

Digitális magasságmodellek összehasonlítása városi környezetben

Kugler Zsófia doktorandusz–Ládai András Dénes doktorandusz–
dr. Barsi Árpád egyetemi docens, tanszékvezető, Budapesti Műszaki
és Gazdaságtudományi Egyetem, Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék



1. Bevezetés, a digitális terepmodellezés főbb lehetőségei

Az elmúlt évtizedekben egyre nőtt az igény a digitális magasságmodellek felhasználására. A megnövekedett szükséglet magával hozta a meglévő módszerek finomítását és újak kifejlesztését 3 dimenziós terepmodellek létrehozására. Ennek aktualitást adott a 2000-ben megkezdett amerikai SRTM úrsikló terepmodellező misszió magassági adatainak napjainkban lezárult feldolgozása, melyről már korábban is jelent meg írás (Timár, 2003). Cikkünk három különböző adatállományt hasonlít össze Budapest belvárosi területéről: egy fotogrammetriai úton nyert felszínmodellt, egy topográfiai térképből levezetett domborzatmodellt és az SRTM projekt radar interferometriával előállított digitális terepmodelljét.

2. Terepmodellezés SAR-interferometria segítségével

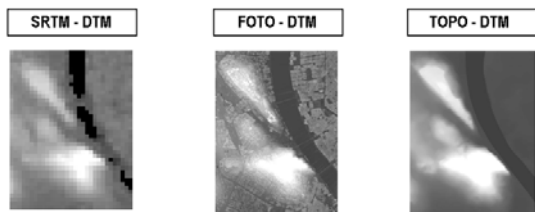
Elsőként az amerikai-európai kezdeményezésű SRTM úrsikló misszió által 2000 februárjában készített SAR-radar felvételekből előállított terepmodellt mutatnánk be. Az SRTM projekt célja a földfelszín magasságának felmérése volt. Adatokat két különböző hullámhosszú mikrohullám kibocsátásával és visszaverődésének mérésével gyűjtöttek ún. C-, illetve X-sávban (hullámhossz: 7,50–3,75 cm és 3,75–2,40 cm) két különböző beesési szögből. Ez előbbi állomány a földfelszín 3 szögmásodperces (~90 m) felbontással, utóbbi valamivel nagyobb, 1 szögmásodperces felbontással (~30 m), de kisebb területen térképezte. Az

adatokat részben az USA-ban, részben Németországban dolgozták fel radar interferometriai módszerrel. Ennek az eredményeként létrehozott digitális terepmodell 1 m vertikális felbontás mellett az előállító által 5–6 m-re becsült hibahatárral rendelkezik. Cikkünkben az Amerikában feldolgozott 90 m felbontású C-sávú terepmodell került összehasonlításra különböző forrásból nyert terepmodellekkel.

Radar felvételekből 3 dimenziós adatnyeréshez – mint már fent említettük – különböző pozíciókból szükséges elkészíteni a felvételt. Az SRTM projekt radar felvételei ún. egyszeri berepüléssel (single-path) készültek, vagyis a két különböző beesési szögből egy időben készült mérés egy hosszú antenna segítségével, ellentétben a korábbi terepmodellezéshez felhasznált tandem radarfelvételekkel (pl. ERS2 vagy RADARSAT), ahol a terepfelszín felett elrepülve „előlnézetből”, később „hátnézetből” készült ugyanazon területről felvétel. Ezen új módszer javított a felvételekből levezetett modellek minőségén a régebben használt tandemekhez képest, különösen a növényzettel borított területeken. E felszínborítási típus felett ugyanis nagy koherenciát mutat a single-track radar pár, vagyis megbízható felszíni magasságértékeket kapunk az interferometriai feldolgozás során (Hochschild et al., 2004.).

