

UDK 528.28:521.181(497.5):004.42
Izvorni znanstveni članak / Original scientific paper

Analiza kvalitete Hrvatskog transformacijskog modela visina primjenom računalnog programa HTMV_bbi_v.2

Marko RADANOVIĆ, Ivan RAZUMOVIĆ, Nevio ROŽIĆ – Zagreb¹

SAŽETAK. Na području Republike Hrvatske za transformaciju visinskih podataka, između starog (HVRS1875) i novog visinskog referentnog koordinatnog sustava (HVRS71), temeljnu infrastrukturu predstavlja Hrvatski transformacijski model visina (HTMV). U ovom radu dan je kratak pregled obiju do danas realiziranih verzija HTMV-a, izvorne i službene verzije HTMV08-v.1 te nove, poboljšane i još uvijek neslužbene verzije HTMV14-v.2. Detaljno je opisan novi specijalizirani računalni program HTMV bbi v.2, koji je namijenjen automatiziranom obavljanju transformacije visinskih koordinata točaka poznatog elipsoidnog položaja za obje verzije HTMV-a. Taj program omogućuje i empirijsku realizaciju druge, poboljšane verzije HTMV-a. Obavljena je neovisna analiza vanjske i unutarnje kvalitete HTMV14-v.2 korištenjem računalnog programa HTMV_bbi_v.2. Dobiveni rezultati kvalitete pokazuju točnost višu od očekivanog centimetra.

Ključne riječi: HTMV, transformacija visina, transformacijski grid, kvaliteta, Hrvatska, HTMV_bbi_v.2.

1. Uvod

Na današnjem području Republike Hrvatske u proteklom razdoblju u uporabi su dva međusobno bitno različita visinska referentna sustava. Od 2010. Odlukom Vlade Republike Hrvatske o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i kartografskih projekcija (Narodne novine 2004a, Narodne novine 2004b) propisana je uporaba Hrvatskog visinskog referentnog sustava vezanog za epohu 1971.5 godine (HVRS71), koji je zamijenio dotadašnji službeni Hrvatski visinski referentni sustav vezan za epohu 1875.0 godine (HVRS1875), a koji je bio poboljšana varijanta ili izvedenica Austro-ugarskog visinskog referentnog sustava (AVRS1875). Pritom je HVRS1875 bio integralni element visinskog referentnog sustava bivše Jugoslavije.

¹ Marko Radanović, mag. ing. geod. et geoinf., Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: maradanovic@geof.hr,

dr. sc. Ivan Razumović, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: razumi@geof.hr,

prof. dr. sc. Nevio Rožić, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: nrozic@geof.hr.

Propisivanjem i uvođenjem u službenu uporabu novog visinskog referentnog sustava pojavila se potreba za učinkovitom i jednoznačnom transformacijom visinskih koordinata (visina) diskretnih točaka topografskog detalja i ostalih točaka sadržanih u različitim geodetskim mrežama iz sustava HVRS1875 u sustav HVRS71 i obratno (Rožić 2009a). Drugim riječima, problem kontinuiteta uporabe velike količine visinskih podataka, prikupljenih u dugotrajnom razdoblju primjene staroga visinskog sustava, trebalo je riješiti na relativno jednostavan, jednoznačan i učinkovit način. Problem je riješen, suradnjom Državne geodetske uprave i Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, izradom matematičkog modela za transformaciju visina točaka poznatog planarnog, odnosno elipsoidnog položaja između visinskih sustava HVRS1875 i HVRS71, vodeći računa o činjenici da su sustavi realizirani s različitim visinskim datumima i osnovnim nivelmanskim mrežama (Rožić 2009b). Model ima naziv Hrvatski transformacijski model visina ili skraćeno HTMV, a do danas je realiziran u dvije verzije: HTMV08-v.1 iz 2008. i HTMV14-v.2 iz 2014. godine.

2. Hrvatski transformacijski model visina – HTMV08-v.1

Kao osnova za izradu HTMV08-v.1 poslužili su podatci 10 564 repera s područja Republike Hrvatske i Bosne i Hercegovine visine kojih su poznate u starom i novom visinskom sustavu. Direktna usporedba visina iz tih sustava moguća je jer su oba sustava realizirana kao normalno-ortometrijski sustavi. Kako su na cijelom području obuhvata HTMV-a visine repera H_S u starom sustavu HVRS1875 veće od pripadnih visina H_N u novom sustavu HVRS71, njihove su razlike uvijek pozitivne i računaju se prema izrazu (Rožić 2009a):

$$\Delta H = H_S - H_N. \quad (1)$$

Prosječan iznos razlika ΔH na području Republike Hrvatske i Bosne i Hercegovine iznosi 225,2 mm, sukladno činjenici da poprimaju vrijednosti unutar intervala od minimalno 53,7 mm do maksimalno 410,9 mm. Glavni razlog tih prilično velikih razlika primarno su različite realizacije visinskih datuma, odnosno različite orijentacije ishodišnih visinskih referentnih ploha HVRS1875 i HVRS71 u odnosu na tijelo Zemlje (Rožić 2009c). Stoga je primarna komponenta, sadržana u razlikama visina repera, tzv. datumska komponenta ΔH_D . Uz datumsku komponentu, u razlikama visina repera sekundarno je sadržana i tzv. distorzijska komponenta ΔH_d . Ona je posljedica izobličenja geometrije staroga visinskog referentnog sustava nastala kao rezultat točnosti izmjere osnovne nivelmanske mreže, primjene različitih metoda i postupaka računске obrade nivelmanskih podataka te utjecaja geodinamike Zemljine kore na visinske položaje repera (Rožić 2009c). HTMV je, sukladno pojavnosti datumske i distorzijske komponente te njihovim različitim svojstvima i genezom nastanka, kreiran na temelju međusobno neovisnog modeliranja svake komponente zasebno. Nakon modeliranja odgovarajući modeli tih komponenti integrirani su u jedinstveni matematički transformacijski model, koji karakterizira izraz (Rožić 2009c):

$$\Delta \bar{H}(\varphi, \lambda) = \Delta H_D(\varphi, \lambda) - \Delta H_d(\varphi, \lambda), \quad (2)$$

u kojem je $\Delta\bar{H}$ modelirana vrijednost razlike visina, $\Delta\bar{H}_D$ modelirana vrijednost datumske i $\Delta\bar{H}_d$ modelirana vrijednost distorzijske komponente. Sve navedene vrijednosti funkcije su elipsoidnog položaja repera (φ, λ) , gdje je φ elipsoidna širina i λ elipsoidna dužina repera na Besselovu referentnom elipsoidu s početnim meridijanom u Greenwichu.

Modeliranje datumske komponente $\Delta\bar{H}_D(\varphi, \lambda)$ obavljeno je primjenom regresijskoga parametarskog modela izvedenog iz prilagodbe 7-parametarske 3D slične transformacije ili tzv. S-transformacije (Dinter i dr. 1996). Naime, uz pretpostavku diferencijalne sličnosti HVRS71 i HVRS1875, model za datumsku komponentu ima oblik eksplicitne regresijske funkcije argumenti koje su elipsoidni položaji repera (Rožić 2009b). Neposredno kreiran model za datumsku komponentu, realiziran regresijskom funkcijom, preveden je u alternativnu formu, tj. u formu tzv. grid transformacijskog modela, odnosno pravilne pravokutne georeferencirane mreže homogene gustoće, u svrhu jednostavnog objedinjavanja s modelom distorzijske komponente.

