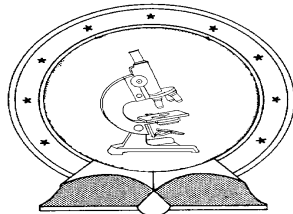


DE TTK



1949

**KÜLÖNBÖZŐ FELBONTÁSÚ LÉGI- ÉS ÚRFELVÉTELEK
PONTOSSÁGVIZSGÁLATA GEODÉZIAI REFERENCIA
MÉRÉSEK ALAPJÁN**

Egyetemi doktori (PhD) értekezés

Varga Zsolt

Témavezető: Dr. Lóki József
egyetemi tanár

DEBRECENI EGYETEM
Természettudományi Doktori Tanács
Földtudományok Doktori Iskola
Debrecen, 2016.

"A nyugtalan emberi értelem az örök fejlődés útjain, egyetemesen és szinte öntudatlanul magasabb célok szolgálatában áll. Túnt korok nyomán, népek, nemzetek jó vagy balsorsán át, az emberiség egyetemét a mindenség lelkéből, vett dinamikus erők e rejtett cél felé terelik."

Fodor Gyula m. kir. erdőmérnök

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Természettudományi Doktori Tanács Földtudományok Doktori Iskola A lito- és hidroszféra természetes és antropogén folyamatai programja keretében készítettem a Debreceni Egyetem természettudományi doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2016.02.25.

.....
*Varga Zsolt
jelölt*

Tanúsítom, hogy Varga Zsolt doktorjelölt 2011 - 2014 között a fent megnevezett Doktori Iskola A lito- és hidroszféra természetes és antropogén folyamatai programjának keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult. Az értekezés elfogadását javasolom.

Debrecen, 2016.02.25.

.....
*Dr. Lóki József
témavezető*

**KÜLÖNBÖZŐ FELBONTÁSÚ LÉGI- ÉS ŰRFELVÉTELEK
PONTOSSÁGVIZSGÁLATA GEODÉZIAI REFERENCIA
MÉRÉSEK ALAPJÁN**

Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében
földtudományok tudományágban

Írta: **Varga Zsolt**, okleveles birtokrendező mérnök

Készült a Debreceni Egyetem Földtudományok Doktori Iskolája
(A lito- és hidroszféra természetes és antropogén folyamatai programja)
keretében

Témavezető: **Dr. Lóki József**, egyetemi tanár

A doktori szigorlati bizottság:

elnök: Dr. Csorba Péter, egyetemi tanár
tagok: Dr. Szabó Szilárd, egyetemi docens
Dr. Kállay Attila, egyetemi docens

A doktori szigorlat időpontja: 2015. május 11.

Az értekezés bírálói:

Dr.
Dr.
Dr.

A bírálóbizottság:

elnök: Dr.
tagok: Dr.
Dr.
Dr.
Dr.

Az értekezés védésének időpontja: 2016.

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés, célkitűzés	7
2. Irodalmi áttekintés	9
2.1. A Föld alak közelítéséből és a térképi ábrázolásból adódó eltérések	9
2.1.1. Magyarországon a geidéziában alkalmazott vetületek.....	9
2.1.2. Az EOV és WGS-84 vetületi koordinátarendszerei és az OGPS hálózat .	11
2.2 A műholdas helymeghatározás	13
2.2.1. A műholdas helymeghatározás fejlődése, pontosságának változása.....	14
2.2.2. A műholdas helymeghatározás elve.....	14
2.2.2.1. <i>A GPS-el történő helymeghatározási módszerek áttekintése</i>	16
2.2.2.2. <i>A fázismérés, Doppler mérés és a kód mérés elve</i>	18
2.2.2.3. <i>A műholdas helymeghatározást, befolyásoló főbb fizikai tényezők</i>	19
2.3. A távérzékelés fizikai alapjai	23
2.3.1. A távérzékelésben használt energiaforrások.....	25
2.3.2. A légkör hatása a távérzékelésre.....	26
2.3.3. Az elektromágneses sugárzás kölcsönhatása a földfelszínnel, a domborzat hatása a távérzékelésre.....	27
2.4. Az űr- és a légi-távérzékelés, valamint a LIDAR technológia pontosságát meghatározó tényezők	28
2.4.1. Űrfelvételek jellemzői.....	28
2.4.1.1. <i>Az Űrfelvételek pontosságát meghatározó tényezők</i>	30
2.4.2. A digitális ortofotók előállítása.....	31
2.4.2.1. <i>Az ortofotók pontosságát meghatározó tényezők</i>	35
2.4.3. A LIDAR technológia.....	37
2.4.3.1. <i>A LIDAR felvételek pontosságát meghatározó tényezők</i>	38
3. Anyag és módszer	40
3.1. A vizsgált kül- és belterületi mintaterületek	40
3.1.1. Mintaterületek Hajdú-Bihar és Szabolcs-Szatmár-Bereg megyékben	40
3.1.2. Mintaterületek Kecskemét és Nyíregyháza belterületén.....	42
3.2. A vizsgált ortofotók, domborzatmodellek, űrfelvételek jellemzői és az alkalmazott transzformációk	43
3.2.1. A vizsgált ortofotók jellemzői	43
3.2.2. Az alkalmazott domborzatmodellek jellemzői.....	46
3.2.3. A vizsgált űrfelvételek jellemzői	49
3.2.4. A vetületbe illesztés során alkalmazott transzformációk	50
3.3. A vizsgálatok során alkalmazott műholdas helymeghatározó rendszerek	51
3.4. A pontosságvizsgálatok során alkalmazott módszerek	53
3.4.1. A felmérések során alkalmazott térinformatikai módszerek.....	53
3.4.1.1. <i>Pontok térképi meghatározása</i>	54

3.4.1.2. Úttengelyek térképi meghatározása	59
3.4.1.3. Erdőhatárok térképi meghatározása.....	59
3.4.2. A Vizsgálatok során alkalmazott geodéziai módszerek.....	61
3.4.2.1. Pontok terepi meghatározása	61
3.4.2.2. Úttengelyek terepi meghatározása.....	62
3.4.2.3. Erdőhatárok terepi meghatározása	64
3.4.3. Az elemzések során alkalmazott matematikai módszerek	65
4. Eredmények és értékelésük	67
4.1. Az alkalmazott módszerek pontosság vizsgálatának eredményei	67
4.1.1. A vektorizálás pontosság vizsgálatának eredményei	67
4.1.2. Az alkalmazott műszerek ellenőrzésének eredményei.....	69
4.2. Az ortofotók vizsgálatának eredményei.....	74
4.2.1. Ortofotók vizsgálata pontok alapján, különböző domborzatmodellek alkalmazásának eredményei	74
4.2.2. Ortofotókról meghatározott úttengelyek pontossága különböző felbontások szerint	82
4.2.2.1. A 0,1 m/pixel felbontású ortofotók vizsgálata	83
4.2.2.2. A 0,4 m/pixel felbontású ortofotók vizsgálata	84
4.2.2.3. A 0,5 m/pixel felbontású ortofotók vizsgálata	86
4.2.2.4. A 0,1 m/pixel, a 0,4 m/pixel és a 0,5 m/pixel felbontású ortofotók alapján meghatározott úttengelyek vizsgálati eredményeinek összehasonlítása	89
4.2.3. Ortofotókról meghatározott erdőhatárok pontossága.....	92
4.3. Az űrfelvételek vizsgálatának eredményei.....	97
4.3.1. A vetületbe illesztés során alkalmazott transzformációk pontossága	97
4.3.2. Űrfelvételekről meghatározot pontok pontossága	100
4.3.3. Űrfelvételekről meghatározot úttengelyek pontossága	100
4.3.4. Űrfelvételekről meghatározot erdőhatárok pontossága	104
5. Összefoglalás	107
6. Summary	112
Köszönetnyilvánítás	118
Felhasznált irodalom.....	119
Függelék	128

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS

A földmérés és a térképészet feladata a terepi felmérés, analóg térképek, fénykép alapú térképek (ortofotók), digitális térképek, digitális fénykép alapú térképek (pl. digitális ortofotók, űrfelvételek), pontfelhők és különböző modellek előállítására. A térképműveket különböző szakterületek más-más célokra használják. Ezek általában műszaki, kataszteri, katonai, gazdasági, politikai vagy általános célok lehetnek. A térképek előállításához szükséges adatgyűjtés (felmérés) történhet geodéziai módszerekkel (földi eljárásokkal) és távérzékeléssel. A távérzékelés, mint adatnyerési technológia, ezen belül az űr, a légi és a földi távérzékelések szerepe, gyors ütemű technikai fejlődésük és alkalmazási területeik kiszélesedése révén mára felértékelődött.

A térképkészítésben a földi eljárás a legpontosabb, de egyben a legdrágább módszer, annak személyi igénye és időtartalma miatt. A térképek előállításának olcsóbb módszerei közé tartoznak a légi- és űrfelvételek alapján előállított termékek, melyek különböző tartalmakkal és felbontással készülnek. Ezek napjainkra tömegtermékeké váltak, s így a felhasználók egyre szélesebb köre számára elérhetőek. Az alkalmazási területeik száma is kiszélesedett, így például manapság nélkülözhetetlenek a földmérés, közlekedés, építőipar, mezőgazdaság, erdészet, környezetgazdálkodás, árvízvédelem, stb. számára is.

A távérzékelési módszerekkel előállított termékek pontossága a technikai fejlődés következtében, illetve a forgalmazók, gyártók között mindinkább kielégződő verseny hatásai és a felhasználók növekvő elvárásai révén egyre inkább nő. Az űrfelvételek esetében már 0,4 m/pixel alatti, míg a digitális ortofotók esetében pedig 0,1 m/pixel alatti felbontásokról beszélhetünk.

Magyarország területéről űrfelvételek beszerzése csak külföldi forrásból lehetséges, míg az országos digitális ortofotók a FÖMI megrendelésére készülnek és kerülnek forgalomba 0,4 és 0,5 m/pixel felbontásban. Ettől nagyobb felbontásokat lokálisan, speciális feladatok végrehajtására készítenek egyedi megrendelések alapján a magán cégek. Mivel Magyarország területéről az előbbi felbontások képezik a nyilvántartás alapját (környező országokban már 0,1 és 0,2 m/pixeles országos légi fényképezéseket is végeztek), így célszerű megvizsgálni ezeknek a térképeknek a pontosságát. Rendelkeznek-e az elvárt pontossággal a különböző nemzetgazdasági célok, tervezési feladatok elvégzéséhez.

A felhasználók számára történő adatszolgáltatást is csak akkor tudjuk megbízhatóan és gazdaságosan megvalósítani, ha ismerjük a szolgáltatott adatok pontosságát. Ezek az értékek azonban különbözőek lehetnek, mivel a távérzékeléssel készített térképek alapján eltérő pontosságú adatok nyerhetőek, elsősorban a méretarányukból, a felbontásukból adódóan (HOHLE 1996, MANZER 1996, KLANG 1998, GREENFELD 2001, MENA 2005, VARGA & BÍRÓ 2013, MESAS-CARRASCOSA 2014).

A kiértékelés révén nyert információk pontossága azonban nemcsak a méretaránytól és a felbontástól függ, hanem attól is, hogy milyen tartalmat kívánunk interpretálni. A pontosság az adatgyűjtés, -rögzítés, -feldolgozás lehetőségeinek,

valamint a felhasználás milyenségének függvénye. A természetes és mesterséges tereptárgyak helyzetét és alakját a vektoros adatmodellek létrehozása során négy geometriai alapelemmel írhatjuk le, ezek a pont, vonal, poligon és a térmodellek (kutatómunkám során mind a négy geometriai elem- pontok, úttengelyek, erdőhatárok, domborzatmodellek- vizsgálatát végeztem). Ennek megfelelően az alapelemek a 0, 1,2 és 3 dimenziók kategóriáiba sorolhatók.

Pont (0D - nincs kiterjedése) pontszerű objektumok: aknafedlapok sarkai, centrumai, járda szélek pontjai, oszlopok stb.

Vonal (1D - lineáris kiterjedésű) vonalas létesítmények: utak, vasutak, vezetékek nyomvonalai, stb.

Poligon (2D - síkbeli kiterjedésű) területek: erdők, vizek felületei stb.

Felület (3D - térbeli kiterjedésű) térmodellek: domborzatmodellek, épületek térmodelljei [Internet 1.].

Tehát elengedhetetlen az előbbi geometriai elemek pontosságának és megbízhatóságának ismerete, hiszen ennek hiányában nem lehet meghatározni azt, hogy az adott feladatra vonatkozó pontossági követelményeknek, előírásoknak a felvételek eleget tesznek-e vagy sem (VARGA ET AL. 2015a). A kutatás során geodéziai módszerrel meghatározott adatok, valamint a légi- és űrtávérzékelés útján előállított térképek kerültek vizsgálatra. Ennek megfelelően földi eljárással felmért pontok, a repülőgépekről készített légi felvételek alapján előállított ortofotók és digitális ortofotók, illetve a műholdak felvételei alapján előállított térképek elemzését végeztük el azok pontosságának és megbízhatóságának meghatározása céljából. Ennek megfelelően a PhD dolgozatom az elemzéshez rendelkezésre állt digitális ortofotók, űrfelvételek és domborzatmodellek pontossági vizsgálatát foglalja össze.

A kutatómunkám során az alábbi célkitűzéseket fogalmaztam meg a különböző felbontású ortofotók és űrfelvételek pontosságainak vizsgálata szempontjából:

- meghatározni a vizsgálatok során alkalmazott módszerek pontossági értékeit,
- elemezni a digitális ortofotók pontosságait különböző technológiákkal készült domborzatmodellek alapján,
- kimutatni a vonalak pontosságát 0,1, 0,4, 0,5 m/pixel felbontások esetén és elemezni a különböző felbontások szerinti eredményeket,
- megvizsgálni, hogy a különböző felbontásoktól függ-e az ortofotók pontossága,
- digitális ortofotók alapján meghatározni erdőhatárok pontosságát és megbízhatóságát különböző években készült felvételek alapján,
- megvizsgálni a pontok és erdőhatárok pontosságait 2,5 m/pixel felbontású űrfelvételek alapján, megvizsgálni az úttengelyek pontosságait 1,85 és 2,5 m/pixel felbontású űrfelvételek szerint.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A Föld alak közelítéséből és a térképi ábrázolásból adódó eltérések

Az objektumok térképi ábrázolását terepi mérésekkel tudjuk megvalósítani, majd a terepi elemek koordinátáit ábrázoljuk a térkép koordináta rendszerében. A terepi mérés során a helyi függőleges és a helyi vízszintes által meghatározott vonatkozási rendszert használjuk, a számításokat az alapfelület vetületi koordináta rendszerében végezzük és végül a térképi szerkesztés a térkép koordináta rendszerében történik. Mivel a mérés, számítás, szerkesztés során különböző vonatkozási rendszereket használunk, ezért a térképi ábrázolás egyértelmű megvalósítása érdekében kapcsolatot kell teremtenünk a három rendszer között. Terep és az alapfelület, valamint az alapfelület és a térkép közötti kapcsolatot vetületi számításokkal valósítjuk meg. Az alapfelület általában a Föld alakját (geoid) közelítő görbült felület (gömb, ellipszoid), a térképezés felülete viszont sík (MÉLYKÚTI 2010). Ebből adódóan a térképi ábrázolást minden esetben elhanyagolások, torzulások és ellentmondások terhelik.

2.1.1. Magyarországon a geodéziában alkalmazott vetületek

MÉLYKÚTI (2010) szerint: „*a térképi vetület két matematikailag definiált felület között számításal teremtett kapcsolat*”. A vetítés módja szerint megkülönböztetünk valódi és képzetes vetületeket. A valódi vetület geometriailag megszerkeszthető és matematikailag is leírható, míg a képzetes vetület esetén csak matematikai kapcsolat létesíthető a vonatkozási rendszerek között. A vetítések során torzulások (hossz, terület, szög) jönnek létre, melyeket modulusokkal jellemzünk. Ennek megfelelően beszélünk lineár-, terület- és iránymodulusokról. Meghatározhatók olyan függvények és egyenletek, melyek a szög, vagy terület-torzulásokat megszüntetik. A hosszak a vetítés során mindig torzulnak, kivéve a speciális eseteket, pl. ha az adott vonal mindkét felület alkotója. Hossztartó vetület tehát nincs. Jelenleg a geodéziában kizárólag szögtartó vetületeket alkalmaznak (MÉLYKÚTI 2010).

Az Osztrák-Magyar Monarchia I. katonai felmérésekor vetület nélküli rendszert alkalmaztak. A II. katonai felmérés (1807 – 1869) során már „egységességnek” mondható háromszögelési hálózat alapfelületi koordinátái közötti hosszakat változtatás nélkül (redukciók nélkül) szerkesztették át a térképre. Így például egy 600 km hosszú vonal torzulása elérte az 1 km-t. Annak érdekében, hogy a térképi ábrázolás bizonytalanságát csökkentsék, a Magyar Királyság területén három koordináta rendszert hoztak létre. A Budai, Nagyszebeni és Ivanici rendszerekben történő felmérések 1884-ig tartottak (VARGA 2007). A térképezés bécsi örendszerben történt, melynek méretarányai a részletgazdagságtól függően 1:2880, 1:1440, 1:720 voltak. Az 1869-től 1884-ig tartó harmadik katonai fel-

mérés is a második felmérés során alkalmazott alapponthálózatot használta, melyet ekkor sem egyenlítették ki. A felmérés során készült egyes térképeket a területhasználati változások kimutatásánál kutatási célra ma is használjuk.

1860-ban Magyarország háromszögelési hálózatát újraszámították és ki-egyenlítették, és a Bessel-féle ellipszoidi koordinátákat fogadták el (VARGA 2007). A pontokat az ellipszodról a régi Gauss gömbre, majd sztereografikus módszerrel a gömböt érintő ferde helyzetű síkra vetítették. A sztereografikus vetület kettős vetítést alkalmazó valós vetület, így geometriailag is megszerkeszthető (MÉLYKÚTI 2010). Két ilyen rendszert is meghatároztak az országban: a budapesti és a marosvásárhelyi rendszereket (MÉLYKÚTI 2010). 1937-től alkalmazták a katonai sztereografikus rendszert, mely azonos a budapesti rendszerrel, valamint 1930-tól alkalmazták az önálló városi rendszert Budapest felmérésére (MÉLYKÚTI 2010). Az egyes rendszerek koordináta különbözősége miatt a rendszerek közötti átszámítások nem voltak szabatosan végezhetőek (MÉLYKÚTI 2010, VARGA, J. 2014).

Az 1906-ban a Fasching Antal által kidolgozott hengervetületek geodéziai felméréseknél történő bevezetésére 1908-ban került sor (MÉLYKÚTI 2010). Hasonlóan a sztereografikus vetülethez, ennél a rendszernél is kettős vetítést alkalmaztak, azzal az eltéréssel, hogy a képfelülete nem érintő sík, hanem érintő henger volt (BÁCSATYAI 2002). Mivel a hossztorzulások meghaladták a még megengedhető értéket, ezért az ország területére három ilyen rendszert határoztak meg (Henger Észak-, Középső- és Déli- rendszereket).

A rendszerek tájékozása eltér, de alapfelületei azonosak a sztereografikus rendszerével. A geodézia pontosság igénye egyre nőtt és a vetületi rendszereink ezeknek nem tudtak eleget tenni, ezért 1969 és 1975 között egy új vonatkozási rendszer bevezetését hajtották végre. Ez a vetületi rendszer is kettős vetítést alkalmaz, első alapfelülete a Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Unió által 1967-ben elfogadott IUGG/1967 (International Union of Geodesy and Geophysics) ellipszoid (GRS67, Geodetic Reference System), melyet HD72 (Hungarian Date 72) geodéziai dátummal írják le, második alapfelülete pedig az új magyarországi Gauss gömb. Az ellipszoid lokális, nem geocentrikus elhelyezésű, így jól simul a geoid magyarországi felületéhez (VARGA 2007). A vetítés az ellipszoidról az új Gauss-gömbre, onnan pedig egy ferdetengelyű hengervetülettel a síkra történik. Ez a szög tartó hengervetület két hossz tartó segéd paralelkörrel rendelkezik, melyek a két kör mentén metszik az ellipszoidot. Az északi segéd paralelkörtől É-ra és a déli segéd paralelkörtől D-re hossz növekedés lép fel, ami az ország északi peremén már +26 cm-s, legdélebbi részén pedig +23 cm-s torzulást okoz. A segéd paralelkörök között hosszrövidülés lép fel, amely a maximumát a segédegyenlítő mentén (-7 cm) éri el. Ezt a ferdetengelyű redukált hengervetületet nevezzük Egységes Országos Vetületnek (EOV), az 1975-ös Vetületi szabályzat alapján (VARGA 2014)

Magyarországon 1953–2004 között a katonai topográfiai térképek vetületeként a Gauss-Krüger vetületi rendszert alkalmazták (MÉLYKÚTI 2010) A rendszer alapfelülete a Kraszovszkij-féle globális elhelyezésű ellipszoid volt, képfel-

lüllete pedig egy transzverzális elhelyezésű érintő henger (MÉLYKÚTI 2010). Ez a hengervetület is szögtartó, tehát a képfelületen a hosszak és a területek torzulnak. A képfelületi ellipszis keresztmetszetű henger tengelye átmegy az ellipszoid középpontján és az egyenlítő síkjában fekszik [Internet 2]. Az ellipszoidot egyenlő sávokra osztották úgy, hogy mindig egy ábrázolandó sáv középmeridiánja legyen a közös alkotója (torzulásmentes vonal) az alap és a képfelületnek. A vetítendő kétszöget ezek után a két szegély meridiánjai mentén elvágják és síkba terítik. A vetítés szögtartó, de a hosszak a szegély meridiánoktól K-re és Ny-ra folyamatosan torzulnak.

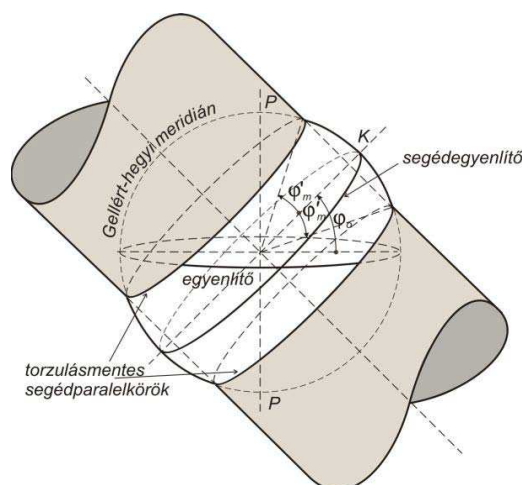
Magyarország NATO csatlakozása (1997) után a katonai térképészetben áttértek a GPS navigáció vonatkozási rendszerére UTM (Universal Transverse Mercator), melynek alapfelülete a WGS-84 (World Geodetic System) jelű ellipszoid, képfelülete pedig egy egyenlítői elhelyezésű süllyesztett henger. A hengervetület szögtartó és két normálellipszisen (torzulásmentes vonalon) metszi az ellipszoidot. További jellemzői, a vetületi sávjai, és a vetületi egyenletének néhány jelöléstől eltekintve megegyeznek a Gauss-Krüger vetületével (MÉLYKÚTI 2010).

2.1.2. Az EOVS és WGS-84 vetületi koordinátarendszerei és az OGPS hálózat

Az Egységes Országos Vetületi rendszert (EOVS) 1975-ben vezették be. Vetületi kezdőpontja az alapfelületéhez (IUGG1967 ellipszoid) simuló gömb (új magyarországi Gauss-gömb), gellérthegyi kezdőmeridiánjának $\varphi_0 = 47^\circ 06' 0,0000''$ gömbi földrajzi szélességű helyén van [Internet 3]. A síkra vetítés a gömbről ferdetengelyű redukált szögtartó hengervetülettel történik (VARGA 2014). A segédparalelkörök a redukálás miatt hossztartóak és a segéd földrajzi szélességük (φ_m) koszinusza megegyezik a vetületi méretarány-tényezővel (m_0). A segédparalelkörök között hosszrövidülés lép fel, mely a maximumot (-7 cm/km) a segédegyenlítőn éri el.

A segédparalelköröktől Északra és Délre hossznövekedés lép fel, mely az ország legészakibb pontján éri el a maximumot (+26 cm/km), míg ugyanez az érték a déli határon pedig +23 cm/km (1. ábra).

A vetületi rendszer ÉK-i tájékoztató koordináta rendszerének y tengelye (pozitív ága keletre mutat) a segédegyenlítő, míg az x tengelye (pozitív ága északra mutat) a kezdőmeridián egyenesként ábrázolt képe. A koordináta rendszer az országot négy negyedre osztja. Ennek elkerülése végett a rendszer kezdőpontját egy olyan pontba helyezték át, melynek révén a koordináták mindig pozitív előjelűek, illetve teljesül a $X < 400\,000 \text{ m} < Y$ feltétel [Internet 4.].



1. ábra: Ferdetengelyű redukált hengervetület (EOV)
[Internet 3.]

A WGS-84 geodéziai világrendszer 1984. évi változatát, jelölésének változatlanul hagyása mellett GPS-mérések felhasználásával többször is továbbfejlesztették (1990-2000 között). A WGS84 három realizációját hozták létre: WGS84 (G730), WGS84 (G873), WGS84 (G1150) (KUMAR & REILLY 2006, SLATER & MALYS 1997). Ennek célja többek között az volt, hogy a WGS-84 vonatkozási koordináta rendszerét összhangba hozzák a földi vonatkozási koordináta rendszer kerethálózatával. Ez a pontossági szintek folyamatos növelése mellett úgy valósult meg, hogy először a földi vonatkoztatási rendszernek (International Terrestrial Reference System, ITRS) 1991, 1994, majd 2000. évi koordinátarendszere kerethálózatával (International Terrestrial Reference Frame, ITRF) egyeztettek (ÁDÁM 2008). Az európai tábla évi 2–3 cm-t mozog, ezért az ITRS mellett szükség volt egy európai vetületi koordináta rendszer létrehozására. A rendszert az ITRS alapján 1989-ben hozták létre, így az elnevezése ETRS-89, European Terrestrial Reference System 1989 (ÁDÁM ET AL. 2004, BOUCHER & ALTAMIMI 1996, PODER 1992).

Ez egy olyan 3D vonatkoztatási rendszer, amely az Eurázsiai kőzetlemezrel együtt mozog ÉK-i irányba, ezáltal biztosítani tudják a koordináták állandóságát. Az ETRS89 koordinátákat hétparaméteres (X,Y,Z elmozdulás, 3 elfordulási szög és a méretaránytényező felhasználásával) a meghatározás évére érvényes (ITRF_{yy}- Nemzetközi Földi Vonatkoztatási Rendszer, amelyben az yy jelzi a meghatározás évét) Helmert transzformációval számítják. Az ETRS89 rendszernek a különböző megvalósításait a rendszer rövidítése után álló évszámok alapján tudjuk megkülönböztetni, melyek elhanyagolható mértékben ugyan, de eltérnek egymástól. 2006-tól az ITRF2005 érvényes, míg 2008 után az ITRF2008 így ezen időpontok után meghatározott ETRS89 koordinátáknak az ETRF05, illetve ETRF08 jelölést adunk. A

hétköznapi gyakorlatban ezeket a koordinátákat egységesen ETRS89 koordinátáknak nevezzük [Internet 5.].

A GNSS mérések ETRS89 rendszerben történő végrehajtásához olyan alapponthálózatra van szükségünk, melyben az alappontok koordinátái ebben a rendszerben ismertek. A gyakorlati megvalósítás tehát a meglévő ötpontos hálózat (OGPSH, EUREF-hez csatlakozó pontjai: Csanádalberti, Csarnóta, Penc, Sopron, Tarpa) sűrítését tette szükségessé, ami két ütemben történt. Egy 24 pontból álló GPS kerethálózatot hoztak létre, majd ezt sűrítették tovább, melynek során egy 1153 pontból álló térbeli hálózat, az Országos GPS Hálózat (OGPSH) jött létre. Először a kerethálózat pontjai kerültek kiegyenlítésre, majd további pontsűrítések pontjai. A pontsűrítést úgy hajtották végre, hogy a már meglévő felső- és negyedrendű vízszintes pontokból választották ki az OGPSH további pontjait. Így a vízszintes hálózattal való kapcsolatot is megoldották, hiszen az így meghatározott pontok közös pontjai lehettek a GPS-EOV transzformációnak (BUSICS 2010a). A méréseink eredményét (pl. GPS, GNSS mérés) nem mindig abban a vonatkozási rendszerben határozzuk meg, amelyben fel szeretnénk használni. A vonatkozási rendszerek közötti átszámítást koordináta transzformációval végezzük. Ilyen transzformációkat végezhetünk például WGS84, ETRS89, GPS, EUREF, OGPSH2007, valamint a HD72, EOVI/EOVA, EOVI, rendszerek között mindkét irányban. A transzformációk lényege, hogy olyan közös pontok alapján végezzük a koordináták átszámítását az egyik rendszerből a másikba, melyek koordinátái mindkét rendszerben adottak. Bár ezek a számítások már a legjobb illeszkedés biztosítása mellett automatizáltak, de az eredmények a rendszerek tökéletlen illeszkedésiből adódóan hibákkal terheltek (BUSICS 2010b).

2.2. A műholdas helymeghatározás

Napjainkban a technikai és technológiai alkalmazások fejlődése egyre nagyobb adattömegek kezelését biztosítja. A műholdas helymeghatározás pontossága iránti igény egyre nő (ZUMBERGE ET AL. 1997, ROBERTS ET AL. 2004, DEREN ET AL. 2014), a pontosabb mérési eredmények pedig a műholdas helymeghatározás széleskörű alkalmazását eredményezik (CAIN ET AL. 2005, MAANTAY & ZIEGLER 2006, ZANDBERGEN 2009, BUSZNYÁK 2011).

Az eszközök könnyen használhatóak, ugyanakkor a szakszerű alkalmazásuk szakképzettséget és nagy körültekintést, gyakorlatot igényel. A nagy mennyiségű és egyúttal nagy pontosságú koordinátameghatározás legolcsóbb és leggyorsabb módja a GPS-el történő koordinátamérés. Tekintettel arra, hogy kutatómunkám során ezt a módszert is alkalmaztam, szükségesnek tartom a műholdas helymeghatározás kialakulásának, fejlődésének, elvének, pontosságának ismertetését, különös tekintettel a vizsgálatokban alkalmazott GPS eljárásokra és módszerekre.

2.2.1. A műholdas helymeghatározás fejlődése, pontosságának változása

A világűr közvetlen, emberi megismerésének kezdetétől napjainkig számos tudománytörténeti szempontból meghatározó momentum van, melyek közül dolgozatomban a kutatási témám szempontjából a legjelentősebbeket emelem ki.

ÁDÁM ET AL. (2004) szerint a műholdas rendszerben fontos, hogy „*a földkerekség bármely pontján, bármely időpontban egyszerre legalább négy műhold legyen mérésre alkalmas helyzetben*”. A helyhez kapcsolt információk szerepét már a múlt században felismerték, és ezek elnyerése céljából a kutatás-fejlesztés a műholdas helymeghatározás és a navigáció mérési eljárásainak pontossága felé irányult (KAULA 1966, ÁDÁM ET AL. 2012). Tetszőleges objektumok kiterjedésének, valamint terepi álláspontok helyzetének műholdakkal történő meghatározására a múlt század közepétől nyílt lehetőség (SZABÓ 2006). A műholdak pályájának ismeretében térgeometriai módszerekkel történő pillanatnyi pozíciómérést követően a szemléltető földrajzi koordinátáinak meghatározását lehetett megvalósítani. ÁDÁM ET AL. (2004) szerint 5–10 méteres hibával állapították meg a mérés helyét a módszer továbbfejlesztése révén (TAWADROUS & HELALI 1987, XINGXING ET AL. 2015).

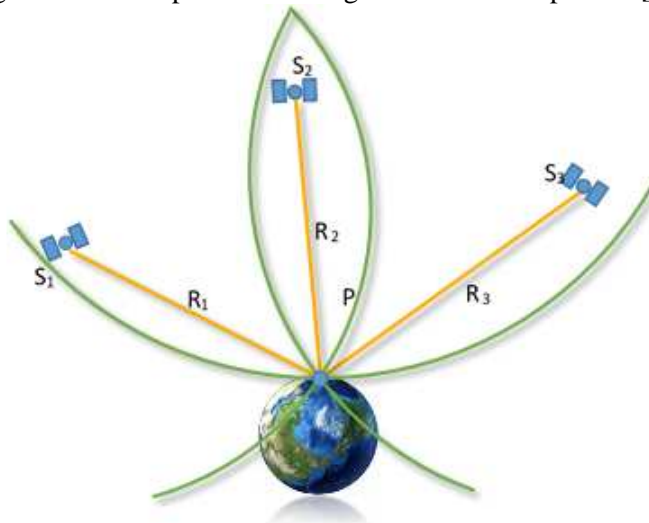
A csúcstechnológia (időmérés, kódolás, jeltovábbítás, számítástechnika alkalmazása) révén Amerikában 1973. december 17-én mutatták be a NAVSTAR GPS (Navigation System with Timing and Ranging = navigációs műholdas idő- és távolság-meghatározás) 24 műholdból álló rendszerét. Oroszország hasonló rendszere a GLONASS (Globalnaja Navigacionnaja Szputnyikovaja Szisztyema) nevet kapta (RIZOS ET AL. 2005, CAI & GAO 2013, MONTENBRUCK ET AL. 2015, Internet 6.). A GPS 1994-ben elérte a teljes kiépítettséget (24 műhold 6 pályasíkon), míg a GLONASS finansziális okok miatt csak 2009-re épült ki (24 műhold 3 pályasíkon) [Internet 7.].

2.2.2. A műholdas helymeghatározás elve

A GPS meghatározás geometriai értelemben a térbeli ívmetszéssel alapszik [Internet 8.]. A síkbeli ívmetszésnél két ismert koordinátájú pont és két (az ismeretlen pontokra menő) mért távolság alapján, két körív metszéseként számíthatjuk az új pont koordinátáit. A körívek két pontban metszik egymást, így a feladatnak két megoldása lehet. A három pont (adott pontok és az ismeretlen pont) által alkotott háromszög körüljárási irányából (az óramutató járásával egyező vagy sem) megállapítható, hogy a metszéspontok közül melyik került számításra. A térbeli ívmetszés megoldásához viszont három Y; X; Z koordinátákkal rendelkező pontra van szükségünk. Ez a három pontkoordináta nem más, mint három GPS műhold koordinátája (S_1, S_2, S_3) a Föld feletti térben és a térbeli ívmetszéssel számítandó ismeretlen pont (P), mely a Földön helyezkedik el. Tételezzünk fel egy idealizált állapotot melyben minden mozdulatlan, a Föld

nem forog a tengelye körül és nem kering a Nap körül és a műholdak is mozdatlanok az égbolton.

Tételezzük fel továbbá, hogy ismerjük az adott pontok és a meghatározandó pont közötti távolságokat (R_1 , R_2 , R_3). Ebben a rendszerben az ismeretlen pont koordinátáit három gömb metszéspontjaként számíthatjuk (2. ábra), ahol a gömbök sugarai az ismert pontok távolságai az ismeretlen ponttól [Internet 9].



2. ábra Térbeli ívmetszés (TARSOLY 2010a alapján szerkesztve)

Hasonlóan a síkbeli ívmetszéshez, ennek a feladatnak is két megoldása lehet. Azonban tudjuk, hogy a „P” pontnak egy 6380 km-es sugarú gömbfelszín közelében kell lennie, a műholdak pedig ettől a felszíntől 20000 km távolságban vannak. Ezen tények ismeretében egyszerűen kizárható a két meghatározott pont közül az, amelyik a világörben helyezkedik el. Tehát geometriai szempontól, legalább három távolság és három ismert koordinátájú pont szükséges ahhoz, hogy egy ismeretlen pont koordinátáit (X , Y , Z) számítani tudjuk [Internet 10].

A vevők órahibái miatt, a meghatározandó pont három ismeretlen koordinátáin kívül van egy negyedik meghatározandó paraméter is, ami az órák szinkronizálatlanságából adódik. Így az ismeretlen pont X , Y , Z koordinátáinak és az órahiba meghatározásához négy műholdra történő távolságmérésre van szükség (BUSICS 2010c).

2.2.2.1. A GPS-el történő helymeghatározási módszerek áttekintése

Az Amerikai Geodéziai és Térképészeti Kongresszus szerint a GPS mérések az 1. táblázatban szereplő pontossági kategóriákba sorolhatók:

1. táblázat A GPS mérések pontossági kategóriái [Internet 11.]

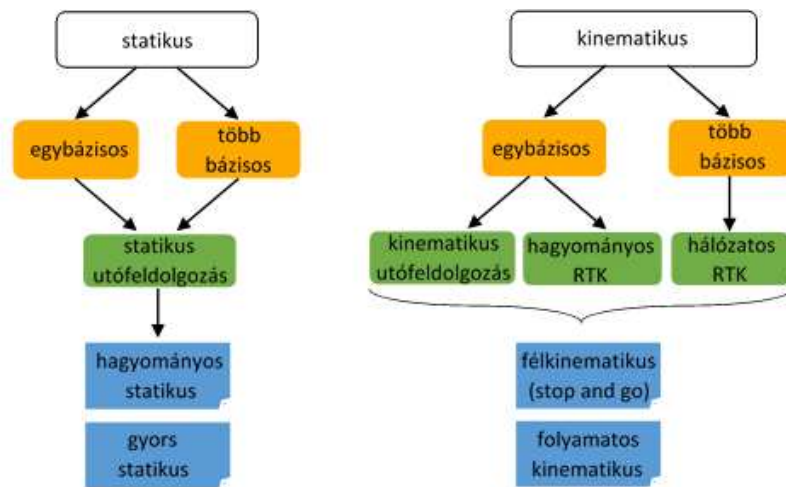
Pontossági kategória	Ponthiba
tízméteres	> 10,0 m
többméteres	1,50-10,0 m
méteres	0,50-1,50 m
szubméteres	0,20-0,50 m
deciméteres	0,05-0,20 m
centiméteres	5 mm – 50 mm
milliméteres	< 5 mm

A pontossági kategóriák a felhasználók pontossági igényeinek rendszerezését szolgálják. Ezen túlmenően a kategóriák alapján megállapítható, hogy az egyes feladatok végrehajtásához (ismerve a feladat pontossági követelményeit) milyen pontossági osztályba tartozó eszközre lehet szüksége a felhasználónak.

A néhány métertől, több tízméteres kategóriákba a navigációs vevők tartoznak amelyek nagyrésze már rendelkezik WAAS/EGNOS korrekciók (3.3.2. fejezet) vételének lehetőségével, ezáltal nem csak az abszolút meghatározás elvén működnek.

A geodéziai meghatározásokat fázismérésen alapuló egy vagy több frekvenciás megoldásokkal hajtunk végre olyan vevőkkel, amelyek egyszerre egy vagy több műholdrendszert is képesek észlelni. Ezen GNSS vevők már centiméteres pontosságúak [Internet 11.].

A vizsgálataim során fázismérésen alapuló relatív mérési technológiákat alkalmaztam. Ezen technológiák rendszerezése a 3. ábrán látható.



3. ábra Statikus és kinematikus mérések csoportosítása
(BUSICS 2010D alapján szerkesztve)

Statikus mérések közé soroljuk a hagyományos statikus, a gyors statikus és a visszatérési meghatározásokat [Internet 12.]. A statikus méréskor a meghatározandó vektor mindkét végpontján egy-egy vevő végez egyidejű észlelést ugyanazon műholdakra. A mérés során az egyidejűségen kívül a bázis mindkét pontján legalább 4 azonos műhold észlelése szükséges.

A kinematikus mérések fajtái: félkinematikus (*SGS–Stop-and-go survey*), valódi kinematikus (*TKS–True kinematic survey*), valamint valós idejű kinematikus (*RTK–Real Time Kinematic*) [Internet 13.]. Az RTK megoldáson belül megkülönböztetünk hagyományos RTK és hálózati RTK módszereket. Ennek megfelelően négyféle kinematikus eljárásról beszélhetünk, igaz ezek a módszerek a gyakorlatban nem teljesen különülnek el egymástól. A három alapeljárást a 2. táblázat tartalmazza.

A félkinematikus (stop and go) módszer alkalmazása esetén két vevőre van szükségünk, az egyiket felállítjuk a referenciaponton (álló vevő), a másikkal pedig (mozgó vevő) elvégezzük az inicializálást OFT (*On-The-Fly*) módban. Ezek után a mozgó vevővel felkeressük a meghatározandó pontokat és elvégezzük a mérést. A félkinematikus mérés előnye, hogy a meghatározandó pontokon a mérés csupán néhány másodpercet vesz igénybe, hátránya hogy a teljes bejárás időtartamára legalább négy műhold folyamatos észlelésére van szükség. A félkinematikus módszer alkalmas felmérési alappontok és kialappontok meghatározására (pontossága: 1–2 cm + 1 ppm).

2. táblázat A kinematikus mérések fajtái (* saját bázissal, ** hálózati RTK megoldással) [Internet 11.]

elnevezés	jellemző alkalmazás	jellemző ponthiba	jellemző bázishossz	feldolgozás
félkinematikus (stop & go)	felmérés	1–2 cm	< 15 km	utólagos
valódi kinematikus	felmérés	1–3 cm	< 15 km	utólagos
RTK	felmérés kitűzés	1–3 cm	< 5–10 km* < 40km**	valós idejű

A valódi vagy folyamatos kinematikus (true kinematic, continuous kinematic) módszer abban tér el az előzőekben leírt félkinematikustól, hogy míg az utóbbinál csak az általunk kiválasztott pontok koordinátáit határozzuk meg, addig a valódi kinematikus módszer esetén maga az útvonal meghatározása történik, annak megfelelően, hogy milyen időintervallumokat definiáltunk a meghatározandó pontok rögzítésére. A vizsgálataink során több alkalommal használtuk a módszert, oly módon hogy egy jármű tetejére (annak szimmetriatengelyében) helyeztünk el egy vevőt. A mérés során biztosítani kell a folyamatos jelvételezt, melyhez nyitott égboltra van szükség. A módszer pontossága 1–3 cm + 1 ppm értékben határozható meg [Internet 11.].

A RTK technológiában aktív hálózatok teljes kiépítése hozott áttörést. A hálózatok folyamatosan üzemelő permanens állomásai valós idejű adatokat kezdtek szolgáltatni. Ennek következtében 2000 évtől kezdődően kialakult a hálózatos RTK módszer. Ehhez szükség volt Internetre, intelligens szoftverek kifejlesztésére, valamint az RTK-adatok szabványosítására (*NTRIP - Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*). A mérést egy darab kétfrekvenciás vevővel végre lehet hajtani. A hálózatos RTK módszer lényege abban áll, hogy referenciavevők ismert helyzetű pontokon helyezkednek el és folyamatosan mérnek. A folyamatos mérés alapján az állomások között számíthatók a légköri- és más hibahatásokból adódó korrekciók, melyek valós időben a felhasználók számára továbbíthatók (BUSICS 2010e).

Attól függően, hogy a műholdak és a vevő közötti távolságokat milyen módszerrel határozzuk meg, beszélhetünk fázismérésről, Doppler mérésről és kódmérésről.

2.2.2.2. A fázismérés, a Doppler mérés és a kódmérés elve

A műholdas helymeghatározást a vevő (*receiver*) és a műhold (*satellite*) közötti távolság, vagy távolság-változások mérései alapján végezzük. Manapság a GPS rendszerekben a távolság és távolság-változások meghatározására alapvetően háromféle méréstípust alkalmaznak: fázis-összehasonlításon alapuló távol-

ságmérést, Doppler-elven alapuló távolságváltozás-mérést (KOUBA 1983) és kód-összehasonlításra alapuló távolságmérést.

A fázismérés alapján történő meghatározás azon az elven alapul, hogy összehasonlításra kerül a helymeghatározás során alkalmazott műhold által kibocsájtott vivő jel és a vevő által előállított referencia jel fázisa. Ennek eredménye egy olyan számérték, amely egy egész és egy tört részből áll. Az egész rész a periódusok számát, míg a tört rész a fáziskülönbséget fejezi ki. Az első fázis mérésekor csak a tört részt tudjuk meghatározni, az egész részek értékeinek meghatározása modellezéssel történik. A kutatás során alkalmazott geodéziai vevők is a fázismérés elvén működnek (BUSICS 2010f).

Busics szerint: a Doppler mérés során az elektromágneses hullám megváltozott frekvenciája kerül detektálásra. A frekvencia változását a vevő és az általa érzékelt műhold egymáshoz képest történő elmozdulása okozza. A mérés eredménye egy adott időtartam alatt mért, a frekvencia változással megegyező ún. Doppler szám (BUSICS 2010g).

A kódérés a műhold által kibocsátott kód és a vevő által előállított referenciájel (replika kód) ködelemeinek összehasonlítását jelenti (BUSICS 2010f). A kódtávolság az elektromágneses hullám futási idejének és az elektromágneses hullám terjedési sebességének a szorzataként áll elő, ahol a futási idő nem más, mint a jelvételezés időpontja és a jelkibocsátás időpontja közötti különbség. Az egyszerű navigációs GPS vevők kizárólag kódéréssel végzik a helymeghatározást. Ha a műhold órák és a vevő órák tökéletesen szinkronizáltak lennének egymással és a hullám vákuumban terjedne, valamint nem lenne semmilyen hibahatás, úgy a kódtávolság a valódi geometriai távolsággal egyezne meg (XU 2003). A valóságban azonban több fizikai tényező is befolyásolja a GPS alapú helymeghatározást (BUSICS 2010f).

2.2.2.3. A műholdas helymeghatározást befolyásoló főbb fizikai tényezők

A GPS méréseket terhelő hibák alapvetően öt forrásból származhatnak, így a műholdak óra és pálya hibái, a terjedési közeg okozta hibák, a vevőberendezések hibái, a műholdgeometria okozta hibák valamint a véletlen hibák (VANDAM ET AL. 1994, JERDE & VISSCHER 2005, WANG & ZHANG 2008). Ezen hibák a 3. táblázatban vannak feltüntetve, külön vizsgálva az abszolút és relatív helymeghatározás hibáit.