3. Térkiértékelés fotogrammetriai módszerrel

Másodsorban légifotó sztereopárból készítetünk digitális magasságmodellt. A légifényképek feldolgozása viszonylag egyenletes rácshálóban pontszerű méréssel történt, hasonlóképpen a radar



1. ábra SRTM radar interferometriával készült digitális terepmodell, fotogrammetriai úton előállított felszínmodell és topográfiai térképből levezetett digitális terepmodell

állományból való térkiértékeléshez. Az eljárás abban tért el az előbb bemutatott módszertől, hogy itt nem interferometria segítségével állítottunk elő magasságkülönbséget a modellterületen, hanem érdeklődési operátorral (interest operator) kiválasztott pontok X, Y, Z térbeli koordinátáit határoztuk meg előmetszéssel a tájékozott térmodellből, majd az így kapott rácpontokat interpoláltuk. A digitális terepmodellt 1:30 000 méretarányú, 60%-os átfedéssel készült légifotópárból állítottuk elő, fél-automatikusan.

Az érdeklődési operátor által az egyik képen megjelölt ponthelyekhez korrelációs együtthatók számításával kerestük meg a másik képen a pont párját. A képpillesztés (image matching) finomítását legkisebb négyzetek módszerének alkalmazásával végeztük, s kaptuk meg a végleges képp koordinátákat. A korrelációs együtthatók egyúttal az előállított terepmodell egyfajta minősítését is jelentik: a jelentősebb mennyiségű növényzettel fedett területeken szignifikánsan alacsonyabb korrelációs értékek jelentkeztek (Kugler et al.). Az előmetszéssel számított térbeli pontfelhőre háromszögháló (TIN) illesztésével szabályos rács volt interpolálható.

A kiértékelés egy digitális felszínmodellt eredményezett, mely tartalmazta a földfelszín magasságán kívül az azon megtalálható mesterséges és természetes terepi objektumok magassági szintjét. A későbbi összehasonlításban ennek további szerepe lesz. Az eredeti sztereo képek térbeli felbontása 0,8 m volt, mely a feldolgozás során egy 3 m felbontású felszínmodellt eredményezett mintegy 0,3–0,5 m függőleges felbontással. A légifényképek azonos képpontjainak automatikus meghatározása esetenként hibához vezethet, vagyis a bal képen automatikusan talált pont nem mindig egyezik meg a hozzá rendelt jobb képi párjával. E hibán felül az eljárással olyan felszíni pontpárokat is meghatározunk, melyek a teljes modellezett felszín jellemző formáit nem vagy csak részben ír-

ják le. A magassági információ pontosságát az interpolációs lépések nagyban befolyásolták. Ezért utólagos manuális javítás volt szükséges.

4. A topográfiai térképekből levezetett domborzatmodell jellemzői

Harmadik módszerként egy domborzatmodellt állítottunk elő a 41–233 és a 41–411-es számú, 1:10000 méretarányú, EOV topográfiai térképszelvények szintvonalainak vektorizálásával. Ezen terepmodell a „csupasz” földfelszín tartalmazta, minden rajta lévő természetes és mesterséges objektum, mint pl. építmény vagy vegetáció nélkül. A digitális szintvonalakból előbb egy TIN, majd egy grid modell készült. Míg ezen végső formáját el nem érte, több köztes állapoton ment keresztül. Az újabb és újabb műveletek pedig erősen befolyásolták a végtermék pontossági megbízhatóságát. Vegyük sorra e műveleteket!

Az alapanyag kartográfált szintvonalsereg. Erőből egy 300 dpi felbontású állomány készült. A pixelméret 0,847 m-re adódik. Egy szintvonal vastagsága 4–5 pixel, ebből átlagosan 4 méteres helyzeti pontosságot számolhatunk a vektorizált szintvonalakra. Erre természetesen hatással van még a szkennelt állományok geodéziai koordinátarendszerbe történő beillesztésének pontossága. S ugyancsak tovább romlik a pontosság a háromszög-modell és a grid adatstruktúra számításához használt interpolációs eljárások következtében.

Meg kell említeni mindemellett, hogy csupán szintvonalak vektorizálásával készült a 3D modell. Egyéb síkrajzi szerkezeti vonalak nem lettek beépítve, emiatt a különböző törésvonalak, a rézsúaljak, rézsútetők környezete erősen elnagyolt. Kivétel ez alól a Duna partvonala, mely a síkrajz alapján lett megszerkesztve.