Model za distorzijsku komponentu izvorno je kreiran u formi grid transformacijskog modela homogene gustoće, uz kreaciju plohe modela uporabom metode “minimalne zakrivljenosti“ (engl. *Minimum Curvature*) (Briggs 1974, Smith i Wessel 1990, Dewhurst 1990, Rožić 2009b). Modeli datumske i distorzijske komponente objedinjeni su sukladno izrazu (2) u jedinstveni grid homogene gustoće. Takav grid omogućuje definiranje transformacijskog procesa visoke točnosti (ICSM 2014) za visine točaka poznatog elipsoidnog položaja između starog i novog visinskog referentnog sustava Republike Hrvatske. Svaki čvor transformacijskoga grida definiran je elipsoidnim položajem s pridruženim modeliranim vrijednostima razlika visina točaka, odnosno u kontekstu transformacijskog procesa visinskim transformacijskim parametrom. Model predviđa uporabu bilinearne interpolacije u svrhu određivanja transformacijskih parametara za sve točke koje nisu podudarne s čvorovima transformacijskoga grida.

Primarni utjecaj na razinu kvalitete HTMV-a ima kvaliteta podataka repera koji su poslužili za njegovu kreaciju, odnosno točnost i pouzdanost visina repera iz obaju visinskih referentnih sustava. Sekundarno, kvaliteta HTMV-a ovisi o ukupnom broju repera korištenih pri njegovoj kreaciji, a u odnosu na oblik i veličinu područja obuhvata modela, te posebice o razini homogenosti položajne raspodjele repera na području tog obuhvata. Utjecaj na kvalitetu HTMV-a imaju i primijenjene metode modeliranja datumske i distorzijske komponente, tj. metoda regresijskog modeliranja i metoda “minimalne zakrivljenosti“ (Rožić 2009c).

Kvaliteta HTMV-a ispitana je i utvrđena kriterijem unutarnje točnosti modela na temelju podataka repera korištenih pri njegovoj kreaciji te kriterijem vanjske točnosti na temelju podataka repera koji nisu korišteni pri njegovoj kreaciji. Deklarirana točnost modela, izražena standardnim odstupanjem, iznosi 2,1 mm za unutarnju i 8,2 mm za vanjsku točnost. Navedena razina točnosti osigurava određivanje visinskih transformacijskih parametara u okviru pouzdanog centimetra (1 cm), što je za potrebe rješavanja većine geodetskih stručnih i znanstvenih zadaća, posebice zadaća vezanih uz topografske podatke, primjereno kvalitetno. Treba napomenuti da se sukladno deklariranoj kvaliteti modela sve nekvalitetne i kvalitetne visine transformiraju bez narušavanja njihove izvorne kvalitete, odnosno da se pod kvalitetom transformacijskog modela u osnovi podrazumijeva kvaliteta obavljanja transformacijskog procesa.

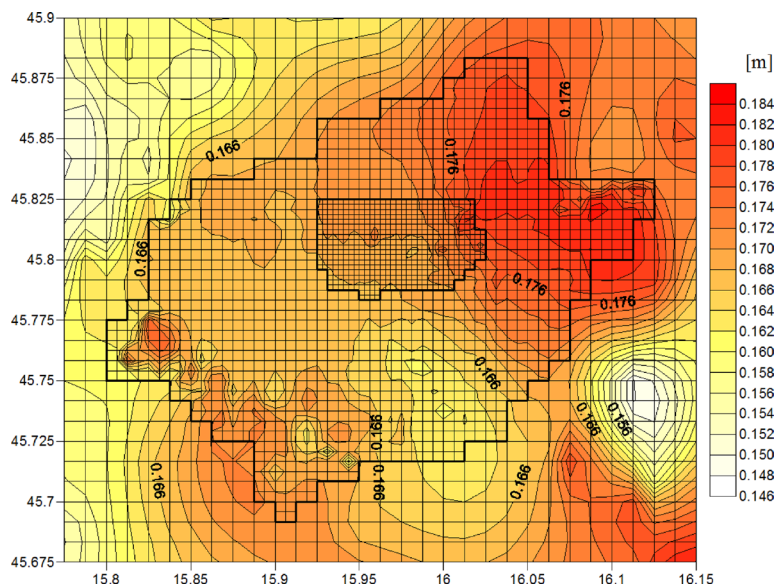
Sukladno navedenom, HTMV je realiziran kao uređeni skup visinskih transformacijskih parametara u formi grid modela (*HTMV08-v.1.GRD*), u kojem plohu modela definira uređen skup georeferenciranih čvorova grida s jednoznačno pridruženim elipsoidnim položajima i visinskim transformacijskim parametrima. Treba naglasiti da izvorna kreacija modela, sama po sebi, nema potrebnu i primjerenu razinu učinkovite primjenljivosti, bez odgovarajućeg računalnog alata koji bi transformacijski proces automatizirao i korisniku omogućio jednostavnu i jednoznačnu primjenu. Taj je problem je inicijalno riješen implementacijom HTMV-a u službeni računalni program za transformaciju koordinata *T7D* (Bašić 2009, Premužić i Šljivarčić 2010), koji je verificirala i za službenu uporabu odobrila Državna geodetska uprava Republike Hrvatske.

Posve neovisno o programu *T7D*, a u svrhu stvaranja osnove za kontinuirano poboljšavanje i analiziranje kvalitete HTMV-a, na Geodetskom fakultetu izrađen je specijalizirani računalni program *HTMV_bbi* (Radanović i Železnjak 2014). Taj program nije poprimio službeni karakter i nije ga verificirala Državna geodetska uprava za službenu uporabu.

3. Hrvatski transformacijski model visina – HTMV14-v.2

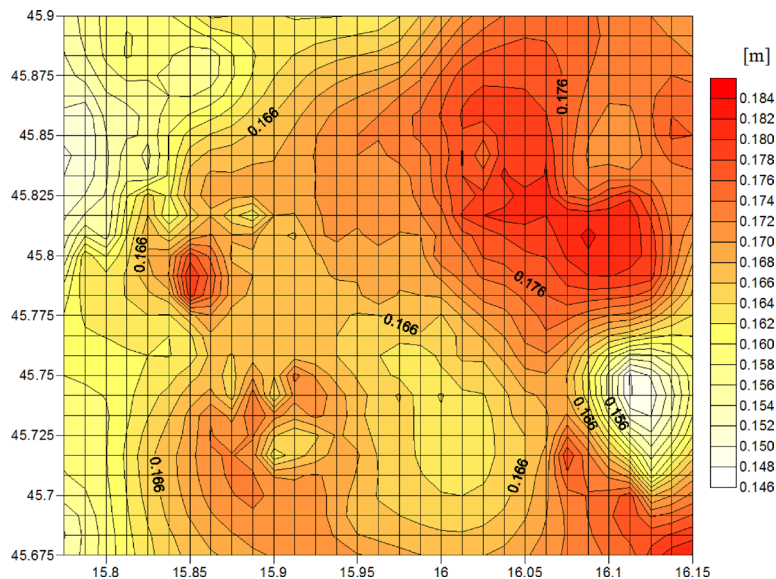
Verzija HTMV08-v.1 realizirana je u formi grida homogene gustoće s veličinom ćelija kvadratnog oblika, približnih dimenzija 1×1 km. Takav grid stjecajem objektivnih okolnosti nije u potpunosti prilagođen realitetu nehomogene položajne raspodjele repera korištenih za njegovu kreaciju. Naime, na području obuhvata modela postoje guste koncentracije repera na područjima gradova i većih naselja realiziranih u okviru gradskih nivelmanskih mreža, dok su na ostalom području reperi raspoređeni linijski, realizirani u okviru nivelmanskih vlakova, a na pojedinim područjima repera uopće nema. Stoga se za poboljšanje kvalitete modela nametnula ideja kreacije transformacijskog modela nehomogene gustoće, koji se temelji na hijerarhijskom razlaganju transformacijskoga grida na sustav hijerarhijski nadređenih i podređenih gridova različitih gustoća i međusobno čvrsto razgraničenih područja obuhvata. Pritom gridovi nižeg reda obuhvaćaju pojedina manja (lokalna) područja obuhvata modela, uz prilagodbu dimenzija ćelija grida broju i položajnoj raspodjeli repera na tom području, uz uvjet jednoznačnog vezivanja uz nadređeni grid i osiguranje kontinuiranosti modelne plohe na njihovu spoju (Razumović 2014).

