

# Űrfelvételekből származtatott digitális felületmodell minőségének ellenőrzése a magyarországi nagyfelbontású digitális domborzatmodell alapján

*Winkler Péter–Iván Gyula*

Földmérési és Távérzékelési Intézet (FÖMI), Budapest

*Simon Kay–Peter Spruyt–Rafal Zielinski*

EU Egyesített Kutató Központ (JRC), Ispra, Olaszország



## 1. Bevezetés

Az elmúlt években egyre bővült a földmegfigyelő mesterséges holdak felvételezési tárháza mind a felbontás, mind a szolgáltatott termékek vonatkozásában. A közelmúltban váltak elérhetővé az igen nagy felbontású (0,5 m–1,0 m), közeli infratartományra is kiterjedő űrfelvételek. Az amerikai Endeavour űrsikló fedélzetéről radar módszerrel végzett topográfiai felmérés (angol Shuttle Radar Topographic Mission, a továbbiakban SRTM) adataiból interferencia útján származtatott, és a francia SPOT-5 elnevezésű távérzékelési műhold által készített sztereo-felvételekből (SPOT-Image Reference 3D<sup>®1</sup> – a továbbiakban: SPOT-R3D) előállított digitális felületmodellek készültek.

Az új termékek egyre szélesebb körű felhasználást nyernek különböző alkalmazási területeken. Egyik ilyen jelentős felhasználási terület az EU mezőgazdasági támogatás–ellenőrzési programja, amelynek keretében 22 tagországban évente mintegy 164 000 igénylés ellenőrzését végzik el több mint 800 db űrfelvétel felhasználásával. Az erre a célra alkalmazott igen nagyfelbontású

űrfelvételek (angol megnevezésből származó rövidítése: VHR) ma már mintegy 150 000 km<sup>2</sup> területet fednek le. Az űrfelvételek gyors, automatizálható feldolgozási lehetősége és viszonylag elfogadható fajlagos ára további bővülő felhasználást eredményezhet ezen a területen.

Az űrfelvételekből automatikus feldolgozással nyerhető digitális ortofotó előállításának egyik sarkalatos pontja a megfelelő minőségű, egységes feldolgozási pontosságot biztosító digitális domborzatmodell (használatos magyar rövidítése: DDM) megléte, amely azonban vagy nem áll rendelkezésre, vagy nem elérhető minden tagországban. Ezen probléma áthidalására új lehetőségként kínálkozik a már említett SRTM, illetve SPOT-R3D adatbázis. Ahhoz azonban, hogy biztonságosan és hatékonyan tudjuk ezeket az új típusú adatokat kezelni, kellően kell ismerünk azok jellemző tulajdonságait.

Az EU mezőgazdasági támogatások távérzékelési ellenőrzésének technológiájáért felelős Egyesített Kutató Központ (Joint Research Centre – a továbbiakban: JRC) olyan – nagy területen egységes – nagyfelbontású digitális domborzatmodellt és digitális ortofotó adatbázist keresett, amely alapul szolgálhat az űrfelvételekből származtatott hasonló termékek pontosság vizsgálatához. *Wirthardt Csaba*, a FÖMI tudományos munkatársa 2003–2005 között kihelyezett nemzeti szak-

1 A SPOT IMAGE cég termékkatalógusa a sztereo űrfelvételekből származtatott digitális felületmodellről „Reference 3D” néven vezetette be.

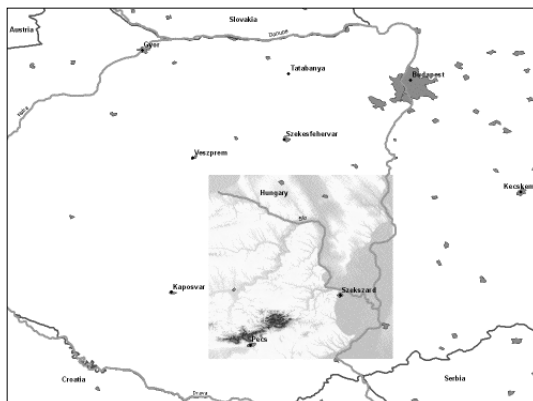
értéként dolgozott a JRC-nél. Ő hívta fel az ottani munkatársak figyelmét Magyarország digitális ortofotó programjára (MADOP), illetve az ahhoz előállított, az 1:10 000 méretarányú topográfiai térképekből levezetett 5 m felbontású DDM-re (a továbbiakban: DDM-5). A JRC ennek alapján kereste meg a Földmérési és Távérzékelési Intézetet egy közös kísérlet lefolytatására, amelynek készséggel tettünk eleget, annál is inkább, mivel ez beillett a FÖMI egységes kutatás-fejlesztési koncepciójába (Mihály, 2004).

## 2. A JRC és FÖMI közös kísérletének célja

Jelen kísérleti feladat végrehajtásának az volt a célja, hogy ún. pilot projekt keretében megállapítsuk a francia SPOT-5 által készített sztereo-felvételekből előállított SPOT-R3D és az amerikai SRTM radar felvételekből interferencia útján származtatott digitális felületmodellek (magyar rövidítése: DFM) alkalmazását a nagyfelbontású űrfelvételekből automatikus eljárással történő ortofotó készítéshez. Az SRTM radar felvételezésekből speciális (ún. InSAR) technikával származtatott és a hagyományos sztereofotogrammetriai eljárással, optikai korrelációval előállított SPOT-R3D adatok elméleti geometriai pontossági vizsgálatának eredményei részben ismertek (Balmer, 1997; Buyuksalih, 2004). Ezen adatok pontosságának megállapítására az elmúlt években számos további összehasonlító tesztvizsgálatot is végeztek, speciálisan kiválasztott és lokálisan lehatárolt területekre vonatkozóan. Ebből adódóan az azokból kapott eredményekből igen nehéz általános érvényes következtetéseket levonni. Mindazonáltal e nagyterjedésű területeket lefedő DFM adatok ma már elérhetőek, és utat nyithatnak a kontinentális méretű ortogonális vetületű képfeldolgozás operatív végrehajtásához, abban az esetben, ha minőségi megbízhatóságuk valóban megfelelő.