Városi környezetről lévén szó, a terület erősen beépített. A szintvonalak az épületeknél megszakadnak, az interpoláció azonban ezt elsimítja. Így a végeredmény egy „mi lenne, ha...” állapotot mutat.

5. A légifotó-párból és a topográfiai térképszelvényekből levezetett magasságmodellek összehasonlítása

Elvégeztünk néhány összehasonlító elemzést a légifotó-párból készített és a topográfiai térképszelvényekből levezetett felszín-, illetve domborzatmodelleken. A vizsgálat célja, hogy minél szemléletesebb módon rávilágítsunk a két termék fő különbségeire.

A légifotókból nyert felszínmodell egyik fő különbsége a topográfiai domborzatmodellel összevetve, hogy minden felszínen található tereptárgyat beépít az adatállományba. Így amíg az utóbinál a terepfelszínről van információ, addig a képpár automatikus kiértékelésekor az épített környezet, a növényzet lombkoronaszintje jelenik meg, természetesen a kiértékelte pontok sűrűségének megfelelő minőségben.

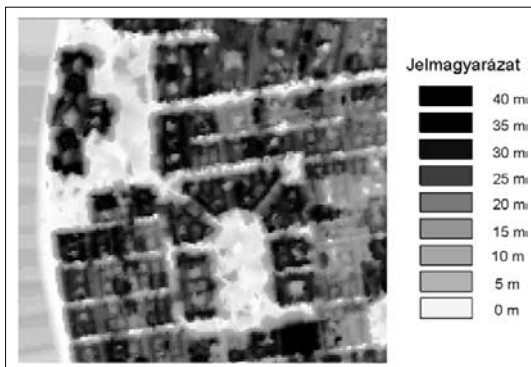
E különbségre a legmegfelelőbb vizsgálat, ha kivonjuk a két modell magasságértékeit egymásból. Ha raszter alapon hajtjuk végre a műveletet, megkapjuk az egyes pixel párokhoz tartozó különbségeket, melyekből további statisztikák készíthetők, illetve meg is tekinthetjük a „különbségképet”, mint térbeli lekérdezés eredményét. A 2. ábrán egy érdekesebb részlet látható a Parlament épületéről és környékéről. Mivel a negatív eltérésű tereppontok – vagyis azon esetek, amikor a fotogrammetriai térkiértékelés alacsonyabb terepszintet eredményezett, mint a topográfiai térképből levezetett magasság – elhanyagolhatóan alacsony számban fordultak elő, ezért az ábrán csak a pozitív eltéréseket tüntettük fel. Az eltéréseket ábrázoló kép egyben az épületek magasságát is megadja, mivel a valós földfelszín és a felszínen lévő terepi tárgyak, objektumok magasságkülönbségét mutatja.

Felmerül a kérdés, hogy mennyire egyezik a két modell, ha kizárólag a terepfelszínen végezzük el a vizsgálatokat. Városi területen belül a kísérlet a következőképpen zajlott.

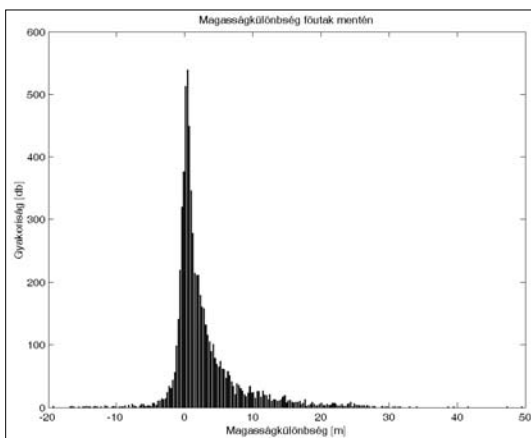
Első lépésben a széles főutakat választottuk ki, amelyekhez a középvezonaktól számítva 2 méteres pufferezónát határoztunk meg. Ezen tartományba eső pixeleket kiemeltük. Az így kapott raszter állomány (mely már igen kevésbé nevezhető képek) hisztogramjának (3. ábra) csúcsa a nulla érték közelében van, várakozásunknak megfelelően.

