

Űrtechnológia a digitális domborzati modellezésben: az SRTM adatbázis

dr. Timár Gábor¹–Telbisz Tamás²–dr. Székely Balázs^{1,3}

¹ELTE Geofizikai Tanszék Űrkutató Csoport

²ELTE Természetföldrajzi Tanszék

³Tübingeni Egyetem Földtudományi Intézet, Németország



Bevezetés

Az amerikai NASA (*National Aeronautic and Space Administration*) 1996-ban kezdte meg az SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) programot, amelynek célja a Föld felszíne mintegy 80%-ának digitális domborzati térképezése volt, űrrepülőgép fedélzetén elhelyezett radarrendszer felhasználásával. Halasztás után az Endeavour űrrepülőgépet, fedélzetén a méréshez szükséges berendezésekkel (*1. ábra*) 2000. február 11-én bocsátották fel. A teljes mérési kampány 11 napig tartott. Az űrbeli mérést kiterjedt felszíni GPS-mérésekkel és adott pozíciókon mesterséges viszszaverő felületek elhelyezésével is támogatták.

A mérést követő adatfeldolgozás 18 hónapot vett igénybe, amelyet az amerikai védelmi minisztéri-

um intézménye, a NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*) fővállalkozásában végeztek. A NASA és a NIMA közötti 2003-as együttműködési megállapodásnak megfelelően, a NASA engedélyével, az Egyesült Államok geológiai szolgálata, az USGS (*United States Geological Survey*) archiválja, és a világhálón elérhetővé teszi az adatokat.

A projekt során a térképezett terület digitális domborzati modellje két felbontásban készült el: a pontosabbnak 1 szögmásodperc, a kevésbé részletesnek 3 szögmásodperc a felbontása, amely utóbbi is tízszeres javulást jelent az eddig elérhető legpontosabb globális domborzatmodellhez, a GTOPO30-hoz (*GLOBE Task Team et al., 1999*) képeket (*Farr & Kobrick, 2000; Rabus et al., 2003*). A részletes modell a tervek szerint csak az Egyesült Államok területére érhető el publikusan, míg a 3 szögmásodperc felbontású modellt a 2003. év végéig tervezik nyilvánossá tenni. A térségünket leginkább érintő Eurázsia-adatblokkot 2003. november 1-jén publikálták az Interneten. Ezzel tágabb térségünket ábrázoló olyan publikus adatbázis jött létre, amelynek létét és használhatóságát minden térinformatikával foglalkozó szakembernek érdemes ismerni.

A felhasznált technológia

A mérés során, az űrrepülőgép fedélzetén elhelyezett radarberendezést használtak. Mivel az űrrepülőgépek pályainklínációja 57 fok, a poláris területeket nem érinti, így az SRTM-program keretében térképezhető és térképezett terület a 60 fo-



599E5478 2000.02.18 00:09:32

1. ábra. Az SRTM-berendezés az Endeavour űrrepülőgép fedélzetén, jobbra a második radarantennát tartó, 60 méter hosszú állvány látszik (NASA felvétel)

kos északi, illetve az 57 fokos déli szélességi körök közötti régióra terjed ki. Nem tartalmazza tehát az adatbázis, pl. Finnország domborzatát.

