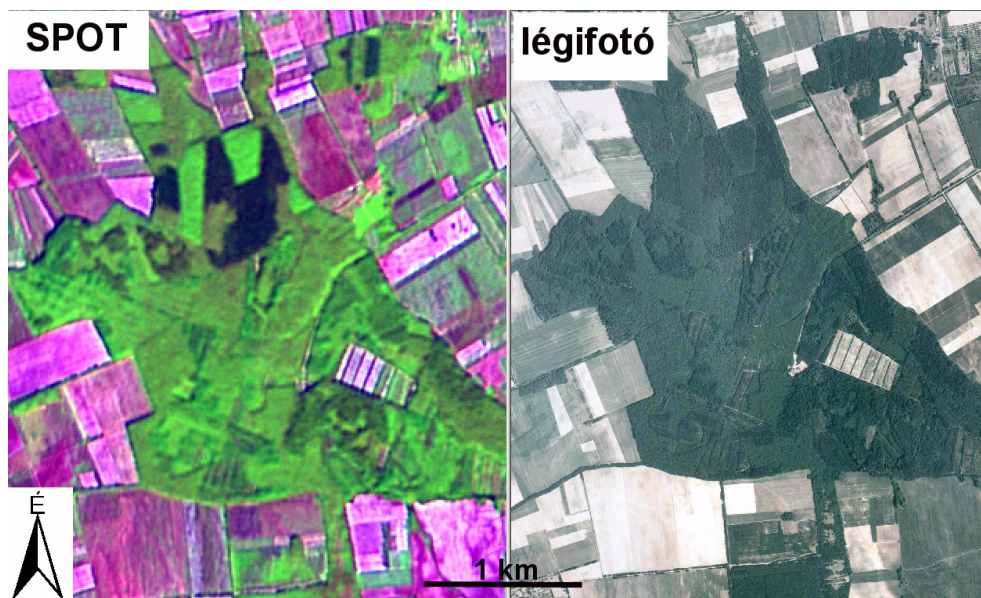
Fotók esetében a felbontást az alapján definiálják, hogy mekkora távolságra található két szomszédos, párhuzamos vonal, melyek még biztonsággal elkülöníthetők (LPM, azaz Line Pairs per Millimeter). A digitális távérzékelésben az elemi képpontok (pixelek) felszíni vetületének oldalhosszát határozzák meg felbontásként. Kisebb pixelméret esetében a felszín kisebb területén átlagolódik ki a reflektancia, azaz a térbeli felbontás nagyobb. A felbontás növekedésével a felszíni objektumokról egyre részletesebb képet kapunk, így a mérések is egyre pontosabbak lesznek. Ugyanannak a területnek különböző felbontású felvételeit vethetjük össze a *10. ábrán*.



10. ábra. Egy holtmeder részlete különböző felbontású felvételeken.

A területhasználat változásával kapcsolatos vizsgálatok napjainkban a leggyakrabban alkalmazott földrajzi módszerek közé tartoznak (pl. *Gönczy et. Al., 2004, Szabó J. et Al., 2004*), ilyen például az egységes európai földhasználati térkép (EULUSMAP) elkészítése (*Csáti E., 2006*). Ezt sok esetben különböző időpontban készült űrfelvételekkel végzik. Sokszor azonban nincs lehetőség arra, hogy ugyanazon műhold (vagy műhold-család) két vagy több felvételét használják fel, így különböző térbeli és spektrális felbontású felvételekkel kell dolgozni. Ilyen esetekben felmerülhet az a prob-

léma, hogy a két felvételen akár még olyan poligon esetében is különbözik a mért terület, melynek kiterjedésében a vizsgált időintervallumban nem is volt változás, ugyanis a két felvételnek eltérő a spektrális felbontása, tehát a szenzorok nem ugyanolyan szélességű spektrális tartományon érzékelnek. Általánosságban minél keskenyebb a spektrális intervallum, annál finomabb a spektrális felbontás, azaz annál finomabb részleteket különböztethetünk meg a felszínborításnál. Például egy légifotó általában a látható és/vagy az infravörös tartomány egy széles intervallumában készít felvételeket (pankromatikus), míg egy LANDSAT-TM űrfelvétel a látható és infravörös tartományt 7, a SPOT-4 pedig 4 különálló, egymástól elkülönülő spektrális érzékenységgű felvétel összességéként rögzíti (multispektrális). A 11. ábra e különbséget mutatja be egy Nyírbátor melletti erdőterület példáján.



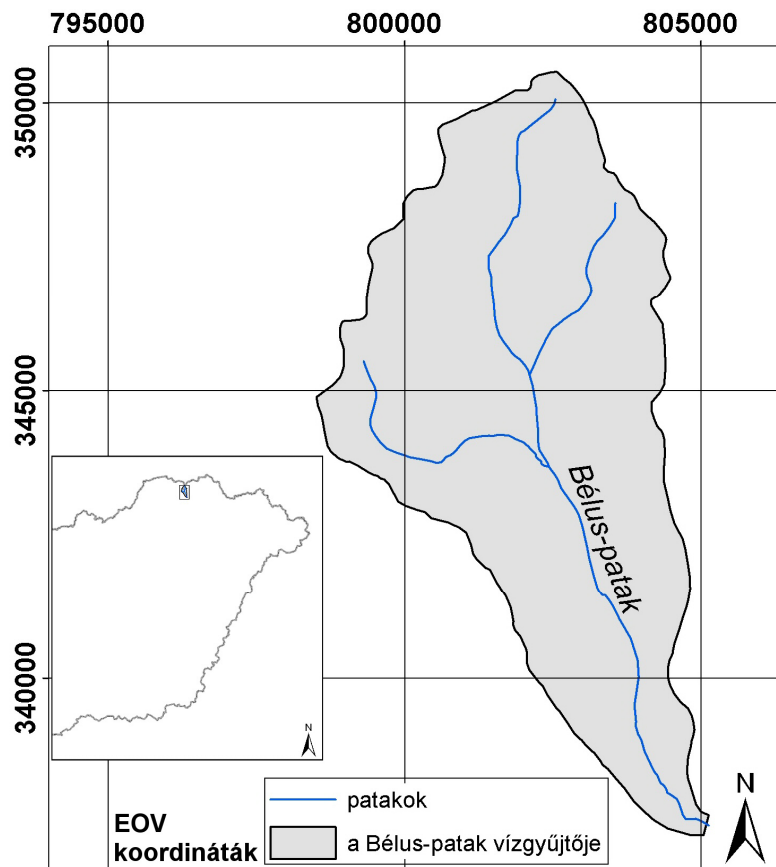
11. ábra. Multispektrális (SPOT) és pankromatikus (légifotó) felvételek egy Nyírbátor melletti erdőterületről.

Különböző szenzorok által készített felvételek összevetésekor tehát osztályozásánál még körültekintőbben kell eljárnia az operátornak, és az utólagos ellenőrzés szerepe különösen nagy.

2. Anyag és módszer

2.1. A térképi pontosságvizsgálatok során alkalmazott módszerek és a kutatás menete.

Vizsgálatainkat a Cserhát egyik vízgyűjtőjén, a Bélus-patak völgyében végeztük (12. ábra). A 46,35 km²-es mintaterület maximális kiterjedése észak–déli irányban 13,5 km, erre merőlegesen pedig 5,5 km.



12. ábra. A Bélus-patak vízgyűjtője.

A vizsgálatokhoz az alábbi különböző térképeket használtunk fel:

- a manuális módszerrel készített geomorfológiai kvantitatív térképeket,
- az 1:25 000-es méretarányú, 1969-es topográfiai térképeket, valamint
- a 90 méteres horizontális felbontású, radarmérések alapján készített domborzatmodellt (SRTM).

A mintaterületről 24 évvel ezelőtt *Szabó J. (1982, 1984)* már készített részletes domborzatanalízist a táji adottságok mezőgazdasági szempontú értékeléséhez. Ennek keretében készült el – többek között – a terület lejtőkategória, lejtőkiettség, és relatív relief térképe. Ezek alapját az 1:25 000 méretarányú térképsorozat adta. A szerző a geomorfológiában használt hagyományos manuális módszerekkel dolgozott. Ennek keretében megmérte a szintvonalak futásirányát és azok egymástól való távolságát, majd megszerkesztette a lejtőkategória és kiettség-térképeket. A relatív relief térkép elkészítéséhez 1 km x 1 km-es négyzetrácsot fektetett a mintaterület topográfiai térképére, az egyes négyzeteken belül megkereste a legkisebb és a legnagyobb abszolút magasságot, majd a különbséget hozzárendelte az adott négyzethez.

Az összehasonlító vizsgálatokhoz az előkészítés több lépésben történt. Először beszkeneltük az 1:25 000 topográfiai szelvényeket. Ezek eredetileg vetületi rendszerben voltak, de titkosítási okok miatt semmilyen, vetületre vagy koordinátára utaló adatot nem tartalmaz sem a térkép, sem annak kerete. Ezért elkerülhetetlen volt a négy szelvény ismert vetületi rendszerbe illesztése. A transzformációhoz (azaz vetületi rendszernek) a szabványos magyar polgári EOV-t választottuk. A feladatot ERDAS 8.5 szoftverben oldottuk meg. Geometriai modellnek polinomosat választottuk. Mivel eredetileg vetületben lévő térképet kívánunk transzformálni, és viszonylag kis területről van szó, a művelethez elsőfokú polinomot (lineáris) használtunk. Az alkalmazott illesztőpontok (GCP) száma 19 volt. A referencia-koordinátákat a már korábban georeferált EOTR szelvényezésű, 1:10000 topográfiai térképről gyűjtöttük. A transzformációs mátrix kiszámítása után az átlagos legkisebb négyzetes hiba (RMSE) értéke egyik esetben sem haladta meg a 0,5-et. Transzformációs eljárásnak a térképeknél általában alkalmazott legközelebbi szomszéd elvét használtuk. A transzformálás pontosságát növelte, hogy – bár a 1:25 000 szelvények nem tartalmaznak sem koordináta-, sem vetületi rendszerre utaló jeleket – a térkép ábrázolja a háromszögelési pontokat, melyek közül sok az újabb térképeken is megvan. Emellett a jellegzetes tereptárgyakat is felhasználtuk a transzformációhoz.

Manuálisan, évtizedekkel ezelőtt szerkesztett geomorfológiai térképek esetében nehéz pontos vetületi rendszerbe transzformálást végezni, hiszen általában a régebbi kvantitatív térképek nem tartalmaznak pontos koordinátákat, vagy precízen átrajzolt térképi objektumokat. Ebben az esetben is hasonló probléma merült fel. A kívánt pontosság elérését az ez a tette lehetővé, hogy a 24 évvel ezelőtti vizsgálatokhoz használt eredeti szelvények még rendelkezésre álltak. Ezeken az akkori operátor megrajzolta a mintaterület körvonalát. A szelvényekről a származtatott térképek átrajzolása pauszra történt, melyek szintén rendelkezésünkre álltak. Ezeket az eredeti topográfiai térképre helyezve az illesztés pontosan elvégezhető volt, sőt utólag is korlátlan számú illesztési pontot vehettünk fel a topográfiai térképeken és a rá illeszkedő pauszra.

Az illesztőpontok (GCP) száma 19 volt, az átlagos legkisebb négyzetes hiba (RMS) sehol sem érte el a 0,5-et. Térinformatikai szoftverben (ArcGIS 9.0) elvégeztük a raszteres térképek vektorizálását, és a létrehozott objektumok (poligonok) mindegyikéhez hozzárendeltük ugyanazt a geomorfológiai értéket, amelyet a manuális úton szerkesztett térképek tartalmaztak.

A vetületbe transzformált térképeken vektorizáltuk a szintvonalakat, és mindegyiknél megadtuk attribútum adatként azok magassági értékeit. A digitalizált szintvonalakból SURFER 8 szoftverben digitális magasságmodellt generáltunk. Az interpoláció típusának a krigelést választottuk, amely nagy számú magassági érték esetében alkalmas a felszín megfelelően pontos közelítésére, az adathiányos területeken pedig kevésbé generál kiugró értéket (*SURFER 8 User's Guide, 2002*). Az előállított magasságmodell-háló (grid) felbontását 10 méternek határoztuk meg.

A SURFER-ben generált grid-modellt transzformáltuk IDRISI 32-Release2 szoftverbe. Az eljárás során az IDRISI létrehoz egy raszteres adatbázist, ahol az egyes pixelek értékei a grid-modell megegyező koordinátájú csomópontjain lévő magassági értékek alapján kerülnek kiszámításra. Itt származtattuk a pixelek magasságából a lejtőkitettség és a lejtőkategória-térképeket, valamint itt határoztuk meg a relatív relief térkép négyzeteinek értékeit is. Ehhez a szoftverben létrehoztunk egy 1km x 1km-es négyzetekből álló hálót, mely pontosan fedésbe hozható a manuális úton szerkesztett négyzethálóval. Ezután minden egyes négyzet területén a szoftverrel kikeresztettük a legkisebb és a legnagyobb magassági értéket tartalmazó pixeleket, és hozzárendeltük azokat a négyzetekhez. A két adatbázist egymásból kivonva megkaptuk az adott négyzet területén előforduló legnagyobb magasságkülönbséget.

Importáltuk és raszterre konvertáltuk a szoftver segítségével a manuális módszerrel készített, származtatott térképeket is.

IDRISI-ben végeztük a manuális és digitális eljárással készült adatbázisok összehasonlítását (térképi algebra, Boole-művelet [Tamás J., 2000]). Ennek során a szoftver összeveti a különböző adatbázisokban a megegyező pozíciókban lévő pixelek értékeit, és egy táblázatban összefoglalja az összehasonlítás eredményét (kereszttabuláció). Ebből kiolvasható minden egyes osztályról, hogy azok mekkora arányban egyeznek meg, és mennyiben különböznek a két térképen.

A manuális és digitális eljárás összevetése mellett összehasonlítottuk a különböző méretarányú térképekről készült kvantitatív térképek pontosságát is. Ehhez a már fent leírt módszerekkel beszkeneltük, vetületi rendszerbe transzformáltuk, és vektorizáltuk (a már meglévő 1:25 000 szelvények mellett) a mintaterület 1:10 000, és az 1:100 000 méretarányú EOTR szelvényeit is.

A hagyományos térképes adatbázisok mellett ebbe az utóbbi vizsgálatba bevontuk a NASA által készített SRTM magasságmodellt is. Ebben az esetben a natív pixelméret 90 méteres volt, amit újramintavételezés módszerével alakítottunk 5 méteressé. Az adatbázis pontossága ezzel természetesen nem lett nagyobb, de az összevethetőség miatt célszerű ugyanakkora pixelméretet kialakítani minden térképen. Az újramintavételezett adatbázison a már ismertetett módon elvégeztük a lejtőkategória és lejtőkitettség, valamint a relatív relief térképek származtatását. Az osztályok kialakításánál a szakirodalomban elterjedt intervallumokat alkalmaztuk. A lejtőkategóriatérképen a mezőgazdaságból átvett 5 osztályt használtuk: 5% alatti, 5–12%, 12–17%, 17–25%, valamint 25% feletti lejtésű területek. A lejtőkitettség-térkép szerkesztésének alapja a szélrózsa 8-felé osztása volt.

Az összehasonlítások elvégzése előtt megvizsgáltuk, hogy a digitális raszteres állományok mekkora alapegységekből (pixelekből) épülnek fel. A pixelméret csökkentésével az adatbázis mérete egy határon túl fölöslegesen nagy lesz, az interpolált magassági értékek pedig már nem feltétlen adnak többletinformációt. Növelve a pixelméretet, azaz csökkentve a felbontást, ugyancsak meghatározható egy határérték, melynél nagyobb pixelek már túlzottan nagy területen átlagolják a magasságok értékeit, ezáltal csökken a részletesség, és megváltozhatnak az adott pixelhez tartozó kvantitatív térképi értékek (pl. lejtőkategória, lejtőkitettség, stb.). Mivel az alkalmazott szoftverek nem alkalmasak ekkora terület ilyen jellegű vizsgálatához, a mintaterület egy kisebb részletén végeztük el a felbontások összehasonlítását. A bedigitalizált szintvonalak alapján hét gridméretben generáltattunk digitális

magasságmodellt a SURFER 8 szoftverben. A felbontások a következők voltak: 1 m, 5 m, 10 m, 25 m, 50 m, 100 m, 200 m. A magasságmodelleket transzformáltuk IDRISI32 Release–2 szoftverbe, kialakítva a raszteres adatbázisokat, majd létrehoztuk a lejtőkategória és lejtőkitettség térképeket. Az egyes osztályokba tartozó területeket MS EXCEL-ben összesítettük.

2.2. A műholdas helymeghatározással kapcsolatos pontosságvizsgálatok során alkalmazott módszerek és a kutatás menete.

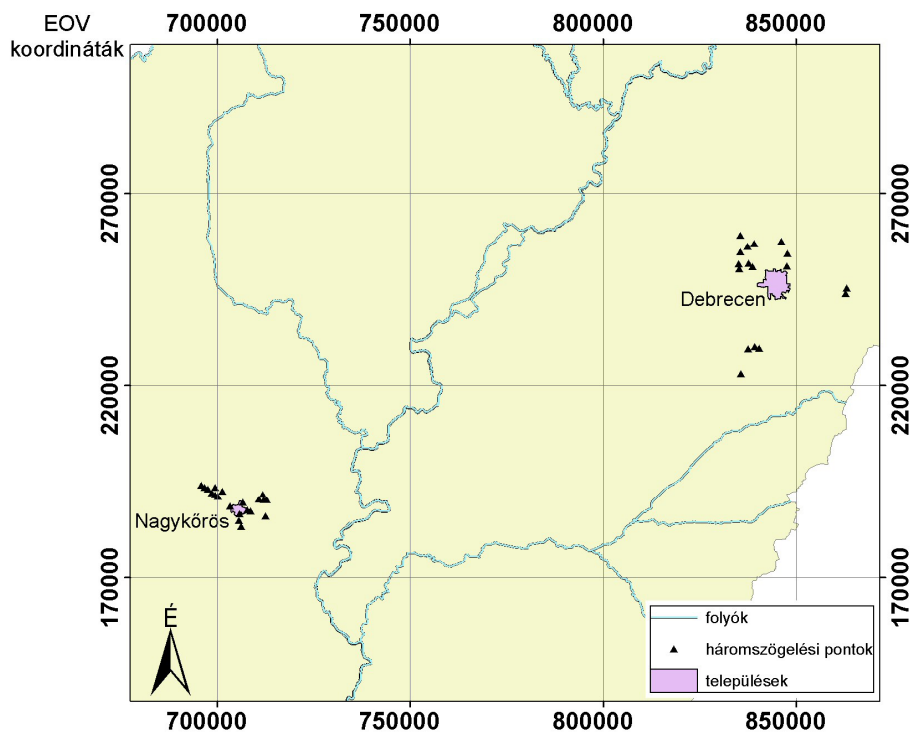
A műholdas helymeghatározást napjainkban a földrajzi kutatások minden területén használják. A terepen a helyszín vagy objektum felkeresésében, és helyzetének, kiterjedésének gyors és pontos regisztrálásában kiemelkedő a szerepe. Lényeges, hogy az egyszer már (akár mások által) bemért objektum újra könnyen megtalálható. A terepi munka előkészítésében, és a mérési eredmények későbbi feldolgozásában is hatalmas a szerepe. Például előre megtervezhető egy terület bejárásának az útvonala, és biztosak lehetünk abban, hogy nem térünk le az általunk optimálisnak tartott vonalról. Mintavételnél biztosíthatjuk, hogy valóban egyenletesen jelöljünk ki pontokat. Népszerűsége különösen fontos olyan kutatásokban, ahol valamilyen, térben elszórtan elhelyezkedő jelenséget, vagy objektum-típust kívánunk felmérni (pl. kunhalmok kataszterezése (Tóth Cs., 2004.; Tóth Cs. – Szabó G., 2002). Összességében elmondható, hogy a GPS technika lényegesen csökkentette a terepi munka időigényét, és megnövelte a gyűjthető adatmennyiséget. A módszer pontosságának ismerete alapvető fontosságú a földrajzi kutatásokban, hiszen az egyre szélesebb körű felhasználás során egyre több olyan alkalmazásban találkozhatunk a GPS technikával, ahol a pontosság ismerete alapvető. Ilyen például a tömegmozgások nyomon követése. Hagyományos módszerek alkalmazása esetén teodolittal, szintezővel, mérőszalaggal, stb. történt a tömegmozgás felmérése. A műszerek odaszállítása, telepítése, a mérés lebonyolítása hosszadalmas és sok esetben nehezen kivitelezhető feladat volt. A GPS vevők sok esetben kiválthatják ezeket a méréseket, de tisztában kell lennünk az új technika lehetőségeivel és korlátaival is, mert a rosszul megítélt mérési pontosság torzíthatja az eredményeket. Szélsőséges esetben olyan komoly hibát is okozhat a nem kellő körültekintéssel használt módszer, ami lehetetlenné teszi a mérések felhasználását. Például ha két pont (pl. talajmintavétel helye) egymástól 2 méterre van, a GPS pontossága pedig 3 méter, előfordulhat, hogy a két pont távolsága a mérés során is 2 méter marad, de mindkettő azonos irányban elcsúszott.

Ekkor a pontok abszolút helyzete hibás, de a relatív helyzet helyes. A nagyobb problémát az okozhatja, ha a két pont mért helyzetének az elcsúszása ellentétes irányú. Ilyen esetben a pontok helyet cserélnek, és sem az abszolút, sem pedig a relatív helyzetük nem lesz megfelelő.

Méréseink célja az volt, hogy megvizsgáljuk az általunk használt GPS vevők pontosságát, és azokat a körülményeket, amelyek befolyásolhatják a hiba nagyságát. Ezek alapján pedig meghatározhatjuk, hogy a GIS-es alkalmazások során mely tényezőkre célszerű figyelni a mérések során, és milyen pontosságra számíthatunk az adatgyűjtésnél.

2.2.1. A vizsgálatba bevont mintaterületek

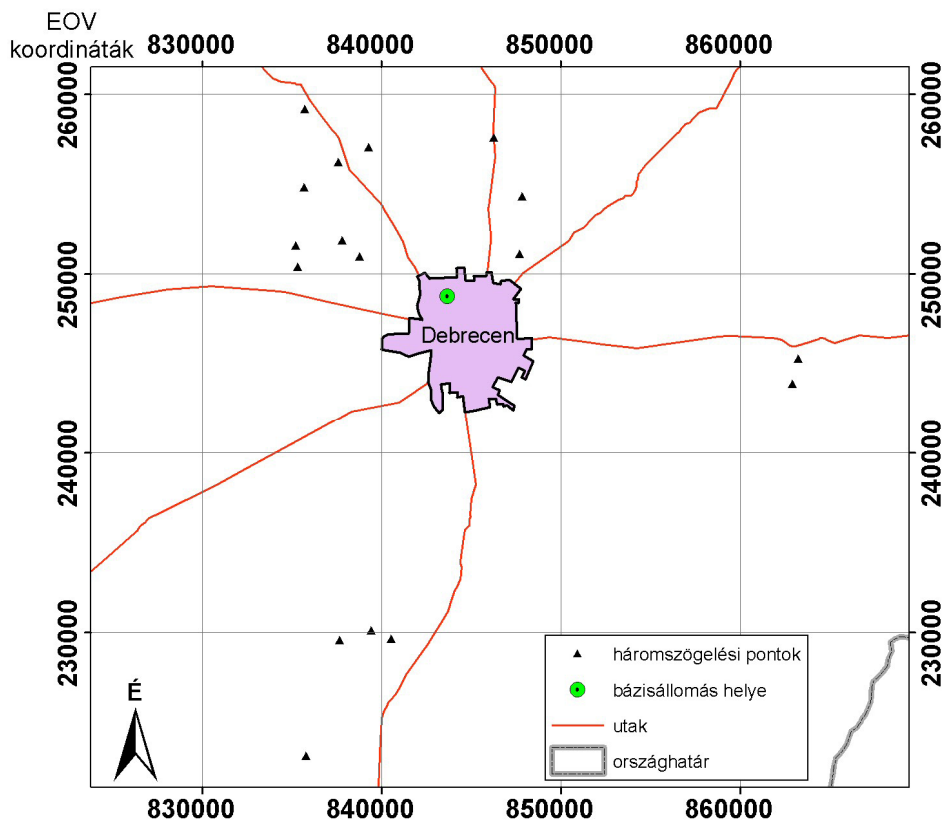
A mintaterületek kiválasztásánál a fő cél az volt, hogy megvizsgáljuk annak a hatását, hogy differenciális mérésnél mennyire függ a pontosság a bázisállomás és a mozgó műszer (rover) távolságától.



13. ábra. A mintaterületek elhelyezkedése, valamint a bemért háromszögelési pontok helyzete.

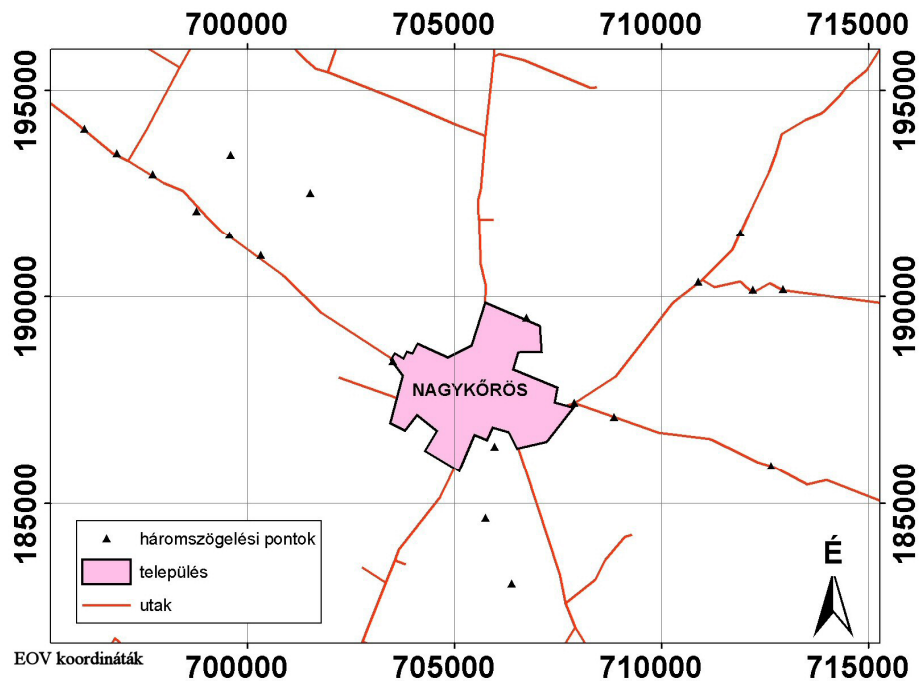
Vizsgálatainkat két mintaterületen végeztük, Debrecen környékén, a bázisállomás közelében, valamint ettől 150 km-rel nyugat–délnyugatra, Nagykőrös környékén, mivel az általunk használt vevők a gyártó cég szerint 150-200 km távolságig működnek hatékonyan együtt (13. ábra). Mintaterületenként 20–20 pontot mértünk be.

A Debrecen körül felmért pontok a bázisállomástól átlagosan 12 km távolságra helyezkednek el, a legközelebbi 4,5 km-re, a legtávolabbi pedig kerekítve 26 km-re található. A felvett pontok általában Debrecentől délre és észak-északnyugatra helyezkednek el, valamint két mérés történt a várostól keletre is (14. ábra).



14. ábra. A fázisméréshez felhasznált pontok elhelyezkedése Debrecen körül.

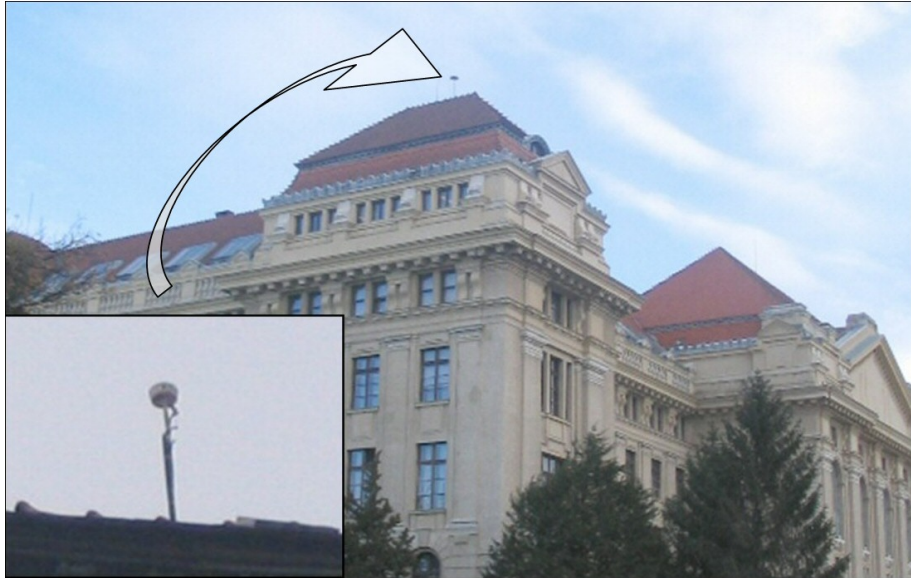
A Nagykőrös környéki pontok jórészt a műutak közelében találhatóak (15. ábra). Átlagos távolságuk a bázisállomástól 151 km, a legközelebbi pont 143, a legtávolabbi pedig 157 km-re található a debreceni referencia-ponttól.



15. ábra. A Nagykőrös körül felvett háromszögelési pontok elhelyezkedése.

2.2.2. A felhasznált eszközök

Bázisállomásként egy Trimble Pro XL egyfrekvenciás vevőt használtunk. A vevőhöz kapcsolt aktív antenna a Debreceni Egyetem Főépületének tetején helyezkedik el (16. ábra).



16. ábra. A vizsgálatokhoz használt bázisállomás antennájának elhelyezkedése.

Az antenna EOV-koordinátái: X:248715, Y:843653. A pszeudotávolságok rögzítésének időintervalluma 5 másodpercre volt állítva, 5 perces tájékozó pozíciógyűjtéssel. Az adatgyűjtés Trimble Pathfinder Office 2.90 szoftverrel történt. Ugyanebben végeztük a differenciális korrekció műveletét.