Az operatív módon előállított, az űrfelvételekből származtatott digitális ortofotó egyik alkalmazási lehetősége az EU Közös Agrár Politikája (a továbbiakban: KAP) előírásai szerinti mezőgazdasági területalapú támogatások<sup>2</sup> ellenőrzésének végrehajtása – amennyiben az ortofotók megfelelnek az előírt szabványoknak, és kielégítik a pontossági követelményeket. A gazdák által

benyújtott támogatási igénylések ellenőrzéséhez, az igényelt terület nagyságának és növényborítottságának meghatározásához csak az igen nagy felbontású (1 m vagy annál jobb terepi felbontás) űrfelvételek jöhetnek számításba, mert az EU előírásainak megfelelően a támogatás ellenőrzéséhez és a területek lehatárolásához az x, y vízszintes koordináták meghatározását legalább  $m_x = m_y = \pm 2,5$  m pontossággal kell elvégezni (Kay et al., 2003; Kay, 2005). Ez a pontosság csak abban az esetben érhető el, ha a digitális űrfelvételekből előállítandó ortofotók készítéséhez megfelelő pontosságú digitális domborzatmodell áll rendelkezésre. A támogatás ellenőrzés elmúlt tíz éve operatív programjának tapasztalatai azt mutatták, hogy a vízszintes koordináták  $\pm 2,5$  m pontosságának eléréséhez legalább  $m_z = \pm 5$  m magassági pontosságú DDM szükséges. Ez abban az esetben érhető el, ha az ortogonális átalakításba szigorúan csak ún. nadír közeli (a függőleges tengelytől maximum  $30^\circ$  szögtávolságon belül lévő) képterületeket vonjuk be.



1. ábra. A  $\sim 100$  km  $\times$  100 km méretű teszterület elhelyezkedése. A kiválasztott terület változó domborzatú, jelentős részben mezőgazdasági művelés alatt áll.

Chmiel et al. (2004) az EU tagországokon belül sajátosan eloszló 34 mezőgazdasági terület vizsgálata alapján rámutatott arra, hogy az igen nagyfelbontású űrfelvételekből előállított digitális ortofotók pontossága elsősorban a digitális domborzatmodell minőségétől függ. Megállapítást nyert, hogy az EU tagországok számos mezőgazdasági területére nem áll rendelkezésre megfelelő minőségű, azonnali felhasználásra kész DDM. A közelmúltban azonban két új, potenciálisan számba jöhető digitális felületmodell jelent meg a piacon:

<sup>2</sup> Megjegyezzük, hogy az EU területalapú agrártámogatások összeurópai összege évente mintegy 20 milliárd euró, azaz  $\sim$  ötezer milliárd forint.

- a „nyitott forrású”, interneten bárki számára hozzáférhető SRTM ún. C-sávú adatbázis (3"; ~90 m rácssűrűség), amelynek azonban további feldolgozása különös gondosságot igényel;
- a kereskedelmi forgalomban kapható SPOT-R3D termék, amelyet a SPOT-5 műhold fedélzetén elhelyezett 5 m felbontású HRS elnevezésű szenzor (a termékspecifikáció szerint ezt a felbontást utólagos földi feldolgozással 2,5 m-re növelik) sztereo felvételeiből automatikus feldolgozással állítanak elő.

Mindkét felületmodell pontossága hivatalos kísérő dokumentumai szerint  $m_z = \pm 5$  m-nél gyengébb. Mégis – figyelemmel arra, hogy a mezőgazdasági területek domborzata viszonylag szűk lejtési határok között van, ahol a magassági hibák hatása a vízszintes koordinátákra kicsi – megengedhetőnek látszott, hogy a fenti adatok minőségét megvizsgáljuk a mezőgazdasági támogatás ellenőrzés szempontjai szerint.

Ennek a célnak a megvalósítására a SPOT IMAGE adatelosztó cég, a JRC és a FÖMI együttműködési megállapodást kötött, melynek értelmében egy 100 km  $\times$  100 km nagyságú magyarországi, mezőgazdasági művelés alatt álló teszterületre végezzük el az űrfelvételekből származtatott adatok összehasonlító vizsgálatát, a vizsgálati alapot képező MADOP program keretében (Winkler, 2003) az 1:10 000 méretarányú topográfiai térképek szintvonalalaiból előállított nagyfelbontású DDM-hez viszonyítva. A digitális felületmodell digitális domborzatmodellel történő összehasonlítását azért végezhetjük el, mert a vizsgálat célja mezőgazdasági területekre irányul, ahol ez a két domborzati modell típus jó egyezőséget mutat.