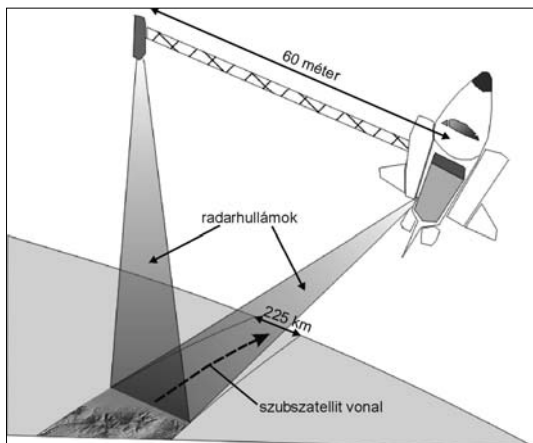
A mérés 5,6 centiméter hullámhosszúságú radarjelekkel történő radar-interferometrián alapul. A jeleket két csatornán, a C- és az X-sávon vették. Az eredetileg német–olasz fejlesztésű, X-sávon működő berendezésnek kissé jobb a felbontása, azonban a repülési pályához, a szubsatellit-vonalhoz képest csak negyedakkora szélességű sávot tud végigpásztázni, mint a 225 km-t átfogó C-sávos műszer. Az interferenciát két, egymástól fix 60 méteres távolságban elhelyezett vevő biztosítja: a nyitott űrrepülőgépből egy 60 méteres rögzített tartószerkezet nyúlt ki, amelynek végén volt a másik érzékelő (2. ábra). Az adatokat az űrrepülőgép fedélzetén rögzítették, így rádió-telemetriára nem volt szükség (Werner, 2001).

Az űrbeli méréseket mintegy 70000 kilométer hosszban, GPS-műszerekkel végzett geodéziai szelvényezés egészítette ki, amely a modell vertikális pontosságát volt hivatva megállapítani és javítani. Emellett a vízszintes pontosság ellenőrzésére és javítására, különösen ritkán lakott területeken, fix pozíciókon jó visszaverő felületű lapokat helyeztek el, amelyek a radarfelvételeken jól láthatóak, és földi illesztőpontokként jól lehetett használni azokat.

Az elérhető adatok

Az eredményként kapott, 3 szögmásodperc felbontású (ill. az USA területét ábrázoló 1 szögmásodperc felbontású) adatok az Interneten bárki számára hozzáférhetőek. Az

<ftp://edcsgs9.cr.usgs.gov/pub/data/srtm/> hálózatosan elérhető adatok földrajzi körzetek, kontinensek szerint vannak csoportosítva (kisebbsé, 30 szögmásodperc felbontású adatok is elérhetőek egy alkönyvtárban). A 3 szögmásodperc felbontású adatok 1x1 fok kiterjedésű foktrapézonként adóttak. A *.hgt kiterjesztésű állományok foktrapézonként 1201x1201 pixelt tartalmaznak, egy képpont 2 byte-os egész számbárázolásban van tárolva, a nagyobb helyértékű byte van elől. Ily módon a hálózat az ellipszoidi koordináták mentén egyenközű, az alkalmazott alapfelület a WGS'84 földi ellipszoid. Az adatfájlok nevében megadott földrajzi szélességi és hosszúsági fokértékek az ábrázolt foktrapéz délnyugati sarkának – pontosabban a délnyugati sarokpixel középpontjának – koordinátáit jelentik. A pixelértékek – az alább tárgyalt kivételekkel – a magasságadatokat tartalmazzák. A magasságok a szintezett magasság



2. ábra. A radar-interferometria alapú mérés elrendezése az űrrepülőgép fedélzetén. A méretek és szögek az érthetőség kedvéért erősen torzítottak.

becslései, amelyek a mérésekből származtatott WGS'84 ellipszoidi magasság és egy globális modellből vett helyi geoidunduláció-érték különbségeként álltak elő. Az 1 szögmásodperc felbontású adatok csak külön megállapodás alapján és komoly biztonsági előírások betartása mellett férhetők hozzá, ill. vásárolhatók meg.

Az adatok használatakor figyelembe kell venni, hogy azok radar-technológia használatával készültek. Vízfelületekről – az elkerülhetetlen hullámzás hatása miatt – bizonytalan jelek érkeznek, emiatt a tengereken és tavakon, illetve folyókon hamis adatok jelennek meg. Ezek egy részét a feldolgozás során kiszűrték, és e pixeleknek NULL értéket (számszerűen 32768-at) adtak.