A kézi vevő (rover) egy 12 csatornás egyferkvenciás (L1) Trimble Geo Explorer IV Geo XT, StrongARM processzoros vevő volt. A berendezés kód- és fázisadatok gyűjtésére egyaránt alkalmas. A műszeren TerraSync 2.30 Professional szoftverben zajlott az adatgyűjtés.

A differenciális korrekció elvégzése Trimble GPS Pathfinder Office v. 2.90 szoftverrel történt.

Az adatok összesítéséhez MS Excel XP szoftvert használtunk.

A végső adatsorok és térképek az ESRI ArcView szoftverének 3.1 verziójával, valamint az ArcGIS szoftver 9.0 verziójával készültek. A statisztikai vizsgálatokat SPSS 8 szoftverben végeztük.

2.2.3. A méréspontok kiválasztásának módja, a mérés menete

Mindkét mintaterületen 30 háromszögelési pont előzetes kiválasztására és felkeresésére került sor. A pontok végleges kiválasztása a következő tényezőktől függött:

- Terepi elhelyezkedés – lehetőleg nyílt, vagy kevésbé fás terepen legyen (Czímber K. [2001] szerint általában 60%-os faállomány-záródásig használhatjuk a GPS-eket), a környezeténél minél magasabban, műút mellett, vagy jól megközelíthető helyen, távol a többutas terjedést előidéző tereptárgyaktól.
- Állapot – pontos mérésre csak az ép jellel rendelkező pontok alkalmasak.
- A műholdgeometria hatásának minimalizálása érdekében a méréseket csak optimális PDOP érték mellett fogadtuk el.

A fenti kritériumok mérlegelése után 20-20 pont került kiválasztásra a mérésekhez. A háromszögelési ponton egy erre a célra átalakított tartóállványon helyeztük el a vevőt (17. ábra).



17. ábra. A háromszögelési pontok mérésének módja.

A vevőt 5 másodperces jelrögzítési intervallumra állítottuk be. A mérés öt szakaszban történt (1. táblázat).

1. táblázat. A GPS mérések időtartama és a rögzített pontok száma.

típus	rögzítési időtartam	rögzített pontok száma
1	5 másodperc	1
2	1 perc	12
3	2 perc	24
4	4 perc	48
5	8 perc	96

Az időintervallumok hosszát a felvett pontok száma alapján határoztuk meg. A rögzített pontok száma a minimális 1-ről indul, a legtöbb pedig 96. Ez a maximális érték 8 percnyi mérésidőt igényel, ennél hosszabb mérés GIS jellegű felhasználásban nem indokolt, az már inkább geodéziai jellegű mérésnek nevezhető.

A Debrecen környéki mintaterület 69–2388 jelű háromszögelési pontjánál, mely egyben OGPSH pont is, további mérések történtek az ionoszféra napszakonkénti pontosság-módosító hatásának a vizsgálatához. Ennek keretében minden félórán 20 percen át fázisadatokat mértünk reggel 7 órától este 19 óráig. A 69–2388, valamint a 69–2064 jelű OGPSH pontok esetében 2–2 db. 40 perces fázismérést is végeztünk a bázisállomás pozíciójának pontosításához.

A rögzített adatok utólag kerültek feldolgozásra, ekkor végeztük el a korrekciókat a bázisállomás adatainak felhasználásával. A statisztikai adatfeldolgozás SPSS 8.0 for Windows, valamint Microsoft Excel 2002 szoftverekben történt.

2.3. A távérzékeléssel kapcsolatos pontosságvizsgálatok során alkalmazott módszerek.

A földrajzi kutatások egyre szélesebb csoportját alkotják a területhasználattal, a vegetációs borítottsággal, és ezek időbeli és térbeli változásával kapcsolatos vizsgálatok (pl. Csorba P., 2003, Csorba P., 2005. Novák T., 2005.). Ezek során általában különböző időpontokban készített raszteres (azaz elemi képpontokból, pixelekből felépülő) adatbázisokat vetnek össze. Ezek legtöbbször beszkenelt térképek, űrfelvételek, vagy légifotók. Az adatbázisok előkészítése azonban sok olyan pontossági problémát rejt, amelyek alapvetően befolyásolhatják az eredményt. Ilyenek például a vetületi

rendszerbe transzformálás módja és típusa vagy a pixelek mérete. Helytelenül előkészített adatbázisokkal végezve a vizsgálatokat pontatlan eredményeket kapunk, szélsőséges esetben pedig hamis következtetéseket vonhatunk le. Nem megfelelő pixelméretet választva a foltok kiterjedése megváltozik, a túlzottan keskeny foltok és vonalas objektumok (pl. ökológiai folyosók) akár el is tűnhetnek. Ugyancsak lényeges lehet a vetületi transzformáció menete, az illesztőpontok száma és elhelyezkedése. Emellett űrfelvételek esetében még a vetületi transzformáció és a felvétel kiértékelésének egymáshoz képesti sorrendje is módosíthatja az eredményt.

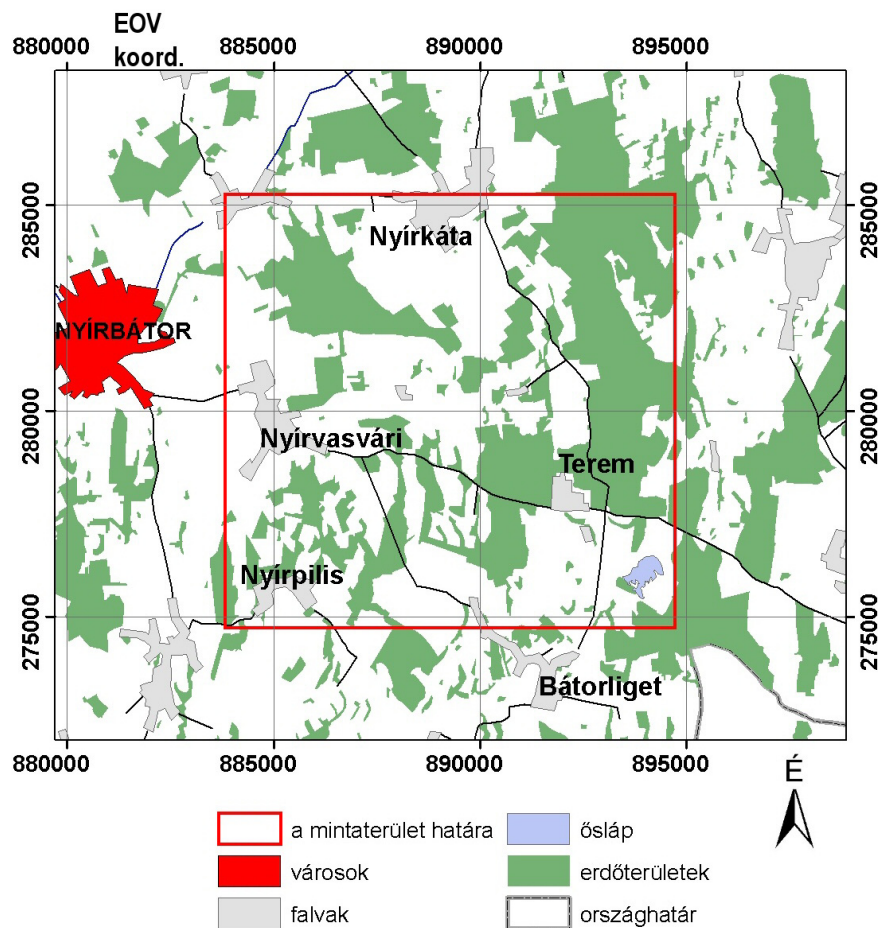
Vizsgálatainkhoz mind űrfelvételeket, mind légifotót felhasználtunk. Ezek kiválasztásánál a cél a különböző felbontás és a jó összevethetőség volt. A felhasznált raszteres adatbázisokat a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat. A vizsgálatokhoz felhasznált raszteres adatbázisok főbb adatai

Név	Készítés dátuma	Felbontás
LANDSAT– 2 MSS	1980 augusztus 08.	57m
LANDSAT– 5 TM	2001. augusztus 08.	30m
SPOT–5	2005. szeptember 03.	10m
Légifotó	2000.	2m

Azokat a vizsgálatokat, melyek a földi illesztőpontok (GCP) számával és elhelyezkedésével kapcsolatos pontossági kérdésekre kerestek választ, a Nyírség délkeleti részén, a Bátorligeti ősláptól északnyugatra elhelyezkedő mintaterületen végeztük (18. ábra). A terület kiterjedése É–D irányban 10.3 km, K–Ny irányban 10.8 km, területe 111.2km².

A vetületi rendszerbe illesztéssel kapcsolatos vizsgálatoknál célunk annak kimutatása volt, a földi illesztőpontok (GCP) száma és horizontális eloszlása hogyan befolyásolja a transzformáció pontosságát. A 2. táblázatban felsorolt felvételek közül a 2000-ben készített légifotókat, valamint a 2001. augusztus 8-án készült LANDSAT–5 TM felvételt használtuk fel.



18. ábra. A Bátorligettől északnyugatra elterülő mintaterület elhelyezkedése.

Az űrfelvételek és légifotók vetületi rendszerbe illesztése ERDAS 8.5 szoftverben történt. Először az 1:10 000 topográfiai térképeket illesztettük vetületbe. Mivel az eredeti, térképi vetületi rendszer és a digitális vetületi rendszer megegyezett, nem lenne szükség valódi vetületi transzformációra (rektifikáció), elegendő lenne regisztráció, azaz a sarkok koordinátáinak megadása. A maximális pontosság érdekében mégis végeztünk rektifikációt, újramintavételezve az adatbázist, azaz az eredeti pixelértékeket extrapoláltattuk az új vetületi háló ugyanazon pontjában kialakítandó pixelértékekhez. A transzformált térképeken ellenőrző méréseket végeztünk, és a

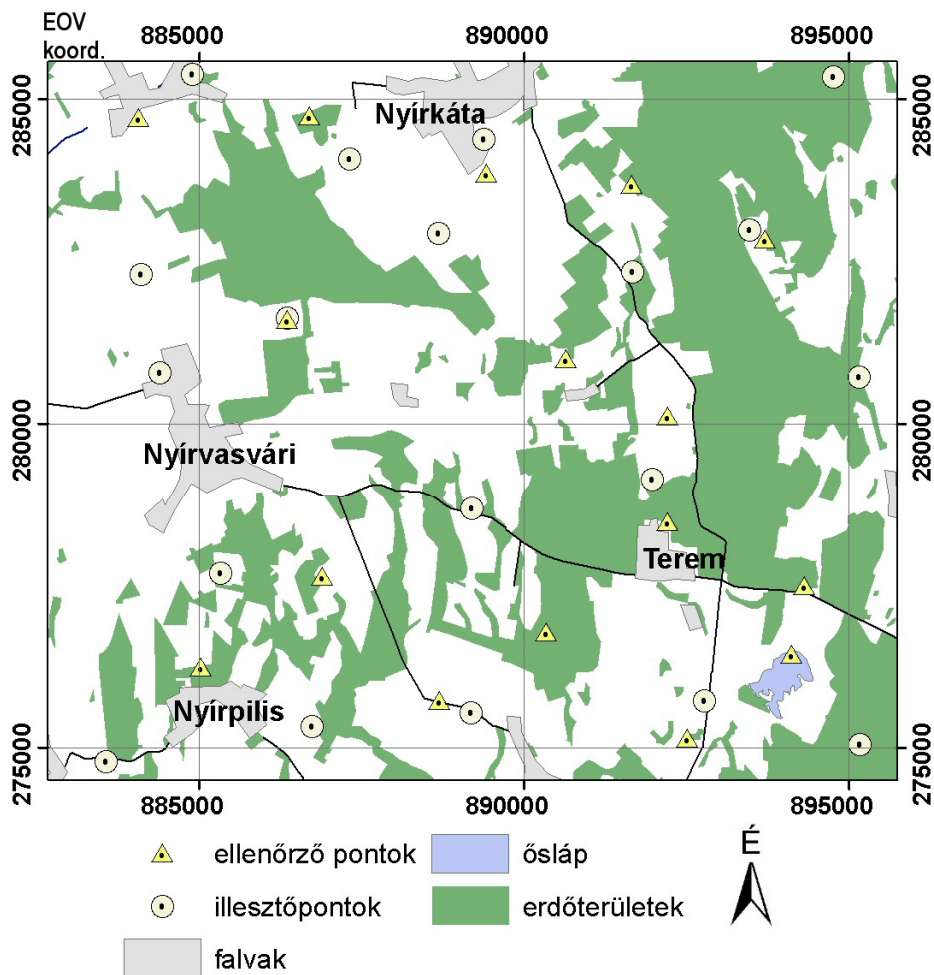
hiba sehol nem haladta meg a 2 métert. *Winkler P. (1997)* szerint az EOTR általános vízszintes pontossága 3–5 méter, így az elméleti hibahatáron belül maradtunk.

A következő lépésben a topográfiai térképek alapján vetületi rendszerbe transzformáltuk a LANDSAT-5 műhold adatbázisát. A mintaterületen a magasságkülönbségek elhanyagolhatók, így ortorektifikációt (azaz az űrfelvétel domborzat miatti torzulásakor alkalmazandó korrekciót) nem végeztünk.

A transzformálást 25 esetben hajtottuk végre. Először 55, szórtan elhelyezkedő földi illesztőpont (GCP pont) alapján, másodfokú polinomos transzformációs mátrixot választva elvégeztük a legpontosabb transzformálást, létrehozva a később referenciaként szolgáló adatbázist. Azért választottunk másodfokú polinomos transzformációs egyenletet, mert ez a legkisebb fokszámú, lokális torzítást engedő egyenlet, így lehetőség van a helyi torzulások figyelembe vételére, a lehető legalacsonyabb fokszámmal. Az átlagos legkisebb négyzetes hiba (RMSE) értéke 0.47 volt. A szakirodalom (*ERDAS Field Guide, 1997*) 0.5-et ad meg, mint ideális legnagyobb érték, így a transzformációt megfelelően pontosnak vehetjük. Mivel másodfokú polinomos transzformációt választottunk, a szoftvernek lehetősége van arra, hogy az új vetületi rácsháló különböző részein eltérő torzítást alkalmazzon, így természetesen lehetnek olyan pontok, amelyek az ideálisnál nagyobb a pontos értéktől való eltérése, de a GCP-k számának további növelése a ráfordított idő drasztikus növekedését okozza. Az itt alkalmazott, kb. 1 GCP / 2 km²-es átlagérték így is jóval nagyobb, mint a földrajzi vizsgálatokban alkalmazott pontsűrűségek.

A következőkben különböző számú GCP-t felhasználva végeztük el a transzformálást. A pontok száma a következő volt: 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 19. Az illesztőpontok elhelyezkedését a *19. ábra* mutatja.

Megjegyezzük, hogy annak ellenére, hogy az illesztőpontok horizontális elhelyezkedésében megfigyelhető inhomogenitásoknak nagy szerepe lehet a pontosságra, jelen vizsgálataink nem irányultak erre a problémára. Ennek oka, hogy a földrajzi kutatások során mindig törekszünk a lehető leg-homogénebb GCP-eloszlás megvalósítására, másrészt az inhomogenitás foka bármekkora lehet, így ennek statisztikai módszerekkel történő megjelölésére itt nem vállalkoztunk.



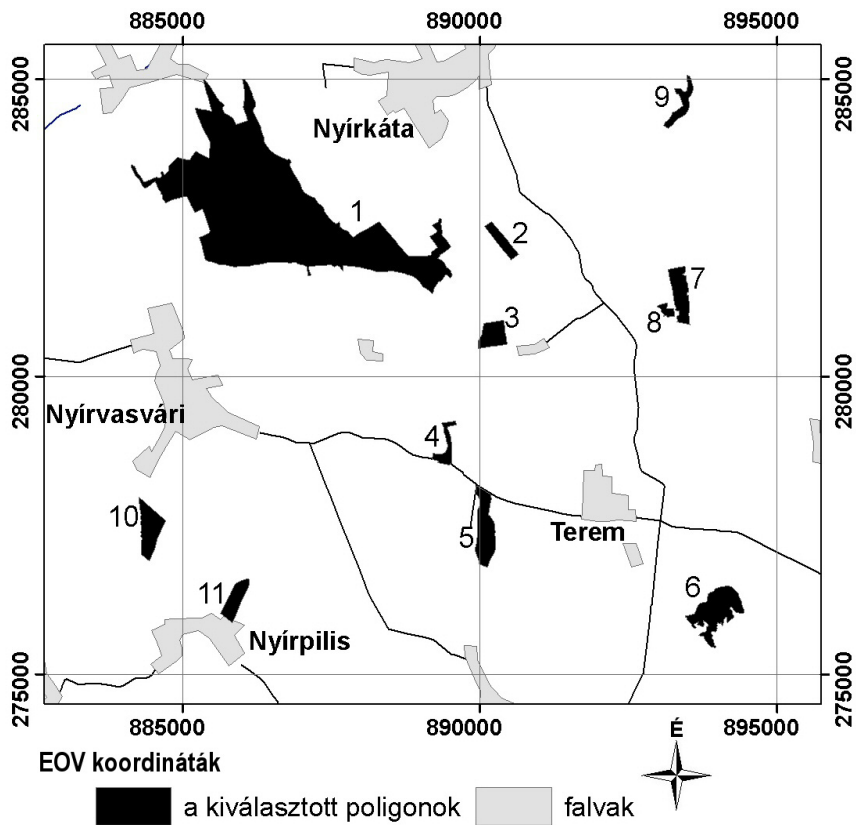
19. ábra. A földi illesztőpontok és ellenőrző pontok elhelyezkedése a mintaterületen.

A 8-féle pontszámú transzformációt három sorozatban végeztük el. A sorozatokban a transzformációs mátrix polinomos egyenletének a fokszáma 1, 2 és 3 volt.

A hiba mértékét úgy ellenőriztük, hogy minden egyes transzformáció esetén 16, egyenletesen elhelyezkedő ponton megmértük a pont pozícióját a nyers, valamint a vetületi rendszerbe transzformált úrfelvételen. A különbség megadja a hiba nagyságát. Az ellenőrző pontok elhelyezkedését a 19. ábra mutatja.

A transzformációk pontosságát poligonok területeinek vizsgálatával is nyomon követtük. 11 db. különböző területi kiterjedésű, alakú, és elhe-

lyezkedésű folt (általában erdők) területét vizsgáltuk meg a 25-féle transzformáció során. A kiválasztott foltokat a 20. ábra mutatja.



20. ábra. A területi eltérések vizsgálatára kiválasztott 11 folt elhelyezkedése a mintaterületen.

Azért az erdők foltjait választottuk a mérésekhez, mert ezek legtöbbször környezetüktől jól elkülöníthetők, méretük relatíve kevésbé változó, és sok terület-változással kapcsolatos kutatás célobjektumai (pl. Csató É.–Kristóf D., 2003, Szabó G., 2003). A poligonokat ArcGIS 9.0 szoftverben digitalizáltuk át a raszteres úrfelvételről, majd raszterizáltuk a kész állományt. A transzformációkat ugyanolyan körülmények között végeztük el, mint az előző kísérletekben, ugyanazokat az illesztőpontokat használva. Referenciaként egy olyan raszteres adatbázist használtunk, melyet a fent már tárgyalt, 55 GCP alapján transzformáltunk vetületbe.

A különböző térbeli felbontások összehasonlításával kapcsolatos vizsgálataink során a 2. táblázatban felsorolt felvételek közül a LANDSAT-2 MSS, a LANDSAT-5 TM, a SPOT-5 felvételeit, a légifotókat, valamint az 1:10 000 topográfiai térképeket használtuk fel.

A vizsgálatok során a transzformációs kísérleteknél már bemutatott foltok (20. ábra) területét határoztuk meg különböző térbeli felbontások esetén. Ehhez IDRISI 32 Release-2 szoftverben elkészítettük a légifotók és űrfelvételek homogén pixelértékekből álló (azaz „üres”) megfelelőit, majd a foltokat tartalmazó vektoros állományt e fájlok földrajzi tulajdonságai alapján raszterizáltuk. Így olyan raszteres adatbázisokat kaptunk, amelyek pontosan ugyanazokat a poligonokat tartalmazták, de közben megőrizték az eredeti felbontásokat. A következő lépésben az IDRISI 32 Release-2 szoftverrel kiszámítottuk az egyes foltok területeit a különböző felbontások esetén. A referencia-területeket a vektoros állományból számítottuk ki ArcGIS 9.0 szoftverben, amely a raszteres területi meghatározásoknál pontosabb eredményt szolgáltat.

Az űrfelvételek interpretációjánál az osztályozás, azaz a felszín foltjainak értelmezése, elkülönítése többféle módszerrel történhet. Az alkalmazott eljárás hatással lehet arra, hogy az egyes objektumok esetében mekkora területet mérünk. Ezért a különböző eljárások összevetése indokolt.

A manuális módszerek közül az NDVI (Normalizált Vegetációs Index) kiszámítását és manuális osztályozását alkalmaztuk, mivel ez az egyik sokszor alkalmazott index a biomassza tanulmányozásánál (Szabó Sz., 2004, Birky, A. 2001). Ennek során az IDRISI 32 Release-2 szoftverrel az űrfelvétel vörös és közeli-infravörös csatornáinak felhasználásával elkészítettük a mintaterület NDVI térképét, majd megvizsgáltuk, hogy melyek azok az értékek, amelyek nagy valószínűséggel a fenyőre jellemzőek. Végül a szoftverrel kiszámítottuk a fenyvesek kiterjedését.

A nem ellenőrzött osztályba sorolást először szélesebb reflektancia-intervallummal számoló, de kevesebb osztályt, másodszor pedig egy keskenyebb reflektancia-intervallummal számoló, de több osztályt tartalmazó beállítással végeztettük el a számítógéppel.

Az ellenőrzött osztályba sorolást a három legszélesebb körben elterjedt módszerrel (paralelepipedonok módszere, legkisebb távolság módszere, legnagyobb valószínűség módszere) is elvégeztük. A legnagyobb valószínűség módszerét összesen hat különböző beállítással futtattuk le.

Eredmények

3.1. A térképi pontosságvizsgálat eredményei

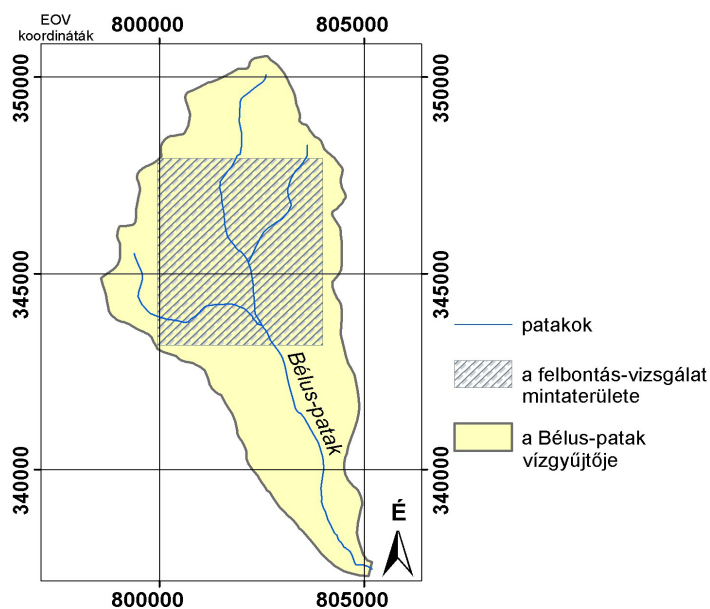
3.1.1 A domborzatmodell felbontásának megállapításához végzett vizsgálatok

A manuális, valamint a számítógéppel készült geomorfológiai kvantitatív térképek összevetéséhez pontos digitális domborzatmodellt kell generálnunk. Ennek feltétele pontos alapadatok megléte, valamint az interpoláció és a létrehozott rácsháló pontossága – felbontása. Az alapadatok pontosságáról, valamint az interpoláció típusáról már a 2. fejezetben volt szó. Az interpolált rácsháló felbontását egy e célból lefolytatott vizsgálat eredményei alapján állapítottuk meg.

A térbeli felbontás vizsgálata a lejtőkategória-térképeken

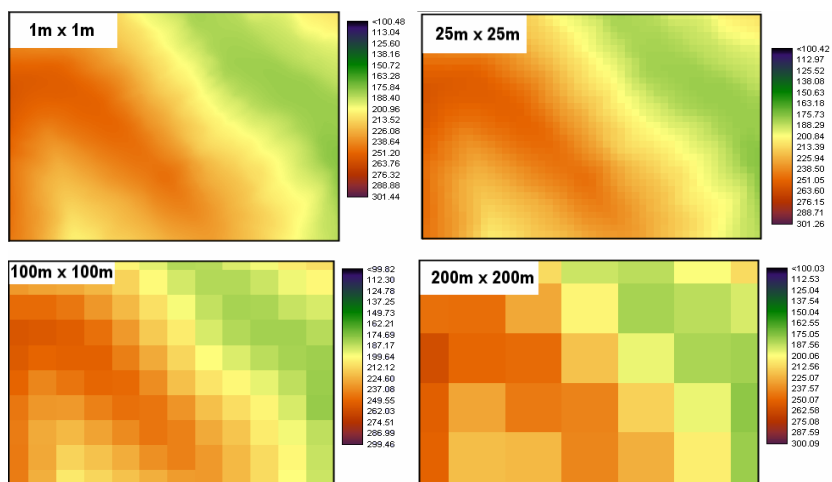
Megvizsgáltuk, hogy az egyes lejtőkategóriák területi kiterjedése hogyan változik, ha módosítjuk a domborzatmodell rácshálójának egységnyi méretét. Hasonló jellegű vizsgálatokat már mások is végeztek (*Püspöki Z. et al., 2005, Li, J. et al., 2004*), de kevésbé pontos kiindulási adatbázis alapján dolgoztak, és alapvetően egy más jellegű kutatás kapcsán, mellékesen merült fel a felbontás kérdése. Referencia rácsméretnek (vagyis az egységnyi felszín darab etalon területi kiterjedésének) az 1 méteres rácshálót (griddel) interpolált domborzatmodellt választottuk. A teljes mintaterület kiterjedése 13,5*6,5 km, tehát 1 méteres grid esetén a háló mérete 13500*6500 cellából állna. A SURFER 8 nem képes olyan hálót létrehozni, melynek kiterjedése X vagy Y irányban 10 000 cellánál nagyobb, ezért a legrészletesebb gridnek az 5 méteres cellaméretet választottuk azzal a kikötéssel, hogy ha már ennél a felbontásnál is jelentős lesz a referencia-adatokhoz képest az eltérés, abban az esetben részletesebb (2-3 méteres) felbontást is generálunk.

A fenti okok miatt az 1 méteres felbontású referencia-grid nem készíthető el az egész területre egyszeri interpolációval, ezért a vizsgálatokat a mintaterület egy kisebb kiterjedésű részletén végeztük el (*21. ábra*), melyet úgy jelöltünk ki, hogy a Bélus vízgyűjtőjét jól reprezentálja.



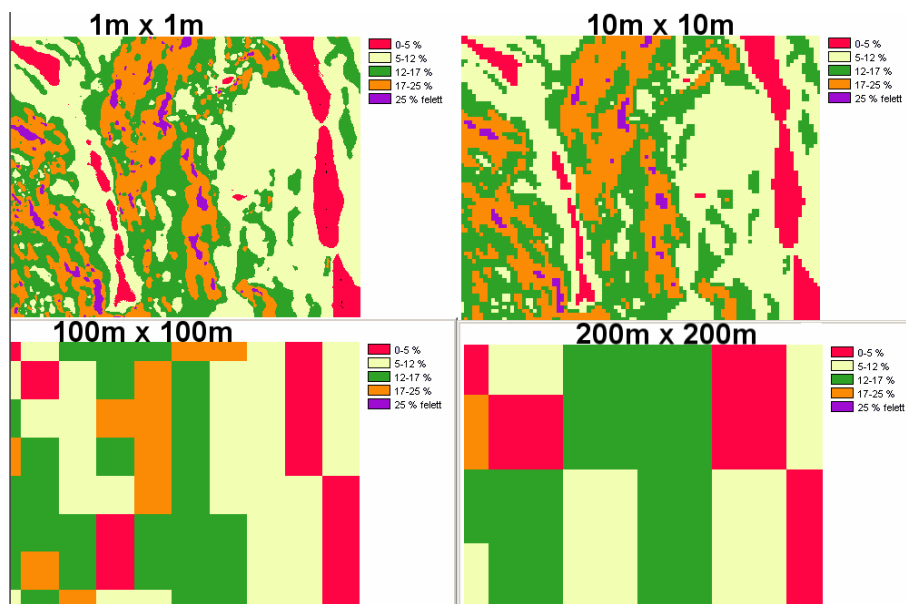
21. ábra. A térbeli felbontás vizsgálatához kiválasztott mintaterület a Béluš-patak vízgyűjtőjén.

Az 1 méteres felbontású domborzatmodell után elkészítettük az 5 méteres, majd a 10, 25, 50, 100, valamint 200 méteres hálót. Közülük négynek egy kis részletét mutatja be a 22. ábra.



22. ábra. A mintaterület egy részletének domborzatmodellje különböző pixelméreteken.

Interpoláció után az összes domborzatmodellt raszteres adatbázissá transzformáltuk, majd az IDRISI 32 Release-2 szoftverbe importáltuk. A szoftver segítségével a domborzatmodellekből lejtőkategória-térképeket generáltattunk (23. ábra), majd összesítettük az egyes kategóriák területi kiterjedését.