A hibák első csoportját a műholdak óra és pálya hibái képezik. Noha a műholdak atomórája igen pontos, a relativisztikus hatások (pl. a Föld forgásából adódó Sagnac hatás) miatt időeltolódás jön létre, amely több méteres hibát is okozhat, a hiba oka, hogy az ephemeris ritkán kerül kiküldésre és eközben a műholdak pályái módosulnak [Internet 14.]. Ennek korrigálása a földi szegmens feladata. Relatív módszer alkalmazása esetén a hiba kiküszöbölhető.

3. táblázat Egyes hibák hatása a műhold-vevő távolságra Hofmann-Wellenhof nyomán [Internet 15.]

hibaforrás	abszolút helymeghatározás	relatív mérés (egyszeres különbség)
Műhold pályaadat hiba műhold órahibája SA pályahiba (SA: on) SA órahiba (SA: on)	2-10 m 1-10 m 10-100 m 10-100 m	0,1 – 0,5 ppm ~ 0 0,5 -5 ppm ~ 0
Terjedési közeg ionoszférikus hatás troposzférikus hatás	2-150 m (csak L1) ~ 0 (L1 és L2) 2-10 m (modell nélkül) néhány cm (trop. modell-lel)	0,1-5 ppm (csak L1) ~ 0 (L1 és L2) ~ 0 (rövid vektor) cm (hosszú vektor)
Vevő többutas terjedés fáziscentrum zaj (önmagában a kódérés vagy fázismérés hibája)	néhány méter néhány mm (cm) 1-3 m (C/A kód) 0,3-1 m (P kód)	néhány cm ~ 0 1,4 – 4,2 m (C/A kód) 0,4- 1,4 m (P kód) 1 mm (fázismérés)
Műhold geometria	DOP érték szerint	DOP érték szerint

A hibák második csoportjába a terjedési közeg okozta hibák tartoznak. Az elektromágneses sugárzás áthalad a légkörön, az ionoszférán, melynek alsó határa 85 km, majd a mezoszférán (45–85 km), ezután sztratoszférán (12–45 km) és végül a troposzférán (0–12 km), amíg a vevőhöz ér. Az ionoszférában a napsugárzás hatására a légkörben lévő gázok atomjai ionizált állapotban kerülnek, s miután az ionoszféra diszperzív közeg, ezért sugárzás késleltetést szenved, megváltozik a frekvenciája. Ennek a távolságra gyakorolt hatása 50–100 m is lehet. A hatás több tényezőtől függ, így például a napszaktól, évszakoktól, a naptevékenységektől. „Az ionoszféra hatásának figyelembevételére a következő módszerek ismertek: mérés útján, becslés és számítás útján történő figyelembe vétel, valamint a hiba kiküszöbölése kétfrekvenciás méréssel” (BUSICS 2010f). A mérés útján történő figyelembe vétel azt jelenti, hogy a megfigyelő állomásokon mérik az ionoszféra teljes elektrontartalmát, majd a GPS mérés helyére, időpontjára interpolálással határozzák meg a vonatkozó korrekciós értékeket. Ezzel a módszerrel az ionoszférahatás 80 %-a vehető figyelembe. A módszert Japán kivételével a gyakorlatban nem használják. A becslés útján történő figyelembe vétel azt jelenti, hogy ismeretlennek tekintik zenit irányú ionoszférikus javítást a GPS mérés feldolgozásánál. Ez sem használatos a gyakorlatban. A számítás

útján történő figyelembevétel esetén, tapasztalatok alapján modellezik a hatást (BUSICS 2010f).

A földi követő állomásokról továbbított modell-paraméterekkel a hatás csökkenthető. Ilyen modell pl. a Klobuchar-féle modell, melyet több vevőbe és szoftverbe is beépítettek. A kétfrekvenciás mérés esetén a hatást úgy küszöböljük ki, hogy kihasználva az ionoszférikus hatás frekvencia függőségét, az L1 és L2 frekvenciára történő mérések lineáris kombinációjaként előállítunk egy fiktív 3. frekvenciát. ($L3 = L1 - L2 \times L2/L1$) [Internet 15.]. A terjedési közeg okozta hibák közé tartozik még a troposzféra hatása a GPS mérésekre. A troposzféra az atmoszférának azon rétege, ahol nincsenek elektromosan töltött részecskék. A troposzféra a rádióhullámokra nem diszperzív közeg, ezért egyféle, egységes törésmutatóról, refraktivitásról beszélünk. A jel a troposzférán áthaladva késést szenved, ezáltal látszólagos úttöbblet jelenik meg, melynek értéke elérheti akár a 2–3 métert is. Ezt a hibát a légkör pontbeli törésmutatójának ismeretében küszöbölhetjük ki. Ehhez ismerni kell többek között a légnomást és a vízgőz párányomását is. A gyakorlatban a hatás kiküszöbölésére troposzférikus modellt használnak [Internet 16.]. Ilyen pl. a Hopfield-féle és Saastamoinen-féle modell (SATIRAPOD & CHALERMWATTANACHAI 2005, BUSICS 2010c).

A harmadik csoportot a vevőtől függő hibák alkotják. Ide tartozik a vevő órahibája, a fáziscentrum hibája, a többutas jelterjedés, a ciklusugrás okozta hiba valamint az interferenciából adódó hibák. A vevőkben szereplő órák lényegesen pontatlanabbak, mint a műholdak órái, ezért a vevő óraigazítatlanságát a legtöbb alkalmazásnál ismeretlennek tekintik. Egyes feldolgozó központok nem csak a műholdak óraigazítatlanságát, de a permanens állomások óráinak igazítatlanságát is megadják diszkrét időpontokban, melyek alkalmas interpolációs eljárásokkal sűrítethetők, ezáltal figyelembe vehetők [Internet 17.]. Relatív helymeghatározás esetén a különbségképzés miatt az óraigazítatlanság, mint hiba kiejthető, ha a két vevő egymáshoz szinkronizálva van. Abszolút helymeghatározás esetén az óraigazítatlanságot a helymeghatározás egyenletrendszerének 4. ismeretleneként figyelembe kell venni [Internet 17.]. A fáziscentrum hibája nem más, mint az antenna fizikai középpontjának és a rádióhullámok vételi helyének a külpontosága (BUSICS 2010c). A külpontoság értéke egyes esetekben elérheti a néhány mm-es nagyságot is. A fázis külpontoság elkerülése érdekében az antennát mindig É-ra kell tájolni.

A többutas terjedés (multipath) a közvetett módon vett, tehát a környező tereptárgyakra visszaverődő jelek zavaró hatása által áll elő. Ebben az esetben a vevő a közvetlenül vett és a visszaverődött jelek interferenciájából létrejött jelet érzékeli [Internet 18.]. Ez a hiba kódérésre (méteres nagyságrend) nagyobb hatással van, mint a fázismérésre (centiméteres nagyságrend). Viszont a hiba nagysága nem éri el az 1 cm-t sem abban az esetben, ha a mérést relatív módszerrel rövid bázist alkalmazva, jó DOP érték mellett végezzük. A kiküszöbölésének egyik módja, ha az antennát távol helyezzük el a zavaró tárgytól, vagy a többutas jelterjedésre kevésbé érzékeny antennát választunk [Internet 15.]. Ha fázismérés közben a műhold takaró tereptárgyak mögé kerül, majd onnan újra

előbukkan, akkor ciklusugrás jön létre. A helyreálló kapcsolat után a ciklus-számlálás újratekődik, ezért ha nem iktatunk be új ciklustöbbséget, úgy a fázistávolságunk hibás lesz. Megoldás lehet, ha próbáljuk kerülni a kitakaró objektumokat. Relatív helymeghatározás esetén a feldolgozó szoftverek segítenek detektálni a ciklusugrásokat, ezáltal a hiba kiküszöbölhető [Internet 18.].

A vevő hibái közé soroljuk még az interferenciából adódó problémákat is. Az interferencia olyan fizikai jelenség, ami akkor következik be, ha két különböző forrású, de állandó fáziskülönbségű hullám találkozik. Ide tartoznak a nem kívánatos forrásból érkező zajok zavaró hatásai. A zavaró hatások szerint megkülönböztetünk nem szándékos zavarást és szándékos zavarást. A nem szándékos zavaráshoz soroljuk az ionoszféra okozta interferenciát, ami többfrekvenciás vevők alkalmazásával és a geomágneses viharok előrejelzésével kiküszöbölhető. Ide tartozik még rádióforrások okozta nem szándékos interferencia, melynek kiküszöbölése csak megfelelő frekvenciaszabályozással lenne megvalósítható.

A szándékos zavarás három formáját különböztetjük meg, ezek a jamming, spoofing és meaconing. A jamming olyan zavaró jel, amely interferenciát okoz, s így hibás mérést eredményezhet. A spoofing esetén a jel valódinak tűnik, viszont a számított pozíció távolodik a valódi helytől, tehát a helymeghatározás is hibás lesz. A meaconing következtében először jelvételezés történik, mellyel összezavarja a vevőket, meghiúsítva ezzel a precíz koordinátamérést.

A GPS méréseket terhelő hibák negyedik fő forrását a műholdgeometria hatása jelenti. Az antennaálláspont koordinátáinak megbízhatósága ugyanis függ az álláspont és a műholdak egymáshoz viszonyított elhelyezkedésétől. Ennek megfelelően a térbeli ívmetszésből származó koordináták megbízhatósága a geometriától függően változik (BUSICS 2010c). A meghatározandó pont pontosságára a meghatározásba bevont műholdak pillanatnyi geometriája is hatással van. A hatás nagyságát a mérés középpontjának a növekedésével fejezzük ki. A műholdas helymeghatározásban ezt a számot DOP (Dilution of Precision: „a pontosság hígulása”) értéknek nevezzük. A DOP érték folyamatosan változik, hiszen a műholdak állandó mozgásban vannak. Az érték számításánál ismernünk kell az álláspont közelítő koordinátáit (néhány tíz km), illetve a mérés dátumát és időpontját egyaránt [Internet 18.]. A DOP érték ideális esetben 2 körüli számérték. A mérés tervezésekor célszerű a legfrissebb almanac fájlokat használni, ugyanis ebben közlik a műholdak a pályadataikat egy hosszabb időtartamra (napos, hetes, hónapos előrejelzés) ezen adatok ismeretében meg tudjuk tervezni a mérést úgy, hogy azt „jó” műholdgeometria mellett tudjuk végrehajtani.

Végül a GPS méréseket terhelő hibák ötödik fő forrását a véletlen hibák alkotják. Ide soroljuk a műszer tervezéséből és gyártásából eredő hibákat, például ha az antenna fáziscentruma időben nem állandó. Ez a hiba kalibrációs méréssel kiküszöbölhető csak ki. De hibát okozhat a vevő belső zaja vagy a vevő mérés közbeni véletlen elmozdítása is. A mérés pontosságát jelentősen befolyásolhatja, adott esetben meg is hiúsíthatja a GPS méréseket korlátozó intézkedések esetleges bevezetése.

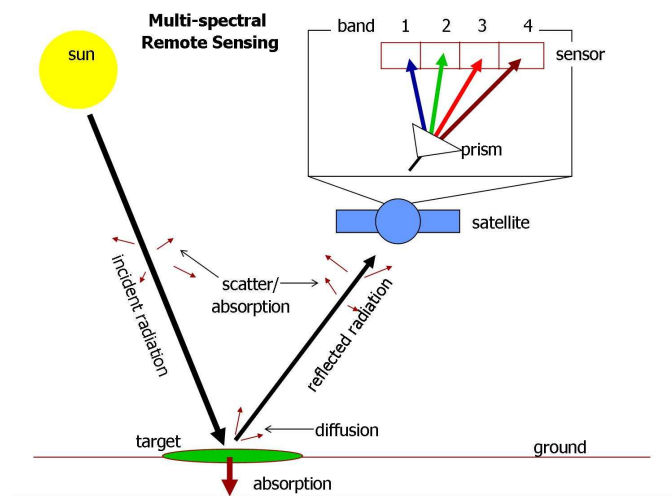
2.3. A távérzékelés fizikai alapjai

A fizikai alapok ismerete elengedhetetlen az ortofotók és űrfelvételek pontosságának elemzéséhez, hiszen vizsgáljuk a távérzékelés során ható pontosságot befolyásoló tényezőket is. Ezen tényezők ugyanis alapvetően meghatározzák az adatforrások (felvételek) megbízhatóságát (ELACHI & VAN ZYL 2006, BAKÓ 2014).

A távérzékelés fogalmának definiálása a szakirodalomban igen széles skálán mozog, egészen csak bizonyos jelenségek érzékelésre korlátozott detektálásától a közvetlen fizikai kapcsolat nélküli érzékelésen át az érzékelt adatok feldolgozását is ide soroló meghatározásokig (CSORNAI 1991).

A távérzékelés során a földfelszínről (a földfelszínen lévő természetes és mesterséges tereptárgyakról) úgy gyűjtünk adatokat (pl.: méret, anyagi összetétel), hogy azzal közvetlen kapcsolatba kerüljenek. (SHAW & BURKE 2003, SÁRKÖZY 2005). Az érzékelés történhet lézersugarakkal és mikrohullámokkal történő mérésekkel valamint a felszín által visszavert vagy a tereptárgyak saját maguk által kibocsátott (emittált) sugárzás detektálása útján.

A folyamat során nemcsak érzékeljük az objektumokról az elektromágneses hullámok által közvetített információkat, hanem rögzítjük, majd feldolgozzuk és értelmezzük is azokat. A különböző hullámhosszú elektromágneses energia származhat természetes vagy mesterséges forrásból (VERŐNÉ 2010e). A természetes energiaforrások a Nap, valamint a földfelszín és a földfelszíni tereptárgyak által kibocsátott sugárzás, míg a mesterséges források közé a radart és a lézert (2.4.3. fejezet) soroljuk. Az energia útja az atmoszférán keresztül a földfelszínig tart, ahol kölcsönhatásba kerül az ott található objektumokkal (VERŐNÉ 2010e). A kölcsönhatás eredményeképpen az energia módosul, egy része elnyelődik, a másik része pedig visszaverődik és útja az atmoszférán keresztül a felvő berendezésig tart (4. ábra).



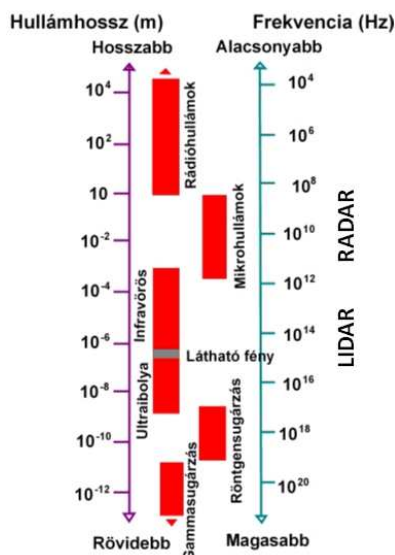
4. ábra A multispektrális távérzékelés elve
[Internet 19.],(SHAW & BURKE 2003,)

A felvevő berendezés méri és rögzíti a beérkező energiamennyiséget és telemetrikus úton továbbítja a földi vevőállomásra (VERŐNÉ 2010a). Az elektromágneses sugárzást három tulajdonságával jellemezhetjük: a hullámhosszal, a sebességgel és a frekvenciával (LILLASAND 2007). Két szomszédos hullám maximuma közötti távolságot hullámhossznak (λ), az egységnyi idő alatt ugyanazon ponton áthaladó maximumok (csúcsok) számát frekvenciának (ν) nevezük. Mivel a fény sebessége állandó érték, ezért a hullámhossz és a frekvencia fordítottan arányosak egymással és alkalmazhatóak az elektromágneses sugárzás egyértelmű jellemzésére.

A távérzékelésben az elektromágneses hullámokat leggyakrabban a hullámhosszal és az elektromágneses spektrumon belül elfoglalt helyükkel jellemezzük. A teljes spektrumtartománynak csak bizonyos részét használhatjuk távérzékelésre, a légkör ugyanis befolyásolja az elektromágneses sugárzást (SHAW & BURKE 2003, VERŐNÉ 2010a). A sugárzás a légkörön áthaladva elnyelődhet, visszaverődhet és szóródhat is. Azok a hullámhossztartományok, melyeknél teljes elnyelődés jön létre, a távérzékelés számára alkalmatlanok. A távérzékelő rendszerek a látható fény, a közeli infravörös (near infrared, NIR), a közepes (rövidhullámú) vörös (shortwave infrared, SWIR), a távoli (termális vagy hőinfra) vörös (thermal infrared, TIR) és mikrohullámú tartományokat használják (VÁGÓ ET AL. 2011).

Az 5. ábra az elektromágneses spektrum tartományait mutatja be. A látható fény hullámhossz tartománya 390-780 nm, 380-740 nm. A teljes infravörös tartomány $\sim 0,7 - 1,3 \times 10^3 \mu\text{m}$ -ig, míg a mikrohullám tartománya $\sim 1,3 \times 10^3 \mu\text{m} - 10^6 \mu\text{m}$ -ig terjed [Internet 20.]

Az elektromágneses spektrum



5. ábra Az elektromágneses spektrum tartományai [Internet 20, 21.]

2.3.1. A távérzékelésben használt energiaforrások

A távérzékeléshez természetes energiaforrásra (passzív távérzékelés), vagy mesterséges energiaforrásra (aktív távérzékelés) van szükség (VERŐNÉ 2010e). Ilyen természetes energiaforrás a Nap, de ezen kívül a földfelszín és a földfelszíni tereptárgyak is lehetnek energiaforrások a távérzékelés számára, mivel a hőmérsékletük az abszolút $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ fok fölött van. Mesterséges energiaforrásokról akkor beszélünk, amikor az érzékelő saját energiaforrással rendelkezik, ilyen a radar és LIDAR (BELLIAN ET AL. 2005). A természetes energiaforrásokból származó energiák mind nagyságrendjükben, mind spektrális felépítésükben eltérnek egymástól. A Wien-féle eltolódási törvény szerint, minden hőmérséklethez tartozik egy hullámhossz, amely a tárgy felszínének pillanatnyi hőmérsékletétől függ. Vagyis a sugárforrás abszolút hőmérséklete és maximális hullámhossza fordítottan arányos, tehát minél nagyobb a tárgy hőmérséklete annál kisebb hullámhossz elegendő a sugárzási maximum eléréséhez (VERŐNÉ 2010a).

2.3.2. A légkör hatása a távérzékelésre

A légkör elektromágneses sugárzásra gyakorolt hatása függ annak pillanatnyi állapotától, a részecskék méretétől, a sugárzás hullámhosszától és a megtett út hosszától. A tárgyak által kibocsátott hőszugárzás érzékelésének kivételével, mind az aktív és mind passzív távérzékelés esetén az elektromágneses sugárzás kétszer halad át az atmoszférán, míg az érzékelőig ér (MÉSZÁROS 2005). A sugárzás egy része szóródik, másik része elnyelődik és a fénytörés következtében iránya is megváltozik. Ugyanakkor a légkör, hatással van a sugárzás hullámhosszára, intenzitására és a sebességére is (SZALAY 2014).

A légkör távérzékelésre gyakorolt hatásai közül a legjelentősebb a részecskék szórása, melynek mértékét a részecskék átmérője, hullámhossza és az atmoszféra, sugárzás által érintett rétegvastagsága határozza meg. A molekulák szórása két nagy csoportra osztható, szelektív és nem szelektív szórásúakra (SABINS 1996). A szelektív szórásokon belül megkülönböztetünk Rayleigh-féle molekuláris szórást, Mie-féle nem molekuláris szórást, valamint Raman-féle szórást (CHANCE & SPURR 1997). Rayleigh szórás a légkör felső 5 km-es rétegében jön létre, abban az esetben, ha a szóró részecske átmérője, mellyel a terjedő energia találkozik jóval kisebb, mint a sugárzás hullámhossza. Többnyire a hullámhossz tizedét sem éri el (BURAI 2007).

A légkör alsó 5 km-es rétegében jellemzően a sugárzás hullámhosszának tizedétől a tízszereséig terjedő átmérővel rendelkező molekulák vannak jelen [Internet 41.]. A Mie-féle szóródás akkor jön létre, amikor a molekula átmérője nagyságrendileg megegyezik a molekulára eső sugárzás hullámhosszával. A légkörben lévő porszemcsék, füst, vízgőz miatt ez a szóródás a teljes optikai tartományban jelen van.

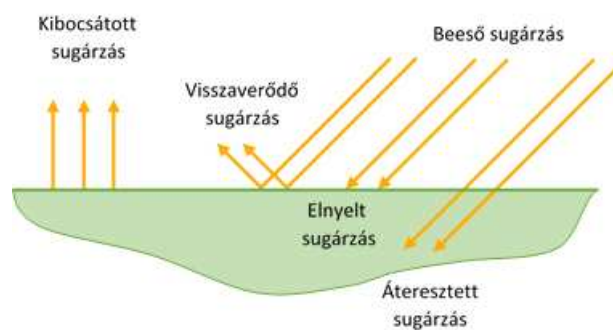
A Raman-szórás (LE RU ET AL. 2007) a légkörben található gázmolekulákra jellemző, tulajdonképpen a látható fény rugalmatlan szóródása a molekulák rezgőmozgásán [Internet 22.]. Ez leginkább vízcseppekre, füstre jellemző melyek mérete a sugárzás hullámhosszával azonos, vagy attól teljesen eltérő is lehet.

A nem szelektív szóródás a légkör alsó rétegeiben alakul ki, jellemzően ott, ahol a szóró részecskék átmérője jelentősen nagyobb a sugárzás hullámhosszánál (víz-, jégrészecskék). A szóródás azért nem szelektív, mert a fénysugarak hullámhossztól függetlenül azonos mértékben szóródnak (SZALAY 2014).

A szóródást követő igen fontos légköri hatás az elnyelés (abszorpció). A légkör részben vagy teljes egészében elnyeli az elektromágneses energia bizonyos tartományait. Más tartományokat viszont részlegesen vagy teljes mértékben átenged. A légkör ezen átteresztő képességét a távérzékelés légköri ablakoknak nevezi. A fénytörést vagy refrakciót a légkör inhomogenitása okozza. René Descartes és Willebrord van Roijen Snellius fénytörés törvénye alapján a fény irányt változtat, ha optikailag különböző sűrűségű közegeken halad át (FANTZ 2004, RAMOS 2010, SZALAY 2014).

2.3.3. Az elektromágneses sugárzás kölcsönhatása a földfelszínnel, a domborzat hatása a távérzékelésre

A sugárzás azon része, amely a légkörön való áthaladás során nem szóródott szét, nem nyelődött el, eléri a földfelszíni tereptárgyakat illetve a földfelszínt (SZALAY 2014). A kölcsönhatás során (6. ábra) az objektum fizikai tulajdonságaitól, az elektromágneses sugárzás hullámhosszaitól függően a beérkező energia egy része elnyelődik (abszorpció), másik része tovább halad (transzmisszió), illetve visszaverődik (reflexió).



6. ábra Az elektromágneses sugárzás kölcsönhatása a földfelszínnel
(SZALAY 2014 alapján szerkesztve)

A távérzékelés során a reflexió és az emittált sugárzás mérése történik. A mérések pontosságát befolyásolja a felület megvilágítása és annak szöge, a beeső és visszavert sugárzás intenzitása, mely intenzitások nem homogének (JANSSEN & HUURNEMAN 2001). A különböző tereptárgyak felszínüktől és anyaguktól függően eltérően nyelik el és verik vissza a különböző hullámhosszú sugárzásokat.

Sima, tükörszerű felszínek esetében a visszaverődés szöge megegyezik a beesési szöggel, míg az érdes felületek szórt (diffúz) visszaverődést hoznak létre. A terep (jellemző módon) nem tükörszerű és nem diffúz visszaverő, hiszen a domborzati elemek különböző szögeket zárnak be egymással és a vízszintes síkkal. A visszaverődések szögét ekkor a lejtőszögek határozzák meg (LÓKI 1996).

A tereptárgyak anyagára jellemző egy úgynevezett spektrális reflektancia, ami hullámhossz szerint változó. Ennek alapján előállítható az anyagok reflektancia görbéje, mely az objektum-jellemző, egyedi tulajdonságait tükrözi, s így a visszaverő felületet azonosítani lehet [Internet 23.]. Ehhez azonban elengedhetetlen a felszín spektrális ismerete, melynek jellemzésére a reflektancia értéket használják. Ez az érték a belépő és visszavert energia hányadosa %-ban kifejezve az adott hullámhosszon. Ezáltal lehetővé válik az anyagok távérzékeléssel történő pontosabb és megbízhatóbb azonosítása. A multi- és

hiperspektrális felvételek egyre nagyobb pontosságú osztályozásával és felbontásuk növekedésével egyre inkább növelhető a meghatározások relatív és abszolút pontossága egyaránt.

Fizikai értelemben egy tökéletesen sima felszín esetén a hullámok beesési és visszaverődési szöge azonos. A felszín általában érdes, egyenetlen és kisebb-nagyobb területei valamilyen szöget zárnak be a vízszintes síkkal. Az érdes felület szórt (diffúz) sugárzást eredményez, a lejtő szöge pedig a visszaverődés irányát határozza meg. A különböző megvilágítottságú lejtőkön levő azonos borítás eltérőnek látszik [Internet 24.].

2.4. Az űr- és a légi-távérzékelés, valamint a LIDAR technológia pontosságát meghatározó tényezők

A fotogrammetriát a térbeli adatnyerés helyének szempontjából három csoportra oszthatjuk. Légi távérzékelésről beszélünk, amikor a felvételeket a Föld légkörében mozgó repülő eszközről (drón, hőlégballon, sárkányrepülő, helikopter, kisrepülőgép) fedélzetén elhelyezett kamerával, detektorral készítjük. Amennyiben a távérzékelést valamilyen űreszközre (mesterséges hold, űrsikló, űrállomás) szerelt érzékelő rendszerekkel hajtjuk végre, úgy ezt a technológiát űr-távérzékelésnek nevezzük. A harmadik csoportba a földi fotogrammetriai vagy közel-fotogrammetriai eljárások tartoznak. A földi, légi- és űr-távérzékelési eljárásokon belül egyaránt megkülönböztetünk aktív és passzív rendszereket.

A kutatás során mérőkamerával ellátott légifényképező repülőgépről készült felvételeket, légi lézeres technológiával készült adatokat és mesterséges hold által készített űrfelvételeket vizsgáltam. Ezért a következő fejezetben az előbbi adatnyerési technológiák pontosságát elemezve mutatom be azok megbízhatóságát, korlátait.

2.4.1. Űrfelvételek jellemzői

A Földről az amerikai Explorer-6 műhold készítette az első űrfelvételt 1959-ben (BURAI 2012). Erőforráskutatás céljából az első műholdat 1972 júliusában ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite) néven állították pályára, melyet 1975-ben a NASA (National Aeronautics and Space Administration) Landsat-1 névre keresztelt át (CSATÓ 2000, COHEN & GOWARD 2004).

Ezt követően a technológiák fejlődésével kezdetét vette más államok erőforrás kutató műholdjainak pályára állítása, s miután az űrfelvételek szerepe egyre inkább nőtt, mind gyakorlati, mind a tudományos életben, így megjelentek a magán tőkéből finanszírozott műholdak is.

Az űrfelvételek készítése az elektromágneses sugárzáson alapszik, melynek során a különböző letapogató rendszerek az eltérő hullámhosszokon beérkező energiákat érzékelik és rögzítik (VERŐNÉ 2010b). A sugárzás és a sugárzás

detektálásának elvét, valamint az azokat befolyásoló tényezők jellemzőit a távérzékelés fizikai alapjai című fejezetben részletesen tárgyaltam.

A letapogatás során olyan műholdképek jönnek létre, melyek pixelekből (picture element – képelem) állnak kvantálás után. Minden egyes pixelnek egy egész szám az értéke, ami arányos a pixel földi területéről visszavert sugárzás átlagával az adott csatornán mérve [Internet 25.]. A műholdképeket a felbontással jellemezzük. Ennek megfelelően megkülönböztetünk térbeli, geometriai, spektrális, időbeli és radiometriai felbontásokat.

A térbeli felbontással jellemezzük a kép azon tulajdonságát, amely egy pixel földfelszíni méretét írja le. Minél nagyobb a pixel földfelszíni megfelelője, annál részletesegebb és minél kisebb, annál részletgazdagabb.

A pixel mérete leginkább a szenzorok érzékenységtől függ (AGAPIOU ET AL. 2014). Ez azzal magyarázható, hogy a kisebb intenzitásra való érzékenység által lehetővé válik a kisebb területek detektálása, ezáltal kisebb pixel méretű képek előállítás. Például a francia Spot 7 műhold multispektrális csatornájának felbontása 6x6 m, míg a nagy energiamentiséget gyűjtő pankromatikus csatornájának térbeli felbontása pedig 1,5x1,5 m. A Landsat műhold termális csatornájának felbontása 60x60 m, multispektrális felbontása 30x30 és a pankromatikus felbontása pedig 15x15 m.

Azt, hogy a felvételen az egymás melletti vagy egymáshoz közeli objektumok milyen mértékben különböztethetők meg egymástól (a legkisebb tárgy mérete), a geometriai felbontással tudjuk kifejezni. Ez azt jelenti, hogy hiába osztunk fel utólag pl. egy 10x10 m pixelt 1x1 méteres pixelekre (tehát hiába csökkentjük a pixel méretet) ez nem eredményez részletesebb, több információval rendelkező képet.

A műholdak érzékelő berendezései 1–1 hullámhossz tartományban készítenek felvételeket, ezeket sávoknak nevezzük. A spektrális felbontás azt jelenti, hogy egyidejűleg hány képsávban készülhetnek a felvételek.

Az időbeli felbontás a műhold visszatérési idejét jelenti ugyanarra a földrajzi helyre. Ez az érték mutatja meg azt a legkisebb időintervallumot, amelynél ugyanarról a területről adatokat tudunk gyűjteni. A legrövidebb visszatérési idővel (1 nap, szélességtől függően) a Quick Bird, míg a leghosszabbal (26 nap) a Spot rendelkezik.

A radiometriai felbontás az elektromágneses sugárzás intenzitásának kifejezésére szolgál. Gyakorlatilag a szenzorok mérési szintjeinek számát határozzuk meg vele, vagyis azt, hogy az adatokat az egyes pixelek hány biten írják le. Például a Terra és Aqua műholdak radiometriai felbontása 12 bit. Ez azt jelenti, hogy a pixelek egy-egy sávban legfeljebb 2^{12} (4096) különböző értéket vehetnek fel, tehát ebben az esetben az egyes pixelek értéke 0–4095 közötti egész szám lehet. Tehát megállapítható, hogy minél magasabb az egyes felvételek mérési szintjeinek a száma, annál nagyobb információ tartalom érhető el a képeken. 13 bit felett azonban a nagy jel-zaj arány miatt a mérés korlátokba ütközik [Internet 25.].

2.4.1.1 Az űrfelvételek pontosságát meghatározó tényezők

Az amerikai National Standard for Digital Cartographic Data (Digitális Térképészeti Adatok Nemzeti Szabványa) rögzíti a digitális adatok pontosságát. Az adatminőség több összetevőre (geometriai, attribútum, konzisztencia, teljesség és a forrás vagy származás) bontható (MÁRKUS 1996).

Ahhoz, hogy a műholdfelvételek megfeleljenek a pontossági követelményeknek, hibáikat minimalizálni kell, amit különböző korrekciók végrehajtásával érhetünk el. Ide tartoznak a felvételeket módosító radiometriai, atmoszférikus és a geometriai hatásokat csökkentő korrekciók.

A radiometriai korrekciók során a pixelek intenzitás értékeit közelítjük a felvételezés kori értékekhez. Az eredeti visszaverődési értékektől való eltérések a szenzorok különböző érzékenységből (aszinkronitásaiból), kalibrációs hibáiból, az eltérő napállás szögből, domborzatból, valamint a műhold pálya sajátosságai-ból adódnak, melyek pl. vonal hiányokat és periodikus csíkozottságot is okozhatnak (BURAI 2012).

A radiometriai korrekció három egymásra épülő csoportját különböztetjük meg: spektrális radianciát, a TOA-reflektancia (top of atmosphere reflectance - "a légkör felső részén mérhető visszaverődést"), valamint a felszíni visszaverődést (HARMEL & CHAMI 2008).

A hullámhossztól is függő sugárzás intenzitásának kifejezésére a spektrális radiancia szolgál, ami egy konstanssal (offset) és a meredekségével (gain) fejezhető ki. Mindkét érték az érzékelők minőségétől, korától, üzemmódjától függ, ezért meghatározásuk az üzemeltető feladata.

A felszínre beeső és az onnan visszavert sugárzás arányát a TOA-reflektancia számítás a légkör torzító hatásai nélkül veszi figyelembe (BAKÓ & FÜLÖP 2015). Az érték meghatározható a radianciából (egységnyi felületen, egységnyi szög alatt áthaladó spektrális teljesítménysűrűség). A számítás során ismertnek tekintjük a szenzor, a Nap és a felvételezett felszín geometriáját, valamint a sugárzás intenzitását. Harmadik lépésként a felszíni reflektancia (az objektum visszaverő képessége) számítása során, a légkör elektromágneses sugárzásra gyakorolt hatásait, korrigáljuk a TOA-reflektancia analízis eredményeinek felhasználásával [Internet 26.].

A légkör torzító hatásainak figyelembe vétele történhet abszolút és relatív módszerekkel. Az abszolút korrekció esetén a felvételezés időpontjában ismerünk kell a pontos légköri paramétereket és az aktuális felszíni reflektancia értéket is. Ez meglehetősen költséges és régebbi felvételek esetén pedig meg sem valósítható. Ezért a légköri hatásokat (elsősorban vízpára, széndioxid és ózon) a gyakorlatban atmoszférikus modellek alapján veszik figyelembe. Ilyen atmoszférikus modell a MODTRAN (MODerate resolution atmospheric TRANsmission) [Internet 27.], valamint a LOWTRAN, ACORN, ATCOR, FLAASH, stb. modellek.

A relatív atmoszférikus korrekció lényege, hogy a módszerek létrehozása során a légköri hatások csökkentésére olyan referencia területeket alkalmaznak, melyek visszaverődési értékei meglehetősen stabilak. Ilyen a PARA (PArthRAdiance – sáv radiancia) vagy az MDDV (Modified Dense Dark Vegetation – módosult sűrű sötét vegetáció) módszere (BURAI 2012).

A felvételek emberi szem által történő kiértékelésének pontosságát hivatottak biztosítani az intenzitás műveletek. A kép kontraszt fokozásának és intenzitás tartományának kiterjesztésére a hisztogram transzformációt alkalmazzák. Erre azért van szükség, mert az atmoszférikus és leképzési hatások következtében az intenzitás értékek sávonként változóak (VERŐNÉ 2010c).

Az eddigiekben jellemzett hibákon kívül a műholdfelvételeket geometriai torzulások is terhelik. Ide tartozik a műhold mozgási irányára merőlegesen ható pixeltorzulás (képpont elmozdulás és nyíródás), a Föld görbületből és domborzatából adódó perspektív torzulás, valamint a Föld forgásából és a műhold pályaeigenetlenségeiből adódó hibák.

A geometriai korrekciókkal megszüntethetőek a műhold-felvételeket terhelő geometriai hibák és koordináta transzformációk segítségével megvalósítható a képek vetületi rendszerbe illesztése is (georeferálás). A centrális felvételezésből, Föld görbületéből adódó torzulásokat merőleges helyesbítéssel (ortorektifikáció) lehet csökkenteni (SLONECKER & MCMAHON 2009), míg a domborzat torzítóhatása következtében fellépő ellentmondásokat csak domborzatmodellek alkalmazásával tudjuk részben megváltoztatni.

2.4.2. A digitális ortofotók előállítása

A digitális ortofotók készítésekor a terep felszínéről légifényképeket készítenek, melyeknek a soron belül és a sorok között is átfedéssel kell rendelkezni. Annak érdekében, hogy minden felvételezett felület rész legalább két felvételen képződjön le (a sztereo mérés érdekében) a sorok átfedése legalább 60%, a sorok közötti átfedés pedig legalább 20–30% kell, hogy legyen [Internet 28.].

A digitális kép rögzítését szenzorok biztosítják, melyek a vetítési közép-ponttól kameraállandó távolságban helyezkednek el. Az így létrejött digitális mérőképnek ismerjük a belső és külső adatait melyek alapján a felvételezés kori sugárnyaláb geometriailag visszaállítható (BALÁZSIK 2010). Az ortofotótérképek előállításának lépései a következők: belső tájékozás, külső tájékozás, ami a relatív és abszolút tájékozást foglalja magában, valamint (digitális felület modell alkalmazásával) az ortorektifikációt.

A belső tájékozás során egy térbeli képpkoordináta rendszert illesztünk a távérzékelte felvételek pixel koordináta rendszerére úgy, hogy a képi koordináta-rendszer origója a kameratengely és a képsík döféspontja legyen, a „z” tengelye pedig az optikai tengely melynek értéke megegyezik a fókusztávolsággal. A két rendszer közötti áttéréshez olyan transzformációs egyenleteket kell meghatározunk, melyekben az objektív és az érzékelő elrajzolási hibáinak korrekciója is szerepel.

A légifotogrammetriában alkalmazott eszközök közül kiemelt jelentőséggel bír a modern digitális kamerák adatgyűjtése mellett a képi expozíció helyének meghatározására szolgáló GPS alapú helymeghatározó, valamint a kamera tengely elfordulási szögeit meghatározó inerciális rendszerek használata. Ezen eszközök szinkronizált adatgyűjtése (az expozíció ideje rögzítésre kerül) lehetővé teszi, hogy a repülést követően korlátozott pontossággal, de rendelkezésre álljanak a képek külső tájékozási elemei, amelyek felhasználásával fotogrammetriai feldolgozást hajthatunk végre. A gyakorlatban ezen adatok jó kiinduló értéket szolgáltatnak a képek térbehelyezését szolgáló légiháromszögelési eljárások számára (NARANJO ET AL. 2009, ADROV & TITAROV 2002, Internet 29). A külső tájékozást végrehajthatjuk két lépésben, ekkor relatív és abszolút tájékozást végzünk és megoldhatjuk egy lépésben, amikor a képeket illesztjük a tárgy koordináta-rendszerébe, kollineár egyenletek alapján.

A képek egymáshoz viszonyított helyzetének meghatározására a relatív (kölcsönös) tájékozás szolgál, mely két távolságaránnyal és három elforgatási szöggel fejezhető ki. Célja, a két kép perspektív centrumából a képek összetartozó homológ, vagy kapcsoló (Tie) pontjain keresztül menő egyenesek térbeli metsződése és ez által a térmodell létrehozása.

Napjainkban az automatikus relatív tájékozást alkalmazzák, ahol az összetartozó pontok meghatározását szoftverekkel végzik. A szoftverek a képi egyeztetés során elkészítik a képek piramisrétegeit, majd statisztikai módszerekkel felülről lefelé haladva összehasonlítják a képi tartalmakat (image matching) [Internet 30.]. A különböző kis felbontású piramis rétegek (2,4,8,16, ... stb.) általában az előkészítés során kerülnek előállításra. A képillesztési technikák használatosak az automatikus kapcsolópont legyűjtéseknél, a légiháromszögelés során, az automatikus DFM előállítás esetén, valamint a digitalizált analóg képek automatikus belső tájékozása esetében. A céljuk az, hogy az egymással átfedésben lévő képeken megkeressük az egymásnak megfelelő (un. homológ) pontpárokat. Az összehasonlítás során a következő három módszer (képillesztési eljárásokat) valamelyikét használják: alaki, területi és relációs vizsgálat [Internet 31.].

LSM (least squares method) statisztikai elemzés a képpontok intenzitás értéke alapján. A leggyakoribb megoldása a keresztkorreláció számításával a legjobb illeszkedés keresése a legkisebb négyzetek módszerével. Előfordul a terület alapú vagy statisztikus elnevezése is. Pixel alatti pontosságot eredményez (gyakorlatban 1/10 pixel is elérhető) [Internet 31.].

FBM (feature based method) alaki tulajdonságokon alapuló elemzés. A módszer először is igényli az alapvető képi formák kinyerését úgymint például foltok, élek, elágazások, sarkok stb. Ez történhet a képfeldolgozás standard-szegmentálási, élkiemelési műveletei segítségével. Az illesztések a feltárt formák között történik meg. Az alakzati jellemzők gyakran stabilabbak a formák leképződése miatt [Internet 31.].

A harmadik a „relational matching”, vagyis a kapcsolati megfeleltetés.

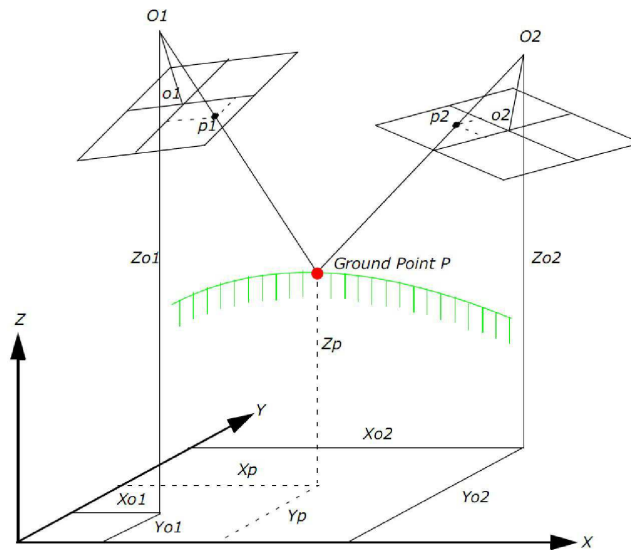
A módszer geometriai és egyéb kapcsolatokat használ a képi tulajdonságok és szerkezetek alakzati tulajdonságai között. Az összhangot (hasonlóság) fa-típusú kereső eljárásokkal határozza meg [Internet 31.].

Az orientáció befejező lépése során a relatív tájékozással létrehozott térmodelleket ismert vetületű és koordinátájú illesztőpontok (GCP, Ground Control Point) felhasználásával a GCP pontok vetületi rendszerébe illesztjük (ZHANG & CHENG 2009, CHIANG ET AL 2012). A folyamatot abszolút tájékozásnak nevezzük.

Az abszolút tájékozás során a képek térbeli pozícióját három elforgatási szöggel és három koordinátával kell megadnunk. Az illesztőpontok mérése pedig történhet előre jelöléssel, vagy a felvételezést követő utólagos pontméréssel. A sok kép kevés illesztőpont elvét ott alkalmazzák ahol a képek más pozíciókból való elkészítése nem jelent túlzott költségnövekedést (pl. drónokra telepített fényképezőgépekkel). Az így akár többszöri ismételt területfedést alkalmazva a bevont képek számának növelésével javítható a tömbkiegyenlítés kondíciója, mert ismert belső adatokkal rendelkező kamera esetén a képenkénti 6 ismeretlen bevitelen túl, sokkal több mérést tudunk végrehajtani ugyanazon terepi pontra (FREDERIK ROSE 2013), [Internet 32. , 33.]

Az abszolút tájékozás végrehajtása történhet térbeli hátrametszéssel, melynek hátránya, hogy sok illesztőpontot igényel (minimum 3 db. pont képenként) és kettős térbeli pontkapcsolással, melynek lényege hogy a képek vetítési centrumából a kapcsolópontokon keresztül húzott egyenesek a földfelszíni pontban kell, hogy metszék egymást. Ezen túlmenően a 3 pontnak egy síkban kell elhelyezkednie (7. ábra).

A gyakorlatban azonban olyan kiegyenlítési módszereket alkalmaznak, amelyek több felvétel együttes feldolgozásával párhuzamosan a nagyobb pontosság elérését is lehetővé teszik. Ez az eljárás (amikor a relatív és az abszolút tájékozást egy lépésben hajtjuk végre) a sugárnyaláb kiegyenlítés -Bundle Block Adjustment- (BUSICS ET AL. 2009). Ekkor a szoftver a tájékozást lépésenként (legkisebb négyzetek kiegyenlítése szerint) számítja mindaddig, amíg a hibákat ki nem egyenlíti. Ehhez a felszíni illesztőpontok kiegyenlített koordinátáit és a kapcsoló pontok értékeit egy ütemben számítja, így a teljes mintaterület tájékozása is egy lépésben valósul meg [Internet 34.].



7. ábra Kettős térbeli pontkapcsolás
(LEICA Geosystems Geospatial Imaging 2006b)

A sugárnyaláb kiegyenlítés után a tájékozott felvételekről az adott vetületi rendszerben koordinátákat (y ; x ; z) nyerhetünk.

A térképi ábrázolás ortogonális vetületben történik a légifelvételek centrális vetítéssel készülnek. A térképi alapfelülethez (referencia-sík) képest a perspektív (általános helyzetű képsík) torzulás és ún. domborzati torzulás (a terep magasság különbségeiből eredő helyzeti hiba) terheli a képi pontok geometriai helyzetét (pozícióját). Ezeket a helyzeti hibákat küszöböljük ki az ortofotó gyártás során. A domborzat torzító hatását digitális domborzatmodell alkalmazásával tudjuk csak csökkenteni. A folyamatot ortorektifikációnak (képhelyesbítésnek) nevezzük, melynek során az input (kiinduló) képet perspektív torzulásoktól mentes képpé transzformáljuk.

