

Primerjava podatkov SRTM z DMV Slovenije

Tomaž Žagar in Sandi Berk*

Povzetek

Preverili smo kakovost podatkov SRTM za območje Slovenije. Prednosti podatkov SRTM so, da so na voljo skoraj za ves svet, da so pridobljeni z enotno tehnologijo in po enotni metodologiji ter ne nazadnje, da so brezplačni. Pomanjkljivosti SRTM so slabša resolucija in pojav lukenj (območij brez višin), predvsem v visokogorju. Primerjava je bila izvedena v novem slovenskem ravninskem koordinatnem sistemu (D96/TM). Za vsako točko SRTM (dana višina) je bila določena še višina iz DMV (interpolirana višina). Primerjavo smo izvedli na osmih testnih območjih, ki so bila izbrana po kriterijih različnih reliefnih in geomorfoloških značilnosti ter vegetacije in urbanizacije. Rezultat primerjave so razlike višin po posameznih karakterističnih območjih, ki lahko morebitnemu uporabniku podatkov SRTM pomagajo pri odločitvi za uporabo SRTM.

Uvod

Pomembna skupina topografskih podatkov so podatki o oblikovanosti zemeljskega površja oziroma podatki o reliefu. V Sloveniji imamo za njihovo predstavitev zbirke digitalnih modelov višin – DMV. Zbirke pokrivajo območje Slovenije in bližnje okolice neposredno ob državni meji. Podatki so primerni za izvajanje prostorskih analiz, za uporabo pri vizualizaciji oziroma upodabljanju prostora, za izdelavo topografskih in tematskih kart ter za druge namene.

Problem se pojavi, če bi želeli podatke o reliefu tudi za širše območje. Podatke za obmejna območja sosednjih držav potrebujemo že pri izdelavi državne pregledne karte, ki zajema območje Slovenije očitanega pravokotnika. Ti podatki so v različnih horizontalnih in višinskih sistemih, različnih formatih, naročiti bi jih bilo treba za vsako državo posebej.

Rešitev je v uporabi enotnega svetovnega modela višin – takšen model je nastal v okviru projekta Shuttle Radar Topography Mission – SRTM. V nadaljevanju so predstavljeni rezultati primerjave, katere namen je bil ugotoviti stopnjo ujemanja podatkov SRTM in zbirke DMV Slovenije. Glede kakovosti samih višin je bila doslej na voljo zgolj ocena 90-odstotnega intervala zaupanja v višine, ki za območje Evrazije znaša $\pm 6,2$ m (Rodriguez idr., 2006).

Digitalni modeli višin Slovenije – DMV

Geodetska uprava Republike Slovenije zagotavlja podatke o reliefu v različnih ločljivostih, in sicer DMV 5, DMV 12,5, DMV 25 in DMV 100 (ločljivosti 5 m, 12,5 m, 25 m in 100 m). Viri za izdelavo so bili različni geodetski podatki. Horizontalne koordinate se nanašajo na stari državni ravninski koordinatni sistem D48/GK. Višine so v državnem višinskem koordinatnem sistemu, torej normalne ortometrične višine, datum Trst.

Za primerjavo s podatki SRTM smo uporabili DMV 12,5 – model, ki je bil leta 2005 izdelan z integracijo obstoječih podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije in drugih

* dr. Tomaž Žagar, univ. dipl. inž. el., in Sandi Berk, univ. dipl. inž. geod., Geodetski inštitut Slovenije, Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana

institucij. Uporabljena je bila metoda utežnega seštevanja z geomorfološkimi popravki (Podobnikar in Mlinar, 2006; Podobnikar, 2008).

Podatki DMV, ki so bili uporabljeni za primerjavo, so organizirani v datotekah s pripono xyz – vsaka datoteka pokriva območje velikosti enega lista temeljnega topografskega načrta v merilu 1 : 5.000 (TTN 5); velikost območja je 2.250 m × 3.000 m. Vsaka xyz-datoteka ima tako podatke za $181 \times 241 = 43.621$ točk, torej prav toliko vrstic (y, x, H). Ime posamezne datoteke določa nomenklaturo lista TTN 5, torej oznako trigonometrične sekcije ter številko lista znotraj sekcije. Višine na robovih listov se prekrivajo (podvajajo) z datotekami sosednjih listov.