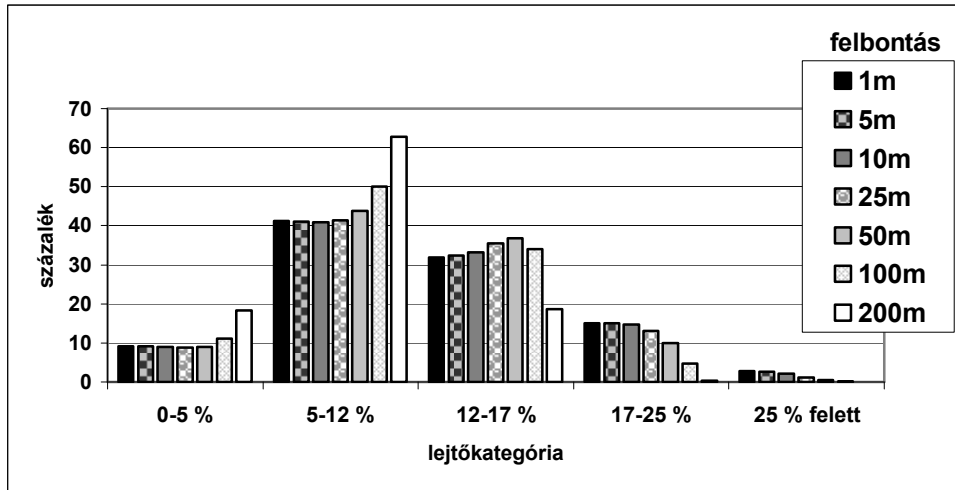


23. ábra. A mintaterület egy részletének lejtőkategória-térképe különböző felbontásokban.

Az egyes lejtőkategóriák százalékos területi kiterjedését megvizsgálva (24. ábra) a következőket állapíthatjuk meg:

A mintaterület jórészt az 5–12%-os, valamint a 12–17%-os lejtőkategóriába sorolható területegységekből épül fel, összhangban a mintaterület dombosági viszonyaival.

A térbeli felbontás csökkenésével változik az egyes lejtőkategóriák aránya. A kisebb lejtésű területek esetében (0–5%, 5–12% kategóriák) a változás tendenciája növekvő, míg a nagyobb lejtésű kategóriáknál (12–17%, 17–25%, >25%) a területi kiterjedés százalékos részaránya jelentősen csökken.

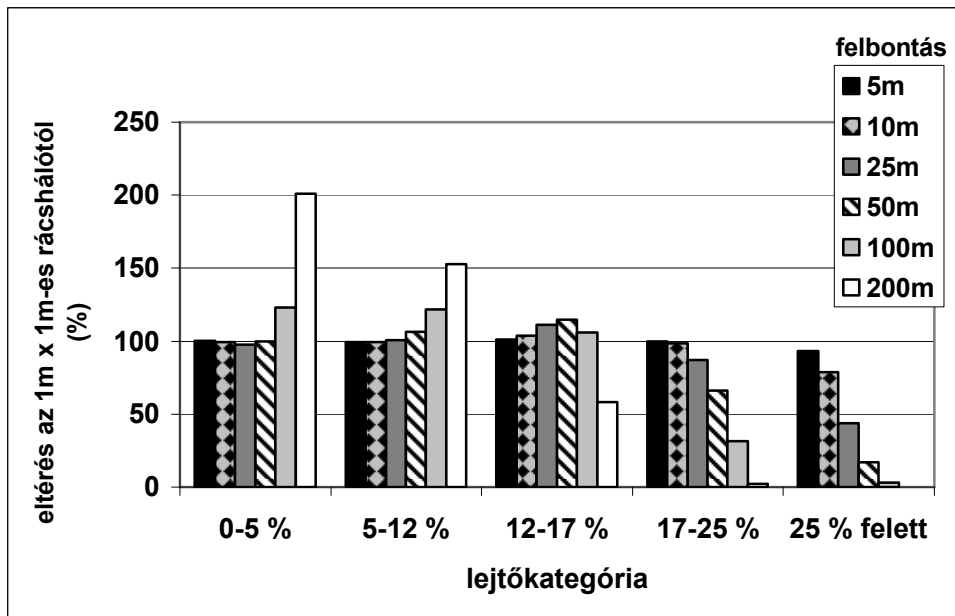


24. ábra. Az egyes lejtőkategóriák százalékos megoszlása a különböző rácsméretű domborzatmodelleknél.

Ennek oka, hogy a nagyobb lejtésű területek a dombosági jelleg miatt eleve kisebb részarányt képviselnek az összterületből. Ezért a felbontás csökkenésekor az egyre növekvő (egyben egységnyi felületet adó) pixelek által lefedett területen a szomszédos, túlnyomóan alacsonyabb kategóriába tartozó lejtőértékek átlagoló hatása tompítja a meredekebb lejtőértékek súlyát.

Összevetve a különböző felbontású adatbázisokat, minden lejtőkategória esetében azt tapasztaljuk, hogy csökkentve a felbontást egyre jelentősebb területi eltérést találunk az 1 méteres felbontású referencia adatbázishoz képest. A legnagyobb különbséget az 5–12%-os kategóriában tapasztalhatjuk, itt az 1 m-es és a 200 m-es felbontású adatbázisok között 21%-os eltérés adódik. Az 1m, 5m, 10m felbontású adatbázisok általában hasonló értékeket adnak, a kisebb felbontású állományoknál azonban az eltérés megnő (pl. a 17–25%-os kategóriánál).

Megvizsgáltuk, hogy hány százalékkal változik az adott lejtőkategória területe a felbontás módosításával, ha azokat az 1 méteres felbontású adatbázishoz, mint referenciához (100%) viszonyítjuk (25. ábra, 3. táblázat).



25. ábra. A származtatott lejtőkategória-térképek egyes kategóriáinak százalékos eltérései különböző rácsméretű domborzatmodelleken (100% az 1m-es rácsháló).

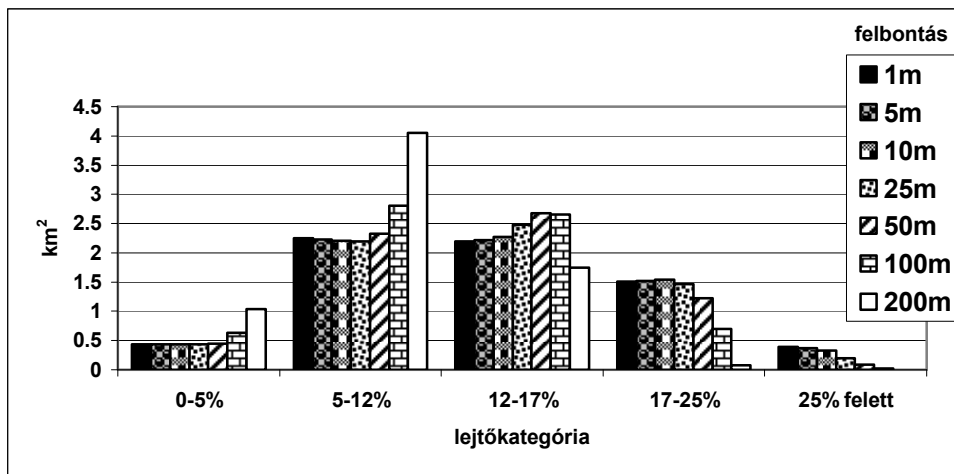
Hasonlóan a 33. ábrához, ebben az esetben is az eltérések a felbontás csökkenésével folyamatosan nőnek, és a 200 méteres felbontáshoz tartozó lejtőkategóriák területei mutatják a legnagyobb különbséget. Az eltérések az első két kategória (0–5%, 5–12%) esetében pozitív irányban változnak, vagyis a felbontás csökkenésével a kis lejtésű pixelek összterülete nő, a magasabb lejtőkategóriák összterülete viszont csökken, 25% feletti kategóriánál például 200 méteres felbontás esetén a pixelek száma 0.

Kategóriánként megvizsgálva a különböző felbontásokat megállapíthatjuk, hogy az 5 m-es, és 10 m-es felbontásnál az eltérés még nem jelentős, a 25 m-es felbontástól azonban nagyobb eltéréseket tapasztalunk. Átlagolva a lejtőkategóriák eltéréseit (3. táblázat – *átlag sor*) megállapíthatjuk, hogy az 5, illetve a 10 méteres felbontások azok, melyek teljesítik a statisztikailag elfogadható 95%-os egyezést (habár a 10 m-es felbontás esetében ez 94,5%).

3. táblázat. A származtatott lejtőkategória-térképek egyes kategóriáinak százalékos eltérései különböző rácsméretű domborzatmodelleken (referencia [azaz 100%] az 1m-es rácsnál).

	5m	10m	25m	50m	100m	200m
0–5 %	0.262881	0.762421	2.518617	0.058119	23.16384	101.1676
5–12 %	0.419171	0.764209	0.521846	6.484439	21.73319	52.58376
12–17 %	1.156754	3.703081	11.04536	14.86626	6.157512	41.79515
17–25 %	0.219196	1.397792	12.99045	33.96068	68.65613	97.68173
25 % felett	6.724956	21.17609	56.17135	82.77881	96.82382	100
átlag:	1.756592	5.560718	16.64953	27.62966	43.3069	78.64565

A lejtőkategória-területek pontos meghatározásának a fontosságát a geomorfológiai kutatásokban a mintaterületen elhelyezkedő erdők kiterjedésének a változásával szemléltetjük. A 26. ábra megmutatja, hogy az egyes lejtőkategóriákon az adott felbontás mellett mekkora az erdők területe.



26. ábra. Az erdőterületek lejtőkategóriánkénti megoszlása az alkalmazott felbontások esetén.

Hasonlóan a lejtőkategóriák felbontással változó kiterjedéséhez, az erdők területe is jelentős eltéréseket mutat a pixelméret változtatásának függvényében. A kisebb lejtésű területeken (0–5% ill. 5–12%) az erdőterület a felbontás csökkenésével növekszik, míg a meredekebb lejtők esetében vegyes, vagy csökkenő tendencia jellemzi a területi kiterjedést. Ezek a trendek természetesen szoros kapcsolatban vannak a lejtőkategória területi kiter-

jedésének változásával (24., 25. ábra és 3. táblázat) bemutatottakkal, így a jelenség magyarázatául az ott leírtak szolgálnak.

A térbeli felbontás vizsgálata a lejtőkitettség-térképeken

A lejtőkategória-térképek mellett a lejtőkitettség-térképek esetében is megvizsgáltuk a térbeli felbontás változásának hatását. A fent bemutatott kisebb mintaterületen elkészítettük a lejtőkitettség-térképet, majd összegeztük a 8 irányhoz tartozó területeket. A 4. táblázat azt mutatja, hogy ha az 1 méteres felbontású adatbázist 100%-nak tekintjük, akkor a kisebb felbontások esetében mekkora lesz a 8 kitettségi kategória százalékos eltérése a 100%-tól.

4. táblázat. A származtatott lejtőkitettség-térképek egyes kategóriáinak százalékos eltérései különböző rácsméretű domborzatmodelleken (referencia az 1m-es rácsháló).

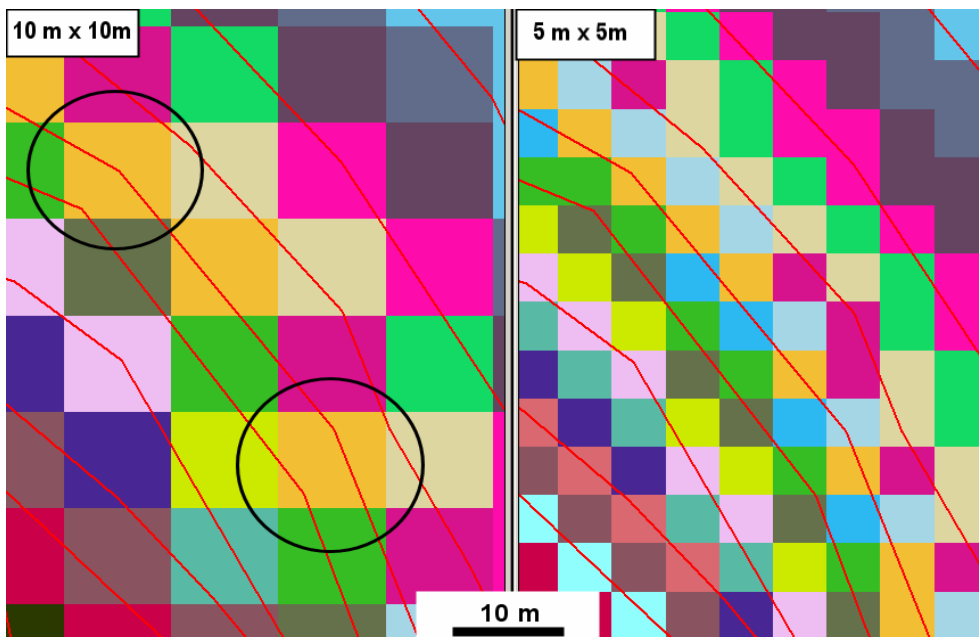
	5m (%)	10m (%)	25m (%)	50m (%)	100m (%)	200m (%)
É	0.501	1.574	3.793	8.909	20.678	21.104
ÉK	0.290	0.601	2.116	5.771	9.800	13.268
K	0.044	0.206	1.124	3.177	3.674	16.881
DK	0.158	0.074	0.857	1.395	5.758	7.789
D	0.062	0.201	0.199	3.069	6.698	38.818
DNy	0.046	0.235	0.639	0.509	1.055	1.253
Ny	0.033	0.108	0.031	2.243	6.001	11.886
ÉNy	0.086	0.038	0.294	1.114	1.002	4.431
átlag:	0.153	0.380	1.132	3.274	6.833	14.429

A táblázat alapján megállapítható, hogy a lejtőkitettség adatbázisa kevésbé érzékeny a felbontásra, és kisebb eltérések tapasztalhatók a lejtőkategória térképhez képest. Ennek oka valószínűleg az, hogy a vizsgált dombosági mintaterület morfológiai adottságai a hazai dombosági értékek átlagait mutatják, közepes felszabdaltsággal és viszonylag nagyobb, egységes felületekkel, ahol a szomszédos elemi felületegységek lejtőkitettségi értékei gyakran megegyeznek. Ezért a pixelek méretének növelésével – bár az átlagolás mértéke egyre nagyobb – a szomszédos értékek nagyobb valószínűséggel tartoznak ugyanabba a kitettségi kategóriába, ellentétben a lejtőkategóriával, ahol területileg sokkal változékonyabb a pixelek értéke. Ez természetesen

nagyban függ a domborzati viszonyoktól, és igaz lehet egy ilyen, hazai domboságok esetében közepes felszabdaltságú területen, de nem feltétlenül igaz például egy erősebben felszabdalt területen.

A lejtők kitétségében bekövetkező területi eltérések a geomorfológiai kutatások során – hasonlóan a lejtőkategóriához – nem hagyhatók figyelmen kívül. A lejtőkategóriák és az egyes területhasználati típusok (pl. erdők) közötti szoros összefüggésre fentebb láttunk példát. Ezek alapján a lejtőkitétségek esetében is találhatunk területi eltérést a térképi felbontás módosításával, de a lejtőkategóriáknál ezek jóval kisebbek.

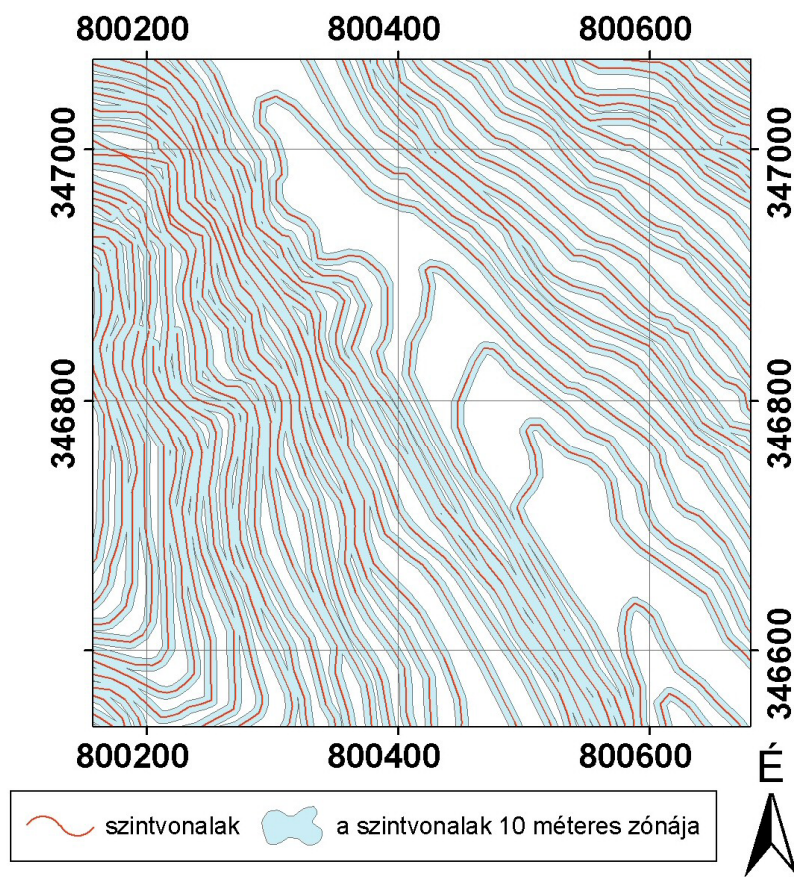
A felbontás meghatározásakor nem hagyható figyelmen kívül a szintvonalak egymástól számított átlagtávolsága sem. Nagyon sűrűn futó szintvonalak esetében (pl. ha egy síksági térképszelvény egy kis részlete hegységet ábrázol) egy adott pixel több, egymás mellett futó szintvonalat is lefedhet (27. ábra). Mivel a pixelek merev lapok és nem hajlíthatók, több szintvonal fedésekor az interpoláció nem feltétlenül ad pontos eredményt, főként, ha a lejtés mértéke a pixel területén változik (párhuzamosan futó, egyenletes magasságváltozást mutató szintvonalak esetén természetesen több vonal lefedése sem jelent feltétlenül problémát).



27. ábra. Több, párhuzamos szintvonalat lefedő pixelek 10 és 5 méteres térbeli felbontás esetén.

Ilyen esetben meg kell vizsgálnunk, hogy a mintaterület mekkora részén okozhat eltérést a közel futó szintvonalak problémája az adott felbontás mellett. Mivel a lejtőkategória – és lejtőkitettség – adatbázisok alapján a 10 méteres felbontást tartjuk előzetesen megfelelőnek, a közeli szintvonalak problémáját is ilyen felbontásban vizsgáljuk.

A 28. ábra a mintaterület egy részletén mutatja a szintvonalakat, valamint a szintvonalakkal párhuzamosan kialakított 10 méter széles sávokat.



28. ábra. A szintvonalak futása, valamint a szintvonalakkal párhuzamosan kialakított 10 méteres zóna elhelyezkedése a mintaterület egy részletén.

Megvizsgáltuk, hogy a sávok a mintaterület hány százalékán fedik egymást, vagyis mekkora területen fordulhat elő, hogy a 10 m x 10 m-es

pixelek több szintvonalat is lefednek. Természetesen a pixelek és szintvonalak elrendeződése az esetek döntő többségében nem derékszögű, átlós elhelyezkedésnél pedig akár a 14 m távolságban elhelyezkedő szintvonalakat is lefedheti ugyanaz a pixel (ami a 10 méteres pixel átlójának a hossza), az eredmény azonban tájékoztató jelleggel mindenképpen ad egy hozzávetőleges értéket.

A mintaterületen 1071 km hosszan futnak a 2,5 méteres magassági lépésközű alapszintvonalak. Megvizsgáltuk, hogy a 10 x 10 méteres pixelek milyen gyakran fednek le egynél több szintvonalat. A szintvonalakkal párhuzamosan kialakított 10 méteres zóna összterülete: 10,71 km². Mivel a 10 méternél közelebbi szintvonalak esetében biztosan fellép az átfedés, a 10 méteres zóna tényleges összterülete kisebb, csak 10,5785 km². A két érték különbsége 0,131 km², azaz ekkora területen nagy valószínűséggel több szintvonalat fed le ugyanaz a pixel. A vizsgált mintaterület kiterjedése: 21,36 km², ennek 0,61%-át teszi ki a fedéseket tartalmazó 0,131 km², ami gyakorlatilag elhanyagolható az összterülethez képest. Tehát 10 méteres felbontás esetében a szomszédos szintvonalak horizontális közelsége miatt csak igen kevés esetben fordulhat elő hibásan megállapított magassági érték. E vizsgálattal megerősítést nyert az a lejtőkategória- és lejtőkitettség-térképeknél kapott eredmény, mely szerint a 10 méteres felbontás alkalmazása esetén a hiba mértéke még az elfogadható szint alatt marad.

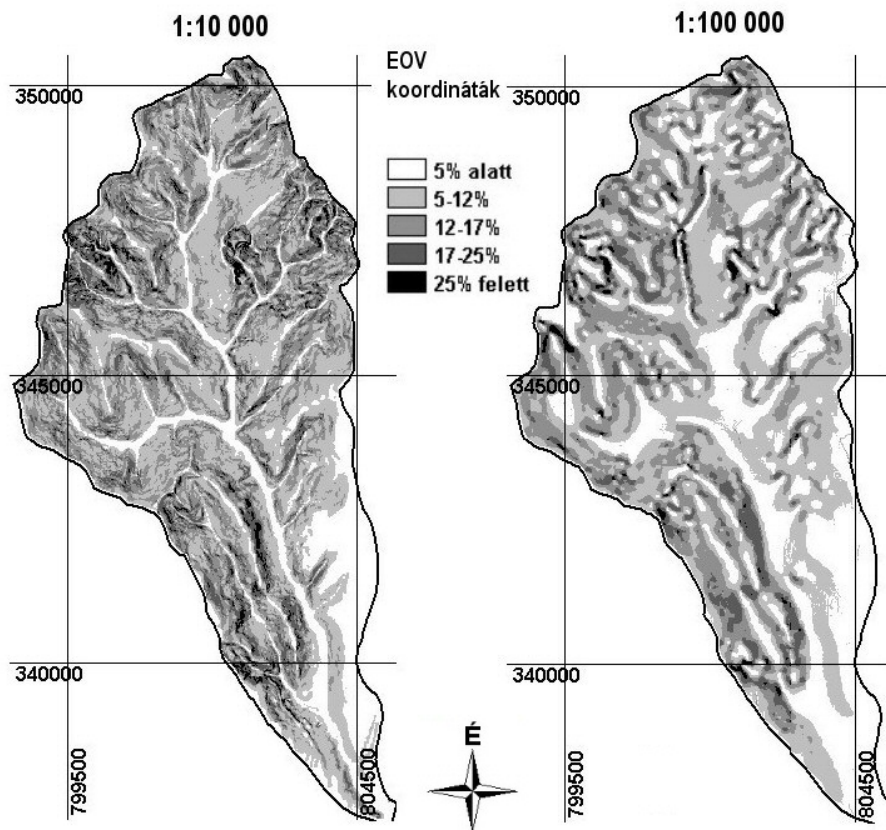
Összegzésként megállapíthatjuk, hogy a vizsgált kvantitatív geomorfológiai adatbázisok közül a lejtőkategória jobban, a kitettség pedig kevésbé érzékeny a felbontásra. Ezért a későbbiekben használni kívánt felbontást a lejtőkategória térképeknél tapasztalt eltérések alapján célszerű meghatározni. Ezek alapján a teljes mintaterületen elvégzendő vizsgálatokat 10 méteres térbeli felbontású domborzatmodellen végeztük. A szintvonalak sűrűsége ilyen felbontás mellett lényegében nem befolyásolja jelentősen az eredményt.

3.1.2. Különböző méretarányú alaptérképekről származtatott kvantitatív adatbázisok összevetése

A felbontás mellett ugyancsak fontos az alaptérkép méretarányának helyes megválasztása is. Megvizsgáltuk, hogy a különböző méretarányú topográfiai térképekből digitalizálással készített, valamint az SRTM domborzatmodell alapján levezetett lejtőkategória-térképek mekkora területi eltéréseket mutatnak.

A méréseket a Vadász-patak teljes vízgyűjtőjén (21. ábra), 1:10000, 1:25 000, 1:100 000 alaptérképek, valamint az SRTM (1:200 000) digitális adatbázis felhasználásával végeztük.

Az elkészített lejtőkategória-térképek közül a legrészletesebb 1:10000, valamint az 1:100 000 méretarányút mutatja a 29. ábra.



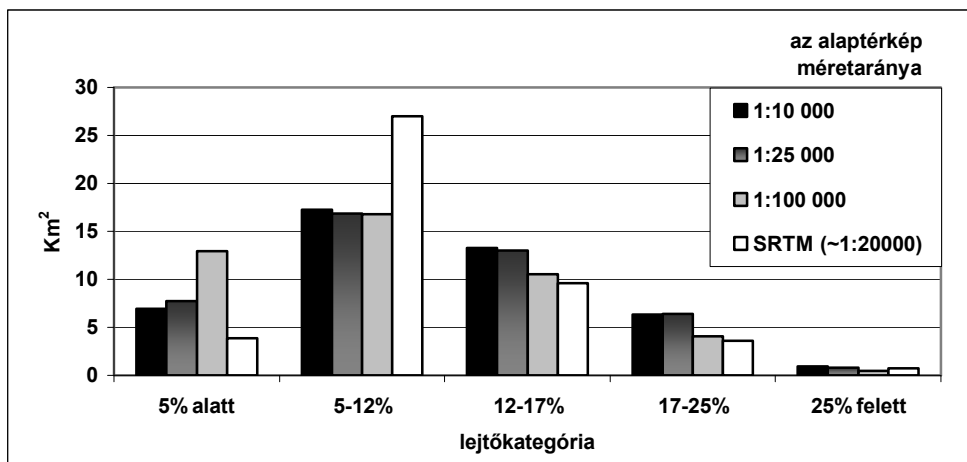
29. ábra. Az 1:10 000 és az 1:100 000 méretarányú topográfiai térképek alapján számított lejtőkategória-térképek

A különböző méretarányú térképeken mért területeket lejtőkategóriák szerinti bontásban a 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat. Különböző méretarányú adatbázisokból származtatott lejtőkategória-területek összehasonlítása (területek km²-ben).

	1:10 000	1:25 000	1:100 000	SRTM (~1:200000)
5% alatt	6.94	7.73	12.91	3.85
5–12%	17.29	16.89	16.78	27.01
12–17%	13.29	12.98	10.54	9.62
17–25%	6.32	6.397	4.08	3.61
25% felett	0.96	0.82	0.49	0.73

Az adatok alapján szerkesztett diagramon (30. ábra) látható, hogy a mintaterület valamennyi adatbázis szerint nagyrészt 5–17%-os, valamint a 12–17%-os kategóriákba tartozó, közepes lejtésű felületekből áll. Ezeknél egy kategóriával kisebb, illetve nagyobb meredekségű pixelek száma közel azonos, kiemelkedően meredek lejtők (>25%) pedig igen kis részét alkotják a mintaterületnek.



30. ábra. Különböző méretarányú adatbázisokból származtatott lejtőkategória-területek összehasonlítása.

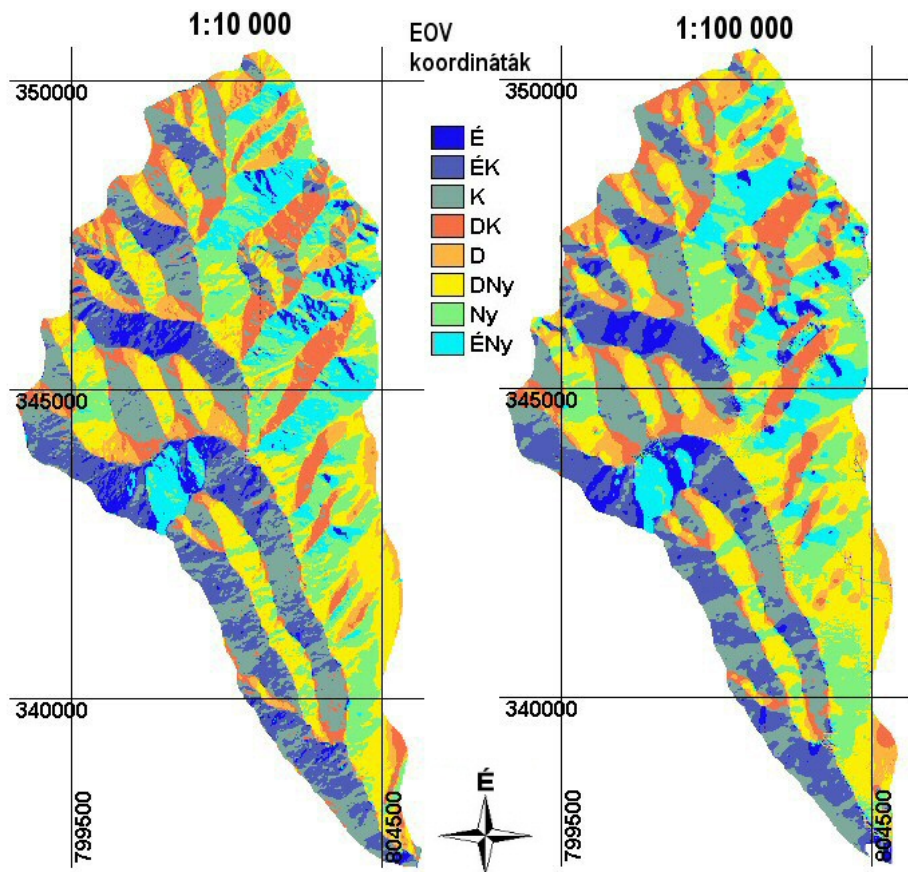
A 30. ábrán jól követhető, hogy a méretarány csökkenésével az 5–12% feletti kategóriákba tartozó területek aránya minden adatbázison folyamatosan csökken, az 5–12% lejtőkategória esetén pedig a folyamatos csökkenés alól csak a legkisebb felbontást képviselő SRTM adatbázis jelent kivételt. A leglankásabb lejtőknél (0–5%) a területváltozás minden esetben folyamatos növekedés, ami alól ismét csak az SRTM adatbázisa jelent kivé-

telt. Ebben az összes többi adatbázisban mért értéknél jelentősen kisebb területi kiterjedést találunk.

A fentiek alapján megállapíthatjuk, hogy a térképi generalizálás fokának növekedése a meredek és lankás lejtők változásában ellentétes irányú trendet eredményez. Ennek oka az ábrázolt szintvonalakban keresendő. Nagy méretarányú térképeken (az átlagos lejtésű területek mellett) mind a kis kiterjedésű, lankás völgytalpi, mind pedig a szintén kis területet elfoglaló, meredek területek részletesen ábrázolhatóak. A méretarány csökkenésével az alapszintvonalak lépésköze nő (1:10 000 – 2,5m, 1:25 000 – 5m, 1:100 000 – 20m), így egyre nehezebb a leglankásabb völgytalpak, valamint a legmeredekebb területek lejtésviszonyainak megjelenítése. Eközben a – dombsági jellegből fakadóan – legelterjedtebb, közepes lejtésű területek ábrázolása nem jelent problémát, hiszen a térképen a szintvonalak értékeinek kialakításakor a cél a terület dombsági jellegének minél jobb visszaadása.