### 3. Az adatbázisok és a teszterület

#### 3.1 A SPOT-R3D termék

A SPOT-R3D termék lényegében egy szabályos rácspontokból álló digitális felületmodell, melyet a SPOT-5 fedélzetén elhelyezett 5 m-es nagyfelbontású optikai szenzor által készített felvételek automatikus korrelációjával állítanak elő (SPOT IMAGE, 2005). A kiválasztott teszterület DFM mozaikja 14 db, soron belüli sztereo-átfedéssel rendelkező ilyen felvételtől készült. A felvételek geometriai illesztését nyalábkiegyenlítési eljárással végezték el olyanformán, hogy csak ún. 0-szintre vonatkoztatott magassági illesztő-

pontokat alkalmaztak, amelyből 16 db a tengerpart mentén, azaz a teszterületől igen nagy távolságra helyezkedett el. A vizsgálati területre rendelkezésre bocsátott DFM adatok rácsmérete 1 ívmásodpercrek felel meg – ez a magyarországi teszterületre vonatkoztatva ~ 20 m  $\times$  28 m rácssűrűséget jelent. A vizsgálatba bevont teljes adatbázis 3601  $\times$  3601 cellából áll, ami mintegy 13 Mbyte adatmennyiséget tesz ki. A SPOT-R3D termékspecifikáció szerint az adatbázis magassági megbízhatóságát az EGM-96 elnevezésű geoid felett, 90%-os konfidencia szinten, a következő értékek jellemzik:

- ha a lejtőérték  $< 20\%$ , akkor  $m_z = \pm 10$  m;
- ha a lejtőérték  $20\%$ – $40\%$  közé esik, akkor  $m_z = \pm 18$  m;
- ha a lejtőérték  $> 40\%$ , akkor  $m_z = \pm 30$  m.

Mezőgazdaságilag művelt területekre ez az érték általában  $\sim \pm 7$  m-re tehető, mert lejtőértékeik  $20\%$ -nál akár lényegesen is kisebbek.

A teszterület két részére (melyek a teljes terület 5,2%-át teszik ki) nem állt rendelkezésre SPOT-R3D digitális felületmodell. Az egyik részterületre a felhőfedettség, míg a másik részre mocsaras felszínborítottság miatt az adatbázis automatikus, autokorrelációval történő előállítás nem volt lehetséges. E részterületekre 90 m-es rácssűrűségű SRTM adatokat használtunk fel.

A SPOT IMAGE által rendelkezésre bocsátott adatok tartalmazzák a nagyfelbontású optikai érzékelő felvételeiből származtatott digitális ortofotót is. Az  $1^\circ \times 1^\circ$  területet lefedő digitális ortofotók pixel mérete 1/6 ívmásodperc, ami a magyarországi teszterületre kb. 5 m  $\times$  5 m rácsméretnek felel meg. A termékspecifikáció szerint a vízszintes helyzet pontossága, 90%-os konfidencia szinten, megfelel az  $m_x = m_y = \pm 7$  m értéknek.

#### 3.2 Az SRTM felvételekből származtatott digitális felületmodell

Az űrsikló fedélzetről radar módszerrel végzett topográfiai felmérési misszió (az SRTM) az Amerikai Űrügynökség (NASA) és az amerikai Nemzeti Földmegfigyelő Ügynökség (NGA, National Geospatial-Intelligence Agency) közös projektje, melynek célja Földünk háromdimenziós feltérképezése. Az űrsikló fedélzetén kettős képalkotó radar (angol elnevezéséből rövidítve: SIR-C) és kettős X sávú szintetikus apertúrájú radar (angol elnevezéséből rövidítve: X-SAR) alkotja a bázisvonalú interferométert, egyide-

jüleg két felvételt készítve. Ezen felvételekből háromdimenziós képek állíthatók elő (Bamler, 1997). A NASA Endeavour úrsiklójának fedélzetén elhelyezett eszközökkel 2000. február 11–22. között a Föld északi szélesség 60° és a déli szélesség 56° közötti szárazföld területének több mint 80%-áról készített felvételeket (USGS, 2005).

### 3.3 A teszterület

Az összehasonlító elemzésre kiválasztott magyarországi teszterület északi határoló vonala Budapesttől délre mintegy 100 km-re húzódik, keleti szélét pedig a Duna határolja. Területe a földrajzi koordinátával kifejezve 1° × 1°, ami kb. 100 km × 100 km-nek felel meg. Másképpen, a területet határoló földrajzi koordináták: 18°–19° keleti hosszúság és 46°–47° északi szélesség (*I. ábra*). Erre a területre a SPOT IMAGE cég ren-

delkezésünkre bocsátotta a SPOT-R3D digitális felületmodell mozaikot. A vizsgált terület mérsékeltén változó domborzatú, Pécsről északra hegyvidéki jellegű, melynek maximális tengerszintfeletti magassága 678 m. Jellemző a mezőgazdasági és erdőgazdasági felszínborítottság.

### 4. Az összehasonlító vizsgálat módszertana

A minőségvizsgálati módszert a JRC munkatársai fejlesztették ki, a minőség vizsgálatot a FÖMI munkatársai végezték el. Az úrfelvételekből származtatott digitális felületmodell pontossági vizsgálata az igen jó minőségi paraméterekkel jellemezhető magyarországi digitális domborzatmodellel történő összehasonlításon alapult. A Földmérési és Távérzékelési Intézet az összehasonlító vizsgálat lefolytatásához rendelkezésre bocsátotta az 1:10 000 méretarányú topo-

1. táblázat

| Mesterséges (beépített) felszínek |   | Mezőgazdasági területek |  | Erdős területek |                                 | Vizek |                       |
|-----------------------------------|---|-------------------------|--|-----------------|---------------------------------|-------|-----------------------|
| Kód                               | Elnevezés                                   | Kód                     | Elnevezés  | Kód             | Elnevezés                       | Kód   | Elnevezés             |
| 111                               | Összefüggő településszerkezet               | 211                     | Nem öntözött szántóföldek  | 311             | Lomblevelű erdők                | 511   | Folyóvizek, vízi utak |
| 112                               | Nem összefüggő településszerkezet           | 221                     | Szőlők   | 312             | Tülevelű erdők                  | 512   | Állóvizek             |
| 121                               | Ipari vagy kereskedelmi területek           | 222                     | Gyümölcsösök, bogyósok   | 313             | Vegyes erdők                    |       |                       |
| 122                               | Út- és vasúthálózat és csatlakozó területek | 231                     | Rét / legelő   | 324             | Átmeneti erdő-cserjés területek |       |                       |
| 124                               | Repülőterek                                 | 242                     | Komplex művelési szerkezet   |                 |                                 |       |                       |
| 131                               | Nyersanyag kitermelés                       | 243                     | Elsődlegesen mezőgazdasági területek jelentős természetes növényzettel |                 |                                 |       |                       |
| 132                               | Lerakóhelyek, meddőhányók                   | 321                     | Természetes gyepek, természetközeli rétek                              |                 |                                 |       |                       |
| 141                               | Városi zöldterületek                        |                         |  |                 |                                 |       |                       |
| 142                               | Sport-, szabadidő- és üdülőterületek        |                         |  |                 |                                 |       |                       |