A transzformációt úgy hajtjuk végre, hogy minden egyes pixel földfelszíni magasságának ismeretében, számítjuk a pixelek középpontjainak a geocentrikus koordinátáit, majd ugyancsak ezt a földfelszíni magasságot hozzárendeljük a pixel centrumának y ; x koordinátáihoz, ezáltal meghatároztuk a pixel térbeli helyzetét. Ezen térbeli pixel középpontja és a felvevő rendszer perspektív centruma meghatároz egy egyenest, ami metszi a felvételt. Ahol ez a dőféspont elhelyezkedik, azt a pixelt kell hozzárendelni a módosított kép számított pixeléhez. A szoftveres feldolgozás esetén meg kell adnunk a tájékozott képek síkbeli méreteit meghatározó koordinátákat és a kép felbontását is. Ezek után az általunk felhasználni kívánt terepmodell alapján a program automatikusan számítja az ortofotó korrigált pixeleit (CZIMBER 2001abc). A digitális ortokorrekciónak végterméke a digitális ortofotó-térkép [Internet 35.].

Az utóbbi évtizedben a professzionális digitális kamerák az azokkal egy adatgyűjtő rendszert képező GPS helymeghatározó és inerciális elfordulás és dőlésszögmérő rendszerek a gyakorlatban teljesen elterjedtek, alkalmazásuk kiváltotta a korábban sok évtizedig használt analóg kamerákat és film adathordozókat. A digitális kamerákat gyártók fokozatosan növelik a professzionális digitális kamerák felbontását és a tárhelyek méretét. Ez utóbbiban a hagyományos ún. Winchester típusú adathordozókat felváltják a szilárdtest SSD memóriával szerelt berendezések. A speciális igényeknek megfelelően, a technológia fejlődésével elérhetővé váltak nem metrikus, kis formátumú kamerák, melyek autonóm (drón, pilóta nélküli) repülő eszközök használatával, gyors adatnyerést tesznek lehetővé. A hozzájuk kapcsolódó szoftverek által napjainkra DFM és ortofotókészítésre alkalmas rendszerekké váltak (TAHAR ET AL. 2011, SUŽIEDELYTĚ - VIŠOCKIENĚ ET AL. 2011).

2.4.2.1. Az ortofotók pontosságát meghatározó tényezők

A pontosság kiszámításával, vagyis mekkora egy hibával terhelt és egy hibátlan érték különbsége (a mért és a számított érték eltérése) meghatározható az ortofotó térképek geometriai pontossága is. Ennek a gyakorlati életben igen jelentős szerepe van, hiszen csak a mérőszám ismeretében tudjuk meghatározni, hogy a munkánk során kapott eredményt (számított vagy mért) mekkora pontossággal vegyük figyelembe. A pontossággal párhuzamosan célszerű meghatározni, a megbízhatóságot is, vagyis, hogy a meghatározott érték, milyen határok között értendő. A pontosság és a megbízhatóság értékeinek meghatározásakor azonban a térképkészítés teljes folyamatát vizsgálnunk kell a felvételezéstől a digitális képi megjelenítésen keresztül, a végtermékként előálló térképi állományunkig. A folyamat során ugyanis több tényező is pontatlanságot okozhat. Így az ortofotó térkép készítés légifelvételezést követő első lépése a belső tájékozás.

A belső orientáció során koordinátarendszerek közötti transzformációt végzünk, felhasználva ehhez a kamera belső geometriáját meghatározó változókat, melyek a képfőpont koordinátái, a kamaraállandó értéke, a keretjelek helye és az optikai elrajzolás értéke.

Az objektív elrajzolása olyan lencsénél jön létre, ahol a lencse nagyítása az optikai tengelyhez viszonyított koncentrikus tartományokban különböző. Ennek hatására a kép az optikai tengelytől távolodva folyamatosan torzul a szélei felé. A torzulást jelenségét radiális és tangenciális disztorzióval írhatjuk le, melyek közül csak az előbbit szokás figyelembe venni a belső tájékozás során. A radiális disztorzió mértéke attól függ, hogy a nagyítás nagysága a kép szélei felé csökken vagy nő [Internet 34.].

Összefoglalva, a belső tájékozás során végzett transzformáció pontosságát az ún. RMS hibával (Root Mean Square- középgyök hiba) adhatjuk meg. Ennek nagysága függ a keretjelek kalibrációs adataitól és a keretjelek mért koordinátái-

tól, valamint az objektív elrajzolásától, szenzorelemek elhelyezkedési szabálytalanságaitól. Analóg technológia esetén hatással van rá a filmbelógás, a film deformációja és a szkennelés minősége is (BALÁZSIK 2010).

A kölcsönös tájékozás célja a képek kapcsoló pontok által történő összeillesztése, és ezáltal térmodell létrehozása. A tájékozáshoz az ún. keresztkorrelációt és a legkisebb négyzetek módszerét alkalmazzák. A számítás során a transzformációt iterációval hajtják végre, melyhez képpiramisokat alkalmaznak, és a folyamat addig tart, amíg az eredmény a legoptimálisabb megoldást el nem éri. A különböző módszerek eltérő pontosságot biztosítanak, így a keresztkorreláció pontossága legideálisabb esetben is 1 pixel, míg a legkisebb négyzetek módszerének pontossága elérheti az 1/10 pixel értéket is [Internet 34.].

Az abszolút tájékozás célja a képek vetületi rendszerbe transzformálása, melyhez a kölcsönös tájékozásból ismerjük a képek vetítési középpontjainak koordinátáit a vetületi koordináta rendszerben, valamint a kamaratengely dőlését jellemző három szögértéket. Az abszolút tájékozás eredményének megbízhatóságát nagyban befolyásolja a bemenő adatok pontossága. Ennek megfelelően a kapcsolópontok száma és pontossága, továbbá az illesztőpontok száma és pontossága. Az illesztőpontok meghatározását célszerű nagy körültekintéssel végezni, hiszen a pontatlanságukból eredő hiba rontja a kapcsolópontok konzisztenciáját. A hiba elkerülése érdekében az illesztőpontok pontosabb meghatározást igényelnek a kapcsolópontoktól. A kapcsoló pontok számának növelésével a durva hibák könnyen szűrhetők, míg a légiháromszögelésben fel nem használt illesztőpontokat kontrol pontként használhatjuk. Az eljárás pontosságát itt is az RMS hiba értékével jellemezhetjük, melyet az ortofotóról meghatározott és a terepen mért illesztőpont koordináta eltéréseivel írhatunk le. Az ortofotó előállításának utolsó lépése a kép transzformálása valamely domborzatmodell felhasználásával.

A digitális domborzatmodellek különböző pontosságú bemenő adatok alapján, különböző technológiákkal készülhetnek, így adattartalmuk, adatszerkezetük és pontosságuk (vízszintes koordinátákra gyakorolt torzító hatásuk) is eltérő. Attól függően, hogy a terepmodellek adatait milyen adatformátumban tároljuk, megkülönböztetünk raszteres és vektoros modelleket. A TIN, és a GRID vektoros modellek. A TIN (Triangulated Irregular Network) modell adatszerkezetében a pontok vízszintes elrendeződése tetszőleges (HAO & PAN 2011), a pontokat vonalak kötik össze, melyek egy szabálytalan rácshálót képeznek, ellentétben a GRID (rács) modellel, ahol a pontok szabályos négyzet, vagy téglalap alakú rácshálót alkotnak. A modellek alkalmazása az interpolációs eljárások miatt pontatlan vízszintes koordinátákat eredményez.

A nagy területre kiterjedő digitális domborzatmodellek kizárólagos kezdeti előállítási technológiája volt a térképek szintvonalrajzának vektorizálásával előállított domborzatmodellek létrehozása. A DSZM (Digitális Szintvonal Modell) a terep fizikai felszínének azonos magasságban elhelyezkedő pontjainak rendszerét, szintvonalakkal írja le. Az így előállított domborzatmodell pontossága elsődlegesen az alapanyagul szolgáló térkép domborzatrajzi megbízhatóságától függ.

gától függ, melyre a térkép előállításának technológiája, az ábrázolt terep domborzati viszonyai, valamint a térkép méretaránya is hatással van. Mindezek mellett nem szabad figyelmen kívül hagynunk vektorizálás során elkövetett hibákból fakadó pontatlanságot sem (KOÓS 2008).

2.4.3. A LIDAR technológia

A mérést a repülőeszközön elhelyezett szenzor által kibocsájtott lézersugárral végzik. A szenzor pásztázza a felszínt, majd rögzíti a visszaverődéseket. A felvételezés pontos helyzetének, valamint a lézersugár irányának, futási idejének ismeretében előállítható a felmért terület pontfelhője az adott vetületi rendszerben (BROVELLI ET AL. 2004, PE'ERI & LONG 2011).

A mérési technológiát lézer szkennelésnek nevezik, míg más országokban alkalmazzák az ALS, Airborne Laser Scanning, airborne LIDAR, Light Detection and Ranging, illetve Airborne Laser Swath Mapping, ALSM elnevezéseket is (KRAUS 2007).

A gyártók is eltérő megnevezéseket alkalmaznak, így például: ALTM - Airborne Laser Terrain Mapping (Canada), ALAMS - Airborne Laser Altimetry Mapping System (Eurosense, Belgium), FLI-MAP -Fast Laser Imaging Mobile Airborne Platform (Fugro-Inpark NL), GGL Airborne Laser Profiler System, Saab TopoEye stb.

A lézer letapogatás legelterjedtebb technikai megoldásai: oszcilláló tükrös, forgó poligon, nutáló tükrös és optikai szálaskenner. Az alkalmazott technikai megoldások határozzák meg a mért pontfelhő mintázatát és sűrűségét.

Az oszcilláló tükrös szkennelés működési elvének lényege, hogy a mérendő terület felé irányított lézerfény útját egy oszcilláló tükrös megtöri, melynek eredményeképpen a felületen a mért pontok fűrészfogas, vagy végükön görbült cikcakk elrendezésűek lesznek. Miután ezen rendszerek nyílásszöge egyszerűen változtatható, valamint a szkennelési frekvencia és a repülési sebesség szinkronizálásával homogén pontsűrűség érhető el, ezért gyakran alkalmazzák pl. Leica eszközökben. Forgó poligon alkalmazásakor a lézer irányát, egy egyirányba forgó pl. hatszög alakú poligon (melynek oldalai tükrök) változtatja a forgás következtében. A mért pontok által alkotott vonalak párhuzamosak lesznek egymással. Ez a letapogatási módszer adja a pontok leghomogébb eloszlását.

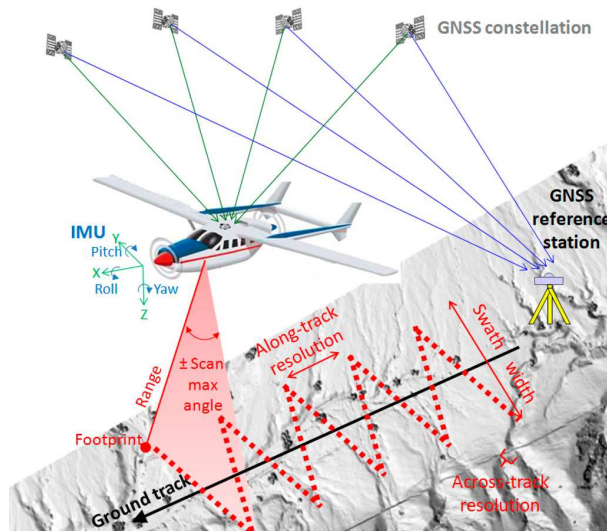
Ha a fény útját egy nutáló tükrös töri meg, akkor a mért pontok egymást metsző ellipszis alakzatban helyezkednek el. A metsződés miatt, a korábban detektált pontok egy része újra felmérésre kerül. A módszer előnye a nagy pontsűrűség. Az optikai szálaskenner megoldás annyiban különbözik a nutáló tükröstől, hogy itt az impulzusokat optikai szálak bocsájtják ki és gyűjtik össze (Toposys rendszerek). A mért pontok a felszínen egymást metsző köröket írnak le. Az optikai szálaskenner megoldással másodpercenként 83000 pont is mérhető. A légi lézerskenner rendszerek alkalmazásának célja a nagy pontosságú térbeli adatok nyerése, melyek felhasználásával digitális domborzatmodellek DDM (Digital Terrain Model – DTM) és digitális felszínmodellek DFM (Digital Surface Mo-

dell – DSM) állíthatók elő (LI 1994, GAMBA & HOUSHMAND 2000, PRIESTNALL ET AL. 2000, BROVELLI ET AL. 2004). A lézeres távérzékelési technológia előnyei a következőkben foglalhatók össze: nagy a mérési pontok sűrűsége; gyors az adatnyerés és a feldolgozás, illetve az adatok pontossága mind vertikális, mind horizontális értelemben nagy; a mérés erős esőzés, havazás, köd kivételével időjárás és napszak független; erdős területek domborzata is detektálható, hiszen a lézer áthalad a sűrű növényzeten; a digitális adatok georeferáltak, a feldolgozáshoz minimális földi meghatározásra van szükség (VERŐNÉ 2010d).

2.4.3.1. A LIDAR felvételek pontosságát meghatározó tényezők

A lézerszkennelés pontosságát, a teljes rendszert felépítő alrendszerek pontossága határozza meg. Ezek: a helymeghatározó (GNSS) és inerciális (INS - Inertial Navigation System, vagy IMU – Inertial Measuring Unit) rendszer, a lézer szenzor távmérés, a lézer szkennelirány meghatározása, illetve a szenzor és a navigációs rendszer kalibrációja (WAGNER ET AL. 2006). A GNSS rendszer pontosságát a dolgozat GPS hibáival foglalkozó fejezetben részletesen tárgyaltam.

Az alrendszerek közül a legösszetettebb hibája az inerciális rendszernek (IMU - Inertial Measuring Unit) van. Ez a hiba, jelentős hatással van a pontok koordinátáinak (y; x; z) pontosságára. A felmérés során az inerciális rendszer méri a légi jármű három tengely körüli elfordulását: ω (roll), φ (pitch), κ (yaw), valamint a rendszer gyorsulási értékeit három irányban (8. ábra).



8. ábra Oszcilláló tükrös LIDAR technológia működési elve és a rendszer fő komponensei (Fernandez-Diaz ET AL. 2014)

Az ω (roll) hibát repülőgép hossz tengelye mentén értelmezzük, ami a pontok magassági pontatlanságát okozza. A φ (pitch) hibája olyan hatású, mintha a repülőgép bólintana. Ebből adódóan a pontok a repülés irányának megfelelően (vízszintes értelemben) előre, vagy hátra mozdulnak el. A κ (yaw) hibája pedig olyan hatású, mintha a repülőgép a repülési irányhoz képest jobbra, vagy balra fordulna, ezért a mérési ponthelyek a gép két oldalán ellentétesen mozdulnak el. A hiba hatása a sávok szélein a legjelentősebb.

A lézer távmérőkben szilárd fényerősítő lézertiódát alkalmaznak, melyek távolságtól független pontossága néhány cm.

A lézertény széttartása rendkívül kicsi, ám a légi lézertényezés során olyan sugarat alkalmaznak, melynek „lábnyoma” a terepen egy olyan ellipszis, aminek a tengelyei néhány deciméteresek. Az ellipszisek területein lehetnek olyan magasságkülönbségek melyek detektálása nem történt meg, s így ezek pontatlanságot eredményeznek. Ezt nevezzük a lézer footprint hatásának. A felméréshez az egyes alrendszerek pontosságának ismerete nem elegendő, az összehangolt működéshez kapcsolatot kell teremteni köztük. Ezt a rendszerek valamely mintaterületen történő kalibrációval oldják meg (LOVAS & BERÉNYI 2011). A felmérés eredményeként egy koordinátákból (y ; x ; z) álló olyan pontfelhőt kapunk, amelyben a mért koordináták pontossága a néhány centimétert is elérheti. A detektált felületek geometriájától, magassági viszonyaitól függően a hiba növekedhet, de ez esetben sem éri el a dm-es értéket (SZÉKELY ET AL. 2007). Az egyes alrendszerek hibahatásai az 4. táblázatban kerülnek bemutatásra.

4.táblázat A LIDAR felmérés hibahatásai (LOVAS & BERÉNYI 2011)

Lézertény	lézertáv mérő	5 cm
	szkenner-szög	0.003°
IMU	φ	0.005°
	ω	0.005°
	κ	0.008°
GNSS	x, y, z	5 cm

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. A vizsgált kül- és belterületi mintaterületek

A kutatás során összesen négy mintaterületet használtunk, ezek közül kettő Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében, egy Hajdú-Bihar megyében, egy pedig Bács-Kiskun megyében helyezkedik el. A vizsgálati területek aszerint is elkülönülnek egymástól, hogy kettő jellemzően külterületeket (túlsúlyban a külterületek vannak), kettő pedig belterületeket reprezentál.

3.1.1. *Mintaterületek Hajdú-Bihar és Szabolcs-Szatmár-Bereg megyékben*

A mintaterületek kiválasztásának főbb szempontjai:

- két helyszín melyek lehetővé teszik az egymástól független vizsgálatok elvégzését,
- meghatározhatók legyenek az ortofotókról pontok, vonalak és poligonok,
- eltérő domborzattal rendelkező helyszínek,
- a természetes és mesterséges tereptárgyak minél szélesebb spektruma jelenjen meg a területen,
- legyenek tagolt és egybefüggő erdők, tisztások, szilárd burkolatú utak és földutak, épületek és alappontok,
- álljon rendelkezésre több, különböző években készült felvétel mindkét választott területről,
- a területekre biztosítható legyen többféle domborzatmodell,
- a felvételek közel azonos paraméterekkel (az összehasonlíthatóság miatt) rendelkezzenek,
- lehetőleg az ortofotók eltérő felbontásúak legyenek

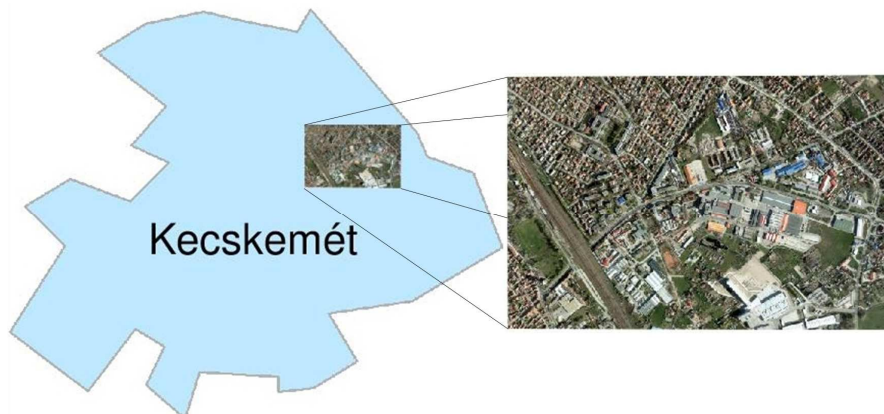
Az előbbi szempontoknak megfelelően a I. kutatási terület Hajdúböszörménytől keletre került kiválasztásra. A terület síkság, amelynek a felszínét löszös üledék borítja. A II. kutatási terület Magyarország ÉK-i részén található, melynek a centrumában Nyírlugos település helyezkedik el. Ez a terület egy futóhomok buckás felszín foglalta magába. Mindkét helyszín egy 14 km x 14 km oldalhosszúságú négyzet alkot (9. ábra).

3.1.2. Mintaterületek Kecskemét és Nyíregyháza belterületén

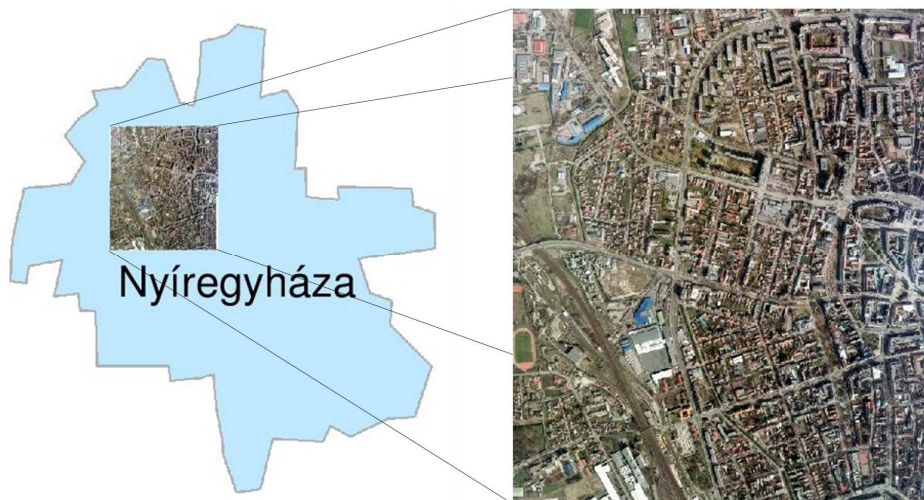
A területek kiválasztásának főbb szempontjai:

- két helyszín melyek lehetővé teszik az egymástól független vizsgálatok elvégzését,
- a területekről készült ortofotókról meghatározhatók legyenek olyan pontok, melyek jól azonosítható mesterséges tereptárgyak centrumai, sarokpontjai
- a pontok magasságilag is jól elkülöníthetőek legyenek,
- a területekről álljon rendelkezésre többféle domborzatmodell,
- a felvételek közel azonos paraméterekkel (az összehasonlíthatóság miatt) rendelkezzenek,
- lehetőleg az ortofotók, azonos és egyben nagy felbontásúak legyenek

Ennek megfelelően az első terület Kecskemét belterületének ÉK-i kertvárosias, ipari jellegű övezetében, a másik pedig Nyíregyháza belterületének ÉNy-i nagyvárosias, ipari övezetében helyezkedik el (10-11. ábra).



10. ábra A kecskeméti mintaterület elhelyezkedése (saját szerkesztés)



11. ábra Nyíregyházi mintaterület elhelyezkedése
(saját szerkesztés)

Az első két mintaterülethez hasonlóan – az egyértelmű térképi lehatároláshoz – illetve a terepi mérések végrehajtásához itt is kiszámítottuk a kutatási területek sarokpontjainak EOVI, földrajzi és geocentrikus koordinátáit.

3.2. A vizsgált ortofotók, domborzatmodellek, úrfelvételek jellemzői és az alkalmazott transzformációk

A kutatás során különböző szolgáltatók által forgalmazott és más-más években készített ortofotót értékeltünk. Az ortofotók eltérő technológiákkal, különböző pontosságú domborzatmodellek alapján készültek. Ebben a fejezetben a vizsgálataink során felhasznált ortofotókat és domborzatmodelleket mutatjuk be.

3.2.1. A vizsgált ortofotók jellemzői

A 2000., 2005., 2006. és 2007. évben készült légifelvételek natív felbontása 0,5 méter/pixel, a 2011 év felvételeinek felbontása pedig 0,4 m/pixel volt.

A 2000. és 2005. években analóg, míg 2006., 2007. és 2011. években pedig digitálisan készültek a légifelvételek a vizsgált hajdú-bihari és szabolcszatzmári területekről úgy, hogy azok ortofotók előállítására alkalmasak legyenek.

Az analóg légifényképezés méretaránya 1:30 000 volt. A digitális kamerák esetében nem írták elő a légifelvételek méretarányát.

A 2000. és 2005. évben készült légifényképezés során WILD RC20-s kamerákat alkalmaztak melyek névleges fókusz távolsága 152,000 mm volt. A képek mérete 23 cm x 23 cm, soron belüli átfedés (normál színes felvételeknél) 60 %, míg a sorok közötti átfedés 20 % volt. A relatív repülési magasságok a 2000. évben 4920 m, 2005. évben pedig 4960 m volt.

A 2006., 2007. és 2011. években 50 cm-es térbeli felbontású, 24 bites (természetes színes, valamint infravörös színes (CIR- Colour Infra Red)) légifelvételek készültek Vexcel UltraCam D (2007) kamerákkal, amelyek fókusz távolsága 105,200 mm, valamint Vexcel UltraCam X (2011) kamerákkal 100,500 mm-s fókusz távolságokkal. A légifelvételek külső és belső pontosságára nem határoztak meg előírásokat, viszont előírták a felvételi álláspontok utólagos DGPS meghatározását és a légifelvételek X és Y irányú négyzetes középhibái nem érhetik el a ± 1 m-t. Relatív repülési magasság 2007. évben 6188 m, 2011. évben 5860 m volt.

A felvételi álláspontok helyét nagy pontossággal, utólagos feldolgozással határozták meg, ennek érdekében (az exponálási idő maximumában) a DGPS adatokat számítógépen rögzítették. Az utólagos feldolgozástól elvárt felvételi álláspont koordináta megbízhatóság értékeinek maximuma (légi háromszögeléstől elvárt pontosság az illesztő- és kapcsolópontokon) 2000. évben ± 25 cm, 2007. évben pedig ± 40 cm volt. A légifelvételek abszolút tájékozási elemeinek meghatározása is ezekkel a pontosságokkal jellemezhető. A légiháromszögelési tömbök kiegyenlítő számításához a IV. rendű alapponthálózat pontjait használták. A IV. rendű háromszögelési hálózat sűrűsége külterületen 1 pont/ 2 km², az alappontok pontossága $\pm 3-4$ cm volt. A hálózat pontjai a felsőrendű háromszögelési hálózat pontjai alapján kerültek meghatározásra. A légiháromszögelési tömböket a IV. rendű alapponthálózat pontjaira illesztették, hiszen kellő sűrűségben álltak rendelkezésére és a hálózat az egész ország vonatkozásában egységes geometriai alapot szolgáltatott. Ezáltal a digitális ortofotók is (a IV. rendű pontok illesztőpontként történő alkalmazása révén) geometriailag egységesen illeszkedtek egymáshoz.

A IV. rendű háromszögelési pontok alapján történő légiháromszögelés végrehajtása több területen akadályokba ütközött, melyet a pontok légifelvételeken való nem megfelelő leképződése, illetve a pont hiány okozott. Mivel a városi területeken a IV. rendű pontok nem voltak hompokkal állandósítva (az előrejelölésük pedig nem történt meg), így a pontok légifelvételen történő azonosítása is bizonytalan volt, ezért ezeken a részeken az ott található magas pontok (templomtorony, gyárkémény stb.) vízszintes koordinátáit alkalmazták. Ezek a magas pontok vízszintes értelemben általában jól mérhetők a légifelvételeken, magassági illesztőpontként való alkalmazásuk azonban bizonytalan, így szükséges számú magassági (Z) illesztőpont biztosítása érdekében felhasználták a vetítési középpontok DGPS koordinátáit is.

Azokban az esetekben, amikor a légiháromszögelési tömbök határain, illetve azok belsejében a IV. rendű háromszögelési pontok nem voltak mérhetők (pl. pontpusztulás, takarás, jelölés hiánya stb.) utólagos illesztőpont mérést haj-

tottak végre. Ennek során a fénykép-terep azonos pontokat a légifelvételeken kijelölték, majd terepi méréssel meghatározták azok koordinátáit.

A navigálást GPS technikával és inerciális navigációs rendszerrel (INS) végezték a 2011 évi légifelvételek készítésekor. A felvételek soron belüli átfedése $p = 55-65 \%$, míg a sorok közötti átfedés $q = 15-25 \%$ volt.

Számítógépes adathordozón rögzítették a felvételi álláspontok navigációs adatait és $m_x = m_y = \pm 30$ cm pontossággal biztosították ezen álláspontok utólagos DGPS meghatározását is.

A légiháromszögelés pontossága az illesztőpontokon maximum $m_x = m_y = \pm 40$ cm volt, így ezzel a pontossággal jellemezhető a légifelvételek abszolút tájékozási paramétereinek a pontossága is.

A légifelvételezés időpontjai: 2000.04.21., 2005.06.24., 2006.03.05., 2007.07.19., 2007.07.27., 2011.08.18., 2011.08.19., 2001.08.21.

A 2000. évben a légiháromszögelést utólagosan meghatározott illesztőpontok alapján végezték a képsíkban átlagosan $\pm 20 \mu$, de bizonyos esetekben a $\pm 7 \mu$ pontossággal. A domborzat kiértékelése sztereofotogrammetriai eljárással történt, melynek pontossága a képsíkban $\pm 10 \mu$ volt.

A 2005. évben a légiháromszögelést IV. rendű háromszögelési pontok és utólagosan meghatározott illesztőpontok alapján végezték. A légiháromszögelés átlagos pontossága a képsíkban $\pm 10 \mu$, de bizonyos esetekben $\pm 7 \mu$ volt. A domborzat kiértékelése szintén sztereofotogrammetriai eljárással $\pm 20 \mu$ pontossággal történt a képsíkban.

A 2006-os ortofotók mind Hajdúböszörmény, mind Nyírlugos területére a Honvédelmi Minisztérium Térképészeti Közhasznú Nonprofit Kft.-től kerültek beszerzésre. Az ortofotók felbontása 0,5 méter/pixel, vetülete EOv, radiometriai felbontása 24 bit. A légiháromszögelést utólagosan meghatározott illesztőpontok alapján sugárnyaláb kiegyenlítéssel végezték.

A 2007. és 2011. évben végzett légifelvételezéskor a tömböket szabályos téglalap, vagy négyzet formában alakították ki úgy, hogy valamennyi szélső képet zárt poligon alkotó illesztőpont „lánc” határolja. Az így kialakított tömböket határoló zárt poligonon és azon belül elhelyezkedő mért illesztőpontok száma 100 modellenként minden esetben elérte a 40 darabot. Ha szabályos tömb kialakítására nem volt mód, akkor a légiháromszögeléstől elvárt pontosságot a tömb kiegyenlítésébe bevont illesztőpontok számának növelésével érték el. A légiháromszögelések során exrapolált területek alkalmazása nem volt megengedett, továbbá a tömb határán lévő illesztőpontok által alkotott zárt poligonoknak közre kellett fogniuk az ortofotó előállítására kiválasztott területet. A poligonon kívül eső területek abszolút tájékozási paramétereinek számítása során ugyanis nem ellenőrizhető értékeket kaphattak (FÖMI 2014.évi tájékoztatás tárgyú levele alapján- lásd a Mellékletben).

A 2011-ben a nyíregyházi és 2013-ban a kecskeméti területekről készített digitális ortofotók vetülete EOv, radiometriai felbontása 24 bit volt.

Az ortofotókat és az ortofotók alapját képező légifelvételeket egyaránt az Eurosense Kft. készítette. SIRISTYE és ZBORAY 2004 szerint a légi-

háromszögelés során meghatározásra kerültek az egyes felvételek összekapcsolásával (relatív tájékozás) és az összekapcsolt képek illesztőpontok segítségével való transzformálásával, azok külső tájékozási paraméterei (abszolút tájékozás), azaz azok az eltolási és elforgatási értékek az országos koordinátarendszerben, amelyek a légifényképező kamera felvételkori helyzetét jellemezték.

A relatív tájékozáshoz szükséges kapcsolópontok mérése korrelációs eljárással került meghatározásra. Az abszolút tájékozáshoz szükséges illesztőpontok meghatározása utólagos pontkijelöléssel történt. A légi-háromszögelés során pixel méret alatti pontosságot értek el az ellenőrző és illesztőpontokon, valamint a kapcsolópontok szórásértékeiben. Az így előállított ortofotók felbontása 0,1 m/pixel. Az ortofotók tényleges pontosságát a tájékozási adatok, a digitális domborzatmodell pontossága és az ortofotó síkjában választott pixel méret határozza meg (MÉLYKÚTI 2007, VARGA ET.AL. 2015C)

3.2.2. Az alkalmazott domborzatmodellek jellemzői

A légifelvételek dőlésszöge és a domborzat okozta geometriai torzulások kiküszöbölésére, a 2000., 2005., 2007. és 2011. években készített digitális ortofotók esetében 1:10000 méretarányú topográfiai térképek szintvonalalaiból generált (domborzati fedvényeinek vektorizálásával előállított) 5 m x 5 m rácssűrűségű GRID típusú (szabályos rácshálón elhelyezkedő pontokból álló) domborzatmodellt alkalmaztak. A domborzatmodell magassági megbízhatósága átlagosan $\pm 0,7$ m, vetületi rendszere pedig EOVS volt [Internet 36.]

A 2006-ban készült digitális ortofotó ortorektifikációjához a DDM-10 modellt alkalmazták. Ez a Nemzeti adatbázisban található olyan Digitális Domborzat Modell (a továbbiakban DDM) amely 10 méterenként tartalmazza az ország magassági adatait. A DDM-10 EOVS (Egységes Országos Vetületi) rendszerben készült, adatforrása pedig 1: 50 000-es méretarányú, Gauss-Krüger vetületi rendszerű katonai topográfiai térkép volt. Szkeneléssel 300 DPI felbontásban a domborzatot tartalmazó fóliákról létrehozták a raszteres formátumú kiinduló adatállományt. Ezt a raszteres adatállományt EOVS vetületi rendszerbe transzformálták, így előállt az EOVS vetületi rendszerű, raszteres formátumú szintvonalrajz. Ezzel párhuzamosan méretarányváltást hajtottak végre úgy, hogy minden második pixel elhagyása révén áttértek 1:50000-ről 1:100000-es méretarányra. A szkennelési hibák javítása után (szintvonalak összeérése és megszakadása, a szintvonalakhoz tartozó megírások, jelkulcsok törlése stb.), a szintvonalrajzhoz egy 3280 sorból és 4880 oszlopból álló mátrixot rendeltek. Így jött létre a Digitális Szintvonal Modell adatállománya, melyben a mátrix elemek értéke megegyezett a szintvonal magasságértékével.

A készterméket a gyártást követően magassági ellenőrző pontok felhasználásával ellenőrizték, mind a szelvények belső területeinek, mind a szelvény-csatlakozások vonatkozásában.

A DDM-10 pontossági követelményeit deciméter élességű magassági kategóriáknak megfelelően adják meg. Ennek alapján a magassági középhiba síkvidéken <0,8 m, dombvidéken <2,5 m és hegyvidéken pedig <5,0 m.

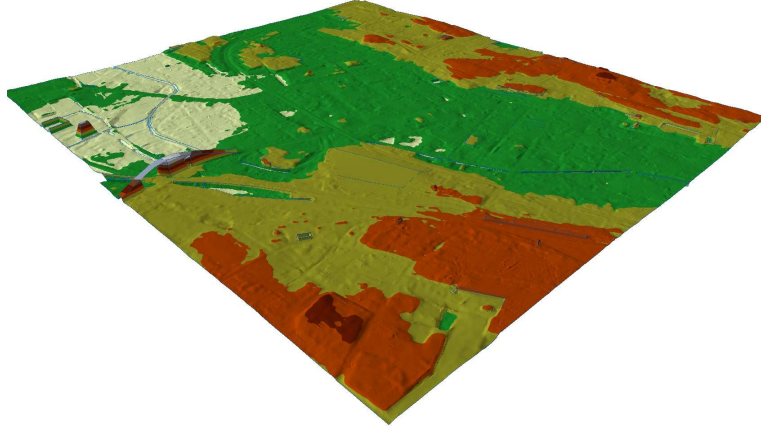
Az adatállományok bináris file-ok sorfolytonos felépítéssel, melyek csak a magassági adatokat tartalmazzák 1:100 000 méretarányú EOTR szelvényenként. A file felépítése olyan, hogy a magassági adatok két byte-on vannak ábrázolva, olyan sorrendben hogy az első két byte a szelvény ÉNy-i sarokpontjának magassága, a következő két byte a tőle rácsávolsággal K-re lévő pont magassága, és így tovább (FÜGGELÉK 1.)

A nyíregyházi és kecskeméti területekről készített digitális ortofotók esetében három különböző domborzatmodellt alkalmaztunk.

Ennek megfelelően a vizsgálat során alkalmazott egyik domborzatmodell az előbbieken ismertetett EOVR rendszerű, balti magassági alapszintű DDM-10, amely alapját az 1985-91 kiadású 1:50000 méretarányú Gauss-Krüger vetületi rendszerű katonai topográfiai térkép képezte. A domborzatmodellt a vektorizált és magassági értékekkel ellátott szintvonalak digitalizálásából vezették le 10x10 méteres vízszintes felbontásban, amelyben a szintvonalak magassági értékei egész számokként jelennek meg. A modell magassági felbontása 1 m (TELBISZ ET AL. 2013). Miután a topográfiai térképeken a magasságok ábrázolása szintvonalakkal történik (kötött pontokkal csak bizonyos jellemző helyeken), így az alapszintközök közötti magassági viszonyokról nincs információ. Nincs továbbá magassági adatunk tereplépcsőkről, gödrökről, töltésekről, bevágásokról, stb., hiszen ábrázolásuk egyezményes jelekkel történik. Bár a domborzatmodellt sztereofotogrammetriai kiértékeléssel kiegészítették a komolyabb domborzati változások (pl. autópálya építések) ábrázolása miatt, de a topográfiai alaptérkép tartalmi korlátaiból adódóan a modell magassági ábrázolása így sem mondható teljesnek. (VARGA ET.AL. 2015C)

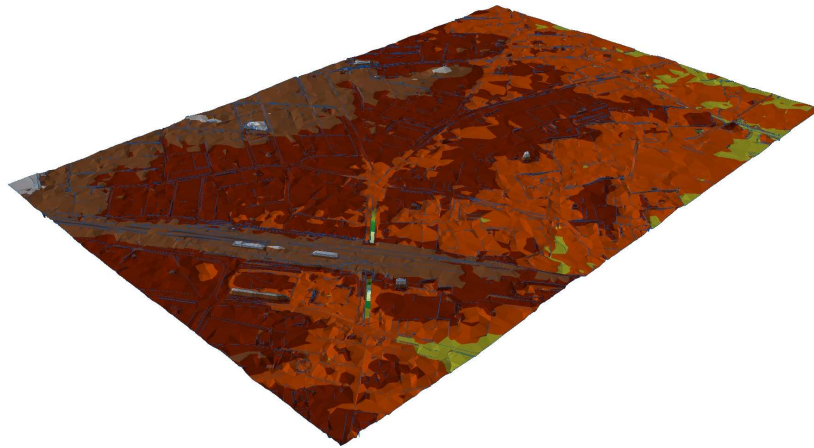
A vizsgálat során alkalmazott másik domborzatmodell létrehozása sztereofotogrammetriai kiértékeléssel történt (12. ábra). A kiértékelést megelőzően légifényképezésre került sor, így a folyamat során előállított sztereoképpár a valóságnak megfelelő (aktuális) domborzatot tartalmazta.

A sztereoszkópikus irányítás digitális fotogrammetriai munkaállomáson, automatizált sztereokorrelációs eljárással történt. Ez az eljárás nem ad 100%-os megbízhatóságú eredményt, ezért a gyengén korreláló helyek utólagos ellenőrzésre kerültek (ENGLER & JANCsó 2005). Az utólagos ellenőrzés során, ahol ez indokolt volt ún. „break line”-okat értékelték ki a tereptárgyak (pl. csatorna, töltés, híd) alapján. Az így javított domborzatmodell 3x3 méteres rácshálóban mért pontmezőből áll. (VARGA ET AL. 2015C)



12. ábra Nyíregyháza, sztereo-fotogrammetriai kiértékeléssel előállított domborzatmodell (saját szerkesztés)

A harmadik alkalmazott domborzatmodell LIDAR felmérés útján létrejött pontfelhőből került meghatározásra (13. ábra) (VARGA ET AL. 2015C). A lézeres adatok sűrűsége és pontossága lehetővé teszi precíz DDM-ek létrehozását. (VERŐNÉ 2010d)



13. ábra LIDAR felmérésből előállított domborzatmodellen Kecskemét részlete (saját szerkesztés)

A vizsgálat során felhasznált LIDAR felmérés alapján előállított domborzatmodell adatszerkezete, a szórt pontthalmazból generált TIN, azaz szabálytalan háromszögháló. A mért pontok sűrűsége 6 pont/m^2 volt (VARGA ET.AL. 2015C).

3.2.3. A vizsgált űrfelvételek jellemzői

Az űrfelvételek közül vizsgálatra került a Digital Globe által forgalmazott QuickBird Ortho Ready Standard 4 Band Bundle űrfelvétel, illetve a World View 2 Ortho Ready Standard 8 Band Bundle. Az űrfelvételek a hajdú-bihari és szabolcs-szatmári mintaterületekről álltak rendelkezésre. A felvételek a forgalmazó által ortorektifikáltak és georeferáltak (UTM vetületbe illesztettek).

A domborzat okozta torzulások csökkentésére, az Ortho Ready felvételeknél nem alkalmaz a Digital Globe domborzatmodellt, hanem helyette a felvétel poligonjának átlagos magasságát veszik figyelembe. Ez azt jelenti, hogy a műhold által pásztázott terület átlagos magasságában meghatározott forgási ellipszoidra vetítik a képeket. Ez a módszer síkterületeken kevésbé, viszont változatos domborzattal rendelkező felszínnél jelentős vízszintes koordináta hibákat okoz.

A hibák a mérési hibákra jellemző módon normális eloszlásúak, azaz statisztikailag jóval nagyobb esélyünk van az ennél is kisebb ellentmondásokra, illetve akár szubpixeles hibákra is. Az űrfelvételek pontosságait CE90 (Circular Error of 90 %) módszer alapján határozzák meg. Ennek lényege, hogy a GCP (Ground Control Point, terepi ellenőrző pont), valamint a térképi pontok koordináta eltéréseit ábrázolják egy négynegyedes koordináta rendszerben előjelhelyesen. Ez után úgy rajzolnak a hibák köré egy kört, hogy az magába foglalja a hibák 90 %-át. A kör átmérője alapján állapítják meg az űrfelvételek tényleges eltérését 90%-os konfidencia szinten. Ezzel az értékkel jól jellemezhető a felvételek pontossága, bár jelentkezhetsz természetesen a CE90 értéknél nagyobb hiba is, ezek a hibák azonban ritkák és többnyire változatos térszíneken (pl. hegyvidékek, dombok, meredek árkok, rézsűk) fordulnak elő.

A 101001001014C700 képazonosítóval rendelkező hajdú-bihari mintaterületről készült QuickBird 2-es felvétel pankromatikus sávjának terepi felbontása 0,65 m/pixel, a piros, zöld, kék és közeli infravörös sávok felbontása 2,5 m/pixel. A felvétel a pankromatikus mellett négy sávot tartalmaz, az ezek által lefedett hullámhossz-tartományok a következők: Red: 590-710nm, Green: 466-620nm, Blue: 430-545nm, NIR (Near Infra Red, közeli infravörös): 715-918nm. A felvétel terepi pontossága a CE90 érték elvi maximumában van meghatározva, ami 23 m. Ebből adódóan a maximális hiba meghaladja a 33 pixelt. Vélelmezhető, hogy miután a vizsgált területek nagy része sík terület, így azok a domborzat okozta jelentős hibáktól mentesek. Az űrfelvételek megbízhatóságára a domborzaton kívül nagy hatással van az, hogy mi volt a műhold felvételezési helye. Ha a műhold pontosan a felvételezett terület középpontja felett haladt el (minél alacsonyabb a nadír szög értéke, annál kisebb a perspektív torzulás), úgy a felvétel pontossága is nő. A felvételezés 18,09°-os nadírszöggel készült. A felvételen rögzített elektromágneses sugárzás intenzitásának értéke 11 bit. Ezen felvételek megbízhatósága alkalmas például az egyszerűbb vegetációs indexek (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) számítására és a különböző felszínborítási osztályozásokra.

A 1030050020F8AD00 képazonosítóval rendelkező szabolcs-szatmári mintaterületről WoldView-2-es felvétel pankromatikus sávjának felbontása 0,55m/pixel, a többi sáv pedig 1,85m. A globális CE90 értéke 3,5 m. A felvétel pontatlansága meghaladja a 6 pixel értéket. Mivel globális adatról van szó, így vélelmezhető, hogy a hiba értéke síkvidéken nem éri el a 6 pixel értéket, de akár szubpixeles is lehet. A QuickBird 2-es felvétellel szemben ez a felvétel már 9 sávós, azaz a pankromatikus mellett még 8 sávja van. Ezek Coastal Blue (UV a sekély vizek vizsgálatára): 400-450nm, Blue: 450-510nm, Green: 510-580nm, Yellow: 585-62nm, Red: 630-69nm, Red Edge: 705-745nm, NIR1: 770-895nm, NIR2: 860-1040nm.

A felvételezés 24,57°-os nadírszög mellett készült. A felvétel radiometriai felbontása 11 bit.

3.2.4 A vetületbe illesztés során alkalmazott transzformációk

Az űrfelvételek és ortofotók vetületbe illesztését különböző módszerekkel és programokkal végezhetjük, amelyek természetesen eltérő pontosságú eredményeket szolgáltatnak. A vizsgálataink során felhasznált ortofotók már EOVS rendszerbe transzformáltak voltak, míg a rendelkezésre álló űrfelvételek UTM vetülettel rendelkeztek. Ez utóbbiak EOVS-ba transzformálása (mivel a vizsgált ortofotók és a terepi mérések is EOVS-ban adóttak) a vizsgálatokhoz elengedhetetlen volt.

A különböző programok alkalmazása során két út kínálkozik a transzformációra. Az egyik lehetőség, amikor a programba beépített paramétereket használjuk a konvertáláshoz, a másik, amikor az általunk kijelölt pontpárok (illesztőpontok), alapján végezzük azt. Ebben az esetben szükségünk van, vagy egy vektoros referencia térképre (mint céltérképre, amelyek alapján meghatározzuk az illesztőpontok koordinátáit), vagy az illesztőpontok (pl. földi módszerrel meghatározott) ún. GCP (Ground Control Point) pontok adott rendszerbeli koordinátáit szükséges mérnünk.

Az illesztőpontok meghatározása után a transzformációt végezhetjük ArcGIS, Global Mapper, MapInfo, Intergraph GeoMedia stb. programokkal.

Az átszámítások pontossága bizonyos speciális esetektől eltekintve a két rendszer alappont hálózatainak pontosságától függ, vagyis attól, hogy a rendszerek alapponthálózatai mennyire illeszkednek egymáshoz. A transzformált pontok pontosságát az is befolyásolja, hogy a transzformációs paramétereket mennyire sikerült pontosan meghatározni.

Az együtthatók legpontosabb meghatározása esetén sem mentesíthetők az eredményeink a háromszögelési hálózatok mérési, számítási, kiegyenlítési hibáitól, hiszen ezek mind a két rendszer pontatlan illeszkedését okozzák.