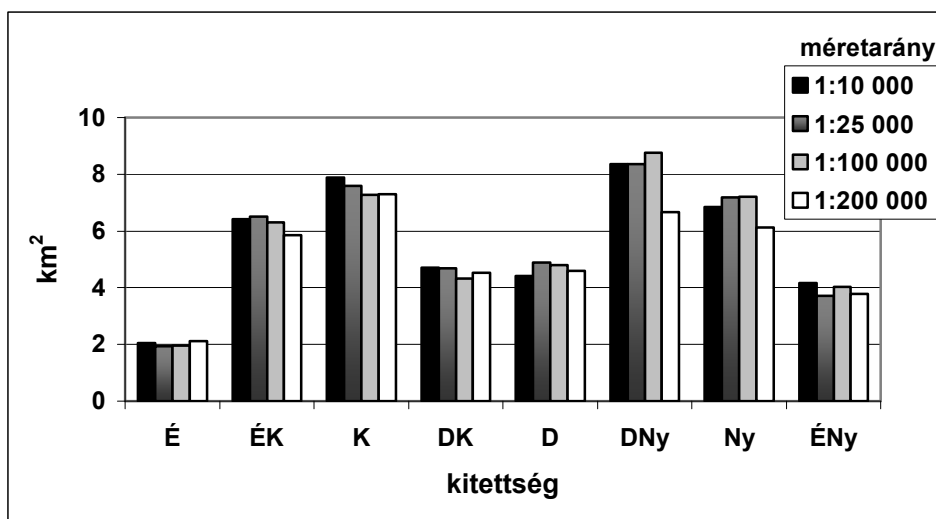
Ezek alól kivételt képez az SRTM adatbázis, az ugyanis nem követi ezt a trendet. Pontosságát tekintve eredetileg 90 méteres felbontását (hőzavetőlegesen) egy 1:200 000-es méretarányú térképhez lehetne hasonlítani, tehát az SRTM oszlopait a 30. ábrán a „megfelelő helyen” láthatjuk. A topográfiai térképek alapján szerkesztett adatbázisoktól eltérő „viselkedést” az eltérő adatgyűjtési módszerrel magyarázzuk. Ezek alapján a kisebb kiterjedésű mintaterületeken való alkalmazását nem, vagy csak nagy elővigyázatossággal tartjuk elfogadhatónak.

A következőkben az előbbi vizsgálatokhoz használt, különböző méretarányú adatbázisokból lejtőkítettségtérképeket számítottunk, és az egyes kategóriák területi változásait tanulmányoztuk. A 31. ábrán az 1:10 000 és az 1:100 000 méretarányú topográfiai térképek alapján számított lejtőkítettégtérképeket láthatjuk.



31. ábra. Az 1:10 000 és az 1:100 000 méretarányú topográfiai térképek alapján számított kitettség-térképek

A 32. ábra a különböző méretarányú adatbázisok alapján készített lejtőkiettségi kategóriák területi megoszlását mutatja. Az ábráról leolvasható, hogy a mintaterület főként észak – észak-keleties és dél – dél-nyugatias kiettségű lejtőkől épül fel. Ez a mintaterület fő vízfolyásának, a Bélus-patak ÉNy–DK-i futásirányával (21. ábra) magyarázható.



32. ábra. Különböző méretarányú adatbázisokból származtatott lejtőkategoriatérületek összehasonlítása.

A méretarány csökkenésével a lejtőkategoriatérület egyes kategóriáin belül nem figyelhető meg a lejtőkategoriatérülethez hasonló változás. A kategóriák területén bekövetkező változás nem függ sem a kitérés irányától, sem pedig a kategória nagyságától. Ennek okát abban látjuk, hogy bár a méretarány csökkenésével egyre nagyobb lesz az alapszintvonalak lépésköze, és az egységnyi tényleges területre jutó szintvonal hossza, de a lejtők irányát a kevesebb szintvonal is jól tükrözi, míg ekkor a lejtőkategoriatérületek esetén a már tárgyalt jelentős eltérésekre hívtuk fel a figyelmet. Az SRTM adatbázis ebben az esetben is a topográfiai térképektől jelentősen eltérő területértékeket mutat.

3.1.3. Különböző módszerekkel készített kvantitatív adatbázisok összevetése

Az eltérő léptékű alaptérképek-adatbázisok mellett igen nagy szerepe van annak, hogy a kvantitatív térképet milyen módszerrel készítették. Megvizsgáltuk, hogy mekkora eltérést okoz, ha ugyanakkora léptékű alaptérképből kiindulva kvantitatív geomorfológiai térképeket származtatunk manuálisan, valamint digitális eljárással.

Az 1:25 000 méretarányú térkép felhasználásával, manuális és digitális módszerrel készített lejtőkategoriatérképek összevetéséből megállá-

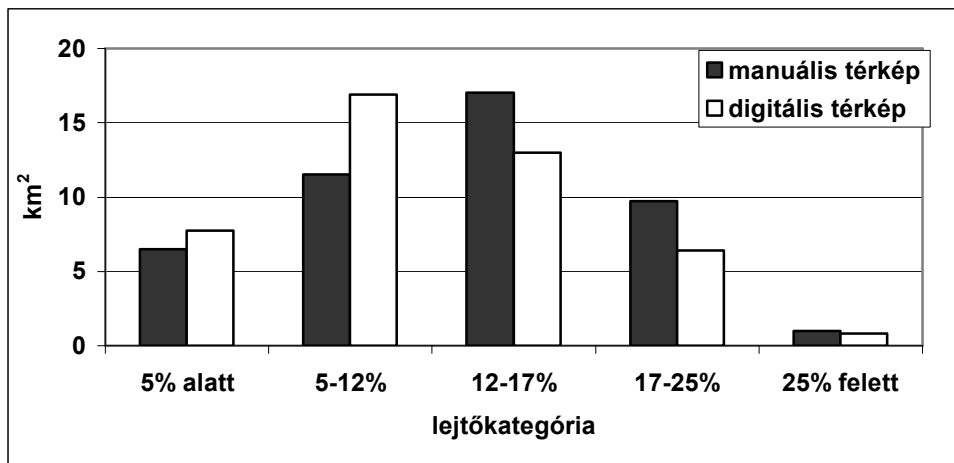
pítható, hogy jelentős különbségeket okoz az eltérő módszerek alkalmazása. A kapott eredményeket az 6. táblázat tartalmazza.

6. táblázat. A manuális és szoftveres eljárással meghatározott lejtőkategóriák területei.

kategória		manuális térkép terület (km ²)	digitális térkép terület (km ²)	eltérés (km ²)
1	5% alatt	6,492	7,733	1,241
2	5–12%	11,513	16,893	5,380
3	12–17%	17,033	12,989	4,044
4	17–25%	9,718	6,394	3,324
5	25% felett	1,00	0,821	0,179

A táblázat alapján kijelenthetjük, hogy a legnagyobb eltérés a közepes lejtőkategóriák esetében tapasztalható, legjobb közelítést pedig a legkisebb és a legnagyobb meredekségnél találunk.

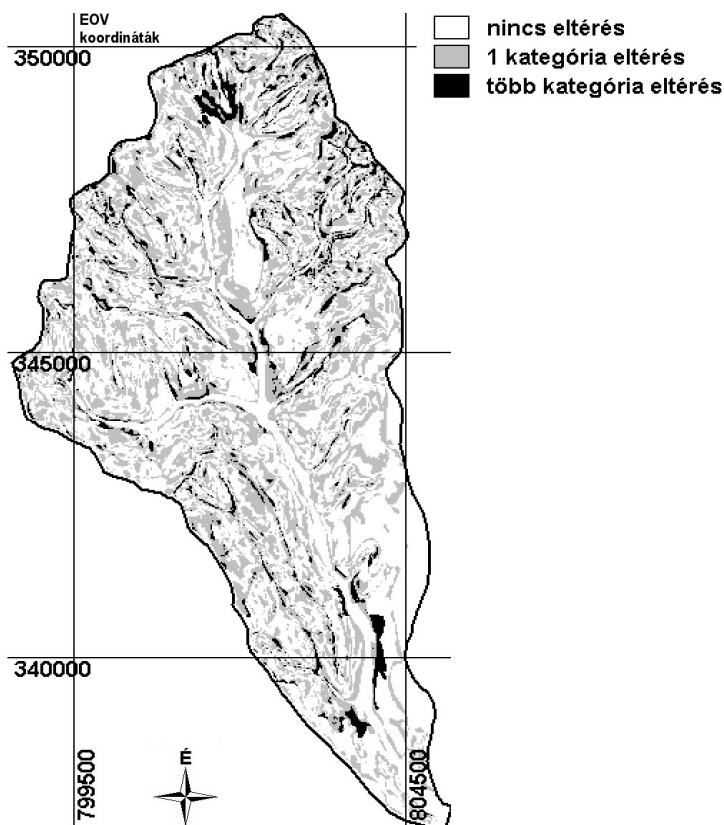
Az adatok alapján szerkesztett hisztogramokat a 33. ábra mutatja. Ahogyan a különböző méretarányú adatbázisok összevetésekor már utaltunk rá, a mintaterületet – dombsági jellegéből fakadóan – a közepes lejtőkategóriák uralják, ez a 33. ábrán is jól követhető. A közepes lejtőkategóriáknál tapasztalható legnagyobb és a szélső kategóriáknál meglévő legkisebb különbségek az ábrán ugyancsak jól tanulmányozhatóak.



33. ábra A manuális és szoftveres eljárással származtatott lejtőkategóriák térképek hisztogramjai.

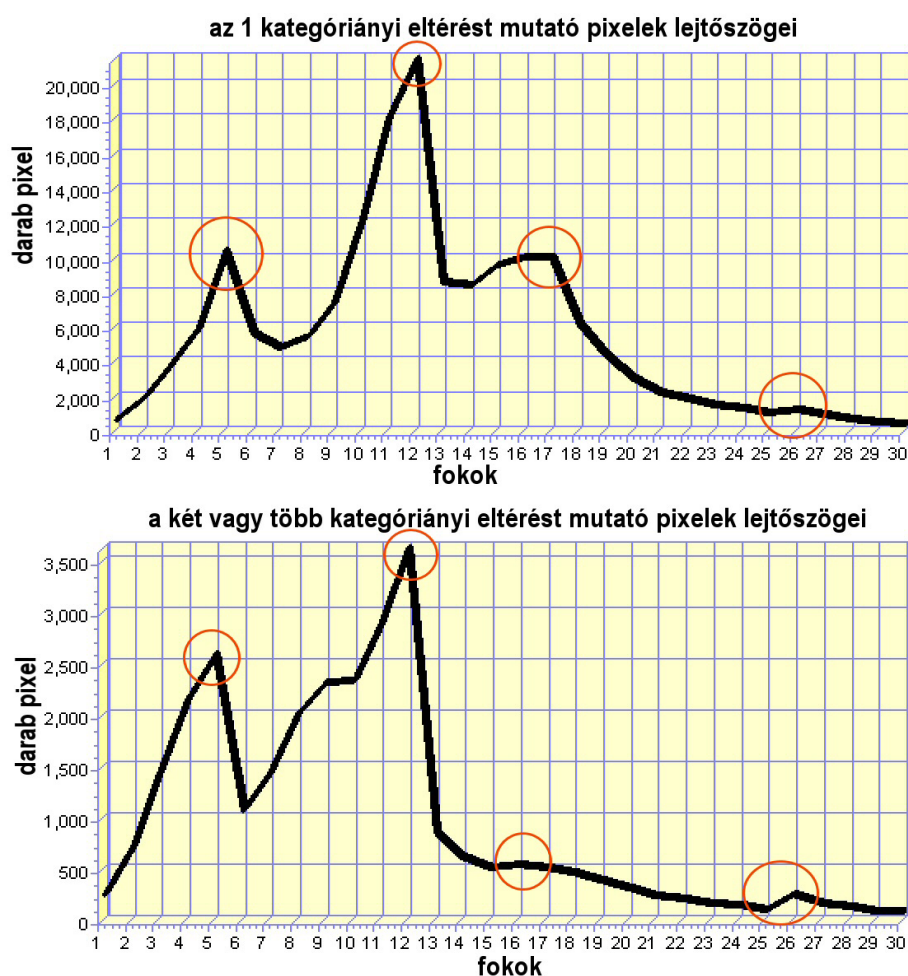
A 33. ábra elemzéséből az is kiderül, hogy az eltérő módszerekkel készített térképek közül a manuális módszer alkalmazása esetén a 12–17% közötti lejtők területe a legnagyobb, a digitálisan származtatott térképen viszont az 5–12% kategória közöttieké. A kisebb területi kiterjedést adó többi kategóriát is bevonva, de a legmeredekebb, 25% feletti kategóriát figyelmen kívül hagyva a két adatbázis majdnem tükörszimmetriát mutat. A 25% feletti kategóriánál pedig a két adatbázis eltérése az összes többinél lényegesen kisebb, tehát az egyezés itt a legnagyobb.

Elkészítettük a két eredménytérkép kereszt-tabulációs térképét, amely megmutatja, hogy az ugyanazon helyen található pixelek értékei különböznek-e a másik adatbázisban ugyanott található pixelek értékeitől, és ha igen, mekkora az eltérés. Az elkészült különbség-térképet a 34. ábra mutatja.



34. ábra. A manuális és digitális módszerrel készült lejtőkategória-térképek különbségeit ábrázoló térkép.

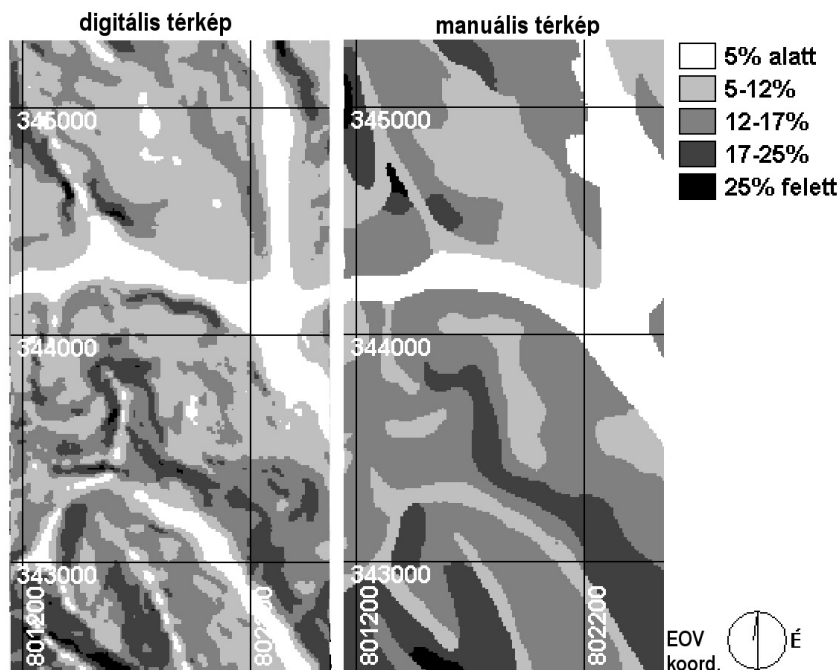
A kapott eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy a 44,83 km²-es mintaterület 56,8 %-án (25,48 km²) a kétféle módszer eredménye teljesen megegyezik. További 16,56 km²-en (36,9%) az eltérés csak egy kategóriányi volt. „Jelentős eltérés” 2,79 km² (6,2%) esetében adódott. Az eltérő pixelértékek kiterjedése tehát nem túlzottan magas az egyezéshez viszonyítva. Megvizsgáltuk, hogy a „kis eltérés” (1 kategóriányi), valamint a „jelentős eltérés” (több kategóriányi) mennyire kategória-specifikus (35. ábra).



35. ábra. A kétféle módszerrel készített lejtőkategória-térképek eltérő pixelinek lejtőszögenkénti megoszlása.

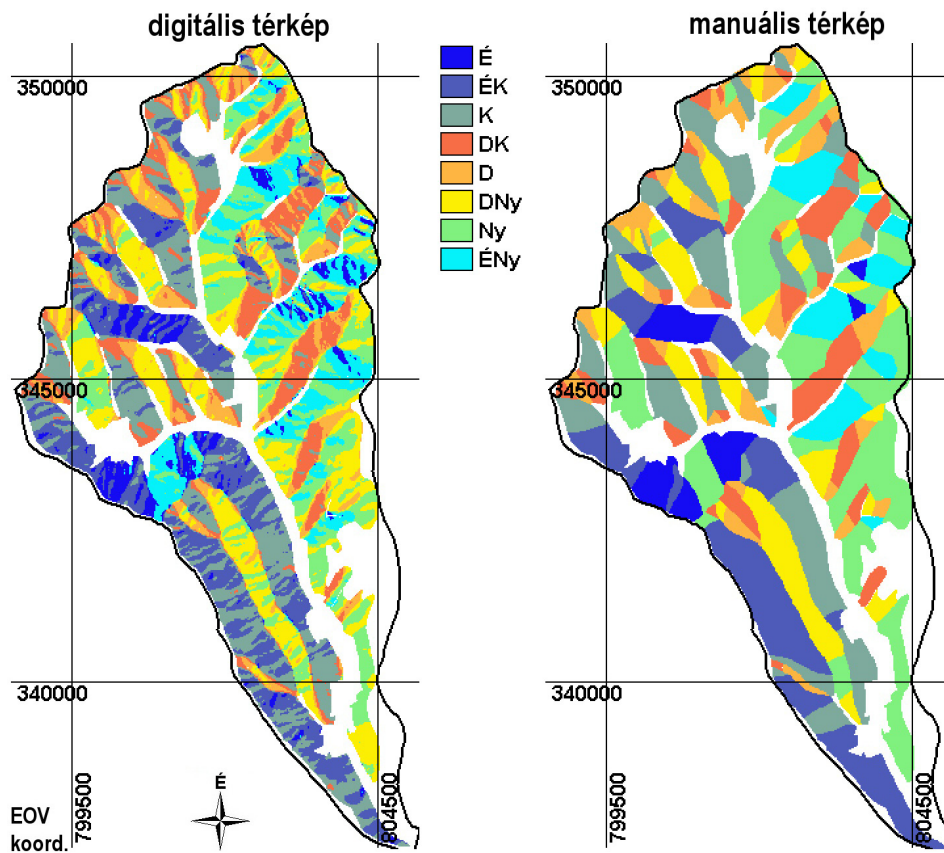
A 35. ábráról leolvasható, hogy az eltérő pixelek többsége mindkét eloszlásfüggvény esetében a lankásabb lejtőknél (< 12%) fordul elő. Ennek oka a lankás területeken található kevesebb szintvonalban keresendő. Digitális módszerrel létrehozott adatbázisnál a kis lejtőszög esetén is egyértelmű a besorolás, viszont a manuális módszernél sokszor a kevés szintvonal a szerkesztő számára bizonytalanná teszi a besorolást. Ugyancsak jól látszik az ábrán, hogy a különbségek a kiválasztott lejtőkategóriák határértékei közelében (5, 12, 17, 25%) érik el a maximumokat (mindkét ábrán 4 esetben). Ez azt mutatja, hogy a manuális feldolgozásnál a kategória-határok közelében halmozódnak a besorolás bizonytalanságai, azaz a szerkesztő számára a kategóriák határai nem annyira szigorúak, mint a digitális feldolgozás esetén.

Az összehasonlítások másik konklúziója, hogy a manuális szerkesztő a nagyobb kiterjedésű viszonylagosan egységes lejtésű területeken belül nem mindig különítette el az adott kategóriától kis mértékben eltérő meredekségű foltokat (36. ábra). A szoftveres eljárás során viszont még a legapróbb (akár csak egy pixelből álló) foltok is megmaradnak, és belekerülnek a statisztikába.



36. ábra. Digitális és manuális módszerrel készített lejtőkategória-térképek a mintaterület egy kis részletéről.

A lejtőkategóriák kiterjedésének összevetése mellett a fenti vizsgálatokat elvégeztük a lejtőkítettségi térképeknél is. A manuális módszer alkalmazásakor az operátor a leglankásabb völgytalpi területeket nem sorolta kítettségi kategóriákba, így a 44, 83 km²-es mintaterületen a kategorizált összterület 36,63 km². A kétféle módszerrel készített kítetség-térképeket a 37. ábra mutatja.



37. ábra. Digitális és manuális módszerrel készített lejtőkítetség-térképek.

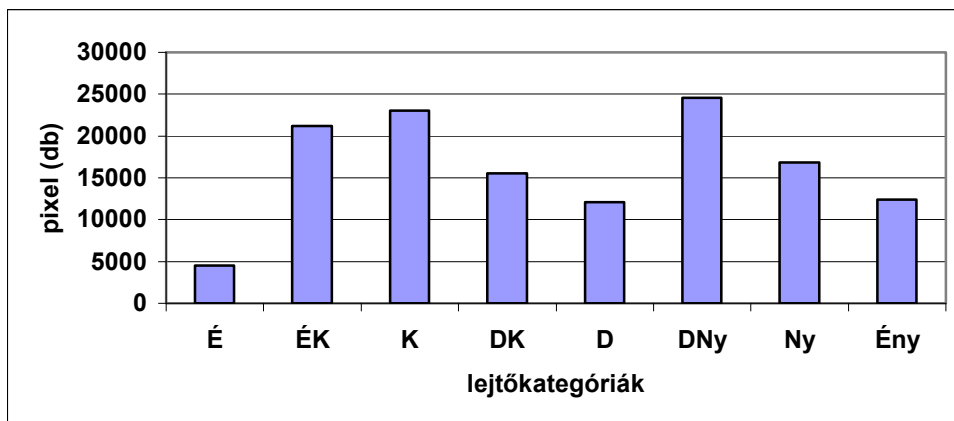
Az eredmények összehasonlítása azt mutatja, hogy a mintaterület 55,7%-án (20,43 km²) a kétféle módszer eredménye teljesen megegyezik. További 13 km²-en (az összterület 35,52%-án) az eltérés csak egy kategóriányi volt. Jelentős eltérés (azaz egynél több kategória) 3,2 km² (8,7%) területen adódott. A kapott eredmények szinte pontosan megegyeznek a lejtőka-

tegoriák esetében kiszámítottakkal. A két vizsgálat során kimutatott százalékos területi megoszlásokat a 7. táblázat mutatja.

7. táblázat. Az egyezések és eltérések százalékos megoszlásai a lejtőkategóriáknál és a lejtőkiettségeknél.

	Lejtőkategória-térkép (%)	Lejtőkiettség-térkép (%)
Teljes egyezés	56,8	55,7
Kis eltérés	36,9	35,5
Jelentős eltérés	6,2	8,7

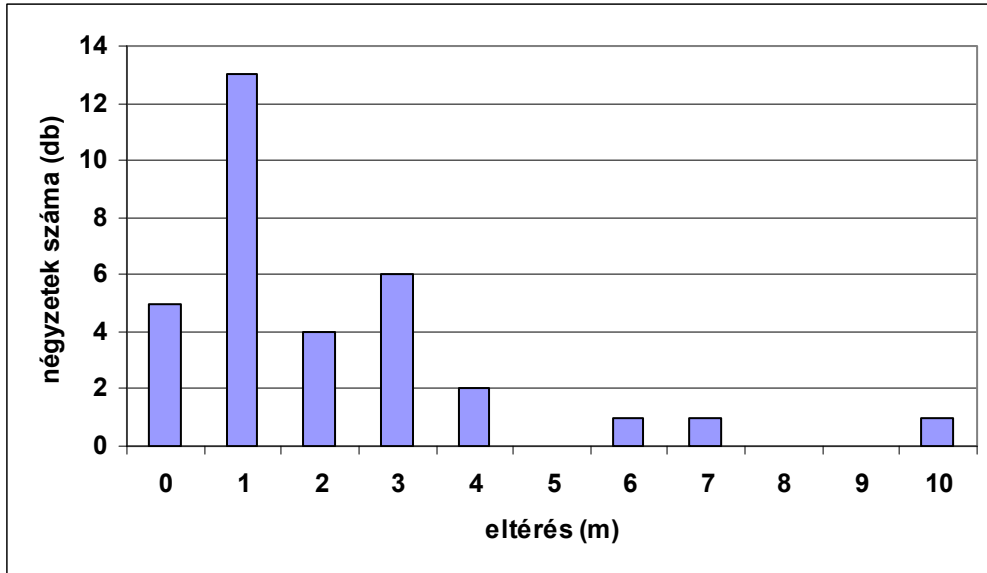
A kiettségek esetében is megvizsgáltuk, hogy az eltérések jobban köthetők-e valamely kategóriához, mint a többihez. Az eredményeket a 38. ábra mutatja.



38. ábra. Az egy kategóriányi eltérést mutató pixelek lejtőkiettségei.

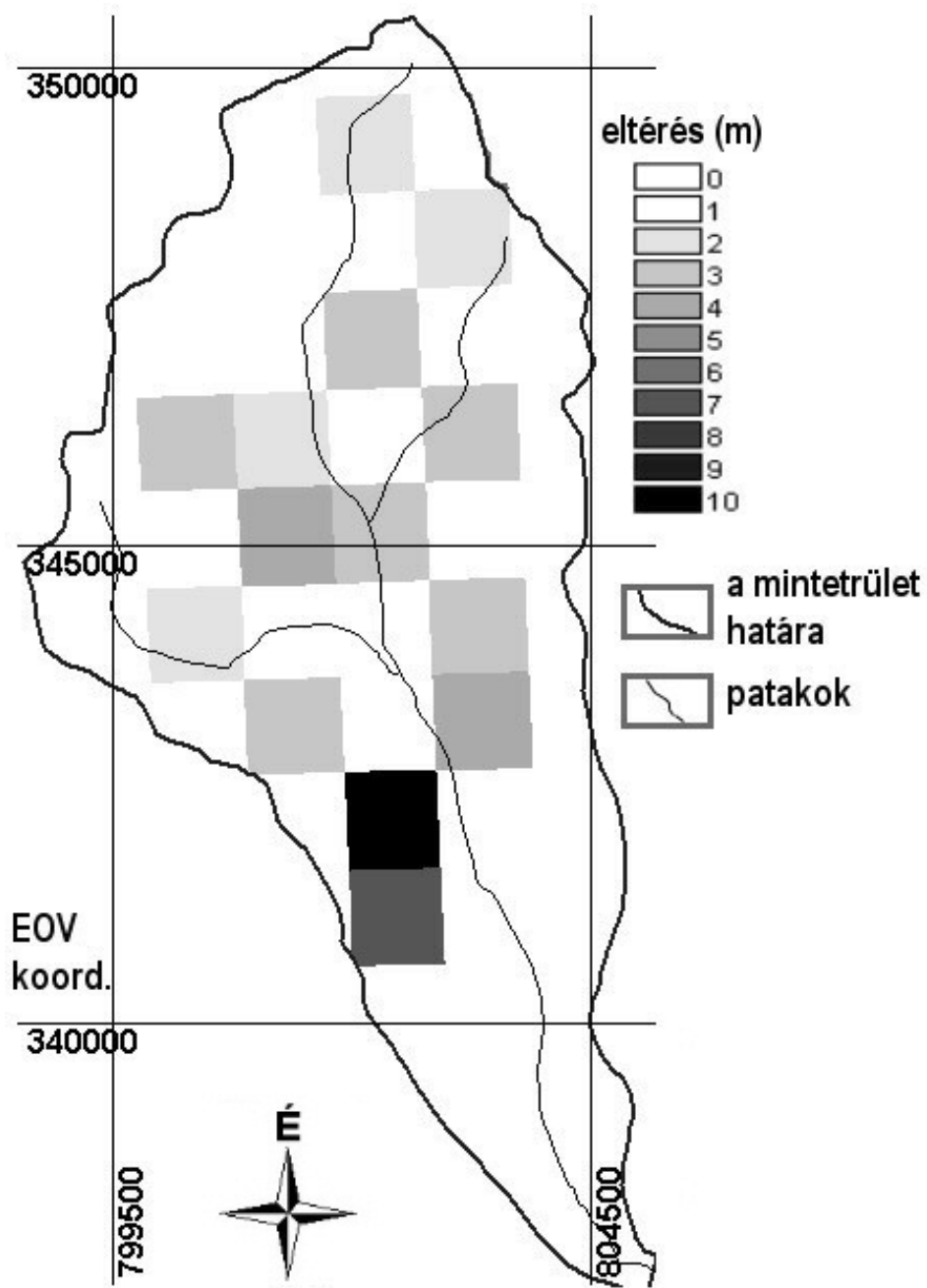
Az ábra alapján megállapítható, hogy – ellentétben a lejtőkategóriákkal – nem határozható meg kitüntetett kiettség. A keleties és nyugatias kiettségek magasabb aránya megmagyarázható a terület völgyoldalainak ilyen irányú felülreprezentáltságával.

A geomorfológiai kutatásokban sokszor használt relatív relief térképen is megvizsgáltuk a manuális és a digitális módszerek közötti eltérések mértékét. Az eredmények alapján szerkesztett diagramot a 39. ábra mutatja.



39. ábra. A kétféle módszerrel készített relatív relief térképek négyzeteinek eltérései

Megállapíthatjuk, hogy a két térkép közötti eltérések leggyakrabban 1–3 méteresek. Mivel az eredetileg használt 1:25 000 alaptérkép alapszintvonalai 5 méterenként követik egymást, így az ennél az értéknél kisebb eltérések adódhattak a sűrűbb szintvonalakat tartalmazó területeken a pontatlan magasságmeghatározásból. Az egyetlen komoly eltérés (10m) (40. ábra) nagy valószínűséggel ugyancsak az operátor által hibásan meghatározott magassági szélsőértékek következménye.



40. ábra. A kétféle módszerrel készített relatív relief térképek eltérései.