Podatki SRTM-1 in SRTM-3

Podatki digitalnega modela višin so bili pridobljeni z radarsko interferometrijo v okviru 11-dnevne misije raketoplana Endeavour, ki se je pričela 11. februarja leta 2000 [Farr idr., 2007]. Višinski model je prosto dostopen na spletnih straneh¹ ameriške vesoljske agencije NASA², in sicer za območje Združenih držav Amerike z ločljivostjo $1'' \times 1''$ (SRTM-1), za vsa zajeta območja pa z ločljivostjo $3'' \times 3''$ (SRTM-3). Posamezne višine SRTM-3 so bile dobljene s povprečenjem višin SRTM-1 območja velikosti $3'' \times 3''$, kot je to opisano v spremljevalnem dokumentu k podatkom SRTM na ftp-strežniku³. Na ekvatorju je tako ločljivost modela približno 30 m za SRTM-1 in 90 m za SRTM-3; drugod je ločljivost še boljša. Podatki pokrivajo območje od 56° južne do 60° severne zemljepisne širine. Horizontalne koordinate SRTM so v WGS 84⁴, višine pa se nanašajo na EGM 96⁵.

Podatki SRTM so organizirani v datotekah s pripono hgt – vsaka datoteka pokriva območje velikosti $1^\circ \times 1^\circ$. Vsaka SRTM-3 hgt-datoteka ima tako 1201 vrstico in 1201 stolpec. Ime posamezne datoteke določa zemljepisno širino in dolžino spodnjega levega (jugozahodnega) vogala območja. Vrstica na severnem in stolpec na vzhodnem robu posameznega območja se prekrivata (podvajata) z vrstico na južnem in stolpcem na zahodnem robu naslednjega območja.

Podatki so zapisani v binarni datoteki kot 16-bitna predznačena cela števila, tako da je na prvem mestu najpomembnejši zlog (byte; zapis »big endian«). Uporabniki računalnikov z x86 in podobno procesorsko arhitekturo morajo torej pri branju datoteke zamenjati vrstni red zlogov. Manjkajočim višinam je pripisana vrednost -32768 .

Podatki SRTM V1 in V2

NASA je izdala dve različici SRTM-podatkov, označeni kot SRTM V1 in SRTM V2. Prva različica (V1) so surovi podatki višin brez vsakršne nadaljnje obdelave (z izjemo povprečenja za SRTM-3). Druga (V2) je končna različica in ima v nasprotju z V1 dobro določene obalne linije in meje drugih vodnih površin ter odpravljene grobe odklone v podatkih. Še vedno pa ostanejo nekatera območja z manjkajočimi višinami. To so naj-

¹ Dostop do podatkov je možen preko: <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov>.

² NASA (National Aeronautics and Space Administration) je vladna agencija, ki je odgovorna za izvajanje državnega vesoljskega programa ZDA.

³ SRTM Topography: ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/Documentation/SRTM_Topo.pdf.

⁴ WGS 84 (World Geodetic System 1984) je svetovni geodetski sistem, ki ga od januarja 1987 uporablja ameriški GPS (Global Positioning System); ima svoj lasten referenčni elipsoid.

⁵ EGM 96 (Earth Gravitational Model 1996) je model geoida, ki je nastal kot produkt sodelovanja med NIMA (National Imagery and Mapping Agency, danes NGA – National Geospatial-Intelligence Agency), NASA in Ohio State University.

večkrat površine jezer ali velikih rek in območja z zelo razgibanim in strmim reliefom, kot so npr. izrazito strme ali prepadne stene in ozke soteske.

V nadaljevanju je predstavljena analiza podatkov SRTM V2, velja pa omeniti, da so bili na osnovi podatkov SRTM narejeni tudi modeli brez manjkajočih vrednosti, npr. modeli konzorcija CGIAR-CSI⁶ ali pa model HydroSHEDS⁷.