Ebből következik, hogy két rendszer közötti átszámítás során legfeljebb olyan pontosságú adatok nyerhetők, amilyen pontosságot a két rendszer mérési-számítási hibái lehetővé tesznek. Ettől függetlenül nagy gondot kell fordítanunk a transzformációs módszer kiválasztására és az ideális paraméterek meghatá-

zására. Az átszámítások pontosságát a transzformációs állandók, majd ezek alapján számított első és második rendszerbeli koordináták különbségéből képzett középhiba írja le [Internet 37.].

A transzformációkat az ArcGIS program 1,2,3,4 transzformációs lehetőségei közül a program által alapértelmezésként felkínált 4. eljárással végeztük.

A transzformációk ellenőrzésére két vizsgálatot is végeztünk. Az első vizsgálat célja az volt, hogy kimutassuk azt a hibát, ami a raszterek transzformálása és a vektorok másik vetületbe történő transzformálása különbségeként keletkezik. A vizsgálat során 100 db. pont került meghatározásra UTM vetületben, majd ugyanez a 100 db. pont került vektorizálásra EOVS vetületben. Ezek után az UTM vetületben meghatározott 100 db. pont az ArcGIS szoftver negyedik transzformációjával EOVS rendszerbe lett transzformálva. Így a vizsgálathoz EOVS rendszerben rendelkezésre állt 2x100 db. pont.

Az első 100 db. pont (melyeket UTM vetületből EOVS-ba transzformált térképről nyertük) tartalmazza a raszter transzformáció hibáit. A következő 100 db. pont (UTM vetületben kerültek vektorizálásra és csak ezután lettek EOVS-ba transzformálva) ezért csak a vektorok transzformálásának hibáit tartalmazzák.

A kétféle eljárással EOVS-ban meghatározott pontokat hasonlítottam össze, annak érdekében, hogy meghatározzam a két eljárás közötti hibát.

A második vizsgálat célja az ArcGIS szoftver 1,2,3,4 transzformációs eljárásai közötti eltérések meghatározása volt. Ennek érdekében 100 pont transzformációját (UTM-ből EOVS rendszerbe) mind a négy eljárással elvégeztem.

Az így keletkezett 400 pont közötti eltéréseket hasonlítottam össze, melyek különbségei alapján egy intervallumot határoztam meg a transzformációk közötti eltérésekre.

Mind az első, mind a második eljárásnál a közös pontok meghatározása úgy történt, hogy a pontokhoz tartozó pixelek ugyanazon sarokpontjai kerültek meghatározásra, elkerülve az eltérő pixelválasztás okozta hibákat.

3.3. A vizsgálatok során alkalmazott műholdas helymeghatározó rendszerek

A felmérések során a műholdas helymeghatározást, a mérések alapjául szolgáló aktív alapponthálózatot (2.1.2. fejezet) és a meghatározások végrehajtásához szükséges műszereket használtunk.

A méréseink során két különböző gyártó által előállított GPS vevőt használtunk. Ezek közül az egyik a Trimble R6. Az ezzel az eszközzel történő differenciális kódérés vízszintes pontossága $\pm 0,25 \text{ m} + 1 \text{ ppm RMS}$ (Root Mean Square, ami a GPS pozicionálási pontosságát jelenti), magassági értelemben $\pm 0,50 \text{ m} + 1 \text{ ppm RMS}$. WAAS differenciális helymeghatározás pontossága, jellemzően $< 5 \text{ m 3D RMS}$. A statikus és gyors statikus mérés esetén a vízszintes pontosság $\pm 5 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm RMS}$, míg a magassági pontosság $\pm 5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm RMS}$. Kinematikus mérés esetén a vízszintes pontosság $\pm 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm RMS}$,

a magassági pedig $\pm 20 \text{ mm} + 1 \text{ ppm RMS}$. A műszer vevője által egyidejűleg nyomon követhető műholdak száma GPS és GLONASS esetén 26, Galileo 14, SBAS esetén 4 darab műhold [Internet 38.].

SBAS (Satellite-based augmentation system), a rendszer a műholdas helymeghatározó rendszerek hibáinak javítására kifejlesztett rendszerek gyűjtő neve. Alkalmazásuk által csökken a navigáció pontatlansága, javul az integritása, a jelvételek folyamatossága, és nő a rendszer rendelkezésre állási ideje [Internet 24.].

A vevő a különböző műholdak jeleinek egyidejű vételére alkalmas, ennek megfelelően a GPS holdak jeleit az L1C/A, L2C, L2E, L5 frekvenciákon, a GLONASS holdak jeleit a L1C/A, L1P, L2C/A (csak GLONASS M esetén), L2P, SBAS jeleit az L5 frekvencián érzékeli. A vevő 72 csatornás GPS és a GLONASS műholdak jeleinek vételére és 4 további csatornák SBAS (WAAS/EGNOS) jeleinek fogadására alkalmas [Internet 38.].

WAAS/EGNOS rendszerek (Wide Area Augmentation System/European Geo-Stationary Navigation System) a műholdas helymeghatározó rendszerek torzító hatásait hivatottak csökkenteni. Ezt úgy érik el, hogy geostacionárius pályán keringő műholdjaik közvetítésével továbbítják a szükséges korrekciókat műholdvevők felé [Internet 33.].

A műszer inicializálása mozgás közben automatikus, vagy statikus inicializálásra van lehetőség, ennek ideje jellemzően $< 20 \text{ mp}$. Az inicializálás megbízhatósága jellemzően $> 99,9\%$ [Internet 38.].

A másik, méréseink során alkalmazott eszköz egy Leica GS 15 elnevezésű, 120 csatornával rendelkező, több frekvencián történő mérésre alkalmas földmérési pontosságú műholdas helymeghatározó rendszer.

Az eszköz alkalmas akár 16 GPS műhold egyidejű követésére L1, L2 és L5 frekvenciákon, 14 Glonass hold követésére L1 és L2 frekvenciákon, 14 Galileo hold jeleinek vételére E1, E5a, E5b és Alt-BOC frekvenciákon, valamint 4 SBAS (EGNOS, WAAS, MSAS, GAGAN) holdak érzékelésére.

A műszer pontossága különböző tényezőktől (külső körülményektől) függ. Ide tartozik a mérés időpontjában érzékelt műholdak száma, konstelláció geometria, megfigyelési időszak hossza, ephemeris adatok pontossága, ionoszférára zavaró hatásai, valamint a többutas terjedés okozta ellentmondások feloldása. A differenciális kód mérés megoldása statikusan, vagy kinematikusan 25 cm-es pozicionálási pontossággal jellemezhető. A differenciális fázismérés utófeldolgozás esetén statikus vagy gyors statikus megoldások esetén vízszintes értelemben $5 \text{ mm} + 0.5 \text{ ppm}$, míg magassági értelemben $10 \text{ mm} + 0.5 \text{ ppm}$ középpontot eredményez, ugyanez a megoldás kinematikus mérés esetén horizontálisan $10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ és vertikálisan $20 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ hibát okoz. Valós idejű differenciális fázismérés statikus megoldása esetén a mérés vízszintesen $5 \text{ mm} + 0.5 \text{ ppm}$, magasságilag $10 \text{ mm} + 0.5 \text{ ppm}$, kinematikus megoldás esetén pedig horizontálisan $10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$, vertikálisan pedig $20 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ hibákkal írható le. A műszer inicializálási ideje rövid, általában 10-20 mp, ami mozgás közben automatikusan történik [Internet 39.].

3.4 A pontosságvizsgálatok során alkalmazott módszerek

Pontosságvizsgálataink során az ortofotókról digitalizált vektoros állományok, illetve a geodéziai módszerrel felmért vektoros állományok közötti eltéréseket határoztuk meg (VARGA ET AL. 2015b). A meghatározásaink folyamán különböző térinformatikai, geodéziai és matematikai (statisztikai) módszereket alkalmaztunk.

3.4.1. A felmérések során alkalmazott térinformatikai módszerek

A légifelvételek olyan raszteres adatok, melyek többek között a Föld felszínéről nyújtanak számunkra információkat. Egy terepi objektumot általában több pixellel lehet csak ábrázolni, ezért a vektorizálás során egy pontszerű objektum azonosítása és vektorizálása nem mindig egyértelműen végrehajtható feladat. A művelet végrehajtására két módszer áll rendelkezésünkre. Az egyik az automatizált, a másik pedig a manuális vektorizálás. Tanulóterületek megadásával, vagy osztályokba sorolással lehetőség van automatikus pixel felismerési rutint végrehajtani, melynek során előáll a vektoros kép. Az elemzés olyan programok által, statisztikai módszerekkel végrehajtott döntési műveletek sorozatából áll, melynek során az egyes képpontok besorolása vagy előre definiált, vagy automatikusan meghatározott osztályba sorolással történik. *„A feladat megoldását olyan számítógépi programok teszik lehetővé, amelyekkel megoldható az összes (esetleg több millió) képpontban, több spektrális sávban rögzített intenzitások kvantitatív értékelése.”* (BÁCSATYAI & MÁRKUS 2001).

A digitalizálási műveletet szemrevételezés útján is végezhetjük. Ebben az esetben tudásunk, tapasztalataink, alapján azonosítjuk a vektorizálni kívánt felszínt. BÁCSATYAI & MÁRKUS (2001) szerint a vizuális interpretáció olyan képfeldolgozási módszer, amikor a kiértékelés során a kiértékelő szubjektív döntéseket hoz, melyben nagy szerep jut a munkát végző személy szaktudásának, háttérismereteinek. Terepen mért pontok, vonalak, poligonok és az ortofotóról vektorizált értékek eltéréseinek vizsgálata esetén a tapasztalat szerint pontosabb vektorizálást lehet elérni vizuális interpretációval történő azonosítással.

A pontok automatikus azonosítása a magasságkülönbségek, árnyékhatások miatt bizonytalan. Terepi azonosítás utáni újbóli térképi pontmeghatározás nem kivitelezhető.

Vonalak esetében a szimmetria tengelyek direkt módon történő kiértékelése automatizált megoldással nem végezhető.

Vegetációs időszakról, illetve fafajtától függően az automatikus pixel felismerés hibákhoz vezethet, ugyanis nem feltétlenül a korona széle kerül meghatározásra. Szemrevételezéssel, jól megválasztott méretarány esetén egyértelműen interpretálhatók a szimmetria tengelyek, a lombkoronaszélek, irtások, hasonló színintenzitású erdők és a különböző növényborítások.

A raszteres adatok vektorizálását különböző méretarányokban végezhetjük. A méretarány ideális megválasztását elsősorban az ortofotó geometriai felbontása (pixel/méter) határozza meg.

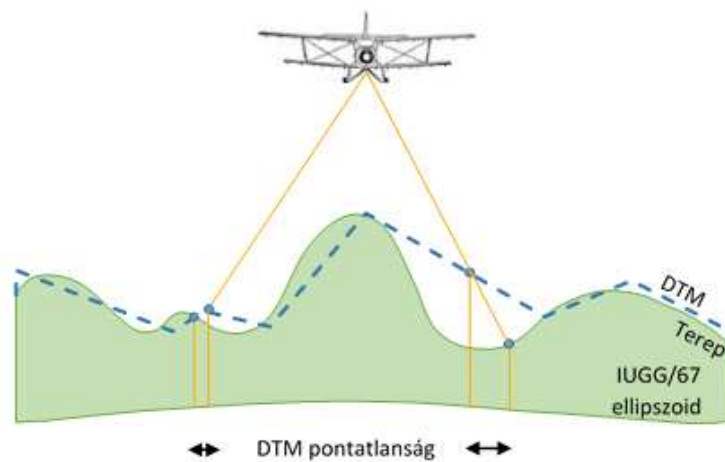
Ahhoz, hogy a terepi mérések eredményeit össze tudjuk vetni a térképi eredményekkel, le kell digitalizálnunk a vizsgálandó pontokat, vonalakat, poligonokat. Ezen elemek meghatározása különböző sorrendekben történhet, először térképi méréssel majd terepi méréssel és fordítva. Mivel a felvételek készítése előtt a terepen pontjelölés nem történt, így célszerű volt a képeken élesen leképeződött, jól azonosítható, a felszínen elhelyezkedő pontok koordinátáit meghatározni és csak ezután a terepen felkeresni és elvégezni a méréseket. A vizsgálatok során kizárólag utólagos meghatározás történt, tehát a kiválasztott közös pontok először a térképen lettek kijelölve és digitalizálva. Az ortofotók és űrfelvételek vektorizálása során, különböző láthatósági méretarányokban, eltérő pontosságú vektorizálás végezhető.

Megállapítható, hogy nagyfelbontású ortofotók esetén nagyobb méretarányban pontosabb vektorizálás érhető el. A kisebb felbontású ortofotókról történő vektorizálás gyorsabban végrehajtható, ám az kisebb pontossággal jellemezhető. A digitalizálásokat Esri ArcGIS programmal végeztük, ugyanis ez a program biztosította leginkább a pixelgrafikus adatok hatékony vektorizálását. A digitalizált pontok, vonalak és poligonok az ArcGIS geo-adatbázisában kerültek rögzítésre. A program lehetőséget adott arra, hogy az adatbázis tábláiban tárolt objektumok közötti lineáris távolságok automatikusan lekérdezhetőek legyenek. Ezek az eltérések a digitalizált objektum attribútumának egyik mezőjében tárolódnak, így a terepi mérések eredményei közvetlenül összevethetőek voltak a digitalizált pontokkal, vonalláncokkal és poligonokkal.

A vizuális interpretáció alapján végzett digitalizálás ellenőrzése érdekében több, egymástól független vektorizálást végeztünk. Az ellenőrzések eredményei alapján vizsgálható és dönthető el, hogy a vektorizálás pontosságát milyen mértékben befolyásolja az azonosításból eredő hibalehetőség. Ezért a pontok, a vonalak, és a poligonok esetében a vektorizálásokat több alkalommal ismételtük meg.

3.4.1.1. Pontok térképi meghatározása

Az ortofotók elemzése során, egyrészt a felvételek tájékozási adatai, valamint az alkalmazott domborzatmodellek pontosságaiból adódóan, másrészt az ortofotók terepi tartalmától, felbontásától függően eltérő pontosságú adatok nyerhetők. (VARGA ET AL. 2015c). A tájékozási elemek nagy pontossággal meghatározhatóak. A domborzatmodellek pontatlanságaiból adódó hibák viszont teljes mértékben nem küszöbölhetőek ki, ezt a 14. ábra szemlélteti.



14. ábra DTM pontatlanságból származó vízszintes eltérések (saját szerk.)

A domborzatmodellek a terep magassági viszonyait megközelítően leíró felületei valamely rácsháló alapján. A modellek magassági pontatlanságaiból, a fotogrammetriai kiértékelések teljességének hiányaiból adódóan ezek az eltérések az ortofotók vízszintes torzulásaihoz vezetnek. Ennek mértéke függ a térkép méretarányától, a domborzattól és a modellek pontosságaitól. Az ortofotók pontosságára ható tényezők közül csak a domborzatmodellek minőségeit vizsgáltuk. Ez megfelel annak a megközelítésnek, amikor a sok befolyásoló tényező (esetünkben az ortofotók pontosságát a képeket alkotó légifényképező kamera belső adatainak pontossága –optikai elrajzolása; fókusztávolság és képfőpont koordinátái; a digitalizáló eszköz = CCD szenzorok pontossága-; a végrehajtott légiháromszögeléssel kapott külső tájékozási elemek pontossága; a légifelvételezés külső körülményei -párasság, látótávolság, légköri refrakció-; a felhasznált digitális terepmodell pontossága;) közül egyet kiragadva a többi változatlanul hagyva vizsgáljuk.

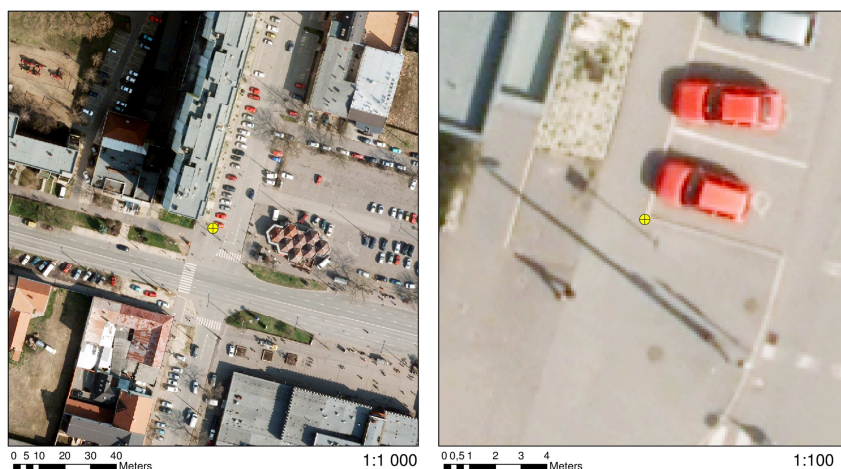
Tehát az ortofotók pontosságát befolyásoló egyéb tényezők mind a nyír-egyházi, mind a kecskeméti mintaterületről készült ortofotók esetében ugyanazok voltak. Így ugyanaz a kamera, a pixel méret, valamint ugyanaz a légiháromszögelési és interpolációs eljárás került alkalmazásra.

Az ortofókon kijelöltük a terepmodellek ellenőrzéséhez szükséges pontokat és vektorizálással meghatároztuk azok koordinátáit (15. ábra). Törekedtünk arra, hogy a képszéleken is kerüljenek meghatározásra pontok, de a terepakadályok és az éles határok által leképződött pontok egyes területrészekben való hiánya következtében nem tudtuk biztosítani a ponthelyek teljes homogenitását a mintaterületeken.



*15. ábra Referencia pontok (sárga) elhelyezkedése Nyíregyházán
(saját szerkesztés)*

A pontok kiválasztásánál arra törekedtünk, hogy lehetőség szerint a légifelvétel készítése óta változatlanok és könnyen megközelíthetőek legyenek. Ezek élesen leképződött pontok és a környezetüktől vízszintesen és magassági-
lag egyaránt jól elkülöníthetők. Így túlnyomórészt közterületeken lévő aknák
közepei, szélei, járda és útburkolat szélek, burkolatváltások, útburkolati jelek
jellemző pontjai kerültek kijelölésre és csak kivételes esetben használtuk fel
oszlopokat, közmű szekrényeket, melyek árnyékot vethetnek, ezáltal a terepi
meghatározást bizonytalanná tehetik. (VARGA ET AL. 2015c, 16. ábra).



16. ábra Pont vektorizálása 0.1 méter/pixel felbontású ortofotóról (saját szerk.)

A digitalizált adatok alapján a pontok terepi felkeresését és azok koordináta mérését, Leica GS 15 GPS-el végeztük.

A terepi mérések végrehajtása után a pontokat osztályokba soroltuk. Az elsőrendű pontok osztályába a jól azonosítható mesterséges tereptárgyak centrumai, sarokpontjai kerültek, melyek magasságilag is jól elkülöníthetőek voltak (17. ábra).



17. ábra I. rendű (113-as) referenciapont Nyíregyházán (saját fotó)

A másodrendű pontok osztályába azokat a mesterséges alakzatokat soroltuk, melyek a képen életlenül képződtek le, de a valóságban jól azonosíthatóak voltak, pl. beton burkolat sarkára ránőtt fű.

A vizsgálat során az eltéréseket pontonként határoztuk meg. A lineáris eltérések bemutatására 10 cm-es hosszúságú intervallumokat hoztunk létre majd az eredményeinket a megfelelő osztályba soroltuk minden domborzatmodell esetében.

A terepi pontok vektorizálása 0.1 méter/pixel felbontású ortofotókról történt. A pontok azonosítását segítették a terepen készített, pontszámokkal ellátott, közeli és távoli fényképek (18. ábra).



18. ábra I. rendű (116-os) referenciapont egy távoli és egy II. rendű (124-es) referenciapont egy közeli felvételen (saját fotó)

Az űrfelvételek pontjainak vizsgálatakor hasonló módon jártunk el. A vizsgált 2,5 m/pixel felbontású űrfelvételen kijelöltük az ellenőrzéséhez szükséges pontokat és meghatároztuk azok térképi koordinátáit. A pontok kiválasztását és térképi meghatározását nehezítette a kis felbontás és a centrális felvételezésből adódó épületdőlések. A pontok vizsgálatához ugyanis épületek töréspontjait használtuk. Az egzakt módon azonosítható épületek, a terepakadályok és az éles határok által leképződött pontok egyes területrészekben való hiánya következtében nem tudtuk biztosítani az ponthelyek teljes homogenitását a mintaterületeken. A vizsgálatához élesen leképződött vonalak metszéspontjait választottuk, mely egyenesek földfelszínnel való metszéspontjai (azok metszéspontjai) környezetüktől vízszintesen és magasságilag egyaránt jól elkülöníthetőek, lehetőség szerint az űrfelvételek készítése óta változatlanok és nem árnyékban lévőek voltak.

3.4.1.2. Úttengelyek térképi meghatározása

Az úttengelyek vektorizálása átlagosan 1:350 és 1:500-as méretarányban történt. Az útszakaszok több, mint 50%-a esetében jól látható volt a felezővonal. Ez nagyban segítette az azonosítást, s így növelte a digitalizálás pontosságát (19. ábra).

A légi felvétel elkészítésének időpontja és a terepi felmérés közötti időszakban az érintett utakon burkolatfestés nem történt, így nem fordulhatott elő az, hogy nem térkép terep azonos pontok kerültek meghatározásra.

Azon útszakaszok, amelyek útfestéssel nem rendelkeztek, illetve a burkolat a fák lombkoronáival, árnyékaival fedett terület alatt futott, a tengely interpretálása jóval nehezebb volt, mint nyitott égbolt esetén. Ebben az esetben a burkolat koronaszélei segítségével a szimmetria tengelyek kerültek vektorizálásra. Nehézséget jelentett továbbá a többsávos, illetve a belvárosi szakaszok úttengelyeinek meghatározása is (VARGA ET AL. 2015C).



19. ábra Vonallánc (úttengely) vektorizálása 0.4 méter/pixel felbontású ortofotóról (saját szerk.)

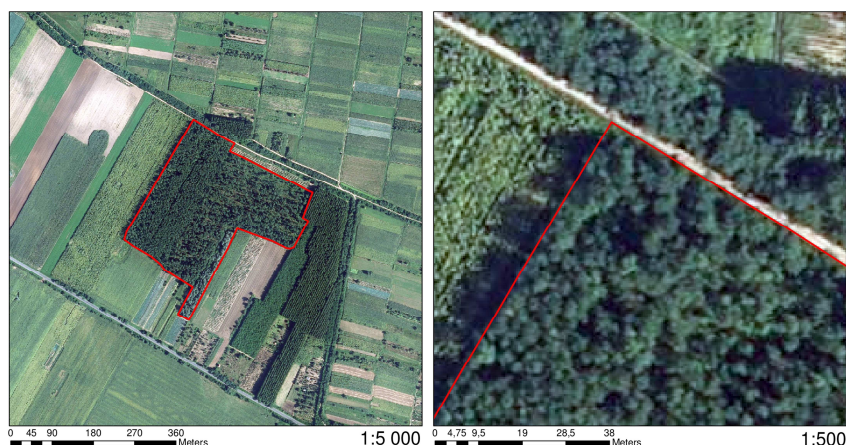
3.4.1.3. Erdőhatárok térképi meghatározása

A poligonok vizsgálata erdők határvonalainak vektorizálása alapján történt. A vektorizálás során a fával borított felületek határvonalait, nyári vegetációnál a lombkorona széleit határoztuk meg.

A 0.4 és 0.5 m/pixel geometriai felbontású ortofotók vektorizálását EOV vetületi rendszerben, az 1:500 és 1:1000 közötti méretarányokban végeztük. Ennek oka az volt, hogy 1:1000-tól kisebb méretarány esetén már a poligonok kisebb töréspontjai sem voltak azonosíthatóak, ezért ezt a méretarányt csak nagyobb objektumok szemrevételezésére és tájékozódásra, navigálásra használtuk.

1:500-tól nagyobb méretarányban való vektorizálás a kép pixelesedése miatt pontatlan volt, így 1:500, vagy attól kisebb méretarányban hajtottuk végre a konkrét digitalizálási, vonalhúzási műveleteket (20. ábra).

A vektorizálás során a legfőbb nehézség a digitalizálandó erdők határainak vizuális interpretációja volt. A sűrű textúrájú vegetációról ugyanis bizonyos esetekben nehezen eldönthető, hogy valóban fák csoportosulásáról van-e szó. Szerencsésebb esetekben a digitalizálandó erdők vizuálisan elkülönültek környezetüktől, illetve a szomszédságukban lévő vegetációktól. Ennek tökéletes példája a hajdú-bihari terület volt. A szabolcs-szatmári területen, a vektorizálás során többször is segítségül kellett hívni a terepi pontok adatállományát, ugyanis például egy kivágott majd újraterelített erdőt könnyű összetéveszteni egy réttel, sőt bármilyen másik sötétzöld vegetációval. Ezért bizonyos esetekben megpróbáltuk a terepi pontokhoz legközelebb eső erdőhatárokat beazonosítani. A szabolcsi terület ortofotóján lévő erdőhatárok elmosódásának az oka a területen folyó intenzív erdőgazdálkodás. A helytelen interpretációból adódó eltérések (erdőfoltokba ékelődő irtások, új telepítésű erdők határai esetén), jelentősen befolyásolják az átlagos eltérést, ugyanis néhol ezek az értékek a 20 m-t is elérik.



20. ábra Poligonok (erdőhatárok) vektorizálása 0.4 méter/pixel felbontású ortofotóról (saját szerk.)

A centrális vetítésből fakadó kitérés, az erdő árnyékának következtében kialakuló pixelsötétedések, maximálisan 1-2 m-es eltérést eredményeznek, így ezek kevésbé befolyásolják a pontos vektorizálást (VARGA ET AL. 2015b).

3.4.2. A vizsgálatok során alkalmazott geodéziai módszerek

A geodéziai méréseket hálózati RTK módszerrel végeztük. A módszer lényege abból áll, hogy a központi szerver a GNSS méréseket terhelő hibákat modellezi a teljes területre. Így a mérés függetlenné válik az egyes állomásoktól, az adatok pontossága a lefedett területeken belül pedig egységes marad, és nem romlik a referencia állomástól való távolodással. A módszer pontossága meghaladja az egyetlen állomásra támaszkodó megoldás pontosságát [Internet 40].

Munkánkat úgy ellenőriztük, hogy a méréseket legkevesebb 15 perc elteltével, új inicializálás mellett minden ponton megismételtük. A bázisállomás ellenőrzésére a meghatározandó pontok közé legalább egy darab, az OGPSH-ban ismert pontot is bevontunk. Mivel nem tapasztaltunk olyan nagyságrendű eltéréseket, melyek a vizsgálat eredményét érdemben befolyásolták volna, így további, a meghatározás pontosságára vonatkozó ellenőrzéseket nem végeztünk (VARGA ET AL. 2015c).

3.4.2.1. Pontok terepi meghatározása

A digitalizált adatok alapján a pontok terepi felkeresését (21. ábra) és azok koordináta mérését hálózat-alapú technológiát alkalmazva, statikus mérési módszerrel, Leica GS 15 GPS-el hajtottuk végre.



21. ábra Referencia pontok (sárga) elhelyezkedése Kecskeméten, 0,1m/pixel felbontású ortofotón (saját szerk.)

A méréseinkhez, a hálózat permanens állomásai közül, a FÖMI által üzemeltetett debreceni, nyíregyházi és kecskeméti állomások szolgáltatták a szükséges korrekciókat (VARGA ET AL. 2015c).

Az ortofotókon lévő pontok meghatározását és felkeresését a vektorizálás eredményeként létrejött koordináták alapján végeztük. Abban az esetben, ha a terepi mérést követően egyértelműen megállapítható volt, hogy a vektorizálás során elazonosítás történt, úgy a pont fényképfelvételeinek és terepi koordinátáinak ismeretében (ez utóbbiak közvetlen felhasználása nélkül) a pont újbóli vektorizálásra került sor.

Az úrfelfételek pontjainak vizsgálatát épületsarkok alapján végeztük. A terepi mérések során az épületek töréspontjait közvetlenül mérni azonban nem tudtuk az épületek falsíkjainak, ereszeinek, tetőinek a méréseinket árnyékoló hatásaik miatt. Így a méréseket közvetett módon, ívmetszéssel hajtottuk végre. A falsíkok kb. 2 m-es kihosszabbításaiban koordinátákat mértünk és mindkét pontból a meghatározandó pontig a távolságokat is meghatároztuk, ezen adatok ismeretében műszerünkkel a helyszínen számítottuk az új pont koordinátáit.

3.4.2.2. Úttengelyek terepi meghatározása

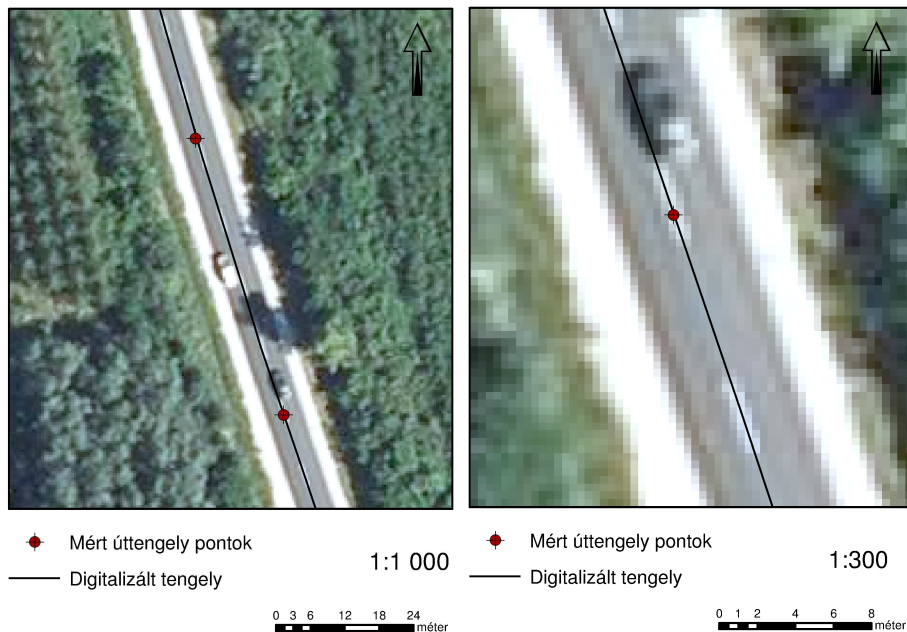
A kutatási területeken elhelyezkedő úttengelyek közül, csak a burkolt utak kerültek felmérésre, egyrészt azért mert a felvételek elkészítése és a geodéziai meghatározás között két év telt el, s így az idő során a földutak tengelye, nyomvonala változhatott, másrészt a szilárd burkolattal rendelkező utak esetén a geodéziai meghatározás egzakt módon hajtható végre.

A vizsgált területeken felmért utak hossza összesen 124 km. Ezen hossz statikus, vagy félkinematikus mérési módszerrel történő meghatározása sok időt és költséget vett volna igénybe, így a mérés kinematikus módszerrel történt. A kinematikus mérésekkel bármilyen mozgó jármű cm pontosságú helymeghatározását végezhetjük el.

Az EOV koordináták meghatározása Trimble R6 kétfrekvenciás GPS vevővel történt. A GPS méréshez szükséges korrekciókat a FÖMI által üzemeltetett debreceni permanens állomás szolgáltatta. A kinematikus mérés során egy terepjáró tetején (szimmetria tengelyében) elhelyezett GPS vevő (rover) segítségével történt a felméréndő utak tengelyeinek numerikus meghatározása. A felmérés előtt szükség volt a külpontossági elemek meghatározására, mivel a jármű nem az úttengelyben, hanem a menetiránynak megfelelő forgalmi sávban haladt a felmérés folyamán. A vevő tengelyének a felméréndő út szimmetria tengelyétől (felfestett felező vonaltól) való távolsága, valamint a vevő burkolattól való magassága határozta meg a külpontossági elemeket. Meg kellett határozni a pontrögzítés időintervallumát, vagy a rögzítendő pontok egymástól való távolságát. A mérendő pontok 50 méterenként kerültek rögzítésre. A mért pontok y x koordináta értékei csak akkor kerültek tárolásra, ha a +/- 8 cm ponthiba értéket nem haladták meg. Ez az érték a mérés megbízhatóságát nagyságrendben nem

befolyásolja, de mégis elegendő nagy volt ahhoz, a folyamatos pont rögzítés biztosítva legyen. Abban az esetben, ha a megadott határértéknél nagyobb hiba keletkezett egy pont mérésekor, úgy az ez utáni hibahatáron belüli érték, azaz a következő 50 m-re lévő pont került rögzítésre. Így a mért pontok egymástól való távolsága néhol eltér a mérés megkezdésekor definiált értéktől. Ahhoz, hogy a kutatás eredményeinek alapját képező mérési eredmények pontossága is bizonyított legyen, szükség van a felmérés során alkalmazott műszer valamint a mérési módszer pontosságának ellenőrzésére is. Az alkalmazott műszer pontosságának vizsgálatára statikus mérésekkel, míg a bázisállomás ellenőrzésére a mintaterületen elhelyezkedő három vízszintes alapponton történő méréssel került sor. A mérés mindhárom alapponton 180 epochan keresztül tartott. A dx és dy koordináta eltérések a mérési eredmények és az OGPSH pontok koordináta különbségeiből adódtak. Az alkalmazott hálózati RTK megoldással a jellemző ponthiba 1–3 cm között van.

A kinematikus mérési módszer (lásd 3.2.2.1. A GPS-el történő helymeghatározási módszerek áttekintése) pontosságának ellenőrzésére azért volt szükség, mert a mérés előtt meghatározott külpontossági elemek (az autó kigyózó mozgása, az út szélességének változása, a felező vonal felfestésének megléte, vagy annak hiánya miatt) folyamatosan változtak. Meg kellett győződni arról, hogy a vizsgálat eredményét a külpontossági elemek változásából adódó hibák érdemlegesen nem befolyásolják. (VARGA & FEKETE 2014). A kinematikusan mért pontok elhelyezkedését mutatja a 22–23. *ábra*.



22. *ábra* 1:1000 méretarányú ortofotó (saját szerk.) 23. *ábra* 1:300 méretarányú ortofotó (saját szerk.)

3.4.2.3 Erdőhatárok terepi meghatározása

A vizsgált területeken a geodéziai meghatározást félkinematikus mérési módszerrel hajtottuk végre. A terepi mérések során meghatározásra kerültek a kutatási területeken lévő erdőhatárok töréspontjainak EOVS koordinátái. A hajdú-bihari terület felmérése 2012 év nyarán (24. ábra), Trimble R6 kétfrekvenciás GPS vevővel, míg a szabolcs-szatmári terület felmérése 2013 év nyarán, Leica GS15 műszerrel történt.



24. ábra A vizsgált erdőhatárok elhelyezkedése a hajdú-bihari mintaterületen (saját szerk.)

Mindkét esetben az erdők lombkoronáinak függőleges vetületei kerültek meghatározásra. A GPS méréshez szükséges korrekciókat a FÖMI által üzemeltetett debreceni permanens állomás szolgáltatta. A terepi felmérés során az erdőhatárok töréspontjai kerültek felmérésre (VARGA ET AL. 2015b).

A terepi felmérésből származó koordinátákat és a vektorizálásból származó poligonokat úgy vizsgáltuk, hogy kiszámítottuk minden egyes terepi pont, és a hozzá legközelebbi lévő poligon legkisebb (merőleges) távolságát. Így számítani tudtuk a geodéziai felmérésből származó adatok és a digitalizált adatok közötti különbségeket.

3.4.3. Az elemzések során alkalmazott matematikai módszerek

Az elemzéseink során az alábbi alkalmazott matematikai és statisztikai módszereket használtuk:

- leíró statisztikai eszközök (átlag, medián, alsó kvartilis, felső kvartilis, interkvartilis, terjedelem, szórásnégyzet, szórás),
- különböző grafikus ábrázolási módok (hisztogram, dobozdiagram),
- hipotézisvizsgálat (t-próba, F-próba, chí-négyzet próba, varianciaanalízis, normalitás vizsgálat),
- intervallumbecslés és a legkisebb négyzetek módszere.

Mivel bizonyos esetekben nagy elemszámú mintákat vizsgáltunk, ezért szinte kivitelezhetetlen lett volna a programok használata nélküli számítás. A elemzések túlnyomó részében az IBM SPSS statistics 22 programot használtuk, bizonyos esetekben pedig a Microsoft Excel 2010 adatelemező szoftverrel végeztük számításainkat.

Elemzéseinkhez felhasználtuk a leíró statisztika módszereit, a grafikus ábrázolási módszereket, a hipotézis vizsgálatot, az intervallumbecslést és a legkisebb négyzetek módszerét.

Alkalmazott, leíró statisztikai eszközök az alábbiak voltak:

- átlag: hétköznapi számtani átlag (számtani közép)
- terjedelem: legnagyobb és legkisebb érték különbsége
- medián: nem-csökkenő sorba rendezett mintaelemek középső értéke
- alsó kvartilis: rendezett mintában a legkisebb érték és a medián között középen elhelyezkedő adat számértéke
- felső kvartilis: rendezett mintában a medián és a legnagyobb érték között van középen elhelyezkedő adat számértéke
- interkvartilis vagy interkvartilis terjedelem: összes érték középső fele
- szórásnégyzet: az átlagtól való eltérések négyzetes átlaga
- szórás: szórásnégyzetből vont négyzetgyök

A grafikus ábrázolást kétféle módon végeztünk. Első esetben hisztogramon ábrázoltuk a statisztikai mintánkat, azonban mivel túlságosan sok különböző értékünk volt (köszönhetően a nagyfokú pontosság miatt a több tizedes jegyig való számításoknak), ezért az egymáshoz „közel eső” értékeket egy osztályba vontuk össze. A sok különböző érték szerepeltetése átláthatatlanná tette volna az ábrázolt diagramot, ezért a könnyebb áttekinthetőség érdekében döntöttünk az összevonások mellett. A hisztogram előnye, hogy az eloszlás jellegéről ad könnyen átlátható képet, hátránya, hogy csak a mintaelemek eloszlását mutatja, egyéb statisztikai mutatószámot csak megközelítőleg tudunk meghatározni belőle.

A másik alkalmazott ábrázolási mód az úgynevezett dobozdiagram (angolul: box-and-whiskers, vagy egyszerűen box-plot) volt, amely egy vízszintes tengelyen ábrázolja a minta bizonyos kitüntetett elemeit (legkisebb érték, legna-

gyobb érték), valamint bizonyos leíró statisztikai mutatókat (alsó kvartilis, felső kvartilis, medián). A dobozdiagram a hisztogramnál részletesebb képet formál a statisztikai mintáról. A doboz ugyanis tartalmazza az összes érték, középső felet (interkvartilis), a doboznak az egyenesen való elhelyezkedése pedig arról ad szemléletes információt, hogy az összes érték „középső fele” az eloszlás melyik széléhez esik közelebb. A doboz-ábrának több verziója létezik.

A klasszikus dobozdiagramtól eltérően az SPSS-ben implementált változat a mediánt, az interkvartilis terjedelmet ábrázolja, de a terjedelmet nem, ehelyett megad bizonyos feltételeknek megfelelő kiugró értékeket (*outliers*, *extremes*). Pontosabban az SPSS-ben ábrázolt diagram esetén a dobozra felső és alsó vonala az interkvartilis 1,5-szerese. Az ezen kívül eső értékeket az SPSS kiugró (*outliers*) értékeknek nevezi, az interkvartilis 3-szorosánál távolabb eső értékeket az SPSS extrém (*extremes*) értékeknek nevezi. Ezen kiugró értékeket egyértelműen mérési hibák okozzák.

A tényleges eltérések számítására CE95 módszert alkalmaztunk.

Az elemzésekhez felhasznált következő módszer a hipotézisvizsgálat, ezen belül kétmintás t-próbát, variancia analízist és normalitás vizsgálatot alkalmaztunk.

A kétmintás t-próba azt mutatta meg számunkra, hogy a két minta átlaga valamilyen valószínűséggel (mi 95%-os biztonsági szint mellett dolgoztunk) egyformának tekinthető-e vagy sem. Attól függően, hogy a minta elemszáma a két minta esetén megegyezett-e vagy sem, különböző típusú t-próbákat kellett használnunk. Ha a két minta elemszáma nem egyezett meg, akkor a minták szórásait is össze kellett hasonlítani (ezt F-próbával végeztük). Más-más kétmintás t-próbát alkalmaztunk attól függően, hogy egyforma vagy sem a vizsgált két minta szórása. Vizsgálataink során előfordult, hogy nem csak két minta átlagát kellett összehasonlítani, hanem több minta átlagát is, ebben az esetben már a kétmintás t-próba nem alkalmazható, ilyenkor varianciaanalízist (szórásanalízist) alkalmaztunk.

A normalitás vizsgálatot alkalmaztunk annak eldöntésére, hogy a statisztikai mintáink normális eloszlást követnek-e, ugyanis, ha nem, akkor például a korábban említett próbák nem alkalmazhatóak. Annak eldöntésére, hogy egy minta normális eloszlást követ-e, többféle lehetőségünk is van. Vannak numerikus és grafikus módszerek. Elemzéseink során mi grafikus teszteket alkalmaztunk, nevezetesen a Q-Q plot módszert (Q= kvantilis). Ebben az esetben azt vizsgáltuk, hogy a mintaelemek mennyire illeszkednek az ábrázolt 45 fokos egyenesre. Amennyiben az illeszkedés „jó”, úgy a minták normális eloszlásúnak tekinthetőek.

Az intervallumbecslés során azt az intervallumot adtuk meg, amelybe nagy valószínűséggel (esetünkben 95%-os valószínűséggel) beleesnek a mintaátlagok.

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

4.1. Az alkalmazott módszerek pontosság vizsgálatának eredményei

4.1.1. A vektorizálás pontosság vizsgálatának eredményei

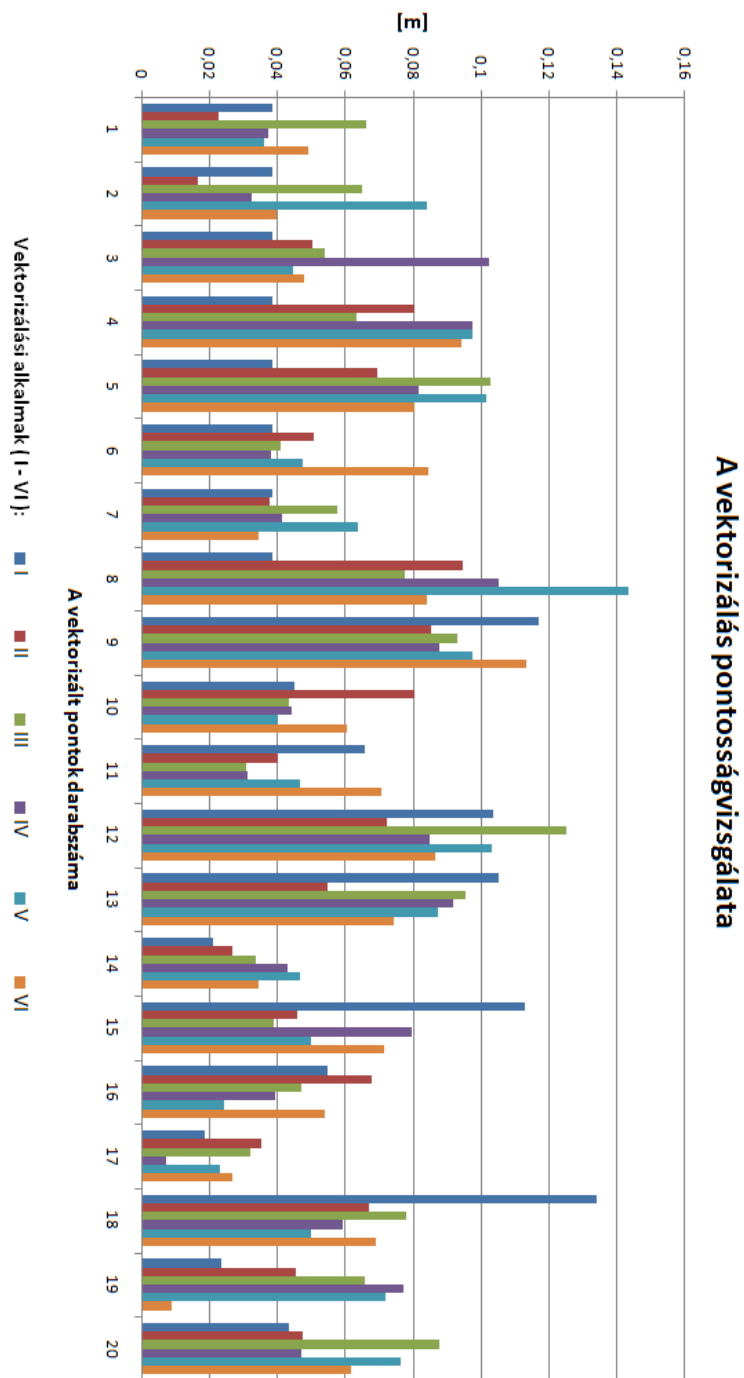
Annak meghatározására, hogy ugyanazon elemek többszöri vektorizálása mekkora pontossággal végezhető el, vizsgálatot végeztünk. A választott pontokat, vonalakat és poligonokat 6 alkalommal digitalizáltuk egymás után. Ahhoz ugyanis, hogy az elvégezendő statisztikai vizsgálatok eredményei értékelhetőek legyenek, legalább ötszöri mintavételezésre van szükség. A következő ábrán a vizsgált elemek közül 120 darabot ábrázoltunk. Ezekkel az elemekkel jellemezhető a teljes vizsgálat (25. ábra).