*A teszterületre eső CORINE CLC2000 felszínborítási kategóriák, amelyek összevonásával a négy vizsgált kategóriát lehatároltuk*

gráfiai térképek szintvonalainak vektorizálásával az egész ország területére előállított  $5\text{ m} \times 5\text{ m}$  rácssűrűségű digitális domborzatmodell tesztterületet lefedő részét. A nagy pontosságú magyar digitális domborzat modell magassági középhibáját az ország területét lefedő 55 000 db negyedrendű háromszögelési pont pontleírás szerinti magassági értéke és a szintvonalak alapján levezetett DDM-ből interpolált magassági értéke közötti eltérések alapján  $\pm 70\text{ cm}$  értékkel jellemezhetjük, ami egy nagyságrenddel jobb az űrfelvételekből származtatott adatok pontosságánál (Winkler, 2004).

#### 4.1 Felszínborítási kategóriák

A CORINE elnevezésű európai környezetvédelmi program részeként Európa térségére létrehozott, 1:100 000 méretarányú megfelelő felbontású földfelszínborítási adatbázis (angol megnevezéséből a rövidítés: CLC) magyarországi darabját a FÖMI készítette el, immár két időpontra. A 2000. évi időpontú felújított, CLC 2000 elnevezésű felszínborítási adatbázis (Büttner et al., 2001) alapján a FÖMI munkatársai elkészítették a tesztterület összevont, jellemző négy fő tematikát (beépített, mezőgazdasági és erdős területeket és a vízrajzi elemeket) tartalmazó felszínborítási térinformatikai adatbázisát (1. táblázat). Azért az EU szintű CLC 2000 adatbázist alkalmaztuk összehasonlító vizsgálatunknál, mert az igen jó megbízhatóságú, az uniós adatbázisnál lényegesen több információt tartalmazó, 1:50 000 méretarányú megfelelő felbontású, CLC 50 elnevezésű adatbázis csak Magyarországon, magyar kezdeményezésre készült el, így más tagországokban nem áll rendelkezésre.

A fenti alkategóriák összevonásával határoztuk meg a területre a vizsgálatunk szempontjából fontos, összevont kategóriákat. Ezek szerint a területet 5%-ban beépített, 75%-ban mezőgazdasági és 20%-ban erdős felszínborítottság jellemzi. A vízfelületek jelenléte nem szignifikáns, ezért az eljárás során ezen területeket kizártuk a vizsgálatból. Könnyen belátható, hogy az űrfelvételekből levezetett digitális felületmodell pontossága függ a felszínborítottsági kategóriáktól és a lejtőkategóriától, ezért a SPOT-R3D adatbázis alapján a felszínborítási kategóriákon belül négy lejtőkategória csoportot határoltunk le 0%–10%; 10%–20%; 20%–40% és nagyobb, mint 40% felosztásban.

#### 4.2 A SPOT-R3D alapján előállított

##### *nagyfelbontású ortofotó pontosság vizsgálata*

A HRS űrfelvételekből előállított digitális ortofotó minőségi ellenőrzését a JRC által készített útmutató (Kay, 2005) előírásainak megfelelően független eljárással meghatározott ellenőrző pontok alapján végeztük el. A független ellenőrző pontokat a „Magyarország Digitális Ortofotó Programja 2000” adatbázis szolgáltatta, melynek vízszintes helyzeti pontossága  $\pm 0,6\text{--}0,7\text{ m}$  középhibával jellemezhető az ország teljes területére (Winkler, 2004). A JRC útmutató előírásai a tesztterületünkönél valamivel kisebb, maximum  $60\text{ km} \times 60\text{ km}$  területet lefedő digitális ortofotók automatikus feldolgozását és pontosság vizsgálatát írja elő, azonban a MADOP jó geometriai megbízhatósága lehetővé tette ennél nagyobb terület vizsgálatát is. Erre a célra mintegy 200 db, mindkét ortofotó-teremben (MADOP és HRS) jól azonosítható képezetű tónuspontot választottunk ki.

#### 4.3 Az SRTM és a SPOT-R3D

##### *adatok egyesítése*

Két, raszteres állományú adatbázis összevetése, összehasonlítása és további eljáráshoz történő együttes felhasználása egyszerűen megoldható, ha azok egymásnak ekvivalens elemekből épülnek fel. Esetünkben azonban különböző tényezők nehezítik a közvetlen összehasonlítást, illetve az adatok egységes felhasználását. Ezek: különböző raszter méretek, eltérő magassági dátum vonatkozási felületek, valamint eltérő vetületi rendszerek. Jóllehet a fejlett térinformatikai szoftverek segítségével e problémák feloldhatók, azonban számolnunk kell az újra-mintavételezési eljárás során felmerülő információ veszteséggel. Különböző megoldások elemző vizsgálata alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a legjobb megoldás, ha az SRTM raszter adatokat „vektor pontokká” alakítjuk át, amelyek azután összehasonlíthatók és összevethetők a SPOT-R3D digitális felületmodellből származtatott vektor pontokkal, illetve lehetőséget biztosítanak arra, hogy a két adatbázist azonos módon használjuk fel, esetenként egymás kiegészítésére.

