



REPUBLIKA HRVATSKA
DRŽAVNA GEODETSKA UPRAVA

ISSN 1845-3953

IZVJEŠĆA

o znanstveno-stručnim
projektima
2006. - 2008.

Zagreb, listopad 2009.



REPUBLIKA HRVATSKA
DRŽAVNA GEODETSKA UPRAVA
10 000 Zagreb, Gruška 20
Telefon: 01/6165-404; telefax: 01/6165-484
www.dgu.hr

Izdavač:
Državna geodetska uprava Republike Hrvatske

Za izdavača:
prof. dr. sc. Željko Bačić

Glavni urednik:
Marinko Bosiljevac, dipl. ing.

Tehnički urednik:
Margareta Premužić, dipl. ing.

Tisak:
Digital point tiskara d.o.o. Rijeka

Naklada:
750 primjeraka

Napomena:

Svi radovi su tiskani u obliku kako su ih autori napisali, bez naknadne recenzije i lekture teksta.

© DRŽAVNA GEODETSKA UPRAVA

ISSN 1845-3953

Sadržaj

| | |
|---|----|
| Tomislav Bašić | |
| Jedinstveni transformacijski model i novi model geoida Republike Hrvatske | 5 |
| Nevio Rožić | |
| Hrvatski transformacijski model visina | 23 |
| Miodrag Roić, Siniša Mastelić Ivić, Vlado Cetl, Mario Mađer, Baldo Stančić | |
| Analiza preduvjeta za pojedinačno prevođenje katastarskih čestica u katastar nekretnina | 47 |
| Miodrag Roić, Vlado Cetl, Mario Mađer, Hrvoje Tomić, Baldo Stančić | |
| Homogenizacija katastarskog plana – I. faza | 61 |
| Mario Brkić, Danijel Šugar, Marko Pavasović, Milan Rezo | |
| Osnovna geomagnetska mreža Republike Hrvatske – za potrebe službene kartografije – faza II i III | 79 |

Jedinstveni transformacijski model i novi model geoida Republike Hrvatske

Tomislav Bašić¹

Sažetak

U radu se donose preliminarni rezultati za novi GRID model transformacije između nasljeđenog lokalnog (HDKS) i novog službenog globalnog geocentričkog (HTRS96) datuma, temeljeni na u trenutku pisanja raspoloživim identičnim točkama u obadva sustava (oko 2000) kao i rezultati za novu plohu geoida Republike Hrvatske (HRG2009), koji zajedno čine jedinstveni model transformacije T7D (komjutorski program) za službenu transformaciju starih prostornih podataka u novi položajni i visinski referentni sustav Republike Hrvatske. Očekivana je točnost trodimenzionalne transformacije bolja od ± 5 cm na najvećem dijelu teritorija Hrvatske.

Ključne riječi: geodetski datum, geodetski referentni sustav, transformacija, distorzija, geoid, kolokacija po najmanjim kvadratima.

Abstract

Unique transformation model and new geoid model of the Republic of Croatia

The paper made the preliminary results for the new GRID model of transformation between the inherited local (HDKS) and the new official global geocentric (HTRS96) datum, based on the time of writing available identical points in both systems (around 2000) as well as results of a new geoid surface for Croatia (HRG2009), which together constitute a unique model of transformation T7D (computer program) for the official transformation of the old spatial data in a new positional and vertical reference system of the Republic of Croatia. Expected accuracy for the three-dimensional transformation is better than ± 5 cm in largest part of Croatian territory.

Keywords: geodetic datum, geodetic reference system, transformation, distortion, geoid, least squares collocation.

¹ Prof. dr. sc. Tomislav Bašić, Hrvatski geodetski institut i Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, e-mail: tomislav.basic@cgi.hr, tomislav.basic@geof.hr .

1. Uvod

Široka upotreba satelitskih tehnika pozicioniranja stvorila je potrebu za boljim razumijevanjem složenijih geodetskih problema kao što su definicija i realizacija geodetskog datuma, odnos između geoida i referentnog elipsoida te naročito transformacija između povijesnih i modernih geodetskih referentnih sustava. Primjena GNSS mjerenja u geodeziji omogućila je, ali i nametnula obnovu postojećih odnosno uspostavu novih državnih referentnih okvira, što je i kod nas rezultiralo usvajanjem novih službenih geodetskih datuma i kartografskih projekcija Republike Hrvatske (N.N. 110/2004, Bašić 2007, Bašić i dr. 2003).

Uvođenje novog geodetskog datuma pruža značajne dugoročne koristi (Brockmann i dr. 2001), no složeni problemi i zapreke povezane s usvajanjem tog datuma su vrlo velike. Svakako jedan od većih tehničkih izazova pritom je pružanje korisnicima prostornih podataka mogućnosti učinkovitog rješavanja među-datumskih transformacija. Stoga je 2006. godine, u okviru projekta „Izrada jedinstvenog transformacijskog modela - HTRS96/HDKS”, koji je Zavod za geometriku Geodetskog fakulteta realizirao za Državnu geodetsku upravu, razvijeno za potrebe položajne transformacije tzv. rješenje povećane točnosti – GRID transformacija (Bašić i dr. 2006a, 2006b). Jednako tako, već 2000. godine je radi omogućavanja transformacije visina iz elipsoidnih u geoidne određena u okviru projekta „Detaljni model geoida Republike Hrvatske” službena ploha geoida za cjelokupni teritorij države – HRG2000 (Bašić 2001, Bašić 2002).

Zbog činjenica da se HTRS/HDKS transformacijski model temelji na relativno malo preko teritorija RH neravnomjerno raspoređenih identičnih točaka (≈ 2000) koje ponegdje pokazuju i lošu kvalitetu samih podataka, zatim da je model geoida HRG2000 izračunan na temelju ograničenog broja mjerenih podataka (pogotovo u graničnom području sa susjednim državama) i da se odnosi na stari visinski datum („Trst”), a nedostaje i nezavisna procjena kvalitete te plohe u apsolutnom smislu, potpisan je između Državne geodetske uprave i Geodetskog fakulteta krajem listopada 2008. godine Ugovor o izvođenju razvojno-istraživačkog projekta „Novi model geoida Republike Hrvatske i poboljšanje T7D modela transformacije”. Do sada ostvareni rezultati na projektu prezentirani su u ovom radu.

2. Hrvatska GRID transformacija

U (Bašić i dr. 2006a i 2006b) analizirana su strana iskustava po pitanju rješavanja transformacije između nasljeđenih, u pravilu lokalnih geodetskih datuma, i modernih, u pravilu geocentričkih datuma. Metode koje se razvijaju za potrebe korisnika s različitim zahtjevima na točnost transformacije temelje se najčešće na četiri metode među-datumskih transformacija koje se između ostaloga razlikuju po točnosti, tablica 1 (ICSM, 2000).

Tablica 1. Metode transformacije koordinata

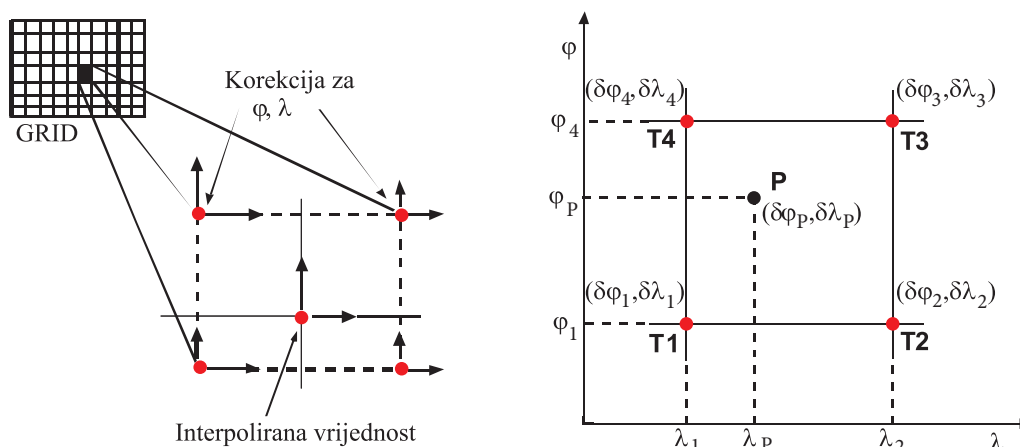
| Metoda transformacije | | ≈ točnost |
|-----------------------|--|------------|
| 1 | GRID metoda | 0.1– 0.3 m |
| 2 | 3D slična, 7-parametarska transformacija | 1 m |
| 3 | 5-parametarska transformacija Molodenskog | 5 m |
| 4 | Jednostavni pomak bloka («Simple Block Shift») | 10 m |

Kao i u većini država svijeta, zbog povećane točnosti transformacije te jednostavnosti i učinkovitosti primjene, kao optimalno rješenje se je i kod nas nametnula metoda GRID transformacije, koja se temelji na konformnom pomaku datuma i korištenju distorzijskog modela (više u Bašić i dr. 2006a). GRID metoda koristi se za računanje transformacijskih parametara u traženoj točki, gdje se nepoznati transformacijski parametri u točki P računaju iz poznatih transformacijskih parametara u najbližim točkama GRID-a primjenom metode bi-linearne interpolacije (slika 1). Izrazi (1) i (2) predstavljaju model za računanje transformacije po geodetskoj širini ($\delta\varphi_p$) i duljini ($\delta\lambda_p$) točke P:

$$\delta\varphi_p = a_0 + a_1X + a_2Y + a_3XY \quad ; \quad \delta\lambda_p = b_0 + b_1X + b_2Y + b_3XY \quad (1)$$

pri čemu je:

$$\begin{aligned} a_0 &= \delta\varphi_1, & a_1 &= \delta\varphi_2 - \delta\varphi_1, & a_2 &= \delta\varphi_4 - \delta\varphi_1, & a_3 &= \delta\varphi_1 + \delta\varphi_3 - \delta\varphi_2 - \delta\varphi_4, \\ b_0 &= \delta\lambda_1, & b_1 &= \delta\lambda_2 - \delta\lambda_1, & b_2 &= \delta\lambda_4 - \delta\lambda_1, & b_3 &= \delta\lambda_1 + \delta\lambda_3 - \delta\lambda_2 - \delta\lambda_4, \\ X &= (\lambda_p - \lambda_1) / (\lambda_2 - \lambda_1), & Y &= (\varphi_p - \varphi_1) / (\varphi_4 - \varphi_1) \end{aligned} \quad (2)$$

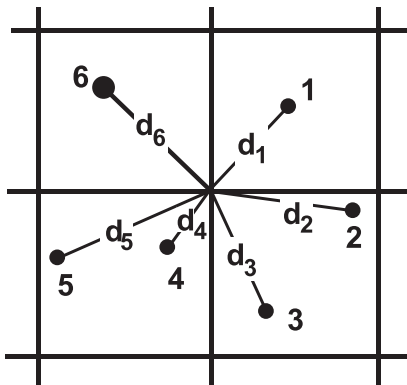


Slika 1. GRID transformacija

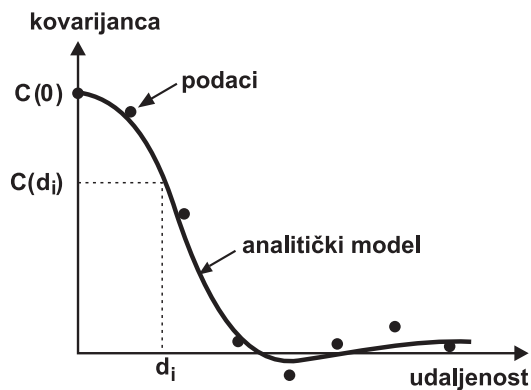
Primjena konformne transformacije radi realizacije pomaka datuma iz staroga u novi bez distorzijskog modela zanemarila bi utjecaj distorzije u transformiranim koordinatama u iznosu od nekoliko metara. U praksi se za modeliranje distorzije obično koriste sljedeće metode: Ploha minimalne zakrivljenosti (Minimum Curvature Surfaces), Višestruka regresija (Multiple Regression) i Kolokacija po najmanjim kvadratima (Least Squares Collocation), (ICSM, 2000).

Konačni odabir najprikladnije metode modeliranja distorzije uvjetovan je razvojem GRID-a prema dostupnosti novih podataka. Stoga je zbog povoljnih statističkih pokazatelja i mogućnosti naknadnog dodavanja podataka najinteresantnija zapravo “Kolokacija po najmanjim kvadratima” – LSC (Bašić i dr. 2006a). LSC je tehnika koja u promatranoj točki uzima u obzir utjecaj distorzije susjednih točaka ovisno o udaljenosti od promatrane točke. Kod računanja distorzijskog GRID-a cilj je koristiti slučajno raspoređene podatke da bi se procijenile komponente distorzije ($\delta\varphi$, $\delta\lambda$) u svakom čvorištu GRID-a. Na slici 2 prikazan je princip procjene komponenti distorzije u centralnom čvorištu GRID-a iz poznatih distorzija okolnih točaka, pri čemu su udaljenosti između svake točke i čvorišta GRID-a poznate. Za opisivanje prostornog

utjecaja distorzije kao funkcije udaljenosti koristi se funkcija kovarijance, koja se najprije računa empirijski iz podataka, a potom aproksimira prikladnim analitičkim modelom (slika 3).



Slika 2. Računanje komponenti distorzije



Slika 3. Funkcija kovarijance

Linearna jednadžba za predikciju distorzije po teoriji najmanjih kvadrata glasi:

$$\hat{\delta} = C_l C_D^{-1} \mathbf{l} \quad (3)$$

gdje se elementi vektora C_l (jednadžba 4) računaju iz analitičke funkcije kovarijance u ovisnosti o udaljenosti između poznatih točaka i promatrane točke ($d_1, d_2, d_3, \dots, d_6$). Slično se u jednadžbi (5) elementi matrice C_D računaju iz analitičke funkcije kovarijance u ovisnosti o udaljenostima između svih kombinacija točaka (d_{ij} je udaljenost između točaka i i j). Vektor \mathbf{l} (izraz 6) sadrži distorziju u svakoj točki.

$$C_l = [C(d_1) \ C(d_2) \ C(d_3) \ C(d_4) \ C(d_5) \ C(d_6)] \quad (4)$$

$$C_D = \begin{bmatrix} C(0) & C(d_{12}) & C(d_{13}) & C(d_{14}) & C(d_{15}) & C(d_{16}) \\ C(d_{21}) & C(0) & C(d_{23}) & C(d_{24}) & C(d_{25}) & C(d_{26}) \\ C(d_{31}) & C(d_{32}) & C(0) & C(d_{34}) & C(d_{35}) & C(d_{36}) \\ C(d_{41}) & C(d_{42}) & C(d_{43}) & C(0) & C(d_{44}) & C(d_{45}) \\ C(d_{51}) & C(d_{52}) & C(d_{53}) & C(d_{54}) & C(0) & C(d_{56}) \\ C(d_{61}) & C(d_{62}) & C(d_{63}) & C(d_{64}) & C(d_{65}) & C(0) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{l} = [\delta_1 \ \delta_2 \ \delta_3 \ \delta_4 \ \delta_5 \ \delta_6]^T \quad (6)$$

Procjena uz pomoć izraza za predikciju po najmanjim kvadratima je relativno jednostavan proces, no prostorna distribucija podataka može uzrokovati singularnost matrice kovarijance, što ponekad može dovesti do nestabilnosti matematičkog procesa. Komponenta pomaka datuma može se utvrditi u potpunosti 7-parametarskom transformacijom, koja translata, rotira i korigira za promjenu mjerila, tako da objekt kroz transformaciju zadržava svoj izvorni oblik. Razvoj i nastanak GRID-a i njegovih komponenti je složen proces koji uključuje obradu

velike količine podataka, a potrebni slijed radnji može se optimirati, ali ipak zahtjeva primjenu iteracijskog postupka.