A következő vizsgálat már egy kényesebb területen történt. Kíváncsiak voltunk, hogy a keskenyebb lakóutcák esetében milyen eredményre vezet a kísérlet. Egy teszterületen, melybe beleestek szélesebb és keskenyebb utcák egyaránt, az előzőhöz hasonlóan 2 méteres pufferezónával vágtuk ki a különbségképet. Az eredményül kapott különbségek hisztogramját a 4. ábra mutatja be.

A hisztogram már egyáltalán nem hasonlít a normális eloszlás megszokott haranggörbéjére! Jól látható, hogy két „csúcsa” van a diagrammunknak. Az egyik a nulla érték közelében, ez az utcaszint eltéréseit mutatja. A másik, a 17 és 27 m magasságkülönbség között, az épületek magasságáról árulkodik.

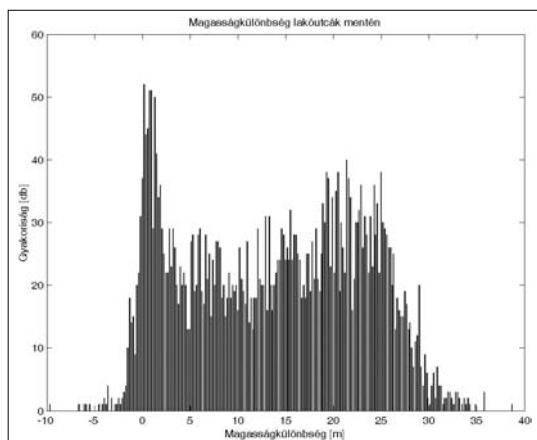


2. ábra A Parlament, illetve a Szabadság tér és környékének topográfiai térképből levezetett és fotogrammetriai úton előállított magasságmodelljének „különbségképe”. A magasságkülönbségek az épületeket és növényzetet nem tartalmazó domborzat magasságának és ezen alakzatokat tartalmazó felszín magasságának eltéréseiből adódnak. Jól látható a különbség az épületek esetében, mely eltérés egyben az adott építmény magasságát is megadja.

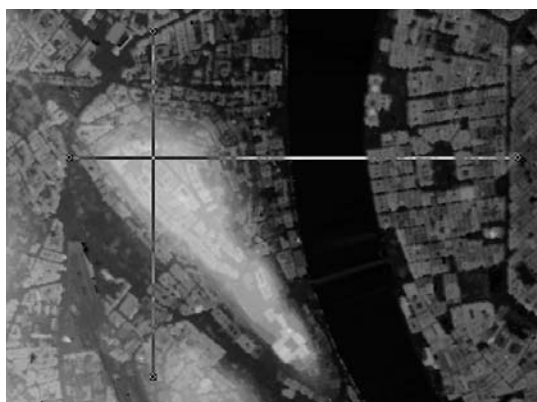


3. ábra Fotogrammetriai úton és topográfiai térképből levezetett módszerrel előállított magasságmodell különbségképeinek hisztogramja Budapest főutcai mentén

A teszterületen előfordultak szélesebb utak (pl. Bajcsy-Zsilinszky út) és egészen szűk utcácskák is. A légifotó-pár automatikus kiértékelése során a szűk lakóutcákba a szükségesnél jóval kevesebb magassági pont került előmetszésre, s ennek köszönhetően a kevés pont interpolációjának eredménye ezeken a kényes területeken jócskán eltér a valóságtól. Más szóval, előfordul, hogy már a légifotó sem „lát be” a magas házak között húzódó keskeny utcákba. Ezen javítani a légifényképek átfedésének növelésével lehet (Jung, 2004),



4. ábra Fotogrammetriai úton és topográfiai térképből levezetett magasságmodell különbségképének hisztogramja Budapest mellékutcai mentén



5. ábra A magasság modellek észak – dél és kelet – nyugat irányú hosszmetstetének elhelyezkedése

ami azt eredményezi, hogy több különböző perspektívából készült felvétel kiértékelése megbízhatóbban írja le a terepszín alakját. További eltérést okoz, hogy ezen területen az utcák mentén ültetett fák lombkorona szintjének magassága ugyancsak megnöveli a különbséget, hiszen a fotogrammetriai kiértékeléskor belekerülnek a modellezésbe, míg a térképből levezetett magassági információban a vegetáció nem szerepel.