3.2. A műholdas helymeghatározással kapcsolatos vizsgálatok eredményei

3.2.1. A műholdgeometria hatásának vizsgálata a pontosságra

Az átlagos PDOP mindkét mintaterületen alacsony, 2.8 volt, így elméletileg a műholdgeometria nem gyakorol észlelhető hatást a pontosságra. Annak ellenőrzésére, hogy biztosan belül vagyunk-e a szükséges küszöbértéken, korrelációt végeztünk a PDOP értékek és az ugyanezen méréshez tartozó távolság–hibák között (8. táblázat). Elvégeztük ugyanezt a korreláció-számítást a HDOP (Horizontal Dilution of Precision) és a távolság-hibák között is (8. táblázat). Mivel a legjobb korrelációs együttható értéke sem éri el a 0.3-et, sem a HDOP sem a PDOP változásának gyakorlatilag nincs számottevő hatása a pontosságra e mérések keretein belül.

8. táblázat. A PDOP, HDOP, és a távolság-hibák közötti korrelációs együtthatók értékei.

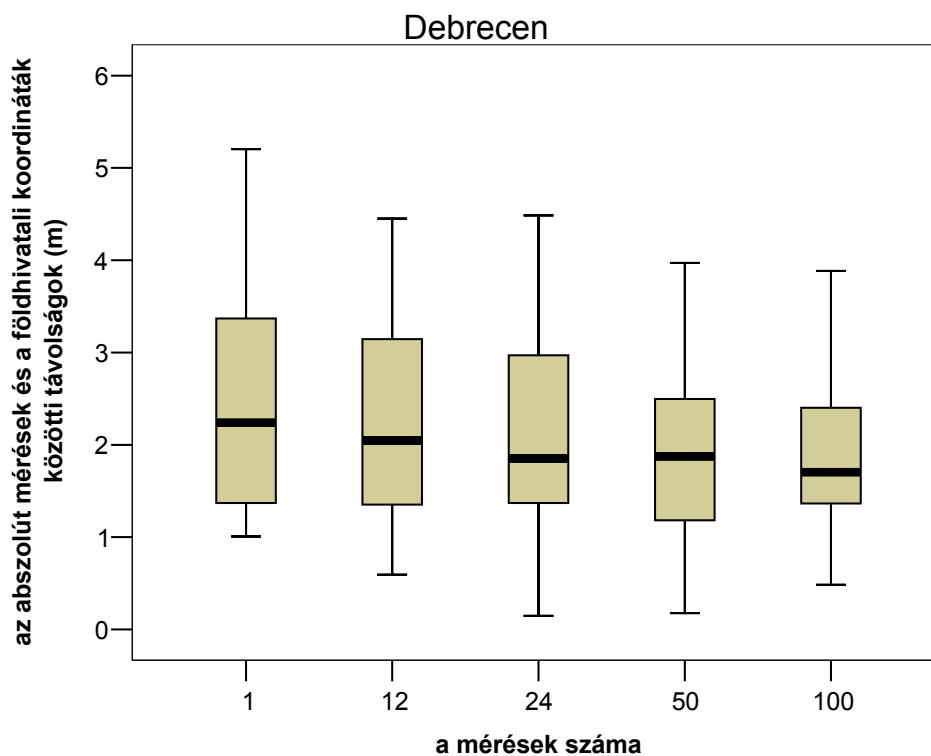
	PDOP	HDOP
távolság-hibák (Debrecen)	0,058	0,028
távolság-hibák (Nagykőrös)	0,19	0,24

3.2.2. A két mintaterületen végrehajtott abszolút és relatív mérések eredményei

A debreceni mintaterületen található pontok pozíció–hibája abszolút mérés esetén átlagosan 2,23m, a legkisebb hiba 0,15m, a legnagyobb eltérés pedig 5,2m. Ez utóbbi érték magasabbnak számít a vártnál, de alapvetően az abszolút mérés támasztotta követelmények szempontjából a kapott eredmények jól illeszkednek a szakirodalom adataihoz (Ádám J. et al. 2004., Talács B., internet hiv., 2005, Parkinson, B.W. – Spilker, J.,J. 1996).

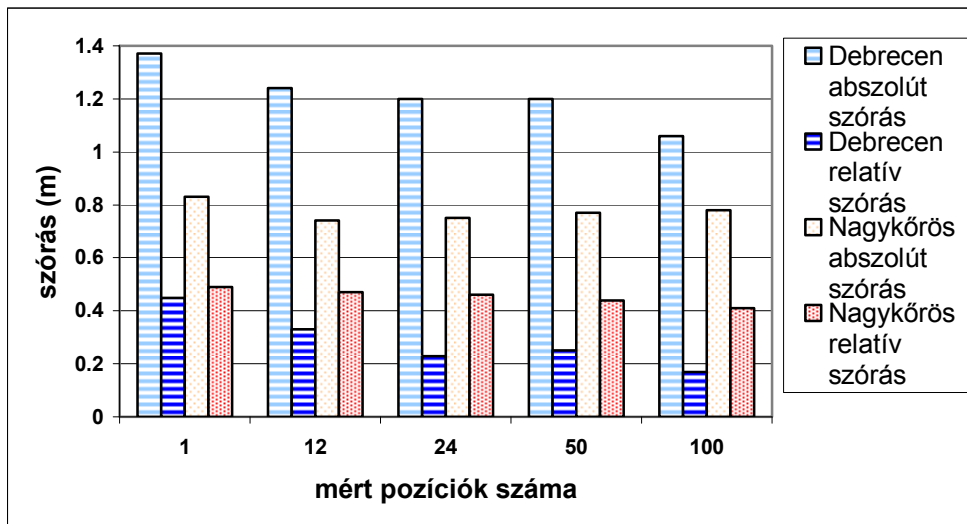
A gyűjtött minta számának emelkedésével – bár a szélső értékek intervalluma várható módon hasonló marad – az interkvartilis féltérjedelem tartományok egyre szűkülő, a medián értéke pedig egyre csökkenő tendenciát mutatnak, vagyis az átlagos hiba egyre kisebb (41. ábra). Az öt mérés-idő eredményeit közelebbről megvizsgálva megállapítható, hogy az első

három mérés során a medián értéke folyamatosan csökken, ettől kezdve az értéke pedig jelentősen nem változik, csak az interkvartilis félterjedelem csökken folyamatosan, vagyis az egyre növekvő számú méréseknél egyre több olyan koordináta gyűlik, melyek eltérése átlagos, így csökkentik az extrém eltérések súlyát az átlagpont koordinátájában.



41. ábra. A Debrecen környéki mintaterületen mért és földhivatali pozíciók különbségeinek mediánjai, interkvartilis félterjedelmei, és szélső értékei abszolút mérés esetén

Az átlagos szórás 1,2 m. A különböző időtartamú mérések eredményeit külön megvizsgálva azt találtuk, hogy az a mért pontok számának növekedésével először jelentősen csökken, majd a 24 mintás méréstől lényegében azonos szinten marad, 100 minta esetén pedig tovább csökken (42. ábra).

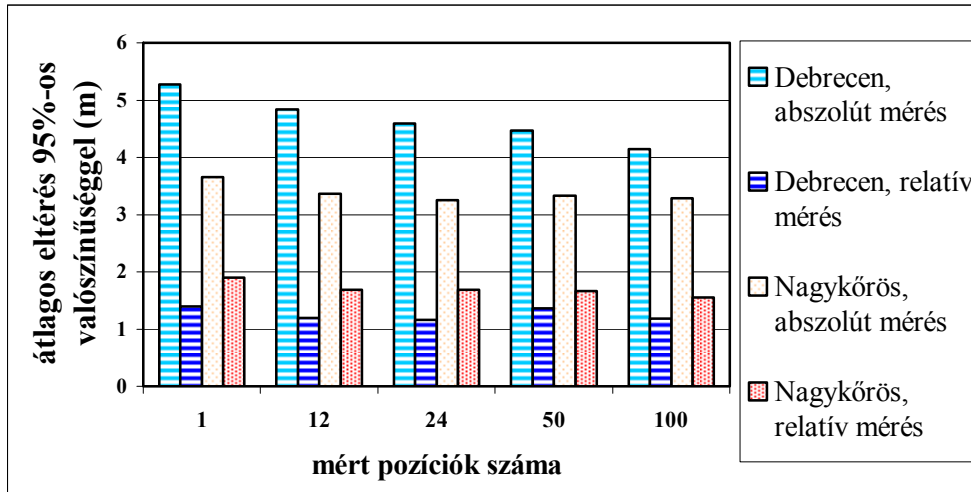


42. ábra. A mintaterületeken mért és földhivatali pozíciók különbségeinek szórásai.

Az adatsort statisztikai vizsgálatban normáleloszlásúnak találtuk. Elmondható, hogy méréseink kétharmadának legnagyobb várható átlagos eltérése $2,23 + 1,2 = 3,43$ méter. A szórás értékét kétszeresen figyelembe véve 95%-os valószínűség mellett abszolút mérés esetén ugyanez az érték 4,66 méter.

Mivel ez az érték az ötféle időtartamú mérés-típus átlagaként adódott, célszerű megvizsgálni azokat külön is. Így megadhatjuk, hogy 95%-os valószínűséggel mekkora a legnagyobb várható eltérés a mérés során a referenciától az egyes kategóriákban (43. ábra). Egy pozíció rögzítésénél ez 5.27m, a felvett pontok számának emelkedésével értéke folyamatosan csökken, és a leghosszabb időtartamú, 100 pozíció esetén lesz a legkisebb, 4.14m.

A differenciális korrekció elvégzése után az átlagos hiba kevesebb, mint harmadára (0,68m) esett vissza. A legkisebb eltérés értéke gyakorlatilag nem változott (0,16 m), de a legnagyobb eltérés jelentősen csökkent (1,52 m).

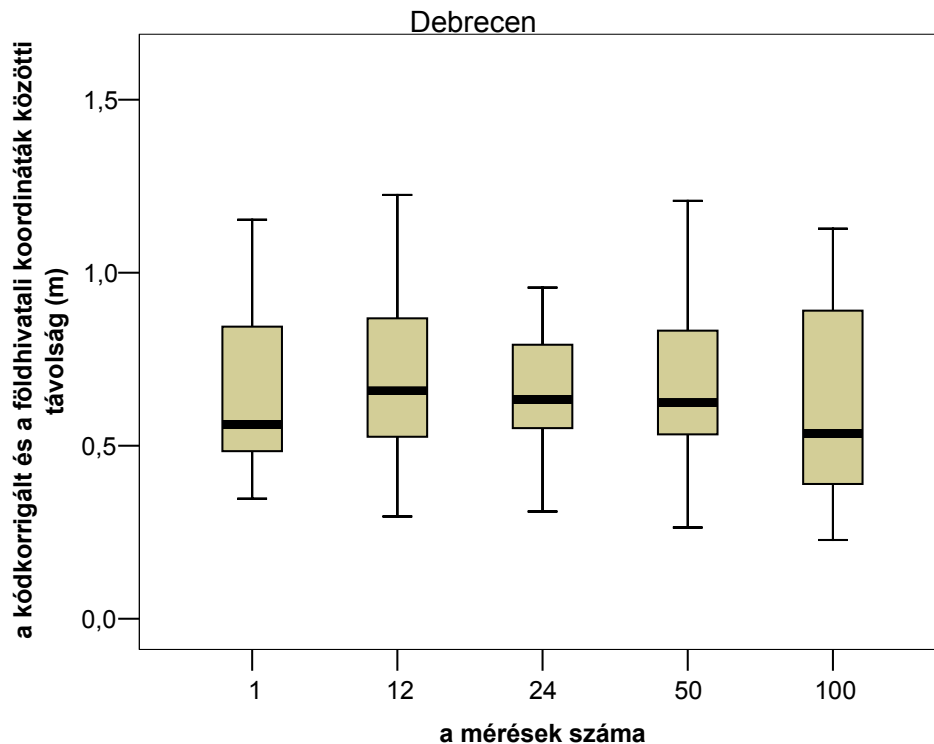


43. ábra. A legnagyobb várható átlagos eltérés a mintaterületeken abszolút és relatív mérés esetén (valószínűségi szint: 95%).

A hiba mértékét az öt méréstípus esetén vizsgálva a mért értékek sokkal egyveretűbbek lettek (44. ábra). A mediánok és az interkvartilis félterjedelmek értékei is jelentősen csökkentek, de ez utóbbi nem a 100 pozíciót tartalmazó méréseknél éri el minimumát. Megemlítendő továbbá, hogy a legnagyobb értékek sem az egy, hanem a 12 pozíciót tartalmazó mérésekhez köthetők.

A szórás átlagos értéke kevesebb, mint negyede (0,29m, 24%) az abszolút mérésnél tapasztaltnál. Mérés-típusonként elemezve az megállapítható, hogy a mért pozíciók számának növekedésével értéke folyamatosan csökken, bár az 50 pozíciós mérésnél enyhe emelkedést mutat (42. ábra).

A 95%-os valószínűséggel számított legnagyobb várható átlagos eltérés 1.26 méter, tehát differenciálás során végbement csökkenés mértéke 73%. Mérés-típusonként vizsgálva értéke alapvetően csökkenő tendenciájú, de minimumát a 24 pozíciót rögzítő mérésnél éri el (43. ábra).



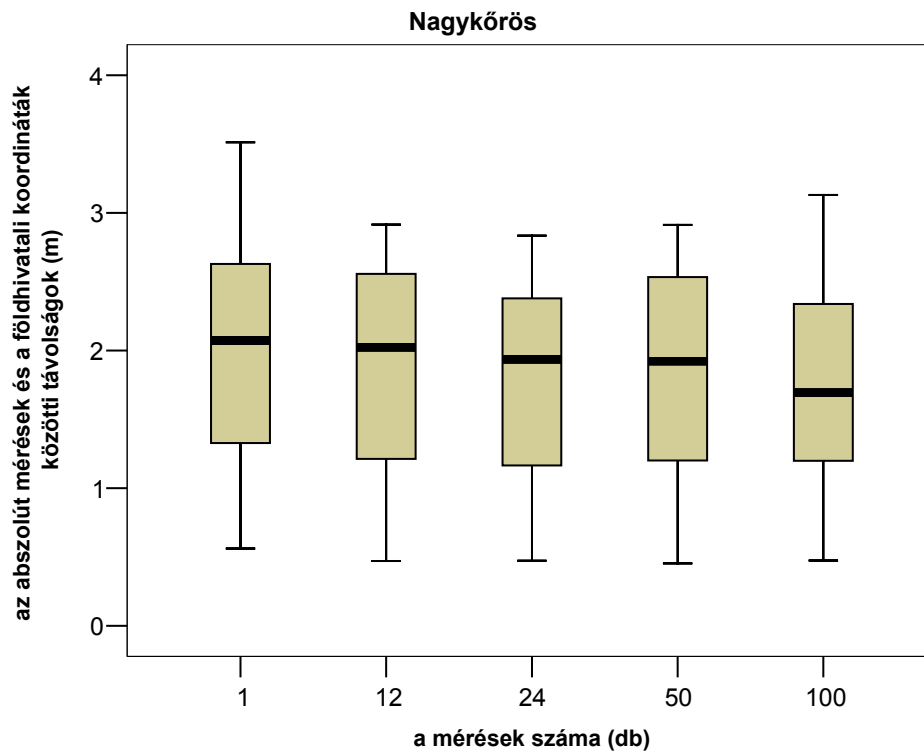
44. ábra. A Debrecen környéki mintaterületen mért és földhivatali pozíciók különbségeinek mediánjai, interkvartilis félterjedelmei, és szélső értékei relatív mérés esetén

Összevetve a 42. és 43. ábrát látható, hogy a szórások, valamint a kétszeres szórás és az átlagos távolságok összegei (vagyis a legnagyobb várható átlagos eltérés) jól egyező trendet mutatnak: míg az abszolút mérés esetén értéke viszonylag magas és folyamatosan csökken, a differenciális korrekció után mértéke drasztikusan csökken, és kevésbé függ a felvett pozíciók számától (1poz.:1.4 – 100 poz.:1.18).

A nagykőrösi mintaterületen felvett pontok pozíció-hibája abszolút mérésnél átlagosan 1.83 méter, tehát alacsonyabb a debreceni mintaterületek átlagértékénél, de a legkisebb eltérés (0.45m) többszöröse a Debrecen környékén felvett pontok minimális hibájánál. A legnagyobb eltérés viszont alacsonyabb, 3.51 méter.

Mérés-típusokra bontva az interkvartilis félterjedelmek és mediánok értékét megállapítható, hogy a gyűjtött pontok számának növekedésével mindkét érték összességében csökkenést mutat (45. ábra), bár az

interkvartilis félterjedelmek tendenciája a debreceni mintákhoz viszonyítva kevésbé egyértelmű. Ennek oka véleményünk szerint az eleve kisebb átlagos pozíció-hibában kereshető.



45. ábra. A Nagykőrös környéki mintaterületen mért és földhivatali pozíciók különbségeinek mediánjai, interkvartilis félterjedelmei, és szélső értékei abszolút mérés esetén

Az átlagos szórás 0.76m, tehát az adatok zöme kevésbé tér el az átlagos hibától, mint a debreceni mintáknál.

Megvizsgálva a szórást úgy, hogy a különböző időtartamú mérés-típusokat különválasztjuk, megállapítható, hogy a kezdeti csökkenés után az értékek a hosszabb idejű méréseknél újra emelkednek (42. ábra), bár mindent a debreceniekhez képest jóval alacsonyabb értékeken teszik, amit már az átlagos szórások összevetése is megmutatott. A legkedvezőbb szórást a 2 perces (24 pozíció) mérés esetén kaptuk (0.74m).

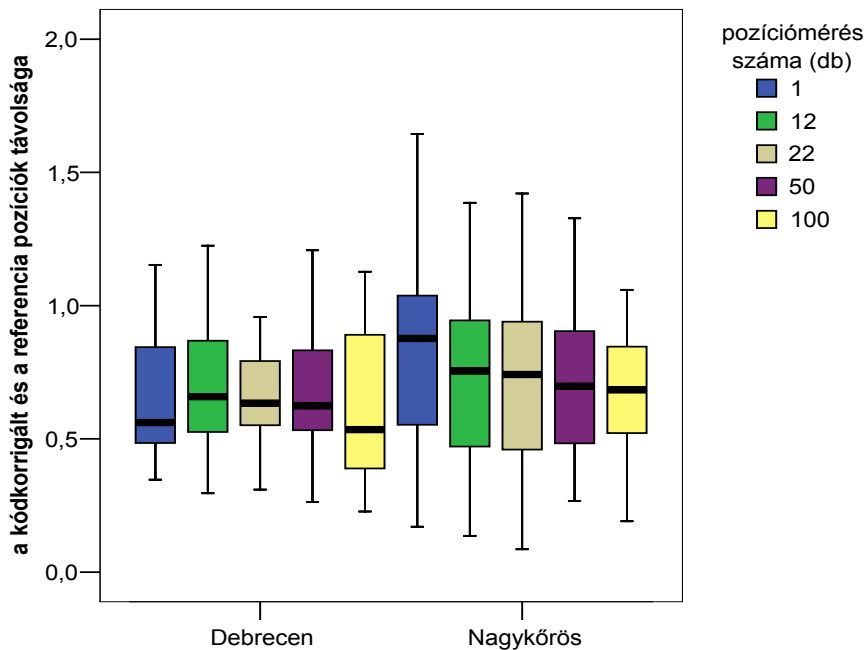
A legnagyobb várható átlagos eltérés 95%-os valószínűségnél 3.36m, tehát a debreceni mintaterületen számítottnál 1.3 méterrel kisebb.

Mérés-típusokra bontva a legmagasabb értéket az 1-pozíciós mérésnél kapjuk (3.65m). Több pozíció rögzítésénél értéke először csökken, majd gyakorlatilag nem változik, 3.3m körül ingadozik (43. ábra).

A differenciális korrekció elvégzése után a hiba átlaga kevesebb, mint felére (0.79m) esett vissza, de nagyobb maradt a debreceni differenciált átlagértéknél, bár a legkisebb hiba esetében a debreceni pozíciókénál jobb az eredmény (9cm). A legnagyobb hiba esetében (2.2 m) viszont jelentősen rosszabb eredményt kaptunk a debreceni adatokhoz képest.

Méréstípusokra bontva ezeket az értékeket (46. ábra) megállapíthatjuk, hogy a mediánok értéke a pozíciómérések számának növekedésével csökken, vagyis az átlagos hibák egyre kisebbek. Ugyanez mondható el az interkvartilis félterjedelmekről is (46. ábra).

Összevetve a két mintaterület fenti értékeit, láthatjuk, hogy a bázisállomáshoz közelebbi, vagyis a debreceni mintaterületen mért mediánok minden esetben alacsonyabbak a nagykőrösi mintaterület értékeinél (46. ábra). Az interkvartilis félterjedelmek már nem adnak ennyire egységes képet, bár a legszűkebb hibatartomány a debreceni mérésekhez tartozik.



46. ábra. A két mintaterületen mért és földhivatali pozíciók különbségeinek mediánjai, interkvartilis félterjedelmei, és szélső értékei relatív (kód-) mérés esetén.

Az átlagos szórás az abszolút méréshez hasonlítva csökkent (0.45m), de jóval kevésbé (58%), mint a debreceni minták esetében, értéke pedig 50%-kal magasabb mint a bázisállomáshoz közelebbi területé. A felvett pozíciók számának növekedésével a szórás értéke folyamatosan csökken. Az abszolút mérésnél megfigyelt csökkenés majd növekedés nem figyelhető meg (42. ábra).

A legnagyobb várható átlagos eltérés 95%-os valószínűségnél 1.69 m, ami azt mutatja, hogy a korrigált pozíciók pontossága elmarad a bázisállomáshoz közelebb található mintaterülethez képest.

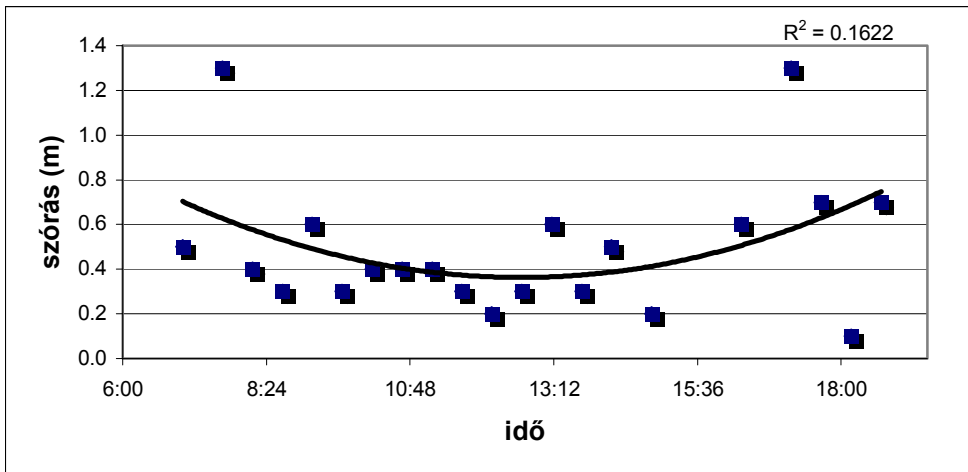
A legnagyobb várható, 95%-os valószínűséghez tartozó, átlagos eltérést méréstípusonként külön-külön vizsgálva (43. ábra) annak értéke alapvetően csökkenő tendenciát mutat (1.9-ről 1.55-re). Értéke az első (1 pozíció) és második (12 pozíció) méréstípus között változik a legtöbbet (1.9-ről 1.69-re), a hosszabb idejű mérések között összességében a csökkenés mértéke nem jelentős. Összevetve a debreceni mintaterületen kapottakkal, a nagykőrösi méréseknél átlagosan 35%-kal magasabb értéket kapunk a legnagyobb várható átlagos eltérésre. A két mintaterület között a legnagyobb különbséget a 24-pozíciós mérésnél tapasztaltuk (0.53m, 46%), a legkisebb eltérés pedig az 50-pozíciós méréshez köthető (0.31m, 23%).

3.2.3. A 12 órás mérés eredményei

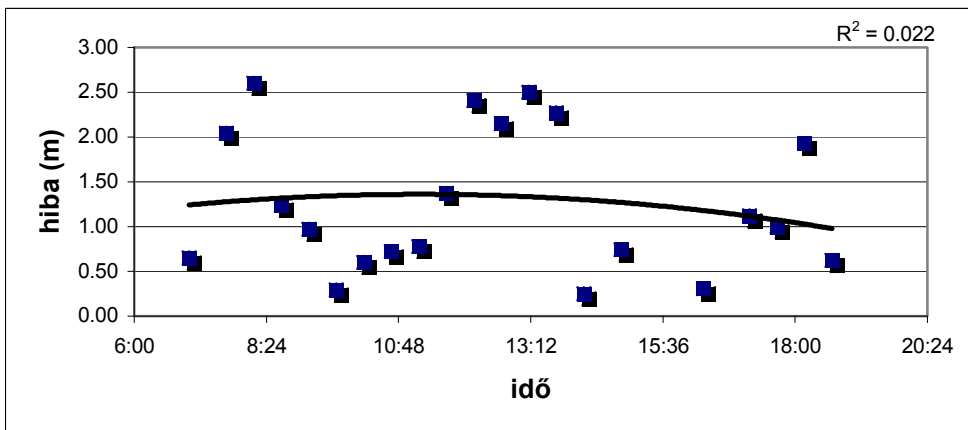
A 69-2388 GPS alappont esetében egy 12 órás mérés-sorozatot végeztünk, óránként 20 perces mérések végrehajtásával. Célunk az ionoszféra hatásának kimutatása volt a mérés pontosságára. A mérés eredményeit a 47. és 48. ábrák mutatják. A szórás értékeit a 47. ábrán láthatjuk. Mivel az ionoszféra elektron tartalma délben a maximális (Ádám J. et al., 2004, A.P.M. Chiaradia et al., 2003), a hibának és a szórásnak is ekkor kellene a legnagyobbak lenni.

A szórás értékét az idő függvényében vizsgálva megállapíthatjuk, hogy méréseinknél az nem követi az ionoszféra állapotát (47. ábra). A trendvonal futásából egy, az előbbi elmélethez képest ellentétes lefutású folyamatra következtethetnénk, de a determinációs együttható értéke rendkívül alacsony ($R^2 = 0.1622$), így a trendvonal futása nem tükrözi a valós adatokat (a trend típusa polinomos, más típust választva még kisebb R^2 értékeket kaptunk).

A hiba értékeit az idő függvényében vizsgálva a szórásértékeknel még változatosabb képet kapunk (48. ábra). Trendvonalat illesztve az adatokra az elméletihez közelítő eredményt kapunk. A determinációs együttható értéke azonban ebben az esetben is nagyon alacsony ($R^2 = 0.022$), ezért nem fogadható el valós trendként.



46. ábra. A szórásértékek a 12 órás mérések során



47. ábra. A hiba értékei a 12 órás mérések során

A mérések során a PDOP és HDOP értékek igen alacsonyak voltak, de elkerülendő az eredmények esetleges torzulását, ennél a mérésorozatnál is megvizsgáltuk a szórás és a műholdgeometria korrelációját. A vizsgálat kimutatta, hogy nincs összefüggés a műholdgeometria és a szórásértékek

között (HDOP: 0.353, PDOP: 0.092). Kiszámítva a hiba és a műholdgeometria korrelációját szintén nagyon alacsony értékeket kaptunk (HDOP: -0.214, PDOP: -0.092).

Hasonló vizsgálatokat végzett *D.L. Wilson (internetes hiv., 2005.)*. Hús napos mérés átlagaként kimutatható volt a napszak hatása, de a cikk megjegyzi, hogy további vizsgálatokra van még szükség az eredmények megerősítéséhez.

Összefoglalva a fenti vizsgálatok eredményeit, a következő megállapításokat tehetjük.

Az alkalmazott eszköz méréstartományában az ionoszféra napszakonkénti elektrontartalom-változása nem okoz észrevehető változást a mérési hiba nagyságában, köszönhetően a felhasznált globális ionoszféra-modellnek.

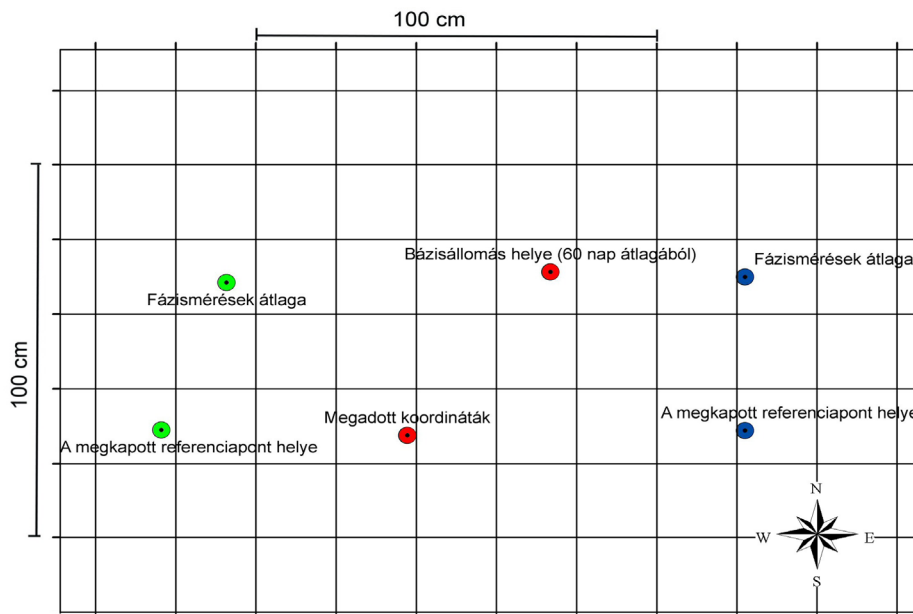
Megfelelően alacsony PDOP értékhatárt választva, az alkalmazott műszer esetében a PDOP érték változása sem módosítja a mérési pontosságot a műszer méréshatárán belül.

A PDOP érték megfigyelésével és a mérés folyamán alacsony szinten tartásával tehát a műholdgeometria kedvezőtlen hatásai jórészt kiküszöbölhetők, ezáltal csökken a mérés során potenciálisan előforduló, a pontosságot csökkentő tényezők száma.