U nastavku slijedi primjer definiranja parametara hrvatske GRID transformacije na temelju raspoloživih identičnih točaka 2006. godine, a to su EUREF i CRODYN točke, trigonometri 1. reda te raspoloživi trigonometri 2. i nižih redova. Same točke preuzete su iz baze stalnih geodetskih točaka DGU, dijelom su one koje stoje na raspolaganju u Zavodu za geomatiku, a dijelom su preuzete od većih geodetskih tvrtki. Računanje 7 parametara Helmertove transformacije obavljeno je s vlastitim kompjutorskim programom T7.

Nakon eliminiranja kolinearnih i nepouzdatih točaka (detalji tog postupka mogu se naći u Bašić i dr. 2006a), na koncu su za Hrvatsku dobiveni jedinstveni transformacijski parametri i njihova ocjena točnosti (tablica 2 i slika 4).

Tablica 2. Set 7-parametarske transformacije dobiven na temelju 1780 točaka

```

Direction: HTRS (ETR S89) ==> HDKS (BESSEL)
=====
s0 = +/- .740 m
DX = -550.4985 m sDX = +/- .914 m
DY = -164.1161 m sDY = +/- 1.149 m
DZ = -475.1416 m sDZ = +/- .891 m
EX = 5.80967190 " sEX = +/- .031976 "
EY = 2.07901633 " sEY = +/- .032383 "
EZ = -11.62385702 " sEZ = +/- .032014 "
DM = 5.54176398 ppm sDM = +/- .119520 ppm
( 1.000005 54) (+/- .00000012)

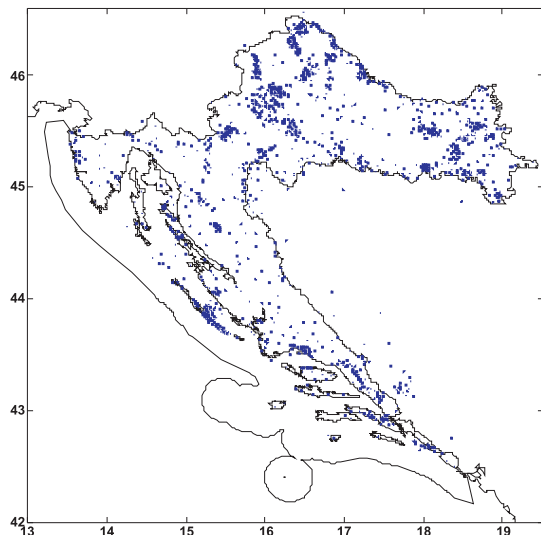
Rms misfit in X-direction: +/- .402 m ... in NS-direction: +/- .489 m
Rms misfit in Y-direction: +/- .489 m ... in EW-direction: +/- .517 m
Rms misfit in Z-direction: +/- .382 m ... in H -direction: +/- .199 m

Horizontal rms misfit in (NS -EW): +/- .712 m
Spatial rms misfit in (NS -EW-H): +/- .739 m

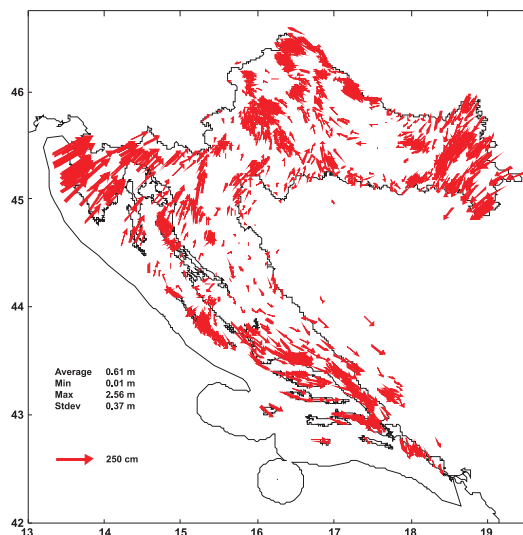
```

Kao što se vidi iz ostvarene unutarnje ocjene točnosti, izračunani jedinstveni transformacijski parametri osiguravaju na području Hrvatske položajnu (2D) transformaciju s točnošću od ± 0.712 m i prostornu (3D) transformaciju s točnošću od ± 0.739 m (uz korištenje HRG2000 geoida). Temeljem dobivenih nesuglasica u identičnim točkama nakon provedene transformacije s gore iznađenim parametrima, i to nesuglasica u smjeru sjever-jug i zapad-istok, dobiveni su grafički prikazi na slikama 5, 6 i 7, iz kojih se vide značajne nehomogenosti trigonometrijske mreže u karakterističnim horizontalnim smjerovima. Apsolutno neslaganje preko cijelog teritorija iznosi po x-osi preko 2.0 m, a po y-osi čak preko 3.0 m. Slika 5 potvrđuje otprije poznatu koreliranost vektora položajnih reziduala sa 7 blokova austro-ugarske triangulacije, unutar kojih je bila izjednačena tadašnja trigonometrijska mreža 1. reda po uvjetnim opažanjima (Bašić i Šljivarić 2003).

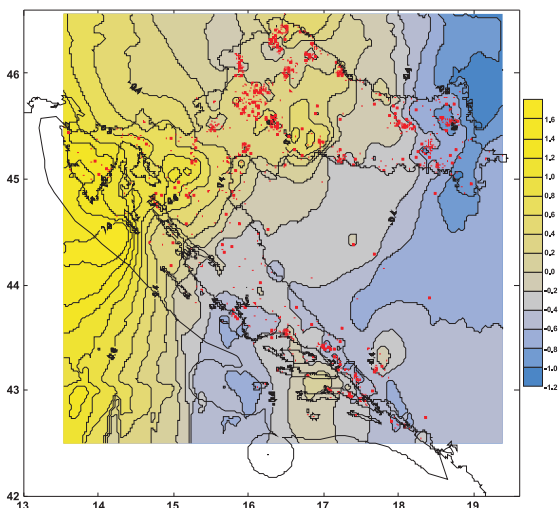
Preostale nesuglasice dobivene nakon konformne transformacije datuma - distorzija po x-osi (sjever-jug) i y-osi (zapad-istok) predmet su daljnjeg modeliranja. Na slici 8 prikazane su dobivene empirijske i analitičke funkcije kovarijanci za komponente položajne distorzije, s pripadnim statističkim pokazateljima za takove funkcije: vrijednosti varijance C_0 (vrijednost kovarijance na udaljenosti nula) i korelacijske udaljenosti KU (udaljenost koja odgovara vrijednosti kovarijance od $C_0/2$). Te su funkcije potom korištene za primjenu metode kolokacije po najmanjim kvadratima odnosno predikcije distorzije (izrazi 3 do 6) u pravilnom gridu preko cjelokupnog teritorija.



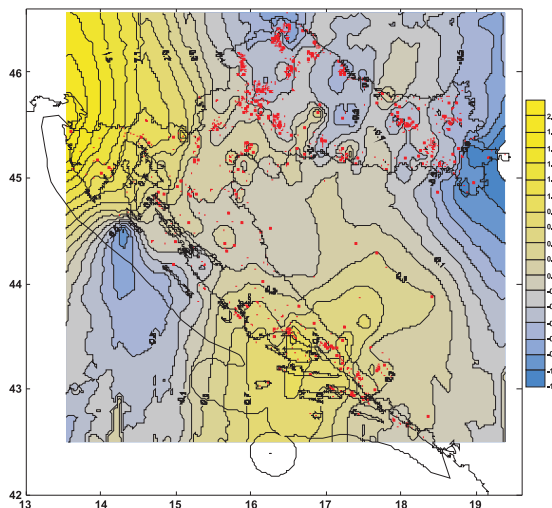
Slika 4. 1780 točaka za transformaciju



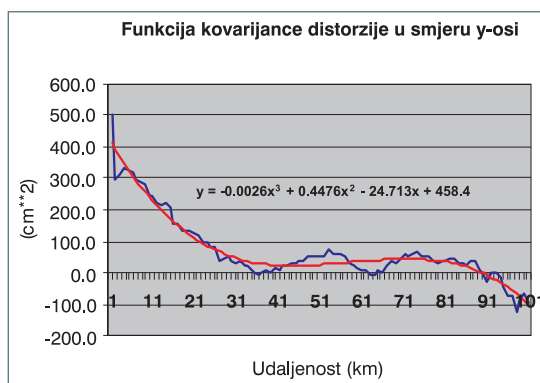
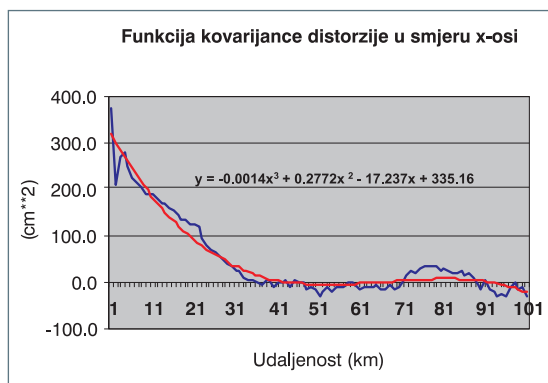
Slika 5. Položajna distorzija, rms= $\pm 0,71$ m



Slika 6. Neslaganje po x-u, rms= $\pm 0,49$ m



Slika 7. Neslaganje po y-u, rms= $\pm 0,54$ m



Slika 8. Funkcija kovarijance po x-osi ($C_0=391,33 \text{ cm}^2$, $KU=19,7 \text{ km}$) i po y-osi ($C_0=521,98 \text{ cm}^2$, $KU=14,1 \text{ km}$)

Na taj je način kreirana posebna datoteka, koja u svakoj točki grida sadrži podatke o vrijednosti HRG2000 geoida (u m), vrijednostima položajne distorzije po obadva smjera (u cm), te dodatno i vrijednosti razlike visina Trst–HVRS71 (u cm), zajedno s pripadnim standardnim devijacijama proizašlim iz kolokacije. Isječak iz te datoteke može se vidjeti u tablici 3. Za potrebe praktične realizacije ove metode transformacije kao jedinstvenog modela za cjelokupni teritorij Republike Hrvatske, razvijen je posebni kompjutorski program T7D (Bašić i dr. 2006a), koji primjenom bilinearne interpolacije omogućava definiranje bilo kojeg od navedenih podataka u svakoj točki na području Hrvatske (zapravo i nešto šire).

Tablica 3. Ispis dijela datoteke s podacima hrvatskog grida

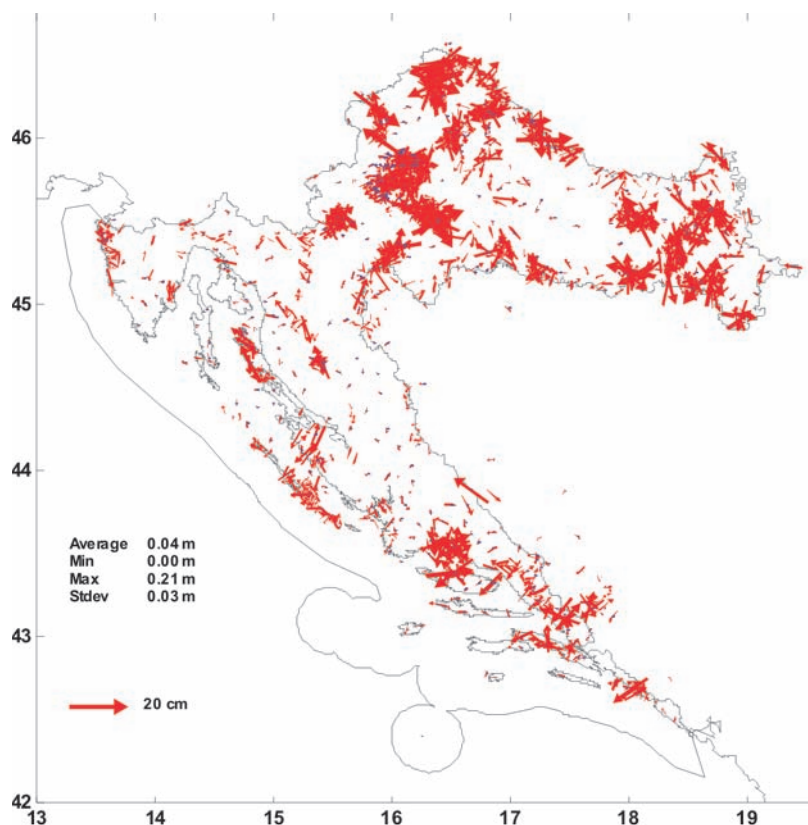
| CHRG2 | sN | dx | sdx | dy | sdY (Trst-HVRS71) | sdH |
|--------|-----|-------|------|-------|-------------------|-------|
| C (m) | (m) | (cm) | (cm) | (cm) | (cm) | (cm) |
| C***** | | | | | | |
| 44.16 | .01 | 15.23 | 6.97 | -7.09 | 9.45 | 17.58 |
| 44.13 | .01 | 19.51 | 5.02 | .82 | 6.81 | 17.75 |
| 44.10 | .01 | 24.83 | 5.44 | 10.64 | 7.40 | 17.85 |
| 44.06 | .02 | 29.82 | 2.79 | 20.92 | 3.71 | 17.96 |
| 44.04 | .02 | 25.22 | 6.18 | 19.09 | 8.39 | 18.02 |
| 44.01 | .02 | 20.38 | 7.24 | 16.16 | 9.83 | 18.07 |
| 43.98 | .02 | 16.15 | 6.97 | 13.61 | 9.45 | 18.09 |
| 43.96 | .02 | 12.46 | 7.04 | 12.45 | 9.52 | 18.14 |

Unutarnja ocjena točnosti nove grid transformacije, temeljem preostalih nesuglasica u 1780 identičnih točaka nakon provedene T7D transformacije nalazi se u tablici 4. Usporedimo li te vrijednosti s onima koji su proizašli temeljem samo 7-parametarske transformacije (tablica 2), može se ustvrditi drastično poboljšanje T7D u odnosu na uobičajenu Helmertovu 7-parametarsku transformaciju. Nova transformacija rezultirala je na području Republike Hrvatske položajnom (2D) transformacijom točnosti $\pm 5,0$ cm i prostornom (3D) transformacijom točnosti $\pm 7,1$ cm. Jednako bitan rezultat ove grid transformacije je taj da više nema problema u područjima dodira dvije lokalne mreže odnosno na dodiru dviju županija ili dvaju područja nekadašnjih blokova austro-ugarske triangulacije. Ovdje se zaista radi o jednom jedinstvenom modelu za cijelu državu.

Tablica 4. Unutarnja ocjena točnosti hrvatske GRID transformacije

| | |
|---------------------------------------|--------|
| Rms misfit in NS-direction: +/- | .035 m |
| Rms misfit in EW-direction: +/- | .035 m |
| Rms misfit in H -direction: +/- | .050 m |
| Horizontal rms misfit in (NS-EW): +/- | .050 m |
| Spatial rms misfit in (NS-EW-H): +/- | .071 m |

Položajne nesuglasice preostale nakon T7D transformacije u vektorskom obliku prikazane su na slici 9. Uočava se da su do sada poznate nehomogenosti trigonometrijske mreže na temelju samo 7-parametarske transformacije bitno smanjene u karakterističnim horizontalnim smjerovima i izrazito slučajnog karaktera. Apsolutno neslaganje preko cjelokupnog teritorija iznosi po x-osi i y-osi nekoliko centimetara i ono je sasvim slučajnog karaktera (očita je varijabilnost po smjeru), pri čemu se više uopće ne može detektirati poznata korelacija s blokovima austro-ugarske triangulacije, tako jasno uočljiva ranije. Ovdje je važno podsjetiti da iako je ovom metodom moguća i transformacija visina, zbog nepouzdanosti visina korištenih trigonometara direktna transformacija visina korištenjem modela geoida svakako je puno točnija i jednostavnija. Zbog toga je i odlučeno poduzeti novo računanje plohe geoida za Hrvatsku.