Testna območja

Testna območja obsegajo po šest sosednjih datotek DMV 12,5, torej po šest sosednjih območij listov temeljnih topografskih načrtov v merilu 1 : 5.000 (TTN 5). Izbrani so po trije sosednji listi v isti vrstici in po dva lista v istem stolpcu, tako da je dobljeno območje pravokotno. Velikost vsakega testnega območja je 6.000 m v smeri vzhod–zahod in 6.750 m v smeri sever–jug, kar pomeni, da je površina posameznega testnega območja 40,5 km². Na posameznem testnem območju je $481 \times 541 = 260.221$ točk DMV 12,5.

Glede na raznolikost površja Slovenije, predvsem z vidika reliefnih in geomorfoloških značilnosti ter vegetacije in urbanizacije, je bilo izbranih osem testnih območij; glej Sliko 1. Testna območja skupaj pokrivajo 324 km² (48 listov TTN 5), kar je 1,6 % državnega ozemlja. Vsa testna območja skupaj vsebujejo preko 2.000.000 točk DMV 12,5.



Slika 1: Razporeditev in velikost testnih območij

Testno območje Beltinci (Slika 2) pokriva območje listov K2832, K2833, K2834, K2842, K2843 in K2844. Gre za izrazito ravninski del države – Prekmurje. Večji del območja je namenjen za intenzivno kmetijsko rabo. Največje naselje so Beltinci.

⁶ CGIAR-CSI SRTM 90 m DEM Digital Elevation Database: <http://srtm.csi.cgiar.org>.

⁷ WWF – Freshwater Science – HydroSHEDS: <http://www.worldwildlife.org/hydrosheds>.



Slika 2: Testno območje Beltinci

Testno območje Črni Kal pokriva območje listov C2021, C2022, C2023, C2031, C2032 in C2033. Območje vključuje naselje Črni Kal in avtocestni odsek z viaduktom. Gre za kraški svet (kraški rob) z nizko vegetacijo ter izrazito kraško geomorfologijo (udornice, vrtače). Pod kraškim robom je manj razgiban relief s flišnim sedimentom.

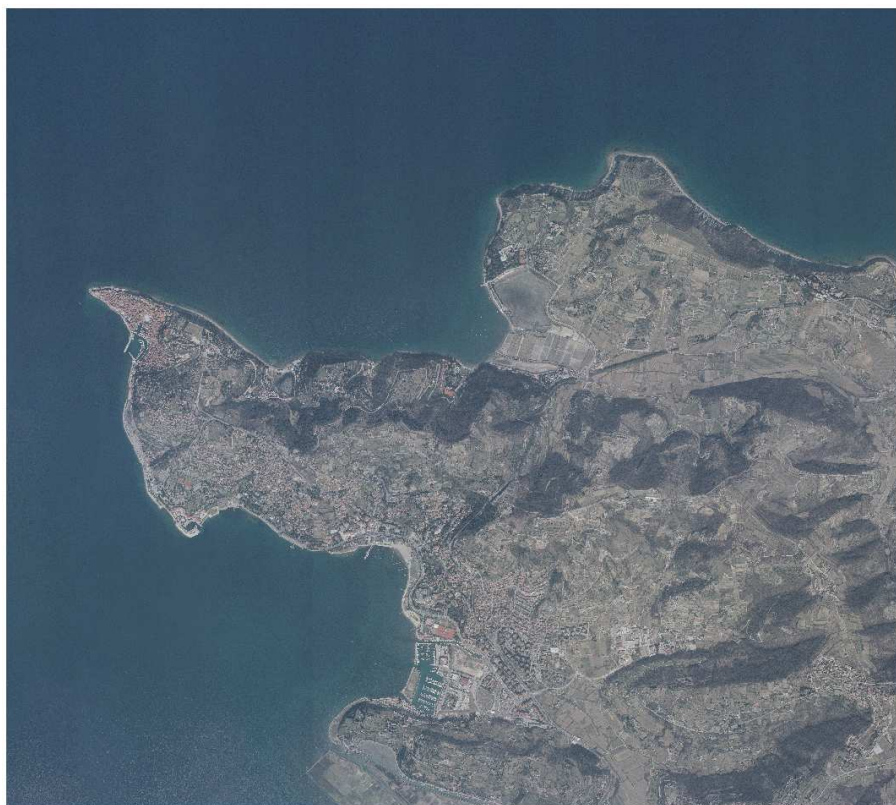
Testno območje Kočevski Rog pokriva območje listov F2139, F2140, F2149, F2150, G2131 in G2141. Gre za neposeljeno območje, skoraj v celoti poraslo z gozdom. Večinoma gre za kraški svet; relief je precej razgiban.