Sukladno dostupnosti podataka repera, ideja i koncept modelne plohe HTMV-a razložene na hijerarhijski ustroj gridova različitih redova realiziran je teorijski i konkretiziran empirijski za područje obuhvaćeno nivelmanskom mrežom grada Zagreba (Razumović 2014). Kreiran je transformacijski grid promjenljive gustoće u kojem je veličina ćelija grida primjereno prilagođena broju i položajnoj raspodjeli repera na području obuhvata gradske nivelmanske mreže, radi povišenja kvalitete modelne plohe, odnosno transformacijskog procesa. Izvorni grid iz verzije HTMV08-v.1 ili sukladno konceptu razlaganja transformacijskoga grida tzv. grid I. reda je na području grada Zagreba zamijenjen hijerarhijski podređenim gridovima II. i III. reda, dok je na cijelom preostalom području obuhvata modela zadržan temeljni grid HTMV-a, tj. HTMV08-v.1 kao grid I. reda. Ta tri grida uklopljena su i objedinjena u jedinstveni složeni transformacijski grid model varijabilne gustoće ćelija, koji čine poboljšanu verziju HTMV-a pod nazivom HTMV14-v.2. Prikaz kontinuirane plohe modela na širem području grada Zagreba predočen je na slici 1,



Slika 1. Izvadak grid transformacijskog modela HTMV14-v.2 za grad Zagreb (Razumović 2014).

gdje su razvidna područja obuhvaćena gridovima I., II. i III. reda, s njihovom jednoznačnom hijerarhijskom uvezanošću, a u odnosu na model i grid verzije HTMV08-v.1 na slici 2.



Slika 2. Izvadak grid transformacijskog modela HTMV08-v.1 za grad Zagreb.

Čelije gridova II. i III. reda približnih su dimenzija 500×500 m i 250×250 m te su oblik i dimenzije tih gridova determinirane brojem i položajnom raspodjelom dostupnih repera na području Zagreba, tj. naglašenijom brojnošću i homogenošću položajne raspodjele repera na području gradske nivelmanske mreže u odnosu na ostatak područja Hrvatske (grid II. reda) te još intenzivnijom razinom na području užega gradskog područja (grid III. reda). Gridovi nižeg reda jednoznačno su uklopljeni i povezani s hijerarhijski nadređenim gridovima, kako bi ploha transformacijskog modela visina bila kontinuirana i bez prekida, što je također zorno vidljivo na slici 1.

Unutarnja točnost transformacijskog modela HTMV14-v.2 iskazana standardnim odstupanjem iznosi: 2,1 mm za grid I., reda što je istovjetno točnosti verzije HTMV08-v.1, te 0,8 mm za grid II. reda i 0,5 mm za grid III. reda (Razumović 2014). Iz tih je pokazatelja razvidno da je konceptom gridova različitih redova poboljšana točnost HTMV-a, odnosno da je kreiranjem transformacijskih gridova II. i III. reda omogućena transformacija visina na kvalitativnoj milimetarskoj razini.

U svrhu kontinuiranog poboljšavanja i analiziranja kvalitete HTMV-a na Geodetskom fakultetu je, nastavno na računalni program *HTMV bbi* (Radanović i Železnjak 2014), izrađena i nova inačica tog programa *HTMV_bbi_v.2* (Radanović 2015). Navedeni program također nije poprimio službeni karakter i nije verificiran od Državne geodetske uprave za službenu uporabu.

4. Računalni program *HTMV_bbi_v.2*

Računalni program *HTMV_bbi_v.2* (Radanović 2015) namijenjen je automatiziranom obavljanju transformacije visina točaka poznatog elipsoidnog položaja između HVR571 i HVR51875, korištenjem poboljšane verzije HTMV-a, tj. verzije HTMV14-v.2. Naziv programa rezultat je objedinjavanja kratica *HTMV* i *bbi* s ekstenzijom *v.2*, gdje kratica *bbi* proizlazi iz mogućnosti uporabe bilinearne i bikubne interpolacijske metode za određivanje visinskih transformacijskih parametara, dok ekstenzija *v.2* označava činjenicu da je kao temelj za izradu programa poslužio programski kod računalnog programa *HTMV_bbi* (Radanović i Železnjak 2014, Rožić i dr. 2015).

Izrada programa *HTMV_bbi_v.2* obavljena je u razvojnom okružju *Microsoft Visual Studio Professional 2012*, a kod programa pisan je u programskom jeziku *C++*. *HTMV_bbi_v.2* namijenjen je uporabi na platformi operacijskih sustava *Microsoft Windows* (najstarija podržana verzija *XP*), uz pretpostavku da je na računalu dostupan *Microsoft .NET Framework 4.5* (ili noviji).

U računalni program *HTMV_bbi_v.2* implementirana je i izvorna verzija HTMV-a, tako da je transformaciju visina moguće komparativno obaviti korištenjem izvorne verzije HTMV08-v.1 i nove verzije HTMV14-v.2. Za podatkovnu osnovu pri izradi programa poslužile su tri izvorne datoteke transformacijskih grid modela: *HTMV08-v.1.GRD* preuzeta iz Rožić (2009b) te *HTMV14_II_ZG.GRD* i *HTMV_III_ZG.GRD* preuzete iz Razumović (2014). Svaka datoteka sadrži podatke čvorova transformacijskih grid modela I., II. i III. reda, odnosno podatke o elipsoidnom položaju (geodetskoj širini i geodetskoj dužini na Besselovu elipsoidu) s pridruženom vrijednošću visinskog transformacijskog parametra za svaki od čvorova grida.

Činjenica da je grid iz prve verzije HTMV-a istovjetan s gridom I. reda iz druge verzije HTMV-a na cjelokupnom području Republike Hrvatske, osim na području grada Zagreba (Razumović 2014), omogućuje uporabu HTMV08-v.1 za transformaciju visina korištenjem obiju verzija HTMV-a.

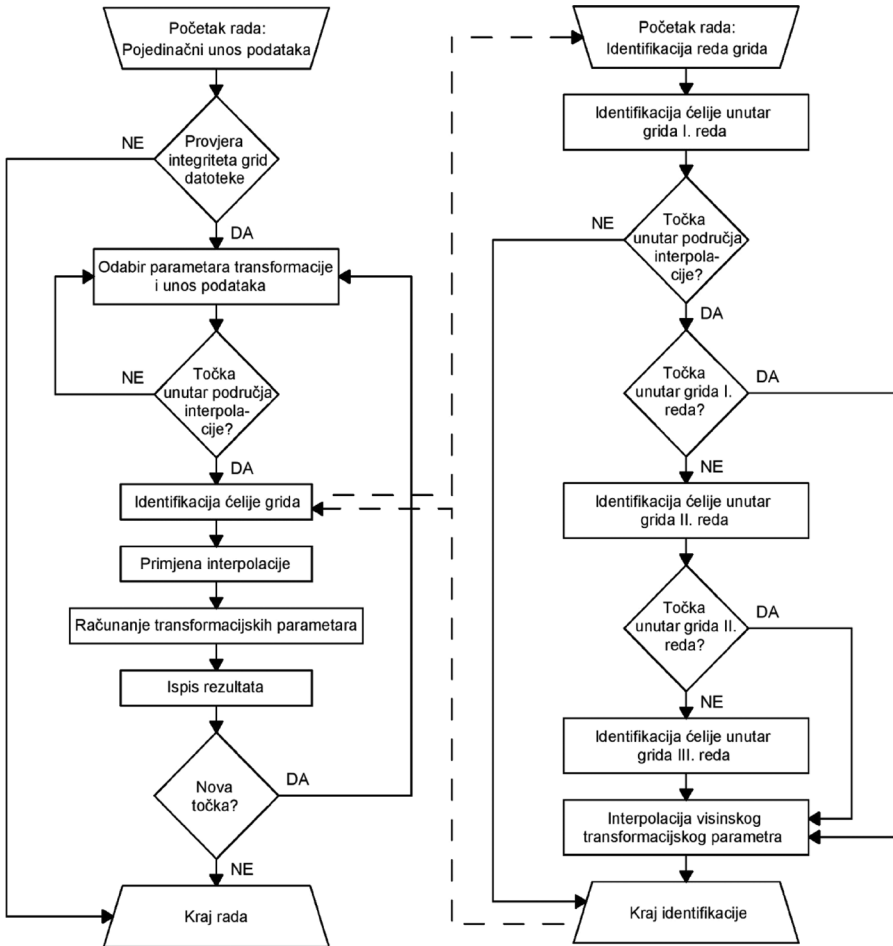
Na funkcionalnoj razini u programu su sadržana dva osnovna načina rada: *pojedinačni unos podataka* za transformaciju visina točaka pojedinačno i *unos podataka iz datoteke* za transformaciju visina većeg broja točaka skupno. Pri pojedinačnom unosu podataka o točki kojoj je visina predmet transformacije, podaci elipsoidne širine i elipsoidne dužine te apsolutne visine u inicijalnom visinskom referentnom sustavu izravno se unose u odgovarajuća formatirana polja unutar sučelja programa. U slučaju većeg broja točaka odgovarajući se podaci unose u program pomoću ispravno strukturirane tekstualne datoteke ASCII formata.