Slika 9. Preostale položajne nesuglasice nakon T7D transformacije

3. Novi model geoida HRG2009

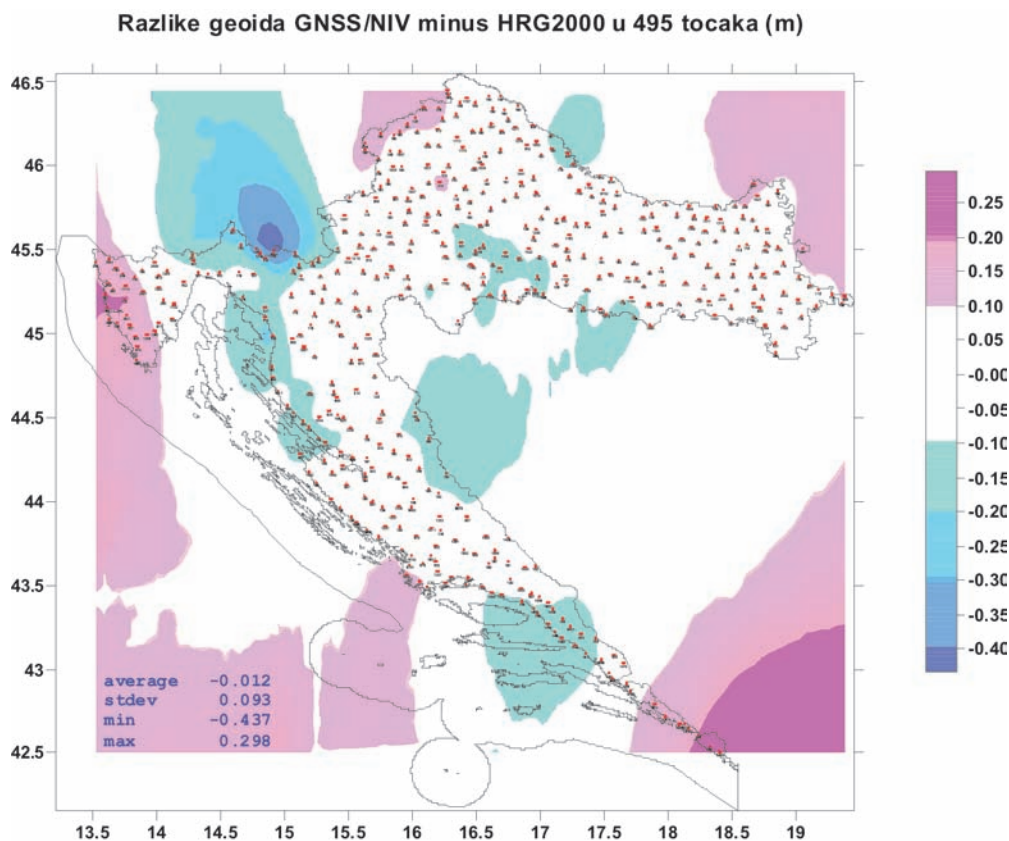
Prilikom prezentacije HRG2000 modela geoida (Bašić 2001) konstatirano je bilo da je to najbolje moguće rješenje tog trena, da prava ocjena kvalitete predstoji (u praksi), te da neko buduće, bitnije poboljšano rješenje (HRG2???) nije moguće bez novih, boljih i gušćih mjerenja (GGM, g, GPS/Niv, ...). S obzirom da je taj trenutak u međuvremenu nastupio iz više razloga, u nastavku slijedi kratki prikaz određivanja nove plohe geoida HRG2009, ali i ocjena kvalitete dosadašnjeg HRG2000 modela.

U okviru pripreme za računanje novog geoida sprovedena su sljedeća istraživanja:

- analiza recentnih globalnih geopotencijalnih modela (GGM) baziranih na CHAMP i GRACE misijama (Hećimović i Bašić 2005a, 2005b, Liker i dr. 2008), priprema za dolazeću misiju GOCE (Hećimović i Bašić 2005c), te posebno ispitivanje i testiranje najnovijeg EGM2008 rješenja (Pavlis i dr. 2008),
- prikupljanje i kontrola kvalitete znatno većeg broja podataka za silu težu (Bašić i Hećimović 2006),
- kreiranje i provjera 3"x3" DMR-a iz podataka Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) za potrebe računanja topografskih efekata Zemljina polja sile teže (Bašić i Buble 2007),
- uspostava Osnovne gravimetrijske mreže, EUVN i EUVN_DA (Bašić i dr. 2006c, Grčić i dr. 2007), čiji će se podaci koristiti za potrebe nezavisne kontrole,

- analiza razlika visina između starog i novog visinskog datuma (Bašić i dr. 2006a, 2006b),
- uspostava preko 500 novih GNSS/Nivelmanskih točaka diljem RH u 2009. godini za potrebe bolje apsolutne orijentacije novog geoida, ali i nezavisne ocjene kvalitete HRG2000 modela geoida.

Izmjera preko 500 GNSS/Niveliranih točaka diljem kopnenog dijela RH, od kojih je na koncu upotrebljeno 495 (nakon provjere kvalitete; slika 10) omogućila je ne samo ispitivanje valjanosti raspoloživih GGM modela na našem području nego konačno i nezavisnu provjeru kvalitete HRG2000 geoida. Kako se vidi iz tablice 5, bitan napredak napravljen je u računanju globalnih geopotencijalnih modela, jer je pouzdanost od EGM96 modela (čine ga koeficijenti razvoja do maksimalnog stupnja i reda 360, što odgovara 55 km valnim duljinama), korištenog pri računanju HRG2000 geoida, drastično porasla kod sada raspoloživog EGM2008 modela (čine ga koeficijenti razvoja do maksimalnog stupnja i reda 2190, što odgovara 9 km valnim duljinama; Pavlis i dr. 2008). Iskazano vrijednostima standardnog odstupanja, ono se je smanjilo sa 0.250 m na svega 0.048 m, jednako kao i ukupno područje varijacije sa 1.932 m na svega 0.361 m. Nezavisna ocjena kvalitete HRG2000 geoida pokazuje da je ona zapravo bolja od očekivane, jer je standardno odstupanje 0.093 m i proteže se preko daleko najvećeg dijela teritorija, s izuzetkom nekoliko problematičnih, uglavnom rubnih područja (vidi sliku 10), koja su očigledno posljedica lošijih GPS/Niv. i prerijetkih Δg , GPS/Niv. podataka, raspoloživih 2000. godine.



Slika 10. Usporedba HRG2000 geoida s GNSS/Niveliranim točkama

Tablica 5: Statistika razlika između 495 GPS/Niveliranih i EGM96, EGM2008 odnosno HRG2000 undulacija (m)

| Br. | Model geoida | Minimum | Maksimum | Sredina | Standardno odstupanje |
|-----|---------------------|---------|----------|---------|-----------------------|
| 1 | EGM96 (360x360) | -1.868 | 0.064 | -1.177 | 0.250 |
| 2 | EGM2008 (2160x2160) | -1.073 | -0.712 | -0.890 | 0.048 |
| 3 | HRG2000 | -0.437 | 0.298 | -0.012 | 0.093 |

Moderna strategija određivanja Zemljina polja ubrzanja sile teže u lokalnom području sastoji se u upotrebi tri vrste informacija: dugovalne strukture Zemljinog polja sile teže se preuzimaju iz raspoloživog globalnog geopotencijalnog modela, srednjevalni dio spektra potječe od korištenih diskretnih terestričkih podataka kao što su: anomalije slobodnog zraka, otkloni vertikale, uz pomoć satelitske altimetrije ili GPS/Nivelmana iznađene geoidne undulacije, i dr., te konačno kratkovalni i ultrakratkovalni dio se modelira uz pomoć visoko-razlučivog digitalnog modela reljefa. Kod toga se u "remove" dijelu postupka definiraju reducirana (rezidualna) mjerenja, koja se uključujući i pogreške mjerenja (šum) mogu prikazati kao linearni funkcionali poremećajnog potencijala T na slijedeći način (Bašić 2001):

$$x_i = L_i(T') + n_i = L_i(T) - L_i(T_{EGM}) - L_i(T_{RTM}) + n_i \quad (7)$$

Primjena metode kolokacije po najmanjim kvadratima rezultira s aproksimacijom poremećajnog potencijala \tilde{T}' od T' :

$$\tilde{T}'(P) = \mathbf{C}_p^T (\mathbf{C} + \mathbf{D})^{-1} \mathbf{x} \quad (8)$$

gdje matrica \mathbf{C} sadrži (auto)kovarijance signala između opažanih veličina, matrica \mathbf{D} njegove pogreške, a matrica \mathbf{C}_p kovarijance između opažanih veličina i predicanog signala \tilde{T}' u točki P . Vrlo važan moment kod primjene metode kolokacije je definiranje varijanci i kovarijanci, i to kako između mjerenih tako i između mjerenih i predicanih signalnih veličina.

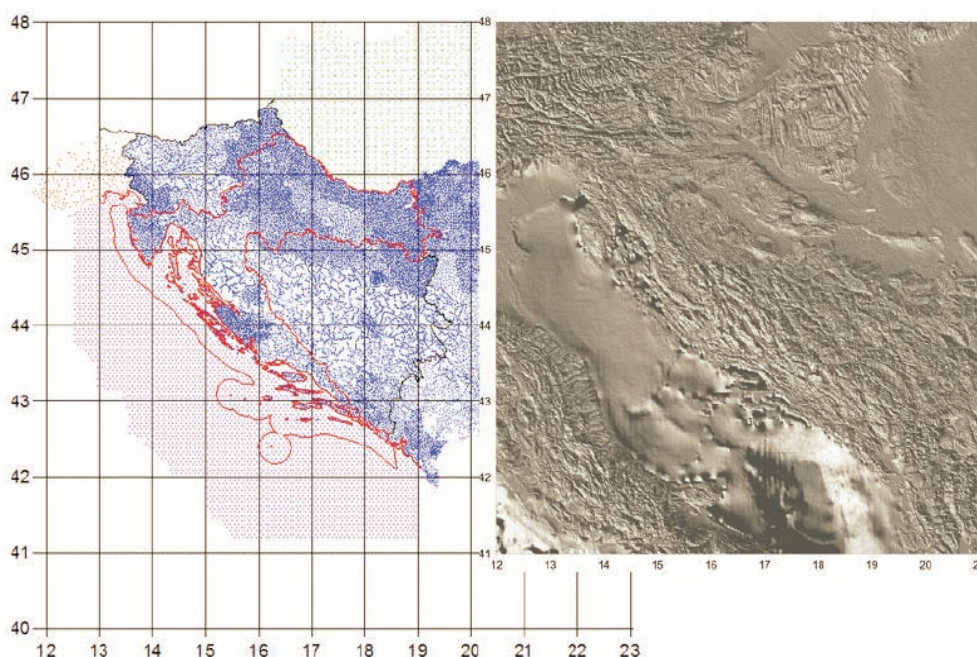
Da se dobije konačni rezultat, nužno je efekte anomalnih topografskih masa i upotrebljenog geopotencijalnog modela vratiti natrag kroz "restore" postupak:

$$L_j(\tilde{T}) = L_j(\tilde{T}') + L_j(T_{EGM}) + L_j(T_{RTM}) \quad (9)$$

Kratkovalne strukture gravitacijskog polja obuhvaćene su rezidualnim modeliranjem topografije, za što su iskorištene informacije o Zemljinim masama sadržane u slijedećim digitalnim modelima reljefa: detaljniji ili fini 4"x5" DMR dobiven iz 3"x3" Shuttle Radar Topography Mission – SRTM (Bašić i Buble 2007) na području između 40° i 48° po geografskoj širini te između 10° i 22° po geografskoj duljini (vidi desni dio slike 11), zatim grubi 1'x1' DMR, koji pokriva veće područje između 36° i 52° po geografskoj širini te 5° i 27° po geografskoj duljini, jednako kao i 5'x5' referentni DMR za rezidualno modeliranje.

Za računanje anomalija slobodnog zraka iskorišteni su točkasti podaci o sili teži na kopnenom dijelu Hrvatske, Slovenije, Bosne i Hercegovine, Srbije i Crne Gore, a dodatno su uključeni i relativno rijetki točkasti podaci za silu težu na području Mađarske i Italije. Na Jadranu su u računanjima korišteni podaci satelitske altimetrije (Bašić i Rapp 1992) i digitalizirani terestrički podaci o sili teži (Morelli i dr. 1969). Svi su podaci adekvatno transformirani u GRS80 sustav, te je na taj način pripremljena datoteka od oko 30000 podataka za anomalije ubrzanja sile teže (slika 11 lijevo).

Primjenom „remove” postupka dobivanja rezidualnog polja ubrzanja sile teže kroz redukciju za efekte globalnog geopotencijalnog modela i rezidualnog modeliranja topografije dobiveni su više nego zadovoljavajući rezultati. Navodimo pokazatelje za primijenjene anomalije slobodnog zraka (slika 11) kao i za GNSS/Nivelirane točke (slika 10) koje su upotrebljene kod računanja HRG20009 geoida. Tablice 6 i 7 sadrže bitne statističke pokazatelje, gdje se pored ukupnog redukcijskog efekta iskazanog u vrijednosti standardne devijacije reziduala, i to sa standardnog odstupanja mjerenih anomalija od 29.20 mgala ($1\text{mgal}=10^{-5}\text{ms}^{-2}$) na svega 5.49 mgala kod rezidualnih anomalija odnosno sa standardnog odstupanja GNSS/Niveliranih undulacija od 1.100 m na svega 0.062 m kod reziduala, uočava i dobro centriranje anomalija ($\Delta g_{\text{REZ}}=0.276$ mgala) te iznos srednje vrijednosti GNSS/Niveliranih reziduala od $N_{\text{rez}}=1.024$ m, koji najviše potječe iz neslaganja našeg novog visinskog datuma HVRS71 i vertikalnog datuma EGM2008 modela (-0.890 m).