Testno območje Ljubljana (Slika 3) pokriva območje listov E2433, E2434, E2435, E2443, E2444 in E2445. Območje vključuje osrednji in severni del mesta Ljubljane. Večinoma gre urbano območje z nekaj nepozidanimi predeli – tam je nekaj gozda (Šišenski hrib, del Golovca) in območij, ki so namenjena za intenzivno kmetijsko rabo. Relief je večinoma ravninski.



Slika 3: Testno območje Ljubljana

Testno območje Piran (Slika 4) pokriva območje listov B2031, B2032, B2033, B2041, B2042 in B2043. Območje obsega del slovenske obale in zaledja z mestom Piran. Samo zaledje je reliefno precej razgibano z izjemo Strunjanskih in Sečoveljskih solin, katerih del je tudi vključen v testno območje.



Slika 4: Testno območje Piran

Testno območje Rogla pokriva območje listov H2731, H2732, H2733, H2741, H2742 in H2743. Območje obsega neposeljen del Pohorja s smučišči na Rogli. Večji del območja je poraščen z gozdom. Relief je precej razgiban.

Testno območje Triglav pokriva območje listov C2621, C2622, C2623, C2631, C2632 in C2633. Območje obsega neposeljen in izrazito visokogorski svet Julijskih Alp s Triglavom. Večji del območja je neporaščen – leži nad gozdno mejo. Relief je zelo razgiban z vrhovi in vmesnimi dolinami.

Testno območje Zidani Most pokriva območje listov G2425, G2426, G2427, G2435, G2436 in G2437. Območje obsega del Posavskega hribovja z reko Savo in njenim pritokom Savinjo, ki se vanjo izliva v Zidanem Mostu. Obe reki tečeta po ozkih in strmih soteskah. Večji del območja je poraščen z gozdom. Relief je precej razgiban.

Obdelava podatkov

Podatke SRTM (hgt-datoteke) smo najprej pretvorili v niz točk (λ , φ , H), kjer se horizontalni koordinati nanašata na elipsoid WGS 84. Sledila je transformacija v novi slovenski državni ravninski koordinatni sistem ETRS89/TM oziroma D96/TM. Glede na pričakovano natančnost podatkov SRTM smo si za ciljno natančnost transformacije horizontalnih koordinat postavili kriterij 0,5 m. Tako smo lahko predpostavili, da je elipsoid WGS 84 enak elipsoidu GRS 80⁸ oziroma da so elipsoidne koordinate WGS 84

⁸ Elipsoida WGS 84 in GRS 80 se razlikujeta v mali polosi, in sicer zgolj teoretično – razlika je 0,1 mm.

enake elipsoidnim koordinatam v ETRS 89⁹. Elipsoidne koordinate smo tako le še pretvorili v ravninske koordinate, torej v koordinatni sistem D96/TM.

Za podatke DMV smo morali izvesti datumsko transformacijo horizontalnih koordinat, in sicer iz starega v novi državni ravninski koordinatni sistem (D48/GK → D96/TM). Glede na zgoraj postavljen kriterij smo uporabili afino transformacijo po trikotnikih z dolžino stranice 3 km ali več, ki zagotavlja natančnost pod 0,1 m oziroma njena koordinatna odstopanja tudi v najslabšem primeru ne presegajo 0,2 m (Berk in Duhovnik, 2007).