A vektorizálás pontosság vizsgálatánál a térképi és a terepi pontok eltéréseit ábrázoltuk. Az eltérések különbsége alapján lehet megállapítani az egyes digitalizálási alkalmak közötti hibát. A színek a vektorizálási alkalmakat jelölik, a vektorizált pontok száma szerint.

Kék színű, egy véletlenszerűen kiválasztott mintaelem az első digitalizálásból. Piros színű, egy véletlenszerűen kiválasztott mintaelem a második vektorizálásból, de ugyanarra a pontazonosítóra (pontra) vonatkoztatva.

Zöld színű, egy véletlenszerűen kiválasztott mintaelem a harmadik vektorizálásból, de szintén ugyanarra a pontazonosítóra (pontra) vonatkoztatva.

Tehát az ábra vízszintes tengelye az első, második, harmadik, negyedik, ötödik és hatodik stb. pontok számát ábrázolja, míg a függőleges tengelyén azoknak az első, a második és a harmadik stb. vektorizálásokból származó eltérései láthatóak méterben.



25. ábra Az elemek többszöri vektorizálásának eredményei 120 pont vizsgálatokor (saját szerkesztés)

Megállapítható, hogy jellemzően az egyre nagyobb térképi-terepi ellentmondásokhoz nagyobb vektorizálási pontatlanság tartozik, ami egyes pontok bizonytalan térképi azonosíthatóságára utal. A különbségek átlaga a 6-7 cm-es intervallumba tartozik (5. táblázat).

5.táblázat: A többszöri vektorizálás hibáinak átlagai és szórása

Vektorizálási alkalmak	Statisztikai értékek		
	Átlagos eltérés	Szórás	Darabszám
I.	0,0599	0,0013	100
II.	0,0546	0,0005	100
III.	0,0649	0,0007	100
IV.	0,0614	0,0008	100
V.	0,0668	0,0010	100
VI.	0,0623	0,0007	100

A vizsgálat során végzett F próba eredménye szerint az F érték lényegesen kisebb mint az F kritikus érték, ezért a minták azonosnak tekinthetők. A szórásnégyzet értékek maximuma 1 mm-re adódott, tehát az eredményeink megbízhatósága nagy.

Az eltérések átlagai alapján megállapítottuk, hogy ugyanazon pontok többszöri vektorizálásából adódó hibák a vizsgálatot érdemben nem befolyásolják, hiszen értékük a vizsgált legnagyobb felbontású ortofotó (0,1 méter/ pixel) esetén sem éri el a pixel méretét.

A vektorizálás tehát megfelelő módszer a térképi-terepi elemek összehasonlítására.

4.1.2. Az alkalmazott műszerek ellenőrzésének eredményei

Az alkalmazott műszer pontosságának vizsgálatát mindegyik mintaterületen fél-kinematikus (stop and go) hálózati RTK módszerrel végeztük. A mérés során először a részletpontok meghatározását hajtottuk végre ugyanazon (első) inicializálás mellett. Ezután újra inicializáltunk (második inicializálás) és a pontok egy részét újra felkerestük. A második mérés sorrendje megegyezett az első mérés sorrendjével. Ez azért lényeges, mert a két inicializálás között eltelt idő minden esetben meghaladta a 30 percet. Ez azt jelenti, hogy a másodszori méréseket már teljesen más műhold geometria mellett tudtuk végrehajtani. Természetesen szükség volt az ellenőrző pontok első mérés előtti jelölésére az újbóli mérések pontos végrehajtása céljából. Az ideiglenes állandósítást elsősorban természetes és mesterséges tereptárgyak felhasználásával, ezek hiányában festékekkel és fakaróval hajtottuk végre. A vektorizálást ellenőrző mérések eredményeiből 6 pont vizsgálatát a 25. ábra foglalja össze, míg a GPS-t ellenőrző méréseket a 6 – 9. táblázatok mutatják be.

6. táblázat GPS ellenőrzés eredményei a hajdú-bihar megyei mintaterületen

Hajdú-Bihar megye külterület GPS ellenőrzés						
Pontszám	Első inicializálás után (m)		Újra inicializálás után (m)		GPS ellenőrzés eredményei (cm)	
	$Y_{I\text{ mérés}}$	$X_{I\text{ mérés}}$	$Y_{II\text{ mérés}}$	$X_{II\text{ mérés}}$	dy	dx
2022	834482.96	260791.50	834482.97	260791.51	+1,1	+1,0
2023	835468.80	260500.87	835468.79	260500.87	-0,9	0,0
2024	836097.02	259836.48	836097.03	259836.46	+1,2	-1,8
2025	836708.31	259199.16	836708.30	259199.17	-0,9	+1,1
2026	837138.40	259319.87	837138.39	259319.88	-0,8	+0,9
2027	837124.28	258759.74	837124.30	258759.76	+2,1	+1,8
2028	836915.62	258451.61	836915.63	258451.59	+1,3	-1,7
2029	835831.23	259903.07	835831.21	259903.05	-1,7	-2,1
2030	833887.24	260838.39	833887.26	260838.40	+1,9	+1,4
2031	834454.36	261752.63	834454.34	261752.62	-2,3	-0,7
2032	834772.10	261856.09	834772.08	261856.08	-2,1	-1,6
2033	834980.20	261674.85	834980.21	261674.85	+0,8	+0,1
2034	834536.37	261571.76	834536.35	261571.78	-2,2	+2,1
2035	834719.73	263368.53	834719.70	263368.55	-2,8	+1,8
2036	834237.57	266882.92	834237.56	266882.94	-1,2	+2,3
2037	834581.02	270006.94	834581.04	270006.92	+1,9	-1,7
2038	834954.08	269809.84	834954.09	269809.85	+1,1	+0,9
2039	837824.59	268899.48	837824.61	268899.46	+2,3	-2,4
2040	839835.04	267033.50	839835.03	267033.52	-0,7	+2,3
2041	842035.35	265771.51	842035.37	265771.49	+2,4	-1,6
Az eltérések középértéke:					1,6	1,4

7. táblázat GPS ellenőrzés eredményei a szabolcs-szatmár-bereg megyei mintaterületen

Szabolcs-Szatmár-Beregmegye külterület GPS ellenőrzés						
Pont-szám	Első inicializálás után (m)		Újra inicializálás után (m)		GPS ellenőrzés eredményei (cm)	
	Y _I mérés	X _I mérés	Y _{II} mérés	X _{II} mérés	dy	dx
10001	872385.54	265379.83	872385.54	265379.81	-0,2	-2,1
10002	872905.21	265079.10	872905.21	265079.11	+0,1	+1,0
10003	873291.78	265231.46	873291.80	265231.43	+2,2	-3,2
10005	873521.75	265305.87	873521.77	265305.85	+2,1	-1,8
10006	873199.57	267126.11	873199.56	267126.09	-1,3	-2,0
10007	872978.11	267457.27	872978.09	267457.29	-1,7	+2,2
10009	872932.96	267509.63	872932.94	267509.61	-1,9	-1,8
10010	872702.56	267736.25	872702.57	267736.24	+1,3	-1,1
10011	872653.94	267776.21	872653.93	267776.23	-1,1	+2,2
10012	872180.02	268053.20	872180.03	268053.22	+0,8	+2,1
10013	872119.72	268094.17	872119.74	268094.18	+2,2	+1,0
10014	873328.06	259549.99	873328.04	259549.98	-1,9	-1,1
10015	873370.17	259619.41	873370.15	259619.41	-0,9	0,0
10016	874009.55	260591.31	874009.54	260591.33	-1,2	+2,2
10017	874668.69	261756.49	874668.69	261756.51	+0,2	+1,8
10018	875126.73	263115.22	875126.74	263115.20	+1,1	-2,0
10019	874945.61	264130.40	874945.60	264130.38	-1,3	-2,1
10020	875049.94	265421.64	875049.95	265421.65	+1,1	+1,2
10021	876733.97	265736.13	876733.97	265736.14	0,0	+1,0
10022	878847.75	265125.68	878847.77	265125.68	+2,0	+0,2
Az eltérések középértéke:					1,2	1,6

8. táblázat GPS ellenőrzés eredményei Kecskemét belterületén

Kecskemét belterület GPS ellenőrzés						
Pontszám	Első inicializálás után (m)		Újra inicializálás után (m)		GPS ellenőrzés eredményei (cm)	
	Y _I mérés	X _I mérés	Y _{II} mérés	X _{II} mérés	dy	dx
101	699788.51	174467.61	699788.49	174467.60	-2,0	-1,1
102	699811.87	174426.40	699811.89	174426.41	+1,7	+1,2
103	699951.16	174283.45	699951.15	174283.46	-0,9	+1,2
104	699847.53	174121.98	699847.54	174121.97	+0,6	-1,1
106	699747.24	173926.84	699747.25	173926.84	+0,7	0,0
107	699933.35	173964.58	699933.35	173964.57	0,0	-0,9
108	699915.42	173947.32	699915.44	173947.33	+2,2	+0,8
109	700130.45	173997.66	700130.43	173997.64	-2,2	-1,8
110	700167.17	174275.51	700167.16	174275.52	-1,2	+1,0
111	700352.59	174245.69	700352.58	174245.70	-1,4	+1,2
112	700403.64	174116.72	700403.65	174116.71	+0,9	-0,7
113	700439.35	174021.42	700439.36	174021.43	+1,1	+1,3
114	700763.08	174212.40	700763.08	174212.42	+0,1	+1,8
115	700734.92	174232.83	700734.93	174232.81	+1,2	-2,3
116	701182.05	173906.89	701182.07	173906.87	+1,8	-2,1
201	700460.06	173984.78	700460.08	173984.79	+2,1	+1,0
202	700099.21	174256.20	700099.21	174256.20	0,0	+0,1
203	699862.54	174118.41	699862.53	174118.40	-1,2	-1,1
204	699790.92	174229.19	699790.90	174229.19	-2,3	0,0
205	699981.81	174214.44	699981.81	174214.46	+0,2	+2,2
Az eltérések középértéke:					2,2	1,1

9. táblázat GPS ellenőrzés eredményei Nyíregyháza belterületén

Nyíregyháza belterület GPS ellenőrzés						
Pontszám	Első inicializálás után (m)		Újra inicializálás után (m)		GPS ellenőrzés eredményei (cm)	
	Y _I mérés	X _I mérés	Y _{II} mérés	X _{II} mérés	dy	dx
101	847945.04	294149.42	847945.04	294149.41	+0,1	-1,2
102	847880.04	294727.23	847880.04	294727.23	+0,3	+0,2
103	847910.07	294708.08	847910.07	294708.09	+0,4	+1,1
104	848409.82	293915.80	848409.83	293915.81	+1,1	+1,4
105	848399.27	293811.25	848399.26	293811.24	-0,6	-1,2
106	848417.97	293762.18	848417.96	293762.16	-0,7	-1,9
118	847755.58	293630.75	847755.60	293630.73	+2,1	-2,2
120	847904.09	293275.75	847904.10	293275.77	+1,1	+2,1
121	847812.43	293400.62	847812.43	293400.61	0,0	-1,1
122	847777.73	293455.00	847777.73	293454.99	+0,2	-1,4
123	847818.59	293316.88	847818.57	293316.90	-2,3	+2,1
124	847774.37	292905.54	847774.37	292905.53	+0,4	-0,6
201	848112.37	293022.43	848112.37	293022.43	0,0	+0,1
202	847912.45	293259.86	847912.47	293259.85	+2,2	-1,1
203	848104.38	293782.16	848104.39	293782.16	+0,8	+0,4
204	848238.57	293713.19	848238.59	293713.17	+2,4	-2,4
207	848243.30	294175.30	848243.28	294175.28	-1,7	-1,6
208	848944.99	294741.98	848944.98	294741.96	-1,1	-2,3
209	848406.91	293745.41	848406.89	293745.40	-2,2	-0,7
210	848398.68	293526.38	848398.68	293526.40	+0,3	+2,0
Az eltérések középértéke:					1,0	1,4

A második mérés Y, X koordinátáiból kivonásra kerültek az első mérés pontjainak Y és X koordinátái. Eredményül a dy, dx koordináta eltéréseket kaptuk előjel helyesen. Az ellentmondások abszolút értékeiből számítottuk az eltérések középértékét. Ezek az értékek egyik mintaterület esetében sem érték el a 3 cm-t.

Az ellenőrzés során alkalmazott hálózati RTK megoldással a jellemző ponthiba 1–2 cm közötti értékre adódott. Megállapítottuk, hogy az alkalmazott műszerek pontossága a vizsgálataink eredményeit érdemben nem befolyásolják, ezért a műszerek alkalmasak a kontroll mérések végrehajtására.

4.2. Az ortofotók vizsgálatának eredményei

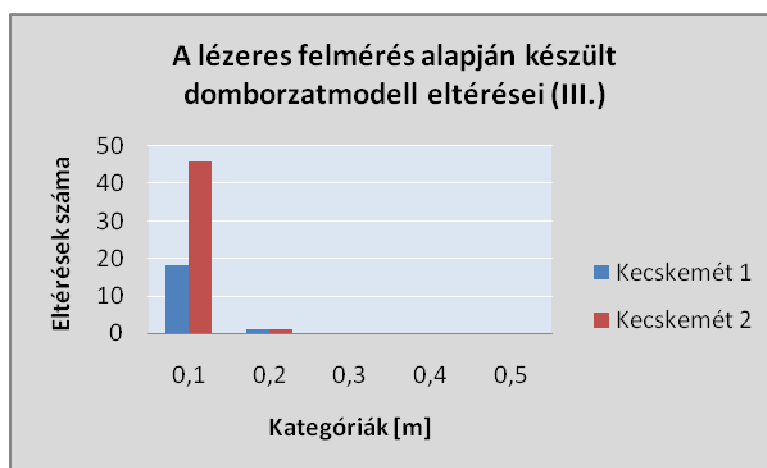
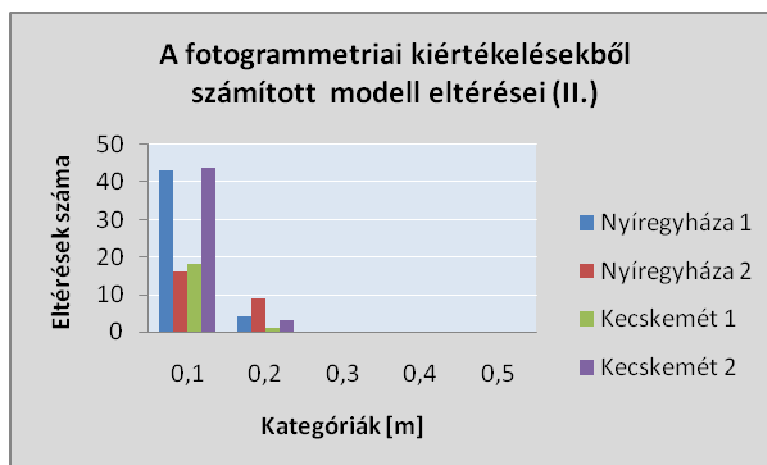
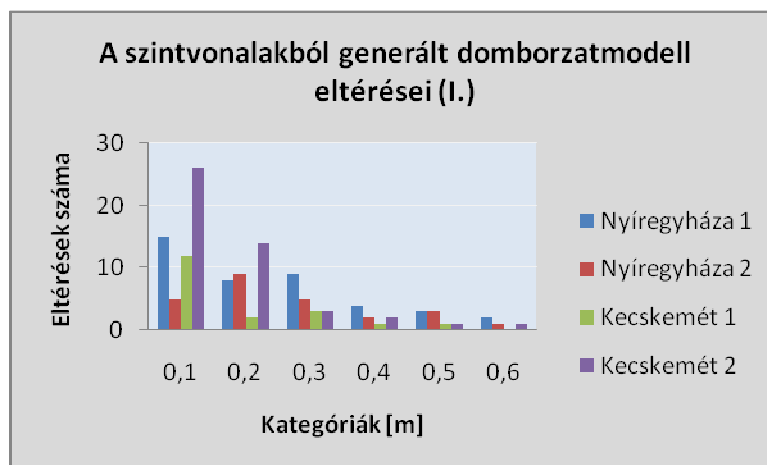
Pontosságvizsgálataink során az ortofotókról digitalizált vektoros állományok illetve a geodéziai módszerrel felmért vektoros állományok közötti eltéréseket határoztuk meg (VARGA ET AL. 2015c). A meghatározásaink folyamán különböző térinformatikai, geodéziai és matematikai (statisztikai) módszereket alkalmaztunk.

4.2.1. *Ortofotók vizsgálata pontok alapján, különböző domborzatmodellek alkalmazásának eredményei*

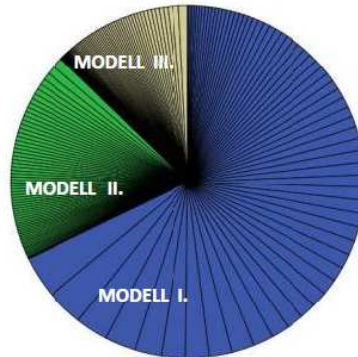
Mindkét kutatási területen (a rendelkezésre álló domborzatmodellek szerint) az első és másodrendű pontok felhasználásával, ábrázoltuk a relatív gyakoriságot, azaz, hogy melyik osztályba a minták hány %-a tartozik. Erre azért volt szükség, hogy meghatározható legyen a függvények eloszlása. Ennek megfelelően megállapítható, hogy az digitális szintvonalmodell kivételével minden mintánk olyan jellegű, hogy az egyre nagyobb eltérésekhez egyre kisebb gyakoriságok tartoznak.

Az ortofotókról digitalizált és a geodéziai módszerrel meghatározott pontok koordinátái közötti eltéréseket a 26. *ábra* tartalmazza a vizsgált modellek szerint. Az „I” a szintvonalakból generált domborzatmodell eltéréseit, a „II” a fotogrammetriai kiértékelésekből számított modell eltéréseit, míg a „III” a lézeres felmérés alapján készült domborzatmodell eltéréseit mutatja be.

A nyíregyházi és a kecskeméti mérési adatok (a vizsgált terepmodellek szerinti) összevonását követően, az eredményeket kördiagramban ábrázoltuk (27. *ábra*). A minták (eltérések) eloszlása növekvő sorrendben (az óramutató járásának megfelelően) került ábrázolásra. A minták darabszáma mindhárom modell esetén azonos. A diagram alapján megállapítható, hogy az eltérések összege „I” modell esetén a legnagyobb, „III” esetén pedig a legkisebb.

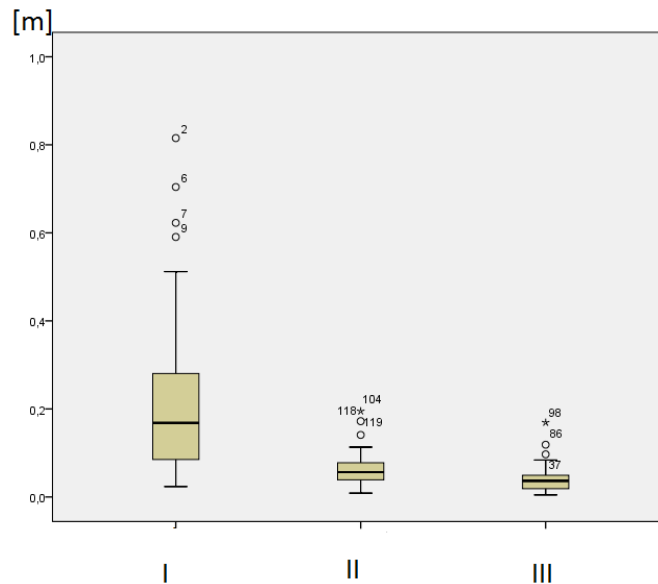


26. ábra Koordináta különbségek modellenként (saját szerkesztés)



27. ábra A mérési adatok eloszlása a három terepmodell szerint (saját szerkesztés)

Az egyes terepmodellekhez tartozó leíró statisztikai adatokat a jobb áttekinthetőség érdekében dobozdiagramon is ábrázoltuk (28. ábra). Ezek jól illusztrálják, hogy a vizsgált összes terepmodell terjedelme, mediánja és átlaga szigorúan monoton csökkenő sorozatot alkot, ami mind azt mutatja számunkra, hogy a „I” terepmodell esetében nagyobb, „III” esetében lényegesen kisebb eltérések adódtak, azaz a „III” pontosabb a „II” és a „I”-nél, így ilyen értelemben a „III” a „legjobb” terepmodell.



28. ábra A leíró statisztikai adatok a három terepmodell szerint (saját szerkesztés)

A továbbiakban megvizsgáltuk, hogy az átlagos eltérések megegyeznek-e a különböző mintákban. Ehhez kétmintás t-próbát alkalmaztunk és a nyíregyházi területen összehasonlítottuk a digitális szintvonalmodellből származó átlagos abszolút eltéréseket a fotogrammetriai kiértékeléssel készült domborzatmodell átlagos abszolút eltéréseinek várható értékeivel. Mivel azonban más típusú kétmintás t-próbát kell alkalmazni, ha megegyeznek az elemszámok, mást, ha megegyeznek a szórások, illetve mást akkor is, ha nem egyeznek meg azok, ezért a vizsgálat előtt F-próbával ellenőriznünk kellett, hogy a két minta szórása azonosnak tekinthető-e, vagy sem. Nyíregyháza esetében arra az eredményre jutottunk, hogy a szórások 95%-os biztonsági szint mellett nem tekinthetőek azonosnak. Az eredmények alapján kiválasztottuk az elemzéshez alkalmazható kétmintás t-próbát. A t-statisztika értékét kiszámítva arra az eredményre jutottunk, hogy 95%-os biztonsági szint mellett elvetjük azt a nullhipotézist, hogy a két minta várható értéke azonos, azaz a DSZM-re vonatkoztatott átlagos abszolút eltérés különbözik a fotogrammetriai kiértékeléssel készült domborzatmodell átlagos abszolút eltéréseitől.

Kecskemét vizsgálatakor hasonló módon jártunk el, azzal a különbséggel, hogy itt nem kettő, hanem több minta összevetésére volt szükség. Ezért szórásanalízissel megvizsgáltuk, hogy a digitális szintvonal modelltől, a fotogrammetriai modelltől, illetve a LIDAR felmérésből generált modelltől függ-e az átlagos abszolút eltérések nagysága. A munkánk során alkalmazott egy szempontos variancia-analízis a kétmintás t-próba általánosítása több független csoport esetére, tehát a várható értékeket hasonlítja össze, mégpedig a teljes variancia felbontásával (Itt nem alkalmazhattuk kétmintás t-próbát, hiszen a vizsgálat tárgyát nem kettő, hanem három minta képezi). A próbastatisztikával a három különböző felbontásra számolt F érték lényegesen nagyobb, mint a kritikus érték, így a három minta átlagos abszolút eltéréseinek várható értéke nem tekinthető azonosnak, tehát az átlagos abszolút eltérések mértéke láthatóan függ az alkalmazott domborzatmodelltől (10. táblázat).

10.táblázat A modellek átlagos eltérései településenként

Modell	Kecskemét			Nyíregyháza	
	Pontok rendűsége	Várható értékek (cm)	Modellek átlagos eltérései (cm)	Várható értékek (cm)	Modellek átlagos eltérései (cm)
DSZM	I.	12	13	24	27
	II.	13		29	
Fotogrammetriai DDM	I.	4	5	6	7
	II.	5		8	
LIDAR DDM	I.	4	4	–	–
	II.	4		–	

Kétmintás t-próbával igazoltuk, hogy az első és másodrendű pontok átlagai között egyik mintaterületen szignifikáns eltérés. Az első és másodrendű pontok átlagos eltéréseinek minimuma 0, maximuma pedig 5 cm.

Ezért vízszintes eltérések első és másodrendű pontjait együtt felhasználva 10 centiméteres izovonal közökkel ábrázoltuk az ortofotó hibavektorait, úgy hogy a lineáris hibákat magasságokként értelmeztük (29. ábra). Mivel a hibák véletlenszerűen helyezkednek el, így az izovonalak simítására (plasztikussá tételére) nem volt szükség.

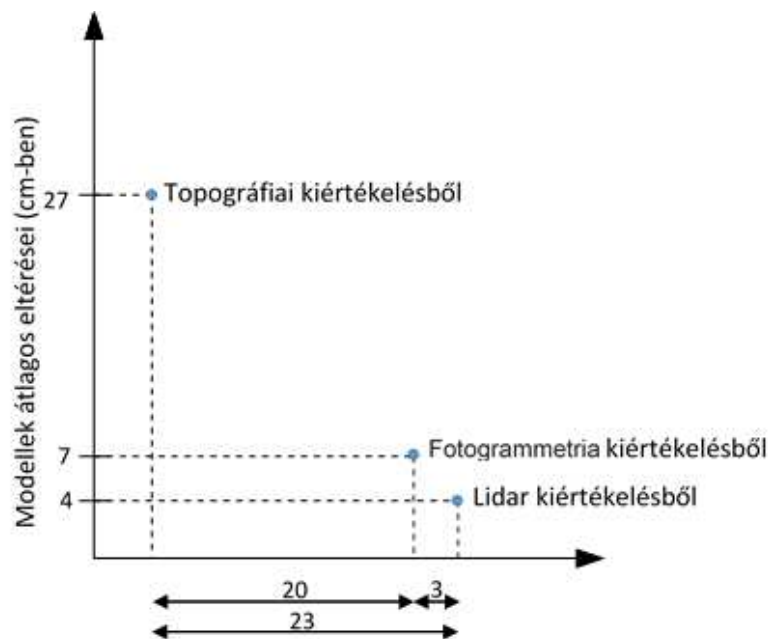
Megállapítható, hogy a DSZM esetében (sárga) nagyságrendekkel nagyobb eltérések tapasztalhatóak, melyek a kép széleken érik el a maximumot, míg a fotogrammetriai kiértékeléssel készült DDM (zöld) esetében az eltérések csak néhány centiméteresek. Itt nem jelenthető ki, hogy ezen értékek maximuma a képszéleken lenne.



29. ábra A vízszintes eltérések a DSZM-n (sárga), valamint a fotogrammetriai kiértékeléssel előállított domborzatmodellen (zöld), Nyíregyházán (saját szerkesztés)

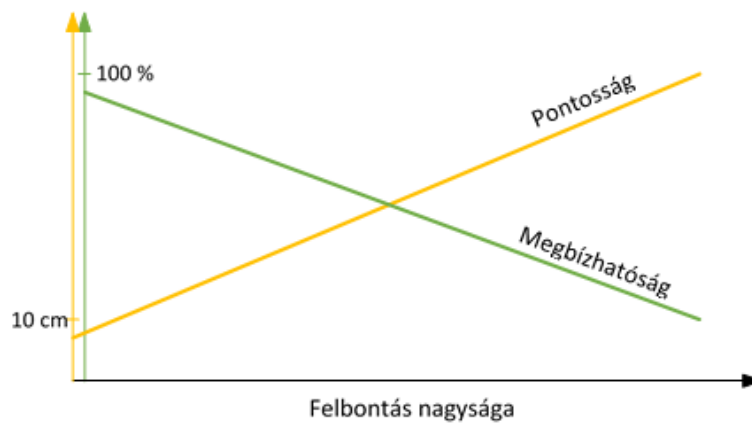
A különböző modellek átlagos eltérései alapján megállapítható, hogy a vizsgált 10 cm/pixel felbontású ortofotók pontossága digitális szintvonalmodell alkalmazása esetén 27 centiméteres értéket mutat, ami a pixelméret többszöröse. Fotogrammetriai kiértékelésből származó modell esetén ez az érték már nem éri el a felbontás mértékét, mindössze 7 cm. A legpontosabb értéket a LIDAR felmérésből származó modell alapján előállított ortofotó mutatta, itt az átlagos eltérés a pixel érték 50 %-át sem érte el, összesen 4 cm volt. Az egyes modellek pontosságai közötti különbségeket mutatja a 30. ábra.

A szintvonalak kiértékeléséből és a LIDAR adatok alapján készült domborzatmodellek okozta vízszintes eltérések különbsége eléri 2,1 pixel értéket.



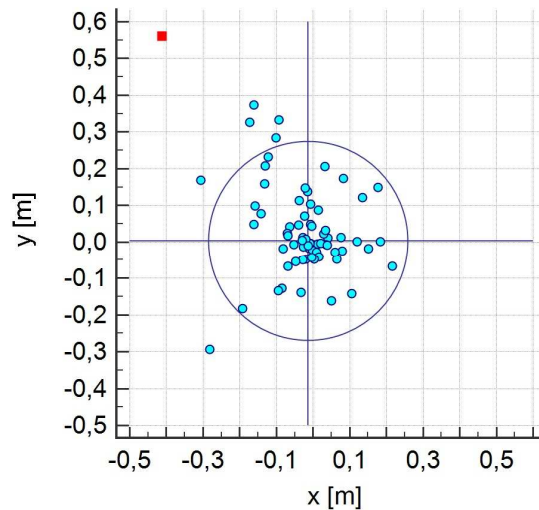
30. ábra A modellek átlagos eltérései közötti különbségek a különböző DDM-ek szerint cm-ben (saját szerk.)

Az alkalmazott különböző terepmodellek alapján létrehozott térképek vízszintes megbízhatóságát is meghatároztuk a különböző domborzatmodellek torzító hatásai alapján. A pontosság és a megbízhatóság viszonyát mutatja a 31. ábra, mely alapján látható, hogy minél nagyobb a felbontás, annál pontosabb és megbízhatóbb lehet a térkép. Megállapítható az is, hogy egyre nagyobb pontossághoz, egyre nagyobb (egyre kisebb eltérést mutató) megbízhatóság tartozik.



31. ábra A pontosság és a megbízhatóság viszonya a felbontás függvényében (Internet 27. alapján átdolgozva)

A CE95 értéke a szintvonalak alapján készült DDM-ek felhasználásával előállított térképek esetén, Kecskeméten a kör átmérője alapján 0,54 m (32. ábra). Az ábrán látható piros négyzet a kiugró értéket jelöli, ami térképi, vagy terepi azonosítási hibákból fakad. A pontok hibáinak 50%-a mutat szubpixeles értéket.

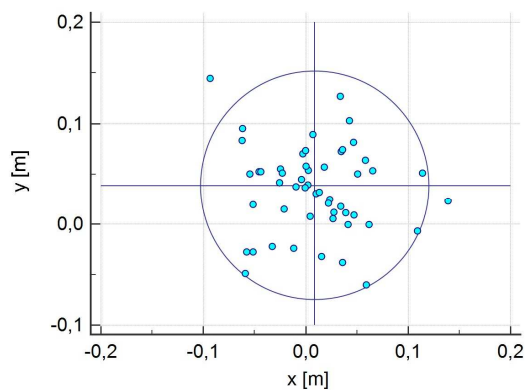


32. ábra CE95 megbízhatóság szintvonalak alapján készült DDM esetén Kecskeméten (saját szerkesztés)

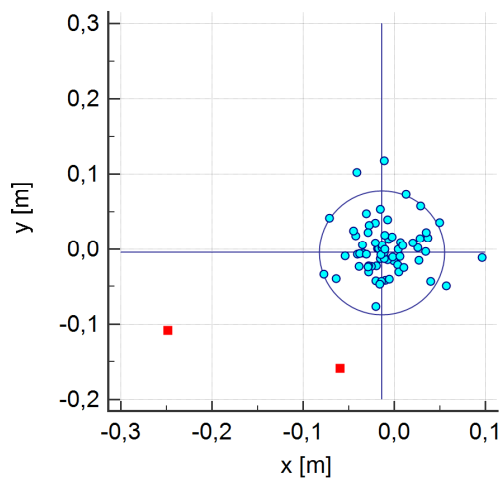
A 33. ábra a fotogrammetriai kiértékelés alapján készült DDM felhasználásával előállított ortofotó vízszintes értelmű megbízhatóságát ábrázolja Nyír-

egyházán. A pontok 95 %-át magába foglaló kör alakú hiba átmérője alapján a megbízhatóság értéke 0,23 m.

A 34. ábra a LIDAR felmérés alapján készült DDM felhasználásával előállított ortofotó vízszintes értelmű megbízhatóságát ábrázolja Nyíregyházán. A kör alakú hiba átmérője 0,16 m. A vizsgált pontok közötti eltérések 80 %-a pedig szubpixeles hibát mutat.



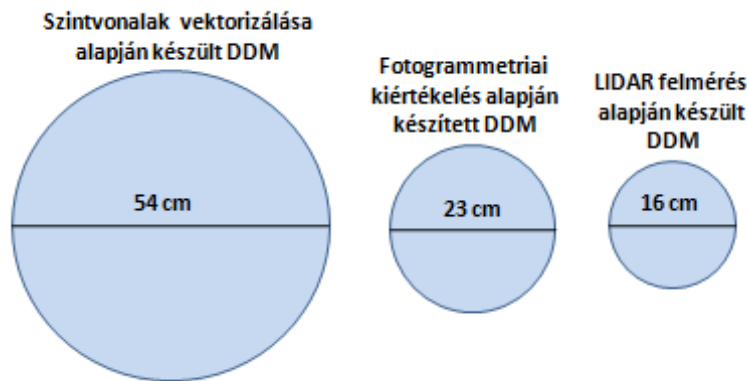
33. ábra CE95 megbízhatóság fotogrammetriai kiértékelés alapján készült DDM esetén Nyíregyházán (saját szerkesztés)



34. ábra CE95 megbízhatóság LIDAR felmérés alapján készült DDM esetén Kecskeméten (saját szerkesztés)

A szintvonalak kiértékelése alapján készült DDM, a fotogrammetriai kiértékelés alapján készült DDM és a lézeres felmérés felhasználásával előállított DDM

tényleges eltérései alapján megállapítható, hogy a legpontosabb és a legpontatlanabb modellek közötti különbség több mint háromszoros a mintaterületeken (35. ábra).



35. ábra A különböző DDM-ek közötti tényleges eltérések (saját szerk.)

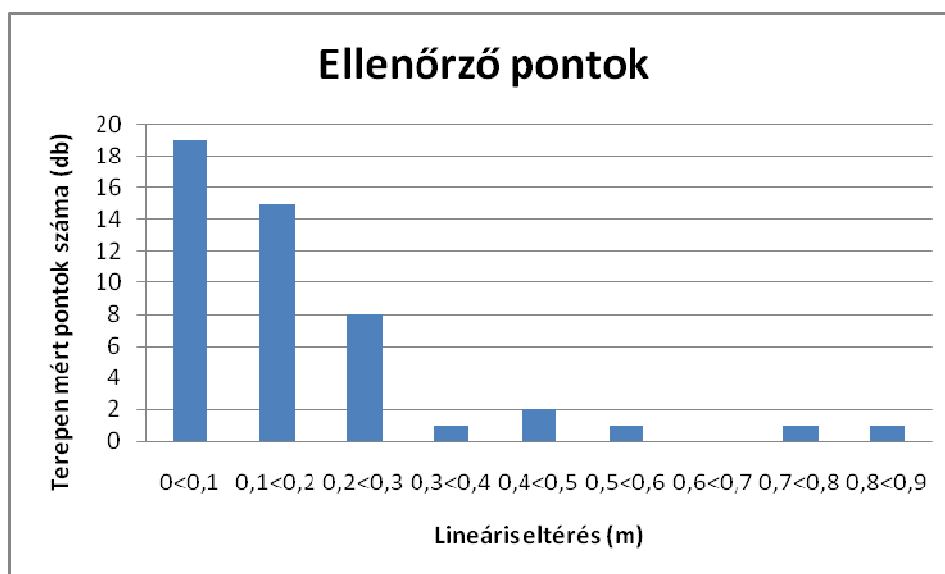
4.2.2. Ortofotókról meghatározott úttengelyek pontossága különböző felbontások szerint

A kutatás során, a terepen mért, valamint az ortofotókon digitalizált vonalakat hasonlítottuk össze.

A kutatási területeken elhelyezkedő úttengelyek közül, csak a burkolt utakat mértük fel, mivel a szilárd burkolattal rendelkező utak esetén a geodéziai meghatározás egzaktabban végrehajtható, mint például földutak esetében.

A 124 km út felmérését (lásd, 3.4.2.2.) statikusan ellenőriztük (VARGA ET AL. 2015a, VARGA & FEKETE 2014).

Az ellenőrző mérés pontjai és a kinematikus mérés pontjai között lévő ellentmondások kategóriáit 10 cm-es intervallumok alkotják. A kategóriák alapján megállapítható, hogy az ellenőrző pontok felhasználásával számított eltérések 88 %-a 0–30 cm-es intervallumhoz tartozik (36. ábra). A fennmaradó 12 %-ba a durva hibák tartoznak. Az 1 m-t meghaladó ellentmondások egyik része az ívekben keletkezett, ahol nem lehetett következetesen tartani a mérés során, az autóval az úttengelytől való távolságot (a mérés kezdetekor megmért és beállított értéket), a másik része pedig abból adódik, hogy a jármű akkor sem tudott azonos távolságot tartani a tengelytől, ha szembejövő forgalom volt vagy úthibát kellett kikerülnie. Az összehasonlításból számított eltérések alapján (statikus, kinematikus mérés) megállapítható, hogy a mérési módszer pontossága az ortofotók vektorizálásának vizsgálatához megfelelő eredményeket szolgáltat. (VARGA & FEKETE 2014).



36. ábra Vizsgált úttengely pontokra felhasznált ellenőrző pontok közötti eltérés (VARGA & FEKETE 2014)

4.2.2.1. A 0,1 m/pixel felbontású ortofotók vizsgálata

A felmért pontok és a digitalizált pontok közötti koordinátakülönbségek abszolút értékeit 0,2 méterenként osztályokba soroltuk. A 0,1 m/pixel felbontású ortofotó esetén az összes eltérés kizárólag az első kategóriába tartozik (11. táblázat). A pontok koordináta ellentmondásainak maximális eltérése (19 cm), ami az elazonosításon, pontatlan térképi és terepi meghatározáson túl abból is adódik, hogy a terepi méréseket nem rögzített és kitámasztott eszközzel és a libella gondos beállítása mellett hajtottuk végre, hanem mozgó antennával mértünk.

11.táblázat A 2012 évi 0,1 méter / pixel felbontású és a terepi felmérés vektorai közötti lineáris eltérések (VARGA ET AL. 2015d)

Kategóriák sorszámai	Az eltérések osztályokba sorolása (méterben)	Az eltérések gyakorisága 0,1 méteres felbontás esetén (%)
1.	0<0,2	100,00
2.	0,2<0,4	0
3.	0,4<0,6	0
4.	0,6<0,8	0
5.	0,8<1,0	0
6.	1,0<1,2	0
7.	1,2<1,4	0
8.	1,4<1,6	0
9.	1,6<1,8	0
10.	1,8<2,0	0
11.	2,0<2,2	0
12.	2,2<2,4	0
13.	2,4<2,6	0
14.	2,6<2,8	0
15.	2,8<3,0	0
Összesen:		100 %

Az ortofotókról digitalizált vektoros állományok illetve a geodéziai módszerrel felmért vektoros állományok összehasonlítása alapján megállapítható, hogy minden mintánk relatív gyakorisága olyan jellegű, ahol az egyre nagyobb eltérésekhez egyre kisebb gyakoriságok tartoznak. A vizsgálat eredményeként megállapítottuk, hogy az úttengelyek meghatározásának pontossága 0,1 méter/pixel felbontás esetén (a minta átlaga: 7 cm) a pixel méretén aluli hibát mutat (VARGA ET.AL. 2015d).

4.2.2.2. A 0,4 m/ pixel felbontású ortofotók vizsgálata

A 0,4 m/pixel felbontású ortofotó és a geodéziai módszerrel meghatározott pontok vektorai közötti eltéréseket a 12. táblázat tartalmazza. A vizsgálat során az eltérések pontonként kerültek meghatározásra, mivel azonban nagyszámú pont került a vizsgálatban elemzésre, így minden egyes pont eltéréseinek táblázatban történő kimutatása nem lett volna célszerű, ezért a lineáris eltérések

bemutatására hasonló módon 0,2 m-es intervallumokat alkalmaztunk (VARGA&FEKETE 2014).

12. táblázat Az ortofotó és a terepi felmérés vektorai közötti lineáris eltérése (VARGA ET.AL 2015a)

Kategóriák sorszámai	Az eltérések osztályokba sorolása (méterben)	Az eltérések gyakorisága 0,4 méteres felbontás esetén (%-ban)
1.	0<0,2	52,12
2.	0,2<0,4	28,32
3.	0,4<0,6	11,62
4.	0,6<0,8	3,78
5.	0,8<1,0	1,86
6.	1,0<1,2	1,38
7.	1,2<1,4	0,46
8.	1,4<1,6	0,28
9.	1,6<1,8	0,09
10.	1,8<2,0	0,09
11.	2,0<2,2	0
12.	2,2<2,4	0
13.	2,4<2,6	0
14.	2,6<2,8	0
15.	2,8<3,0	0
Összesen:		100 %

Ennek alapján a vizsgált 1099 db terepi pont besorolását 15 kategória szerint végeztük (12. táblázat). Az 1 m alatti eltérések 5 kategóriába tartoznak, az ide sorolt pontok darabszáma 1074. Míg az 1 m fölötti lineáris eltérések szintén 5 kategóriába tartoznak és az ide sorolt pontok darabszáma pedig 25 darab. Öt osztályban 2,0–3,0 m intervallumok között pontok nem kerültek besorolásra, így azok eltéréseket nem tartalmaznak.

A 13. táblázat alapján a terepi pontok 52 %-a 20 cm alatti eltérést mutat. Ezen érték 62 %-át a 10 cm alatti eltérések teszik ki. A következő (0,2–0,4 m) kategóriába a pontok 28 %-a tartozik. Megállapítható, hogy a lineáris eltérések 80 %-a 0,4 m alatti, tehát a légi felvétel pixel méretén aluli hibát mutat.

Az összefoglaló számítások alapján az eltérések átlaga 25 cm. Természetesen a vektorizálást terepi mérésekkel (durva hibák kiküszöbölése végett) ellenőriznünk kell.

13. táblázat A statisztikai számítások eredményei (VARGA ET.AL 2015a)

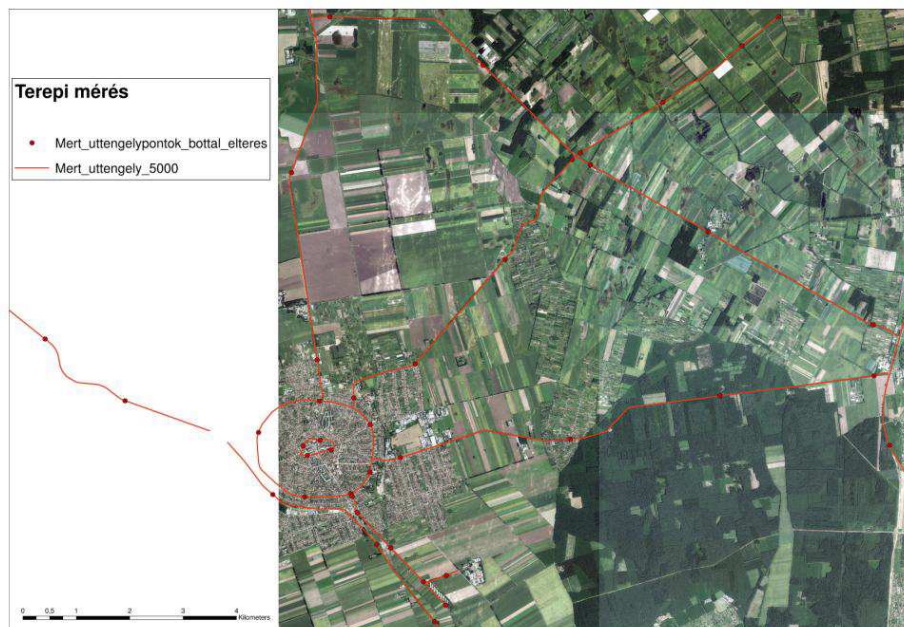
	0,4 m/pixel 2011évi ortofotó
A minta átlaga: (m)	0,25
Eltérések szórása (m)	0,24
Eltérések mediánja (m)	0,19
Maximális eltérés (m)	1,84
Minimum eltérés (m)	0,00

A vizsgált légifelvételen a burkolt utak tengelyeinek vizsgálata 25 cm-es pontossággal végezhető el, hiszen a t-próba eredménye szerint megállapítható, hogy a terepi mérés és a vektorizálás közötti eltérés 95 %-os megbízhatósággal kisebb lesz a várható értéktől, azaz 25 cm-től.

A vizsgálat során megállapítható, hogy a 2011 évben készített 0,4 m/pixel felbontású ortofotón lévő burkolt utak tengelyei vektorizálásának várható pontossága 25 cm, míg megbízhatósága $-0,12$ m és $+0,12$ m közötti érték (VARGA ET AL. 2015a).

4.2.2.3. A 0,5 m/ pixel felbontású ortofotók vizsgálata

Az összes kinematikus módszerrel felmért pont száma 1340 darab volt, ebből mindössze néhány pont mutatott durva eltérést, ami a vektorizálásból származó hibáknak tudható be, hiszen a vektorizálást fél-kinematikus mérésekkel ellenőriztük. Ezen pontok eltérése 3,0 m és 9,02 m közötti intervallumba esett, így ezek a pontok a vizsgálatban nem szerepelnek. Nem szerepel továbbá a számításban az a 241 darab felmért terepi pont, amelyek a vizsgált ortofotók, területein kívül helyezkedtek el (37. ábra; VARGA ET AL. 2015a).



37. ábra Felmért úttengelyek és a mintaterületen kívül elhelyezkedő mérések a hajdú-bihari területen (piros folyamatos vonallal a kinematikus, míg piros pontokkal a fél-kinematikus mérések) (saját szerk.)

A vizsgálat során felhasznált és számításba bevont pontok darabszáma tehát ebben az esetben is 1099 darab volt.

A 14. táblázat alapján megállapítható, hogy 0,5 méteres felbontás esetén a 0,6 m alatti eltérések 3 kategóriába tartoznak, melyek a teljes adatsor 90,75 %-át teszik ki. Az 1 métert meghaladó eltérések a vizsgált pontok 1,38 %-át és teszik ki, ami 15 darab pontnak felel meg.

