



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

Doktori (PhD) értekezés

**Examination of the Accuracy of Cartographic and
GIS Methods from Geographical Point of View**

PhD thesis

Szabó Gergely

Debreceni Egyetem
Debrecen, 2006

Bevezetés, célkitűzés

Az elmúlt évtizedekben a földrajzi kutatások módszereiben jelentős változások következtek be. A felszíni objektumok felméréséhez, a különböző földrajzi folyamatok nyomon követéséhez olyan műszereket fejlesztettek ki, melyek révén a mérés pontossága lényegesen növekedett, a mérésidő pedig drasztikusan csökkent (például lézeres mérőállomás, műholdas helymeghatározó, stb.).

A változások másik kiváltó oka a számítástechnika rohamos fejlődése volt. Már a hatvanas évektől megindultak a kísérletek a számítógép földrajzi célú felhasználására, 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 annak a veszélyét is magában rejt, hogy hibás eredményt kaphatunk. Az egyre pontosabb szoftverek és műszerek kezeléséhez alapos háttérismeretekre van szükség. A fentiek alapján előbb-utóbb a legtöbb kutatóban felmerül a kérdés: az általa alkalmazott módszereknek mekkora a pontossága, mennyire megbízhatóak a kapott eredmények?

Dolgozatom célja az volt, hogy a pontosság szempontjából megvizsgáljam néhány, a földrajzi kutatásokban széles körben elterjedt új adatgyűjtési és feldolgozási módszert. Kutatásom során három nagyobb témakörrel foglalkoztam:

- Megvizsgáltam, hogy milyen pontossági paraméterek jellemzik a különböző méretarányú, hagyományos térképek digitális adatbázissá alakítását, valamint meghatároztam a manuális és számítógépes kartográfiai módszerekkel végzett kutatások eredményeinek pontosságát. Megvizsgáltam továbbá, hogy mely térbeli felbontás szükséges és elégséges a mintaterület egzakt kvantitatív jellemzéséhez.
- Méréseket végeztem a ma már széles körben elterjedt adatgyűjtő eszközzel, a műholdas helymeghatározó (GPS) berendezéssel, majd a mérési eredményekből meghatároztam azok különböző feltételek melletti pontosságát, valamint azokat a körülményeket, amelyek befolyásolhatják a hiba nagyságát. További célom volt annak meghatározása, hogy a GPS geoinformatikai alkalmazásánál mely tényezőkre célszerű figyelni a mérés során, és milyen pontosságra számíthatunk adatainknál.
- Különböző szenzorral készített űrfelvételek és légifotók felhasználásával megvizsgáltam, hogy azok kiértékelése, összevetése milyen pontossági problémákat vet fel, különös tekintettel a vetületi rendszerbe transzformálás módszereire–paramétereire, valamint a távérzékeléssel nyert adatbázisok térbeli felbontására.

Anyag és módszer

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

Vizsgálataimat a Cserehát egyik vízgyűjtőjén, a Béhus-patak völgyében végeztem. A mintaterületről 24 évvel ezelőtt *Szabó J. (1982)* készített (hagyományos, manuális módszerekkel) részletes domborzatanalízist a táji adottságok mezőgazdasági szempontú értékelésé-

hez. Ennek keretében készült el – többek között – a terület lejtőkategória, lejtőkitettség és relatív relief térképe

Az összehasonlító vizsgálatokhoz beszkenyeltem az 1:25 000 topográfiai szelvényeket, majd EOVS területbe transzformáltam azokat. Ugyancsak EOVS területbe transzformáltam a manuálisan megszerkesztett kvantitatív térképeket.

A továbbiakban elvégeztem mind a topográfiai, mind pedig a manuálisan szerkesztett térképek vektorizálását, és a létrehozott objektumok (szintvonalak, poligonok) mindegyikéhez hozzárendeltem ugyanazt a geomorfológiai értéket, amelyet a manuális úton szerkesztett térképek tartalmaztak. A vektoros szintvonalak alapján generáltattam egy digitális magasságmodellt, majd ennek segítségével elkészítettem a mintaterület digitális kvantitatív térképeit.