Višine točk smo pri opisani uskladitvi horizontalnih koordinat pustili nespremenjene. Po uskladitvi smo višine točk SRTM smo primerjali z višinami ustrezno interpoliranih točk slovenskega DMV 12,5. Ustrezne višine DMV na koordinatah SRTM-točk smo določili z linearno interpolacijo. Uporabili smo funkcijo *griddata* (v programskem paketu Matlab oz. Octave). Funkcija najprej izvede ravninsko triangulacijo mreže točk (Dalaunayjeva triangulacija). Poišče trikotnik, ki vsebuje dano točko, in določi višino glede na prebodišče trikotnika in normale skozi dano točko.

Zaradi hitreše izvedbe interpolacije smo za dano točko SRTM okolico točk DMV omejili na območje velikosti 200 m × 200 m, kar pa ne vpliva na rezultat interpolacije. Izbrana točka SRTM je bila tako obdana z 256-imi točkami DMV. Točke SRTM na robu posameznega testnega območja, ki jih je obdajalo manj kot 256 točk DMV, smo izločili iz obdelave.

Primerjava SRTM-podatkov na izbranih območjih

Primerjava SRTM in DMV temelji na naslednjih parametrih:

ΔH_{\max}	...	največja vrednost absolutne razlike višin SRTM in DMV
ΔH_{avg}	...	povprečna vrednost absolutne razlike višin SRTM in DMV
ΔH_{std}	...	standardni odklon razlik višin SRTM in DMV
b. v.	...	delež točk brez vrednosti
N	...	število točk z določeno višino (brez točk b. v.)
< 2 m	...	delež točk z absolutno razliko višin manj kot 2 m
< 5 m	...	delež točk z absolutno razliko višin manj kot 5 m
< 10 m	...	delež točk z absolutno razliko višin manj kot 10 m
< 16 m	...	delež točk z absolutno razliko višin manj kot 16 m
< 30 m	...	delež točk z absolutno razliko višin manj kot 30 m

Delež točk brez vrednosti (b. v.) je podan glede na skupno število točk SRTM znotraj posameznega testnega območja. Točke brez vrednosti v nadaljnji obdelavi niso upoštevane.

Rezultati primerjave so navedeni v Preglednici 1. Primerjava je bila izvedena za podatke SRTM V1 in SRTM V2, vendar so se rezultati obeh modelov zanemarljivo malo

⁹ Natančna realizacija WGS 84 je vsakokratni ITRF. Trenutno je to ITRF 05 – to je sestav, v katerem se računajo natančne tirnice satelitov sistema GPS – t. i. precizne efemeride. Med vsakokratnim ITRF in ETRS 89 je določena tudi uradna transformacija. Razlike v koordinatah se s časom povečujejo zaradi vplivov geodinamike, vendar trenutno na območju Slovenije znašajo do okoli 0,3 metra.

razlikovali, zato so navedeni le rezultati primerjave s SRTM V2. Izjema je območje Piran, za katerega navajamo tudi rezultate primerjave s SRTM V1; največjih popravkov so bili namreč podatki SRTM deležni ravno na območjih večjih vodnih površin.