##### 4.3.1 Abszolút pontossági értékek meghatározása

###### *IV. rendű háromszögelési pontok alapján*

A területre eső mintegy 5000 db EO IV. rendű háromszögelési pont magassági értékeit ösz-

2. táblázat

| Felszínborítási kategória | SPOT-R3D        |           | SRTM            |           |
|---------------------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|
|                           | közép-érték (m) | $m_z$ (m) | közép-érték (m) | $m_z$ (m) |
| Mezőgazdasági             | 0,38            | ± 4,61    | 1,39            | ± 3,81    |
| Erdő                      | 2,85            | ± 8,10    | 2,73            | ± 6,39    |
| Beépített                 | - 3,77          | ± 6,19    | 3,82            | ± 4,70    |

*A SPOT-R3D és az SRTM adatok pontosság vizsgálata ~ 5000 db IV. rendű pont alapján*

szevetettük az SRTM és a SPOT-R3D adatbázis magassági értékeivel. A raszter állományú DFM adatbázisokból a IV. rendű pontok vízszintes helyzetéhez tartozó magassági értékeket bilineáris interpolációval számítottuk. Ezen magassági értékek és a IV. rendű pontok  $z$  értékeinek különbségeiből képeztük az adatbázisokat jellemző középhiba ( $m_z$ ) és számtani középértékeket (2. táblázat).

Hasonló összehasonlító elemzést végeztünk a magyarországi DDM-5 domborzatmodell és az úrfelvételekből származtatott kétféle DFM adataival. Nagy adatbázisokról lévén szó, e vizsgálat elvégzéséhez három különböző összehasonlító eljárás elemzését is elvégeztük.

#### 4.3.2 „Raszter–raszter” módszer

A „raszter–raszter” módszerrel közvetlenül hasonlítunk össze két adatbázist: esetünkben a referenciaként szolgáló magyar DDM-5 adatbázist az SRTM és a SPOT-R3D adataival, az ekvivalens raszter mátrixok egybevetésével, szuperponálásával. Ennek feltétele két adatbázis összehasonlítása esetén: az összehasonlítandó mátrix méretek (sor és oszlop) egyezősége, egyenlő pixel méretek és azonos vetületi rendszerek. Az előzőekben felsorolt feltételek elérése érdekében a referenciaként szolgáló magyar DDM-5 adatbázist áttranszformáltuk a két vizsgálandó adatbázis rendszerébe. Ennek során a legközelebbi szomszédság elvét alkalmaztuk, annak érdekében, hogy elkerüljük új adatok generálódását a referencia DDM-5 adatbázisban. A mátrixok szuperponálása eredményeként megkaptuk a DDM-5 – SRTM és a DDM-5 – SPOT-R3D adatbázisok közötti magasságkülönbségeket pixelenként, melyek alapján statisztikát készítettünk a pontossági, illetve megbízhatósági mérőszámok meghatározására.

Ennek a módszernek az előnye, hogy az adatbázisok valamennyi pixel elemét bevonjuk az elemzésbe, és az elemzés a teljes területre vonatkozik; hátrány viszont, hogy a magassági értékek meghatározása nem interpolálással történik.

#### 4.3.3 Raszter–vektor módszer

A magyar DDM-5 és az SRTM, valamint DDM-5 és SPOT-R3D összehasonlító elemzéshez alkalmazott másik módszer a „raszter–vektor” eljárás. Első lépésként a raszter adatokat koordináta-párokká alakítjuk a pixelek (rácsok) sarokpontjaiban. Ezen vektorértékeket transzformáljuk át a magyar EOV rendszerbe. Ezzel lehetővé válik a két adatbázis szuperponálása és valamennyi pixel sarokpont magassági értékének meghatározása a referencia DDM-5 raszteres adatbázisban. A két adatbázis magasságkülönbségeiből (az eredeti DFM pont és a pixel sarokpont közötti magasságkülönbségből) megbízhatósági statisztika készíthető. Fő előnye ennek a módszernek az, hogy a pontsűrűség és a ponteloszlás azonos a két összehasonlított rendszerben. Hátránya, hogy ebben az esetben sem alkalmazunk interpolációs eljárást a raszterből levezetett magassági értékek meghatározásához.

#### 4.3.4 Raszter–vektor módszer bilineáris interpolációval

A harmadik vizsgált eljárás a „raszter–vektor módszer bilineáris interpolációval”, melynek lényege, hogy a két összehasonlítandó adatbázis rácspontjainak magassági értékeit képezzük, majd ezeket egymásra helyezve a referencia DDM-5 adatbázishoz viszonyítottan a vizsgált SRTM vagy SPOT-R3D rácspontok magasságait bilineáris interpolációval határozzuk meg. Ezen eljárás előnyei:

- rögzített pontsűrűség és eloszlás valamennyi teszterületre;
- valamennyi vizsgált pont magasságát a négy szomszédos pixel csúcspontjainak magasságához interpoláltan határozzuk meg.

Vizsgálatainkhoz végül is ezt az eljárást alkalmaztuk előnyös tulajdonságai miatt.

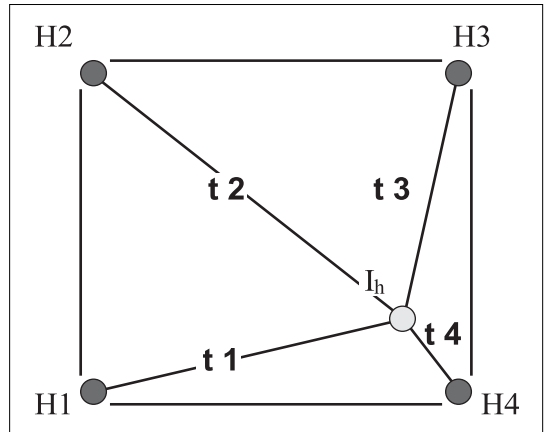
## 5. Alkalmazott átszámítások

A fentiekre is tekintettel az alkalmazott vetületi és dátum egyesítési átszámítások menete a következő volt.