Slika 11. Gravimetrijski podaci i SRTM digitalni model reljefa

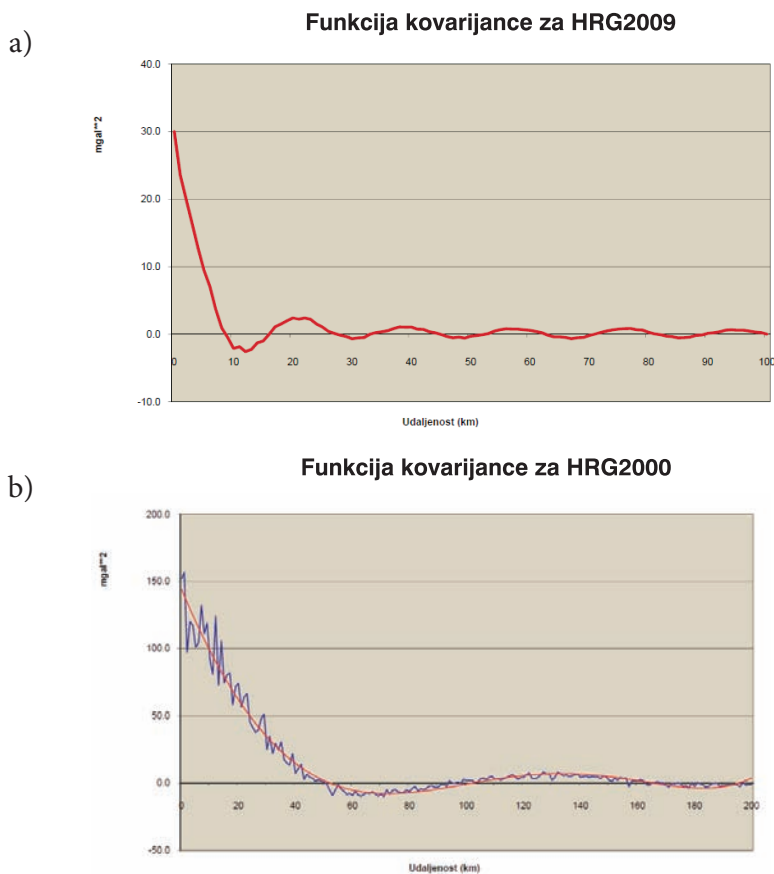
Tablica 6: Statistički podaci redukcije 29330 anomalija slobodnog zraka (10^{-5}ms^{-2})

| | Δg_{GRS80} | $\Delta g_{\text{EGM2008}}$ | Δg_{RTM} | Δg_{REZ} |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Sredina | 11.58 | 15.45 | -4.14 | 0.276 |
| Standardno odstupanje | 29.20 | 28.55 | 13.18 | 5.491 |
| Minimum | -130.71 | -102.79 | -142.69 | -14.994 |
| Maksimum | 166.47 | 163.12 | 62.58 | 14.996 |

Tablica 7: Statistički podaci redukcije 495 GNSS/Niveliranih točaka (m)

| | $N_{\text{GNSS/NIV}}$ | N_{EGM2008} | N_{RTM} | N_{REZ} |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|------------------|------------------|
| Sredina | 44.548 | 45.438 | 0.134 | -1.024 |
| Standardno odstupanje | 1.100 | 1.081 | 0.030 | 0.062 |
| Minimum | 40.414 | 41.429 | 0.089 | -1.271 |
| Maksimum | 46.666 | 45.517 | 0.247 | -0.899 |

Kod primjene metode kolokacije po najmanjim kvadratima od presudnog je značaja računanje kovarijanci između mjerenih i/ili prediciranih veličina Zemljinog polja sile teže. Najbolji se rezultati postižu u slučaju kada se koristi empirijski određena funkcija kovarijance (slika 12a), koja najbolje opisuje statistička svojstva tog polja na području od interesa. Stoga je za Hrvatsku izračunana empirijska funkcija kovarijance na temelju 29330 reziduala anomalija slobodnog zraka, koja ima varijancu od svega 30.03 mgal² i prvu nul-vrijednost već nakon 9 km (!), što su izuzetno povoljne osobine za primjenu u kolokaciji. Ta funkcija pokazuje istovremeno puno bolje statističke karakteristike od one iznađene s znatno manje podataka (≈6000) korištenih prilikom računanja HRG2000 geoida (slika 12b).

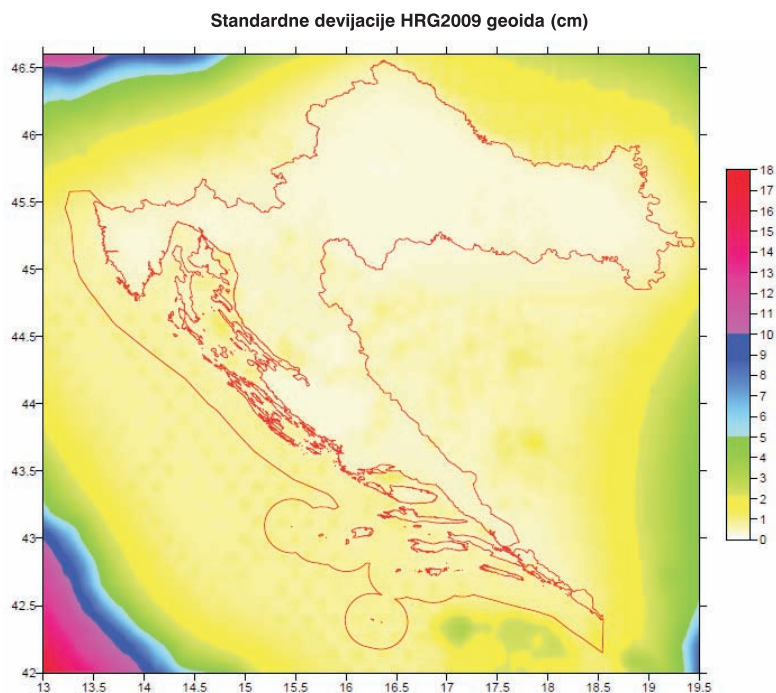


Slika 12. Empirijski iznađene funkcije kovarijanci 2009. i 2000. godine

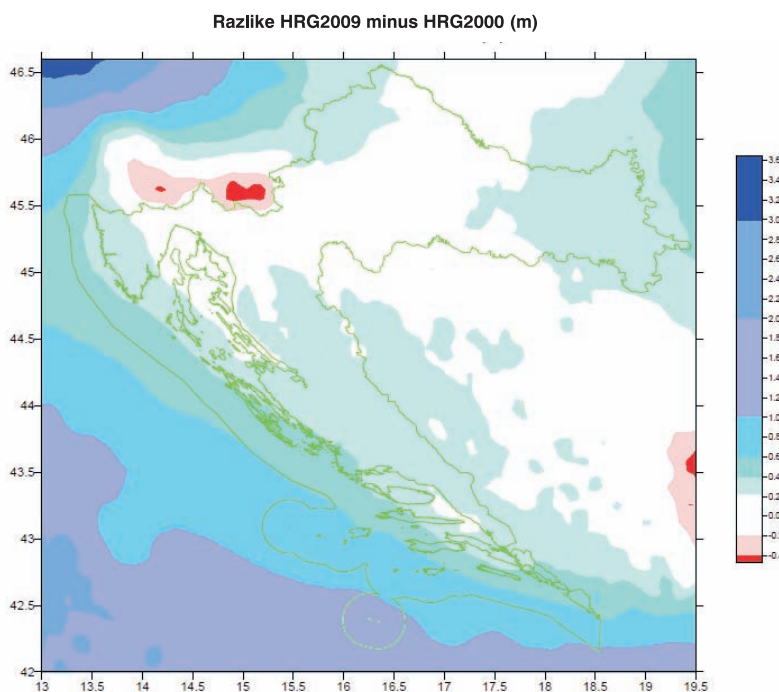
Područje računanja izabrano je tako da potpuno pokriva teritorij Hrvatske i jednako je onom koje je korišteno 2000. godine, a to znači između 42.0^o i 46.6^o po geografskoj širini odnosno 13.0^o i 19.5^o po geografskoj duljini. Pravilni raspored točaka u kojima je obavljeno predicanje reziduala geoida je odabran u rasteru 30" x 45" (~1x1 km), što predstavlja četiri puta bolju detaljnost računanja nego je to bio slučaj kod HRG2000 geoida (Bašić 2001). To znači da je broj točaka računanja sa 72 297 narastao na 288113.

Dobivena unutarnja ocjena točnosti prediciranih vrijednosti HRG2000 geoida (standardna odstupanja) predočena je na slici 13 i iznosi manje od 2 cm na kompletom području Hrvatske. Da bismo dobili kompletne iznose geoidnih undulacija, bilo je još potrebno u točkama predikcije vratiti natrag pripadne efekte rezidualnog modeliranja topografije i globalnog geopotencijalnog modela. U tablici 8 nalazi se najvažnija statistika prediciranih vrijednosti HRG2009 geoida na temelju 72297 podataka računanja (rezolucija HRG2000), kao i numerič-

ka usporedba s HRG2000 geoidom. Grafički prikaz razlika između HRG2009 i HRG2000 geoida prikazan je na slici 14. Vidljivo je da su najveće razlike na rubovima područja računanja (posljedica ponajviše načina računanja i upotrebe različitih podataka), dok se preko teritorija Hrvatske pojavljuju razlike do 40-tak cm na kopnu te do 100-njak cm na Jadranu (Palagruža). Kao konačni proizvod definiran je posebno “selektirani HRG2009 geoid” (slika 15), kojega čini ukupno 153628 vrijednosti geoidnih undulacija s pripadajućim standardnim odstupanjima.



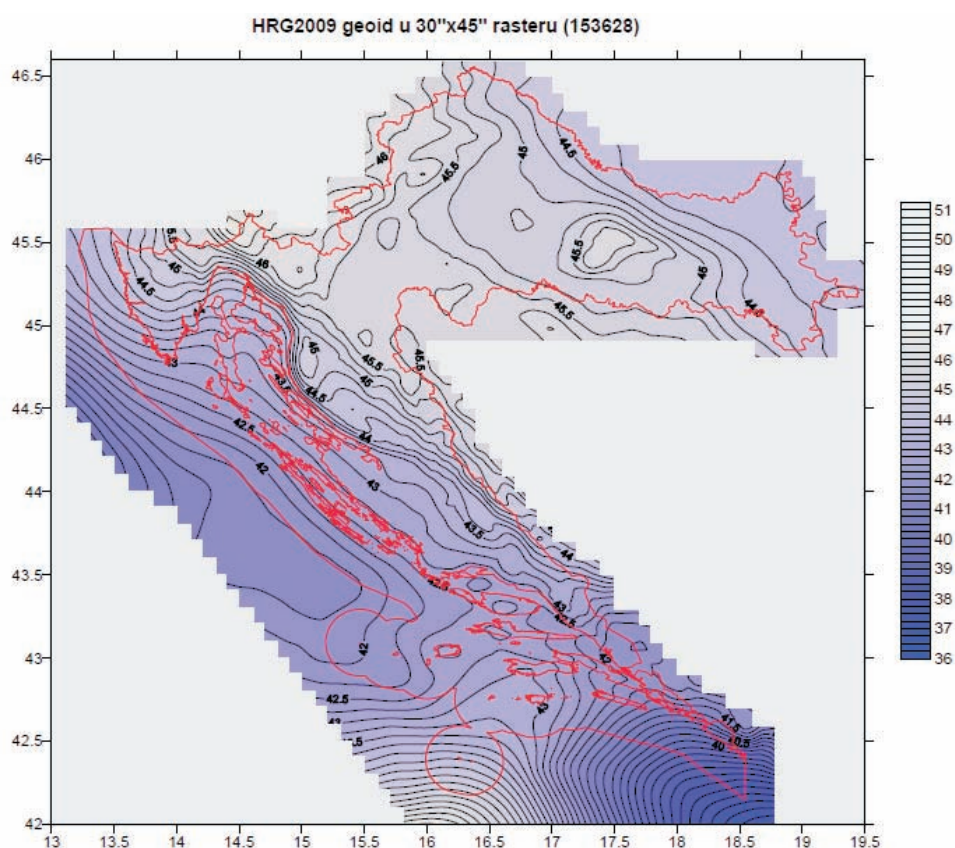
Slika 13. Točnost HRG2009 geoida (cm)



Slika 14. HRG2009 minus HRG2000 (cm)

Tablica 8: Statistički podaci usporedbe HRG2009 i HRG2000 geoida (72297 podataka, m)

| | $N_{HRG2009}$ | $N_{HRG2000}$ | $N_{HRG2009} - N_{HRG2000}$ |
|-----------------------|---------------|---------------|-----------------------------|
| Sredina | 44.151 | 43.618 | 0.533 |
| Standardno odstupanje | 2.060 | 2.115 | 0.537 |
| Minimum | 36.807 | 35.030 | -0.483 |
| Maksimum | 50.262 | 47.130 | 3.660 |

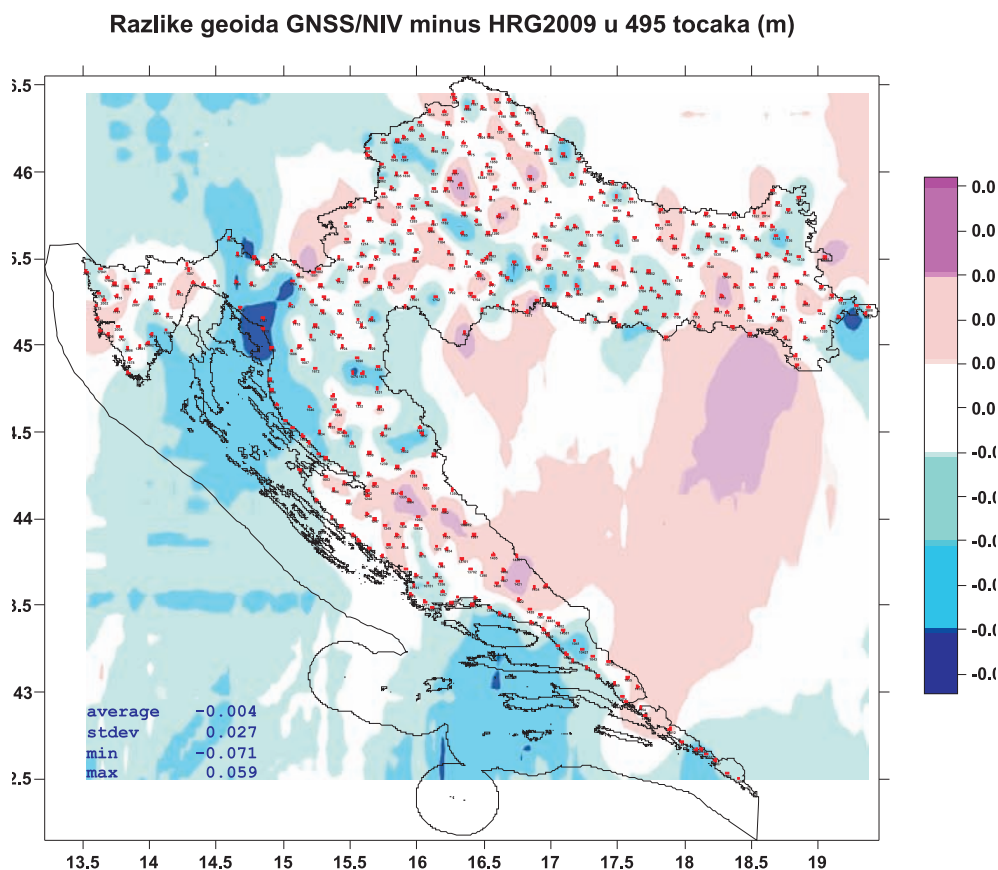


Slika 15. Selektirani novi model geoida Republike Hrvatske HRG2009 (m)

Tablica 9: Statistika razlika između 495 GPS/Niveliranih i HRG2009 undulacija (m)

| Model geoida | Minimum | Maksimum | Sredina | Standardno odstupanje |
|--------------|---------|----------|---------|-----------------------|
| HRG2009 | -0.071 | 0.059 | -0.004 | 0.027 |

Dodatna procjena kvalitete HRG2009 geoida pokazuje kako se dobro slaže konačno rješenje HRG2009 s undulacijama u 495 GNSS/Niveliranih točaka. To slaganje je izvanredno visoko (tablica 9 i slika 16), jer je standardno odstupanje svega 0.027 m (uz srednju razliku gotovo nula) ukazujući prije svega na dobro odabranu metodologiju i realizaciju računanja, ali i na visoku pouzdanost novog rješenja geoida od 2-3 cm preko najvećeg dijela hrvatskog kopna.