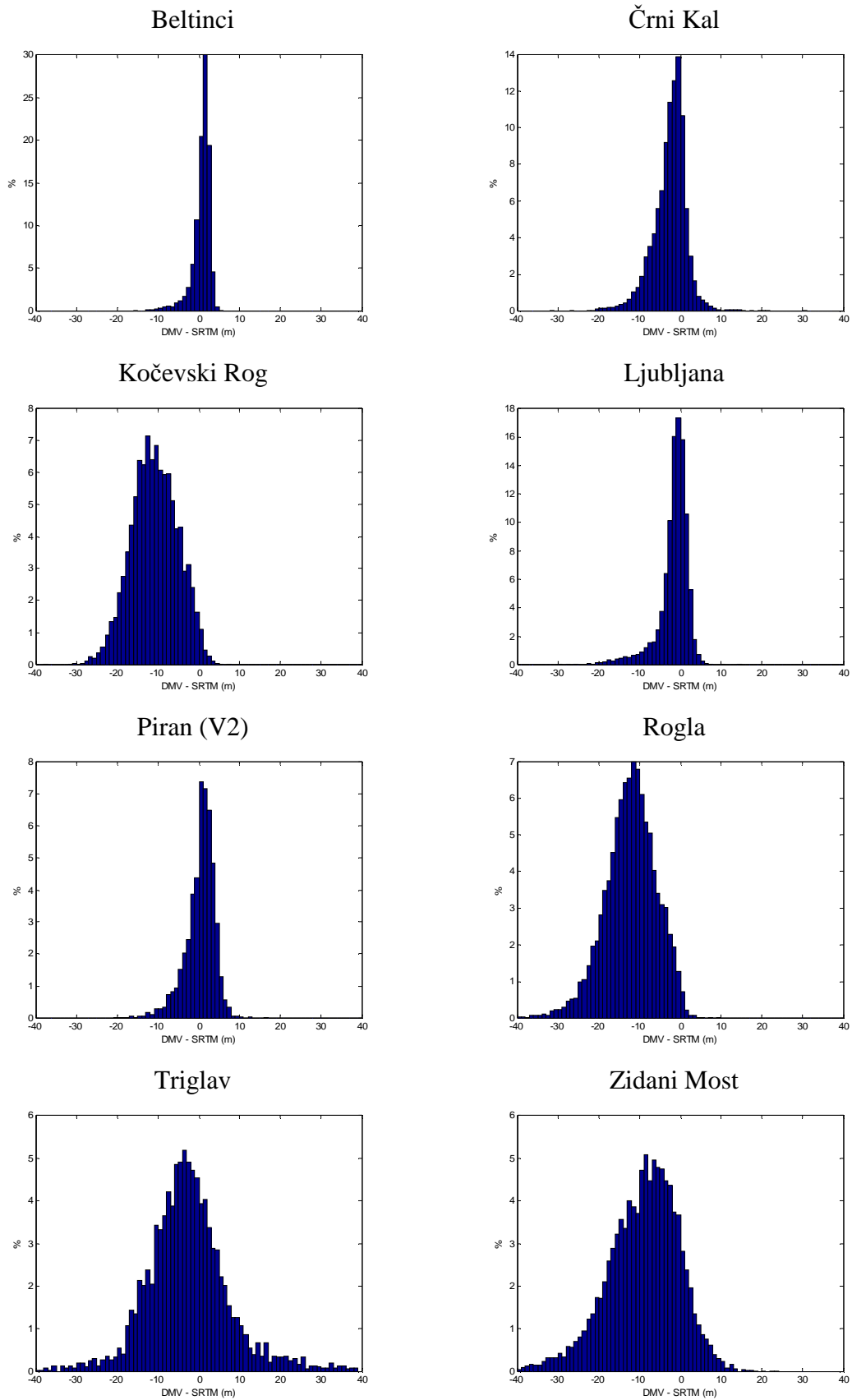
	Beltinci	Črni Kal	Kočevski Rog	Ljubljana	Piran		Rogla	Triglav	Zidani Most
					SRTM V1	SRTM V2			
ΔH_{\max} [m]	15,2	77,3	37,0	29,6	67,0	20,3	40,5	202,7	60,2
ΔH_{avg} [m]	1,8	3,5	10,9	2,6	4,1	1,4	12,3	9,2	10,1
ΔH_{std} [m]	1,5	3,5	5,5	3,2	4,6	2,2	6,3	11,9	7,7
N	6420	6332	6245	6394	4343	6340	6392	3572	6394
b. v. [%]	0	0	0	0	31	0	0	44	0
< 2 m [%]	66	43	6	60	36	73	4	17	13
< 5 m [%]	97	75	16	88	73	94	13	41	31
< 10 m [%]	100	95	44	95	91	99	37	69	57
< 16 m [%]	100	99	82	99	98	100	75	87	80
< 30 m [%]	100	100	100	100	100	100	99	96	98

Preglednica 1: Primerjava višin iz SRTM in DMV 12,5

Primerjava obeh različic SRTM (V1 in V2) za testno območje Piran pokaže, da so podatki v popravljeni različici SRTM V2 za vodne površine in območja ob vodnih površinah res precej boljši. Sicer je v Preglednici 1 lepo viden tudi vpliv reliefa in geomorfoloških značilnosti na dobljene razlike, pa tudi vpliv vegetacije in antropogenih danosti.