A következőkben elvégeztem a manuális és digitális eljárással készült adatbázisok összehasonlítását. Így kiértékelhető minden egyes osztály esetében, hogy azok mekkora arányban egyeznek meg, és mennyiben különböznek a két térképen.

A manuális és digitális eljárás összevetése mellett összehasonlítottam a különböző méretarányú térképekről készült kvantitatív térképek pontosságát is. A hagyományos térképes adatbázisok mellett ebbe az utóbbi vizsgálatba bevontam a NASA által készített SRTM magasságmodellt is.

A lejtőkategória-térképen a mezőgazdaságból átvett 5 osztályt használtam: 5% alatti, 5–12%, 12–17%, 17–25%, valamint 25% feletti lejtésű területek. A lejtőkitettség-térkép szerkesztésének alapja a szélrózsza 8-felé osztása volt.

Az összehasonlítások elvégzése előtt megvizsgáltam, 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.). A bedigitalizált szintvonalak alapján hét pixelméretben (1, 5, 10, 25, 50, 100, 200 m) generáltattam digitális magasságmodellt, majd létrehoztam a lejtőkategória és lejtőkitettség térképeket. Az egyes osztályokba tartozó területeket összesítettem. A vizsgálatokhoz Surfer-8, IDRISI 32 Rel.-2, MS EXCEL XP, valamint ERDAS 8.5 szoftvereket használtam.

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

Méréseim célja az volt, hogy megvizsgáljam az általam használt GPS vevők pontosságát, és azokat a körülményeket, amelyek befolyásolhatják a hiba nagyságát. Ezek alapján pedig meghatározhatom, hogy a GIS-es alkalmazásoknál mely tényezőkre célszerű figyelnünk a mérések során, és milyen pontosságra számíthatunk az adatgyűjtésnél.

Vizsgálataimat két mintaterületen végeztem, Debrecen környékén, a bázisállomás közelében, valamint ettől 150 km-rel nyugat–délnyugatra, Nagykőrös környékén. Mintaterületenként 20–20 pontot mértem be.

A vevőt 5 másodperces jelrögzítési intervallumra állítottam be. A mérés öt szakaszban (5 sec., 1, 2, 4, 8 min.) történt.

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 félóránban 20 percen át fázisadatokot mértem reggel 7 órától este 19 óráig. A 69–2388, valamint a 69–2064 jelű OGPSH

pontok esetében 2–2 db. 40 perces fázismérést is végeztem a bázisállomás pozíciójának pontosításához.

A rögzített adatok utólag kerültek feldolgozásra, ekkor végeztem el a korrekciókat a bázisállomás adatainak felhasználásával. A mért adatok feldolgozása Pathfinder Office 2.9, a statisztikai adatfeldolgozás SPSS 8.0 for Windows, valamint Microsoft Excel 2002 szoftverekben történt.

3. A távérzékeléssel kapcsolatos pontosságvizsgálatok során alkalmazott módszerek.

Vizsgálataimhoz űrfelvételeket és légifotót használtam fel. Ezek kiválasztásánál a cél a különböző felbontás és a jó összevethetőség volt.

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 végeztem.

A vetületi rendszerbe illesztéssel kapcsolatos vizsgálatoknál annak kimutatása volt a célom, hogy a földi illesztőpontok (GCP) száma és horizontális eloszlása hogyan befolyásolja a transzformáció pontosságát.

Először az 1:10 000 topográfiai térképeket vetületbe illesztettem. A következő lépésben a topográfiai térképek alapján vetületi rendszerbe transzformáltam a LANDSAT-5 műhold adatbázisát. A transzformációt 25 esetben hajtottam végre, különböző paraméterekkel. Először 55, szórtan elhelyezkedő földi illesztőpont (GCP pont) alapján elvégeztem a legpontosabb transzformálást, létrehozva a később referenciaként szolgáló adatbázist. A következőkben különböző számú GCP-t felhasználva végeztem el a transzformálást. A pontok száma a következő volt: 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 19.

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

A hiba mértékét úgy ellenőriztem, hogy minden egyes transzformáció esetén 16, egyenletesen elhelyezkedő ponton megmértem a pont pozícióját a nyers, valamint a vetületi rendszerbe transzformált űrfelvételen. A különbség adta meg a hiba nagyságát.