- A HD72 és az EGM96 közötti magassági eltérések 367 db közös ponton számítva 1,5 m szabályos hibát mutattak a teljes teszteredületre. Ezzel az értékkel megjavítottuk a SPOT-R3D és az SRTM valamennyi magassági értékét.
- A minőségellenőrzésben szereplő pontokra vagy WGS-84 (ETRS'89) rendszerben térbeli koordináták, vagy EOVS vetületi rendszerbeli sík koordináták és EOMA magasságok álltak rendelkezésre. Ennek megfelelően szükség volt az EOVS + EOMA rendszerből transzformálni az adatokat WGS-84-be, illetve fordítva. Az ehhez szükséges módszer már korábban ki lett dolgozva, és a transzformációs paraméterek rendelkezésre álltak (Mihály, 1995 és Mihály, 1996). A feladat végrehajtásához ezeket használtuk fel. A magyar olvasók számára könnyen hozzáférhető transzformációs leírás megtalálható jelen szaklapunkban (Mihály, 1994). Amennyiben valaki ezt a módszert térinformatikai célra használni kívánja, akkor annak szoftveres változatát letöltheti a [www.fomi.hu](http://www.fomi.hu) honlapról ingyenes használatra.
- Interpolált magasságok számítása a SPOT-R3D és az SRTM, valamint az 5 m × 5 m magyar DDM között a következőképpen: A 2. ábrán a H<sub>1</sub>–H<sub>4</sub> pontok a DDM-5 rácsmagassági pontjait jelölik. A vizsgált SPOT-R3D adatmodell I pontjának vízszintes helyzetét az I<sub>h</sub> pont jelöli az ábrán. Az I<sub>h</sub> pont interpolált magassági értékét a

$$H_i = \frac{\sum_{j=1}^4 H_j \frac{1}{t_j}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{t_i}}$$

képlet alapján határozzuk meg.



2. ábra

## 6. Az összehasonlító vizsgálatok eredményei

### 6.1 SPOT-R3D eredmények

A francia SPOT optikai szenzor sztereofelvételeiből automatikus korrelációval előállított digitális felületmodell – amint az várható volt – az alacsony lejtőkategória értékű terep felületének magasságai vonatkozásában adja a legjobb pontosságot (3. táblázat). A kapott eredmények jól egyeznek a SPOT termékspecifikációban megadott értékekkel.

Az alacsony lejtőkategória értékű (< 20%) mezőgazdasági területeken kapott  $m_z = \pm 3,03$  m középhiba érték belül van az EU KAP útmutatóban támogatás ellenőrzés céljából a nagyfelbontású űrfelvételekből digitális ortofotó előállítására alkalmazható DFM megbízhatóságára vonatkozó pontossági értékhatáron. Mezőgazdaságilag művelt területeken még a meredekebb lejtőkategóriák esetén is alkalmazhatónak tűnik a SPOT-R3D adatbázis.

3. táblázat

| lejtő %         | Erdő      |                    |                 | Szántó    |                    |                 | Beépített terület |                    |                 |
|-----------------|-----------|--------------------|-----------------|-----------|--------------------|-----------------|-------------------|--------------------|-----------------|
|                 | $m_z$ (m) | pixelek száma (db) | hányad rész (%) | $m_z$ (m) | pixelek száma (db) | hányad rész (%) | $m_z$ (m)         | pixelek száma (db) | hányad rész (%) |
| < 10            | 4,74      | 1 433 913          | 55,9            | 2,65      | 8 462 994          | 90,1            | 3,22              | 558 595            | 91,0            |
| 10–20           | 5,23      | 660 224            | 25,7            | 3,03      | 759 905            | 8,1             | 4,81              | 45 642             | 7,4             |
| 20–40           | 5,98      | 446 315            | 17,4            | 3,57      | 165 457            | 1,8             | 5,78              | 9 268              | 1,5             |
| > 40            | 7,28      | 24 037             | 0,9             | 4,07      | 2 724              | 0,0             | 5,72              | 223                | 0,0             |
| Összes pixel db |           | 2 564 489          |                 |           | 9 391 080          |                 |                   | 613 728            |                 |

A SPOT-R3D adatok vizsgálatának eredményei felszínborítottsági és lejtőkategóriák szerint

| lejtő %         | Erdő         |                       |                    | Szántó       |                       |                    | Beépített terület |                       |                    |
|-----------------|--------------|-----------------------|--------------------|--------------|-----------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|
|                 | $m_z$<br>(m) | pixelek<br>száma (db) | hányad<br>rész (%) | $m_z$<br>(m) | pixelek<br>száma (db) | hányad<br>rész (%) | $m_z$<br>(m)      | pixelek<br>száma (db) | hányad<br>rész (%) |
| < 10            | 6,22         | 159 317               | 55,9               | 1,91         | 940 526               | 90,1               | 1,89              | 62 044                | 91,0               |
| 10 – 20         | 8,44         | 73 378                | 25,7               | 2,64         | 84 234                | 8,1                | 3,11              | 5 086                 | 7,4                |
| 20 – 40         | 9,60         | 49 580                | 17,4               | 3,28         | 18 459                | 1,8                | 3,98              | 1 015                 | 1,5                |
| > 40            | 12,06        | 2 697                 | 0,9                | 4,08         | 298                   | 0,0                | 8,28              | 24                    | 0,0                |
| Összes pixel db |              | 284 972               |                    |              | 1 043 517             |                    |                   | 68 169                |                    |

*Az SRTM adatok vizsgálatának eredményei felszínborítottsági és lejtőkategóriák szerint*

A másik két vizsgált felszínborítási kategória esetében az eredmények csak részben elfogadhatóak. Beépített területeken változó pontossági értékeket kaptunk ( $m_z$  általában nagyobb 5 méternél). Megjegyzendő, hogy a teszterület beépített kategóriájú felszínborítottsága (5%) nem tekinthető jellemzőnek. A 20%-ot kitevő erdő felszínborítottsági kategória már szignifikánsabbnak tekinthető az elemzés szempontjából. A kapott eredmények igazolják azt, hogy a digitális felületmodell automatikus meghatározása során az erdő állomány fakorona magasságát határozták meg (3. táblázat).