3.2.4. A bázisállomás pozícióhibájából származó eltérés korrigálása

A 12 órás mérés során 19 darab 20 perces statikus fázismérést végeztünk a 69-2388-as számú OGPSH ponton. A bázisállomás adataival való összesítés során egyértelmű eltérés adódott a pozícióban, melynek forrása vagy az OGPSH pont, vagy a bázisállomás koordinátáinak pontatlansága lehetett. Feltételezve, hogy a hiba nem a bázisállomás pozíciójában van, egy másik OGPSH pont felett – 69-2064 (Kamarás-halom) – is végeztünk, 1 db. 35 perces, valamint 1 db. 40 perces statikus fázismérést. A mérések időtartamát és módját *Ádám et. al. (szerk.) 2004.* alapján végeztük. Az eredményül kapott pontok átlagpozícióját kiszámítva ugyancsak eltérés adódott a FÖMI által megadott OGPSH koordináta és az általunk mért koordináták között. A 69-2388 számú OGPSH ponton további 2 db. 40 perces statikus fázismérés is történt. Megrajzolva a háromszögelési pont FÖMI által megadott és az általunk mért koordinátái közti vektorokat, azok iránya és hossza közel megegyezőnek adódik. E két pont mérési eredményéből egyértelműen

kiderült, hogy a bázisállomás ismert pozíciójában valamekkora elcsúszás van. Ennek meghatározására átlagoltuk a bázisállomás által folyamatosan gyűjtött pozíciók utolsó 60 napi méréseit, majd azt összevetettük a 15 évvel ezelőtt meghatározott bázisállomás–pozícióval. Megszerkesztve a két koordináta közti vektort, annak iránya és hossza jól illeszkedik a két OGPSH pontnál szerkesztett vektorral (49. ábra).



49. ábra. A két OGPSH referenciaponton (zöld: Kamarás-halom, kék: 69-2388), valamint a bázisállomáson (piros) történt mérések összegzett hibái egymás mellé csúsztatva a pontpárokat.

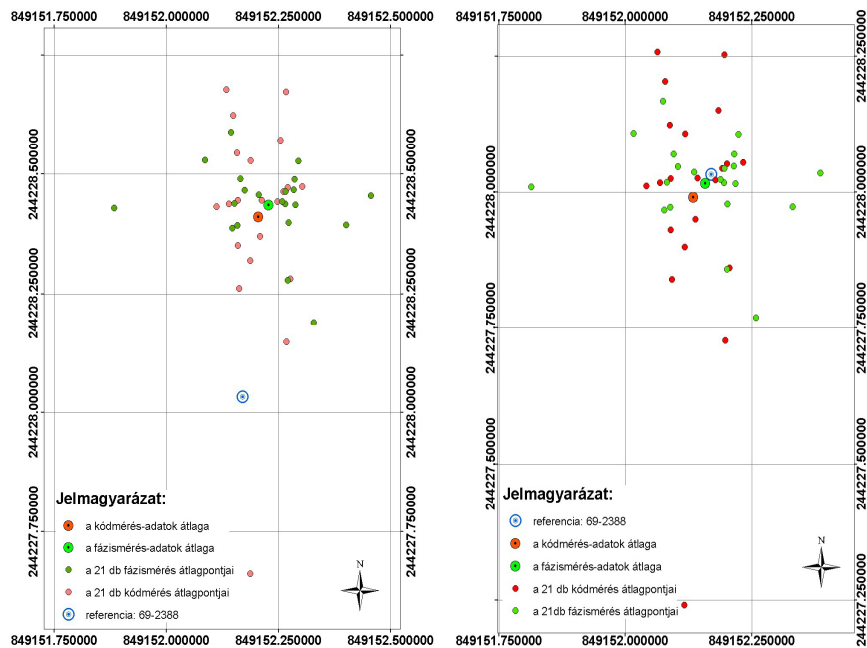
Táblázatban összefoglalva az eltéréseket, megadhatunk egy átlagos eltérést (9. táblázat). Ennek értéke az X tengely mentén: 7cm nyugat felé, az Y tengely mentén pedig 42,75 cm dél felé.

A kapott értékeket felhasználtuk a 12 órás méréssorozat eredményeinek korrigálásához. A pozíciókat a fentiek szerint eltoltuk, és összevetettük az eredetiekkel.

9. táblázat. Az OGPSH pontokon, valamint a bázisállomáson történt pozíciómérések és a referenciaadatok eltérései

Megnevezés	EOV Y irányú eltérés (cm)	EOV X irányú eltérés (cm)
Bázisállomás	-36	-44
69-2388 – 19 * 20perc mérés	0	-41
69-2388 – 2 * 40 perc mérés	-6	-46
69-2064 (Kamarás-halom)	-16	-40
Átlagos eltérés	-7	-42,75

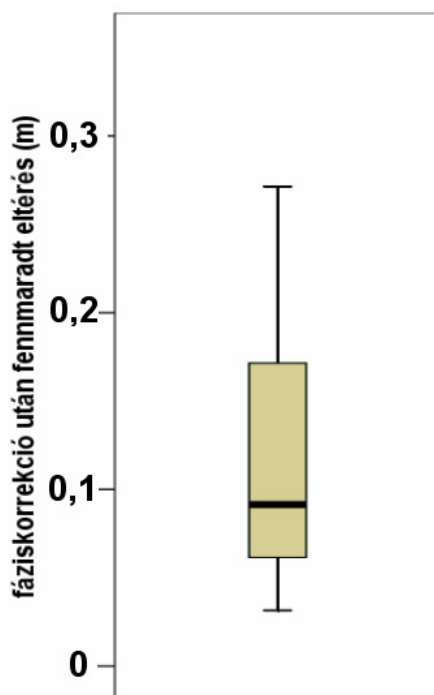
Térképen ábrázolva az eltolás előtti és utáni állapotot egyértelműen leolvasható, hogy az eredeti pozíciók a referencia ponttól távol helyezkednek el, míg az új koordináták hozzávetőlegesen szimmetrikus rajzolatot mutatnak (50. ábra).



50. ábra. A 12 órás méréssorozat pozíciói a bázisállomás korrekciója előtt és után

Mivel mind a 19 db. fáziskorrigált mérést bevontuk a bázishiba korrigálásába, elsődleges ellenőrzésre történő felhasználásuk nem lenne megengedhető. Az abszolút mérés pontjainak elhelyezkedése azonban a megadott OGPSH referencia körül az eltolás vektorának pontosságát jelzi.

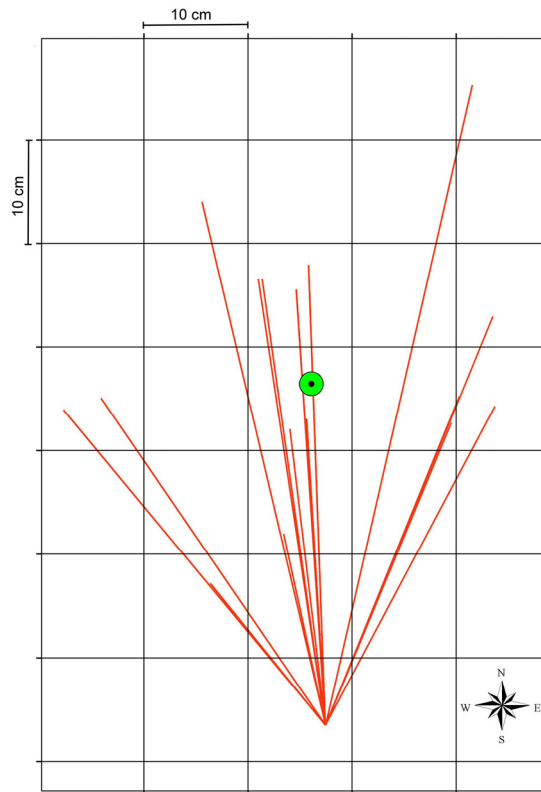
A 12 órás mérés korrigált bázispozícióval készült eredménye a 51. ábrán látható sodrófa-diagram. A korrigált pozíciók átlagos eltérése 12cm, a legkisebb eltérés 3cm, a legnagyobb pedig 35cm. A statisztika alapján az eltérések döntő többsége a „deciméteres” (5cm – 20cm) tartományba esik.



51. ábra. A 12 órás mérés pozíció-eltérések mediánjai, interkvartilis félterjedelmei és szélső értékei a fáziskorrekció után.

A továbbiakban feltételeztük, hogy ha valóban a bázisállomás pozíciója került pontatlanul meghatározásra, annak kimutathatónak kell lennie a Debrecen környékén felvett háromszögelési pontok statikus fázisméréssel meghatározott, valamint a Hajdú-Bihar Megyei Földhivatal által rendelkezésre bocsátott koordináták esetében is. Ezért a fenti pontoknál megszerkesztettük a mért és megadott koordináták közötti hibavektorokat. Az ered-

mény jól mutatja ugyanazt az eltérést, melyet az OGPSH pontok esetében már kimutattunk (52. ábra).

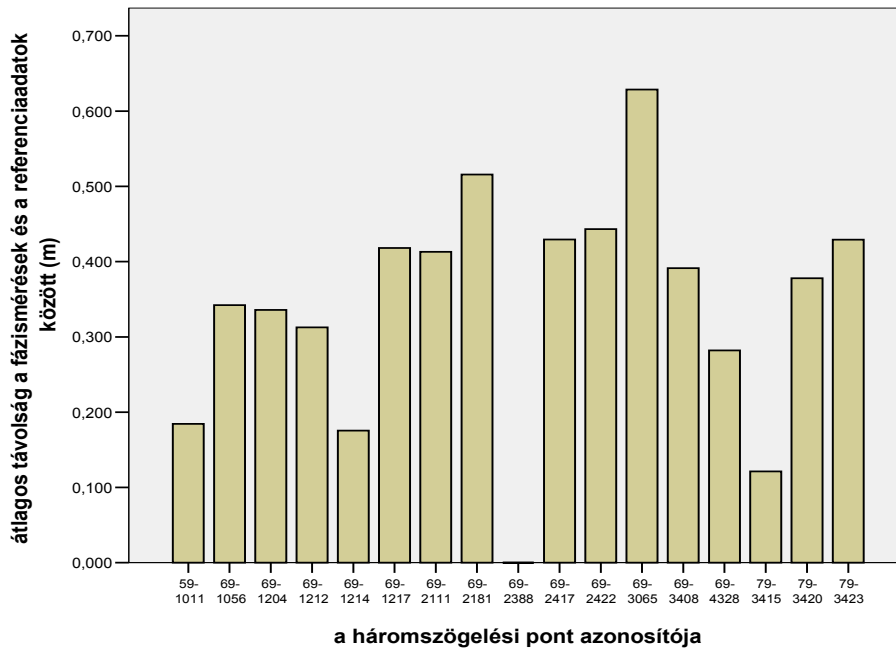


52. ábra. A bázishiba miatti ponteltolódások vektorai egymásra vetített kezdőpontokkal, valamint a végpontok átlagpozíciójával(⊙).

Átlagolva a vektorok végpontjainak koordinátáit, meghatározható egy átlagos eltérést jellemző vektor. Ennek hossza 32 cm-nek adódott, iránya pedig megközelítőleg északi (52. ábra). Az átlagolt vektor iránya pontosan, hossza pedig jó közelítéssel illeszthető a fázisméréssel meghatározott eltérésekhez, a korrigálásához azonban ez utóbbi adatot nem vettük figyelembe. Ennek oka az, hogy a mérésekhez használt pontok – bár geodéziai háromszögelési pontok – nem részei az OGPSH hálózatnak, így helyzetük nagy pontosságú meghatározása nem is történt meg GPS módszerrel.

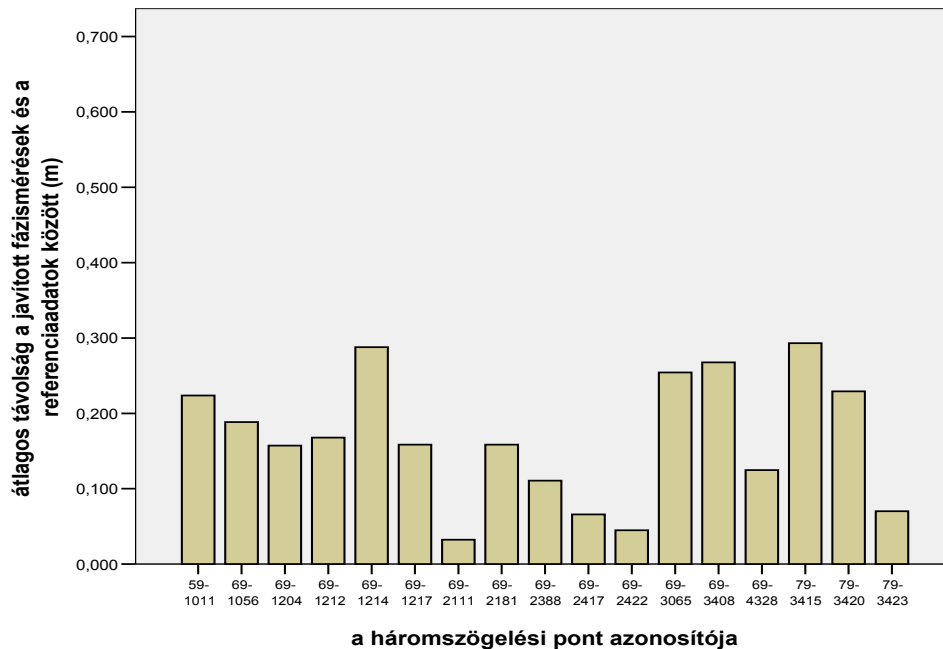
A következőkben összevetettük minden egyes Debrecen körül felvett háromszögelési pont fáziskorrigált pozícióinak valamint a földhivatali koordinátáinak az átlagos távolságát (53. ábra). Egy pont esetében (69–2388) a

két koordináta távolsága gyakorlatilag nulla (tehát az általunk mért pozíció megegyezett a földhivatali pozícióval), a maximális eltérés jelentős mértékű, meghaladja a 60 cm-t (69–3065, 63cm), és az átlagos eltérés is magas, 34cm.



53. ábra. A fázisméréssel meghatározott, valamint a Földhivaltól kapott pozíciók átlagos távolsága a Debrecen környéki mintaterületen.

A bázisállomás koordinátáinak korrekciója után újrászámítva az egyes háromszögelési pontok földhivatali és fázisméréssel kapott pozícióinak átlagos távolságait (54. ábra), látható, hogy a legnagyobb eltérés sem éri el a 30 cm-t (79–3415, 29cm), az átlagos eltérés pedig 17cm lett, vagyis összességében a fázisméréssel kapott pozíciók és a földhivatali koordináták közötti eltérés a bázisállomás pozíciójának korrigálása után a felére zsugorodott.



54. ábra. A fázisméréssel meghatározott majd korrigált, valamint a Földhivataltól kapott pozíciók átlagos távolsága a Debrecen környéki mintaterületen.

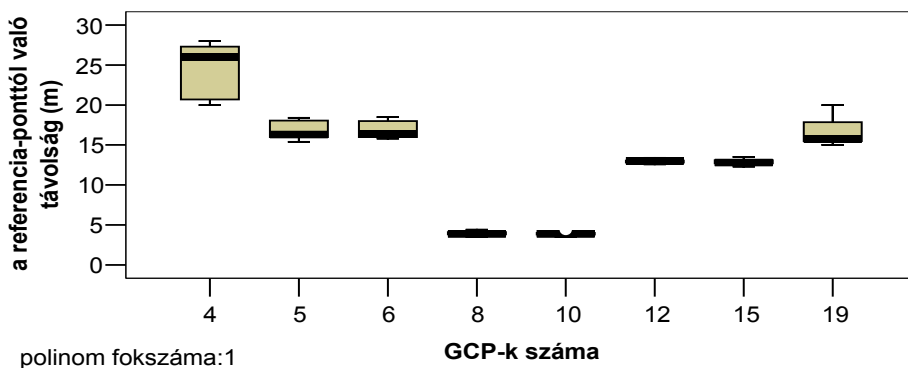
Összefoglalva a bázisállomás pozíciójának korrekciójával kapcsolatos vizsgálatokat a következő megállapításokat tehetjük:

- Az 1990-es évek elején meghatározott pozíció pontossága az akkor felszerelt vevő mérésstartományához megfelelő volt. A hiba csak a pontosabb meghatározást biztosító, új vevő felszerelésével vált láthatóvá.
- Az eltérés vektora már egy referencia OGPSH pont mérése esetén is meghatározható, több ilyen ponton történő mérés esetén ugyanazt a vektort kapjuk.
- Kisebb bázistávolság (néhány km) esetén a fázismérés időtartama – összhangban az irodalomban talált adatokkal (Ádám J. et al. 2004., Tamás J. – Lénárt Cs. 2002) – csökkenthető. A 12 órás mérés esetén a 20 perces adatgyűjtések túlnyomó többsége deciméteres tartományba eső eltérést mutat.

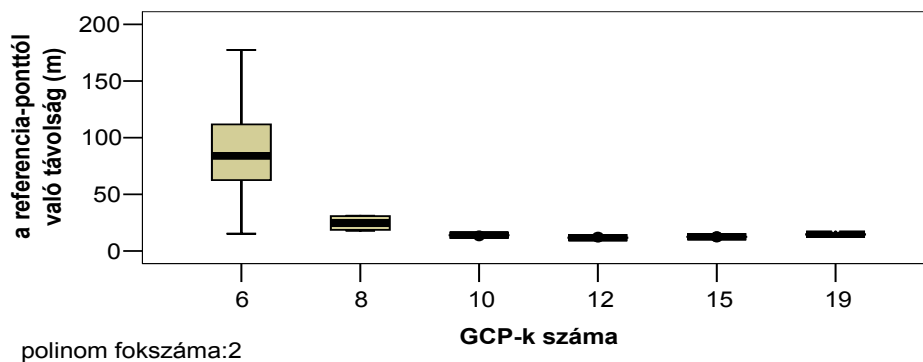
3.3. A távérzékeléssel kapcsolatos pontosságvizsgálatok eredményei

3.3.1. Eltérő vetületi transzformációs módszerek hatása a rászterres adatbázisokra.

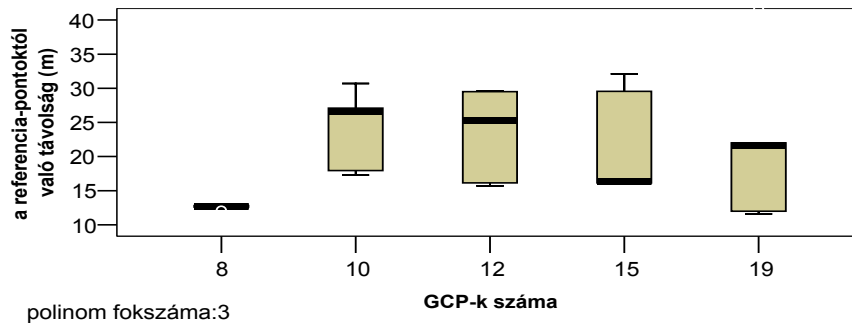
A 25-féle beállítással végzett transzformáció végrehajtása után lemértük a 16 referencia-ponttól való eltéréseket, és a polinomos transzformációs egyenlet fokszáma szerint külön ábrázoltuk az eredményeket (55–58. ábrák).



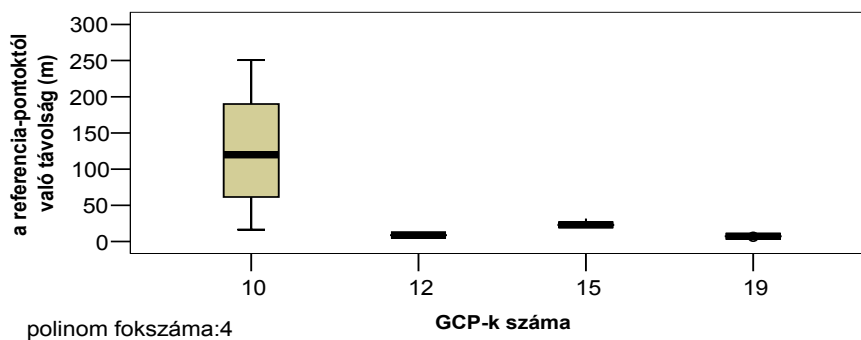
55. ábra. Különböző GCP-számú transzformáció során, a 16 referencia-pontban mért távolságok mediánjai, interkvartilis félterjedelmei, és szélső értékei. A transzformációs polinom fokszáma:1.



56. ábra. Különböző GCP-számú transzformáció során, a 16 referencia-pontban mért távolságok mediánjai, interkvartilis félterjedelmei, és szélső értékei. A transzformációs polinom fokszáma:2.



57. ábra. Különböző GCP-számú transzformáció során, a 16 referencia-pontban mért távolságok mediánjai, interkvartilis félterjedelmei, és szélső értékei. A transzformációs polinom fokszáma:3



58. ábra. Különböző GCP-számú transzformáció során, a 16 referencia-pontban mért távolságok mediánjai, interkvartilis félterjedelmei, és szélső értékei. A transzformációs polinom fokszáma:4

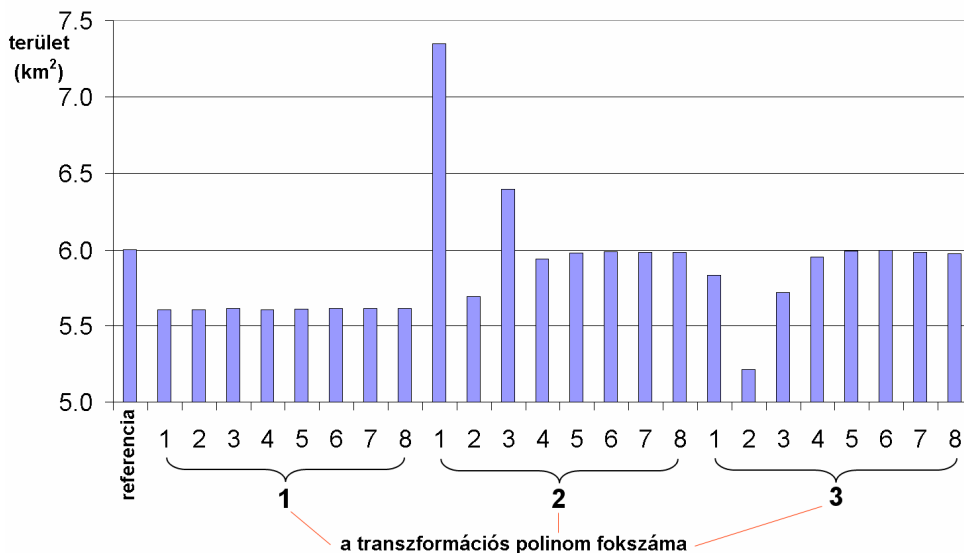
Az illesztőpontok száma a magasabb polinomos fokszámánál azért indul 4 helyett nagyobb értékkel, mert a magasabb fokszámú egyenlet megoldásához a szoftvernek egyre több pontra van szüksége.

A négy grafikont megvizsgálva megállapíthatjuk, hogy mind az eltérések intervalluma, mind pedig azok átlagértéke csökken, azaz tendenciáját tekintve a földi illesztőpontok számának növelésével a vetületi transzformáció pontossága nő. Az 57. ábrán ez az irány kevésbé látszik. Az első kategória kiugróan alacsony hibaértéke valószínűleg a polinom fokszámához képest alacsony GCP számból adódik. Ezt a kategóriát figyelmen kívül hagyva itt is hasonló trend olvasható le, mint a többi ábrán.

Az elsőfokú polinomos transzformációs egyenlet esetében a tendencia a magasabb GCP értékeknél szintén kevésbé mutatja az általános tren-

det. Ennek oka az, hogy az elsőfokú polinomos transzformáció lineáris, így lokális torzulások javítására nem, csak az egész felvétel egy darabban való transzformálására alkalmas. Ezért amikor növeljük az illesztőpontok számát egy nem csak lineáris torzulásokat tartalmazó raszteres adatbázison, egyre nagyobb a valószínűsége annak, hogy lineáris polinomos egyenlettel nem javítható torzulásokat tartalmazó illesztőpontokat válogatunk össze, így egyre több pont választásával az eredmény akár egyre rosszabb is lehet.

A következőkben megvizsgáltuk, hogy a 25-féle transzformáció során hogyan változik egy folt területe. Mivel a 11 kiválasztott folt mindegyikénél jellegét tekintve hasonló eredményt kaptunk, ezért csak egy, jellegzetes folt területváltozásait mutatjuk be az 59. ábrán.



59. ábra. A vizsgált foltok területei a 25-féle transzformációs módszer alkalmazása során. A kategóriatengely értékei 1–8-ig az illesztőpontok számát jelentik a következő sorrendben: 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 19 db.

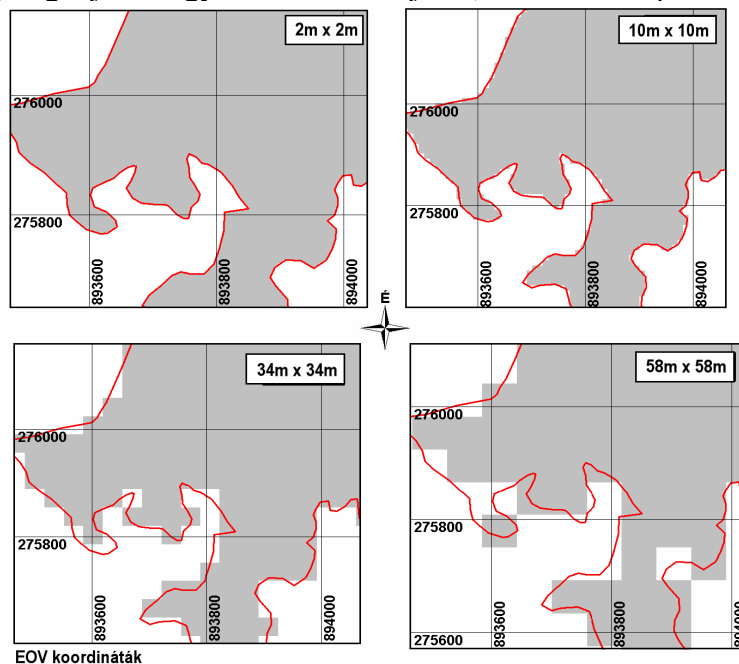
Látható, hogy az illesztőpontok számának növelésével – a lineáris transzformációs egyenletek kivételével – a területek értéke egyre jobban megközelíti a referenciaértéket, tehát egyre pontosabb a kapott eredmény. Ahol az illesztőpontok száma a legkevesebb, a területértékek nagy ingadozásokat mutatnak. Az ingadozások iránya nem mérvadó, a többi folt esetében mindkét irányú kitérés előfordul. Egyre több illesztőponttal transzformálva az eltérések amplitúdója csökken, és beáll a referenciához közeli értékre. A polinom fokszáma nagyon lényeges különbséget okoz az 1-es és a

2-es értékek esetében, ugyanis itt tér át a szoftver a lineárisról a nemlineáris transzformációra. A 2-es és a 3-as fokszámú transzformációkkal kapott területértékek között azonban már lényegében nincs különbség. A lineáris transzformáció hátránya az 54. ábrán jól tanulmányozható, nemlineáris torzulásokat tartalmazó adatbázisok esetében – főként nagyobb területek esetében – alkalmazása nem javasolt.

A 25-féle beállítással végzett transzformáció eredményeként megállapítható, hogy jelentős eltéréseket okoz mind az alkalmazott illesztőpontok száma, mind a választott transzformációs mátrix egyenletének polinomos fokszáma.

3.3.2. Az eltérő felbontás hatása a raszteres adatbázisokra

Munkánk során eltérő térbeli felbontású raszteres adatbázisok alapján vetettük össze ugyanazon vektoros poligonok területeit. Az 60. ábra a Bátorligeti-ösláp poligonjának egy részletét mutatja be, 4 különböző pixelméretben.



60. ábra. A Bátorligeti-láp részlete különböző felbontású raszteres adatbázisokon (szürke), valamint az eredeti vektoros körvonal (piros).

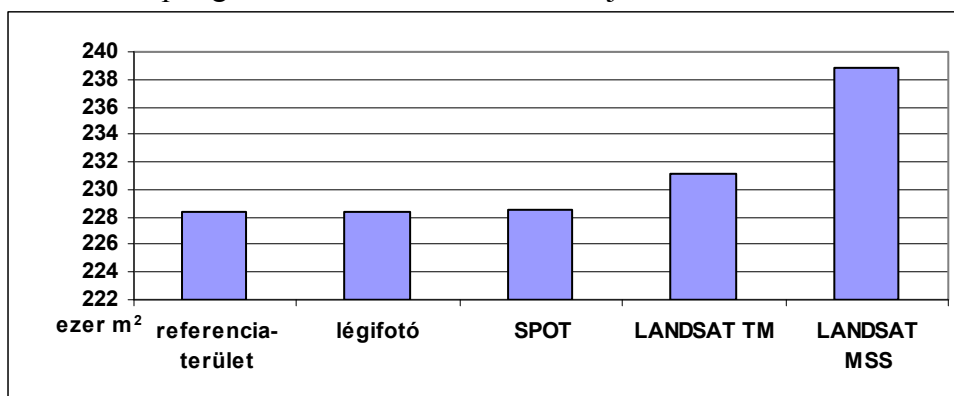
Láthatjuk, hogy növelve a pixelek térbeli kiterjedését, azaz csökkentve a térbeli felbontást, a raszteres és vektoros poligonok közötti horizontális eltérés egyre jelentősebb lesz.

A 10. táblázat a 11 poligon különböző felbontás alapján számított területeit mutatja.

10. táblázat. A vizsgált foltok területe különböző pixelméreteknél.

A folt azonosítója	Referencia-terület	2m x 2m (légifotó)	10mx10m (SPOT)	34mx34m (LANDSAT TM)	58mx58m (LANDSAT MSS)
1	6011907.957	6011756	6011600	6015824	6004740
2	108224.234	108236	108400	108664	111012
3	169900.959	169888	169900	167620	171564
4	103022.414	103056	103100	107508	104284
5	317236.059	317400	317600	322524	316216
6	437887.846	437944	439600	436968	437320
7	228317.136	228352	228600	231200	238844
8	37338.342	37356	37600	36992	33640
9	124379.309	124424	124400	124848	127832
10	255095.131	255176	254700	257788	259028
11	157047.295	157076	157000	157216	161472

A területi kiterjedéseket grafikonon ábrázolva jellegükben hasonló ábrákat kapunk, az első két kategória jórészt közelít a referenciaértékhez, míg a LANDSAT felvételek kategóriáiban nagy különbségeket tapasztalhatunk. A 7-es poligonhoz tartozó értékeket mutatja be a 61. ábra.