A terepi pontok 47 %-a 20 cm alatti eltérést mutat. Ezen érték 52 %-át a 10 cm alatti eltérések teszik ki. A következő (0,2-0,4 m) kategóriában a pontok 30 %-a tartozik. Megállapítható, hogy a lineáris eltérések 77 %-a 0,4 m alatti, tehát a légi felvétel pixel méretén aluli hibát mutat (VARGA ET AL. 2015a).

Megállapítható, hogy az úttengelyek meghatározásának pontossága 0,5 méteres felbontásnál a vizsgált minták átlaga alapján a pixel mérettel azonosnak tekinthető (15. táblázat). Az értékek szórása alapján a vonalak megbízhatósága 0,52 m pontosság mellett -0,22m és +0,22 m közötti intervallumra tehető (VARGA ET AL. 2015a).

14. táblázat A 2006 évi 0,5 méter/pixel felbontású ortofotó, digitalizált és terepi felmérés vektorai közötti lineáris eltérések az I. kutatási területen (VARGA ET.AL 2015a)

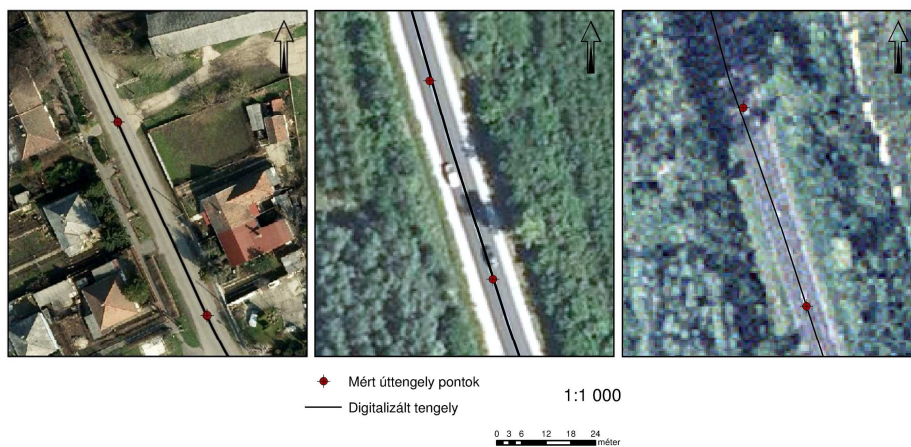
Kategóriák sorszámai	Az eltérések osztályokba sorolása (méterben)	Az eltérések gyakorisága 0,5 méteres felbontás esetén (%-ban)
1.	0<0,2	46,52
2.	0,2<0,4	29,67
3.	0,4<0,6	14,56
4.	0,6<0,8	5,40
5.	0,8<1,0	2,47
6.	1,0<1,2	0,92
7.	1,2<1,4	0,37
8.	1,4<1,6	0
9.	1,6<1,8	0
10.	1,8<2,0	0,09
11.	2,0<2,2	0
12.	2,2<2,4	0
13.	2,4<2,6	0
14.	2,6<2,8	0
15.	2,8<3,0	0
Összesen:		100 %

15. táblázat A statisztikai számítások eredményei (VARGA ET AL. 2015a)

	0,5 m/pixel 2006 évi ortofotó
A minta átlaga: (m)	0,52
Eltérések szórása (m)	0,44
Eltérések mediánja (m)	0,40
Maximális eltérés (m)	2,91
Minimum eltérés (m)	0,00

4.2.2.4. A 0,1 m/pixel, a 0,4 m/pixel és a 0,5 m/pixel felbontású ortofotók alapján meghatározott úttengelyek vizsgálati eredményeinek összehasonlítása.

Megfigyelhető, hogy az első képen (0,1 m/pixel) és a második képen (0,4 m/pixel) a digitalizált vonalak a terepen mért pontokon futnak, míg a harmadik képen (0,5 m/pixel) már egyértelműen érzékelhető a pontatlanság (38. ábra).



38. ábra 0,1 méter/pixel, 0,4 méter/pixel felbontású és 0,5 méter/pixel felbontású ortofotók digitalizálása 1:1000-es méretarányban (VARGA ET AL. 2015d)

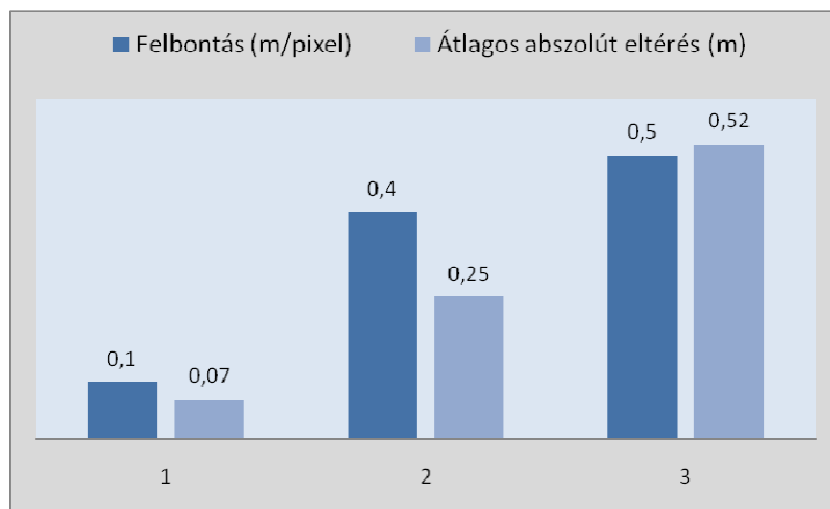
Minden olyan évben, amelyekről rendelkezésre álltak ortofotók, ábrázoltuk a relatív gyakoriságot, azaz, hogy melyik osztályba a minták hány %-a tartozik.

Erre azért volt szükség, hogy megállapítható legyen a függvény eloszlása. Ennek megfelelően a függvények alapján kijelenthető, hogy minden mintánk olyan jellegű, hogy az egyre nagyobb eltérésekhez egyre kisebb gyakoriságok tartoznak.

A továbbiakban megvizsgáltuk, hogy az átlagos eltérések megegyeznek-e a különböző mintákban. Ehhez kétmintás t-próbát alkalmaztunk és összehasonlítottuk a legnagyobb felbontású (2011. évi) ortofotó átlagos abszolút eltéréseit a többi év átlagos abszolút eltéréseinek várható értékeivel. Mivel azonban más típusú kétmintás t-próbát kell alkalmazni, ha megegyeznek a szórások, illetve más akkor, ha nem egyeznek meg azok, ezért a vizsgálat előtt F-próbával ellenőriznünk kellett, hogy a két minta szórása azonosnak tekinthető-e vagy sem. Minden egyes esetben arra az eredményre jutottunk, hogy a szórások 95%-os

biztonsági szint mellett azonosnak tekinthetők. Az eredmények alapján kiválasztottuk az elemzéshez alkalmazható kétmintás t-próbát. A t-statisztika értékét minden esetben kiszámolva (2000–2011: 7,35; 2005–2011: 17,72; 2006–2011: 17,2; 2007–2011: 2,05) arra az eredményre jutottunk, hogy 95%-os biztonsági szint mellett elvetjük azt a null hipotézist, hogy a két minta várható értéke azonos, azaz a 2011-es minta átlagos abszolút eltérése különbözik a 2000-es, 2005-ös, 2006-os, 2007-es minta átlagos abszolút eltéréseitől. Mivel a két minta átlaga különböző, így arra kerestük a választ, hogy mitől függhet az eltérés (VARGA ET AL. 2015a).

Ezért szórásanalízissel megvizsgáltuk, hogy a 0.1, a 0.4 és 0.5 pixel/méter felbontásoktól függ-e az átlagos abszolút eltérések nagysága. A munkánk során alkalmazott egy szempontos variancia-analízis a kétmintás t-próba általánosítása több független csoport esetére, tehát a várható értékeket hasonlítja össze, mégpedig a teljes variancia felbontásával. (Itt nem alkalmazhattuk kétmintás t-próbát, hiszen a vizsgálat tárgyát nem kétféle, hanem három minta képezi.) A próbastatisztikával a három különböző felbontásra számolt F érték lényegesen nagyobb, mint a kritikus érték, így a három minta átlagos abszolút eltéréseinek várható értéke nem tekinthető azonosnak, tehát az átlagos abszolút eltérések mértéke láthatóan függ a felbontás nagyságától (39. ábra).



39. ábra Az ortofotók felbontásai és pontosságaik vonalak meghatározása esetén méterben (VARGA ET AL. 2015d)

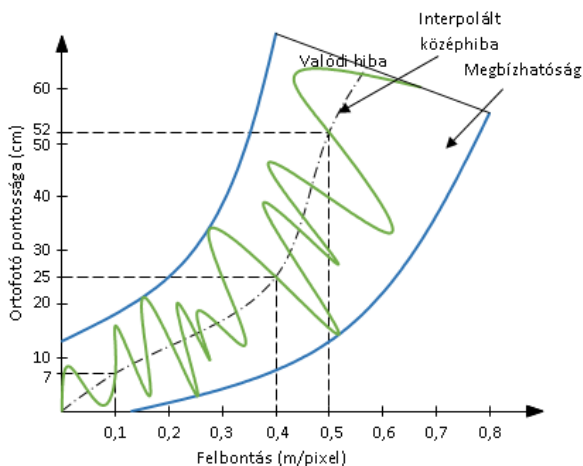
Megállapítható, hogy az úttengelyek meghatározásának pontossága 0,1 és 0,4 méter/pixel felbontások esetén, pixel méretén aluli hibát mutat, míg 0,5 méteres felbontásnál ez az érték a pixel méretével azonosnak tekinthető (16. táblázat).

16. táblázat A statisztikai számítások eredményei (VARGA ET AL. 2015d)

	0,1 m/pixel 2013 évi ortofotó	0,4 m/pixel 2011 évi ortofotó	0,5 m/pixel 2006 évi ortofotó
A minta átlaga: (m)	0,07	0,25	0,52
Eltérések szórása (m)	0,10	0,24	0,44
Eltérések mediánja (m)	0,06	0,19	0,40
Maximális eltérés (m)	0,19	1,84	2,91
Minimum eltérés (m)	0,00	0,00	0,00

Pontosság alatt mindig a hiba abszolút értékét értettük, vagyis a mérési eredmények közül az a pontosabb melynek abszolút értékbeli hibája kisebb. Azonban a valódi hibát nem ismerjük, ezért csak közelítőleg tudjuk meghatározni, mint interpolált középhibát (TARSOLY 2010b). A pontosságot a várható értékkel, vagy az eltérések átlagával és a szórás- négyzettel fejeztük ki.

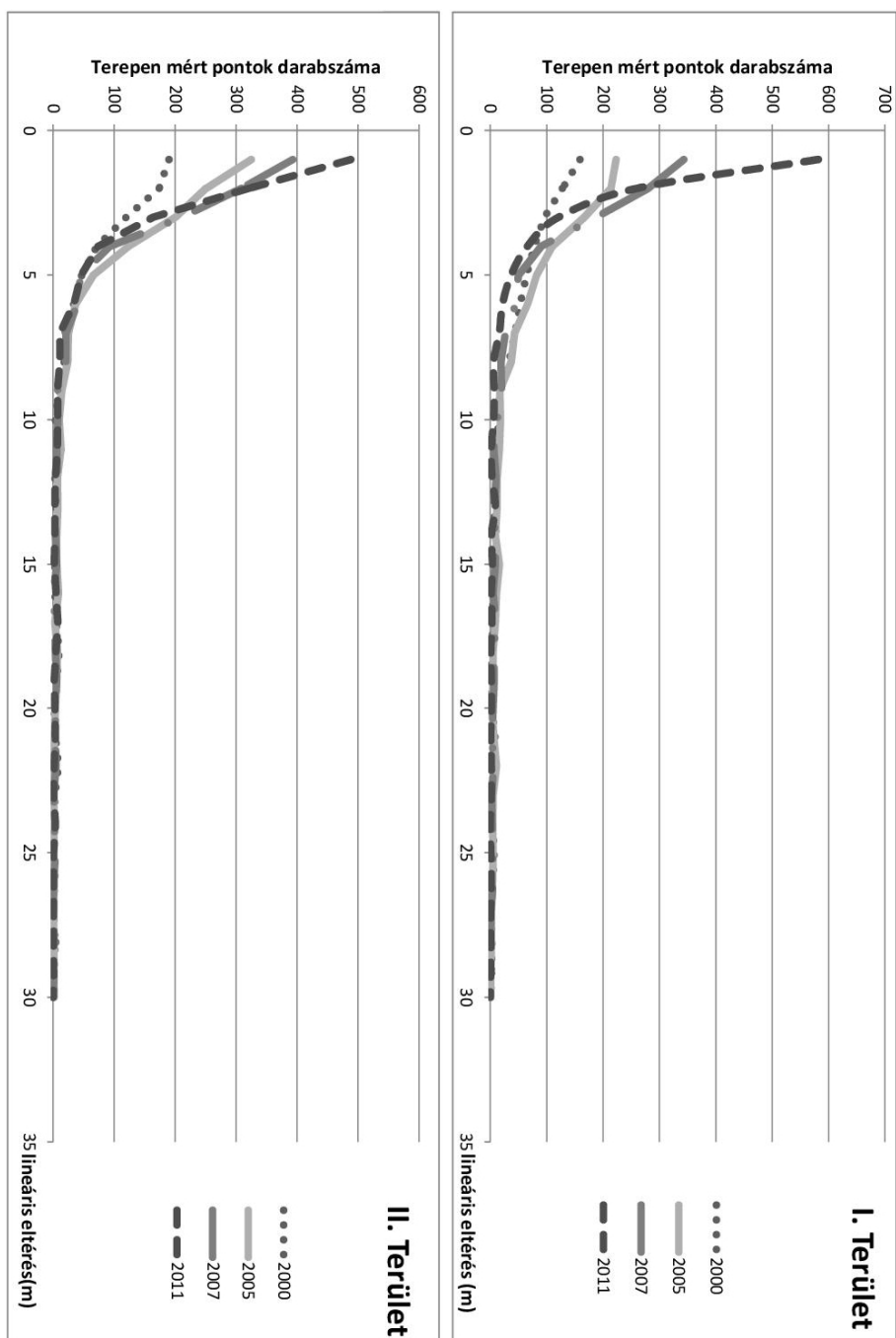
Vonalak eltéréseinek vizsgálata esetében (azok változó irányjai miatt) nem tudunk +/- eltéréseket értelmezni, ezért a megbízhatóságot az abszolút szórás értékek 1/2 része határozza meg, ami a negatív tartománytól a pozitív tartományig tart. A grafikonon a középhibák értékeit (0,07m, 0,25m, 0,52m) ábrázoltuk a különböző felbontások szerint. A valódi hibákat nem ismertük, ezért a megbízhatóság változásával együtt csak szemléltettük azokat (40. ábra).



40. ábra A 0.1, 0.4 és a 0.5 méter /pixel felbontású ortofotók középhibái valamint a valódi hiba és a megbízhatóság viszonya (saját szerkesztés)

4.2.3. Ortofotókról meghatározott erdőhatárok pontossága

A terepi felmérésből származó koordinátákat és a vektorizálásból származó poligonokat úgy hasonlítottuk össze, hogy kiszámítottuk minden egyes terepi pont, a hozzá legközelebb lévő poligon legkisebb távolságát. Így számítani tudtuk a geodéziai felmérésből származó adatok és a digitalizált adatok közötti különbségeket. A vizsgált években a kutatási területekre vonatkozó terepi felmérés és digitalizálás lineáris eltérései normális eloszlásúak (41. ábra). Az ábrán egy Gauss haranggörbe felét mintázó sorozat látható, ez azért van így, mert a pontosságot a hibák abszolút eltérései alapján határozzuk meg, ezért nincs negatív tartomány a diagramon, ebből adódóan csak egy fél görbét láthatunk (VARGA ET AL. 2015b).



41. ábra A terepen mért és a digitalizált pontok koordinátái közötti eltérések a darabszámok függvényében a vizsgált években, mindkét mintaterületen (VARGA ET.AL 2015b)

Megvizsgáltunk évenként és kutatási területenként az átlagos abszolút eltéréseket és minden évben megadtunk egy konfidencia intervallumot arra vonatkozóan, hogy 95%-os valószínűség mellett, milyen intervallumba esnek az eltérések. Például 2000-ben a I. területen nagy valószínűséggel az $5,05 \pm 0,40$ m intervallumban lesznek az eltérések. Elemzéseink segítségével az alábbi következtetéseket vonhatjuk le: Az átlagos abszolút eltéréseket vizsgálva, látható, hogy évről évre egyre „jobbak”, megbízhatóbbak az ortofotók, hiszen a vizsgált átlagos eltérések időben szigorúan monoton csökkenő sorozatot alkotnak (VARGA ET AL. 2015b).

A variancia (szórásnégyzet) vizsgálatakor megfigyelhető, hogy időben előrehaladva egyre kisebb a szórás, azaz az átlagtól való négyzetes eltérés folyamatosan csökken, tehát egyre több mintaelem van az átlaghoz „közel”, egyre kevésbé „szóródnak” az értékek, így a megbízhatóság nő.

A különböző években készített ortofotók pontosságai a 17. táblázat szerint alakulnak (VARGA ET AL. 2015b)

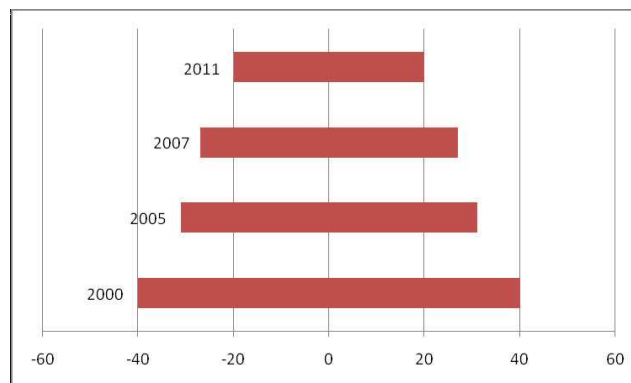
17. táblázat Várható értékek mindkét kutatási területre (VARGA ET AL. 2015b)

Év	I. Terület [m]	II. Terület [m]
2000	5,05	4,08
2005	4,62	3,31
2006	3,57	3,17
2007	3,51	2,95
2011	2,06	2,48

A 41. ábra alapján megfigyelhető, hogy a várható értékek a 2000. évtől folyamatosan csökkennek, tehát a pontosság növekszik. Ennek oka az, hogy a terepi mérés előtti években készített légi-felvételeken a felszínborítás eltér a mérés évében lévőtől. A mérések azt támasztják alá, hogy a légifelvételeken leképződött erdők lombkoronája vízszintes értelemben folyamatosan nőtt. A terepi felmérés az I. mintaterületen 2012-ben készült, míg a II. területen 2013-ban, így az ezektől eltérő években készült ortofotók esetén a felszínborítás változásaival is számolnunk kell. Az erdőterületek változását (növekedését) támasztja

alá a digitalizált határokon belül elhelyezkedő, geodéziai módszerrel meghatározott terepi pontok számának a növekedése is, 2000 évi felvételen ez 429 terepi pont volt, 2005-ben 579 pont, 2007-ben 625 pont, míg 2011-ben 635 pont helyezkedik el a digitalizált határokon belül. Tehát a digitalizált erdőhatárok 2000 évtől folyamatos növekedést mutatnak és így fokozatosan közelítenek a terepi felmérés éveiben készült légifelvételen található határokhöz. A geodéziai felmérés éveiben készült felvételek vektorizálásából határozható meg az adott felvétel valós pontossága, hiszen ezeken a felszínborítás változásaiból eredő hibák elhanyagolhatóak. Az erdészeti szolgálatoknak, erdőgazdaságoknak nem áll rendelkezésükre olyan információ, amely alapján megállapítható lenne az egyes fafajok lombkoronájának vízszintes irányú változása egy adott évre vonatkozóan. Ilyen jellegű kutatások sem ismeretesek.

Ennek ellenére a vizsgálati eredményekből a terepi mérés évtől eltérő években is meghatározható az erdőhatárok digitalizálásának pontossága, de ez a mérőszám tartalmazni fogja a felszínborítás változásait is. Esetünkben a terepi meghatározás éveihöz időrendben legközelebb a 2011 évben készült 0,4 m/pixel felbontású ortofotók állnak. Ha megvizsgálunk egy 2011. évben készült ortofotót, úgy annak pontossága, erdővel foltosított területeken, ahol a határok vizuálisan jól azonosíthatóak (I. terület) 2,06 m (4 pixel), olyan területeken ahol egybefüggő erdők találhatóak, körbezárt tisztásokkal, nehezen azonosítható új telepítésű erdőkkel, ott az erdőhatárok interpretációja is jóval nehezebb (II. terület), a pontosság 2,48 méterre (5 pixel) csökken. Az elemzések alapján megállapítható, hogy a vizsgált ortofotók megbízhatósága (várható értéktől való eltérése) a terepi felmérés éve felé közeledve, évről évre javul (42. ábra).



42. ábra *Ortofotók megbízhatóságainak diagramja évek szerint (VARGA ET AL. 2015e)*

A 2011. évben a megbízhatóság mindkét mintaterületen eléri a +/- 0.2 m-es értéket, míg ez az érték a kétszeresére nő a vizsgált legrégebbi felvételek esetén, tehát +/- 0.4 m (18. táblázat, VARGA ET AL. 2015b).

18. táblázat A vizsgált ortofotók várható értéktől való eltérései (VARGA ET AL. 2015b)

Év	I. Terület Konfidencia szint (95 %)	II. Terület Konfidencia szint (95 %)
2000	+/- 0,40	+/- 0,38
2005	+/- 0,31	+/- 0,25
2006	+/- 0,28	+/- 0,25
2007	+/- 0,27	+/- 0,24
2011	+/- 0,20	+/- 0,21

A vizsgált idősor közepén lévő 2006 évi ortofotót (egy független szolgáltató terméke) a MH. Geoinformatikai szolgálata készítette. Az erre vonatkozó vizsgálat eredménye a I. területen 95%-os konfidencia szinten (-0,28) – (+ 0,28) várható értéktől való eltérést és 3,57 m várható értéket, míg a II. területen (-0,25) – (+ 0,25) várható értéktől való eltérést és 3,17 m várható értéket mutatott. (VARGA ET AL. 2015b)

Az erdőhatárok elemzése alapján megállapítottam, hogy a vizsgált 0,4 és 0,5 m/pixel felbontású 6 évnél régebbi ortofotók pontossága kisebb, mint 3 m a mintaterületeken, ezért ezek az adatok az erdészeti hatóságok, erdőhatárookra és a távérzékelési adatok pontosságára vonatkozó előírásának megfelelően az erdőrészletek határainak meghatározására nem alkalmasak.

Az erdészeti hatóságok az erdőhatárok a távérzékelési adatok pontosságára vonatkozó a 11/2010. (II.4.) FVM rendelet 7. § 2. bekezdése alapján „Az Egységes Országos Vetületi rendszerű erdészeti nyilvántartási térképek készítése során az erdőrészlet határainak meghatározásához csak olyan terepi adatgyűjtési eljárás során felvett adat, illetve az állami távérzékelési adatbázisban tárolt távérzékelési anyag használható fel, amelyeknél a pontmeghatározás pontossága legalább 3 méter [Internet 41].

4.3. Az űrfelvételek vizsgálatának eredményei

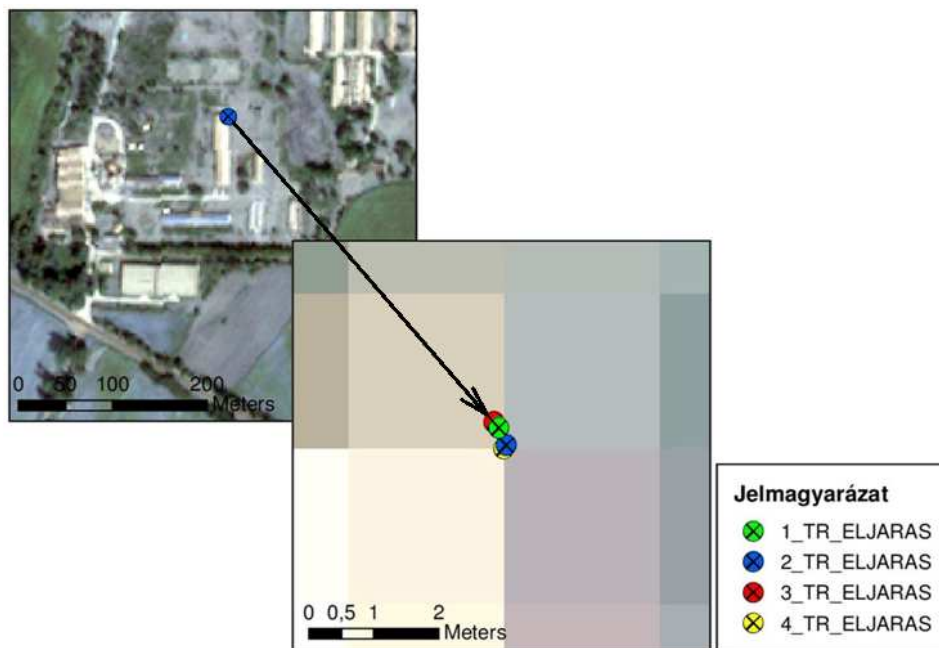
4.3.1. A vetületbe illesztés során alkalmazott transzformációk pontosságára

A vektorok és raszterek UTM vetületből EOVS vetületbe történő transzformációjának vizsgálata során megállapítottam, hogy az átszámítás hibáinak különbsége az x koordináták esetében 0,54 m, míg az y koordináták esetében pedig 0,70 m átlagos értékkel jellemezhető. Az értékek megbízhatósága az első esetben 0,38 m, az utóbbi esetben pedig 0,40 m (19. táblázat). Az eltérések azt bizonyítják, hogy a raszter transzformáció a pontok vizsgálatát érdemben nem befolyásolja, hiszen a vizsgált űrfelvételek felbontása 1,85m/pixel és 2,5 m/pixel. A vektor és a raszter transzformációk okozta hibák különbsége a vizsgált felvételek pixel méretén aluli hibát mutat. De a legnagyobb felbontás esetén sem éri a hiba a pixel méretének 40 %-át. Mivel a vektorizálás során „választanunk kell” a pixellek közül, így egyébként sem várható el az, hogy az adott felbontás alatti pontosságot érjük el.

19. táblázat Vektorok és raszterek UTM – EOVS transzformációjának vizsgálata méterben

Statisztikai értékek	dy	dx
Átlagos eltérés	0,5406	0,7020
Szórás	0,3807	0,3996
Darabszám	100	100

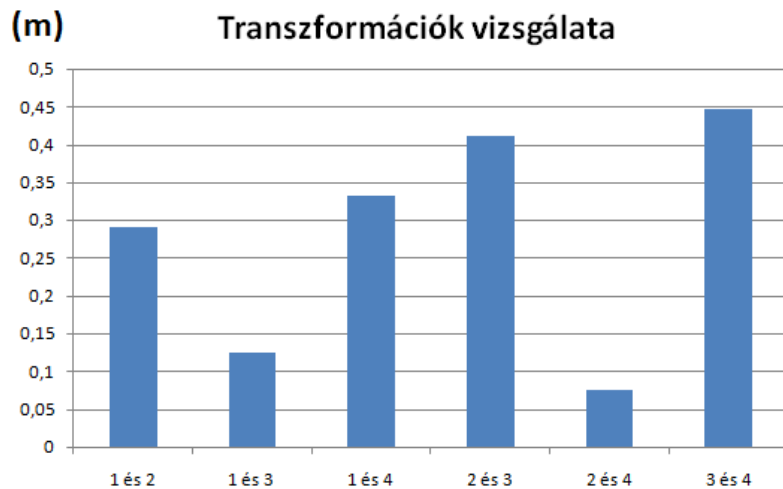
Az ArcGIS szoftver 1,2,3,4 transzformációs eljárásainak alkalmazásával különböző eredményeket kapunk (43. ábra).



43. ábra Az ArcGIS szoftver 1,2,3,4 transzformációs eljárásainak eredménye egy pontra

Az egyes transzformációk közötti eltéréseket hasonlítottuk össze. A vizsgálat alapján megállapítható, hogy az 1-es és 3-as, valamint a 2-es és 4-es transzformációkkal számított eredmények eltérései 0,15 m alattiak.

Az 1-es és 2-es, 1-es és 4-es, 2-es és 3-as, valamint a 3-as és 4-es transzformációkkal számított különbség értékek pedig 0,28 m - 0,44 m intervallumban helyezkednek el. A maximális eltérés (0,44 m) is szubpixeles a vizsgált felbontások szerint (44. ábra).



44. ábra Az ArcGIS 1,2,3,4 transzformációik átlagos eltérései

Megállapítható, hogy a mintaterületünkön különböző transzformációk alkalmazásából adódó hibák minimálisan 0,08 méterrel és maximálisan 0,44 méterrel torzítják az általunk vizsgált térképek vízszintes értékeit. Az előbbi értékek a felbontások arányában, 1,85 m/pixel felbontás esetén 4 % - 24 %, 2,5 m felbontás esetén pedig 3% - 18% közötti eltéréseket okozhatnak. Az egyes transzformációk közötti ellentmondások különbségeinek szórásai nagyon alacsonyak, így a megbízhatóságuk nagy (20. táblázat).

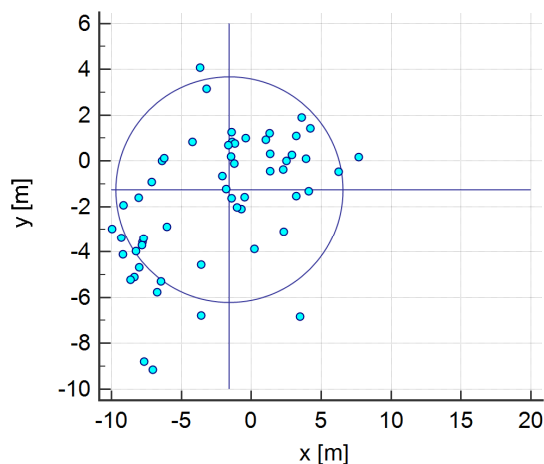
20. táblázat Az ArcGIS 1,2,3,4 transzformációinak átlagos eltérései és szórásai méterben

Transzformációk	Statisztikai értékek		
	Átlagos eltérés	Szórás	Darabszám
1 és 2 transzformáció	0,2901	0,0048	100
1 és 3 transzformáció	0,1237	0,0124	100
1 és 4 transzformáció	0,3315	0,0197	100
2 és 3 transzformáció	0,4118	0,0112	100
2 és 4 transzformáció	0,0758	0,0248	100
3 és 4 transzformáció	0,4472	0,0222	100

Mivel az ArcGIS szoftver transzformációs eljárásai alapján számolt eltérések szubpixelesek, (a maximális értéküknél sem érik el a pixel méret 1/4-t) ennek alapján megállapítottuk, hogy az alkalmazott felbontások vizsgálata során bármelyik eljárást alkalmazhatjuk a mintaterületeinken.

4.3.2. Űrfelvételekről meghatározott pontok pontossága

A hajdú-bihari területről készül 2,5 m/pixel felbontású Űrfelvétel pontjainak tényleges eltérése 16,5 m 95 %-os konfidencia szinten az ellipszis alakú hiba alapján (45. ábra).



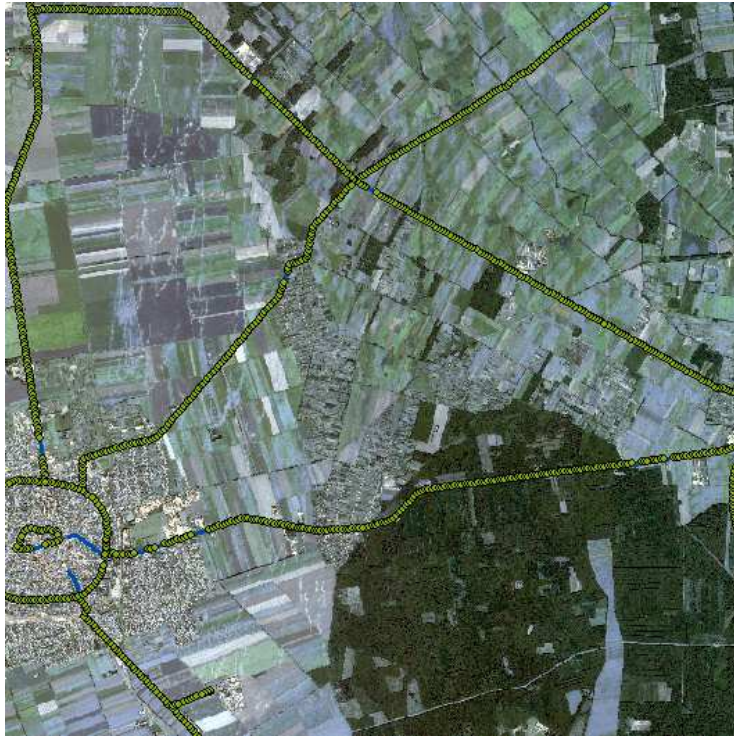
45. ábra A 2,50 m/pixel felbontású Űrfelvételekről meghatározott pontok és a terepi pontok eltérései a Hajdú-Bihari területen (saját szerkesztés)

A felvétel terepi pontosságát a forgalmazó a CE90 érték elvi maximumában határozta meg, ami 23 m. A vizsgálat során kapott eredmény a megengedett értéken belül helyezkedik el. A pontok térképi meghatározásának pontossága (a minta átlaga alapján) 4,38 m-re (1,75 pixel) adódott, 3,5 pixel értékű RMSE (Root Mean Square Error, átlagos négyzetes eltérés, szórás négyzet) mellett. Mint látható a szórás igen nagy, ezért alacsony a megbízhatóság.

Ezen túlmenően az is megállapítható, hogy a több méteres hibák miatt az ilyen termékek földmérési, kataszteri célokra alkalmatlanok.

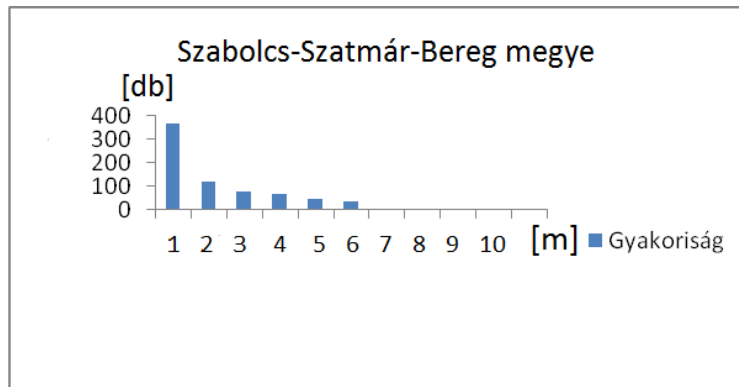
4.3.3. Űrfelvételekről meghatározott úttengelyek pontossága

A vonalak vizsgálata során 2,5 m/pixel (hajdú-bihari mintaterület), illetve 1,85 m/pixel felbontású (szabolcs-szatmári mintaterület) felvételeket egyaránt úttengelyek meghatározása alapján elemeztük (46. ábra).

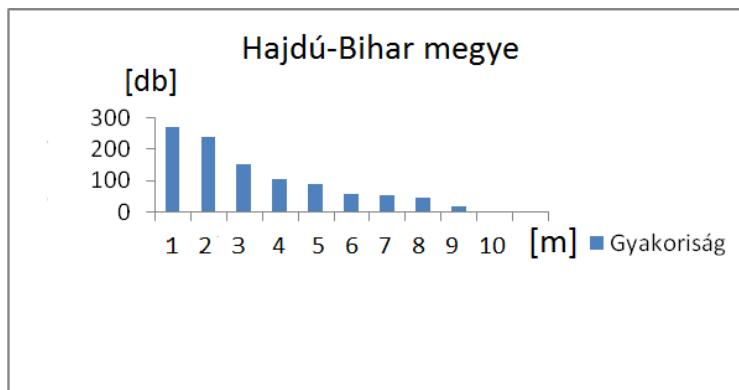


46. ábra Úttengelyek meghatározása a hajdú-bihari terület űrfelvételéről
(saját szerk.)

Az űrfelvételek elemzéseit a csatornák megfelelő beállításai után valószínű képek alapján végeztük. A térképi-terepi vonalak egymástól való merőleges távolságait (eltéréseit) a szabolcs-szatmári területre a 47. ábra, míg hajdú-bihari területre a 48. ábra szemlélteti.

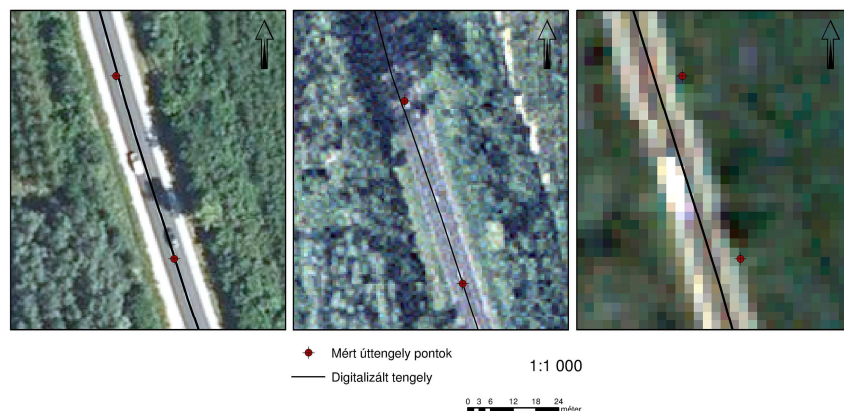


47. ábra A szabolcs-szatmári területen meghatározott vonalak eltérései méterben a gyakoriság függvényében (saját szerkesztés)



48. ábra A hajdú-bihari területen meghatározott vonalak eltérései méterben a gyakoriság függvényében (saját szerkesztés)

A gyakoriságok alapján megállapítható, hogy a szabolcsi űrfelvételen a pontok mintegy 50 %-a 0 és 1 m-es kategóriába tartozik, míg a hajdúsági felvétel esetén ez az érték csak 0 és 2 m közötti intervallumban teljesül. Ezen értékek is előre vetítik, hogy vélhetően a 1,85 m/pixel felbontású felvétel pontossága lesz nagyobb. A mért pontok és a térképről meghatározott vonalak egymáshoz viszonyított helyzete, a 2,5 m/pixel felbontású felvétel esetében markánsan elkülönül egymástól (49. ábra).



49. ábra A 0,4 méter/pixel, 0,5 méter/pixel felbontású ortofotók és 2,5 méter/pixel felbontású űrfelvétel digitalizálása 1:1000-es méretarányban (VARGA ET AL. 2015a)

A valós (terepi) úttengely pontok (piros pontok) a digitalizált tengelytől (fekete folyamatos vonal) több pixel távolságban helyezkednek el egymástól. Az űrfelvétel esetében 1:1000 méretarányban már a pixelek is láthatóak, ami nehezíti a térképi meghatározást. A vizsgálat során a durva hibákat nem használtuk a számításaink során. Így az eltérések a 0 és 10 m-es intervallumban helyezkednek el.

A vizsgálat során számítottuk az átlagos eltéréseket a két mintaterületen, majd megvizsgáltuk, hogy az átlagos eltérések azonosnak tekinthetők-e. Ennek eldöntésére matematikai eszközként kétmintás t-próbát alkalmaztunk. Ehhez először a két minta szórásának azonoságát kellett elemeznünk, amit F-próbával végeztünk el. Az F-statisztika számolt értéke 0,53, míg a kritikus érték 0,89, ezért a két minta szórása azonosnak tekinthető (21. táblázat).

21. táblázat Kétmintás F-próba a szórásnégyzetekre

	1,85 m/pixel 2013 évi űrfelvétel Szabolcs- Sz. megye	2,5 m/pixel 2013 évi űrfelvétel Hajdú-B. megye
A minták átlagai: (m)	1,59	2,75
Eltérések szórása (m)	1,62	2,23
Megfigyelések (db.)	1046	1046
F érték	0,529116143	
F kritikus érték	0,892339598	

Ezt követően az egyenlő szórásnégyzetű kétmintás t-próba próbastatisztikájára kiszámolt érték $t=11,77$, míg a kritikus érték 1,96-ra adódott. Ennek alapján elvetettük azt a nullhipotézist, hogy a két minta átlaga azonosnak tekinthető, vagyis azt mondhatjuk, hogy az átlagok között szignifikáns eltérés van (22. táblázat).

22. táblázat Kétmintás t-próba egyenlő szórásnégyzeteknél

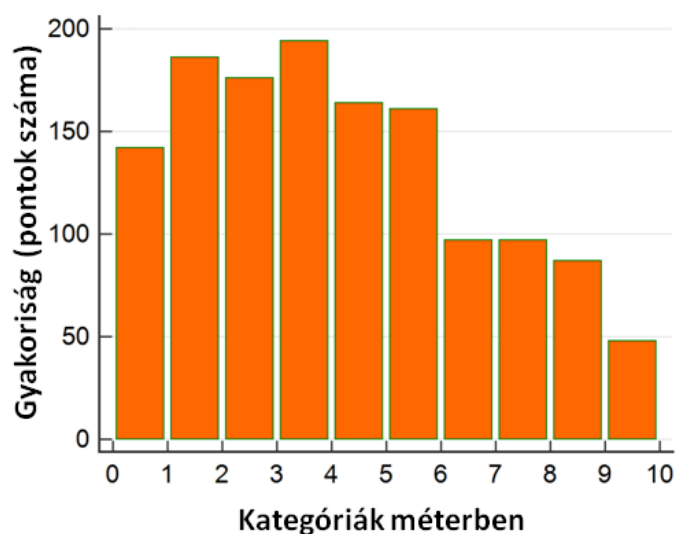
	1,85 m/pixel 2013 évi űrfelvétel Szabolcs- Sz. megye	2,5 m/pixel 2013 évi űrfelvétel Hajdú-B. megye
A minták átlagai: (m)	1,59	2,75
Eltérések szórása (m)	1,62	2,23
Megfigyelések (db.)	1046	1046
Eltérések mediánja (m)	0,90	2,06
Maximális eltérés (m)	7,25	9,99
Minimum eltérés (m)	0,01	0,00
t érték	11,77378191	
t kritikus érték	1,961316623	

Az összefoglaló adatok alapján a 1,85 m/pixel felbontású űrfelvétel pontossága a vizsgált vonalak alapján 1,59 m, míg a 2,5 m/pixel felbontású felvételé 2,75 m. Megállapítottuk, hogy az űrfelvételek pontossága a felbontás csökkenésével romlik. A pontossági értékek megbízhatónak tekinthetők, hiszen az eltérések szórása a minta átlagok közelében helyezkedik el.

4.3.4. Űrfelvételekről meghatározott erdőhatárok pontossága

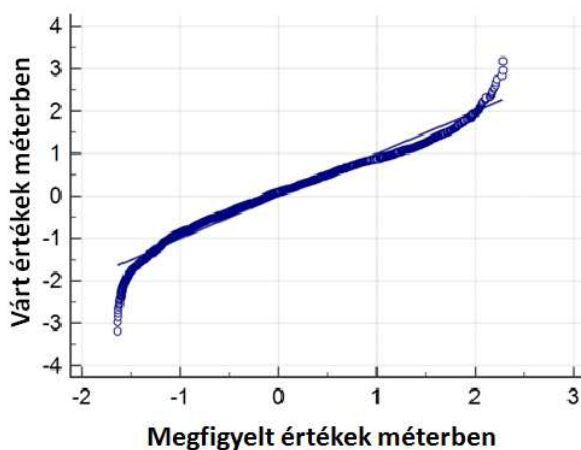
A felvételek elkészítése és a terepi meghatározás között eltelt idő nem érte el az egy évet, így az erdőállomány növekedéséből adódó határváltozások (az antropogén folyamatoktól eltekintve, pl. erdőirtások) elenyészőek voltak, ezért az elemzés eredményeire nem voltak kimutatható hatással.

A térképi és terepi koordináta eltérések minden esetben pozitív számok, ezért az Y; X eltérések előjelhelyes ábrázolására nem kerülhetett sor, ezért a CE95 értékek meghatározását poligonokra elvégezni nem lehetett. A poligonok vizsgálata során számított eltérések száma 1352 db. volt. A minimális eltérés 0,00 m, míg a maximális eltérés 9,98 méterre adódott. Az 50. ábrán látható, hogy a különbségek melyik osztályba tartoznak.



50.ábra A poligonok eltéréseinek száma a hajdú-bihari területen, méteres kategóriákba sorolva. (saját szerkesztés)

Az eltérések osztályokba sorolását követően meghatároztuk az eloszlását. Ha a pontok közel lineárisan helyezkednek el, úgy megállapítható, hogy a minta normális eloszlást követ. A normális eloszlás meghatározásakor egy 45 fokos egyenest ábrázolnak a minták Q-Q plot ábráján (kvantilis-kvantilis ábra). A pontok illeszkedése annál jobbnak tekinthető, minél jobban simulnak azok az ábrázolt 45 fokos egyeneshez [Internet 42.]. Megállapítottuk, hogy a vizsgált eltérések normális eloszlást követnek, hiszen azok csak a maximumaikban és minimumaikban térnek el jelentősen az egyenestől (51. ábra).



51. ábra A vizsgált értékek eloszlása (saját szerk.)

A vizsgálatunk eredményei szerint a 2,5 m/pixel felbontású űrfelvételen az erdőhatárok alapján meghatározott poligonok pontossága a minta átlaga alapján 4.16 m (23. táblázat).

A felbontáshoz viszonyítva ez az érték a felbontás többszöröse (1,66 pixel), ami jelentős hibát okoz az erdőfoltok űrfelvételekről történő meghatározása során azok területeiben.