U računalni program *HTMV_bbi_v.2* ugrađena je kao osnovna bilinearna metoda interpolacije podataka grida za obje verzije, tj. HTMV08-v.1 i HTMV14-v.2. Alternativno je ugrađena i bikubna metoda interpolacije, ali samo za verziju HTMV08-v.1, u svrhu ispitivanja mogućnosti za povećanje točnosti transformacijskog procesa. Uporaba bikubne interpolacije pri primjeni verzije HTMV14-v.2 je otežana jer bikubna metoda upotrebljava 9 ćelija grida, tj. blok od 3×3 ćelije s točkom kojoj je visina predmet transformacije u središnjoj ćeliji. Jasno je da na granicama između gridova različitoga reda ne postoje odgovarajuće strukturirani blokovi ćelija jer su njihove dimenzije u susjednim gridovima različite.

Na slici 3 predočen je dijagram toka programa. Na lijevoj strani slike predočen je dijagram toka koji podrazumijeva pojedinačni unos podataka točaka, a na desnoj strani dijagram toka identifikacije reda grida koji je mjerodavan za određivanje visinskog transformacijskog parametra.

U program je uključena provjera integriteta podataka modela, odnosno integriteta tri grid datoteke pomoću kojih se obavlja interpolacija. Provjera se obavlja kao pozadinski proces, nakon pokretanja programa a prije prikazivanja grafičkog sučelja na ekranu monitora. Ako je iz bilo kojeg razloga nastupilo oštećenje podataka u datotekama gridova, program prekida rad i upućuje korisnika na ponavljanje instalacije. Sljedeći korak je unos podataka o položaju točke (φ, λ, H) i odabir parametara za upravljanje transformacijskim procesom: izbor transformacijskog modela, smjer interpolacije, format unosa elipsoidnog položaja, broj decimalnih mjesta i metoda interpolacije. Nakon pokretanja transformacije na temelju odabranih parametara i unesenih podataka, program obavlja provjeru nalazi li se točka kojoj su koordinate unesene na području obuhvata modela, tj. na teritoriju Republike Hrvatske. Ako jest, slijedi iduća operacija programa, tj. pretraživanje grida i identifikacija odgovarajuće ćelije grida koja sadrži položaj procesirane točke, a sukladno originalnom algoritmu razrađenom u (Radanović 2015). Algoritam pretraživanja primjenljiv je podjednako na grid homogene gustoće i na grid promjenljive gustoće, pa se podjednako učinkovito upotrebljava za obje verzije HTMV-a. Nakon identifikacije odgovarajuće ćelije grida program obavlja računanje visinskog transformacijskog parametra interpolacijom vrijednosti visinskih parametara s čvorova grida.

Dijagram toka unosa podataka iz datoteke gotovo je podudaran s dijagramom toka pri pojedinačnom unosu podataka točaka predočenom na slici 3. Ugrađenom funkcijom pretraživanja datoteka (engl. *Browse*) pronalazi se prethodno priređena tekstualna ASCII datoteka s podatcima točaka te se odabiru željeni parametri

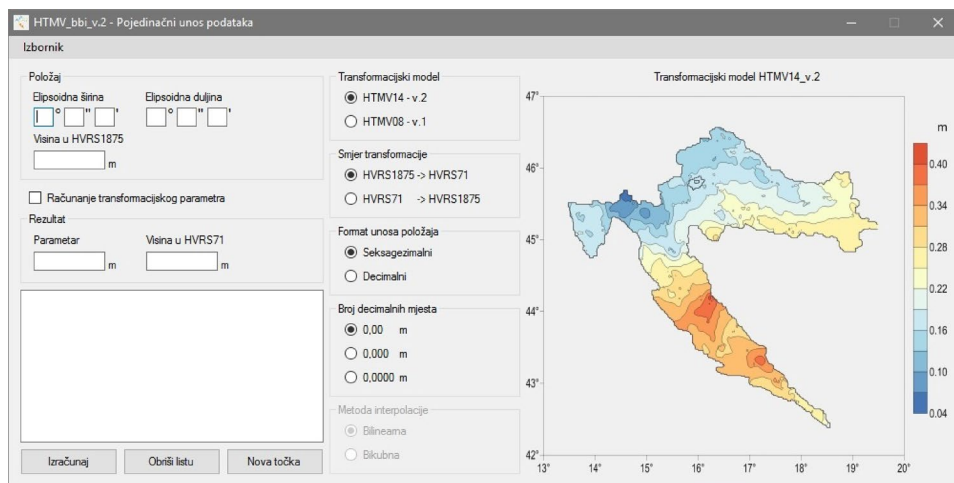


Slika 3. Dijagram toka računalnog programa *HTMV_bbi_v.2*.

transformacije. Program učitava podatke i automatski slijedno ponavlja postupak transformacije za svaku od točaka na isti način kao i pri pojedinačnom unosu podataka. Rezultati transformacije automatski se ispisuju u novu tekstualnu ASCII datoteku i pohranjuju na memorijski medij.

Testiranje programa, odnosno ispravnost rada svih funkcija koje program sadrži obavljeno je pomoću neovisnih računalnih programa koji sadrže odgovarajuće funkcije. Računalnim programom *Surfer* testirana je ispravnost bilinearne interpolacije, a posredno i algoritam pretraživanja grida koji je pretpostavka za obavljanje ispravne interpolacije, dok je pomoću programa *MATLAB* ispitana ispravnost primjene bikubne interpolacije.

Na slici 4 predočeno je korisničko sučelje računalnog programa *HTMV_bbi_v.2* na platformi operacijskog sustava *MS Windows 10*. Izradi korisničkog sučelja posvećena



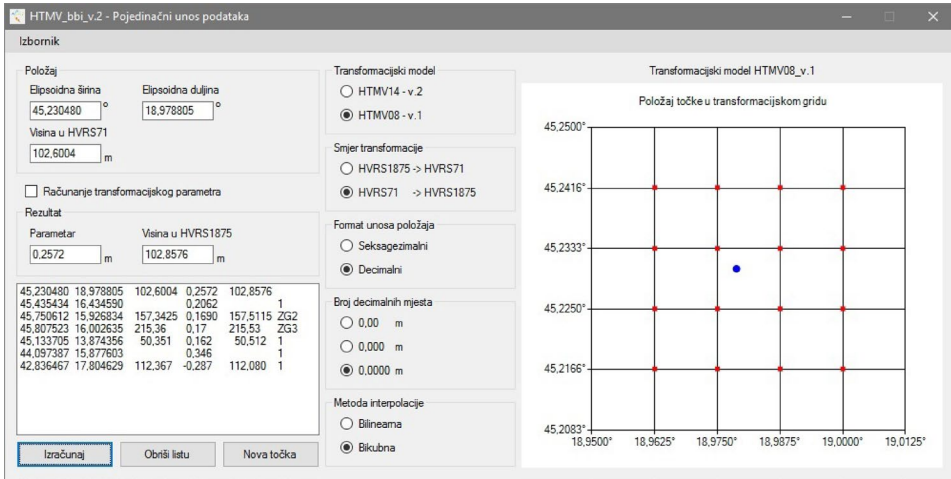
Slika 4. Sučelje računalnog programa HTMV_bbi_v.2 pri pojedinačnom unosu podataka.

je velika pozornost kako bi upravljanje procesom transformacije bilo maksimalno učinkovito i intuitivno, te se vodilo računa o vizualnoj estetici i preglednosti sučelja.