Slika 16. Usporedba HRG2009 geoida s GNSS/Niveliranim točkama

4. Zaključak

U okviru projekta “*Novi model geoida Republike Hrvatske i poboljšanje T7D modela transformacije*” definiran je vrlo pouzdani novi model geoida Republike Hrvatske HRG2009 kao i jedinstveni HDKS/HTRS96 GRID model transformacije koordinata između iz doba austro-ugarske monarhije nasljeđenog i novog službenog položajnog datuma (preostala je još implementacija od strane DGU zadnjih mjeseci određenih novih točaka za transformaciju, koja je u tijeku). U (Rožić 2009) definiran je za potrebe DGU model transformacije visina Trst/HVRS71. Temeljem toga može se zaključiti:

- ▶ Razvojem i konačnim definiranjem rješenja za transformaciju prostornih podataka T7D (modela i kompjutorskog programa) na temelju bitno gušćeg i bolje raspoređenog polja identičnih točaka ($\approx 2000+3000$), koje radi točnije transformacije visina uključuje i najnoviju verziju geoida HRG2009, biti će vrlo skoro na raspolaganju izuzetno pouzdan jedinstveni model transformacije između HDKS i HTRS96 (ETRS89) položajnih referentnih sustava u trodimenzionalnom smislu, kao i između Trst i HVRS71 visinskih referentnih sustava (datuma) za kompletni teritorij Republike Hrvatske. Očekivana je položajna i visinska točnost transformacije bolja od ± 5 cm za kopneni dio odnosno ± 10 cm za područje Jadrana (otoci).
- ▶ Pritom je važno naglasiti da je jedini ispravan smisao odnosno smjer primjene kod položajne transformacije s T7D softverom HDKS \Rightarrow HTRS96, što znači za transformaciju “starih” podataka u novi položajni referentni sustav Republike Hrvatske.

- ▶ U tom kontekstu je i za optimalnu primjenu CROPOS sustava izuzetno bitno reći da je nužno sve vrste novih izmjera raditi u HTRS96 sustavu, jer jedino tada nema potrebe za transformacijom odnosno “kvarenjem” podataka u HDKS, već se čuva izvorna točnost koordinata koju omogućuje primjena modernog geodetskog instrumentarija i tehnologije u novim geodetskim referentnim sustavima Republike Hrvatske.

Zahvala. Autor se najljepše zahvaljuje Državnoj geodetskoj upravi Republike Hrvatske na financiranju znanstveno-stručnog projekta u okviru kojega je nastao ovaj rad, kao i svim suradnicima na projektu, posebno iz Sektora za državnu izmjeru DGU, Odjela za osnovne geodetske radove Hrvatskog geodetskog instituta i Katedre za državnu izmjeru Geodetskog fakulteta.

5. Literatura

- Bašić, T. (2001): Detaljni model geoida Republike Hrvatske HRG2000. Izvješća Državne geodetske uprave republike Hrvatske o znanstveno-stručnim projektima iz 2000. godine, urednik I. Landek, 11-22, Zagreb.
- Bašić, T. (2002): Istraživanje Zemljinog polja sile teže na Geodetskom fakultetu. Zbornik Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu povodom 40. obljetnice samostalnog djelovanja (1962.-2002.), urednik T. Bašić, 169-179, Zagreb.
- Bašić, T. (2007): Introduction and Implementation of ESRS in Croatia, Strokovni posvet “S koordinatami v Evropi”, 37. Geodetski dan Zveze geodetov Slovenije, 16-17.11.2007., Nova Gorica, *Geodetski vestnik*, ISSN: 0351-0271, Volume 51, Issue 4, p. 751-762, UDK:528.236 (497.5), Ljubljana.
- Bašić, T., Rapp, R. H. (1992): Oceanwide Prediction of Gravity Anomalies and Sea Surface Heights Using Geos-3, Seasat and Geosat Altimeter Data and Etopo5u Bathymetric Data. Department of Geodetic Science and Surveying, Ohio State University, Report No. 416, 1-89, Columbus/Ohio.
- Bašić, T., Šljivarić, M. (2003): Uslužni programi za korištenje podataka službenog hrvatskog geoida i transformaciju koordinata između HDKS-a i ETRS-a. Izvješća Državne geodetske uprave Republike Hrvatske o znanstveno-stručnim projektima iz 2001. godine, urednik I. Landek, 21-32, Zagreb 2003.
- Bašić T., Markovinović D., Rezo M., Bosiljevac M. (2003): Izrada dokumentacije neophodne za usvajanje službenog položajnog i gravimetrijskog datuma Republike Hrvatske. Elaborat za DGU RH, 1-62, Zagreb.
- Bašić, T., Hećimović, Ž. (2006): Latest Geoid Determinations for the Republic of Croatia. IAG International Symposium Gravity, Geoid and Space Missions GGSM2004, Session 3: Regional geoid modeling, Porto, Portugal, 30.8.-3.9. 2004., oral presentation, CD-Proceedings, Porto. Paper published in Bureau Gravimétrie International (BGI) and International Geoid Service (IGeS) Joint Bulletin: *Newton's Bulletin*, ISSN 1810-8547, Issue n° 3, 83-92, R. Barzaghi, F. Sanso, R. Biancale, B. Langellier (Eds.), 2006.
- Bašić, T., Šljivarić, M., Buble, G. (2006a): Izrada jedinstvenog transformacijskog modela HTRS96/HDKS. Elaborat za Državnu geodetsku upravu Republike Hrvatske, 1-133, Zagreb.
- Bašić, T., Šljivarić, M., Buble, G. (2006b): Jedinstveni transformacijski model HTRS96/HDKS. Državna geodetska uprava Republike Hrvatske: Izvješća o znanstveno-stručnim projektima 2004./2005. godina, urednik M. Bosiljevac, 121-135, Zagreb.
- Bašić, T., Markovinović, D., Rezo, M. (2006c): Osnovna gravimetrijska mreža Republike Hrvatske. *Geodetski list* 60 (83), 2, 73-91, Zagreb.
- Bašić, T., Buble, G. (2007): Usporedba globalnog modela visina SRTM3 s postojećim digitalnim modelima reljefa na području Hrvatske. *Geodetski list* 61 (84), 2, 93-111, Zagreb.
- Brockmann E., Harsson B.-G., Ihde J. (2001): Geodetic Reference System of the Republic of Croatia - Consultants Final Report on Horizontal and Vertikal Datum Definition, Map Projection and Basic Networks, 1-35, Zürich – Oslo - Frankfurt.

- Hećimović, Ž., Bašić, T. (2005a): Satelitska misija CHALLENGING Minisatellite Payload (CHAMP). *Geodetski list* 59 (82), 2, 129-147, Zagreb.
- Hećimović, Ž., Bašić, T. (2005b): Satelitska misija Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE). *Geodetski list* 59 (82), 3, 181-197, Zagreb.
- Hećimović, Ž., Bašić, T. (2005c): Satelitska misija Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer (GOCE). *Geodetski list* 59 (82), 4, 253-265, Zagreb.
- Grgić, I., Barišić, B., Bašić, T., Lučić, M., Repanić, M., Liker, M. (2007): Fundamental Gravity Network of the Republic of Croatia in the Function of Control and Improving of National and European Geoid Model. IAG Symposium Commission 1 - Reference Frames, Sub-commission for Europe (EUREF), Session 8: Other EUREF-related contributions, June 5-9, 2007, London, England.
- ICSM (2000): GDA Grid Transformation Using Distortion Modelling – Info Sheet, Inter-governmental Committee on Surveying and Mapping, Canberra.
- Liker, M., Lučić, M., Barišić, B., Bašić, T., Repanić, M., Grgić, I. (2008): How most recent global geopotential models fit the Croatian territory? IAG International Symposium: Gravity, Geoid and Earth Observation 2008, presented poster, 23.-27.06.2008., Chania, Crete, Grčka,
- Morelli C., Carrozzo M. T., Ceccherini P., Finetti I., Gantar C., Pisani M., Schmidt di Friedberg P. (1969): Regional Geophysical Study of the Adriatic Sea, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, Vol. XI, N. 41-42, Trieste.
- Narodne novine (110/2004): Odluka o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republika Hrvatske. Službeni list Republike Hrvatske, br. 110, Zagreb.
- Pavlis, N.K., Holmes S.A., Kenyon S.C., Factor J.K. (2008): An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008; presented at the 2008 General Assembly of the European Geosciences Union, April 13-18, 2008, Vienna, Austria.
- Rožić, N (2009): Implementacija novog visinskog referentnog sustava Republike Hrvatske, 1-17, ovaj Zbornik, DGU, Zagreb.

Hrvatski transformacijski model visina

Nevio Rožić¹

Sažetak

U radu su predočeni krajnji rezultati definicije i realizacije Hrvatskog transformacijskog modela visina – HTMV. Model je kreiran na osnovi visinskih podataka repera geometrijskih nivelmana, koji su istovremeno sadržani u starom HVRS1875 i novom HVRS71 visinskom referentnom sustavu Republike Hrvatske, uz uzimanje u obzir različitih visinskih datuma. Model je kreiran na temelju zasebnog modeliranja datumskih i distorzijskih komponenti sadržanih u razlikama visinskih koordinata repera i ekspliciran je u formi tzv. grid transformacijskog modela.

Gljučne riječi: grid, grid transformacija, datumski model, distorzijski model, visinski referentni sustav, visinski datum, visine, Hrvatska

Abstract

Croatian Height Transformation Model

The paper presents final results of definition and realization of the Croatian height transformation model - HTMV. The model is derived from geometric levelling benchmark height data simultaneously referenced to the old HVRS1875 and to the new HVRS71 height reference coordinate system of the Republic of Croatia, taking into account the height datum's differences. The model is obtained on the basis of separate modeling of the datum and distortion components contained in the benchmark height coordinate differences and expressed in form of grid transformation model.

Keywords: grid, grid transformation, datum model, distortion model, height reference system, height datum, heights, Croatia

1. Uvod

Proces ažuriranja i inoviranja nacionalnih geodetskih datuma i nacionalnih geodetskih referentnih sustava Republike Hrvatske, koji je u stručnom pogledu započeo 1992. godine ubrzo nakon stjecanja suverenosti i samostalnosti, rezultirao je 2004. godine odlukom Vlade Republike Hrvatske "O utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske" (*Narodne novine 2004*). Ova je odluka nastavno podržana odredbama temeljnog zakona koji uređuje geodetsku djelatnost u Republici Hrvatskoj, tj. odredbama Za-

¹ Prof. dr. sc. Nevio Rožić, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zavod za geomatiku, Katedra za analizu i obradu geodetskih mjerenja, Kačićeva 26, Zagreb 10000, e-pošta: nevio.rozic@geof.hr.

kona o državnoj izmjeri i katastru nekretnina (*Narodne novine 2007*). U poglavlju II. ove odluke, između svih novih geodetskih datuma i geodetskih referentnih sustava koji se određuju za Republiku Hrvatsku, određen je i visinski datum te visinski referentni sustav, a u poglavlju VI. propisana je obaveza Državne geodetske uprave Republike Hrvatske da ih najkasnije do 1.1.2010. godine uvede u službenu uporabu.

U razdoblju od 1992. godine do danas, usprkos izuzetno složenim okolnostima Domo-vinskog rata, poratnog razdoblja, tranziciji države i društva (na svim razinama) iz starih u po-sve nove sustave te skromnih infrastrukturnih i financijskih resursa, efikasno je obavljen vrlo složen i obiman stručni i razvojni posao, koji je u kontekstu visinskog datuma i visinskog refe-rentnog sustava omogućio razvidan i zamjetan korak u smjeru poboljšanja povijesno naslije-đenog stanja. Naime, obavljeno je supstituiranje tzv. "povijesnog" visinskog datuma i "starog" visinskog referentnog sustava, izvorno ustrojenog za trajanja Austro-Ugarske monarhije u dru-gojoj polovini 19. stoljeća, novim visinskim datumom i novim visinskim referentnim sustavom. Sustavno obavljani geodetski radovi, u širokom spektru stručnih i razvojnih aktivnosti od ana-lize, računске obrade i uvođenja nove temeljne visinske mreže kao okosnice ili realizacije novog visinskog referentnog sustava Republike Hrvatske, pa do terenske revizije, izrade nove uporab-ne dokumentacije i sustavnog publiciranja uporabnih podataka polja repera geometrijskih ni-velmana svih redova točnosti, odnosno novog visinskog referentnog sustava HVRS71, dali su primjerenu osnovu za oživotvorenje citirane odluke Vlade Republike Hrvatske. Ova osnova, bez obzira na činjenicu da je odluka Vlade donesena 2004. godine, uz propisivanje odgođenog vremenskog termina obvezne službene uporabe, omogućila je suštinski i u stručnom pogle-du uporabu novog visinskog datuma i visinskog referentnog sustava već od 2001. godine, jer najneophodniji su stručni poslovi u tom trenutku bili dovršeni i osnovni elementi za aktivnu implementaciju novog visinskog datuma i sustava priređeni. Ipak, implementacija datuma i su-stava 2001. godine nije započela, s jedne strane zbog neophodnosti obavljanja odgovarajućeg zakonskog i administrativnog procesa, te s druge strane zbog dva stručna razloga koji su do-punski zahtijevali pozornost i primjereno rješavanje.

Navedeni stručni razlozi vezani su uz činjenicu da "sam po sebi" i "sam za sebe" novi visinski datum i visinski referentni sustav nisu dovoljni za efikasno i korektno rješavanje do-sljedno svih teorijskih i praktičnih geodetskih problema i zadaća na državnom teritoriju, sve dok nisu na primjereni način integrirani i eksplicitno povezani s realizacijama ostalih novih nacionalnih geodetskih referentnih sustava te ujedno dok nisu stvoreni uvjeti za osiguranje kontinuiteta uporabe svih postojećih ili prethodno već kreiranih visinskih podataka, tj. onih visinskih podataka koji su referirani prema povijesnom visinskom datumu i starom visinskom referentnom sustavu. Na elementarnoj razini, povezanost novog visinskog referentnog susta-va s ostalim novim geodetskim referentnim sustavima Republike Hrvatske ogleda se u potrebi pridruživanja nove visinske koordinate (apsolutna visina ili tzv. nadmorska visina) svim trajno stabiliziranim geodetskim točkama na teritoriju države, koje su obuhvaćene homogenim polji-ma točaka i geodetskim mrežama određene vrste i reda točnosti (GPS, triangulacijske, trilate-racijske, gravimetrijske, geomagnetske i dr.), a koje čine realizacije novih geodetskih datuma i referentnih sustava. Također, na elementarnoj razini, kontinuitet uporabe visinskih podataka koji su izvorno referirani prema starom visinskom referentnom sustavu, ogleda se u potrebi nalaženja mogućnosti za učinkovito prevođenje tih visinskih podataka iz starog u novi visinski referentni sustav. Pri tome, pod pojmom prevođenja visinskih podataka primarno se podrazu-mijeva matematička transformacija apsolutnih visina diskretnih točaka topografske površine poznatog planarnog položaja, bez obzira jesu li točke ili nisu u topografskom okružju trajno stabilizirane odgovarajućom građevinskom oznakom, markantnim i raspoznatljivim prirodnim oblikom ili detaljem izgrađenih objekata.

Značaj kontinuiteta uporabe postojećih visinskih podataka u novom visinskom referentnom sustavu je ogroman iz niza razloga i u punom spektru, od činjenice da je obujam prethodno kreiranih i raspoloživih visinskih podataka izuzetno velik, jer odnosi se na stari visinski sustav koji je u kontinuitetu funkcionalno uporabljiv dulje od 100 godina, pa do činjenice da su visinskim podacima osim geodetskih aktivnosti prožete i aktivnosti niza djelatnosti van geodetske struke, tj. aktivnosti različitih znanstvenih i stručnih disciplina, uključujući i svakodnevni život. Stoga, rješavanje problema kontinuiteta uporabe postojećih visinskih podataka, tj. primarno apsolutnih visina diskretnih točaka topografske površine na državnom teritoriju Republike Hrvatske, neposredno je vezano uz definiciju, kreaciju i implementaciju odgovarajućeg matematičkog transformacijskog modela, koji unutar i van okvira geodetske struke treba omogućiti različitim grupacijama korisnika visinskih podataka kontinuitet njihove uporabe, uz primjerenu kvalitetu transformacijskog modela te uporabu jednoznačnog, jednostavnog i automatiziranog transformacijskog procesa.