Porazdelitev razlik višin DMV in SRTM na intervalu -40 do 40 m je prikazana na Sliki 5. Predvsem na območjih, poraslih z gozdom, opazimo, da so višine SRTM večje kot višine DMV, kar lahko pojasnimo s tem, da je SRTM model ploskve zemeljskega površja, DMV pa model reliefa¹⁰. Poleg tega so bili podatki SRTM zajeti sredi meseca februarja, ko so vrhovi naših gora še pokriti s snegom. Zato zgornji sistematični vpliv velja tudi na območju Triglava.

¹⁰ Gre za razlike v definiciji ploskve: digitalni model ploskve – DMP (angl. Digital Surface Model – DSM) dobimo, če upoštevamo tudi strehe in stene stavb, krošnje dreves in podobno, medtem ko je digitalni model reliefa – DMR (angl. Digital Terrain Model – DTM) ploskev, ki upodablja golo zemeljsko površje; digitalni model višin – DMV (angl. Digital Elevation Model) je mreža točk z danimi višinami, torej niz parametrov ploskve zemeljskega površja [Podobnikar, 2002].



Slika 5: Histogrami razlik med SRTM in DMV po testnih območjih

Zaključek

Primerjava podatkov SRTM in slovenskega DMV 12,5 je bila izvedena z namenom preveriti ujemanje obeh modelov višin. Primerjava je bila izvedena za obe različici SRTM (osnovna V1 in popravljena V2). Izkazalo se je, da je razlika skoraj izključno v popravkih pri večjih vodnih površinah, za Slovenijo torej zgolj na Obali.

Omeniti je treba metodološko razliko v obeh modelih: glede na način izdelave je SRTM bližji digitalnemu modelu ploskve, DMV pa digitalnemu modelu reliefa.

Rezultati primerjave pokažejo, da je mogoče zaznati vplive vegetacije in snežne odeje v visokogorju, ki se kažejo kot sistematični, pa tudi antropogene vplive, ki se kažejo kot slučajni in povečajo razpršenost na območjih intenzivne urbanizacije. Standardni odkloni variirajo od $\pm 1,5$ m za idealno površje (Beltinci v Prekmurju) pa do $\pm 11,9$ m za najbolj razgibano površje (Triglav v Julijcih). Podobno je razmerje največjih zabeleženih absolutnih razlik: od 15,2 m (Beltinci) do 202,7 (Triglav).

Literatura

- Berk, S., in Duhovnik, M. (2007). Transformacija podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije v novi državni koordinatni sistem, *Geodetski vestnik*, letn. 51, št. 4, str. 803–826.
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., in Alsdorf, D. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission, *Reviews of Geophysics*, letn. 45, str. 1–33.
- Podobnikar, T. (2008). Nadgradnja modela reliefa Slovenije z visokokakovostnimi podatki, *Geodetski vestnik*, letn. 52, št. 4, str. 834–853.
- Podobnikar, T., in Mlinar, J. (2006). Izdelava in vzdrževanje digitalnega modela reliefa Slovenije z integracijo obstoječih virov, *Geodetski vestnik*, letn. 50, št. 3, str. 472–480.
- Podobnikar, T. (2002). Model zemeljskega površja – DMR ali DMV? *Geodetski vestnik*, letn. 46, št. 4, str. 347–356.
- Rodriguez, E., Morris, C. S., in Belz, J. E. (2006). A global assessment of the SRTM performance, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, letn. 72, str. 249–260.