23. táblázat Az erdőhatárok vizsgálatának eredményei a hajdú-bihari területen (saját szerkesztés)

	2,5 m/pixel 2013 évi űrfelvétel
A minta átlaga: (m)	4,16
Eltérések szórása (m)	2,56
Eltérések mediánja (m)	3,88
Maximális eltérés (m)	9,98
Minimum eltérés (m)	0,00

Kimutattuk, hogy a poligonok meghatározásának pontossága a pontok pontosságától függ, hiszen ugyanezen a felvételen a pontok pontossága (lásd 4.3.2. fejezet) 1,75 pixelre adódott, ami azonosnak tekinthető a poligonok pontosságával (1,66 pixel).

Az eltérések száma 0–6 m között a legmagasabb, míg 6–10 m között a legalacsonyabb. A sötétkék vonal jelöli a minta átlagát, ami a meghatározás pontosságát adja. Ez az érték 4,16 m. A konfidencia intervallumot jelölik 95 %-os szinten, (melyek az átlagtól való eltérést mutatják meg) 0,28 m, ami –0,14 és +0,14 m közötti megbízhatóságot jelent.

Kimutattuk, hogy a poligonok meghatározásának pontossága függ a poligonok töréspontjainak pontosságától. Ez az érték erdőhatárookra vonatkoztatva, az ismertett paraméterekkel rendelkező űrfelvétel esetén 4,16 m-re adódott, a –0,14 és +0,14 m közötti megbízhatóság mellett.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A földrajzi helyzet egyre pontosabb meghatározásának növekvő igénye és vele párhuzamosan a különböző észlelési technikák, valamint a precíz adatfeldolgozási módszerek fejlődése alapvetően lehatárolja a földmérés és a térképészet feladatkörét. A terepi felmérések mellett a digitális technikai és informatikai alkalmazások ugrásszerű fejlődése utat nyitott a digitális térképek, ortofotók, űrfelvételek számára.

A távérzékelés, mint adatnyerési technológia, ezen belül az űr-, a légi- és a földi távérzékelések szerepe, gyors ütemű technikai fejlődésük és alkalmazási területeik kiszélesedése révén mára felértékelődött. A térképműveket az egyes szakterületek felhasználási igényeiknek megfelelően más-más célokra használják. A légi- és űrfelvételek alapján előállított termékek a felhasználók számára elérhetőek, ezáltal alkalmazási területük is kiszélesedett.

A távérzékelési módszerekkel előállított termékek pontossága a technikai fejlődés következtében, illetve a forgalmazók, gyártók között mindinkább kiéleződő verseny hatásai és a felhasználók növekvő elvárásai révén egyre inkább nő. A felhasználók számára történő adatszolgáltatást csak akkor lehet megbízhatóan és gazdaságosan megvalósítani, ha ismerjük a szolgáltatott adatok pontosságát. Ezek az értékek azonban különbözőek lehetnek, mivel a távérzékeléssel készített térképek alapján eltérő pontosságú adatok nyerhetőek, elsősorban a méretarányukból, a felbontásukból adódóan. Elengedhetetlen a geometriai elemek pontosságának és megbízhatóságának ismerete, hiszen ennek hiányában nem lehet meghatározni azt, hogy az adott feladatra vonatkozó pontossági követelményeknek, előírásoknak a felvételek eleget tesznek-e, vagy sem.

A kutatás során geodéziai módszerrel meghatározott adatok, valamint a légi- és űrtávérzékelés útján előállított térképek kerültek vizsgálatra. Ennek megfelelően földi eljárással felmért pontok, a repülőgépekről készített légi felvételek alapján előállított ortofotók és digitális ortofotók, illetve a műholdak felvételei alapján előállított térképek elemzését végeztük el, azok pontosságának és megbízhatóságának meghatározása céljából.

A kutatás során négy mintaterületet használtam, Szabolcs-Szatmár-Bereg, Hajdú-Bihar és Bács-Kiskun megyékben. A mintaterületek sík felszínen, buckás területen, valamint települések belterületén kerültek kiválasztásra. Az első mintaterület (144 km²) Hajdúböszörménytől keletre fekvő síkság, melynek felszínét löszös üledék borítja, a második 144 km²-es terület egy futóhomok buckás felszínt foglal magába, melynek centrumában Nyírlugos település helyezkedik el, a harmadik és negyedik minta-

területek Kecskemét és Nyíregyháza belterületeinek egy részét foglalják magukba.

A térinformatikai módszerek alkalmazása során a pontok, vonalak, poligonok térképi koordináta meghatározását vektorizálással hajtottam végre. A vektorizálás pontosságát többszöri meghatározás útján ellenőriztem. A geodéziai méréseket hálózati RTK módszerrel végeztem, melynek során két különböző műszert használtam. Az egyik egy Trimble R6 típusú, a másik egy Leica GS 15 típusú GPS vevő volt. A műszerek pontosságát a részletpontok újbóli meghatározása útján ellenőriztem. A matematikai-statisztikai elemzések során, leíró statisztika eszközeit (átlag, medián, szórás stb.), különböző grafikus ábrázolási módokat (hisztogram, dobozdiagram), hipotézisvizsgálatot (t-próba, F-próba, khí-négyzet próba, varianciaanalízis, normalitás vizsgálat), valamint intervallumbecslést és a legkisebb négyzetek módszerét alkalmaztam. A tényleges eltérések kimutatását CE95 (Circle Error 95%- kör alakú hiba 95 %-os konfidencia szinten) módszerrel végeztem. A statisztikai vizsgálatához az IMB SPSS statistics 22 programot alkalmaztam.

Eredményeim értelmezését a célkitűzésekben megadott szempontok szerint ismertetem:

A különböző technológiákkal készült digitális domborzatmodellek (DDM) elemzése során megfigyelhető volt, hogy a térképi és terepi pontok közötti (a vizsgálatban szereplő DDM-k szerinti) eltérések terjedelme, mediánja és átlaga szigorúan monoton csökkenő sorozatot alkot, ami azt támasztja alá, hogy a szintvonalak alapján létrehozott DDM esetében nagyobb, LIDAR alapú DDM esetében lényegesen kisebb eltérések adódtak, azaz az utóbbi pontosabb, a szintvonal és a fotogrammetriai alapú DDM-től. A különböző modellekre számított átlagos eltérések alapján megállapítható, hogy a vizsgált 10 cm/pixel felbontású ortofotók pontossága, digitális szintvonalmodell (DSZM) alkalmazása esetén 27 centiméteres értéket mutat, ami a pixelméret többszöröse. A fotogrammetriai kiértékelésből és a LIDAR felmérésből származó modellek esetén ezek az értékek már nem érik el a felbontás mértékét, mindössze 7 és 4 centiméteresek. Az előzőekben összefoglalt eredményekből jól kitűnik, hogy a legpontosabb értéket a LIDAR felmérésből származó modell alapján előállított ortofotó mutatja, melynél az átlagos eltérés a pixel érték 50 %-át sem éri el. A vizsgálati eredmények alapján megállapítottam, hogy a szintvonalak kiértékeléséből és a LIDAR adatokból készült domborzatmodellek okozta vízszintes eltérések különbsége meghaladja a 2 pixel értéket.

A CE95 módszerrel vizsgált, LIDAR felméréssel készült DDM felhasználásával előállított, 0,1 m/ pixel felbontású ortofotó vízszintes értelmű tényleges eltérése a nyíregyházi mintaterületen 0,16 m. A vizsgált 100

darab ellenőrző pont elemzése kapcsán az a megállapítás tehető, hogy a pontok közötti eltérések 80 %-a szubpixeles hibát mutat. A pontok közül mindössze két pont mutatott kiugró értéket, ami egyértelműen a hibás térképi azonosításra vezethető vissza. Az adatok feldolgozását követően jól láthatóvá vált, hogy a CE95 módszerrel meghatározott tényleges eltérések is ugyanazt a tendenciát mutatják (DSZM a legpontatlanabb, a fotogrammetriai kiértékeléssel készült modell pontosabb és a LIDAR felmérésből előállított modell a legpontosabb), mint a modellek abszolút eltérései. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a kör alakú hiba módszere alkalmas eljárás a digitális ortofotók vízszintes koordinátáinak pontosságai vizsgálatára.

A CE95 módszerrel számított tényleges eltérések eredményei azt támasztják alá, hogy a legpontosabb (0,16 m, LIDAR felmérésből számított DDM) és a legpontatlanabb (0,54 m, szintvonalak alapján készült DDM) modellek közötti eltérés, több mint háromszoros a mintaterületeken. Megfigyelhető, hogy a vízszintes eltérések csökkenésével nő az alkalmazott modellek magassági pontossága és a modellek rácshálói sűrűsége (5x5 m GRID; DSZM, 3x3m GRID; fotogrammetriai modell, 6 pont/m² alapján előállított TIN; LIDAR modell). A legritkább rácshálóval a magassági értelemben legpontatlanabb DSZM rendelkezik (vízszintes értelmű torzító hatása ennek a modellnek a legnagyobb), a legsűrűbb rácshálója (magassági értelemben a legpontosabb) pedig a LIDAR modellnek (vízszintes értelmű torzító hatása ennek a legkisebb) van.

Az úttengelyek pontosságvizsgálata során megállapítottam, hogy a hiba 0,1 méter/pixel felbontás esetén (7 cm) valamint 0,4 m/pixel felbontásnál (25 cm) a pixel méretén aluli, míg 0,5 méteres felbontásnál a pixel mérettel azonosnak tekinthető (0,52 m).

Az erdőhatárok összehasonlító vizsgálatai során arra az eredményre jutottam, hogy 95%-os konfidencia intervallum mellett, a két minta várható értéke nem azonos. Azaz a 2011-es minta átlagos abszolút eltérése különbözik a 2000-es, 2005-ös, 2006-os, 2007-es minták átlagos abszolút eltéréseitől.

Az egy szempontos variancia-analízissel a három különböző felbontásra számolt F érték lényegesen nagyobb, mint a kritikus érték, így a három minta átlagos abszolút eltéréseinek várható értéke nem tekinthető azonosnak, tehát az átlagos abszolút eltérések mértéke egyértelműen függ a felbontás nagyságától. A vizsgált ortofotók megbízhatósági értékei is egyre nagyobbak a pontosság növekedésével párhuzamosan a mintaterületeken. A 0,1 m/pixel felbontás esetén az eltérések szórása mindössze 10 cm, 0,4 m/ pixel esetén 24 cm, míg 0,5 m/pixel felbontás esetén pedig már 44 cm volt.

A különböző években (2000, 2005, 2006, 2007, 2011 évek) készült ortofotókon lévő erdőhatárok pontosságának vizsgálata alapján megállapítottam, hogy a vektorizálás és a terepi meghatározás közötti eltérések tartalmazzák a felszínborítás változásából adódó eltéréseket is. Ezen eltérések csak a terepi felmérés évében készült ortofotók esetében elhanyagolhatóak. Az általam kijelölt mintaterületeken igazolható, hogy a 2011. évben készült ortofotó pontossága a foltszerű erdők esetében (ahol a határok vizuálisan jól azonosíthatóak) 2,06 m (5 pixel), olyan területeken viszont, ahol az erdőben beékelődött tisztások, új telepítésű erdők, tarvágások vannak ott az erdőhatárok interpretációja is jóval nehezebb, a pontosság 2,48 méterre (6 pixel) csökken. Az elemzések alapján megállapítható, hogy a vizsgált ortofotók pontossága a terepi felmérés éve felé közeledve, évről évre jobb.

A különböző években készült ortofotók felhasználásával vizsgált erdőhatárok pontossága 2000 év: 4,08-5,05 m, 2005 év: 3,31-4,62 m, 2006 év: 3,17-3,57 m intervallumokba sorolható. Az erdőhatárok elemzése alapján megállapítottam, hogy a vizsgált 0,4 és 0,5 m/pixel felbontású, 6 évnél régebben készült ortofotók pontossága rosszabb, mint 3 m a mintaterületeken, ezért ezek az adatok az erdőrészletek határainak meghatározására az erdészeti hatóságok előírása (11/2010. (II.4.) FVM rendelet 7. § 2. bekezdése) alapján nem alkalmasak. A vizsgált 2,5 m/pixel felbontású űrfelvételen az erdőhatárok pontossága a minta átlaga alapján 4.16 m, a hiba itt is meghaladja a 3 m-t, ezért a felvétel erdőhatárok meghatározására szintén nem alkalmas.

A hajdú-bihar megyei mintaterületen az úttengelyek szerinti pontosság vizsgálata során, a 2,5 m/pixel felbontású űrfelvétel átlagos eltérése 1,10 pixelre adódott, 2350 darab pont alapján. Megállapítottam, hogy az űrfelvétel pontossági értékei megbízhatóak, hiszen az eltérések szórása a minta átlagok közelében helyezkedik el. Ugyanezen a mintaterületen az erdőhatárok pontossága 1,66 pixelnek felel meg. Az úttengelyek meghatározása a mintaterületeken tehát mintegy 50 %-kal pontosabban elvégezhető, mint az erdőhatároké. A vizsgálatok alapját képező pontok térképi-terepi meghatározása annál pontosabban végezhető, minél egyértelműbben határozható meg a mért tereptárgy tengelye, centruma a valóságban és a felvételeken. A pontok meghatározásának pontossága az úttengelyek esetén jobb, hiszen azok szimmetria tengelyei precízebben azonosíthatók, mint a lombkoronák (erdőhatárok) függőleges vetületei. A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a pontok helyzeti pontosságának növekedése következtében nő a vonalak és poligonok pontossága.

Új tudományos eredmények összefoglalása

- A vizsgált különböző technológiákkal előállított domborzatmodellek több pixel értékben is ronthatják a vízszintes koordináták értékét a mintaterületeken.
- Igazoltam, hogy a mintaterületeken a LIDAR felmérésből származó domborzatmodell 0,1 m/pixel felbontás esetén, vízszintes koordinátákra gyakorolt torzító hatása CE95 módszer alapján 2 pixel alatti értéket mutat. Megállapítottam, hogy a CE95 módszer alkalmas eljárás a digitális ortofotók vízszintes koordinátáinak pontossági vizsgálatára.
- CE95 módszerrel igazoltam, hogy a vizsgált DSZM, fotogrammetriai kiértékelés útján előállított domborzatmodell és a LIDAR felmérésből előállított domborzatmodellek közül a legnagyobb torzító hatása ugyanazon vízszintes értékekre a DSZM-nek volt. Megállapítottam, hogy a mintaterületen a vizsgált digitális ortofotókról meghatározható pontok vízszintes pontossága, a domborzatmodellek rácshálói sűrűségének növekedésével és magassági értékeinek pontossági növekedésével nő.
- Igazoltam, hogy a mintaterületeken, a vizsgált 0,5 m/pixel felbontású digitális ortofotókról meghatározható (a terepen, egzakt módon jelölt) vonalak a pixel értékkel közel azonos pontossággal, 0,5 m/pixel felbontástól nagyobb felbontás esetén pedig, pixel alatti (tehát attól jobb) pontossággal határozhatók meg.
- Igazoltam, hogy a mintaterületeken 5x5 m-es GRID domborzatmodell alapján készült, síkvidékről előállított 0,4 m/pixel felbontású, ortofotókról meghatározható erdőhatárok pontossága, foltszerű erdők esetében, ahol a határok vizuálisan jól azonosíthatók 5 pixel, ahol viszont az erdőfoltok új telepítésű erdőkkel, tarvágásokkal, tisztásokkal tagoltak, ott a meghatározás pontossága 6 pixelre csökken.
- Az erdőhatárok elemzése alapján megállapítottam, hogy a vizsgált 0,4 és 0,5 m/pixel felbontású 6 évnél régebben készített ortofotók és a vizsgált 2,5 m/pixel felbontású úrfelvétel pontossága a mintaterületeken kisebb, mint 3 m, ezért ezek az adatok az erdészeti ha-

tóságok, erdőhatárookra és a távérzékelési adatok pontosságára vonatkozó előírásának megfelelően, az erdőrészletek határainak meghatározására nem alkalmasak.

- Igazoltam, a vizsgált 2,5 m/pixel felbontású, valószínűsített űrfelvétel felhasználásával, hogy a mintaterületen az úttengelyek meghatározásának pontossága 1,10 pixel, az erdőhatároké pedig 1,66 pixel. A pontok vízszintes pontosságának növekedése következtében nő a vonalak és poligonok meghatározásának pontossága is.

6.SUMMARY

An ever growing demand for more and more precise ge positioning running in parallel with the development of various sensory techniques, and precise data processing methods inherently define the scope of functions of cadastral surveying and cartography. Beside geodesic measurements the soaring development of applications in digital technology and information science have opened up new horizons for digital maps, orthophotos and satellite photos.

The role of remote sensing, a data capturing technique, in particular the satellite-, aerial- and land remote sensing has dramatically gained in importance due to the rapid technical improvement and an expanding scope of their potential application. Mapworks are used for different purposes by different specialist fields depending on their own needs for applications. Products prepared by using aerial and satellite photos are readily available for users therefore their field of application has expanded.

Accuracy of products based upon remote sensing technology has been steadily growing due to the technological development on the one hand and the more and more cutthroat competition of distributors and manufacturers combined with the growing expectations of end-users on the other. Data supply for end users can only be realized reliably and profitably when the accuracy of data provided is known. These values however, may differ since data gleaned from maps prepared on the basis of remote sensing may vary in accuracy, primarily due to their scale and resolution. Knowledge of the accuracy and reliability of geometric units is simply indispensable if we want to determine whether these photos comply with the accuracy requirements and specifications of the task at hand.

In my research I compared data defined with the help of geodesic methods, and maps constructed with the help of aerial and satellite remote sensing. In order to establish their accuracy and reliability I have analysed points taken by geodesic measurements, orthophotos and digital orthophotos based on aerial photos taken from aeroplanes, and maps created on the basis of satellite photos.

Four sample areas were used in the research in the counties Szabolcs-Szatmár-Bereg, Hajdú-Bihar and Bács-Kiskun. The areas were selected to represent flatland, sandhills, and settlement centres. The first test area (144 km²) was the plane east of the town Hajdúböszörmény, the surface of which is covered in loes sedimentation, the second 144 km² test area is located in a quicksand zone with sandhills with the settlement Nyírlugos at its center. The third and fourth test areas include central parts of the towns Kecskemét and Nyíregyháza.

I applied vectorization, a spacial information technological method to define cartographical coordinates of points, lines and polygons. Accuracy of vektorization was checked by multiple definitions. Landscape measurements were carried out by a Network RTK method for which I used two different instruments. On the one hand a Trimble R6 receiver and on the other a Leica GS 15 GPS receiver. I have checked the accuracy of vectorization by redefining partial points several times. For the mathematical-statistical analyses I used several instruments of descriptive statistics (mean, median, SD, etc.), various graphic methods (histogram, box diagram), hypothesis testing (t-test, F-test, Chi-square test, variance analysis, normality tests) as well as interval estimation and the method of least squares. Actual deviations were computed using the CE95 method (Circle Error at a Confidence Interval of 95%). Statistical analyses were performed with the IBM SPSS statistics 22 software.

Results will now be presented in the order of points listed in the section on objectives:

When analyzing digital terrain models (DTM) created with a variety of technologies it was noted that the range of difference, median and mean of cartographic and terrain points (the points in the DTMs used in the study) constitute a strictly monotonically decreasing sequence demonstrating higher differences in the DTMs based on elevation lines than the significantly lower differences of the LIDAR based DTMs, an observation that leads to the conclusion that the latter are more accurate than the elevation and photogrammetric DTMs. The mean differences computed for the various models yield an accuracy of 27 cm in case of the 10 cm/pixel resolution digital elevation models (DEMs) which is several times higher than the pixel value. In case of photogrammetric evaluation

and LIDAR survey models these values are well below the pixel values, 7 and 4 cm respectively. The results clearly show that the most accurate orthophotos are those based on LIDAR measurement with a mean deviation of less than 50% of the pixel value. Based on the results of the analysis I have stated that the difference in the horizontal deviation caused by the assessment of elevation lines and the LIDAR data generated DTMs is more than the value of 2 pixels. The actual horizontal difference of orthophotos taken in the Nyíregyháza test area, examined by the CE95 method and constructed by a LIDAR based DTM of 0.1 m/pixel resolution is 0.16 m. With respect to the analysis of the 100 control points it can be stated that 80% of the deviation of the points demonstrates subpixel errors. Only two of the points were remarkably different, which must be obviously due to faulty map identification. Upon processing the data it was visible that the significant deviations determined by CE95 method demonstrate the same tendency as the absolute deviations of the models (DEM is the least accurate, the photogrammetric assessment is more accurate and the LIDAR based model is the most accurate). Results of the assessments have confirmed that the circle error method is appropriate for accuracy testing of horizontal coordinates of digital orthophotos.

Absolute deviations computed with the CE95 method have proved that the difference between the most accurate (0.16 m, LIDAR based DTM) and the least accurate models (0.54 m, DEM) is threefold in the test areas. It has been observed that decreasing horizontal deviations correlate with height accuracy and grid density of applied models (5x5 m GRID; DEM, 3x3m GRID; fotogrammetric model, 6 point/m² based TIN; LIDAR model). Grid density regarding elevation was the lowest in the least accurate DEM model (the horizontal distorting effect is the highest in this model), and the highest in the LIDAR model (the most accurate regarding elevation with the least horizontal distorting effect).

Accuracy testing of road centerlines yielded the following results: the error was of a subpixel value when the resolution was 0.1 m/pixel (7 cm), and 0.4 m/pixel (25 cm), whereas it was of pixel value (0.52 m) when the resolution was 0.5 m.

Upon completing comparative studies of forest borders I have found that the expected values of the two samples are not the same at a Confidence Interval of 95%. This is to say that the mean absolute deviation of the 2011 sample is different from the mean absolute values of the 2000, 2005, 2006 and 2007 samples.

The F value computed with the 1-sided variance analysis for three different resolutions is significantly higher than the critical value, thus the expected value of the mean absolute values of the three samples cannot be

considered the same; consequently, the range of mean absolute deviations is definitely dependent on the resolution. The reliability values of the orthophotos analysed are increasing in parallel with the increase in the accuracy in the test areas. In case the resolution is 0.1 m/pixel the SD of the deviation is only 10 cm, in case of 0.4 m/pixel it is 24 cm, and it increases to 44 cm when the resolution is 0.5 m/pixel.

When examining the accuracy of forest borders in the orthophotos taken in different years (2000, 2005, 2006, 2007, 2011) I found that the difference between vectorization and terrain definition contains deviations caused by changes in the terrain. These deviations are only negligible in the orthophotos taken in the year when terrain measurements were also done in the area. In the test areas I have selected it has been confirmed that the accuracy of the orthophoto taken of forest patches (where the boundaries are visually identifiable) in the year 2011 is 2.06 m (5 pixels), in areas however, where spots of clearings break the continuous forest, reforested areas or cutblocks are seen, interpretation of the forest boundary is much more difficult and the accuracy is reduced to 2.48 m (6 pixels). Based on the analyses it can be concluded that the accuracy of the orthophotos under examination is increasing year by year as we advance towards the year when terrain measurements were taken.

The accuracy of forest borders based on the orthophotos taken in different years range from 4.08-5.05 m in 2000, 3.31-4.62 m in 2005 to 3.17-3.57 in 2006. The conclusion that can be drawn upon analysis of forest boundaries is that accuracy of the orthophotos older than 6 years with a resolution of 0.4 and 0.5 m/pixel is worse than 3 m in the test areas, therefore these data are not acceptable for the definition of forest boundaries as set forth in the regulation of the forest management authorities (Paragraph 2 Section 7 of the 2 11/2010 (04 February) Regulation of the Ministry of Forestry and Regional Development). The satellite image with a resolution of 2,5 m/pixel yields a forest border accuracy of 4.16 m based on the mean of the sample which is well over 3 m and thus inappropriate for defining forest borders.

When examining the centerline accuracy of the test area in Hajdú-Bihar County I found a mean deviation of 1.10 pixel in the satellite image of 2.5 m/pixel resolution when 2350 points were depicted. It can be noted that the accuracy values of the satellite images are reliable as the SD of the deviations is clustered around the the means of samples. The accuracy of the forest boundaries in the same test area is consistent with 1.66 pixel. Determination of road centerlines is therefore done 50% more accurately than that of the forest boundaries. The more definitely the centerline and the center of a terrain object in reality and in the images can be identified

the more accurately the cartographic-terrain definition of points considered to be the bases of the analyses can be done. Accuracy of definition of points of the centerline is better as they can be identified in their respective axis of symmetry than the vertical projections of the foliage (forest boundaries). Based on measurement results it can be claimed that the increase in geometric accuracy of the points leads to an increase in the accuracy of lines and polygons.

Summary of novel findings

- I have found that terrain elevation models created with different technological approaches may impair the values of horizontal coordinates in the sample areas by several pixels.
- I have proved that in case of a LIDAR elevation model of 0.1 m/pixel resolution of the test area distorts the horizontal coordinates by less than 2 pixels with the CE95 method. Consequently the CE95 model lends itself for testing the accuracy of horizontal coordinates of digital orthophotos.
- Using the CE95 method I have been able to confirm that the DEM under study has the highest distortion effect on the horizontal parameters when compared with the very same horizontal values of the photogrammetric elevation models and the LIDAR elevation models. I have found that the horizontal accuracy of points definable in digital orthophotos taken of the sample areas increase linearly with the increase of the grid network density of elevation models and that of the accuracy of the height values.
- I have proved that the lines definable in the 0.5 m/pixel resolution digital orthophotos taken of the sample areas (with exact marking in the terrain) can be determined at an accuracy rate of about the pixel value, and in case of a higher than 0.5 m/pixel resolution the accuracy rate is below the pixel value (i.e. it is better than that). I have proved that the accuracy of forest boundaries, in particular boundaries of forest patches with visually well identifiable boundaries, defined in the 0.4 m/pixel resolution orthophotos of flatlands in sample areas created on the basis of 5x5 m GRID elevation model is 5 pixels, whereas the accuracy of definition is re-

duced to 6 pixels when the continuous forest is fragmented by reforested areas, cutblocks or clearings.

- Based on forest boundary analysis I have found that the accuracy of the orthophotos under discussion with a resolution of 0.4 and 0.5 m/pixel that were taken earlier than 6 years ago of the sample areas and the accuracy of the satellite image of 2.5 m/pixel resolution taken of the sample areas is less than 3 m, and thus these data are inappropriate for defining boundaries of forest fragments in compliance with the stipulations of the forest authorities regarding the accuracy of remote sensing data and forest boundaries.
- Based on true color 2.5 m/pixel resolution satellite images I have proved that the accuracy of defining road centerlines in the sample areas is 1.10 pixels, whereas that of forest borders is 1.66 pixels. Due to increased accuracy of horizontal points, definition accuracy of lines and polygons is also enhanced.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném köszönetemet kifejezni témavezetőmnek, Prof. Dr. Lóki Józsefnek és mindazoknak, akik tudásukkal, munkájukkal, energiájukkal, ösztönző támogatásukkal és türelmükkel segítségemre voltak a disszertáció elkészítésében:

Dr. Szűcs Edit
Dr. Kovács Imre
Dr. Czédli Herta
Dr. Kézi Csaba
Dr. Gross Miklós
Mizseiné Dr. Nyíri Judit
Elek Tamás
Fekete Ákos
Knyihár András
Papp Imréné
Pataki Károly
Szalkáné Kiss Katalin
Varga Tibor

FELHASZNÁLT IRODALOM

- ADROV, V., TITAROV, P.(2002): Photogrammetric processing of satellite scanner imagery. *Geospatial Today*, September-October 2002, vol. 1, issue 3, pp.27-30.
- AGAPIOU, A., ALEXAKIS, D. D., HADJIMITSIS D. G. (2014): Spectral sensitivity of ALOS, ASTER, IKONOS, LANDSAT and SPOT satellite imagery intended for the detection of archaeological crop marks, *International Journal of Digital Earth*, 7:5, 351-372.
- ÁDÁM, J., BÁNYAI, L., BORZA, T., BUSICS, GY., KENYERES, A., KRAUTER, A., TAKÁCS, B. (szerk). (2004): Múholdas helymeghatározás. Műegyetemi Kiadó, Budapest. ISBN 963 4207901.
- ÁDÁM, J. (2008): A WGS84 geodéziai vilárendszer és továbbfejlesztései. *Geodézia és Kartográfia* 2008/9 (60), 3-12.
- ÁDÁM J. – RÓZSA SZ. – TAKÁCS B. (2012): GNSS elmélete és alkalmazása. Oktatási segédlet. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar Földmérő- és Térinformatikai mérnök mesterszak. Budapest. 1-156.
- BAKÓ, G. (2014): Geoinformációs rendszerek és a távérzékelés szerepe a döntés előkészítésben. In: Jeney L., Hideg É., Tózsá I. (szerk.) *Jövőföldrajz. A hazai gazdasági fejlődés területi és települési aspektusai a jelenben és a jövőben*. Budapesti Corvinus Egyetem Gazdaságföldrajz és Jövőkutatás Tanszék – Belügyminisztérium Önkormányzati Államtitkárság közös kiadványa. Budapest, pp. 87–98.
- BAKÓ, G., FÜLÖP, GY. (2015): Fásszárú növekmény detektálása landsat felvételek elemzésével az invazív fajok kiszűrésének érdekében. *Tájökológiai Lapok* 13 (1): 149-162.
- BALÁZSIK, V. (2010): Fotogrammetria 4., Mérőfénykép fogalma, jellemzői, mérőfénykép torzulások. Nyugat-magyarországi Egyetem. 1-16.
- BÁCSATYAI, L., MÁRKUS, I. (2001): Távérzékelés. Tankönyvpótló segédlet a környezetmérnök hallgatók részére. NYME Sopron, 209 p.
- BÁCSATYAI, L. (2002): Földmérés és térképezés kézirat. Nyugat-magyarországi Egyetem. 3-323.
- BELLIAN, J.A., KERANS, C., JENNETTE, D. C. (2005): Digital Outcrop Models: Applications of Terrestrial Scanning Lidar Technology in Stratigraphic Modeling. *Journal of Sedimentary Research* 75/2:166-176.
- BOUCHER, C., ALTAMIMI, Z. (1996): Internatinal Terrestrial Reference Frame. *GPS World*, 71–74.
- BROVELLI, M.A., CANNATA, M., LONGONI, U.M. (2004): LIDAR Data Filtering and DTM Interpolation Within GRASS. *Transactions in GIS* 8/2 :155–174.
- BURAI, P. (2007): Távérzékelési módszerek összehasonlító elemzése mezőgazdasági mintaterületeken. Doktori értekezés, pp. 7-8, 16.

- BURAI, P. (2012): Alkalmazott távérzékelés. Károly Róbert Főiskola. http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/20100010_02_Alkalmaszott_taverzekeles/4154/index.html
- BUSICS, GY., ENGLER, P., GUSZLEV, A., JANCsó, T. (2009): *Digitális adatgyűjtési technológiák*, FVM Vidékfejlesztési, Képzési és Szaktanácsadási Intézet, A középfokú agrárszakképzés tankönyve, 99-149. pp., Budapest.
- BUSICS GY. (2010a): Műholdas helymeghatározás 6., Passzív GPS hálózatok, statikus technológiák. Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar. 1-21.
- BUSICS GY. (2010b): Műholdas helymeghatározás 4., GNSS transzformációs eljárások. Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar. 1-17.
- BUSICS GY. (2010c): Geodéziai hálózatok 4. A GNSS alapjai. Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar. 1-25.
- BUSICS GY. (2010d): Geodéziai hálózatok 5. GNSS hálózatok, GNSS technológiával végzett alappontsűrítés. Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar. 1-31.
- BUSICS GY. (2010e): Műholdas helymeghatározás 5., RTK és más kinematikus technológiák. Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar. 1-15.
- BUSICS, GY. (2010f): Műholdas helymeghatározás 3., Matematikai modellek. Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar. 1-36.
- BUSICS, GY. (2010g): Műholdas helymeghatározás 1., A GNSS-ről általában. Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar. 1-18.
- BUSZNYÁK J. (2011): Az informatika ágazati alkalmazásai. Az Agrármérnöki MSc szak tananyagfejlesztése TÁMOP-4.1.2- 08/1/A-2009-0010 projekt. Debreceni Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Pannon Egyetem. 1-137.
- CAI, C., GAO, Y. (2013): Modeling and assessment of combined GPS/GLONASS precise point positioning. *GPS Solutions* 17, 223–236.
- CAIN J. W., KRAUSMAN, P.R., JANSEN, B.D., MORGART, J.R. (2005): Influence of topography and GPS fix interval on GPS collar performance. *Wildlife Society Bulletin*. 33 (3): 926–934.
- CHANCE, K. V., SPURR, R. J. D. (1997): Ring effect studies: Rayleigh scattering, including molecular parameters for rotational Raman scattering, and the Fraunhofer spectrum. *Applied Optics*, 36/21:5224-5230.
- CHIANG, K.W., TSAI, M.L., CHU, C.H. (2012): The Development of an UAV Borne Direct Georeferenced Photogrammetric Platform for Ground Control Point Free Applications. *Sensors* 2012, 12, 9161-9180.
- COHEN, W. B., GOWARD, S. N. (2004): Landsat's Role in Ecological Applications of Remote Sensing. *BioScience* 54/6:535-545.
- CZIMBER, K. (2001a): A vektortérképtől az ortofotó automatikus előállításáig. Előadás – Nemzetközi Térinformatika Világnap, Térinformatika a Környezeti Feladatok Végrehajtásában, november 14., Budapest, FVM.

- CZIMBER, K. (2001b): Légifelvétel kiértékelés a DigiTerra Map segítségével. Előadás – Műszaki Térinformatika Konferencia, november 12-13., Budapest, Matáv Tölösi Konferencia Központ.
- CZIMBER, K. (2001c): Hatékony légifelvétel kiértékelés a DigiTerra Map segítségével. Előadás – XI. Országos Térinformatikai Konferencia, szeptember 26-28., Szolnok.
- CSATÓ, É. (2000): Műholdadatok térképészeti alkalmazása. Doktori értekezés. Eötvös Loránd Tudományegyetem. 5-82.
<http://lazarus.elte.hu/hun/digkonyv/csato/csato.htm>
- CSORNAI, G., DALIA, O. (1991): Távérzékelés, Kézirat, Erdészeti és Faipari Egyetem Földmérési és Földrendezői Főiskolai Kar, Székesfehérvár.
- DEREN, LI, YUAN YAO, ZHENFENG SHAO, LE WANG (2014): From digital Earth to smart Earth. *Chinese Science Bulletin* 59 (8): 722-733.
- ELACHI, C., VAN ZYL, J.J. (2006) : Introduction to the physics and techniques of remote sensing. A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION. pp. 1-50.
- ENGLER, P., JANCSÓ, T. (2005): Digitális domborzatmodellek ellenőrzési módszerei. GisOpen konferencia Székesfehérvár, 2005. március 16-18. pp. 1-7.
- FANTZ, U. (2004): Optical phenomena in the open air. *Contemporary Physics* 45/ 2: 93-108.
- FERNANDEZ-DIAZ, J. C., CARTER, W. E., SHRESTHA, R. L., GLENNIE, C. L. (2014): Now You See It... Now You Don't: Understanding Airborne Mapping LiDAR Collection and Data Product Generation for Archaeological Research in Mesoamerica. *Remote Sensing* 6(10), 9951-10001
- GREENFELD, J. (2001): Evaluating the accuracy of Digital Orthophoto Quadrangles (DOQ) in the context of parcel-based GIS. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 67:199-206.
- HAO, X., PAN, Y. (2011): Accuracy Analysis Of Earthwork Calculation Based On Triangulated Irregular Network (Tin). *Intelligent Automation & Soft Computing*. 17/ 6:793-802.
- HARMEL, T., CHAMI, M. (2008): Invariance of polarized reflectance measured at the top of atmosphere by PARASOL satellite instrument in the visible range with marine constituents in open ocean waters. *Optics Express*. 16/9: 6064-6080.
- HOHLE, J. (1996): Experiences with the production of digital orthophotos. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 62: 1189-1190.
- JANSSEN, L.L.F., HUURNEMAN, G.C. (EDS.) (2001): Principles of Remote Sensing. 47. p. ITC Educational Textbook Series; 2th edition. Enschede: ITC. p. 180.
- JERDE, C. L., VISSCHER, D. R. (2005): Gps measurement error influences on movement model parameterization. *Ecological Applications* 15:806–810.

- KAULA, W. M. (1966): Introduction to Satellite Geodesy, Blaisdell Publ. Co., Waltham, Mass.
- KLANG, D. (1998). Automatic detection of changes in road database using satellite imagery. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 32/4: 293-298.
- KRAUS, K.(2007): Photogrammetry: Geometry from images and laserscans (2. kiadás). Walter de Gruyter, Berlin–New York.
- KOÓS, T. (2008): A harcvezetési rendszerekben alkalmazható digitális magasságmodellek és azok jellemzői. *Hadmérnök*. III/4: 129-138.
- KOUBA, J. (1983): A review of geodetic and geodynamic satellite Doppler positioning. *Reviews of Geophysics* 21/1:27–40.
- KUMAR, M., REILLY, J.P. (2006): Is definition of WGS84 correct? A Geodetic Analysis. (<http://www.mycoordinates.org>)
- LEICA Geosystems Geospatial Imaging (2006b) Leica Photogrammetry Suite Project Manager. 434 p.
- LI, Z. (1994): A comparative study of the accuracy of digital terrain models (DTMs) based on various data models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 49/1: 2–11.
- LILLASAND, T. M., KIEFER, R. W., CHIPMAN, W. J. (2007): *Remote Sensing and Interpretation*, John Wiley and Sons, Inc.
- LOVAS, T., BERÉNYI, A. (2011): Távérzékelés MSc.1-91. http://www.fmt.bme.hu/fmt/oktatas/feltoltesek/BMEEOFTMK08/taverzekeles_msc_jegyzet.pdf
- LÓKI, J. (1996): Távérzékelés. Debrecen, Kossuth Egyetemi Kiadó. 113p.
- MAANTAY, J., ZIEGLER, J. (2006) GIS for the urban environment, Redlands, ESRI Press.
- MANZER, G. (1996): „Avoiding Digital Orthophoto Problems.” In Cliff Greve, ed. *Digital Photogrammetry – An Addendum to the Manual of Photogrammetry*. Bethesda, MD: American Society of Photogrammetry.
- MÁRKUS, B. (1996): Térinformatikai értelmező szótár, Székesfehérvár: Erdészeti és Faipari Egyetem, 145 p.
- MENA, J.B., MALPICA, J.A. (2005): An automatic method for road extraction in rural and semi-urban areas starting from high resolution satellite imagery. *Pattern Recognition Letters* 26: 1201- 1220.
- MESAS-CARRASCOSA, F.J., RUMBAO, I.C., BERROCAL, J.A.B., PORRAS, A.G.F. (2014): Positional quality assessment of orthophotos obtained from sensors onboard multi-rotor UAV platforms. *Sensors* 14: 22394-22407.
- MÉLYKÚTI G. (2007): Fotogrammetria- BMEEOFTAG12 segédlet a BME Építőmérnöki Kar hallgatói részére. HEFOP/ 2004/ 3.3.1/ 0001.01, 2007. pp. 3-122. <http://www.fmt.bme.hu/fmt/oktatas/feltoltesek/BMEEOFTAG12/ag12segedlet.pdf>

- MÉLYKÚTI, G. (2010): Topográfia 2., Vetületi alapfogalmak. Nyugat-magyarországi Egyetem. 1-13.
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_TOP2/ch01s04.html
- MÉSZÁROS, E. (2005): Hogyan fedezték fel a levegőt. *Magyar Tudomány*, 4:426.
- MONTENBRUCK, O., SCHMID, R., MERCIER, F., STEIGENBERGER, P., NOLL, C., FATKULIN, R., KOGURE, S., GANESHAN, A.S. (2015): GNSS satellite geometry and attitude models. *Advances in Space Research*. 56/6:1015–1029.
- NARANJO, J. E., JIMÉNEZ, F., APARICIO, F., AND ZATO J. (2009): GPS and Inertial Systems for High Precision Positioning on Motorways. *Journal of Navigation*, 62, pp 351-363. doi:10.1017/S0373463308005249.
- PE'ERI, S., LONG, B. (2011): LIDAR Technology Applied in Coastal Studies and Management. *Journal of Coastal Research: Special Issue 62*: 1 – 5.
- PODER, K. (1992): A note on the EUREF System. *IAG EUREF Publication* 1:112–115.
- PRIESTNALL, G., JAAFAR, J., DUNCAN, A. (2000): Extracting urban features from LiDAR digital surface models. *Computers, Environment and Urban Systems*. Volume 24, Issue 2, 65–78.
- RAMOS DOS SANTOS J. P. (2010): Demonstration of the movement of light in Descartes' essay on optics. *Sci. stud.* vol.8 no.3 São Paulo.
- RIZOS, C., B. HIGGINS, M., HEWITSON, S. (2005): SSC2005 Spatial Intelligence, Innovation and Praxis: The national biennial Conference of the Spatial Sciences Institute, September 2005. Melbourne: Spatial Sciences Institute. ISBN 0-9581366-2-9, 1-16.
- ROBERTS, G., MENG, X., DODSON, A. (2004): „Integrating a Global Positioning System and Accelerometers to Monitor the Deflection of Bridges.” *Journal of Surveying Engineering* , 130 (2):65-72.
- SABINS, F.(1996): Remote sensing. Principles and interpretation. W. H. Freeman and Co., p. 494.
- SATIRAPOD, C., CHALERMWATTANACHAI, P. (2005): Impact of Different Tropospheric Models on GPS Baseline Accuracy: Case Study in Thailand. *Journal of Global Positioning Systems* 4/1-2: 36-40.
- SÁRKÖZY, F. – Térinformatika. http://agt.bme.hu/tutor_h/terinfor/t34a.htm
- SHAW, G.A., BURKE, H.K. (2003): Spectral Imaging for Remote Sensing. *Lincoln Laboratory Journal* 14/ 1: 3-28.
- SIRISTYE, F., ZBORAY Z. (2004): Digitális domborzatmodellek készítése katonai térképészeti célokra. HUNDEM 2004. november 11-12. Miskolc, pp. 1-11.
<http://www.unimiskolc.hu/~fkt/hudem/Cikkek/Siristye%20Ferenc%20Zboray%20Zoltan.pdf>
- SLATER, J.A., MALIS, S. (1997): WGS84-Past, Present and Future. *IAG Symposia Vol.118* („Advances in Positioning and Reference Frames”,

- IAG Scientific Assembly, Rio de Janeiro, September 3–9, 1997.), Ed. By F.K. Brunner, Springer-Verlag, 1–7.
- SLONECKER, E.T., MCMAHON, J. (2009): Automated imagery orthorectification pilot, *J. Appl. Remote Sens.* 3(1), 033552
- SUŽIEDELYTĖ-VISOCKIENĖ, J., KUMETAITIENĖ, A., BAGDŽIŪNAITĖ, R. (2011): Accuracy Analysis of Different Surface Reconstruction Modelling Methods For Heritage Objects Digitized Considering Photogrammetric Data. *Geodesy and Cartography*, Volume 37, Issue 2, pages 56-62.
- SZALAY, D. K. (2014): Távérzékelésre és spektroszkópiára alapozott őszi búza fajtaazonosító eljárás Doktori (Ph.D.) értekezés. Szent István Egyetem. Gödöllő. 7-28.
- SZÉKELY, B., MOLNÁR, G., RONCAT, A. (2007): Domborzat- és felületmodellek teljes jelalakos légi lézerszkenneléssel. 8-13.
<http://www.fomi.hu/honlap/magyar/szaklap/2007/12/2.pdf>
- TAHAR, K.N.; AHMAD, A. (2011): Akib, W.A.A.W.M. "UAV-based stereo vision for photogrammetric survey in aerial terrain mapping", *Computer Applications and Industrial Electronics (ICCAIE), 2011 IEEE International Conference on*, On page(s): 443 - 447
- TARSOLY, P. (2010a): Térbeli helymeghatározás navigációs műholdrendszerrel. Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar. 1-13.
- TARSOLY, P. (2010b): Geodézia 12. A mérési hibák. Digitális Tankönyvtár, Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar. 1-22.
- TAWADROUS, M.Y., HELALI, Y.E. (1987): On the determination of satellite coordinates from doppler observations. *Journal of Geodynamics*, 7/3–4: 347-350.
- TELBISZ, T., SZÉKELY, B., TIMÁR, G. (2013): Digitális Terepmodellek - Adat, látvány, elemzés. ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet Természetföldrajzi Tanszék. ISBN 978-963-284-372-8, pp. 5-80.
- VANDAM, T. M., BLEWITT, G., HEFLIN, M. B. (1994): Atmospheric pressure loading effects on Global Positioning System coordinate determinations. *Journal of Geophysical Research*. 99/B12: 23939–23950.
- VARGA, J., (2007): Geodéziai vetületek. (Kataszteri szakmérnököknek) BME
<http://www.agt.bme.hu/varga/vetulettan/katvet.html#sztereo>
- VARGA, J., (2014): Vetület nélküli rendszerektől az UTM-ig.
http://www.agt.bme.hu/staff_h/varga/Osszes/Dok3uj.htm
- VARGA, ZS., BÍRÓ, J. (2013): A Hajdúhát területéről készült légi felvétel és topográfiai térkép pontosságvizsgálata, erdőhatárok geodéziai felmérése alapján. In: Lóki József (szerk.) Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában IV.: Térinformatika Konferencia és Szakkiállítás, Debreceni Egyetemi Kiadó, 481-488.
- VARGA, ZS., FEKETE, Á. (2014): Ortofotó pontossági vizsgálata geodéziai felmérés alapján. *Geodézia és Kartográfia* 66:(7-8) pp. 8-11.
- VARGA, ZS., CZÉDLI, H., KÉZI, CS., LÓKI, J., FEKETE, Á., BÍRÓ, J. (2015a): Evaluating the Accuracy of Orthophotos and Satellite Images in the

- Context of Road Centerlines in Test Sites in Hungary. *Research Journal of Applied Sciences* 10:(10): 568-573.
- VARGA, ZS., CZÉDLI, H., LÓKI, J., BÍRÓ, J., FEKETE, Á. (2015b): Evaluating the accuracy of orthophotos in the context of forest borders in hungarian test sites. *Fresenius Environmental Bulletin* 24:(12) pp. 4239-4245.
- VARGA, ZS., CZÉDLI, H., KÉZI, Cs., BÍRÓ, J., FEKETE, Á., LÓKI, J. (2015c): Studying the accuracy of orthophotos on the example of various terrain models in study areas in Hungary. *Applied Geophysics – megjelenés előtt*
- VARGA, ZS., CZÉDLI, H., KÉZI, Cs., FEKETE, Á. (2015d): Ortofotók pontossági vizsgálata úttengelyek alapján. In: Kocsis Imre (szerk.). *Proceedings of the Conference on Problem-based Learning in Engineering Education*. 99 p. Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2015.10.29. Debrecen: University of Debrecen Faculty of Engineering, 2015. pp. 66-74.
- VARGA, ZS., CZÉDLI, H., BÍRÓ, J., FEKETE, Á. (2015e): Ortofotók megbízhatóságának vizsgálata erdőhatárok geodéziai felmérése alapján. In: Bodzás Sándor (szerk.). *MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ ÉSZAK-KELET MAGYARORSZÁGI RÉGIÓBAN 2015*. 591 p., Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2015.06.11. Debrecen: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2015. pp.348-353.
- VÁGÓ, J., SERES, A., HEGEDŰS, A. (2011): Alkalmazott térinformatika 2. Digitális egyetem. 1-12. <http://meip.x5.hu/files/1602>
- VERŐNÉ, W. M. (2010a): Fotointerpretáció és távérzékelés 1., A távérzékelés fizikai alapjai. Nyugat-magyarországi Egyetem. 1-13.
- VERŐNÉ W. M. (2010b): Fotointerpretáció és távérzékelés 2., Felvevőrendszerek. Nyugat-magyarországi Egyetem. 1-30.
- VERŐNÉ, W. M. (2010c): Fotointerpretáció és távérzékelés 5., Távérzékeléssel szerzett adatok számítógépes kiértékelés. Nyugat-magyarországi Egyetem. 1-32.
- VERŐNÉ W. M. (2010d): Fotointerpretáció és távérzékelés 3., A lézer alapú távérzékelés. Nyugat-magyarországi Egyetem. 1-23.
- VERŐNÉ W. M. (2010e): Földhasználati tervezés és monitoring 3., Távérzékelés, mint földhasználati adatforrás. Nyugat-magyarországi Egyetem. 1-30.
- WAGNER W., ULLRICH A., DUÈLÆ V., MELZER TH., STUDNICKA N. (2006): Gaussian decomposition and calibration of a novel small-footprint full-waveform digitising airborne laser scanner. *ISPRS J. Photogr. Rem. Sens.* 60: 100–112.
- WANG, J., ZHANG, L. (2008): Systematic Errors in Global Radiosonde Precipitable Water Data from Comparisons with Ground-Based GPS Measurements. *J. Climate* 21: 2218–2238.
- XINGXING LI, XIAOHONG ZHANG, XIAODONG REN, MATHIAS FRITSCHÉ, JENS WICKERT, HARALD SCHUH (2015): Precise positioning with current multi-constellation Global Navigation Satellite Systems: GPS,

- GLONASS, Galileo and BeiDou. *Scientific Reports* 5, Article number: 8328.
- XU, G. (2003): GPS Theory, Algorithms and Applications. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- ZANDBERGEN, P. A. (2009): Accuracy of iPhone Locations: A Comparison of Assisted GPS, WiFi and Cellular Positioning. *Transactions in GIS*. 13/1: 5–25.
- ZHANG, J., CHENG, B. (2009): "Distribution optimization of ground control points in remote sensing image geometric rectification based on cluster analysis", *Proc. SPIE* 7497, MIPPR 2009: Medical Imaging, Parallel Processing of Images, and Optimization Techniques, 749707
- ZUMBERGE, J. F., HEFTIN, M.B., JEFFERSON, D.C., WATKINS, M.M., WEBB, F. H. (1997): Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. *Journal of Geophysical Research* 102: B3:5005-5017.