A transzformációk pontosságát poligonok területeinek vizsgálatával is nyomon követtem. 11 db., különböző területi kiterjedésű, alakú és elhelyezkedésű folt (általában erdők) területét vizsgáltam meg a 25-féle transzformáció során.

A különböző térbeli felbontások összehasonlításával kapcsolatos vizsgálataim során a transzformációs kísérleteknél már említett erdőfoltok területét határoztam meg különböző térbeli felbontások esetén. Ehhez elkészítettem a légifotók és űrfelvételek homogén pixelértékekből álló (azaz „üres”) megfelelőit, majd a foltokat tartalmazó vektoros állományt e fájlok földrajzi tulajdonságai alapján raszterizáltam. Így olyan raszteres adatbázisokat kaptam, amelyek pontosan ugyanazokat a poligonokat tartalmazták, de közben megőrizték az eredeti felbontásokat. A következőben kiszámítottam az egyes foltok területeit a különböző felbontások esetén. A referencia-területeket a vektoros állományból számítottam ki.

Az űrfelvételek interpretációjánál az osztályozás, azaz a felszín foltjainak értelmezése–elkülönítése többféle módszerrel történhet (pl. nem ellenőrzött osztályba sorolás, ellenőrzött klasszifikáció, és ezek különféle beállításokkal történő futtatása.). Az alkalmazott eljárás hatással lehet arra, hogy az egyes objektumok esetében mekkora területet mérünk, ezért 11 különböző beállítással végeztem el az interpretációt.

Eredmények

1.

A *térbeli felbontás* változtatásával kapcsolatos vizsgálataimmal kimutattam, hogy a felbontás csökkenésével változik az egyes lejtőkategóriák aránya és kiterjedése. A változás trendje szerint külön kell választanunk a növekvő kiterjedésű lankásabb lejtőket (12%-ig), valamint a csökkenő területű meredekebb területeket (12% felett). A legjelentősebb eltérések a 10%-ot is meghaladják. Az 1–10 méteres pixelméret között az eltérések még nem túlzottan nagyok (átlagosan 5%), a felbontást tovább csökkentve azonban fokozatosan egyre jelentősebb területi eltérést találunk minden lejtőkategóriánál.

2.

A lejtőkategóriák mellett a *felszíni objektumok* (erdőterületek) *kiterjedésében* bekövetkező változásokat is kimutattam. Hasonlóan a lejtőkategóriákhoz, ebben az esetben is a felbontás csökkenésével fokozatosan egyre jelentősebb eltérést tapasztalunk. Az átlagos eltérés a 10 méteres felbontásnál 3.5%, de a 25 méteresnél már majdnem 8.3%. Tehát ennél a vizsgálatnál is a 10 méteres felbontást találtam a legkisebb, de még elfogadható pontosságúnak.

3.

A *lejtőkitettség* érzékenysége a térbeli felbontásra a lejtőkategóriáknál lényegesen kisebb. A 8-osztatú szélrózsán még 25 méteres felbontás esetén sem érzük el az 5%-os eltérést, egyik iránynál sem. Másrészt a különböző kitettségű lejtők kiterjedése alapvetően meghatározza az adott expozíció különböző felbontások esetében tapasztalható eltérését, így az eltérés mértéke területspecifikus lehet. A 10 méteres felbontás alkalmazását azonban a legtöbb esetben elfogadhatónak tartom.

4.

A felbontás meghatározásakor nem hagyható figyelmen kívül a *szintvonalak egymástól számított átlagtávolsága* sem. Vizsgálataimmal kimutattam, hogy sűrűbb szintvonalakkal ellátott térkép esetén kisebb felbontás is elegendő, míg kevesebb, egymástól nagyobb távolságra elhelyezkedő szintvonalnál nagyobb felbontás ajánlott. Mintaterületemen a szintvonalak futásának átlagos távolságai alapján a 10 méteres pixelméretet találtam alkalmas felbontásnak.

5.