61. ábra. A 20. ábrán és a 10. táblázatban 7-es számmal jelölt folt kiterjedése különböző felbontású raszteres adatbázisok alapján.

Láthatjuk, hogy a referenciához viszonyítva a terület először kissé, majd a felbontás csökkenésével egyre jobban eltér. A 10m x 10m-es SPOT felvételek még jó közelítéssel adják meg a területeket, a LANDSAT–TM felvételek 34m x 34m-es felbontása azonban már jelentős eltérést produkál, a LANDSAT–MSS esetén az eltérés pedig még nagyobb.

Megvizsgáltuk, hogy a trendek alapján milyen irányú eltérés jellemzi a kiterjedéseket. A 11. táblázat a grafikonokra illesztett trendvonalakat, valamint azok erősségét meghatározó determinációs együtthatókat mutatja.

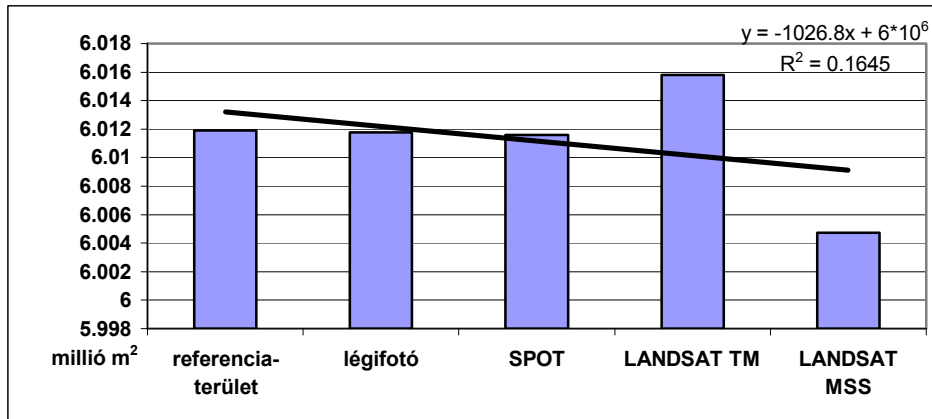
11. táblázat. A vizsgált 11 folt területeire különböző felbontásokon illesztett trendvonalak képlete és determinációs együtthatója.

a folt azonosítója	a trendvonal képlete	a determinációs együttható értéke
1	$y = -1026.8x + 6 \cdot 10^6$	0.1645
2	$y = 600.35x + 107106$	0.6364
3	$y = 105.81x + 169457$	0.0142
4	$y = 697.52x + 102102$	0.3275
5	$y = 308.39x + 317270$	0.0387
6	$y = -211.17x + 438577$	0.1091
7	$y = 2390.2x + 223892$	0.7008
8	$y = -776.07x + 38913$	0.5460
9	$y = 732.94x + 122978$	0.5993
10	$y = 1047.8x + 253214$	0.7361
11	$y = 898.94x + 155265$	0.5239

A 11. táblázatban mind csökkenő (azaz negatív előjelű), mind növekvő (pozitív előjelű) típus megfigyelhető a trendvonalak között. Tehát a foltok területe egyes esetekben nő, más esetekben pedig csökken a felbontás csökkenésével. Az alacsony determinációs együtthatóval rendelkező trendek kiszűrése után azonban egyetlen negatív előjelű trend marad, tehát nagyrészt a felbontás csökkenésével a foltok területe növekszik. Több esetben a trend futása azonban csak átlagos érték, mert előfordulnak olyan esetek is, amikor például a 34 méteres felbontású TM felvételen a terület növekszik, de az 58 méteres felbontású MSS adatbázisnál olyan komoly csökkenés következik be, ami a TM növekedését elnyomja a trendben. Erre mutat példát a 62. ábra.

Az egyetlen negatív előjelű folt (8-as számú) területe sokkal kisebb a többinél, így felmerült a kérdés, hogy függ-e a terület mérete változás irányától.

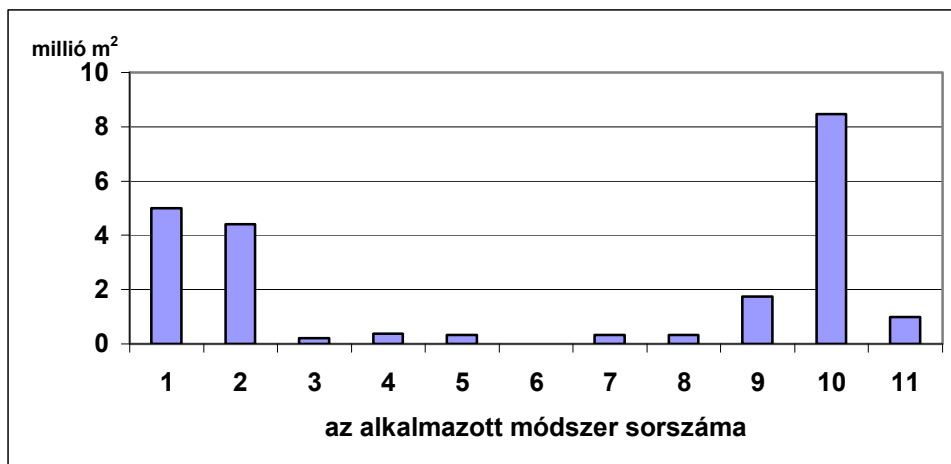
Ezt további 23 darab, a 8-as területhez hasonló kis méretű, valamint 8 darab, az 1-es számú poligonhoz hasonlóan nagy méretű folttal vizsgáltuk meg. Az eredmények alapján véleményünk szerint ezekben a mérettartományokban nincs hatással a kiterjedés a terület változásának az irányára.



62. ábra. Ellentétes irányú területváltozás a legkisebb felbontású adatbázisoknál az 1-es számú poligon esetében.

A felszíni objektumok területi kiterjedése eltérhet az alapján is, hogy milyen eljárással történt a felvétel interpretálása. A különböző eljárások során akár szélsőséges területváltozások is bekövetkezhetnek az egyes foltok kiterjedésében. A mintaterület egy részletén megvizsgáltuk a fenyő kiterjedését 11 interpretációs eljárás alkalmazása után. Az eredményeket a 63. ábra mutatja.

A fenyvesek területi kiterjedése akár szélsőséges értékeket is felvehet, jóllehet a módszerek többsége hasonló eredményt produkál. A nem ellenőrzött osztályba sorolás mindkét esetben (1. és 2. oszlop) lényegesen eltérő eredményt ad, az ellenőrzött osztályba sorolás esetén viszont a fenyő valószínűségének manuálisan beállított túlbecslése okozza a kiugró értéket.



63. ábra. A fenyő kiterjedése különböző módszerekkel végrehajtott LANDSAT-5 TM űrfelvétel-interpretáció alapján a bátorligeti mintaterület egy részletén.

12. táblázat. A 62. ábra egyes módszereinek leírása.

Sorszám	Alkalmazott módszer
1	nem ellenőrzött osztályba sorolás I.
2	nem ellenőrzött osztályba sorolás II.
3	paralelepipedonok módszere
4	legkisebb távolság módszere
5	legnagyobb valószínűség módszere – egyenlő valószínűségekkel (16%)
6	legnagyobb valószínűség módszere – a fenyő valószínűsége minimális (0%)
7	legnagyobb valószínűség módszere – a fenyő valószínűsége kissé az átlag felett (20%)
8	legnagyobb valószínűség módszere – a fenyő valószínűsége átlag feletti (60%)
9	legnagyobb valószínűség módszere – a fenyő valószínűsége átlag feletti (80%)
10	legnagyobb valószínűség módszere – a fenyő valószínűsége maximális (100%)
11	A Normalizált Vegetációs Index elkészítése után, manuális meghatározással megállapított terület

A mérések alapján az alábbiakra hívjuk fel a figyelmet:

- Az automatikusan végezhető, nem ellenőrzött osztályba sorolás kevésbé megbízható eredményt ad, mint a manuális előkészítést igénylő, ellenőrzött osztályba sorolás.
- Az interpretáció után az ellenőrző vizsgálatok elvégzése alapvető fontosságú, és ebben az operátor felelőssége nagy. Nem körültekintően elvégzett interpretáció, vagy az ellenőrzés hiánya drasztikusan ronthatja az eredményt.

4. Az eredmények rövid összefoglalása

A kartográfiai pontosságvizsgálatok eredményei

A *térbeli felbontás* változtatásával kapcsolatos vizsgálatainkkal kimutattuk, hogy a felbontás csökkenésével változik az egyes lejtőkategóriák aránya és kiterjedése. Az 1–10 méteres pixelméretig az eltérések még nem túlzottan nagyok, a felbontást tovább csökkentve azonban egyre jelentősebb területi eltérést találunk minden lejtőkategóriánál. A változás tendenciája a kisebb lejtésű területeknél növekvő, míg a meredekebb lejtők aránya és kiterjedése az egyre kisebb felbontásnál csökkenő. Ezen eredmények alapján egy mintaterület kvantitatív térképeinek megszerkesztésénél meghatározhatjuk, hogy milyen felbontás szükséges ahhoz, hogy az eredmények a valódi területi kiterjedéseket tükrözzék. Pontos kvantitatív eredmények csak az általunk meghatározott felbontások alkalmazásával nyerhetők nagy biztonsággal.

A lejtőkategóriák mellett a *felszíni objektumok* (erdőterületek) *kiterjedésében* bekövetkező változásokat is kimutattuk. Mivel napjainkban egyre nő a tájhasználat, a tájváltozással kapcsolatos kutatások száma, így egyre nagyobb a szerepe annak, hogy a geomorfológiai kvantitatív térképekkel történő térinformatikai összevetés során a területhasználat (és annak változásának) pontos értékét megkapjuk, hiszen csak így vonhatunk le helyes következtetéseket a területi kiterjedéssel, valamint az esetleges változásokkal kapcsolatban.

A *lejtőkitettség* a lejtőkategóriáknál lényegesen kevésbé érzékeny a térbeli felbontásra. Másrészt a különböző kitettségű lejtők kiterjedése is alapvetően meghatározza az adott expozíció különböző felbontások esetében tapasztalható eltérését. Ezen eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy lejtőkitettség–térkép szerkesztésekor az adatbázis térbeli felbontása kevésbé torzítja el a területi értékeket, így kisebb méretű adatbázis létrehozásával is megfelelően pontos adatokhoz juthatunk.

A felbontás meghatározásakor nem hagyható figyelmen kívül a *szintvonalak egymástól számított átlagtávolsága* sem. Vizsgálatainkkal kimutattuk, hogy sűrűbb szintvonalakkal ellátott térkép esetén kisebb felbontás is elegendő, míg kevesebb, egymástól nagyobb távolságra elhelyezkedő szintvonalnál nagyobb felbontás ajánlott.

A fenti vizsgálataink eredményeképpen meghatározható, hogy egy kiválasztott mintaterületen, az elérhető legpontosabb térképek (EOTR

1:10000) alapján végzendő kvantitatív geomorfológiai vizsgálatok milyen szükséges és elégséges felbontású digitális adatbázis (grid) kiépítését követelik meg. Az általunk vizsgált, 46 km²-es mintaterületen a legnagyobb megengedhető felbontás 10 m x 10 m, természetesen ennél kisebb pixelméret alkalmazása is megengedhető, a digitális adatbázis ezekben az esetekben nem befolyásolja számottevően az eredményt.

Az *alaptérkép méretarányával* kapcsolatos vizsgálatainkkal kimutattuk, hogy a térképi generalizálás fokának növekedése (vagyis a méretarány csökkenése) az alacsonyabb és a magasabb lejtőkategóriák változásában ellentétes irányú, jelentős mértékű eltérést eredményez. A lejtőkitettség esetén szintén megfigyelhetünk területváltozást a méretarány csökkenésével, de a lejtőkategóriákhoz hasonló következetes változás nem mutatható ki. Az SRTM adatbázis minden esetben a topográfiai térképektől jelentősen eltérő területértékeket mutat, így kis kiterjedésű mintaterületeken alkalmazni ezt csak nagy elővigyázatossággal tartjuk elfogadhatónak.

Az eredmények alapján a geomorfológiai kutatások során jobban kimutatható, hogy egy dombsági mintaterület hagyományos vagy digitális térképek alapján történő domborzatvizsgálata mennyire adhat pontos eredményt. Meghatározható, hogy melyik az a méretarány, amely már eleget tesz a feladat által megkövetelt pontosságnak. Ezek alapján elkerülhető a fölöslegesen részletes térképek drága digitalizálása, vagy ennek fordítottja, hogy takarékosági megfontolásból a megengedhetőnél kisebb méretarányú térképeket használunk fel.

Megállapítottuk, hogy ugyanazon alaptérkép alapján, *manuális és digitális* úton szerkesztett kvantitatív térképek (lejtőkategória, lejtőkitettség, relatív relief) jelentős eltéréseket mutatnak. Dombsági területek vizsgálata esetén különösen fontos a kétféle módszer eredményeinek vizsgálata, mert a legnagyobb eltérést a közepes lejtőkategóriáknál tapasztaltuk, míg a legnagyobb egyezés a leglankásabb és a legmeredekebb térszínekre volt jellemző. Kimutattuk továbbá, hogy a manuális térképszerkesztés során a lejtőkategória- és lejtőkitettség-határok közelében megnő a hiba lehetősége, a másik konklúzió pedig az, hogy manuális módszerrel a kis horizontális kiterjedésű foltok térképi megjelenítése sokszor elmarad. Mindezek mellett megállapíthatjuk, hogy az általunk megvizsgált kétféle adatbázis összevetései alapján jelentős különbség a terület kevesebb, mint tizedén fordul elő, tehát a megvizsgált manuális térképek pontossága véleményünk szerint igen jónak mondható.

Mivel az elmúlt évtizedig a kvantitatív térképek szerkesztése manuális módon történt, az így szerkesztett térképek pontosságának megállapítá-

sához jelentős segítség egy ilyen összehasonlító vizsgálat eredménye. Ennek révén lehetővé válik a manuális módszer összevetése a digitális eljárással, így a két eltérő módszer a továbbiakban jobban összevethető. A digitális domborzatmodellek elterjedésével a relatív relief térképek egyre kevesebbszer fordulnak elő, de ezeknél a digitális és a manuális módszerek különbségei elhanyagolhatóak.

A műholdas helymeghatározással kapcsolatos vizsgálatok eredményei

A mérések eredményeinek statisztikai elemzésével kimutattuk, hogy sem a HDOP sem a PDOP értékének az általunk mért értékek intervallumán belüli változása gyakorlatilag nincs számottevő hatással a pontosságra e vizsgálatok keretein belül. Ennek gyakorlati jelentősége az, hogy a terepi mérés során az általunk meghatározott HDOP és PDOP értékeken folytatva a mérést a feldolgozásnál már nincs szükség ezen értékek hibanövelő hatásának vizsgálatára.

Abszolút mérésnél egyre több pozíciót felvéve az átlagpontosság folyamatosan javul. 95%-os valószínűségi szinten a várható legnagyobb átlageltérés 4,66 méter. Elvégeztük az adatok differenciális korrekcióját, melynek eredményeként az átlaghiba kevesebb mint a harmadára csökkent. Megállapítottuk, hogy a legnagyobb pontosság nem a leghosszabb mérésidőhöz, hanem a 2 perces időtartamhoz (24 pozíció) köthető. Megvizsgáltuk, hogy a differenciális korrekció hogyan függ a bázisállomás és a felmért pontok közötti távolságtól. Az eredmények alapján elmondható, hogy a közelebbi (Debrecen környéki) méréseknél az átlagpontosság nagyobb, és a 95%-os valószínűségű várható átlageltérés is alacsonyabb mint a távolabbi, nagyköri pozícióknál.

Az elvégzett vizsgálatok legfőbb, számszerűsített eredményeit az alábbi pontokban foglaljuk össze:

- Abszolút mérés során a várható eltérés, azaz a pontatlanság mértéke hozzávetőlegesen 4–5 méter, értéke a 2 perces (24 felvett pozícióval) mérésidőn túl kevéssé csökken (néhány esetben akár emelkedhet is).
- Relatív mérés esetén a bázisállomás 5–10 km-es körzetében történő mérések esetén a pontosság javulása 60–70%. Az átlagos hiba, a szórás, és a legnagyobb várható eltérés értékei alapján a legkisebb szükséges mérésidőnek 2 perc (24 felvett koordináta) adódott.

- A bázisállomástól nagyobb távolságban (150km) végzett relatív mérés pontossága elmarad a közelebbihez képest. Az abszolút mérés differenciális korrekciója 50%-os javulást jelent. A közelebbi mintaterülethez képest pedig a korrigált értékek pontossága 30–40%-al rosszabb. Összességében a javasolt minimális mérésidő ebben az esetben is 2 perc (vagy az ennek megfelelő 24 rögzített pozíció).
- A bázisállomástól nagyobb távolságban történő differenciális méréseknél vagy hosszabb mérésidőt célszerű alkalmazni, vagy érdemes egy közelebbi bázisállomás korrekciós adatait felhasználni.

Az eredmények alapján a terepi méréseknél jobban becsülhető a meghatározott pontossághoz tartozó szükséges de elégséges, méréssel tölthető időtartam. Ezzel időt takaríthatunk meg, hiszen nem töltünk felesleges időt a méréssel, másrészt eredményeinknek pénzügyi vonzata is lehet. Gondoljunk például arra, hogy ha nem kellően ismerjük készülékünk pontosságát, és így határozzuk meg egy szennyezett talajfolt kiterjedését, majd ezek alapján kalkuláljuk ki a földcsere költségeit. Ilyen esetben lényeges eltérés származhat a pontatlan mérés következményeként a pénzügyi kalkulációban.

Az *ionoszféra hatásának* kimutatására vonatkozó vizsgálatok eredményei alapján a következő megállapításokat tehetjük:

Az alkalmazott eszköz méréstartományában az ionoszféra napszakonkénti elektron tartalom-változása nem okoz észrevehető változást a mérési hiba nagyságában, melyet a felhasznált globális ionoszféra-modellnek köszönhetünk.

Megfelelően alacsony PDOP értékhatárt választva, az alkalmazott műszer esetében a PDOP érték változása sem módosítja a mérési pontosságot a műszer méréshatárán belül.

Ha a PDOP értéket folyamatosan figyeljük, és a mérés folyamán alacsony szinten tartjuk, a műholdgeometria kedvezőtlen hatásait jórészt kiküszöbölhetjük. Ezáltal csökken a mérés során potenciálisan előforduló, a pontosságot csökkentő tényezők száma.

A bázisállomás koordinátáinak OGPSH pontok alapján történt vizsgálata alapján kimutattuk, hogy az eltérések értéke az X tengely mentén: 7cm Nyugat felé, az Y tengely mentén pedig 42,75 cm Dél felé. A továbbiakban az összes, fázisméréssel bemért pontnál kimutattuk ugyanezt az eltérést. Megállapítottuk, hogy a bázisállomás 1990-es évek elején meghatározott pozíciójának pontossága az akkor felszerelt vevő méréstartományához megfelelő volt. Kimutattuk továbbá, hogy a hiba csak a pontosabb meghatá-

rozást biztosító, új vevő felszerelésével vált láthatóvá. Kisebb bázistávolság (néhány km) esetén a fázismérés időtartama csökkenthető.

A GPS mérés technikát napjainkban a földrajz összes olyan ága használja, ahol szükség van terepi mérésekre. A fenti eredményeket összefoglalva elmondhatjuk, hogy e mérések gyakorlati szintű pontosságának ismerete éppen ezért elengedhetetlen. Kísérleteink eredményeképpen a földrajzi kutatások során a GPS-mérések pontossága és a mérési körülmények szerepe jobban becsülhető. Ezáltal egyrészt a mérést végző személy eleve pontosabb mérést végezhet, másrészt csak a szükséges de elégséges időtartamig folytatja a mérést, ezzel időt és adott esetben pénzt takarítva meg.

A távérzékeléssel kapcsolatos pontosságvizsgálatok eredményei

Megállapítottuk, hogy az *űrfelvételek vetületbe transzformálásánál* a területet arányosan lefedő földi illesztőpontok számának növelésével a pontosság nő. Az elsőfokú polinomos transzformációs egyenlet használata esetén az a tendencia, hogy a több GCP pontnál kevésbé mutatja az általános trendet, sőt előfordulhat, hogy egyre több pont választásával az eredmény egyre rosszabb lesz.

Megvizsgáltuk, hogy a 25-féle módon paraméterezett transzformáció során hogyan változik egy folt területe. Az illesztőpontok számának növelésével – a lineáris transzformációs egyenletek kivételével – egyre pontosabb a kapott eredmény. Egyre több illesztőponttal transzformálva az űrfelvételt, az eltérések amplitúdója csökken, és beáll a valódihoz közeli értékre.

Megállapítottuk továbbá, hogy a transzformációs polinom fokszáma nagyon lényeges különbséget okoz az első és a másodfokú értékek esetén, de a másodfokú és a harmadfokú transzformációkkal kapott területértékek között már lényegében nincs különbség. Ezek alapján kijelenthető, hogy lineáris transzformációt nemlineáris torzulásokat tartalmazó adatbázisoknál nem javasolt alkalmazni, a magasabb polinomos fokszám alkalmazása pedig a lokális torzulások nagyságától függ.

Eltérő térbeli felbontású raszteres adatbázisok alapján összevetettük ugyanazon vektoros poligonok területeit. Csökkentve a térbeli felbontást, a raszteres és vektoros poligonok területe közötti eltérést egyre jelentősebbnek találtuk. További kísérletekben megfigyeltük, hogy a vizsgált mérettartományokban nincs hatással a kiterjedés a terület változásának az irányára.

A felszíni objektumok területi kiterjedésének eltéréseit megvizsgáltuk az alkalmazott interpretáció alapján is. Megállapítottuk, hogy a különböző

eljárások során akár szélsőséges területváltozások is bekövetkezhetnek az egyes foltok kiterjedésében. A felszíni foltok spektrális felbontásának vizsgálata egyértelművé tette, hogy az automatikusan végezhető, gyors, nem ellenőrzött osztályba sorolás kevésbé megbízható eredményt ad, mint a manuális előkészítést igénylő, sokkal hosszadalmasabb, ellenőrzött osztályozás. Végül felhívtuk a figyelmet az operátor jelentős szerepére, hiszen az interpretációt paraméterező személy előkészítő és ellenőrző munkája alapvetően befolyásolja az eredmény pontosságát.

A földrajzi vizsgálatok mind szélesebb köre használja fel az egyre jobb minőségű űrfelvételeket a kutatásban. Ehhez hozzájárul a felvételek árának erőteljes csökkenése is, valamint az internetes űrfelvétel – keresés, illetve ingyenes letöltés lehetősége. Emellett a raszteres digitális adatbázisok (pl. beszkenelt papírtérképek) is egyre nagyobb mértékben vesznek részt a kutatásokban. A fenti vizsgálatok eredményeit felhasználva jobban becsülhető az űrfelvételek és egyéb digitális adatbázisok transzformálásának pontossága, valamint képet kapunk arról, hogy különböző körülmények között, eltérő paraméterek esetén (pl. eltérő térbeli, vagy spektrális felbontás) milyen eltéréseket, mekkora torzulásokat szenved az adatbázis, és hogyan jelenik ez meg egy adott kisebb felszíni objektum (pl. erdőfolt) esetén. Mivel egyre szélesebb körű az űrfelvételek és raszteres térképek területhasználat illetve annak változásával kapcsolatos felhasználása is, ezek az eredmények hozzájárulhatnak ahhoz, hogy a jövőben pontosabb, körültekintőbb módon használják a szoftverek által nyújtott ilyen jellegű szolgáltatásokat (pl. vetületi transzformáció). Azért is lényeges ez, mert a modern szoftverek pontatlan, nem kellően körültekintően végzett paraméterezés mellett is szolgáltatnak használhatónak tűnő eredményt (pl. különböző időpontú felvételek összehasonlításánál, vagy vetületi transzformálásnál), de ezek pontossága kétséges lehet. Másrészt az évek múlásával egyre nagyobb időátfogású űrfelvétel-sorozatok állnak rendelkezésre egy adott területről, de általában más és más szenzoroktól, így a különböző érzékelők által készített felvételek pontos összevetéséhez is hozzájárulhatnak eredményeink.

5. Angol nyelvű összefoglaló

5.1. Introduction, aims

Significant changes occurred in the methods of geographical research in recent decades. To survey surface objects and to trace geographical processes such instruments have been developed that contributed to the increase of the accuracy of measurements while measurement time decreased drastically (for example: laser measurement stations, GPS, etc.).

The other reason for the changes was the rapid development of computer technique. Experiments for using computers in geography started from the 1960s and presently a wide range of GIS softwares are available for users. With the help of these such tasks can be solved automatically that could have been solved by time consuming manual methods before. Furthermore, results are much more accurate and accuracy is more even than in the case of traditional methods.

The spreading and application of the above techniques and methods and the fact that any researcher can achieve significant results relatively simply holds the danger of obtaining false results. To operate the more and more accurate softwares and instruments fundamental background knowledge is necessary. Based on the above mentioned most researchers ask the question how accurate the applied methods are and how reliable the gained results are.

The primary aim of my work was to examine the accuracy of some new methods of data collection and processing widely used in geographical research. Three major fields were studied:

- I have examined the accuracy characterising the transformation of traditional maps of different scales into digital databases and I have determined the accuracy of manual and computer cartography methods. Furthermore, I have examined which spatial resolution is necessary and sufficient for the exact and quantitative characterising of the study area.
- I have made measurements with the today widely used data collecting instrument the GPS then I have determined their accuracy with different conditions and the factors influencing the greatness of the inaccuracy. My further aim was to determine the factors should be observed when using GPS

measurements in geoinformatic applications and to determine what accuracy can be expected in our data.

5.2. Material and methods

5.2.1. Methods applied in map accuracy investigations and the steps of the research

My investigations were carried out in one catchment areas of the Cserehát in the valley of the Béluas stream. A detailed relief analysis was carried out by Szabó J. (1982) 24 years ago (using traditional manual methods) for evaluating landscape conditions for agriculture. In the course of this among others the slope category, slope aspect and relative relief maps of the area were constructed.

For comparative analysis I have scanned the topographic maps with the scale of 1:25000 and transformed into EOVS projection. The quantitative maps constructed manually were also transformed into EOVS projection.

After this both the topographic and the manually constructed maps were vectorised and the same geomorphological value was attached to all of the created objects (contour lines, polygons) that were on the manually constructed maps.

On the basis of the vectorised contour lines a digital elevation model was generated and then using this the digital quantitative maps of the area were constructed.

After this I have compared the databases created by manually and digitally. I have determined in the case of all of the classes the rate of their similarity and difference on the two maps.

Besides comparing the manual and digital maps I have examined the accuracy of the quantitative maps derived from maps of different scales. I have involved in the examination the SRTM elevation model produced by the NASA as well besides traditional map databases.

On the slope category map the five classes used by agricultural classification were depicted: <5 %, 5-12 %, 12-17 %, 17-25 % and >25 %. The basis for the slope aspect maps were the 8 directions of the compass.

Before making the comparisons I have checked the size of the base units (pixels) of the digital raster files. With decreasing the pixel size beyond a certain limit the size of the database will be too large and the interpolated elevation values may not give further information. Increasing the pixel

size, i.e. decreasing the resolution a certain limit can also be determined larger pixel numbers than which average elevation values over a too large area decreasing detailedness and changing the values of the quantitative maps associated with the given pixel (e.g. slope category, slope aspect, etc.). Based on the digitised contour lines I have generated digital elevation models in seven pixel sizes (1, 5, 10, 25, 50, 100, 200 m) and created slope category and slope aspect maps. Areas belonging to the classes were totalised.

For the completed investigations the softwares Surfer-8, IDRISI 32 Rel-2, MsEXCEL XP and ERDAS 8.5 were used.

5.2.2. Methods used in the course of accuracy studies of GPS measurements and the steps of the research

The aim of my measurements was to determine the field accuracy of the applied GPS receivers and those conditions that may influence the greatness of the inaccuracy. On the basis of these we can determine the factors worth observing during GPS measurements and we can determine the accuracy in the course of data collection.

My measurements were carried out in two study areas, in the vicinity of Debrecen near the base station and 150 km West – southwest from here around Nagykovács. 20 points were measured in each study area. The receiver was set for recording in every 5 seconds. The measurements were taken in five sections (5 sec., 1, 2, 4, 8 min.).

At the triangulation point No. 69-2388, which is an OGPSH point as well, of the study area around Debrecen further measurements were taken for studying the accuracy modifying effect of the ionospheres in the different periods of the day. In the course of this phase data were measured 20 minutes long in every half an hour from 7 am until 7 pm. At OGPSH points No. 69-2388 and 69-2064 two phase measurements lasting for 40 minutes were also taken for specify the position of the base station.

Recorded data were processed subsequently when corrections were also made using the data of the base station. The processing of the measured data was carried out by Pathfinder Office 2.9 while statistic analyses were made by SPSS 8.0 for Windows and by Microsoft Excel 2002 softwares.

5.2.3. Methods applied in the accuracy studies of remote sensing.

Space images and airphotos were used for the studies. Choosing these different resolution and comparability were the important aspects.

Measurements for determining the accuracy associated with the number and position of the ground control points (GCP) were carried out in a study area northwest of the Bátorliget swamp in the southeastern part of the Nyírség.

The aim in the studies regarding the fitting into projection systems was to show the influence of the number and horizontal distribution of the ground corresponding points (GCP) on the accuracy of the transformation.

The topographic maps with a scale of 1:10000 were transformed into a projection. In the next step the database of the satellite LANDSAT-5 was fit into projection on the basis of the topographic maps. Transformation was made in 25 cases with using different parameters. First I have made the most accurate transformation on the basis of 55 scattered ground corresponding points (GCP) creating the database used as a reference in later measurements. After this I made transformations using different number of GCP. The number of points was 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 19.

The 8 transformations were made in three series. In the series the grade of the polynome equation of the transform matrix were 1, 2 and 3.

Inaccuracy was controlled by measuring the position of 16 equally scattered points in the raw space images and in those transformed into projection systems in the case of each transformation. The difference gave the greatness of the inaccuracy.