INTERNETES HIVATKOZÁSOK:

- [1]https://digiterra.hu/wpcontent/static/dok/DTMAP_Felhasznaloi_kezikonyv.pdf
- [2]<http://www.agt.bme.hu/varga/publik/hasonlosag/hasonlosag.htm>
- [3]<http://lazarus.elte.hu/hun/digkonyv/szakdolg/fulop/fulop.pdf>
- [4]http://www.agt.bme.hu/staff_h/varga/Osszes/Dok3uj.htm#EOV
- [5]http://www.agt.bme.hu/tantargyak/bsc/bmeeoafag04/BMEEOAFAG04_ea_10.pdf
- [6]<http://vb2.userdocs.ru/informatika/521681/index.html?page=21>
- [7]<http://переводится.рф/навигати>
- [9]<http://www.geo.info.hu/geo/geodezia/gpsmese.pdf>
- [10]<http://www.geo.info.hu/geo/geodezia/gpsmese.pdf>
- [11]http://www.agt.bme.hu/tantargyak/msc/bmeeoafmlt1/BMEEOAFMLT1_ea_06.pdf
- [12]http://www.agt.bme.hu/tantargyak/msc/bmeeoafmlt1/BMEEOAFMLT1_ea_13.pdf
- [13]<http://docplayer.hu/9751215-Munkaanyag-horvath-lajos-a-foldmeresi-alapterkeptartalmanak-felmerese-gps-szel-a-kovetelmenymodul-megnevezese.html>
- [14]https://books.google.hu/books?id=MjNwWUY8jx4C&pg=PA447&hl=hu&source=gsbs_toc_r#v=onepage&q&f=false
- [15]http://www.geo.uszeged.hu/~joe/pub/RS_alk/a_haromdimenzios_pontmeghatározás_gnss_technika_pontsurites_muholdas_helymeghatározás_alapjan.pdf
- [16]http://gnss.be/troposphere_tutorial.php
- [17]http://www.agt.bme.hu/staff_h/bence/ertekezesBence.pdf
- [18]https://www.google.hu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCAQFjAAAhUKEwizjJWf36XHAAhUE1hoKHfURAbM&url=http%3A%2F%2Fwww.agt.bme.hu%2Ftantargyak%2Fbsc%2Fbmeeoafag09%2FBMEEOAFAG09_ea_08.ppt&ei=JmPMVbPhCoSsa_WjhJgL&usq=AFQjCNfkCAeTQ3mi11zieHSY-8D-dQw2RA&sig2=vH1ioHGMg9JMoDKys6mSrQ
- [19]<http://auracle.ca/news/wordpress-content/uploads/2011/09/HU1.jpg>
- [20]http://www.fomi.hu/taverzekeles_oktatoanyag/taverzekeles/elektromagnesesspektrum.htm

- [21]<http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imagery-air-photos/satellite-imagery-products/educational-resources/14623>
- [22]<http://lrg.elte.hu/ffi-muszerkozpont/hu/raman/altalanos>
- [23]https://szie.hu/file/tti/archivum/Szalay_Kornel_Taverzekelesre_es_spektroszkopiara_alapozott_oszi_buza.pdf
- [24]http://w3.geo.info.hu/~ng/tamop_jegyzet/pdf/FHT3.pdf
- [25]http://www.unimiskolc.hu/~foldrajz/hallgato/segedlet/Muholdas_taverzekeles_alapjai.pdf
- [26]http://tamop412.elte.hu/tananyagok/taverzekelt/lecke4_lap1.html
- [27]<http://www.spring-city.org/pdf/2014-02-003.pdf>
- [28]<http://geo.emk.nyme.hu/17854.html?&L=1&id=17854&type=0>
- [29]http://www.racurs.ru/www_download/articles/scanner_imagery_en.pdf
- [30]<http://www.geo.u-szeged.hu/~joe/fotogrammetria/GeoInfo/geoinfo4.htm>
- [31]<http://www2.le.ac.uk/departments/physics/research/eos/format-eo/lecture-notes/matching-of-satellite-aerial-and-close-range-images>
- [32]https://www.washingtonpost.com/business/technology/new-surveillance-technology-can-track-everyone-in-an-area-for-several-hours-at-a-time/2014/02/05/82f1556e-876f-11e3-a5bd-844629433ba3_story.html
- [33]<http://tlp.law.pitt.edu/ojs/index.php/tlp/article/viewFile/123/126>
- [34]<http://www.geo.u-szeged.hu/~laci/ab-Geoinfo-tananyag/ch04s03.html>
- [35]<http://geo.emk.nyme.hu/17854.html?&L=1&id=17854&type=0>
- [36]<http://www.geoshop.hu/geonetwork/srv/hu/main.home?uuid=a3c3406f-caab-4ce8-9737-84976af605d1>
- [37]<http://www.fomi.hu/honlap/magyar/szaklap/2001/02/4.htm>
- [38]http://tr1.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-666217/R8-R6-R4-5800M3_v411A_UserGuide.pdf
- [39]http://www.surveyequipment.com/PDFs/Leica_Viva_GS10_GS15_User_Manual.pdf
- [40]<http://www.gnssnet.hu/valosido.php>
- [41]http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A1000011.FVM
- [42]https://www.cs.elte.hu/blobs/diplomamunkak/bsc_matelem/2015/takacova_nikoleta.pdf

FÜGGELÉK

1. Tudományos tevékenység jegyzéke



DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR



Nyilvántartási szám: DEENK/272/2015.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Varga Zsolt
Neptun kód: L9MVJ8
Doktori Iskola: Földtudományok Doktori Iskola

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű könyvrészlet(ek) (3)

- Varga Z.**, Czédli H., Kézi C., Fekete Á.: Ortofotók pontossági vizsgálata úttengelyek alapján.
In: Proceedings of the Conference on Problem-based Learning in Engineering Education :
29th October 2015. Ed.: Imre Kocsis, University of Debrecen Faculty of Engineering,
Debrecen, 66-74, 2015. ISBN: 9789634739166
- Varga Z.**, Czédli H., Bíró J., Fekete Á.: Ortofotók megbízhatóságának vizsgálata erdőhatárok
geodéziai felmérése alapján.
In: Műszaki tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2015 : konferencia előadásai
: Debrecen, 2015. június 11. Szerk.: Bodzás Sándor, Debreceni Akadémiai Bizottság
Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 348-353, 2015. ISBN: 9789637064326
- Varga Z.**, Bíró J.: Az Ecsedi láp területéről készült légi felvétel pontosságvizsgálata, geodéziai
mérések alapján.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában IV.: Térinformatika Konferencia
és Szakkiállítás, Debrecen, 2013.05.23-2013.05.24. Szerk.: Lóki József, Debreceni Egyetem,
Debrecen, 481-488, 2013. ISBN: 9789633183342

Idegen nyelvű, hazai könyvrészlet(ek) (1)

- Varga, Z.:** Precision assessment of aerial photographs with different resolution based on geodetic
measurements.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában V.: Térinformatikai konferencia
és szakkiallítás : Debrecen, Magyarország, 2014.05.29-2014.05.31. Szerk.: Balázs Boglárka,
Debreceni Egyetem, Debrecen, 411-419, 2014.

Cím: 4032 Debrecen, Egyetem tér 1. □ Postacím: 4010 Debrecen, Pf. 39. □ Tel.: (52) 410-443
E-mail: publikaciok@lib.unideb.hu □ Honlap: www.lib.unideb.hu



Magyar nyelvű tudományos közlemény(ek) hazai folyóiratban (1)

5. **Varga Z.**, Fekete Á.: Ortofotó pontossági vizsgálata geodéziai felmérés alapján.
Geodézia és Kartográfia. 66 (7-8), 11, 2014. ISSN: 0016-7118.

Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) külföldi folyóiratban (3)

6. **Varga Z.**, Czédli, H., Lóki, J., Bíró, J., Fekete, Á.: Evaluating the accuracy of orthophotos in the context of forest borders in hungarian test sites.
Fresenius Environ. Bull. 24, 2015. ISSN: 1018-4619.
IF:0.378 (2014)
7. **Varga Z.**, Czédli, H., Kézi, C., Bíró, J., Fekete, Á., Lóki, J.: Studying the accuracy of orthophotos on the example of various terrain models in study areas in Hungary.
Appl. Geophys. Epub, 2015. ISSN: 1672-7975.
8. **Varga Z.**, Czédli, H., Kézi, C., Lóki, J., Fekete, Á., Bíró, J.: Evaluating the Accuracy of Orthophotos and Satellite Images in the Context of Road Centerlines in Test Sites in Hungary.
Res. J Appl. Scien. 10 (10), 568-573, 2015. ISSN: 1815-932X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3923/rjasci.2015.568.573>

További Közlemények

Magyar nyelvű könyvrészlet(ek) (3)

9. , **Varga Z.**, Bíró J.: Az Ecsedi láp területéről készült légi felvétel pontosságvizsgálata, geodéziai mérések alapján.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában 3. Szerk.: Lóki József, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 437-442, 2012. ISBN: 9789633182185
10. K. Bacsó L., **Varga Z.**: Térinformatika alkalmazása a mérnökképzésben.
In: Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában. Szerk.: Lóki József, Kapitális Nyomdaipari Kft., Debrecen, 175-178, 2011. ISBN: 9789633181164



11. **Varga Z.:** Birtokrendezés modellezése egy választott mintaterületen.
In: XVII. Épületgépészeti, Gépészeti és Építőipari Szakmai Napok : szakkiállítás és Nemzetközi Tudományos Konferencia 2011. október 13-14. [elektronikus dokumentum].
Szerk.: Kalmár Ferenc, Balla Tibor ; közread. a Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Debrecen, 1-8, 2011. ISBN: 9789634734642

Nem tudományos folyóiratközlemények (1)

12. **Varga Z.:** A világ kataszteri rendszerei.
Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában II. 2, 488, 2011.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 0,378

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 0,378

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2015.12.21.



2. 2006 évi ortofotó



MAGYAR HONVÉDSÉG GEOINFORMÁCIÓS SZOLGÁLAT

BUDAPEST, II. SZILÁGYI ERZSÉBET FASOR 7-9.
TELEFON: 336-2162, FAX: 336-2165 POSTACÍM: 1525 BUDAPEST 114., PF.: 37.
e-mail: mhiteh@mhiteh.gov.hu

Nyt. szám: 194-22/2012

1. sz. példány

ENGEDÉLY

állami alapadatok felhasználására

A földmérési és térképészeti tevékenységről szóló 1996. évi LXXVI. törvény (a továbbiakban: Fttv.) 6. § (2), valamint a 7. § (1) bekezdésének megfelelően Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Földtudományi Doktori Iskola (4032 Debrecen, Egyetem tér 1.), mint igénylő részére

engedélyezem / nem engedélyezem

Varga Zsolt PhD hallgató „Különböző felbontású légi-és űrfelvételek pontosság vizsgálata geodéziai referenciamérések alapján” című PhD dolgozatának az elkészítéséhez, az L-34-8-C-c, L-34-8-C-d, L-34-20-A-a, L-34-20-A-b, L-34-8-D-d, L-34-9-C-c, L-34-9-C-d, L-34-20-B-b, L-34-21-A-a valamint az L-34-21-A-b 1:25 000 méretarányú térképszelvények által lefedett terület ortofotó kivágatának a felhasználását.

Felhasználási engedély száma: 194-22/2012 – HM

A 63/1999. (VII. 21.) FVM-HM-PM együttes rendelet 14. § (2) bekezdésének megfelelően az adatfelhasználást díjmentesen engedélyezem.

Felhívom az igénylő figyelmét, hogy az állami alapadatok felhasználásával készült termékből bevétel nem származhat, valamint kereskedelmi és reklámcélokra nem használható fel.

A földmérési és térképészeti állami alapadatok kezeléséről, szolgáltatásáról és egyes igazgatási szolgáltatási díjakról szóló 63/1999. (VII.21.) FVM-HM-PM együttes rendelet 15. § (4) bekezdésében foglaltak szerint az elkészült terméken fel kell tüntetni az adatfelhasználási engedély számát, az adatfelhasználást engedélyező nevét, valamint a következő szöveget: „Készült az állami alapadatok felhasználásával”. A termék egy példányát annak elkészülte után 15 napon belül az MH Geoinformációs Szolgálat részére le kell adni.

Budapest, 2012. augusztus 23. nap



Lóth László okleveles mérnök ezredes
szolgálatfőnök

HONVÉDELMI MINISZTERIUM
TÉRKÉPÉSZETI KÖZHASZNÚ NONPROFIT
KORLÁTOLT FELELŐSÉGŰ TÁRSASÁG



Nyt. szám: 42-1/2012

1. sz. példány

FELHASZNÁLÓI NYILATKOZAT

Felhasználó:	Varga Zsolt, Debreceni Egyetem Műszaki Kar
Címe:	4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.

A mai napon átadásra kerültek a FELHASZNÁLÓ részére a 2006. évi Észak-Kelet Magyarország ortofotóból készült **kivágatok** alábbi állományai:

Megnevezés:	Terület:	Terepi felbontás:	Vetület:	Formátum:	Spektrum:
Ortofotó-kivágat 1.	Hajdúböszörmény	0,5 m / pixel	EOV georeferált	TIF, TFW	RGB, 24 bit
Ortofotó-kivágat 2.	Nyírlugos	0,5 m / pixel	EOV georeferált	TIF, TFW	RGB, 24 bit

Az adatállományok – az MH GEOSZ szolgálatfőnök 194-22/2012 nyt. számú engedélye alapján – egyszeri felhasználásra – *oktatási kedvezmény*mel kerültek átadásra.

Az állományok ellenértéke:

Megnevezés	Összesen nettó	27% ÁFA	Összesen bruttó
Digitális ortofotó szolgáltatás:	98 560 Ft	26 610 Ft	125 170 Ft

amelyet a HM Térképészeti Közhasznú Nonprofit Kft. által kiállított számla ellenében a FELHASZNÁLÓ egyenlít ki.

A fentiekben leírt adatállományok önálló szellemi terméknek minősülnek, amelyeknek egyedüli kezelője a HM Térképészeti NKft. A felhasználásra vonatkozó korlátozások a következők:

- A digitális állományok térképkészítésre nem használhatók!
- A FELHASZNÁLÓ tudomásul veszi, hogy az átvett digitális állományok csak egy gépre telepíthetők, nem másolhatók, azok csak PhD dolgozat készítésére használhatók.
- A FELHASZNÁLÓ az adatállományra felvéve saját információit, az együttes állomány egyes részleteinek – nem nyomdai minőségű – kinyomtatott változatát PhD dolgozata mellékleteként átadhatja oktatási intézményének és a SZOLGÁLTATÓ előzetes értesítése mellett – feltüntetve a digitális alapanyag tulajdonjogára vonatkozó szöveget – sokszorosíthatja azt (pl. fénymásolat).
- A FELHASZNÁLÓ a saját információval megnövelt, megváltoztatott digitális állományt – mágneses adathordozón, vagy hálózaton – még részállományként sem adhatja át harmadik félnek a SZOLGÁLTATÓ írásbeli engedélye nélkül.
- A FELHASZNÁLÓ a digitális állományt Interneten csak a SZOLGÁLTATÓ írásbeli engedélyével, az eredeti állományhoz való hozzáférést megakadályozva, maximum 150 dpi felbontású raszteres képként publikálhatja.
- A digitális állomány semmilyen kereskedelmi tevékenység alapját nem képezheti, sem analóg, sem digitális kereskedelmi termékben nem felhasználható, csak írásbeli külön engedéllyel.

Budapest, 2012. szeptember 11-én.

Átadó a HM Térképészeti NKft. részéről

.....
Urbán János

adatszolgáltató mérnök

Átvevő a FELHASZNÁLÓ részéről

.....
Varga Zsolt



MŰSZAKI LEÍRÁS Digitális Domborzat Modell

1. Adattartalom

A Digitális Domborzat Modell (a továbbiakban DDM) alapváltozata a DDM-10, amely Magyarország felszíne minden 10 méterenkénti pontjának magassági adatait tartalmazza.

2. Vetületi rendszer

Egységes Országos Vetületi rendszerben (EOV) készült, az Egységes Országos Térképezési Rendszer (EOTR) szelvényezésében, 1:100 000-es méretarányú szelvényenkénti feldolgozással.

3. Adatforrás

- az HM Zrínyi Nonprofit Kft.. tulajdonában lévő;
- általa korábban előállított;
- helyszíni bejárással topográfált;
- légifelvételek alapján helyesbített;
- 1: 50 000-es méretarányú;
- Gauss-Krüger vetületi rendszerű katonai topográfiai térképmű „domborzat kartográfiai eredeti” mérettartó főlái.

4. Technológiai leírás

a) Szkennelés.

A domborzat kartográfiai eredeti főlákról pásztázó digitalizálóval 300 DPI felbontással jött létre a raszteres formátumú kiinduló adatállomány.

b) Vetületi transzformáció, méretarány-váltás.

A Gauss-Krüger vetületi rendszerű raszteres adatállományt EOVS vetületi rendszerbe transzformálás után 1:50 000-es méretarányú EOTR szelvényeket lefedő adatállományok jöttek létre. Négy darab szelvény egymás mellé másolásával, közben elhagyva minden második pixelt, előállt az 1:100 000-es méretarányú EOTR szelvényenkénti, EOVS vetületi rendszerű, raszteres formátumú szintvonalrajz.

c) Interaktív javítás, szerkesztés.

A szkennelési hibák javítása (szintvonalak megszakadása, összeérése), jelkulcsi jelek és megírások törlése (szikla, horhos, eséstüske stb).

d) Értékdadás.

A raszteres szintvonalrajzhoz egy olyan mátrix (3280 sor, 4880 oszlop) hozzárendelése, amelyben a szintvonallal lefedett mátrix elemek értéke megegyezik a szintvonal magasságértékével. Ez az adatállomány a Digitális Szintvonal Modell (DSZM).

e) Generálás.

A DSZM adatállományában a domborzatgeneráló program kiszámítja a szintvonalak közötti pontok magasságértékét. Végeredményként létrejön a Digitális Domborzat Modell, amely a felszín minden 10 méterenkénti pontjának a magasság értékét tartalmazza (DDM-10).

f) Ellenőrzés.

A gyártásközi ellenőrzésen túlmenően a végtermék ellenőrzése a következő módon történik:

1. A szelvény belső területének ellenőrzése

- az adatforrás egységében 30-30 ellenőrző pont kiválasztása:
 - az 1:50 000-es Gauss-Krüger térképről jellemző pontok koordinátáinak és magassági adatainak levételével;
 - az MH TÉHI tulajdonában lévő Geodéziai Adatbázisból jellemző pontok kiválasztása;
 - jellemző pontok: gerincpont, völgypont, tetőpont.
 - az ellenőrző pontok koordinátáinak megfelelő pont magasságértékének kiszámítása a DM-10-ből (az ellenőrzőpont koordinátáihoz legközelebb eső négy mátrix elemmagasságának átlaga);
 - az ellenőrző pontoknak a két forrásból származó magassági adatait összehasonlító statisztika (5. pont alapján) kiértékelése alapján minősül az adott szelvény megfelelőnek.

2. A szelvénycsatlakozás ellenőrzése

Az erre a célra készített program a szelvények átfedő sávjai pontonkénti összehasonlításával megmutatja a csatlakozási hibákat, az eltérésekről statisztikát készít. A kiértékelés a belső területtel azonos módon történik.

5. Pontosság

A magassági adatok méter élességűek.

A pontossági követelmények felszín típusonként:

Síkvidék

- átlagos tereplejtés < 2%
- átlagos hiba < 0,8 m;
- max. hiba a pontok
90%-nál < 1,6 m;
- max. megengedett
hiba < 2,4 m.

Dombvidék

- átlagos tereplejtés 2-6%
- átlagos hiba < 2,5 m;
- max. hiba a pontok
90%-nál < 5,0 m;
- max. megengedett
hiba < 7,5 m.

Hegyvidék

- átlagos tereplejtés > 6%;
- átlagos hiba < 5,0 m;
- max. hiba a pontok
90%-nál < 10,0 m;
- max. megengedett
hiba < 15,0 m.

6. Adatformátum, adatszervezés.

Az adatállomány 1:100 000 méretarányú EOTR szelvényenként van kötegelve. A file bináris file, csak a magassági adatokat tartalmazza, sorfolytonos felépítéssel. Egy magassági adat két byte-on van ábrázolva.

A file felépítése olyan, hogy az első két byte a szelvény Észak-nyugati sarokpontjának magassága, a következő két byte a tőle rácsávolsággal Keletre lévő pont magassága stb.

7. Szolgáltatni tudjuk:

- Különböző rácsávolsággal (10, 20, 50, 100, 200, stb méter).
- Egyszerű leválogatással vagy egy algoritmus szerinti szűréssel.
- Csak a magassági adatokat tartalmazó bináris file-ban, vagy a koordinátákat is tartalmazó ASCII file-ban.

3. 2000, 2005, 2007, 2011 évi ortofotók



Földmérési és Távérzékelési Intézet
Institute of Geodesy, Cartography and Remote Sensing
Institut für Geodäsie, Kartographie und Fernerkundung



1149 Budapest, Bonyhádi tér 5. • H-1592 Ft. 985 • +36 1 222-5101 • +36 1 222-5112 (fax) • info@fomi.hu • www.fomi.hu

Átadás átvételi elismervény

A mai napon a Debreceni Egyetem képviselője átveszi a FÖMI Szolgáltató Igazgatóságától a
„Magyarország Légitfelvétele 2000, 2005, 2007, 2011” program keretében készített légitfelvételek digitális
állományát

ortofotó: a Megrendelő által megadottak szerint 2000. év: 233 km², 2005., 2007., 2011. év: 3 x 288 km²
jpg+jgw formátum, terepi felbontás 0,5 és 0,4 m/pixel
+ Adatfelhasználási díj 13 fő felhasználóra 1 évre (2000. évi adat 1 fő felhasználó 1 évre)
1 db DVD-n postai úton.

A Debreceni Egyetem (4032 Debrecen, Egyetem tér 1.) kötelezettséget vállal arra vonatkozóan, hogy a légitfelvételt kizárólag a 1402/2013. FÖMI iktatószámú, 4500393302/2013 DE nyilvántartási számú szerződésben foglaltak szerint használja fel. Amennyiben az átadott állami alapadatok felhasználásával térinformatikai rendszert tüzemeltet vagy harmadik személy részére értéknövelt terméket állít elő, akkor adat-felhasználási szerződést köt a FÖMI-vel a 63/1999. (VII.21.) FVM-HM-PM rendelet 15.§ vonatkozó rendelkezései szerint.

Jelen adatállományokat, illetve azok részletét tilos bármilyen módon másolni, sokszorosítani, módosítani, harmadik személy részére átadni, valamint bármely formában vagy eszközzel a Földmérési és Távérzékelési Intézet engedélye nélkül közzélni, kivéve a tudományos publikációkat, megjelölve a forrást.
A légitfelvételek vonatkozásában: © 2000, 2005, 2007, 2011 Földmérési és Távérzékelési Intézet. Minden jog fenntartva.

A díj az adat egyszeri és egy eljárásban való felhasználására jogosít. Az adatok továbbadása tilos.

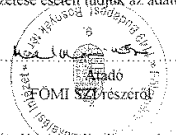
A földmérési és térképészeti tevékenységről szóló 2012. évi XLV. törvény 5. § (5) bekezdésének megfelelően térinformatikai díjat kell fizetni az alábbi termékekre, azok térinformatikai rendszerben történő felhasználása esetén:

- M=1:10.000 topográfiai térkép,
- szintvonaltérkép,
- domborzat modell,
- ortofotó,
- földmérési alaptérkép

Az adatok a megfizetett térinformatikai díjhoz tartozó feltételek (felhasználószám, időtartam) szerint térinformatikai rendszerben felhasználhatók. A jogszerű használata kezdete: a számla kiállításának dátuma.

Kérjük, ellenőrizze az átvett adatállományt! Javasoljuk, hogy készítsen róla biztonsági másolatot! Az átadott adatokat az átvételtől számított 30. napig őrzük meg. Reklamációt ezen időn belül fogadunk el, az adatállományokat díjmentesen cseréljük. Ezt követően csak a díj ismételt megfizetése esetén tudjuk az adatot ismételtén átadni.

Budapest, 2013. október 29.



A jelen elismervényben megjelölt adatokat átvettem. Az átadás átvételi elismervény aláírásával kijelentem, hogy azokat az adatokat, melyekért nem fizettem térinformatikai díjat, térinformatikai rendszerben nem használom fel.

Budapest, 2013. október

Átvető

4. OGPSH pontok



Földmérési és Távérzékelési Intézet
Institute of Geodesy, Cartography and Remote Sensing
Institut für Geodäsie, Kartographie und Fernerkundung



1148 Budapest, Bosnyák tér 5. • H-1582 Pf.: 595 • +36 1 222-5101 • +36 1 222-5112 (fax) • info@fomi.hu • www.fomi.hu

Átadás átvételi elismervény

A mai napon a Debreceni Egyetem Műszaki Karának hallgatója Varga Zsolt átveszi a FÖMI Szolgáltató Igazgatóságától térítésmentesen a földmérési és térképészeti tevékenységről szóló 2012. évi XLVI. törvény 6. § (6) bekezdésének megfelelően kutatási célra

a Megrendelő által megadottak szerinti 6 db OGPSH pontleírását pdf formátumban e-mailen.

Varga Zsolt kötelezettséget vállal arra, hogy ha az átadott állami alapadatok felhasználásával harmadik személy részére értéknövelt terméket állít elő, akkor adatfelhasználási szerződést köt a földmérési és térképészeti tevékenységről szóló 2012. évi XLVI törvény 32. § (3) bekezdése szerint.

A földmérési és térképészeti tevékenységről szóló 2012. évi XLVI. törvény 5. § (5) bekezdésének megfelelően térinformatikai és/vagy adatfelhasználási díjat kell fizetni az alábbi termékekre, azok térinformatikai rendszerben történő felhasználása esetén, a földmérési és térképészeti állami alapadatok kezeléséről, szolgáltatásáról és egyes igazgatási szolgáltatási díjakról szóló 63/1999. (VII.21.) FVM-HM-PM rendelet 15.§ vonatkozó rendelkezései szerint.

- M=1:10.000 topográfiai térkép,
- szintvonalrajz,
- domborzat modell,
- ortofotó,
- földmérési alaptérkép

Az adatok a megfizetett térinformatikai és/vagy adatfelhasználási díjhoz tartozó feltételek (felhasználószám, időtartam) szerint térinformatikai rendszerben felhasználhatók. A jogszervi használata kezdete: a számla kiállításának dátuma.

Kérjük, ellenőrizze az átvett adatállományt! Javasoljuk, hogy készítsen róla biztonsági másolatot! Az átadott adatokat az átvételtől számított 30. napig őrzik meg. Reklamációt ezen időn belül fogadunk el, az adatállományokat díjmentesen cseréljük. Ezt követően csak a díj ismételt megfizetése esetén tudjuk az adatot ismételt átadni.

Budapest, 2015. 09. 17.



A jelen elismervényben megjelölt adatokat átvettem. Az átadás-átvételi elismervény aláírásával kijelentem, hogy azokat az adatokat, melyekért nem fizettem térinformatikai és/vagy adatfelhasználási díjat, térinformatikai rendszerben nem használom fel.

Budapest, 2015. szeptember 29 - d

Átvevő
VARGA ZSOLT



Földmérési és Távérzékelési Intézet
Institute of Geodesy, Cartography and Remote Sensing
Institut für Geodäsie, Kartographie und Fernerkundung



1149 Budapest, Bolyai tér 5. • H-1902 PÜ. 585 • +36 1 222-5101 • +36 1 222-5112 (fax) • info@fomi.hu • www.fomi.hu

Átadás átvételi elismervény

A mai napon a Debreceni Egyetem Műszaki Kara hallgatója Varga Zsolt átveszi a FÖMI Szolgáltató Igazgatóságától térítésmentesen a FÖMI/6707-2/2015 iktatószámú engedély alapján

a **Megrendelő által megadottak szerinti 24 km² területre**
digitális domborzatmodell 5x5 felbontásban GRID formátumban

OGPS pontok: 79-4338; 79-4122710-3244; 710-3128; 710-1426; 710-1320 (79-3451; 69-1218 megszünt)
digitális állományt FTP-n.

Varga Zsolt kötelezettséget vállal arra, hogy ha az átadott állami alapadatok felhasználásával harmadik személy részére értéknövelt terméket állít elő, akkor adatfelhasználási szerződést köt a földmérési és térképészeti tevékenységről szóló 2012. évi XLVI törvény 32. § (3) bekezdése szerint.

A földmérési és térképészeti tevékenységről szóló 2012. évi XLVI. törvény 5. § (5) bekezdésének megfelelően térinformatikai és/vagy adatfelhasználási díjat kell fizetni az alábbi termékekre, azok térinformatikai rendszerben történő felhasználása esetén, a földmérési és térképészeti állami alapadatok kezeléséről, szolgáltatásáról és egyes igazgatási szolgáltatási díjakról szóló 63/1999.(VII.21.) FVM-HM-PM rendelet 15.§ vonatkozó rendelkezései szerint.

- M=1:10.000 topográfiai térkép,
- szintvonalrajz,
- domborzat modell,
- ortofotó,
- földmérési alaptérkép

Az adatok a megfizetett térinformatikai és/vagy adatfelhasználási díjhoz tartozó feltételek (felhasználószám, időtartam) szerint térinformatikai rendszerben felhasználhatók. A jogszerű használata kezdete: a számla kiállításának dátuma.

Kérjük, ellenőrizze az átvett adatállományt! Javasoljuk, hogy készítsen róla biztonsági másolatot! Az átadott adatokat az átvételtől számított 30. napig őrizzük meg. Reklamációt ezen időn belül fogadunk el, az adatállományokat díjmentesen cseréljük. Ez követően csak a díj ismételt megfizetése esetén tudjuk az adatot ismételtlen átadni.

Budapest, 2015. 10. 13.


Átadó
FÖMI SZI részéről

A jelen elismervényben megjelölt adatokat átvettem. Az átadás-átvételi elismervény aláírásával kijelentem, hogy azokat az adatokat, melyekért nem fizettem térinformatikai és/vagy adatfelhasználási díjat, térinformatikai rendszerben nem használom fel.

Budapest, 2015. X. 15. - el


Átvevő
VARGA ZSOLT

5. Műszaki leírások



Földmérési és Távérzékelési Intézet
Institute of Geodesy, Cartography and Remote Sensing
Institut für Geodäsie, Kartographie und Fernerkundung



1149 Budapest, Bosnyák tér 5. • H-1592 Pf.: 585 • +36 1 222-5101 • +36 1 222-5112 (fax) • Info@fomi.hu • www.fomi.hu

1. sz. példány

Ügviratszám: FÖMI/5932-2/2014

Ügventéző: Némethné Meier Éva

Telefon: 460-4245

Tárgy: tájékoztatás

Hív. szám:

Melléklet: 9 db

Varga Zsolt úr részére

Debreceni Egyetem
Műszaki Kar
Debrecen, Ótemető u.2-4.
4028

Tisztelt Varga Úr!

A Földmérési és Távérzékelési Intézet (továbbiakban: FÖMI) 2013 októberében szolgáltatott a Debreceni Egyetemnek 2000, 2005, 2007 és 2011 évi ortofotót, melyekkel kapcsolatban megküldött kérdéseire az alábbi tájékoztatást adom, a 2014.05.21-én írt levelében használt pontszámozás szerinti sorrendben.

A 2000- és 2005 évben analóg módon, 2007- és 2011 évben pedig digitálisan készültek a légifelvételek, oly módon, hogy –többek között– ortofotó előállításra alkalmasak legyenek.

1. A légifelvételek méretaránya

Az analóg légifényképezés méretaránya 1:30 000. A digitális kamerára kiírt műszaki dokumentációkban az előállítandó ortofotó méretarányát írtuk elő, a légifelvételek méretarányát nem. Ezen információk a műszaki dokumentációkban a következő szakaszokban találhatóak:

Év	Műszaki dokumentációban található
2000	1.4
2005	1.4
2007	3.1.1
2011	I.

Mint ahogyan már a korábbi levelünkben is megírtuk a méretarány egyenlő a fókusz távolság és a repülési magasság hányadosával.

2. Relatív repülési magasság:

Év	Műszaki dokumentációban található
2000	1.4
2005	1.4
2007	nincs adat
2011	nincs adat

Fókusz távolság: lásd kamera kalibrációs jegyzőkönyv

3. A légifelvételekre vonatkozó külső és belső pontossági adatok

A légifelvételekre vonatkozó külső és belső pontosságra nem volt követelmény, azonban az elkészült ortofotó X és Y irányú négyzetes középphibájának maximuma $\pm 1\text{m}$ lehetett. Előírtuk a felvételi álláspontok utólagos DGPS meghatározását

Év	Műszaki dokumentációban található
2000	1.9.2.3
2005	1.9.2.3
2007	3.1.8
2011	6.2

Továbbá a légiháromszögeléstől elvárt pontosság $m_x=m_y= \pm 40\text{ cm}$ volt az illesztőpontokon. Ennek biztosítása esetén ezzel a pontossággal jellemezhetjük a légifelvételek abszolút tájékozási paramétereinek a meghatározását is.

A belső pontossági elemek a kamera kalibrációs jegyzőkönyv alapján állapíthatók meg: lásd kamera kalibrációs jegyzőkönyv

4. A légifelvételezés időpontjai, év, hónap

Év	Repülés időpontja az adott területen
2000	2000.04.21
2005	2005.06.24
2007	2007.07.19, 2007.07.27
2011	2011.08.18, 2011.08.19, 2011.08.21

5. A légifelvételek georeferálásához alkalmazott transzformáció (szoftver)

Erre a feladatra légiháromszögelést és légiháromszögeléses tömbkiegyenlítést írtunk elő, de meghatározott szoftver használatát nem tettük kötelezővé.

Év	Műszaki dokumentációban található
2000	1.2.7

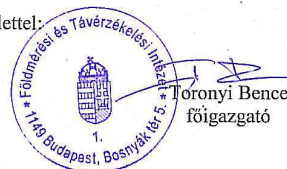
2005	1.2.8
2007	3.1.8, 3.1.9
2011	VII, VIII

6. A felhasznált illesztőpontok darabszáma, eloszlása, és koordinátái (mindkét rendszerben)
A pályázati kiírás a tömb belsejében mért illesztőpontok számát úgy határozta meg, hogy 100 modellenként érje el a legalább 40 db-ot, ezért nem biztos, hogy az Önök által vizsgált területre esik illesztőpont. Tehát illesztőpontok nem találhatóak minden légifelvételen, ezért azokhoz nem rendelhető képenkénti koordináta.

Felhívom a figyelmét, hogy az átadott dokumentációk a FÖMI szellemi termékei, melyek nem használhatóak fel a FÖMI tájékoztatása nélkül és nem hivatkozhatóak a FÖMI megjelölése nélkül.

Budapest, 2014. augusztus 8.

Tisztelettel:



6. OGPSH pontok



FÖLDMŰVELÉSÜGYI
MINISZTERIUM
FÖLDÜGYI FŐOSZTÁLY

Iktatószám: FF/1058/1/2015

Ügyintéző: Jeneiné Nagy Márta
Telefonszám: 1/79-52-193
E-mail: marta.jeneine.nagy@fm.gov.hu
Hivatkozási szám:
Melléklet:

Dr. Szűcs Edit
dékan részére

Debreceni Egyetem Műszaki Kar

info@eng.unideb.hu

Tárgy: Díjmentes adatok kérése Varga Zsolt „Légi és űrfelvételek pontosság vizsgálata geodéziai referencia mérések alapján” című szakdolgozatához

Tisztelt Dékán Asszony!

A tárgybeli kérelemre vonatkozó 2015. június 10-én kelt levelében OGPSH pontokat valamint EOVS pontok által határolt ingatlan-nyilvántartási térképeket igényelt díjmentesen Hajdú-Bihar megye és Szabolcs-Szatmár megye területéről.

A felsorolt EOVS pontok által határolt terület meghaladta a díjmentesen szolgáltatható méretet, ezért telefonon történt egyeztetés után 2015. szeptember 3-án elektronikus levélben módosítás érkezett a koordinátákra vonatkozóan, így az igényelt térképek területe megfelel a díjmentesen igényelhető méretnek.

Kérésume alapján Varga Zsolt „Légi és űrfelvételek pontosság vizsgálata geodéziai referencia mérések alapján” című dolgozatához

— a Földmérési és Távérzékelési Intézettől az alábbi OGPSH pontok:

Kecskemét:
46-2340,
46-4514,
46-30011

Nyíregyháza:
89-4452,
89-4379,
89-4100

— A Hajdú-Bihar Megyei Kormányhivataltól az alábbi EOY pontok által határolt területet ábrázoló ingatlan-nyilvántartási térkép:

Hajdú-Bihar megye (belterület)

834 000	262 500
836 000	262 500
836 000	261 000
834 000	261 000

— A Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Kormányhivataltól az alábbi EOY pontok által határolt területet ábrázoló ingatlan-nyilvántartási térkép:

Szabolcs-Szatmár-Bereg megye (külföldi terület)

870 000	271 000
872 300	271 000
872 300	268 400
870 000	268 400

adatok díjmentes szolgáltatásához – a földmérési és térképészeti tevékenységről szóló 2012. évi XLVI. törvény (a későbbiekben Fttv.) 6. § (6) bekezdésében foglalt jogkörben eljárva – hozzájárulok.

Egyben felhívom a figyelmet arra, hogy átdolgozott vagy azonos tartalmú térképek készítését a földmérési és térképészeti állami alapadatok kezeléséről, szolgáltatásáról és egyes igazgatási szolgáltatási díjakról szóló 63/1999. (VII. 21.) FVM-HM-PM együttes rendelet 15. § (4) bekezdése szabályozza:

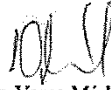
„Minden olyan térképművön - megjelenési formájától függetlenül -, amely az adatszolgáltató szervek által rendelkezésre bocsátott adatok felhasználásával készült, fel kell tüntetni az adat-felhasználási engedély számát, az adatfelhasználást engedélyező nevét, a kiadás sorszámát, valamint a következő szöveget: „Készült az állami alapadatok felhasználásával”. A térképmű egy példányát változatlan utánnomás esetén is annak elkészülte után 15 napon belül az engedélyező részére le kell adni.” A leadandó példányon oktatási anyag, tanulmány, szakdolgozat esetén pdf fájlként, amit elektronikus úton kérünk főosztályunkra (vagy az ügyintéző fenti e-mail címére) eljuttatni. A dolgozat megküldésének elmaradása a Kar későbbi kérelmeinek elbírálását kedvezőtlenül befolyásolja.

Tájékoztatatom továbbá, hogy kérelme, valamint jelen levelem másolatát a

Földmérési és Távérzékelési Intézet főigazgatójának, a Hajdú-Bihar Megyei
Kormány megbízottnak és a Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Kormány megbízottnak
egyidejűleg megküldtem.

Budapest 2015. SZEPTEMBER 16.




dr. Varga Márk
főosztályvezető

7. 2011 és 2013 évi ortofotók

EUROSENSE LÉGI TÉRKÉPÉSZETI Kft.
(EUROSENSE Kft.)

1191 Budapest
Ady Endre út 42-44.
Telefon: +36 1 282 20 19
Fax: +36 1 282 95 74
E-mail: info@eurosense.hu



EUROSENSE®



Címzett: Varga Zsolt

Iktatószám: /2015

Hivatkozási szám:

Dátum: 2015. február 19.

Mellékletek:

ÁTADÁS – ÁTVÉTEL JEGYZŐKÖNYV

Az Eurosense Kft. a mai napon átadja Varga Zsoltnak a Nyíregyháza 2011 évi repüléséből a 4_0349;4_0353 képszámú és a Kecskemét 2013 évi repüléséből a 1_0212 képszámú, 10cm-es terepi felbontású ortofotókat, PhD dolgozat készítése céljából.

Budapest, 2015. február 19.

.....
átadó

Eurosense Kft.

.....
átvevő

Varga Zsolt

8. Úrfelvételek

TIOP-1.3.1-10/1-2010-0006 sz. „A Debreceni Egyetem Műszaki Kar oktatási infrastruktúrájának fejlesztése” pályázat

ÁTADÁS-ÁTVÉTELI NYILATKOZAT

Az átadás-átvétel tárgya:

I. ENVI Oktatási szoftvercsomag

ENVI + IDL 5.0-ás Network Floating verzió, kizárólag oktatási célra szolgáló szoftvercsomag	1 db
Orthorectification Network Floating modul, kizárólag oktatási célra szolgáló szoftvercsomag	1 db
ENVI FX Network Floating modul, kizárólag oktatási célra szolgáló szoftvercsomag	1 db


II. Úrfelvétel

Az 5-ös jelű céltérülettel kapcsolatos QuickBird Ortho Ready Standard 4 band Bundle úrfelvétel felbontása 0,65 méter, a kép katalógus azonosítója a következő: 101001001014C700.	1 db
A 6-os jelű céltérülettel kapcsolatos WorldView2 Ortho Ready Standard 8 Band Bundle úrfelvétel felbontása 0,5 méter, a kép katalógus azonosítója a következő: 1030050020F8AD00. A	1 db

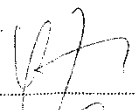
Átadás-átvétel helye: Debreceni Egyetem, Műszaki Kar 4026 Debrecen, Ötemető u. 2-4.

A Debreceni Egyetem képviselőjeként Varga Zsolt a megrendelt ENVI Oktatási szoftvercsomagot s az úrfelvételeket hiánytalanul átvettem.

Budapest, 2013. augusztus 30.



Varga Zsolt, Debreceni Egyetem
Átvevő



Kákonyi Gábor, GeoIQ kft.
Átadó

GeoIQ Kft.
1058 Pálfiakert utca 5b
Kakasszegy utca 5b
Adószám: 14448524-2-10
Cg.13-09-122647

Oldal: 1 / 1