Az *alaptérkép méretarányával* kapcsolatos vizsgálataimmal kimutattam, hogy a térképi generalizálás fokának növekedése (vagyis a méretarány csökkenése) az alacsonyabb és a magasabb lejtőkategóriák változásában ellentétes irányú, jelentős mértékű eltérést eredményez. Az 1:25 000 méretaránynál ez átlagosan 1,5%, az 1:100 000 esetében 4,5%, míg az SRTM adatoknál már 16,6%. 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 tartom elfogadhatónak.

6.

Megállapítottam, hogy ugyanazon alaptérkép alapján, *manuális és digitális* úton szerkesztett kvantitatív térképek (lejtőkategória, lejtőkitettség, relatív relief) eltéréseket mutatnak. Domsági területek vizsgálata esetén különösen fontos a kétféle módszer eredményeinek vizsgálata, mert a legnagyobb eltérést a közepes lejtőkategóriáknál tapasztaltam (5–12% lejtőknél 12%, 12–17%-os lejtőknél 9%), míg a legnagyobb egyezés a leglankásabb és a legme-

redekebb térszínekre volt jellemző (0–5%-os lejtőknél 2,7%, 25% feletti lejtőknél 0,4%). Kimutattam 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, az általam megvizsgált kétféle adatbázis összevetései alapján megállapíthatjuk, hogy jelentős különbség csak a mintaterület kevesebb, mint tizedén fordul elő, tehát a megvizsgált manuális térképek pontossága, véleményem szerint, igen jónak mondható.

7.

A *GPS-mérések* eredményeinek statisztikai elemzésével kimutattam (a korrelációs együtthatók értéke minden esetben 0,3 alatti), hogy e vizsgálatoknál sem a HDOP sem a PDOP adatoknak az általam mért értékek intervallumán belüli változása gyakorlatilag nincs számottevő hatással a pontosságra.

8.

Abszolút mérésnél egyre több pozíciót felvéve az átlagpontosság folyamatosan javul. 95%-os valószínűségi szinten a várható legnagyobb átlageltérés 4,66 méter. Elvégeztem az adatok differenciális korrekcióját, melynek eredményeként az átlaghiba kevesebb, mint a harmadára csökkent. Megállapítottam, hogy a legnagyobb pontosság nem a leghosszabb mérésidőhöz, hanem a 2 perces időtartamhoz (24 pozíció) köthető. Megvizsgáltam, 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, nagykörösi pozícióknál.

Az elvégzett vizsgálatok legfőbb, számszerűsített eredményeit az alábbi pontokban foglalom 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 (150 km) 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.

9.

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

- 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 ha a mérés folyamán alacsony szinten tartjuk, akkor a műholdgeometria kedvezőtlen hatásait jórészt kiküszöbölhetjük. Ezáltal csökken a mérés során potenciálisan előforduló, a pontosságot csökkentő tényezők száma.

10.

A *bázisállomás koordinátáinak OGPSH pontok alapján történt vizsgálata* alapján kimutattam, 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 kimutattam ugyanezt az eltérést. Megállapítottam, hogy a bázisállomás 1990-es évek elején meghatározott pozíciójának pontossága az akkor felszerelt vevő méréstartományához megfelelő volt. Kimutattam továbbá, hogy a hiba csak a pontosabb meghatározást biztosító, új vevő felszerelésével vált láthatóvá. Kisebb bázistávolság (néhány km) esetén a fázismérés időtartama csökkenthető.

11.

Megállapítottam, 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 több GCP pontnál kevésbé mutatja az általános trendet, sőt előfordulhat, hogy egyre több pont választásával az eredmény egyre rosszabb lesz.

12.

Megvizsgáltam, hogy a 25-féle módon paraméterezett transzformáció során hogyan változik egy folt területe. Az illesztőpontok számának növelésével (4–19 pontig) – 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.

13.

Megállapítottam 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.

14.

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

15.

A *felszíni objektumok területi kiterjedésének* eltéréseit megvizsgáltam 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.

Felhasználhatóság

Napjainkban egyre nő a tájhasználattal, 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 fenti eredmények alapján meghatározhatjuk egy mintaterület *kvantitatív térképeinek megszerkesztésénél a* felbontásnak azt a mértékét, amelynél az eredmények a valódi területi kiterjedéseket tükrözik.