Stjecajem objektivnih okolnosti, odnosno činjenice da je nivelmanska komponenta osnovnih geodetskih radova na području Republike Hrvatske predmet sustavnih znanstvenih i stručnih istraživanja te izvedba niza znanstvenih, razvojnih i stručnih projekata pri Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, u kontinuitetu od početka osamdesetih godina prošlog stoljeća do danas, odnosno da je visinomjerska komponenta bila obuhvaćena planovima realizacije osnovnih geodetskih radova Državne geodetske uprave od 1992. godine do danas, postojali su odgovarajući uvjeti za rješavanje navedenog problema, odnosno definiciju, kreaciju i realizaciju tzv. "Hrvatskog transformacijskog modela visina". U tom je pogledu, krajem 2008. i početkom 2009. godine, a temeljem suradnje Državne geodetske uprave i Geodetskog fakulteta, realiziran i dovršen istraživačko-razvojni projekt "Hrvatski transformacijski model visina".

2. Stari i novi visinski referentni sustav Republike Hrvatske

Ne ulazeći detaljno u kronologiju i genezu povijesnog i novog visinskog datuma te starog i novog visinskog referentnog sustava na području Republike Hrvatske, potrebno je selektivno i sažeto ukazati na one temeljne odrednice i svojstva koja najznačajnije definiraju njihov međusobni odnos te posljedično uvjetuju definiciju i realizaciju odgovarajućeg transformacijskog modela visinskih podataka.

Stari visinski referentni sustav Republike Hrvatske izvorno je kreiran za trajanja Austro-Ugarske monarhije u drugoj polovini 19. stoljeća te je znatnije inoviran i dopunjen u razdoblju 1945.-1963. godine za trajanja Jugoslavije. Izvorna kreacija sustava vezana je uz realizaciju mreže tzv. Austrijskog preciznog nivelmana (APN), koja je nakon II. svjetskog rata na području Republike Hrvatske parcijalno (po dijelovima nivelmanskih vlakova) znatno osvježena i obnovljena izvedbom tzv. I. nivelmana visoke točnosti (INVT) te je opširno dopunjena i posve novim nivelmanskim vlakovima i mrežama geometrijskih nivelmana nižih redova točnosti, držeći se klasičnog hijerarhijskog načela razvoja nivelmanskih mreža. Visinski sustav je realiziran uz usvajanje tzv. normalnih-ortometrijskih visina, jer nije obavljena sustavna izmjera ubrzanja sile duž nivelmanskih vlakova te uz prostornu orijentaciju sustava u odnosu na fizički realitet tijela Zemlje. Ishodište visinskog sustava je definirano na lokaciji mareografa u Trstu (Molu Sartorio), pridruživanjem nulte apsolutne visine srednjoj razini Jadranskog mora, računski određenoj iz rezultata kontinuiranog mjerenja vodostaja mora tijekom 1875. godine (jednogodišnji interval mjerenja). Odgovarajućim je postupkom, sukladno visinskom položaju srednje razine mora određena apsolutna visina tzv. referentnog ili ishodišnog repera visinskog sustava, tj. repera HM 1 (Höhenmarke), tj. BV 1 (BV – biljeg visine), u iznosu 3.3520 m. Za visinsku referentnu plohu, tj. prostornu plohu tzv. "nulte apsolutne visine", usvojena je ekvip-

tencijalna ploha gravitacijskog polja, čiji je visinski položaj na lokaciji mareografa jednoznačno fiksiran apsolutnom visinom referentnog repera, tj. repera BV 1 (parametar visinskog datuma). Za povijesni visinski datum Republike Hrvatske može se uvesti skraćenica AVD1875 – Austrijski visinski datum iz epohe 1875. godine, a za stari visinski referentni sustav, usprkos činjenici da je realiziran “kombinacijom” mreža APN i INVT, skraćenica HVRS1875 – Hrvatski visinski referentni sustav iz epohe 1875. godine.

Izmjera nivelmanskih vlakova Austrijskog preciznog nivelmana na teritoriju Hrvatske, a kao integralnog dijela Austro-Ugarske monarhije (uz Sloveniju i Bosnu i Hercegovinu), obavljena je postupno, u razdoblju od 1876. do 1909. godine, a računski obrada podataka izmjere nivelmanskih vlakova bila je također postupna i slijedila je vremensku dinamiku izmjere vlakova. Stoga, nivelmanska mreža APN na području Hrvatske u užem smislu, a jednako tako niti na ukupnom području Austro-Ugarske monarhije u širem smislu, nikada nije računski obrađena (izjednačena) kao homogena i jedinstvena cjelina, odnosno integralna i cjelovita nivelmanska mreža. Dvije veće grupe nivelmanskih vlakova (mreže), jedna na zapadnom i druga na sjevernom dijelu Hrvatske, izjednačene su zasebno i uz međusobno fiksno povezivanje i fiksno povezivanje s mrežom na preostalom dijelu monarhije (Austrija i Ugarska), dok je dio nivelmanskih vlakova na središnjem i južnom dijelu Hrvatske, vezano uz teritorij Bosne i Hercegovine, izjednačen postupno, nivelmanski poligon po nivelmanski poligon, uz oslanjanje svakog narednog nivelanskog poligona na prethodno već obavljeno izjednačenje vlakova iz realiziranih nivelmanskih poligona. Treba naglasiti da je izveden i određeni broj izrazito dugačkih postranih



Slika 1. Nivelmanska mreža I. nivelmana visoke točnosti (INVT)

(slijepih) nivelmanskih vlakova, koji su shodno jednostranom priključku na mrežu odgovarajuće računski obrađeni. Neposredna mjerenja dosljedno su korigirana korekcijama mjerila nivelmanskih letava i normalno-ortometrijskim korekcijama, a izjednačenja vlakova i mreža obavljena su primjenom funkcijskog modela uvjetnih mjerenja i metode najmanjih kvadrata.

Nakon II. svjetskog rata, a sukladno visokoj razini materijalnog uništenja austrijskih repera, nivelmanski vlakovi mreže APN su obnovljeni stabilizacijom novih repera i izmjerom I. nivelmana visoke točnosti, uz određene manje izmjene trasa jednog dijela nivelmanskih vlakova ili njihovih manjih odsječaka. Izmjera nivelmanskih vlakova u okviru realizacije INVT obavljena je na području Hrvatske od 1947. do 1960. godine, a računska obrada podataka izmjere obavljena je parcijalno, tj. neposrednim uklapanjem pojedinih vlakova i dijelova vlakova mreže INVT na materijalno očuvane repere austrijske mreže, uz relativno jednostavne analize i ispitivanja visinske stabilnosti očuvanih austrijskih repera. Izvorni podaci mjerenja INVT nisu u svim nivelmanskim vlakovima dosljedno korigirani korekcijama mjerila nivelmanskih letava, a u određenim vlakovima niti normalno-ortometrijskim korekcijama. Kao i u slučaju mreže APN, nivelmanska mreža INVT, koja je vremenski podudarno izvedena i na teritoriju Slovenije i Bosne i Hercegovine, nikada nije izjednačena kao integralna i cjelovita mreža, tj. nije stjecanjem okolnosti poslužila kao realizacija posve novog visinskog referentnog sustava bivše Jugoslavije, već je razmatrajući područje Hrvatske samo inovirala prethodno već realiziran Austrijski visinski referentni sustav. Ona je znatno dopunila polje očuvanih repera mreže APN, sl. 1, a uz zadržavanje svih prethodno već determiniranih elemenata visinskog sustava, od visinskog datuma, pa do kontinuiteta uporabe normalno-ortometrijskih visina.

Vremenski simultano s realizacijom INVT, na području Republike Hrvatske je materijalna osnova visinskog referentnog sustava, tj. objedinjenje očuvanih repera mreže APN i novih repera mreže INVT (36 nivelmanskih vlakova s približno 3000 repera), opsežno dopunjena poljima repera obuhvaćenim nivelmanskim vlakovima i mrežama nižih redova točnosti geometrijskih nivelmana, a sukladno klasičnom geodetskom načelu razvoja mreža “iz velikog u malo”. U sklopu navedenih radova izvedeno je 387 pojedinačnih nivelmanskih vlakova i mreža preciznog nivelmana (PN), gradskih nivelmana (GN), tehničkih nivelmana povećane točnosti (TNPT) i tehničkih nivelmana (TN), s približno 17000 repera. Izvedba i računska obrada podataka izmjere za jedan je dio nivelmanskih vlakova i mreža, sukladno okolnostima izvedbe terenskih radova, ponavljana i nekoliko puta, bilo zbog naknadne reizmjere pojedinih vlakova INVT uvjetovanih pojavom i identifikacijom grubih pogrešaka mjerenja, bilo zbog potrebe naknadnog eliminiranja većih nesuglasica pri uklapanju vremenski novijih mjerenja na znatno stariju visinsku osnovu. Nivelmanski vlakovi, grupe vlakova (čvorne točke) ili odsječci vlakova izjednačeni su primjenom funkcijskog modela uvjetnih mjerenja i metode najmanjih kvadrata. Treba naglasiti da je znatan dio radova izmjere vlakova i mreža obavljen u vrlo oskudnim uvjetima poratnog razdoblja, uporabom heterogenog instrumentarija i metoda te u vrlo teškim infrastrukturnim, organizacijskim i terenskim uvjetima izvedbe, što se odrazilo na kvalitetu jednog dijela podataka izmjere.

Koncept novog visinskog referentnog sustava Republike Hrvatske definiran je i realiziran ubrzo nakon stjecanja samostalnosti i suverenosti Republike Hrvatske. Naime, stjecanjem objektivnih okolnosti, početkom devedesetih godina prošlog stoljeća uspješno je dovršen prilično dug i zahtjevan proces analiza i računске obrade podataka tzv. II. nivelmana visoke točnosti bivše Jugoslavije (IINVT) izvedenog na teritoriju Hrvatske, Bosne i Hercegovine, Slovenije i Vojvodine. Mreža IINVT je sukladno savjesnim stručnim pripremama i terenskim radovima realizirana sustavnom izmjerom mreže u razdoblju 1970.-1973. godine. Projektirana je i izvedena sukladno potrebi realizacije posve novog visinskog referentnog sustava bivše Jugoslavije, uključujući i uvođenje novog visinskog datuma, s težnjom prilagodbe geometrijske konfigu-

racije mreže suvremenim prometnim pravcima te reljefnim i geološkim osobitostima terena, potrebi vremenskog ažuriranja visinskog datuma, eliminiranju negativnih utjecaja geodinamičkih efekata na visinske položaje repera te postizanju internacionalno preporučenih kriterija točnosti izmjere i visinskog pozicioniranja. Iako je izvedba mreže IINVT na području Hrvatske, Bosne i Hercegovine i Slovenije bila dovršena 1973. godine, ona stjecajem niza objektivnih okolnosti, a bez obzira na činjenicu da je sukladno svim pokazateljima kvalitete uistinu najkvalitetnije realizirana visinska mreža na području zapadnog dijela bivše Jugoslavije, nije bila privedena svrsi sve do kreacije koncepta novog visinskog referentnog sustava Republike Hrvatske. Mreža IINVT izvedena je u nizu temeljnih elemenata vrlo stručno i korektno, duž suvremenih prometnih pravaca, uz zamjetne promjene geometrijske konfiguracije u odnosu na mrežu INVT te uz primjerenu kvalitetu izmjere unificiranim metodama i suvremenim nivelmanskim instrumentarijem (Rožić 1995, Rožić 2001). Podaci izmjere su sustavno korigirani popravcima mjerila nivelmanskih letava i normalno-ortometrijskim popravcima, jer gravimetrijska izmjera duž nivelmanskih vlakova nije u cjelini i sustavno obavljena, iako je izvorno bila planirana i djelomično realizirana. Mreža je duž obale Jadranskog mora neposredno vezana na mareografe u Kopru, Rovinju, Bakru, Splitu i Dubrovniku.

Obzirom na kvalitetu izvedbe i vremensku recentnost (vremenski najmlađa mreža), usprkos činjenici da njena geometrijska konfiguracija nije posve prilagođena obliku i veličini područja Hrvatske, mreža IINVT je usvojena kao realizacija novog visinskog referentnog sustava Republike Hrvatske. Obzirom na nedostupnost podataka sustavne gravimetrijske izmjere nivelmanskih vlakova IINVT, visinski referentni sustav je posljedično ustrojen kao normalno-ortometrijski sustav visina. Prostorna orijentacija sustava obavljena je u odnosu na fizikalni re-



Slika 2. Nivelmanska mreža II. nivelmana visoke točnosti (IINVT)

alitet tijela Zemlje. U odnosu na “povijesni” visinski datum, tj. AVD1875, a sukladno suvremenom konceptu (*Feil i Rožić 2000, 2005*), ishodište novog visinskog sustava nije definirano samo na jednoj geografskoj lokaciji, već istovremeno na lokacijama 5 mareografa (Kopar, Rovinj, Bakar, Split i Dubrovnik). Na svakom od mareografa obavljeno je pridruživanje nulte apsolutne visine visinskog sustava srednjoj razini Jadranskog mora, računski određenoj za vremensku epohu 1971.5 godine, iz rezultata kontinuiranih mjerenja vodostaja mora tijekom razdoblja od 18.6 godina. Odgovarajućim su postupcima, sukladno visinskom položaju srednjih razina mora određene apsolutne visine referentnih repera visinskog sustava, tj. repera 5486 pri mareografu u Kopru u iznosu 1.88260 m, repera BP82 u Rovinju u iznosu 4.83770 m, repera BV u Bakru u iznosu 2.66010 m, repera PN167 u Splitu u iznosu 3.33220 m i repera A496 u Dubrovniku u iznosu 3.67706 m. Za visinsku referentnu plohu, tj. prostornu plohu tzv. “nulte apsolutne visine”, usvojena je ekvipotencijalna ploha gravitacijskog polja, čiji je visinski položaj na lokacijama mareografa jednoznačno fiksiran apsolutnim visinama referentnih repera. Izjednačenje nivelmanske mreže IINVT, kao cjelovite i integralne mreže, sl. 2, obavljeno je primjenom posrednih mjerenja i metode najmanjih kvadrata (*Klak i dr. 1992*). Sukladno primjerenom suglasju nivelmanskih i mareografskih mjerenja, apsolutne visine referentnih repera su u izjednačenje mreže uvedene kao zadani parametri (parametri visinskog datuma). Novom visinskom datumu Republike Hrvatske je pridružena skraćenica HVD71, a visinskom referentnom sustavu skraćenica HVRS71.