Na slici 4 uočljivo je grupiranje parametara za upravljanje procesom transformacije unutar zasebnih polja: *Transformacijski model*, *Smjer transformacije*, *Format unosa položaja*, *Broj decimalnih mjesta* i *Metoda interpolacije*, a željeni se parametar unutar polja odabire pomoću tipke (engl. *radio button*). U polje *Položaj* potrebno je upisati elipsoidnu širinu i elipsoidnu dužinu točke u odabranom formatu te visinu u inicijalnom visinskom referentnom sustavu. Odabirom opcije *Računanje transformacijskog parametra* moguće je računanje samo transformacijskog parametra bez obavljanja transformacije visine. U tom slučaju nije potrebno unošenje inicijalne visine, a visinski transformacijski parametar poprima iznos koji odgovara transformaciji visine iz HVRs71 u HVRs1875. Na desnoj strani sučelja programa prikazana je, ovisno o odabranom transformacijskom modelu, modelna ploha HTMV08-v.1 ili HTMV14-v.2.

Transformacijom izračunata visina i pripadni visinski transformacijski parametar ispisuju se u polju *Rezultat* u prvi redak liste zajedno s podacima o elipsoidnom položaju i inicijalnoj visini točke. Unutar liste moguće je označavanje željene točke ili više njih te pomoću izbornika brisanje ili kopiranje označenih podataka u privremeni memorijski spremnik (engl. *clipboard*) odakle se mogu prenijeti, tj. kopirati u željeni uređivač teksta ili neki drugi program. Tijekom transformacije vizualni prikaz plohe modela na desnoj strani sučelja programa automatski zamjenjuje grafički prikaz položaja transformirane točke, označene plavom bojom, u odnosu na mjerodavne čvorove transformacijskoga grida označene crvenom bojom, slika 5. Broj čvorova korištenih za određivanje visinskog transformacijskog parametra ovisi o odabiru metode interpolacije, pa se stoga i vizualni prikaz prilagođava kako bi se predočila 4 čvora (1 ćelija) pri bilinearnoj i 16 čvorova (9 ćelija) pri bikubnoj metodi interpolacije.

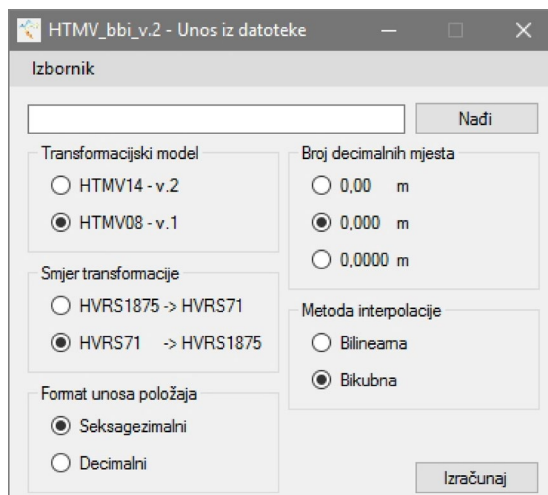
Pri izboru unosa podataka iz datoteke, korisničko sučelje programa HTMV_bbi_v.2 poprima izgled predočen na slici 6.



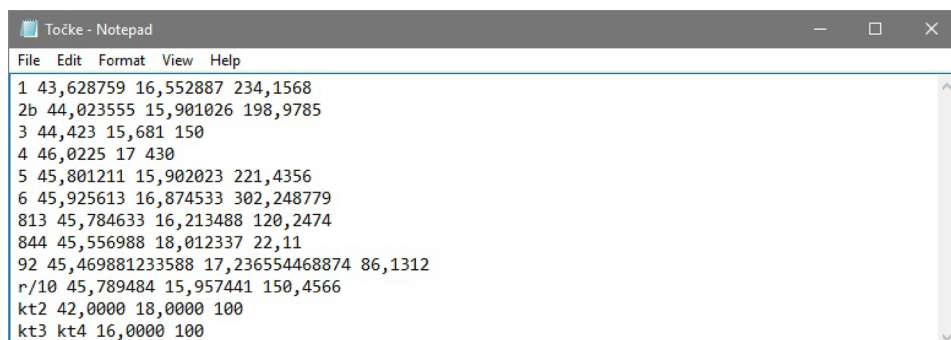
Slika 5. Sučelje HTMV_bbi_v.2 prilikom transformacije metodom bikubne interpolacije.

Omogućena je brza i efikasna transformacija visina većeg broja točaka podatci kojih su prethodno zapisani u pravilno strukturiranu tekstualnu datoteku formata ASCII, slika 7. Navigacija do datoteke i njezin odabir obavljaju se pomoću tipke *Nadi*. Ponuđeni izbor parametara za upravljanje procesom transformacije jednak je onome sa sučelja programa pri pojedinačnom unosu podataka.

Svaka točka kojoj se visina želi transformirati nalazi se slijedno zapisana u zasebnom retku datoteke. Za svaku točku predviđena su, odvojena razmakom kao separatorom, četiri polja: oznaka točke, elipsoidna širina, elipsoidna dužina i visina u inicijalnom visinskom referentnom sustavu. Nije potrebno poravnavanje polja po stupcima.



Slika 6. Sučelje HTMV_bbi_v.2 pri unosu podataka iz datoteke.



```

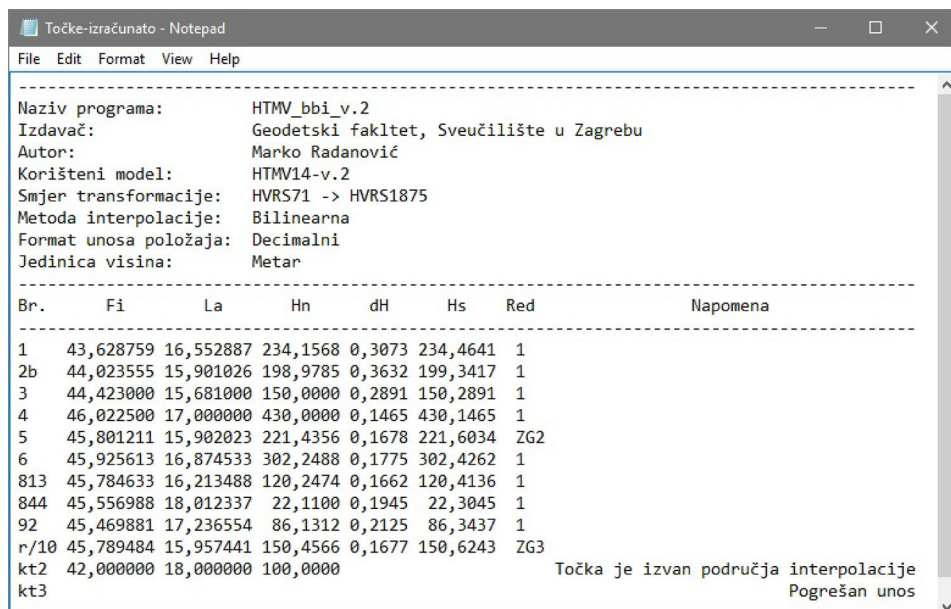
File Edit Format View Help
1 43,628759 16,552887 234,1568
2b 44,023555 15,901026 198,9785
3 44,423 15,681 150
4 46,0225 17 430
5 45,801211 15,902023 221,4356
6 45,925613 16,874533 302,248779
813 45,784633 16,213488 120,2474
844 45,556988 18,012337 22,11
92 45,469881233588 17,236554468874 86,1312
r/10 45,789484 15,957441 150,4566
kt2 42,0000 18,0000 100
kt3 kt4 16,0000 100

```

Slika 7. Primjer datoteke za unos podataka.