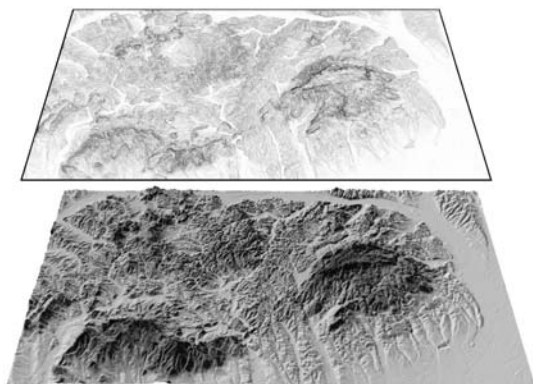
Hasonló NULL értéket kapott számos hegyvidéki pixel is, leginkább az olyan mély völgyek területén, amelyek a felvételi geometriából adódóan radarárnyékban voltak, és ahonnan nem érkezett visszavert radarjel. Értelemszerűen magasabb hegyvidékeken gyakoribb az emiatt bekövetkezett adathiány. Szükség esetén más, gyengébb felbontású modellből pótolhatjuk az itt hiányzó értékeket.

Az 5,6 centiméter hullámhosszú rádiójelek nem hatolnak át a sűrű vagy akár a közepes sűrűségű lombzaton, és természetesen visszaverődnek az épületek szilárd tetőzetéről, burkolatáról. Így a magasságértékek az 5,6 centiméteres hullámhosszú elektromágneses jel számára reflektorként viselkedő réteg szintezett magasságát adják: városokban, erdők területén az épületek, a fák magassága is megjelenik az adatokban! Az erdők fájnak magasság-többlete – az átlagos famagasság megbecslésével – szintén ingyenesen, szabadon hoz-

záférhető, bár az SRTM-mérésnél 8–11 évvel korábban készült Landsat TM úrfelvételek segítségével bizonyos mértékig korrigálható.

Az SRTM domborzati modell alkalmazása a geomorfológiában

Az adatbázis tág lehetőségeket nyit geomorfológiai vizsgálatokra. Távoli, külföldi területek jó felbontású domborzati modelljei csak kevés ország esetén és nagy költséggel voltak elérhetőek, most viszont mindezekhez egyszerűen és ingyen hozzáfuthatunk.



3. ábra. A Mátra, a Bükk, a Karancs-Medves és a Borsodi-dombság képe az SRTM-adatok alapján. Fent a lejtőszögtérkép (a meredekebb lejtők sötétebb színnel jelölve), alul pedig egy árnyékolt perspektív kép látható.