Treba naglasiti da je koncept realizacije novog visinskog referentnog sustava Republike Hrvatske, utemeljen na uporabi mreže IINVT, pragmatično zasnovan na polazištu maksimalne uporabe već raspoloživih i dostupnih nivelmanskih podataka, koji stjecajem objektivnih okolnosti nisu bili pravovremeno stavljani u uporabu, a za razliku od polazišta koje se temelji na potrebi projektiranja i izvedbi posve nove nivelmanske mreže najvišeg reda točnosti, a kao realizacije novog visinskog sustava. Ne samo početkom devedesetih, sukladno izuzetnoj složenoj ukupnoj situaciji u Hrvatskoj, već i danas, projektiranje i izmjera te implementacija takve mreže bila bi organizacijski, infrastrukturno i financijski izuzetno zahtijevan poduhvat. Slijedeći usvojeni pragmatični koncept realizacije novog visinskog referentnog sustava, kao logični stručni koraci koji su uslijedili u razdoblju 1992.-2001. godine, bili su radovi sustavne revizije nivelmanskih vlakova i mreža geometrijskih nivelmana svih redova točnosti na području Republike Hrvatske, koji su izvorno izvedeni od 1945. do 1970. godine. Polja repera obuhvaćena tim vlakovima i mrežama terenski su rekognoscirana i revidirana te je utvrđen status njihove očuvanosti, izrađena je posve nova i suvremena uporabna dokumentacija te su temeljem izvornih arhivskih podataka visinske izmjere vlakova i mreža, a njihovim oslanjanjem na mrežu IINVT kao okosnicu novog visinskog referentnog sustava, određene nove apsolutne visine repera. Na taj je način materijalna osnova novog visinskog referentnog sustava, primarno obuhvaćena mrežom IINVT, znatno dopunjena i proširena, utvrđeno je ažurno stanje očuvanosti i dostupnosti polja repera za izvedbu konkretnih terenskih radova te je omogućena eksplicitna uporaba novog visinskog sustava za rješavanje različitih geodetskih problema i zadaća. Apsolutne visine svih repera popunjavajućih redova geometrijskih nivelmana u novom visinskom referentnom sustavu određene su tzv. “strogom metodom”, tj. ponavljanjem računске obrade izvornih podataka izmjere. Za razliku od postupaka i načina realizacije starog visinskog referentnog sustava, izjednačenja nivelmanskih vlakova i mreža nižih redova točnosti, oslanjanjem na mrežu IINVT, obavljena su dosljedno i sustavno, uz primjenu izjednačenja posrednih mjerenja i metode najmanjih kvadrata te u potpunosti sukladno hijerarhijskom načelu uklapanja geometrijskih nivelmana nižih redova točnosti na više redove, po pojedinim nivelmanskim figurama mreže IINVT. Pri tomu, treba naglasiti da su geometrijske konfiguracije nivelmanskih vlakova i mreža nižih redova točnosti znatno i dosljedno rekonfigurirane, sukladno međusobnim razlikama geometrijskih konfiguracija mreža INVT i IINVT te da su podaci nivelmanskih vlakova INVT u sklopu računске obrade klasificirani kao nivelmanski vlakovi preciznog nivelmana.

S gledišta uzajamnog odnosa starog i novog visinskog referentnog sustava Republike Hrvatske posve je razvidno da su oba sustava definirana i realizirana kao normalno-ortometrijski sustavi visina, da su vremenski, konfiguracijski i kvalitativno realizirani pomoću posve različitih temeljnih nivelmanskih mreža, da su prostorno orijentirani u odnosu na fizikalni realitet tijela Zemlje bitno različitim konceptima realizacije visinskih datuma, uključujući vremenske epohe (broj i lokacije fiksiranja položaja visinskih referentnih ploha) te da je tijekom i metodologija računске obrade izvornih podataka izmjere, uključujući i rekonfiguriranje geometrijskih konfiguracija nivelmanskih vlakova i mreža nižih redova točnosti geometrijskih nivelmana, bila naglašeno različita. Sve navedeno razvidno ukazuje na činjenicu da su s oba visinska referentna sustava, a stjecajem okolnosti izvedbe nivelmanskih osnovnih geodetskih radova, obuhvaćena ista polja repera geometrijskih nivelmana (osim repera mreže IINVT), istog planarnog položaja u ravninskom i ujedno u elipsoidnom referentnom koordinatnom sustavu, ali da su navedenim reperima posljedično pridružene i posve različite apsolutne visine, odnosno visinske koordinate. Kako su oba visinska referentna sustava realizirana kao normalno-ortometrijski sustavi visina, visinske koordinate istih repera su međusobno neposredno komparabilne. Veličine njihovih razlika i empirijske zakonitosti distribucije njihove varijabilnosti duž teritorija Republike Hrvatske neposredna su osnova i polazište za modeliranje, odnosno polazište za kreaciju i realizaciju matematičkog transformacijskog modela visina.

3. Odnos visinskih koordinata repera u starom i novom visinskom referentnom sustavu

Neposrednu podatkovnu osnovu za kvantificiranje i kvalificiranje razlika visinskih koordinata repera, istovremeno obuhvaćenih sa starim i novim visinskim referentnim sustavom Republike Hrvatske, čini skup od 10564 repera za koje su stjecajem objektivnih okolnosti izvedbe nivelmanskih radova i dostupnih izvornika podataka uspješno: pribavljeni, objedinjeni, kolacionirani, analizirani, verificirani, homogenizirani i primjereno priređeni neophodni podaci repera (Rožić 2009). To su: oznake repera, položaji repera (geodetska duljina L i geodetska širina B u elipsoidnom referentnom koordinatnom sustavu – Besselov elipsoid, početni meridijan Greenwich) i razlike visinskih koordinata repera H_{Δ} određene sukladno izrazu

$$H_{\Delta} = H_S - H_N, \quad (1)$$

a na temelju visinskih koordinata repera H_S u starom visinskom referentnom sustavu HVRS1875 i visinskih koordinata H_N u novom visinskom referentnom sustavu Republike Hrvatske HVRS71. Sukladno navedenom, podatkovna osnova za stjecanje uvida i analizu međusobnog odnosa visinskih referentnih sustava određena je skupom prostornih podataka, u kojem je svaki pojedini reper, od ukupno 10564 repera, reprezentiran uređenim tripletom podataka (L , B , H_{Δ}), nastalim objedinjavanjem podataka položaja repera na referentnom elipsoidu i pripadne razlike visinskih koordinata.

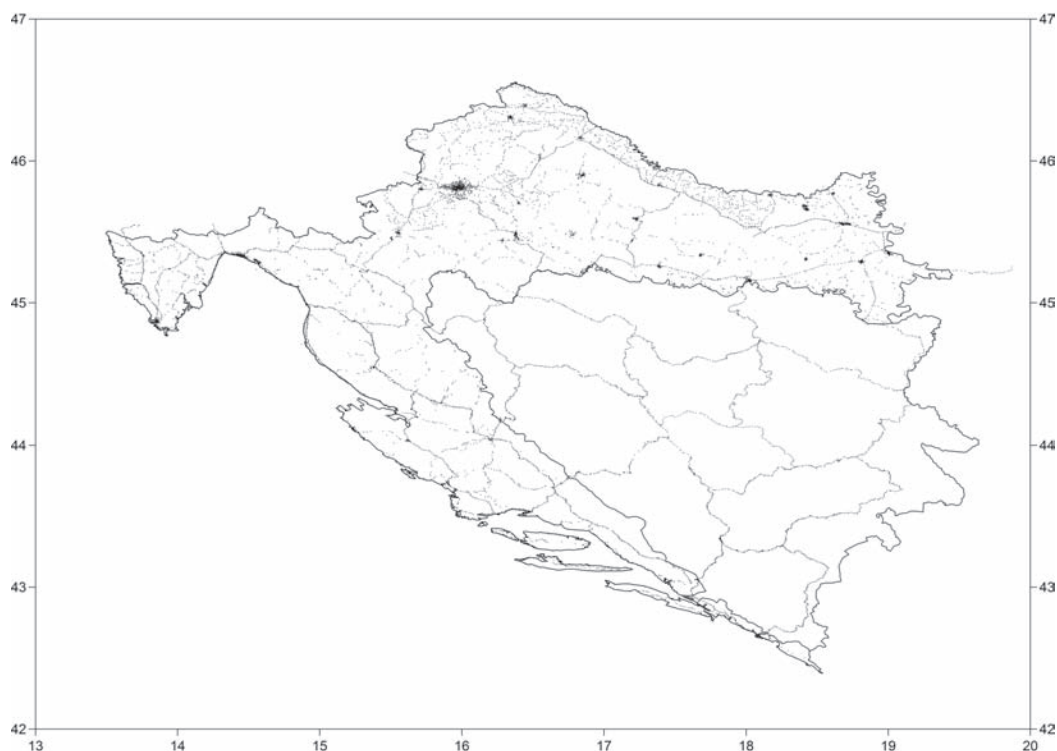
Priprema podatkovne osnove bila je vrlo složena i zahtjevna, obzirom na ukupni broj obuhvaćenih podataka, potrebu prevođenja zamjetnog dijela podataka iz izvorne analogne u digitalnu formu zapisa, potrebu kolacioniranja i analiziranja ispravnosti i vjerodostojnosti podataka komparativno preuzetih iz različitih izvornika, potrebu dopunskog obavljanja računске obrade (izjednačenja) za dio podataka koji nije bio uporabljiv u izvornoj formi, potrebu identificiranja i eliminiranja nekonzistencije, redundancije i nehomogenosti podataka te potrebu eliminiranja svih onih podataka za koje je sukladno odgovarajućim analizama postojala indikacija grube pogrešnosti u geodetskom stručnom pogledu i/ili iskazivanja svojstava tzv. globalnih ili lokalnih “prostornih grubih pogrešaka”, a temeljem analiza geostatističkih zakonitosti pro-

storne distribucije. Kao neposredni izvori i izvornici podataka komparativno su poslužili publicirani: priručnici, studije, knjige, elaborati i članci, registri arhivskih podataka, digitalne baze podataka, tehnička izvješća, geodetski obrasci i ostala dokumentacija polja repera te dokumentacija i rezultati realizacija niza znanstvenih i stručnih projekata vezanih uz nivelmanske radove iz razdoblja 1980.- 2001. godine. Kao najznačajniji izvornici za zahvat podataka poslužili su:

- ▶ publikacije Vojno-geografskog instituta iz Beča s detaljnim podacima realizacije i računske obrade Austrijskog preciznog nivelmana na području Hrvatske, Slovenije i Bosne i Hercegovine (*Militär-geographisches Institut 1875, 1884, 1897, 1899a, 1899b, 1909*),
- ▶ publikacija s podacima revizije polja repera austrijskog preciznog nivelmana na području Hrvatske neposredno nakon II. svjetskog rata (*Geodetska uprava pri vladi NRH 1948*),
- ▶ publikacije s detaljnim podacima izmjere i primarne računske obrade IINVT na području Hrvatske, Slovenije, Bosne i Hercegovine i Vojvodine (*Bilajbegović i dr. 1986a, 1986b, 1986c, 1986d, 1986e, 1986f, 1986g, Feil i dr. 1992a*),
- ▶ studije i elaborati s rezultatima analiza kvalitete IINVT, koncepta i definicije novog visinskog referentnog sustava (*Klak i dr. 1992, Rožić 1995, Feil i Rožić 2000, 2001, 2005*),
- ▶ elaborati računske obrade podataka nivelmanskih vlakova i mreža geometrijskih nivelmana svih redova točnosti na području Republike Hrvatske u novom visinskom referentnom sustavu (*Klak i dr. 1994a, 1995a, 1995b, 1996a, 1996b, 1997a, 1998a, 1998b, 1999a, 1999b, 1999c, Rožić i dr. 1999, 2000*),
- ▶ publikacije Državne geodetske uprave s uporabnim podacima polja očuvanih repera u novom visinskom referentnom sustavu Republike Hrvatske (*Klak i dr. 1994b, 1998c, Rožić i dr. 2001, Feil i dr. 2003a, 2003b, 2006a, 2006b*), kao i elaborati nove uporabne dokumentacije repera (položajni opisi i skice vlakova i mreža),
- ▶ elaborati povezivanja visinskih sustava Republike Mađarske i Republike Hrvatske (*Klak i dr. 1997b, 2000*), s podacima realizacije nivelmanskih vlakova NVT: Koprivnica – Goričan, Virovitica – Terezino polje i Batina – Udvar,
- ▶ originalni arhivski podaci izmjere i izvorne računske obrade nivelmanskih vlakova i mreža svih redova točnosti (podaci: INVT, PN, GN, TNPT i TN - registri, nivelmanski obrasci br. 3, nivelmanski obrasci br. 9, skice vlakova i mreža) iz arhiva Državne geodetske uprave Republike Hrvatske, uključujući digitalnu “Bazu podataka repera Republike Hrvatske” te podaci nivelmanskih vlakova INVT iz arhiva Geodetske uprave Bosne i Hercegovine,
- ▶ dokumentacija i podaci proizašli iz realizacije opsežnih znanstveno-istraživačkih projekata Geodetskog fakulteta: “Osnovni geodetski radovi” (voditelj prof. emeritus Stjepan Klak), “Visinski sustavi Republike Hrvatske” i “Kompatibilnost visina u Republici Hrvatskoj” (voditelj prof. dr. sc. Ladislav Feil) i “Visinska kinematika i dinamika kontinentalne Hrvatske” (voditelj prof. dr. sc. Nevio Rožić).

Ne ulazeći u načela, metode, postupke te opis niza stručnih detalja i analiza primijenjenih u procesu pripreme podataka repera (*Rožić 2009*), važno je naglasiti da je za područje Republike Hrvatske, a obzirom na njen karakteristični oblik i za područje susjedne Bosne i Hercegovine, uspješno priređen homogen skup najkvalitetnijih visinskih podataka koje je sukladno objektivnim okolnostima i dostupnosti podataka uopće bilo moguće kreirati te iskoristiti kao osnovu za analizu odnosa visinskih referentnih sustava, a jednako tako i kao osnovu za definiranje odgovarajućeg transformacijskog modela. Reperi i njihova položajna distribucija duž

teritorija Hrvatske i Bosne Hercegovine predočeni su na sl. 3, uz napomenu da su na teritoriju Bosne i Hercegovine, a sukladno dostupnosti podataka, obuhvaćeni samo reperi mreže INVT.



Slika 3. Položajna distribucija repera na teritoriju Hrvatske i Bosne i Hercegovine

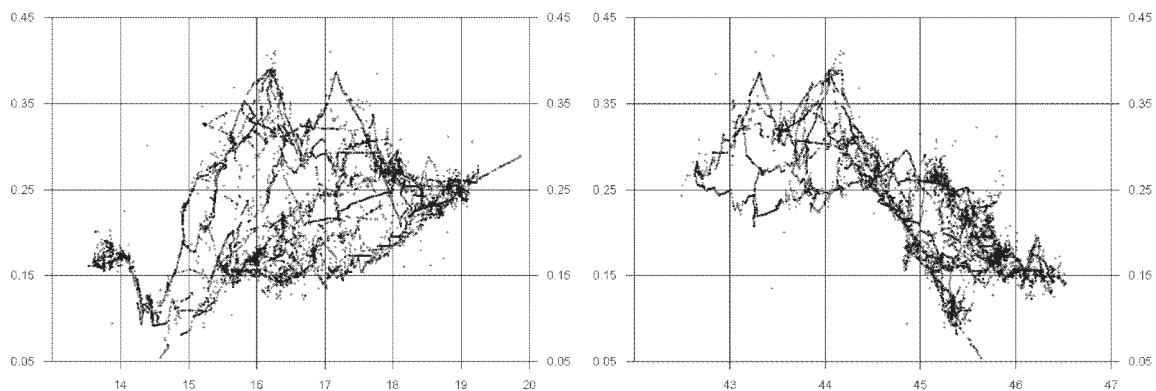
Temeljni statistički pokazatelji i histogram empirijske distribucije razlika visinskih koordinata repera H_{Δ} na području Hrvatske i Bosne i Hercegovine, sukladno sl. 3, sadržani su u tablici 1. Razvidno je da su razlike visinskih koordinata za sve repere na navedenom području dosljedno pozitivnog predznaka i zamjetno velikih iznosa, posebice uzevši u obzir točnost metodologije visinskog pozicioniranja geometrijskim nivelmanom. One poprimaju vrijednosti od minimalno 53.7 mm do maksimalno 410.9 mm te su distribuirane unutar raspona disperzije od 357.2 mm. Empirijske apsolutne frekvencije razlika visinskih koordinata i pripadni histogram određeni su uz uvođenje 10 statističkih razreda fiksne širine unutar ukupnog raspona disperzije. Iako histogram oblikom asocira na normalnu razdiobu, rezultat Pearsonovog testa potvrđuje da je empirijska distribucija razlika H_{Δ} signifikantno različita od teorijske normalne razdiobe. Navedeni pokazatelji jasno pokazuju da se visinske koordinate repera, određene u starom i istovremeno u novom visinskom referentnom sustavu Republike Hrvatske, međusobno signifikantno razlikuju, da su vrijednosti njihovih razlika razvidno velikog iznosa i konstantnog predznaka te da su do zamjetne razine varijabilne unutar ukupnog raspona disperzije. Također, oni jasno ukazuju i na činjenicu da je prostorna orijentacija starog i novog visinskog referentnog sustava Republike Hrvatske u odnosu na fizikalni realitet tijela Zemlje nepodudarna i sustavno različita, odnosno da su visinski referentni sustavi definirani i realizirani pomoću posve nepodudarnih visinskih referentnih ploha, čiji prostorni odnos ne podrazumijeva samo i isključivo translatorni pomak. Ova činjenica je sukladna definiciji i realizaciji visinskih datuma AVD1875 i HVD71 te svim prethodno već obavljenim analizama visinskog datuma AVD1875, koji je razvidno opterećen posve specifičnim problemima izvorne realizacije (*Feil i dr. 1992b*). Ne ulazeći u detaljnije obrazlaganje ovih problema može se generalno konstatirati da su visinske koordinate svih repera u visinskom referentnom sustavu HVRS71, na teritoriju Republike

Hrvatske i Bosne i Hercegovine, dosljedno manjih vrijednosti od visinskih koordinata u sustavu HVRS1875 te da je u prostornom smislu visinska referentna ploha sukladna visinskom datumu AVD1875 položena ispod visinske referentne plohe sukladne visinskom datumu HVD71.