A hisztogramon az előbb leírt két csoportosulás közé is szép számmal esnek értékek, ez szintén az utca szint és az épületek teteje közti interpolációs eljárásnak köszönhető. Ez olyankor fordul elő, ha az automatikus fotogrammetriai kiértékeléskor a közös pontpárok kereséskor (image matching) az utca terepszintjén nincsenek pontok, így az interpoláció eredményeként „kimarad” a két ház között az utca szint.

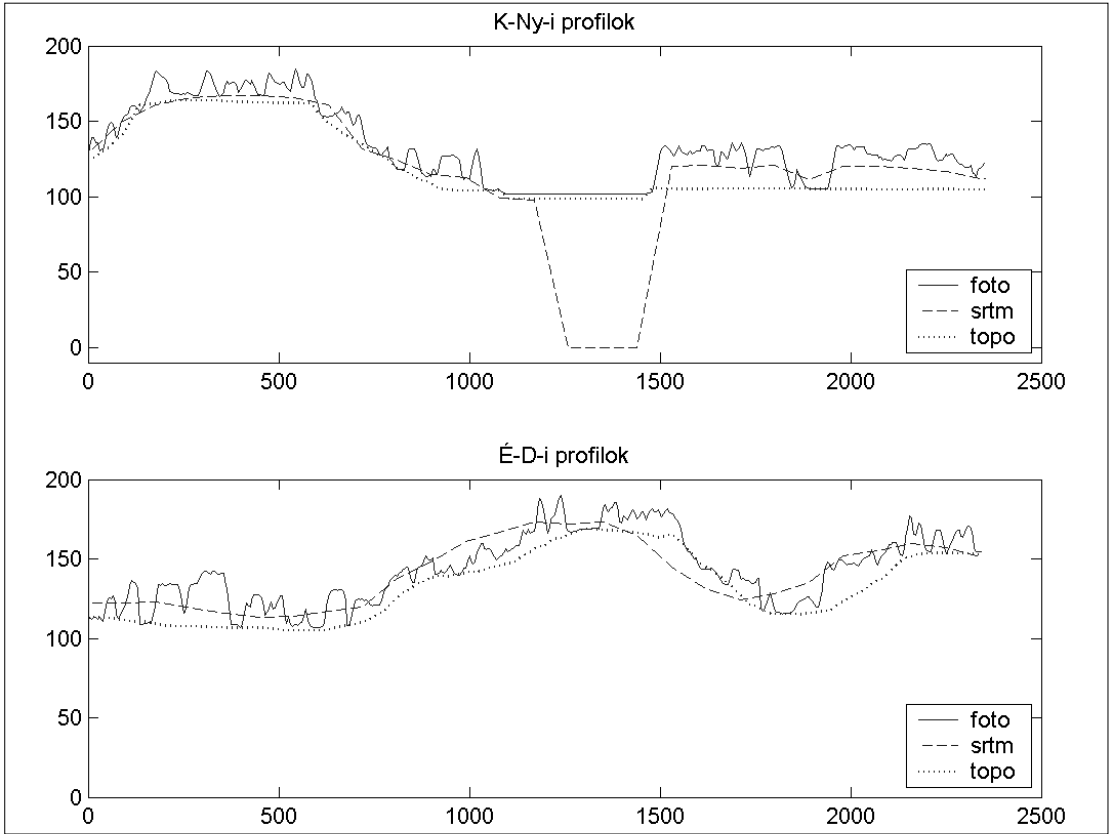
Végezetül tekintsük meg a 6. ábrát, mely a különböző modellek észak – dél és kelet – nyugat irányú hosszmetsteteiből készített profilokat mutatja be! Jól megfigyelhető a fő különbség a domborzat- és a felszínmodell között. A topográfiai levezetésű terepszint lankásan terül el, míg a fotogrammetriai eredetű felszín tartalmazza a tereptárgyak kiemelkedéseit. Ha ez utóbbit a felszíni objektumokat kiszűrjük (megfelelne talán egy minimumfilter), jó közelítéssel megkapnánk a szintvonalakból kapott domborzatmodellünket.