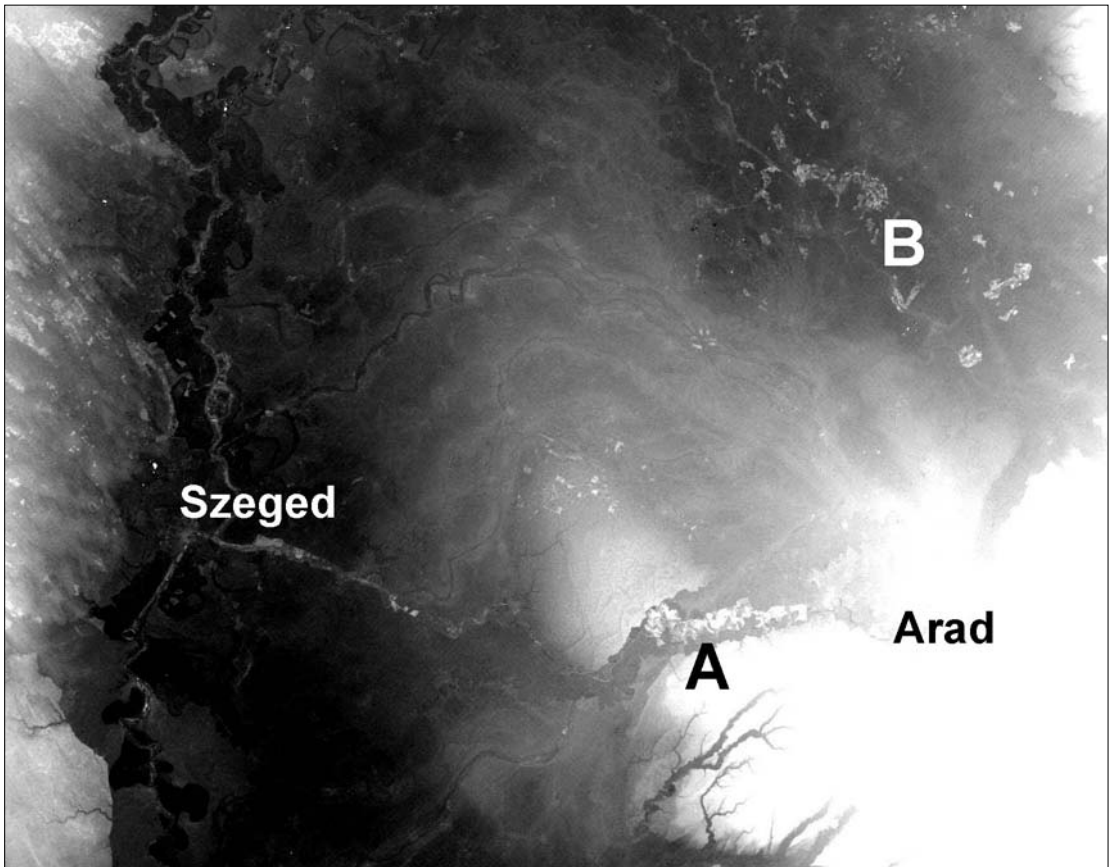
Hasonlóan új távlatok nyílnak a hazai alkalmazások esetén is. Hegy- és dombvidékeken (amennyiben a pontos felszínmagasság nem alapkövetelmény) az ingyenes SRTM-adatok jó alternatívát kínálnak (3. ábra). Még inkább újszerű az alkalmazás lehetősége az alföldi területeken. Szintvonal-alapú nagyfelbontású domborzat modellek ugyan elérhetőek ilyen területekre is (Timár, 2003), azonban ezek az adatok nagyon drágák. Az SRTM-adatok (eltekintve az épületek és erdőrésztetek magasságától) pontosabbak az eddigi, hasonló, pl. a Posta Kísérleti Intézete által fejlesztett (Koós, 1996) vízszintes felbontású modelleknél, és lényegesen jobb adatokat szolgáltatnak az Alföldről, mint pl. a HM Térképészeti Kht. 5–10 méteres alapszintvonalak felhasználásával készített DDM termékei – arról nem is szólva, hogy a határon túli területekre is elérhetőek (4. ábra). Itt elérteztünk az SRTM domborzati modell egyik legfontosabb – ha nem a legfontosabb – előnyös tulajdonságához:

az adatbázis ország- sőt kontinens-független, hibatartományát kizárólag a felszín helyi reliefje, illetve – ahogy már említettük – kismértékben a növényzet határozza meg. Fontos, hogy a pontosságtól sem függ, hogy a térképezett terület sűrűn lakott (ezért gyakran felvételezett) vagy éppen ritkán lakott, nehezen megközelíthető régióról van szó. Korábban, az utóbbi jellegű területek (pl. Afrika) domborzati modelljeit jelentős hibák terhelték, ezért kontinensnyi területeket átívelő elemzések kivitelezése, illetve a más térségekben készült digitális geomorfológiai tanulmányok helyi adaptálása sokszor nehézségekbe ütközött.

Az SRTM-adatok alapján készült digitális domborzat modellek viszont jó lehetőséget nyújthatnak a kvantitatív geomorfológiai törvények érvényességének ellenőrzésére, paramétereik meghatározására. Itt elsősorban a Horton (1945), és később Strahler (1952), majd Shreve (1966) nyomán kibontakozó vízgyűjtő-analízist említhetjük, amely az egyes vízfolyás-szakaszok rendűsége, meredeksége, hossza, lokális vízgyűjtőterülete, vízhozama közötti kapcsolatokat jellemzi (pl. Tarboton et al., 1991). Az SRTM globális jellegéből fakadó előny, hogy ezeket a törvényeket azonos felbontás, azonos vizsgálati módszerek alkalmazásával akár egy kisebb kutatócsoport is megvizsgálhatja sokféle éghajlati és litológiai adottságú területen, így egyes adatbázis állítható össze, amelyből megalapozott következtetések vonhatók le a paramétereiket meghatározó tényezők tekintetében.