Transformacija visina točaka obavlja se za svaku točku zasebno na istovjetan način kao pri pojedinačnom unosu podataka. Sve podatke potrebne za identifikaciju grida i interpolaciju transformacijskih parametara program pohranjuje u RAM računala te se identifikacija odgovarajućih čvorova grida i interpolacija obavlja velikom brzinom, čak i pri transformaciji visina velikog broja točaka, odnosno praktično u realnom vremenu.

Rezultati transformacije upisuju se u novu tekstualnu datoteku formata ASCII koja se pohranjuje u mapu pokraj izvorne datoteke, uz dodavanje ekstenzije “-izračunato” u nazivu. Slika 8 prikazuje datoteku s rezultatima transformacije visina točaka učitanih pomoću datoteke predočene na slici 7. U zaglavlju datoteke s



```

File Edit Format View Help
-----
Naziv programa:      HTMV_bbi_v.2
Izdavač:            Geodetski fakltet, Sveučilište u Zagrebu
Autor:              Marko Radanović
Korišteni model:    HTMV14-v.2
Smjer transformacije:  HVRS71 -> HVRS1875
Metoda interpolacije: Bilinearna
Format unosa položaja: Decimalni
Jedinica visina:    Metar
-----
Br.    Fi        La        Hn        dH        Hs        Red        Napomena
-----
1      43,628759 16,552887 234,1568  0,3073  234,4641  1
2b    44,023555 15,901026 198,9785  0,3632  199,3417  1
3      44,423000 15,681000 150,0000  0,2891  150,2891  1
4      46,022500 17,000000 430,0000  0,1465  430,1465  1
5      45,801211 15,902023 221,4356  0,1678  221,6034  ZG2
6      45,925613 16,874533 302,2488  0,1775  302,4262  1
813   45,784633 16,213488 120,2474  0,1662  120,4136  1
844   45,556988 18,012337 22,1100  0,1945  22,3045  1
92    45,469881 17,236554 86,1312  0,2125  86,3437  1
r/10  45,789484 15,957441 150,4566  0,1677  150,6243  ZG3
kt2   42,000000 18,000000 100,0000
kt3

```

Točka je izvan područja interpolacije
Pogrešan unos

Slika 8. Primjer datoteke s rezultatima transformacije.

rezultatima transformacije upisane su informacije o programu i obavljenoj transformaciji, dok su rezultati strukturirano i slijedno za svaku točku upisani u stupcima: vrijednost visinskog transformacijskog parametra "dH", visina u ciljnom visinskom referentnom sustavu "Hs" i oznaka reda grida "Red" (samo pri odabiru verzije HTMV14-v.2). U posljednjem polju datoteke s rezultatima program ispisuje eventualne napomene.

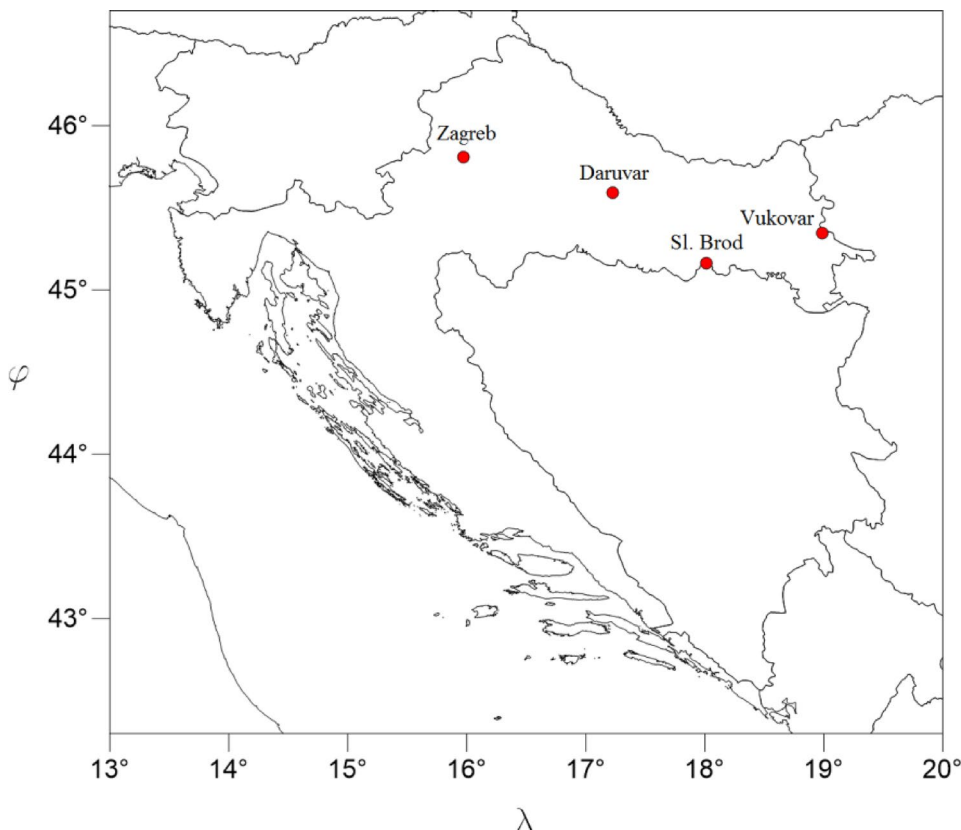
Uzevši u obzir prethodno opisanu funkcionalnost programa HTMV14-v.2 jasno treba naglasiti da ona na više načina nadilazi elementarnu i dovoljnu razinu potreba automatiziranog i učinkovitog, odnosno jednoznačnog transformiranja visina. Naime, program omogućuje alternativnu uporabu dviju različitih verzija HTMV-a, računanje visinskih transformacijskih parametara s različitim brojem signifikantnih decimalnih mjesta te alternativnu primjenu bilinearne i bikubne interpolacije grida. Navedene funkcionalnosti nedvojbeno mogu dovesti do različitih transformacijskih rezultata, koji pri svakodnevnoj stručnoj uporabi svakako nisu dopušteni, ali navedene funkcionalnosti vrlo su značajne u procesu vrednovanja svojstava transformacijskog modela i analizama usmjerenim prema poboljšanjima kvalitete transformacijskog procesa.

5. Analiza kvalitete HTMV14-v.2

Ključna pretpostavka za analizu kvalitete poboljšane verzije HTMV-a, tj. verzije HTMV14-v.2, primjereno su kvalitetni podatci repera na području obuhvata modela, neovisni o podacima repera korištenim pri kreaciji modela. Bilo bi poželjno da su ti reperi dovoljno brojni i primjereno homogeno distribuirani na području Republike Hrvatske. Sukladno dostupnosti podataka repera i nemogućnosti pribavljanja uistinu velikog i mjerodavnog skupa repera, iz raspoloživih su izvornika prikupljeni podatci 203 repera gradskih nivelmanskih mreža koncentriranih na području 4 grada u sjevernom dijelu Republike Hrvatske. Abecednim redom to su podatci: 19 repera iz grada Daruvara (Barbić 2004), 20 repera iz Slavenskog Broda (Kilić i Kurtović 2011), 74 repera iz Vukovara (Matišić 2012) i 90 repera iz Zagreba (Razumović 2014). Položaj gradova označen je na slici 9.