6. A fotogrammetriai úton és a radar-interferometriával előállított felszínmodellek összehasonlítása

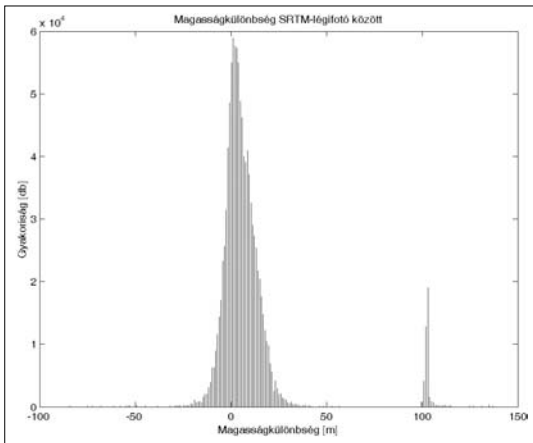
Az SRTM felszínmodellét összehasonlítottuk a sztereo légifotóból levezetett magasságmodellel. Az SRTM hasonlóképpen a fotogrammetriai térkiértékeléssel nyert magasságmodellhez a földfelszínen megtalálható városi objektumokat is leképezi, beleértve a növényzet és az építmények magasságát.

A két modell nagy felbontásbeli különbségéből eleve adódott interpolációs különbség. A légifotóból levezetett modell 3 m raszter méretű adatállománya jobban leképezte a finomabb magassági eltéréseket az utcák és az épületek között, míg az SRTM 90 m felbontású adatállománya ilyen területen erősen simított, és a kettő terepi magasságának átlagát eredményezte. Ez nem mondható a modellezés pontossági hibájának, az eltérés a felbontás különbségéből adódik. Ez a 6. ábrán kiemelt keresztmetszeti profilokon is jól látszik, hiszen az SRTM magassági görbéje a hossz-szelvények mentén a topográfiai térképből levezetett domborzatmodell és a légifotóból levezetett felszínmodell magassággörbéje között fut.

Az SRTM és a légifotóból készített modellek fő eltéréseinek vizsgálatához itt is különbséget képeztünk a két adatállomány magasságértékeiből. A különbségképek hisztogramját ez esetben is megvizsgáltuk (7. ábra). A hisztogram középértéke +8,45 m, szórása 20 m körül van, vagyis a légifotóból levezetett felszínmodell átlagban 8,45 m-rel magasabb értékeket ad az SRTM magasságértékeinél. A Duna 0 magassági értéket vesz fel az SRTM modellen, hiszen a vízzel borított felszín felett rossz koherencia alakul ki a radarképek között, így az interferometriai feldolgozás során a nem megbízható magasság helyett nem rendelnek értéket vízzel borított területekhez. Ezzel ellentétben fotogrammetriai úton kimérhető a vízfelüle-



6. ábra A magasság modellek észak–dél és kelet–nyugat irányú hosszszeteiből készített profilok.



7. ábra Fotogrammetriai és SRTM felszínmodellek különbségképeinek hisztogramja

tek tengerszint feletti magassága. Az így keletkező különbség adja hisztogram második lokális maximumát kb. 100 m körül.

Az előző fejezetben leírtak szerint összehasonlítottuk az SRTM terepmodell és a fotogrammetriai

úton nyert felszínmodell egy kiválasztott É–D-i, illetve K–Ny-i hosszszetét (6. ábra). Az ábrán kitűnik, hogy az SRTM modell 90 m felbontása miatt az utcák és épületek „átlagos” magasságát veszi. A magassági értékekben valószínűsíthető hibák is mutatkoznak, mint pl. az É–D-i profilon, ahol 1500 m távolság körül mind a felszínmodell, mind a domborzatmodell alatt van a magassági értéke.