Az ortofotó vizsgálata során megállapítottuk, hogy a SPOT-R3D adatok felhasználásával, a SPOT nagyfelbontású optikai érzékelőjével készített felvételekből automatikusan előállított digitális ortofotó – a MADOP adataival összehasonlítva – pontossága  $m_x = \pm 2,64$  m és  $m_y = \pm 5,09$  m belül van a termékspecifikációban megadott pontosságon. Meg kell jegyeznünk, hogy az  $y$  értékekben – 4,01 m szabályos eltolási érték fedezhető fel.

## 6.2 SRTM eredmények

Az SRTM adatokból származtatott digitális felületmodell adatok vizsgálata is azt mutatta, hogy az alacsonyabb lejtőkategóriájú, mezőgazdasági területeken pontosabb értékeket kapunk (4. táblázat), mint a nagyobb meredekségű lejtők esetében. Kapott vizsgálati eredményeink megerősítették a termékspecifikációban közölt értékek megbízhatóságát. A SPOT-R3D adatokhoz hasonlóan az SRTM digitális felületmodell is megbízhatónak mutatkozott az alacsony lejtőkategóriájú (< 20%) mezőgazdaságilag művelt területeken, és jól kielégíti az operatív digitális ortofotó készítéssel szemben támasztott pontossági követelményeket. Az SRTM adatok a vizsgált

teszterületen valamivel jobb megbízhatóságot mutattak, mint a SPOT-R3D adatok.

A másik két vizsgált felszínborítottsági kategória vonatkozásában (a beépített területek és az erdőterületek) a kapott eredmények részben elfogadhatóak. A beépített kategóriák esetében az SRTM adatok jobb eredményt adnak ( $m_z < \pm 4$  m), mint a SPOT-R3D. Az erdő kategóriák vonatkozásában jelentős pontosság csökkenést tapasztalunk. A kapott  $m_z \sim \pm 10$  m érték azonban jó egyezőséget mutat az SRTM termékspecifikáció adataival.

## 7. Következtetések

A magyarországi teszterületen végzett összehasonlító vizsgálatok során kapott eredmények azt mutatják, hogy mindkét DFM termék megbízható felszínborítottsági kategóriákat tartalmazó térinformatikai adatbázis alapján lehatárolt mezőgazdasági területekre vonatkozó pontossági adatai jobbakként, mint a termékspecifikációban megadott értékek. Ennek alapján megállapítható, hogy mindkét adatbázis további feldolgozás, átdolgozás nélkül – az adott területre vonatkozó vetületi és dátum transzformáció elvégzése után – akár elsődleges adatforrásként is alkalmazható a nagyfelbontású űrfelvételek digitális ortofotóvá történő átalakításához, az EU területalapú mezőgazdasági támogatás-ellenőrzési programjának elvégzésére.

## 8. Köszönetnyilvánítás

A szerzők ez úton kívánnak köszönetet mondani azért a segítségért és együttműködésért, amelyet a vizsgálat során nyújtottak: *dr. Mihály Szabolcsnak, Maucha Gergelynek, Orbán Jánosnak, Solymosi Rezsőnek, Pataki Róbertnek, Wirnhardt Csabának* (FÖMI), *Marc Bernardnak, Pierre Bourbének* (SPOT IMAGE), valamint a francia Nemzeti Földrajzi Intézetnek (IGN).



## IRODALOM

- Bamler, R.:* Digital Terrain Model from Radar Interferometry. "Photogrammetric week '97", Wichmann Verlag, Heidelberg, 1997
- Buyuksalih, G.–Oruc, M.–Topan, H.–Jacobsen, K.:* 2004, Geometric Accuracy Evaluation, DEM Generation and Validation for SPOT-5 Level 1B Stereo Scene, EARSeL Workshop "Remote Sensing for Developing Countries", Cairo, 2004
- Büttner, G.–Maucha, G.–Kosztra, B.:* Towards Agri-environmental Indicators Using Land Cover Changes Derived from CORINE Land Cover Data; in: Building Agro Environmental Indicators – Focusing on the European area Frame Survey LUCAS; JRC-EEA-EUROSTAT; EUR Report 20521 EN, 2002
- Chmiel, J.–Kay, S.–Spruyt, P.:* 2004, Orthorectification and Geometric Quality Assessment of Very High Spatial Resolution Satellite Imagery for Common Agricultural Policy Purposes, Proceedings of 20th ISPRS Congress, 12–23 July 2004 Istanbul, Turkey, Commission 4, pp 1019–1025.
- Dusart, J.:* 2004, Pan-European DEM Based on SRTM Data, v. 1.0, IES/JRC, Soil & Waste Unit, Internal technical note EEA-ETC/TE, 2002.
- CORINE Land Cover Update, I&CLC2000 project, Technical Guidelines, <http://terrestrial.eionet.eu.int>
- Kay, S. (ed.):* 2005, Guidelines for Best Practice and Quality Checking of Ortho Imagery, Issue 2.4 [http://agrifish.jrc.it/documents/lpis/2402v2\\_4.pdf](http://agrifish.jrc.it/documents/lpis/2402v2_4.pdf) (viewed 20/05/2005)
- Kay, S.–Spruyt, P.–Alexandrou, K.:* 2003, Geometric Quality Assessment of Orthorectified VHR Space Image Data, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 69, No. 5, pp. 484–491.
- Mihály, Sz.:* 1996, Description Directory of the Hungarian References, Geo-Information-Systeme, Jahrgang 9, Heft 4, August, 1996. Wichmann VERLAG, Heidelberg. P.p. 30–34.
- Mihály Sz.:* 1994, A magyarországi geodéziai vonatkozási és vetületi rendszerek leíró katalógusa, Geodézia és Kartográfia, 1994. 46. évf. 4. sz. Budapest, pp. 198–203.
- Mihály, Sz.:* 1995, Description Directory and Standard for the Hungarian National Reference and Projection Systems, Report, Budapest, 1995 September, CERCO, 17th Plenary Assembly
- Mihály Sz.:* 2004, A Földmérési és Távérzékelési Intézet K + F tevékenysége és eredményei, mint a magyar téradat infrastruktúra része,