A felszínalaktani kutatások egyik kedvenc témaköre a különféle geomorfológiai szintek keresése. A domborzat modellek alapján szerkesztett hipszografikus görbék segítségével ezeknek a szinteknek a létét vagy éppen hiányát lehet feltérképezni. A magassági eloszlások természetesen tetszőlegesen lehatárolható területegységekre könnyen megkaphatók, illetve bizonyos esetekben arra is lehetőség nyílik, hogy a magassági eloszlást akár a digitális domborzat modellből levezethető formacsoportokra (pl. gerinchálózatra, völgyoldalakra, völgytalpakra stb.) határozzuk meg (pl. Ribolini, 2000; Székely, 2001).

Szintén a geomorfológia alapkérdései közé tartozik a lepusztulás mértékének becslése. A domborzat modell – többek között a belőle levezethető lejtőszög-, kitettség-, vízgyűjtőterület-térképek révén – egyrészt lehetőséget kínál egyes felszínformáló folyamatok jelenlegi hatékonyságának becslésére (mekkora területen, milyen intenzív hatásokkal számolhatunk), másrészt, amennyiben egy korábbi felszín rekonstruálható, úgy eszköz-



4. ábra. A Maros hordalékkúpjának és az Alsó-Tisza vidékének domborzata az Alföldön, az SRTM-adatok alapján. A helyenként látható világosabb foltok erdők (pl. a Maros szemlak-ópécskai bevágott völgyében [A] és a Fehér-Körös mentén [B]); a fák is visszaverik a radarjeleket, így a magasságuk „beépül” a modellbe. A kép bal szélén, az erdők mellett a kiskunsági homokvidék jellegzetes buckái is láthatók. Jól követhető a hordalékkúpot építő folyóvizek Gazdag (1959) által leírt, elhagyott medernyomai. A legsötétebb tónus 80 méter és alacsonyabb, a legvilágosabb 120 méter és ennél magasabb tengerszint feletti magasságú területeket jelöl.

ként szolgálhat a lepusztult (vagy éppen felhalmozott) anyag térfogatának meghatározásában is (pl. Kuhlemann, 2000).

Mindezek mellett a domborzat modellek alapján számítható új típusú geomorfológiai mutatók széleskörű értékelése is megvalósítható, amelyek korábban, számítás-igényességük miatt nem jöhettek szóba. Így említhető – többek között – a felszín érdekességének, tagoltságának jellemzésére használható szórás vagy a lefolyás-viszonyokat befolyásoló görbület stb. Ezek a mutatók a korábban is használt más tényezőkkel egyetemben talajtani (pl. Dobos *et al.*, 2000), hidrológiai, kőzet-tani, tektonikai (kiemelkedési) modellek kidolgozásához is fontos támpontot nyújthatnak (pl. Frisch *et al.*, 2000).

Összefoglalás

Az űrtechnológia bázisán fejlesztett részletes, globális domborzat modell, az SRTM egyveretű, országokon átívelő adatbázis, amely független az egyes nemzeti geodéziai szolgálatok adataitól, módszereitől, vetületi rendszereitől. A radartechnika jelentette korlátokat természetesen az értelmezéskor figyelembe kell venni: a magassági adatok tartalmazzák az épületek, erdők, gátak stb. magasságát is. Hegyvidéki területeken ez kevésbé zavaró, azonban a kis természetes magasságkülönbségű alföldi területeken e hatások korrekcióba vétele szükséges.

Az adatbázis ingyenesen, szabadon hozzáférhető, ezáltal kitűnő és költségkímélő lehetőséget

nyújt mind a hazai tájak, mind pedig távoli területek geomorfológiai vizsgálatához.