Összefoglalás

Jelen munkánkban összehasonlításra került egy fotogrammetriai úton nyert felszínmodell, egy topográfiai térképből levezetett domborzatmodell és az SRTM projekt radar interferometriával előállított digitális felszínmodell városi környezetben. A beépítettség függvényében különbség adódott a valós domborzatot modellező adatállomány és a városi objektumokat tartalmazó felszínmodell között. A felbontás nagyban befolyásolta ezen objektumok (pl. épületek, növényzet) magasságának levezethetőségét. Továbbá megemlíthető, hogy vegetációval fedett területek felett fotogrammetri-

ai térkiértékeléssel nehéz pontos eredményt kapni, míg ezen területek felett radar-interferometriával megbízható magassági információt kaphatunk. A vizsgált adatforrásokon túl természetesen léteznek további modellezési lehetőségek, illetve az itt bemutatott modellek megbízhatósága is tovább fejleszthető.

IRODALOM:

Hochschild, V.–Wolf, M.: Ableitung hydrologisch relevanter Reliefparameter aus X-SAR/SRTM-Höhenmodelldaten. In: Strobl/Blaschke/Griesebner (Hrsg.) *Angewandte Geoinformatik 2004*, Beiträge zum 16. AGIT-Symposium Salzburg, Wichmann Verlag, Heidelberg

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt: Shuttle Radar Topography Mission, X-SAR SRTM, Kartierung aus dem All 2002 [online] <http://www.caf.dlr.de/SRTM/SRTM.html> [utolsó hozzáférés: 2004. július]

Jet Propulsion Laboratory: Shuttle Radar Topography Mission, mission to map the world, [online] <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> [utolsó hozzáférés: 2004. július]

Kraus, K.–Waldhäusl, P.: Fotogrammetria, Alapok és általános módszerek, 1998, Tertia Kiadó, Budapest

ERDAS: ERDAS IMAGINE®, Tour Guides, 1997, ERDAS, Inc., Atlanta, Georgia

Detrekői Á.–Szabó Gy.: Térinformatika, 2002, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest

Jung, F.: Surface and terrain reconstruction from very high resolution imagery: where are we now? 24th EARSeL Symposium Proceedings, 2004, Millpress, Rotterdam

Kugler, Zs.–Barsi, A.: Flood risk management with photogrammetry and space-borne remote sensing in Hungary, 24th EARSeL Symposium Proceedings, 2004, Millpress, Rotterdam

Timár G.–Telbisz T.–Székely B.: Úrtechnológia a digitális domborzati modellezésben: az SRTM adatbázis, Geodézia és Kartográfia, 2003. december, Budapest

Comparison of digital terrain models in urban area

Zs. Kugler–D. A. Ládai–Á. Barsi
Summary

This paper presented a comparative analysis of digital terrain modelling in urban area by photogrammetry, radar interferometry and secondary data capturing from topographic map. Difference maps were generated from these selected data sources to analyse model property and quality. Resulting maps were separately investigated in main streets as well as in narrow roads of the city centre in Budapest. Spatial north-south and east-west profiles of the elevation data sets were studied additionally. Results showed the elevation of structural objects like buildings from the ground in the studied build-up area. Terrain data of the SRTM space-shuttle mission was compared to the surface model derived from stereo aerial images. Investigation revealed that the 3 m resolution surface model characterises better the elevation of densely inhabited urban area than the SRTM terrain data with the resolution of 90 m, where interpolation often resulted in an average elevation between buildings and streets.

Az FVM FTF 2002. március 18-i hatállyal kiadta „az állami földmérési alaptérképek felhasználásával készülő egyes sajátos célú földmérési munkák végzéséről és az ezekkel kapcsolatos hatósági eljárások lefolytatásáról, valamint a földügyi szakigazgatásban működő adatszolgáltatás intézményi háttéréről és rendjéről” szóló 13.692/2002. számú

ÚJ F2 Szabályzatot.

A Szabályzat és mellékletei (word formátumban) ingyenesen letölthetők a www.fomi.hu címről, illetve beszerezhető a Földmérési és Távérzékelési Intézetnél.