Jasno je da se reperi gradskih nivelmanskih mreža Daruvara, Slavenskog Broda i Vukovara nalaze isključivo na području obuhvata transformacijskoga grida I. reda. Tih ukupno 113 repera nije izvorno korišteno pri izradi obiju verzija HTMV-a. Od 90 repera iz mreže grada Zagreba, 62 su sadržana unutar transformacijskoga grida II. reda te 28 repera unutar grida III. reda. Ti su reperi korišteni prilikom kreacije verzije HTMV14-v.2, ali nisu bili korišteni pri kreaciji verzije HMTV08-v.1. Slika 9 jasno pokazuje da su reperi klusterski raspoređeni duž sjevernog dijela Hrvatske, što nije optimalno za ocjenu kvalitete modela, iako je u nedostatku primjerenijih podataka vrlo indikativno. Slika 10 sadrži izvatke plohe modela verzije HTMV14-v.2 za svaki od gradova. Na slikama se jasno vide oblik i dinamika plohe modela te položajna raspodjela repera na svakoj lokaciji.

Uzevši u obzir predložene repere, za koje su dostupni verificirani podatci elipsoidnog položaja te visina u starom i novom sustavu, pokazatelj kvalitete HTMV-a moguće je odrediti iz razine nepodudarnosti visinskih transformacijskih parametara određenih pomoću modela (modelne vrijednosti $\Delta\bar{H}$) i određenih neposredno i neovisno o modelu iz podataka repera (empirijske vrijednosti ΔH). Postignutu



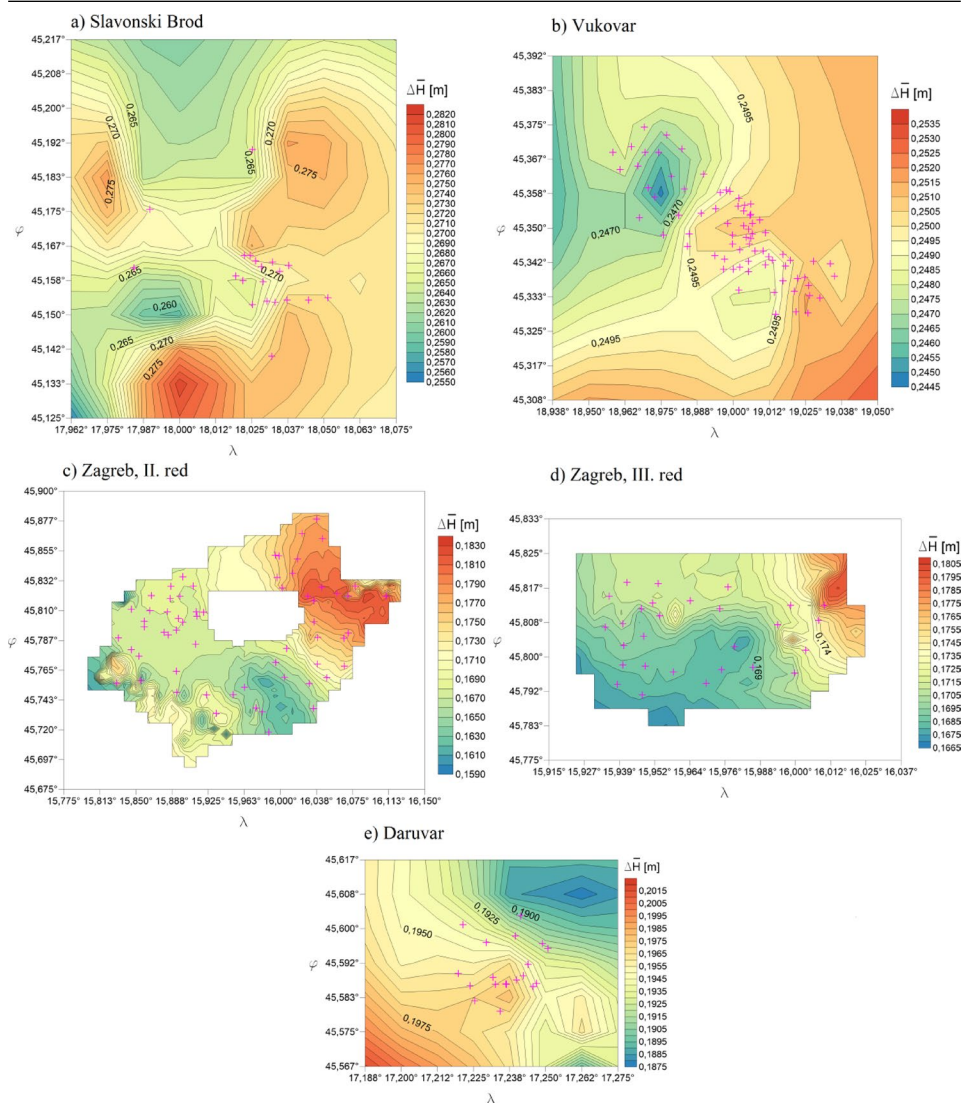
Slika 9. Gradovi s podacima repera za koje je provedena analiza.

razinu kvalitete jednostavno je kvantificirati primjenom kriterija standardnog odstupanja računatog iz odstupanja

$$\varepsilon = \Delta H - \Delta \bar{H}. \quad (3)$$

Naime, ako se empirijske vrijednosti visinskih transformacijskih parametara ΔH usvoje kao kvaziprave vrijednosti, slijedi da se odstupanja ε mogu interpretirati kao kvaziprave pogreške, što omogućuje računanje standardnog odstupanja prema teorijskoj definiciji (Feil 1989).

Sukladno navedenom, uporabom podataka repera s područja Daruvara, Slavonskog Broda i Vukovara te računalnog programa *HTMV bbi v.2* određena su odstupanja ε i pripadna standardna odstupanja s za verziju HTMV14-v.2. Kako podatci tih repera nisu korišteni pri kreaciji verzije HTMV14-v.2 dobivena standardna odstupanja iskazuju, zasebno za svaku lokaciju i skupno za sve lokacije gradova, tzv. vanjsku kvalitetu transformacijskog modela. Standardno odstupanje za sve lokacije gradova (DA + SB + VK) određeno je pomoću svih podataka repera tih gradova. Izračunati kriteriji točnosti predočeni su u tablici 1.



Slika 10. Modelna ploha HTMV-a za Slavonki Brod, Vukovar, Zagreb i Daruvar.

Tablica 1. Standardna odstupanja – Daruvar, Slavonki Brod i Vukovar – grid I. reda.

Područje	s [mm]
Daruvar (DA)	1,69
Slavonki Brod (SB)	2,58
Vukovar (VK)	0,59
DA + SB + VK	1,35

Standardna odstupanja vrlo su malog iznosa i pokazuju visoku razinu kvalitete modela, koja je sasvim zadovoljavajuća za većinu standardnih stručnih i znanstvenih zadaća. Kako su prva i druga verzija HTMV-a, izvan područja gradske nivelmanske mreže Zagreba, u potpunosti podudarne (Razumović 2014) predočeni pokazatelji kvalitete istovremeno vrijede i za verziju HTMV08-v.1. Generaliziranjem dobivenog rezultata može se zaključiti da je vanjska točnost transformacijskog modela na području sjeverne Hrvatske višestruko viša od izvorno deklarirane točnosti modela u iznosu od 1 cm (Rožić 2009b), uz napomenu da je dobivena samo s trima različitim klusterski pozicioniranim lokacijama, na temelju relativno malog broja podataka repera koji su ujedno na svakoj od lokacija i položajno prilično zgusnuti.