# GEODÉZIA ÉS KARTOGRÁFIA

hirdetési díjai:

## SZÍNES OLDALAK

|                    |             |
|--------------------|-------------|
| hátsó külső oldal  | 110.000,-Ft |
| címlap belső oldal | 90.000,-Ft  |
| hátsó belső oldal  | 70.000,-Ft  |

## FEKETE-FEHÉR/BELSŐ

|           |            |
|-----------|------------|
| 1 oldal   | 35.000,-Ft |
| 1/2 oldal | 23.000,-Ft |
| 1/4 oldal | 11.000,-Ft |
| 1/8 oldal | 8.000,-Ft  |

Egyedi megbeszélés alapján lehetőség van szórólap elhelyezésére is.

Áraink az ÁFÁ-t tartalmazzák.

Az árak nyomdakész hirdetésre vonatkoznak, többszöri megrendelés esetén kedvezmény!

Jogi tagjaink részére 10 % engedményt adunk!

A kézirat leadási határideje minden hónap harmadika.

Megrendelés és hirdetésfelvétel:

## MAGYAR FÖLDMÉRÉSI, TÉRKÉPÉSZETI ÉS TÁVÉRZÉKELÉSI TÁRSASÁG

1027 Budapest, II. Fő u. 68. V. emelet 510. Telefon: 201-86-42 Fax: 201-25-26

- Geodézia és Kartográfia, 2004. 56. évf. 8. sz. Budapest, pp. 3–36.
- SPOT IMAGE, 2005, Technical Information: HRS Instrument on SPOT-5 – [http://www.spot-image.fr/html/\\_167\\_224\\_807\\_.php](http://www.spot-image.fr/html/_167_224_807_.php) (Viewed 20/05/2005)
- USGS, 2005, Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 3 Arc Second (~90 meter) – Description <http://seamless.usgs.gov/website/seamless/products/srtm3arc.asp> (viewed 20/05/2005)
- Winkler P.: Magyarország digitális ortofotó programja (MADOP) és nagyfelbontású digitális domborzatmodell (DDM) az ország teljes területére – Geodézia és Kartográfia, 2003. 12. szám
- Winkler, P.: 2004, The National Orthophoto Program of Hungary Completed under Strict Quality Control, Proceedings of 20th ISPRS Congress, 12–23 July 2004 Istanbul, Turkey, Commission 4, pp 376–381.

**Quality Checking of DSM Derived from Satellite Data (SPOT and SRTM) on the Base of Hungarian High Resolution DEM**

*Summary*

The widespread availability of good quality digital elevation data opens the door to systematic and improved automation of orthoimage production, in the context of the Common Agricultural Policy and the checks on aid applications with remote sensing activity. Best practice for production of VHR (<1 m pixel imagery) meeting these requirements usually states a quality of 5 m RMSE in Z is required.

During 2004, two sources have emerged: the “opensource” SRTM C-band (3 arc-sec, approx. 90 m grid size) data, released to the general public via the internet and requiring careful processing, and SPOT Image’s commercial R  f  rence3D product, which is created using the stereo HRS sensor on the SPOT-5 platform. Both data sources have official general specifications somewhat lower than the 5 m RMSEz, but given the usually limited relief in agricultural areas, an investigation into the quality of these dataset was considered an important task.

This presentation will report on the test carried out by the FOMI and JRC to determine the suitability of the SPOT Image R  f  rence3D product covering a single production tile (46-47° North / 18°-19° East, approximately 10,000km<sup>2</sup>) in Hungary. The quality assessment methodology was developed at the JRC, and executed using comparison data available in Hungary by F  MI. The data set used for comparison consisted of high resolution (5 m × 5 m pixel size, accuracy in Z 0.7 m) digital elevation model derived from topographic maps at scale 1:10 000 and points of IV. order triangulation network (accuracy in X, Y – 0.05 m, in Z – 0.1 m; approximately 5000 points). For the transformation between the Hungarian EOVS projection system and the international World Geodetic System (WGS 84) the model elaborated at F  MI has been used.

The results show that the R  f  rence3D for the tile tested performed better than its standard specification, and are suitable for rectification of most VHR imagery in the context of IACS without further processing, besides projection and datum transformations.

**HUNGEO 2006**

**MAGYAR F  LDTUDOM  NYI SZAKEMBEREK**

**VIII. VIL  GTAL  KOZ  JA 2006. AUGUSZTUS 20-25.**

**„ENERGIAHORDOZ  K NYOM  BAN – PANNON T  JAKON”**

**P  cs, Z  gr  b   s Varasd**

**A rendezv  ny szakmai terepbej  r  sokb  l, plen  ris   s szekci  l  sekb  l, valamint poszterki  llit  sb  l   ll.**

**A rendezv  ny k  rlevele megtal  lthat   a HUNGEO honlapj  n: <http://lazarus.elte.hun.hungeo>, <http://www.foldtan.hu>**