The accuracy of the transformations was detected by studying the area of the polygons as well. The area of eleven patches (mainly forest) with different area, shape and position were studied during 25 transformations.

In the studies of comparing different spatial resolutions I determined the area of above mentioned forest patches at different spatial resolutions. For this I created the copies of the airphotos and space images with consisting of homogeneous pixel values (i.e. "empty") then the vector files containing these patches were rasterised based on the geographical characteristics of these copies. By this such raster databases were obtained that contained exactly the same polygons but held the original resolutions. After this the area of the particular patches were computed at different resolutions. Reference areas were computed from the vector files.

Interpreting space images classification, i.e. interpretation-separation of the surface patches may happen by several methods. The applied methods

may influence the measured area of the certain objects therefore I made the interpretation with 11 different settings.

5.3. Results

5.3.1. Results of cartographic accuracy studies

Studies of *spatial resolution* I showed that decreasing resolution changes the rate and extension of the slope categories. Until 1-10 pixel size differences are not too large (5 % in average), however, further decreasing resolution results in more and more significant spatial differences in the case of each slope category. The tendency if the change is increasing in the case of gentle slopes (until 12 %) while the rate and extension of the steeper slopes (above 12 %) are increasing with smaller resolution. The most significant differences reach above 10 %. On the basis of these results in the course of constructing the quantitative maps of a certain study area we can determine the resolution necessary for the results to reflect the real spatial extensions.

Besides slope categories I showed the changes in the *extent of surface objects* (forest areas) as well. Similarly to slope categories, decreasing resolution experienced more significant differences in this case as well. The average difference in the case of 10 m resolution is 3.5 % while in the case of the 25 m resolution it is almost 8.3 %. Thus in this case again the 10 m resolution is the smallest but still acceptable resolution. As nowadays the number of research focusing on land-use and landscape changes is increasing it is more and more important to gain accurate values for land-use (and its changes) when comparing quantitative geomorphological maps by GIS methods. This presents the base for drawing correct conclusions on spatial extension and potential changes.

Slope aspect is much less sensitive to spatial resolution than slope category. In the 8 directions of the compass even at 25 m resolution differences do not reach 5 % in neither direction. On the other hand, the extent of the different slope aspects fundamentally determines the changes of the given exposition at different resolutions, thus the rate of difference can be area specific. In my opinion the application of the 10 m resolution is acceptable in most cases.

Determining resolution the average distance of the contour lines should not be ignored. Our results show that denser contour lines require

less resolution, while greater resolution is recommended in the case of more distant contour lines. In my study area 10 m pixel size was found to be suitable on the basis of the average distance of the contour lines.

As a result of the above research the construction of the necessary and sufficient resolution digital database (grid) determined that is required by quantitative geomorphological studies in a chosen study area carried out on the bases of the available most accurate maps (EOTR 1:10000). In my study area of 46 km² the greatest acceptable resolution is 10 m x 10 m. Of course, smaller pixel sizes are also acceptable the digital database in these cases do not influence significantly the results.

With the studies associated with the *scale of the base map* I showed that increasing the rate of generalisation (i.e. decreasing the scale) produces opposite and significant differences in the case of the lower and higher slope categories. This is 1.5 % in average in the case of the scale 1:25000 while 4.5 % in the case of scale 1:100000 and 16.6 % in the case of the SRTM data. Considering slope aspect area change can be detected with decreasing scale but tendencies like in the case of slope categories cannot be observed. The SRTM database shows significantly differing area values from the topographic maps in all cases therefore its application on small areas is only acceptable with great care.

On the basis of the results it can be determined that the relief analysis of a hilly region on the basis of traditional and digital maps how accurate. It can also be determined that which is the scale that produces accuracy sufficient for the task. With these we can avoid buying too detailed maps, their expensive digitising or its opposite using smaller scale maps than suitable to save expenses.

I came to the conclusion that using the same base map manually and digitally constructed quantitative maps (slope category, slope aspect) show significant differences. In the case of hilly regions it is especially important to study the results of the two methods as greatest difference was experienced in the case of moderate slope categories (in the case of 5-12 % slopes it is 12 % while in the case of 12-17 % slopes it is 9 %) while greatest similarity was found in the case of the most gentle and the steepest slopes (in the case of 0-5 % slopes it is 2.7 % and in the case of >25 % slopes it is 0.4 %). I also showed that in the case of manual map construction inaccuracy increases near the slope category – slope aspect boundaries. The second conclusion is that using the manual method patches with small horizontal extent are frequently ignored. Besides all these we can state that comparing the two databases studied here significant differences only occurred in one tenth of

the area therefore the accuracy of the studied manually constructed maps can be regarded as very well, in my opinion.

As in recent decades the construction of the quantitative maps was carried out manually determining the accuracy of these maps the results of such a comparative examination present great help. With this the manual method is comparable with the digital one thus the two methods can be better correlated in the future. With the widespread application of digital elevation models relative relief maps are constructed less frequently, however, in the case of these the differences of the digital and manual methods can be neglected.

5.3.2. Results of studies related to GPS measurements

With the statistic analysis of the measurement results it is shown that the changing of the values of neither the HDOP nor the PDOP within the interval measured by us influence significantly accuracy (the values of the correlation coefficients are under 0.3 in all cases). Its significance in the practice is that continuing the measurement within the determined HDOP and PDOP intervals it is not necessary to study the inaccuracy increasing effect of these values during data processing.

In the case of *absolute measurement* the average accuracy is continuously increases with taking more and more points. At 95 % probability level the expected greatest difference is 4.66 metres. I made the differential correction of the data with the help of which the average inaccuracy decreased lower than its one third. It was also determined that greatest accuracy cannot be associated with the longest measurement time but with the 2 min. measurement time (24 positions). I also examined the correlation between the differential correction and the distance of the base station and the measured points. On the basis of the results it can be stated that average accuracy is higher in the case of the closer measurements (around Debrecen) and the 95 % probability average difference is also smaller than in the case of the more distant measurements at Nagykőrös.

The most important quantified results of the completed analyses are the followings:

- In the case of absolute measurement the expected difference, i.e. the rate of inaccuracy is 4-5 metres. Its value decreases only slightly over the 2 minutes (with 24 positions) measurement (it may even increase in some cases).

- In the case of relative measurements that are taken 5-10 km away from the base station the improvement of the measurements is 60-70 %. Regarding the average inaccuracy, standard deviation, and greatest expected difference the smallest required measurement time is 2 minutes (with 24 co-ordinates taken).
- Relative measurement made further away (150 km) from the base station produced smaller accuracy. The differential correction of the absolute measurement resulted in 50 % improvement. Comparing with the closer study area the accuracy of the corrected values is worse with 30-40 %. In conclusion the recommended measurement time in this case is also 2 minutes (or the equivalent 24 recorded positions).
- In the case of differential measurements further away from the base station it is worth to apply longer measurement time or to use the correction data of a closer base station.

On the basis of the results the required and sufficient measurement time for the determined accuracy can be better estimated at field measurements. This saves time as no time is wasted on measurements and our results may save on the financial background as well. For example, if we are not aware of the accuracy of our instrument and determine the area of a contaminated soil patch and use the data to calculate the costs of the land substitution. Inaccurate measurements could produce significant difference in the financial calculation.

The following conclusions can be drawn on the results of studying the *effects of the ionosphere*:

- In the measurement interval of the applied instrument the variation in the electron content of the ionosphere during the periods of the day does not create observable change in the rate of the inaccuracy, thanks to the applied global ionosphere model.
- Choosing sufficiently low value of PDOP in the case of the applied instrument the used PDOP value does not affect accuracy within the measurement limit of the instrument.
- If the PDOP value is continuously observed and kept at a low level (see above) the disadvantageous effects of the satellite geometry can be eliminated. Thus the number of the potentially occurring factors decreasing accuracy in the measurement is reduced.

I showed on the bases of investigating the co-ordinates of the base station using OGPSH points that the value of the differences along the X

axis is 7 cm towards the West while along the Y axis it is 42.75 cm towards the South. After this the same difference was shown at all the rest of the base points. It was concluded that the accuracy of position of the base station determined in the 1990s was acceptable in the frame of the measurement interval of the then established receiver. It was also shown that the inaccuracy could have been detected only by establishing the new receiver that provides more accurate data. The time of the phase measurement can be reduced in the case of smaller distances (a few km).

GPS technique is applied in all branches of geography where field measurements are required. Summarising the above results it can be stated that knowing the practical accuracy of these measurements is inevitable. As a result of our measurements the accuracy of the GPS measurements and the role of the conditions of the measurements involved in geographical research can be better estimated. With this more accurate measurements can be made and these measurements only last for the required but sufficient time, contributing to saving time and possibly costs.

5.3.3. Results of accuracy studies related to remote sensing

It was concluded that when transforming space images into projections increasing the number of ground correlating points covering the area will increase accuracy. Applying the first grade polynome transformation equation it is observed that it shows less the general trend with more GCP points. And even it can happen that taking more points will produce worse results.

I studied the variation of the area of a patch when transforming it using 25 different parameters. With increasing the number of the corresponding points (from 4 to 19) the obtained results are more accurate – except for the linear transformation equations. Transforming the space image with more corresponding points result in the reduction of the amplitude of the differences and it is set at a value near real.

It was determined that the grade of the transformation polynome results in a significant difference between area values obtained using first and second grade values while between second and third grade transformations there is no significant difference in the gained area values. Based on these it can be stated that the application of linear transformation in the case of databases containing non-linear deformations is not recommended. The

application of higher grade polynomes depends on the size of the local deformations.

I compared the area of the same vector polygons on the basis of raster databases with *different spatial resolution*. Decreasing the spatial resolution the difference between the area of the raster and the vector polygons was found to be greater. Further experiments revealed that extent has no effect on the direction of change in the studied scales.

Differences in the *spatial extent of the surface objects* were studied on the basis of the applied interpretation as well. I determined that even extreme area changes may occur in the extent of certain patches during the different measurements. The examination of the spectral resolution of the surface patches cleared that the rapid automatic and non controlled classification gives less reliable results than the manually prepared slower and controlled classification. Finally attention was drawn on the significance of the role of the operator as the preparative and controlling work of the person parameterising the interpretation fundamentally influence the accuracy of the result.

Ever wider range of geographical investigations applies space images of ever better quality in the research. With the results of the above mentioned studies the accuracy of the transformation of space images and other digital databases can be better estimated and an image is gained on the differences and deformations detected in the databases in different conditions and parameters (e.g. different spatial or spectral resolution) and how they occur in the case of a given smaller surface object (e.g. forest patch).

6. Irodalom

Ádám J., 2000. Magyarországon alkalmazott geodéziai vonatkoztatási rendszerek vizsgálata. In: Geodézia és Kartográfia. Vol:2000/12.

Ádám J. – Bányai L. – Borza T. – Busics Gy. – Kenyeres A. – Krauter A. – Takács B. (szerk). 2004. Műholdas helymeghatározás. 458 p. Műegyetemi Kiadó, Budapest. ISBN 963 420 790 1

Bácsatyai L., 2002. Geodézia erdő- és környezetmérnököknek. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron. 355 p.

Birky, A. 2001. NDVI and a simple model of deciduous forest seasonal dynamics. In: Ecological Modelling, 2001, pp.:43–58.

Bódis K., 1999. Geometriai transzformációk, transzformációs egyenletek és alkalmazásuk a geoinformatikában. Szakdolgozat, Szegedi Egyetem.

Campbell, J., B., 1996. Introduction to Remote Sensing. Taylor and Francis, London. ISBN 0 7484 0663 8. 622 p.

Chiaradia, A.P.M. –Kuga, H.K. – Prado, A.F.B.A., 2003. Single frequency GPS measurements in real-time artificial satellite orbit determination. Acta Astronautica, vol. 53. pp.:123–133.

Christopher A. – Iréne G. – Jean-Paul G. – Georges J. 2002. Global Positioning System (GPS) location accuracy improvement due to Selective Availability removal. in: C. R. Biologies, vol.: 325 pp.:165–170.

Chrisman, Nicolas. R. – McGranaghan, Matt. (ed.),1990. Térbeli adatbázisok pontossága. In: Goodchild, M.F. – Kemp, K.K. (ed.) - NCGIA Core Curriculum.

Csató É. – Kristóf D. 2003. Űrfelvételek felhasználása az erdőgazdálkodásban. In: Geodézia és Kartográfia. Internetes letöltés: <http://www.fomi.hu/Internet/magyar/szaklap/2003/09/4.pdf>.

Csató É. – Műholdadatok térképészeti alkalmazása. PhD értekezés. Internetes hivatkozás: <http://lazarus.elte.hu/hun/digkonyv/csato/csato.htm>. Letöltve: 2006.

Csáti, E. 2006. The story of the land use map of Europe. Pp.: 81-83. In: Zentai L. et. al. (szerk.) Térkép – Tudomány. p. 422. Budapest. ISSN 0495-1719. 422 p.

Csorba P., 2003. Magyarország középtájaknak várható területhasználati változása az Európai Unióhoz történő csatlakozás következtében. pp.: 243-257. In: Csorba Péter (szerk.) Környezetvédelmi mozaikok. 410 p., Debrecen.

Csorba P., 2005. A táji felszabdaltság (fragmentáció) mérése. pp.:195-215. In: Csorba Péter (szerk.) Debreceni Földrajzi Disputa. 215 p.. Debrecen. ISBN 963 472 943 6.

Curran, P., J., 1985. Principles of Remote Sensing. Longman Group Limited, United Kingdom. ISBN 0 582 30097 5. 282p.

Czímber K., 2001. Geoinformatika – elektronikus jegyzet. Internetes letöltés (2005): www.geo.efe.hu/hun/onlinejegyzet/geoinfo/geoinfo5.htm

Dana, P. H. Global Positioning System Overview. Letöltés: 2005. www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html.

Detrekői Á. 1991. Kiegyenlítő számítások. Tankönyvkiadó, Budapest. 685 p. ISBN 963 18 3329 1.

Detrekői Á. 1992. Térinformatikai rendszerek adatnyerési lehetőségei. Internetes letöltés (2005): www.otk.hu/cd9198/1992/detrekoi.htm.

Detrekői Á. – Szabó Gy. 2002. Térinformatika. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest. 380 p. ISBN 963 19 4116 7.

Divényi P., 2001. Topográfiai térkép – a háromdimenziós valóság. In: Geodézia és Kartográfia. Vol. 2001/12.

Domonyik G. – A GPS alkalmazásának lehetőségei a tájfutó térképek készítésénél (letöltve:2005)

<http://lazarus.elte.hu/tajfutas/magyar/archiv/dg/tart.htm>

ERDAS Field Guide 1997. ERDAS Inc., Atlanta, 1997. 656p.

Fialovszky L. (szerk.), 1979. Geodéziai műszerek. Műszaki Könyvkiadó, Budapest. 489 p. ISBN 963 10 2454 7.

Gede M. 2006. Az Érdi–Krausz-féle vetület módosítása és általánosítása. Letöltve: 2006. Internetes hivatkozás. lazarus.elte.hu/hun/doktoran/gede/index.htm

Gábor I. – Horváth Á. 1979. A haditérképek históriája. Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest. 287p. ISBN 963 326 263 1.

Gábris Gy. – Marik M. – Szabó J. 1998. Csillagászati földrajz. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest. 338p. ISBN 963 18 9064 3.

Gönczy S. – Molnár J. – Szabó G. – Sándor A., 2004. Az erdőirtások hatása az árvízi vízhozamokra a Felső-Tisza Kárpátaljai mellékfolyóin. In: Földtani Kutatás 41.évf. 3–4. sz. Pp.: 52-56.

Hoffmann-Wellenhof, B. – Lichtenegger, H. – Collins, J., 2001. Global Positioning System. Theory and Practice. 382p. Springer, Wien Yew York. ISBN 3 211 83534 2.

Hurn, J. 1993. GPS – A Guide to the Next Utility. Pp.: 55. Trimble Navigation Ltd. 76 p.

Images of the World, 1983 An Atlas of Satellite Imagery and Maps. Rand McNally and Company, Chicago, New York, San Francisco. ISBN 528 63002 4. 160 p.

Klinghammer I. – Papp-Váry Á., 1983. Földünk tükre a térkép. Gondolat Kiadó, Budapest. 385 p. ISBN 963 281 161 5

Klinghammer I. – Papp-Váry Á. 1992. Tematikus kartográfia. Tankönyvkiadó, Budapest. 152p.

Klinghammer, I. – Pápay, Gy. – Török, Zs. 1995: Kartográfia történet

Eötvös Lóránd Tudományegyetem Eötvös Kiadó, Budapest, 189 p.

Kőhádi A., 1979. Az űrkitatás a Föld szolgálatában. Gondolat Kiadó, Budapest. 266 p. ISBN 963 280 815 0.

Li, J. – Taylor, G. – Kidner, D. B. 2004. Accuracy and reliability of map-matched GPS coordinates: the dependence on terrain model resolution and interpolation algorithm. In: Computers and Geosciences, Internetes letöltés (ELSEVIER), 2005.

Ligetvári F. (szerk), 1998. Földmérési és térképészeti ismeretek. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest. P.:279. ISBN 963 356 256 2

Lillesand, T., M. – Kiefer, R., W. 1994. Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley and Sons Inc., New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore. ISBN 0 471 57783 9. 750 p.

Lóki J., 1996. Távérzékelés. KLTE Egyetemi Kiadó, Debrecen. 113 p.

Lóki, J. – Szabó, J. – Szabó, G. 2006. Correlating the utilization of maps constructed with different method and in different scale for analysing topography. Pp.: 259-266. In: Zentai L. et. al. (szerk.) Térkép – Tudomány. 422p. Budapest. ISSN 0495-1719.

Lukács T., 2003. Rövid visszatekintés Magyarország vízszintes felsőrendű háromszögelési hálózataira. In: Geodézia és Kartográfia. Internetes letöltés: <http://www.fomi.hu/Internet/magyar/szaklap/2003/09/4.pdf>.

Maguire, D.J. 1989. Computer sin Geography. Longman Group Ltd. UK. ISBN 0-582-30171-8. 248 p.

Mike Zs., 1976. Légifénykép–interpretálás és a természeti erőforrások feltárása. 159p. Akadémiai Kiadó, Budapest. ISBN 963 05 0638 6.

Mucsi L. 2005. Műholdas Távérzékelés. Libellus Kiadó, Szeged. ISBN 963 214 903 3. 248 p.

Novák T. 2005. A vegetáció-változások értékelésének módszertani nehézségei – sziki gyepek vizsgálata alapján. pp.:157–181. In: Csorba Péter (szerk.) Debreceni Földrajzi Disputa. 215 p.. Debrecen. ISBN 963 472 943 6.

Papp-Váry Á., 1990. A földrajzi információs rendszerekről. In: Geodézia és Kartográfia, vol:42., no.:4. pp.:245–251.

Papp-Váry Árpád 2006. Torzított turistatérképek Magyarországon. pp.:269-279. In: Földrajz és turizmus. Nyíregyháza. 394 p. BN 963 7336 31 1.

Parkinson, B.W. – Spilker, J.J. (ed.) 1996. Global Positioning System: Theory and Applications. 1436 p. ISBN 1-56347-249-X. (Astrobooks.com)

Püspöki, Z. – Szabó, Sz. – Demeter, G. – Szalai K. – Mcintosh, R.W. – Vincze, L. – Németh, G. – Kovács, I. 2005. The statistical relationship between unconfined compressive strengths and the frequency distributions of slope gradients – A case study in northern Hungary. In: Geomorphology vol:71. pp.:424-436.

Sárközy F. – Térinformatika. (letöltve:2005).
WWW.agt.bme.hu/tutor_h/terinfor/t34a.htm.

Sárközy F. – Térinformatika (letöltve:2005)
http://bme-geod.agt.bme.hu/tutor_h/terinfor/tbev.htm

Slater, J. – Brown, R., 2000. Changing landscapes: monitoring Environmentally Sensitive Areas using satellite imagery. In: Remote Sensing, vol. 21., no.13&14. pp.:2753–2767.

SRTM adatbázis letölthető változata. <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/>. Letöltve: 2006.

SURFER 8 User's Guide, 2002. p:640. Golden Software Inc., Colorado.

Szabó G., 2003. Changing of the forested area in a sample area, using statistical and satellite database. pp.: 78–82. In: Z Badań Nad Wpływem Antropopresji Na Środowisko. Sosnowiec.

Szabó G. – Utsi Z., 2002. Térinformatikai módszerek összehasonlító elemzése a Cserehát példáján. *Acta Geographica Ac Geologica et Meteorologica Debrecina*. Debrecen. pp.: 297–304.

Szabó J., 1982. Felszínfejlődési geomorfológiai és természeti tájpotenciál vizsgálatok a Csereháton. Kandidátusi értekezés. Kézirat. Debrecen. p. 192 + melléklet kötet.

Szabó J., 1984. A természeti környezet mezőgazdasági szempontú minősítése a Csereháton. pp.: 255–284. In: *Földrajzi Közlemények*, vol. 1984/3. Budapest.

Szabó J. – Lóki J. - Szabó G. - Szabó Sz. – Konecsny K. (2004): GIS alapú geomorfológiai szempontú értékelés a Felső-Tisza vidéken, in Fülek Gy. szerk. *A táj változása a Kárpát-medencében – Víz a tájban, Környezetkímélő Agrokémiáért Alapítvány*, Gödöllő. pp.: 69–72.

Szabó Sz., 2004. Talajtulajdonságok szerepének értékelése egy tájérzékenység-vizsgálat példáján. *Studia Geographica*, vol. 13. 152 p. Egyetemi Kiadó, Debrecen. ISBN 963 472 869 3.

Takács B. – GPS mérések pontossága az SA kikapcsolása után (letöltve: 2005)

http://bme-geod.agt.bme.hu/public_h/gps/gps1.html

Tamás J., 2000. Térinformatika I. és II. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum. 399 p. ISBN 963 9274 10 0 és 963 9274 11 9

Tamás J. – Lénárt Cs. 2002. Terepi térinformatika és a GPS Gyakorlati alkalmazása. Debrecen. 200 p. ISBN 963 9274 38 0.

Tikász E. – Krauter A. – Ugrin N. – Csornai G., 1995. A digitális térkép geometriai alapjai. Műegyetemi Kiadó, Budapest. 160 p.

Tímár G. – Molnár G. – Pásztor Sz., 2002. A WGS84 és HD72 alapfelületek közötti transzformáció Molodensky-Badekas-féle (3 paraméteres) meghatározása a gyakorlat számára. In: *Geodézia és Kartográfia*, vol. 2002/1.

Tímár G. – Molnár G., 2003. A második katonai felmérés térképeinek közeli vetületi és alapfelületi leírása a térinformatikai alkalmazások számára, In: Geodézia és Kartográfia 55(5), pp.: 27–31.

Tóth, Cs. – Szabó, G. (2002): A survey of anthropogenic mounds (cumanian mounds) in the Nagykunság, Hortobágy and the Hajdúság. in: Anthropogenic aspects of landscape transformations 2. Sosnowiec. pp.: 88–95.

Tóth Cs., 2004. A kunhalmok geomorfológiai és tereptani viszonyainak vizsgálata a Nagykunság, a Hajdúság, és a Hortobágy térségében. In: Tóth A. (szerk.), A kunhalmokról – más szemmel. Kisújszállás – Debrecen. pp.: 95–111.

Unger J., 2003. Bevezetés a térképészetbe. JATE Press, Szeged, 215 p.

Varga A., 1998. Geodimeter. Egyesített rendszerű elektronikus tahiméter. Baja. 158 p.

Völgyesi L. – Tóth Gy. – Varga J., 1994. Magyarországi vetületi rendszerek közötti átszámítások. Internetes letöltés (2005). <http://sci.fgt.bme.hu/volgyesi/vetulet/gkvetful.pdf>

Völgyesi L. – Varga L., 2001. Vetületi átszámítások Ausztria és Magyarország között GPS alkalmazásával. In: Geodézia és Kartográfia, vol. 2001/12.

Wilson, D. L. – David L. Wilson's GPS Accuracy Web Page (letöltve: 2005) <http://users.erols.com/dlwilson/gps.htm>

Winkler P. 1997. A távérzékelés térképészeti alkalmazásai a XXI. század küszöbén. In: Geodézia és Kartográfia, vol.:1997/4. pp.:13–20.

Witte, T.H. – Wilson, A.M. 2004. Accuracy of WAAS-enabled GPS for the determination of position and speed over ground. In: Journal of Biomechanics. Internetes letöltés (ELSEVIER).

Zentai L., 1991. Kartometria, Térképértékelés- térképinterpretáció. Doktori értekezés. Internetes letöltés (2005): www.lazarus.elte.hu/hun/dolgozo/zentail/kartomet/tart.htm

Zuo-ya, Z. – Cheng, H. – Chu-gang, F. – Fei-peng, Z. 2003. Selection of GPS Satellites for the optimum geometry. In: Chinese Astronomy and Astrophysics, vol.: 27, pp: 80–87. Internetes letöltés (ELSEVIER).

7. A témában megjelent publikációk listája

Szabó G. 2000. A vegetáció vizsgálata a Csereháton úrfelvételek felhasználásával. IX. Térinformatika a felsőoktatásban konferencia CD.

Szabó G. 2001. Földhasznosítás–elemzés távérzékelési és terepi adatok összevetése alapján. In: Magyar Földrajzi Konferencia 2001. CD.

Szabó G. 2001. Térinformatikai vizsgálatok a Vadász-patak vízgyűjtőjén, in: Molnár J. (szerk.) Földrajz az egész világ Geográfus Doktoranduszok V. Országos Konferenciája, Miskolci Egyetem, 2000.október 7-8., Miskolc. pp. 53–59.

Szabó G. 2002. A képzés és a gyakorlat kapcsolata a térinformatika oktatásában a Debreceni Egyetem Földtudományi Tanszékcsoportjában. Informatika a felsőoktatásban konferencia CD, ISBN 963 472 691 7

Szabó G. - Utsi Z. 2002. Térinformatikai módszerek összehasonlító elemzése a Cserehát példáján. Acta Geographica Ac Geologica et Meteorologica Debrecina. Debrecen. pp.: 297–304.

Tóth, Cs. – **Szabó, G.** 2002. A survey of anthropogenic mounds (cumanian mounds) in the Nagy-kunság, Hortobágy and the Hajdúság. in: Anthropogenic aspects of landscape transformations 2. Sosnowiec. pp.: 88–95.

Tóth Cs. – **Szabó G.**, 2002. Az országos kunhalom-kataszterezés eredményei. Pp.: 111-125. In: Dobos A. (szerk.), Földtani és felszínalaktani értékek védelme. Eger. 382p. ISBN 963 9417 28 9.

A. Demchenko, B. Rasulev, **G. Szabó**, S. Inthapatha 2002. Soil parameters in Nahal Boqer, Central Negev, as indicators of the erosion processes. In: 5th MASHAV International Course on the Conservation of Biodiversity in Desert Ecosystems. May 2002. Ramon Science Center. pp.:3–13.

G. Szabó 2003. The role of GIS methods in examining the forest changes. pp.:169-175. In: Landscapes under the European Transformation. Univ. Of

Debrecen, Department of Landscape Protection and Environmental Geography, p.:220.

G. Szabó 2003. Changing of the forested area in a sample area, using statistical and satellite database. pp.: 78–82. In: *Z Badań Nad Wpływem Antropresji Na Środowisko*. Sosnowiec.

Szabó J. – Lóki J. – **Szabó G.** – Szabó Sz. – Konecsny K. 2004. A természetes folyóvízi felszínfejlődés geomorfológiai és ökológiai értékei Felső-Tisza-vidéki mintaterületen. In: *Táj és környezet*, MTA FKI, Budapest, pp. 65–77.

Gönczy S. – Molnár J. – **Szabó G.** – Sándor A. 2004. Az erdőirtások hatása az árvízi vízhozamokra a Felső-Tisza Kárpátaljai mellékfolyóin. In: *Földtani Kutatás* 41.évf. 3-4. sz. pp.: 52–56.

Szabó J. – Lóki J. – **Szabó G.** – Szabó Sz. – Konecsny K. 2004. GIS alapú geomorfológiai szempontú értékelés a Felső-Tisza vidéken, in Füleky Gy. szerk. *A táj változása a Kárpát-medencében – Víz a tájban*, Környezetkímélő Agrokémiáért Alapítvány, Gödöllő, pp. 69-72.

Szabó Sz. – **Szabó G.** – Szabó J. – Németh G. 2004: Digitális magasságmodellek és űrfelvételek alkalmazása geomorfológiai értékeléshez a Bodrogszög példáján. Digitális domborzatmodellezés használata a környezet- és mérnöktudományokban c. konferencia (HUNDEM Konferencia 2004).

G. Szabó 2004. Surveying the accuracy of the GPS system using different sample areas. In: *Anthropogenic aspects of landscape transformations*. Univ. of Debrecen, pp.:71–80.

J. Szabó – J. Lóki – **G. Szabó** – Sz. Szabó – K. Konecsny 2005. Connection between hazards and values in geomorphology (abstract). In: *6. International Conference on Geomorphology*, Zaragoza. pp: 414

Szabó G. 2005. Mérési lehetőségek a távérzékelésben. pp.:143–157. In: Csorba Péter (szerk.) *Debreceni Földrajzi Disputa*. p.:215. Debrecen. ISBN 963 472 943 6.

J. Lóki – J. Szabó – **G. Szabó** 2006. Correlating the utilization of maps constructed with different method and in different scale for analysing topography. pp.: 259–266. In: Zentai L. et. al. (szerk.) Térkép – Tudomány. 422 p. Budapest. ISSN 0495-1719.



**Kartográfiai és térinformatikai módszerek
pontosságának földrajzi szempontú vizsgálata**

Doktori (PhD) értekezés

Szabó Gergely

Debreceni Egyetem
Debrecen, 2006

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem TTK Földtudományi Doktori Iskola Geomorfológia és Társadalom programja keretében készítettem a Debreceni Egyetem TTK doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2006. július 5.

Szabó Gergely

Tanúsítom, hogy Szabó Gergely doktorjelölt 1999 - 2006 között a fent megnevezett Doktori Iskola Geomorfológia és Társadalom programjának keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult. Az értekezés elfogadását javasolom.

Debrecen, 2006. július 5.

Dr Lóki József
tanszékvezető, egyetemi tanár
témavezető