Analognim postupkom određena su i standardna odstupanja pomoću podataka repera na području grada Zagreba, sukladno područjima obuhvata transformacijskih gridova II. i III. reda, tablica 2. Kako su navedeni reperi korišteni prilikom kreacije verzije HTMV14-v.2, standardna odstupanja iskazuju samo unutarnju kvalitetu transformacijskog modela. Standardno odstupanje za oba grida (grid II. + III. reda) određeno je pomoću svih podataka repera na području tih gridova.

Tablica 2. Standardna odstupanja – Zagreb – gridovi II. i III. reda.

Područje	s [mm]
Grid II. reda	0,95
Grid III. reda	0,15
Grid II. + III. reda	0,79

Na temelju standardnih odstupanja iz tablice 2 može se zaključiti da je korištenjem gridova II. i III. reda postignuta uistinu visoka unutarnja kvaliteta modela te da je omogućena točnost transformacije visina točaka na milimetarskoj razini.

6. Zaključak

Računalni program *HTMV_bbi_v.2* uspješna je realizacija alata namijenjenog automatiziranoj i učinkovitoj uporabi obiju do sada kreiranih verzija Hrvatskog transformacijskog modela visina. Štoviše, program razinom funkcionalnosti nadilazi potrebe isključivo rutinske stručne uporabe jer omogućuje primjenu u području analize kvalitete transformacijskih modela. Pri njegovoj izradi, uz primjenu originalnih programskih rješenja, postignuta je visoka razina jednostavnosti i učinkovitosti uporabe te korisničke orijentiranosti. Iako program nema službeni karakter, verificiran od Državne geodetske uprave Republike Hrvatske, posve je podudaran s modulom programa T7D, koji se odnosi na transformaciju visina uz uporabu službene verzije HTMV08-v.1. U postojećim okolnostima program ima primarno istraživačku namjenu i vezan je uz interne istraživačke projekte Geodetskog fakulteta, iako bi se relativno jednostavnim modifikacijama mogao prirediti i za javnu, tj. službenu uporabu prije svega eliminiranjem onih funkcija programa

koje u sklopu realizacije transformacijskog procesa dovode do različitih transformacijskih rezultata. Taj program ujedno otvara i pitanje kontinuiranog poboljšanja kvalitete transformacijskog modela i procesa, jer sadrži empirijsku realizaciju kvalitativno inoviranog transformacijskog modela, tj. verzije HTMV14-v.2, unatoč činjenici da ni ona nema službeni karakter. Drugim riječima, u ovom trenutku postoji ne samo održivi koncept i empirijska realizacija poboljšane verzije HTMV-a, već istovremeno postoji i učinkovit alat za njezinu uporabu.

Učinkovitost primjene programa *HTMV_bbi_v.2* dobro je ilustrirana određivanjem pokazatelja kvalitete modela za sjeverni dio područja Republike Hrvatske. Pokazatelji vanjske i unutarnje kvalitete modela, odnosno transformacijskog procesa, upućuju na zaključak da je model primjereno kvalitetan za rutinsku stručnu uporabu i da udovoljava deklariranoj centimetarskoj razini točnosti, što je za sve stručne radove vezane uz topografske podatke i više nego zadovoljavajuće. Naravno, ovaj generalizirani zaključak treba razumjeti s gledišta kvalitete i svojstava podataka repera korištenih u procesu određivanja pokazatelja kvalitete.

Literatura

- Barbić, M. (2004): Modeliranje odnosa nadmorskih visina repera u gradskoj nivelmanjskoj mreži Daruvara, diplomski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Bašić, T. (2009): Jedinstveni transformacijski model i novi model geoida Republike Hrvatske, Izvješća o znanstveno-stručnim projektima 2006.–2008., Državna geodetska uprava, Zagreb, 5–21.
- Briggs, I. C. (1974): Machine contouring using minimum curvature, *Geophysics*, Vol. 39, No. 1, 39–48.
- Dewhurst, W. T. (1990): NADCON – The Application of Minimum Curvature Derived Surfaces in the Transformation of Positional Data from the North American Datum of 1927 to the North American Datum of 1983, NOAA Technical Memorandum NOS NGS-50.
- Dinter, G., Illner, M., Jäger, R. (1996): A synergetic approach for the transformation of ellipsoidal heights into a standard height reference system (HRS), Proceedings of the EUREF-Symposium at Ankara, 22–25 May 1996, Veröffentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung, Heft 57, 198–217.
- Feil, L. (1989): Teorija pogrešaka i račun izjednačenja – prvi dio, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- ICSM (2014): Geocentric Datum of Australia Technical Manual – Version 2.4, Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping (ICSM), Permanent Committee on Geodesy (PCG), dostupno na: <http://www.icsm.gov.au/publications/index.html#gda>, (6. 2. 2017.).
- Kilić, J., Kurtović, V. (2011): Analiza kvalitete Hrvatskog transformacijskog modela visina na području Slavenskog Broda, rad nagrađen Rektorovom nagradom za ak. god. 2011./2012., Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Matišić, I. (2012): Analiza kvalitete nivelmanske mreže grada Vukovara, rad nagrađen Dekanovom nagradom za ak. god. 2011./2012., Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

- Narodne novine (2004a): Odluka o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske, Službeni list Republike Hrvatske, Zagreb, br. 110.
- Narodne novine (2004b): Ispravak Odluke o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske, Službeni list Republike Hrvatske, Zagreb, br. 117.
- Premužić, M., Šljivić, M. (2010): T7D korisnička aplikacija, Zbornik radova 2. CRO-POS konferencije, Državna geodetska uprava, Zagreb, 87–100.
- Radanović, M. (2015): Funkcionalnost i učinkovitost Hrvatskog transformacijskog modela visina, diplomski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Radanović, M., Železnjak, D. (2014): Analiza funkcionalnosti i kvalitete Hrvatskog transformacijskog modela visina, rad nagrađen Dekanovom nagradom Geodetskog fakulteta za ak. god. 2013./2014., Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Razumović, I. (2014): Analiza transformacije visoke točnosti kao osnove za transformaciju visinskih referentnih sustava, doktorska disertacija, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Rožić, N. (2009a): Implementacija novog visinskog referentnog sustava Republike Hrvatske, Zbornik radova II. simpozija ovlaštenih inženjera geodezije, Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije, Zagreb, 13–28.
- Rožić, N. (2009b): Hrvatski transformacijski model visina, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Rožić, N. (2009c): Hrvatski transformacijski model visina, Izvješća o znanstveno-stručnim projektima 2006.–2008., Državna geodetska uprava, Zagreb, 23–46.
- Rožić, N., Radanović, M., Železnjak, D. (2015): Automatizacija primjene i ispitivanje kvalitete Hrvatskog transformacijskog modela visina, Zbornik radova 4. CROPOS konferencije, Državna geodetska uprava, Zagreb, 84–95.
- Smith, W. H. F., Wessel, P. (1990): Gridding with continuous curvature splines in tension, *Geophysics*, Vol. 55, No. 3, 293–305.

Quality Evaluation of the Croatian Height Transformation Model with the use of Specialised Software HTMV_bbi_v.2

ABSTRACT. On the territory of the Republic of Croatia the basic official infrastructure for the transformation of height data, between the old (HVR S1875) and the new (HVR S71) height reference coordinate system, is the Croatian height transformation model (HTMV). This paper presents a short overview of both versions of the HTMV that have been realized up to present, the original and official version – HTMV08-v.1 and the new improved and for the time being unofficial version – HTMV14-v.2. The new specialised software HTMV_bbi_v.2, designed for the automatic transformation of the height coordinates of the points with known ellipsoidal position for both versions of the HTMV, has been described in detail. The mentioned software enables empirical realization of the second improved version of the HTMV. An independent analysis of the external and internal quality of the HTMV14-v.2 has been made with the use of HTMV_bbi_v.2 software. The obtained results show that the quality is higher than the expected centimetre.

Keywords: HTMV, height transformation, transformation grid, quality, Croatia, HTMV_bbi_v.2.

Primljeno / Received: 2017-03-24

Prihvaćeno / Accepted: 2017-05-11