A dolgozat elkészítéséhez szükséges adatfeldolgozás a MŰI és az IHM közös, TP094 sz. pályázata és a T034928 sz. OTKA pályázat keretében történt.

IRODALOM

Dobos E.–Micheli E.–Baumgardner, M. F.–Biehl, L.–Helt, T. (2000): Use of combined digital elevation model and satellite radiometric data for regional soil mapping. *GEODERMA*, 97/3–4: 367–391.

Farr, T. G.–Kobrick, M. (2000): Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. *Eos, Trans. American Geophys. Union* 81: 583–585.

Frisch, W.–Székely B.–Kuhlemann, J.–Dunkl I. (2000): Geomorphological evolution of the Eastern Alps in response to Miocene tectonics. *Z. Geomorph. NF*, 44(1): 103–138.

Gazdag L. (1959): A Maros régi vízfolyásai és elhagyott medrei az Alföldön. Doktori értekezés (kézirat), Szeged, 137 o.

GLOBE Task Team et al. (1999): The Global Land One-kilometer Base Elevation model. 30 szögmásodperc felbontású digitális domborzati modell.

Horton, R. E. (1945): Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geol. Soc. Am. Bull.* 56: 275–370.

Koós Á. (1996): Digitális terepmodellek a vezető nélküli összeköttetések tervezésében – PKI 1972–1994. Távközlési Könyvkiadó, Bp., 105 o.

Kuhlemann, J. (2000): Post-collisional sediment budget of circum-Alpine basins (Central Europe). *Memorie di Scienze Geologiche [Padova]* 52(1): 1–91.

Rabus, B.–Eineder, M.–Roth, A.–Bamler, R. (2003): The shuttle radar topography mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *Photogrammetric Remote Sensing* 57: 241–262.

Ribolini, A. (2000): Relief distribution, morphology and cenozoic differential uplift in the Argentera Massif (French-Italian Alps). *Z. Geomorph. NF*, 44(3): 363–378.

Shreve, R. L. (1966): Statistical law of stream numbers. *J. Geol.* 74: 17–37.

Strahler, A. N. (1952): Hypsometric (area-altitude curve) analysis of erosional topography. *Ge-*

ological Society of America Bulletin, 63(11): 1117–1141.

Székely B. (2001): On the Surface of the Eastern Alps – a DEM Study. *Tübinger Geowiss. Arb., Reihe A*, 60, 157 p.

Tarboton, D. G.–Bras, R. L.–Rodriguez-Iturbe, I. (1991): On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data. *Hydrological Processes*. 5(1): 81–100.

Timár G. (2003): Az Alföld nagyfelbontású digitális domborzati modellje. *Geodézia és Kartográfia* 55(4): 19–23.

Werner, M. (2001): Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Mission overview. *Journal of Telecommunication (Frequenz)* 55: 75–79.

Space technology in the digital elevation modelling: the SRTM database

*G. Timár–T. Telbisz–B. Székely
Summary*

The Eurasian part of the global elevation data set of the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), the result of an 11-day radar interferometry measuring campaign flew in February 2000, had been recently published and now it is available via the internet. This digital database is the first global high-resolution coverage of the superficial elevation available for free. It improves the data quality of its predecessor, the GTOPO30 data by a factor of 10 in horizontal sense, and, in general, it is designed to be free from local mapping errors and inconsistencies.

However, the data set is, of course, not free from errors. The main source of the inaccuracy is coming from the measuring technology: in the regions with high relief the radar beam response cannot be evaluated from low-lying areas because of the shadowing effect. A further inaccuracy is due to the canopy cover: because of the applied frequency the data include the height of the typical vegetation, e.g., rainforests.

In this paper we briefly assess the advantages and drawbacks of the SRTM digital elevation model (DEM) for the practical use in digital geomorphology. By reviewing some case studies and comparing the data to other available DEMs of the Pannonian basin, we conclude, that this homogeneous data set provides a unique opportunity to uniform and standardize the numerical techniques applied on digital elevation data, and will pave the way for comparative numerical geomorphic studies.