A kutatási eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy *lejtőkitettség-térkép szerkesztésekor* az adatbázis térbeli felbontása kevésbé torzítja el a területi értékeket, mint a lejtőkategóriák esetében, így ez utóbbinál kisebb méretű (pl. 25 méteres felbontású) adatbázis létrehozásával is megfelelően pontos adatokhoz juthatunk.

A *szintvonalak távolságával* kapcsolatos vizsgálati eredmények felhasználásával meghatározható, hogy egy kiválasztott mintaterületen, a napjainkban megvásárolható legpontosabb térképek (EOTR 1:10000) alapján végzendő kvantitatív geomorfológiai vizsgálatok milyen szükséges és elégséges felbontású digitális adatbázis (grid) kiépítését követelik meg. Az általam 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 *eltérő méretarányú térképek* összevetése alapján szerzett következtetéseim segítségével a geomorfológiai kutatások során jobban kimutatható, hogy egy dombosági 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.

Mivel az elmúlt évtizedig a kvantitatív térképek szerkesztése manuális módon történt, az így szerkesztett térképek pontosságának megállapításához jelentős segítség *a manuális-*

digitális térképek összehasonlító vizsgálatának eredményei. 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 *HDOP* és *PDOP* korrelációk gyakorlati jelentősége az, hogy a terepi mérés során az általam meghatározott *HDOP* és *PDOP* értékeken folytatva a mérést a feldolgozásnál már nincs szükség ezen értékek hibanövelő hatásának vizsgálatára.

A *differenciális GPS-méréseim* eredményei alapján a terepi méréseknél jobban becsülhető a meghatározott pontossághoz tartozó szükséges de elégséges, méréssel töltendő időtartam. Ezzel időt takaríthatunk meg, aminek pénzügyi vonzata is van. (Példaként gondoljunk 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.)

A GPS méréstechnikát 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. Kísérleteim 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 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 vizsgálataim 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) méretének meghatározása esetén.

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.

Material and methods

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 Bélys 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.

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 Nagykőrös. 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.

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 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 polynomial 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.

Results

1.

Studies of *spatial resolution* I showed that decreasing resolution changes the rate and extension of the slope categories. 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 %. 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.

2.

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.

3.

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.

4.

Determining resolution *the average distance of the contour lines* should not be ignored. My 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.

5.

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.

6.

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.

7.

With the statistic analysis of the *GPS measurement* results I showed that the changing of the values of neither the HDOP nor the PDOP within the interval measured influence significantly accuracy (the values of the correlation coefficients are under 0.3 in all cases).

8.

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.

9.

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.

10.

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).

11.

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.

12.

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.

13.

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.

14.

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.

15.

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.

Applicability

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. 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.

On the basis of investigations on the *distance between contour lines* it can be stated that 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 today 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.

On the basis of *comparing maps with different scale* 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.

As in recent decades the construction of the quantitative maps was carried out manually determining the accuracy of these maps the results of the comparative examination of *manual and digital* maps 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.

The significance of the *HDOP and PDOP* correlations 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.

On the basis of the results of *my differential GPS measurements* 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.

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.

An ever wider range of geographical investigations applies space images of ever better quality in the research. The rapid reduction of the price of the images and the possibility of searching and freely downloading space images on the Internet also contribute to this. Besides these raster digital databases (scanned paper maps) are also involved in the research in larger and larger number. With the results of the my above 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).

A témában megjelent tanulmányok

Szabó G. 2000. A vegetáció vizsgálata a Csereháton űrfelvételek felhasználásával. In: 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. - Utasi 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. Az országos kunhalom-kataszterezés eredményei. In: Dobos A. (szerk.), Földtani és felszínalaktani értékek védelme. Eger. 382p. ISBN 963 9417 28 9.

Demchenko, – A. Rasulev, – B. **Szabó, G.** – Inthapatha, S., 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.

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.

Szabó, G., 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.

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 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 Bodrogzug példáján. Digitális domborzatmodellezés használata a környezet- és mérnöktudományokban c. konferencia (HUNDEM Konferencia 2004).

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

Szabó, J.– Lóki, J. – **Szabó, G.** – Szabó, Sz. – Konecsny, K., 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.

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. 422 p. Budapest. ISSN 0495-1719.