Tablica 1. Razlike visinskih koordinata repera i histogram

| Pokazatelj | L | B | H_{Δ} |
|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Broj repera | 10564 | 10564 | 10564 |
| Minimum | 13° 31' 15" | 42° 30' 12" | 53.7 mm |
| Sredina | - | - | 225.2 mm |
| Maksimum | 19° 52' 16" | 46° 31' 27" | 410.9 mm |
| Raspon | 6° 21' 01" | 4° 01' 15" | 357.2 mm |
| St. odstup. | - | - | 65.9 mm |

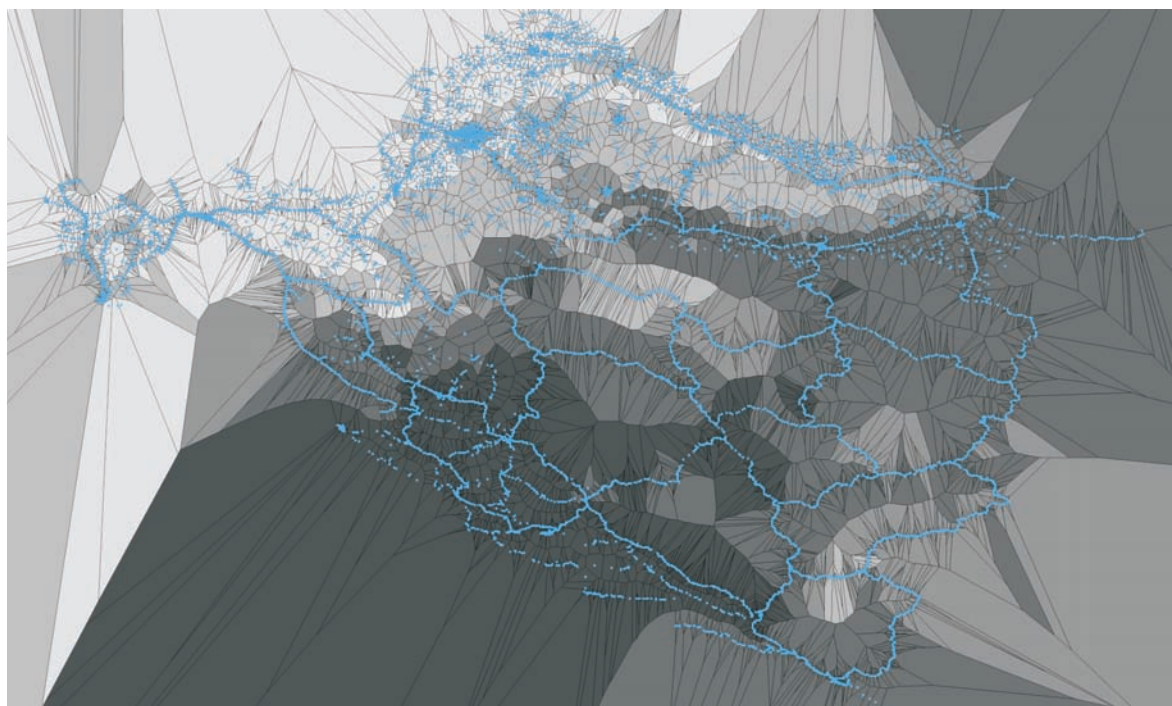
Uz prethodno navedene statističke pokazatelje, dopunski i vrlo značajan uvid u empirijske zakonitosti položajne distribucije razlika visinskih koordinata repera H_{Δ} duž teritorija Hrvatske i Bosne i Hercegovine pružaju dijagrami disperzija razlika H_{Δ} predočeni na sl. 4, dobiveni projekcijama razlika H_{Δ} na ravnine LH_{Δ} (smjer zapad-istok) i BH_{Δ} (smjer jug-sjever) te Voronoi-eva karta predočena na sl. 5. Ova je karta dobivena razvrstavanjem svih vrijednosti razlika H_{Δ} (sukladno veličini) u pet razreda (s istim brojem elemenata), uz pridruživanje tona sive boje zatvorenom poligonu oko položaja svakog pojedinog repera na kojeg se odnosi (ton boje sukladan je veličinama razlika H_{Δ} , tj. svjetliji ton – male vrijednosti, tamniji ton – velike vrijednosti).



Slika 4. Dijagrami disperzije razlika repera H_{Δ} – ravnine LH_{Δ} i BH_{Δ}

Dijagrami disperzije i Voronoi-eva karta jasno ukazuju na činjenicu da je varijabilnost razlika visinskih koordinata repera duž teritorija Hrvatske i Bosne i Hercegovine jednim dijelom globalna (trend) i korelirana s elipsoidnim položajima repera (dugovalna komponenta varijacije), dok je drugim dijelom lokalna, uz zamjetnu položajnu autokorelaciju, tj. razvidnu empirijsku zakonitost pridruženosti po položaju međusobno podudarnih vrijednosti razlika visinskih koordinata repera (kratkovalna komponenta varijacije). Sukladno sl. 4, koeficijent korelacije u iznosu 0.38 ukazuje na umjerenu pozitivnu korelaciju između razlika H_{Δ} i geodetskih duljina **L**, dok koeficijent korelacije u iznosu -0.74 ukazuje na visoku negativnu korelaciju između razlika H_{Δ} i geodetskih širina **B**. Sukladno sl. 5, koeficijent autokorelacije razlika H_{Δ} u iznosu 0.99 uka-

zuje na iznimno visoku autokorelaciju, jer su vrijednosti razlika H_{Δ} na lokacijama svih repera uistinu u visokoj razini suglasja s podudarno velikim vrijednostima razlika H_{Δ} ostalih repera iz njihovog neposrednog, tj. lokalnog okružja.



Slika 5. Voronoi-eva karta položajne distribucije razlika H_{Δ}

Prethodno navedeni pokazatelji, empirijska svojstva razlika visinskih koordinata repera i empirijska zakonitost njihove položajne distribucije duž teritorija Republike Hrvatske i Bosne i Hercegovine konkretni su rezultat i brojčana kvantifikacija metoda, postupaka, definicija i realizacija visinskih datuma AVD1875 i HVD71 te visinskih referentnih sustava HVRS1875 i HVRS71, odnosno u općenitijem smislu svih nivelmanskih radova izvedenih na teritoriju Republike Hrvatske i njenom okružju tijekom posljednjih stotinjak godina. Stoga, moguće je ukazati na temeljna izvorišta i stručne razloge koji su doveli do takvog stanja, odnosno interpretirati i povezati dobivene brojčane pokazatelje s geodetskom stručnom metodologijom i zakonitostima koji su ih inducirali. Na predznak, veličinu, razinu varijabilnosti i položajnu distribuciju razlika visinskih koordinata repera razvidno su i bitno utjecali:

- ▶ različite definicije i realizacije visinskih datuma AVD1875 i HVD71, uključujući različit broj i geografske lokacije mareografa te referentnih repera u odnosu na geometrijske konfiguracije temeljnih mreža kojima su visinski sustavi realizirani (APN i INVT, IINVT) te uključujući bitno različite vremenske epohe realizacije (1875, 1971) i duljine vremenskih razdoblja mjerenja razine mora (1 godina, 18,6 godina),
- ▶ različite realizacije visinskih referentnih sustava pomoću međusobno posve neovisnih i različitih temeljnih visinskih mreža (APN i INVT, IINVT), obzirom na kvalitetu izvedbe, vremensko razdoblje izvedbe (1875-1963, 1970-1973), geometrijsku konfiguraciju i sustavnost korigiranja izvornih mjerenja (korekcije mjerila, normalno-ortometrijske korekcije),
- ▶ različite geometrijske konfiguracije istih nivelmanskih vlakova i mreža nižih redova točnosti geometrijskih nivelmana (PN, GN, TNPT, TN) u sklopu računske obra-

de (izjednačenja) u starom visinskom referentnom sustavu HVRS1875 (oslanjanje na mrežu APN i INVT) i novom visinskom referentnom visinskom sustavu HVRS71 (oslanjanje na mrežu IINVT),

- ▶ različiti postupci i redoslijed računske obrade podataka mjerenja (izjednačenja), kako temeljnih visinskih mreža (APN i INVT, IINVT), tako i nivelmanskih vlakova i mreža nižih redova točnosti geometrijskih nivelmana (PN, GN, TNPT, TN),
- ▶ promjene visinskih položaja repera izazvane recentnim gibanjima zemljine kore (geodinamika) i lokalnom visinskom nestabilnošću objekata ili tla na kojima su reperi stabilizirani (objedinjavanje podataka izmjere nivelmanskih vlakova i mreža u sklopu računske obrade iz vrlo dugog vremenskog razdoblja realizacije radova, tj. iz bitno različitih vremenskih epoha).

Konkretna brojčana kvantifikacija međusobnog odnosa visinskih referentnih sustava te poznavanje i razumijevanje izvora, geodetskih “mehanizama” i razloga koji su do njih uzročno-posljedično doveli, nije značajna samo zbog pukog stjecanja krajnje konkretnog uvida i saznanja o faktičkom stanju, već zbog činjenice da krucijalno i nedvosmisleno ukazuje na smjer, postupke i metodologiju matematičkog modeliranja kojom bi se međusobni odnos visinskih referentnih sustava mogao primjereno i efikasno matematički opisati/definirati. U tom je pogledu neophodno još jednom ukazati i naglasiti dva bitna elementa o kojima treba voditi računa i koje primjereno treba obuhvatiti sadržajem i svojstvima modela:

- ▶ različiti visinski datumi (AVD1875 i HVD71), u starom i novom visinskom referentnom sustavu Republike Hrvatske (HVRS1875 i HVRS71), doveli su do realizacije sigifikantno različitih visinskih referentnih ploha, koje imaju različitu orijentaciju u odnosu na tijelo Zemlje s jedne strane, te koje u prostoru nisu međusobno paralelne s druge strane. Prostorni odnos visinskih referentnih ploha razvidno je znatno složeniji od samo i isključivo translatornog pomaka na što jasno ukazuje globalni trend varijacije i položajne distribucije razlika visinskih koordinata repera i zamjetna razina njihove koreliranosti s elipsoidnim položajima repera. Navedena korelacija, tj. ovisnost globalne varijabilnosti razlika visinskih koordinata repera s položajima repera (dugovalna varijabilnost), ukazuje na sistematske efekte koji su u njima sadržani, a koji se mogu matematički modelirati odabirom primjerenog regresijskog modela, tj. prostornog parametarskog (determinističkog) modela.
- ▶ primijenjeni postupci računske obrade, dinamika i redoslijed računske obrade, različite geometrijske konfiguracije nivelmanskih vlakova i mreža te objedinjavanje podataka izmjere iz bitno različitih vremenskih epoha, doveli su u referentnom visinskom sustavu HVRS1875 do geneze razvidnih i naglašenih distorzijjskih efekata sadržanih u visinskim koordinatama repera te posljedično u razlikama visinskih koordinata. Uz neizbježne slučajne efekte koji nesumnjivo prinose globalnoj i lokalnoj varijabilnosti razlika visinskih koordinata repera, distorzijjski efekti se očituju kao varijabilitet lokalno objedinjenih i po veličini podudarnih vrijednosti razlika H_{Δ} , duž ukupnog područja Hrvatske i Bosne i Hercegovine (kratkovalna varijabilnost). Obzirom na položajnu autokoreliranost, distorzijjski se efekti mogu matematički modelirati primjenom prostornih interpolacijskih metoda.

Sukladno navedenom, matematički transformacijski model uz obuhvat slučajne varijabilnosti razlika H_{Δ} (tzv. “slučajni šum”), primjereno treba obuhvatiti, odnosno matematički modelirati dvije različite komponente koje su istovremeno sadržane u razlikama visinskih koordinata repera H_{Δ} , tj. tzv. datumsku komponentu $H_{\Delta D}$ i tzv. distorzijjsku komponentu $H_{\Delta d}$. Pri tomu, datumska komponenta $H_{\Delta D}$ proizlazi iz evidentne različitosti prostorne orijentacije i

dimenzijskih parametara visinskih referentnih sustava (visinskih referentnih ploha), a distorzijaska komponenta $\mathbf{H}_{\Delta d}$ iz različitosti postupaka, metodologije, redoslijeda i dinamike računskog određivanja visinskih koordinata, uzevši u obzir i utjecaj visinskih položajnih pogrešaka, tj. utjecaj geodinamike i lokalnih pomaka repera. Ne obrazlažući detaljnije činjenicu da bi u teorijskom pogledu, a sukladno definiciji, izvoru nastanka i načinu djelovanja datumska i distorzijaska komponenta trebale biti međusobno posve neovisne, svaka se od njih može zasebno modelirati i potom integrirati u jedinstveni ili integralni matematički transformacijski model. Stoga, matematički model za modeliranje razlika visinskih koordinata repera, koji poprima izuzetno jednostavni oblik

$$\bar{\mathbf{H}}_{\Delta} = \bar{\mathbf{H}}_{\Delta D} + \bar{\mathbf{H}}_{\Delta d}, \quad (2)$$

gdje su: $\bar{\mathbf{H}}_{\Delta}$ – modelirana vrijednost razlike visinskih koordinata, $\bar{\mathbf{H}}_{\Delta D}$ – modelirana vrijednost datumske komponente i $\bar{\mathbf{H}}_{\Delta d}$ – modelirana vrijednost distorzijaska komponente, omogućava definiciju transformacijskog modela visinskih koordinata u formi:

$$H_N = H_S - \bar{H}_{\Delta}, \quad (3)$$

$$H_S = H_N + \bar{H}_{\Delta}, \quad (4)$$

sukladno potrebi transformiranja visinskih koordinata točaka poznatog položaja iz sustava HVRS1875 u sustav HVRS71 i obratno. Kao primjerena i najkvalitetnija podatkovna osnova za kreaciju datumskog i distorzijaskog modela, posljedično i integralnog modela danog izrazom (2), služi homogeni skup razlika visinskih koordinata \mathbf{H}_{Δ} repera geometrijskih nivelmana na području Hrvatske i Bosne i Hercegovine, poznatog položaja u elipsoidnom referentnom koordinatnom sustavu (\mathbf{L} , \mathbf{B} , \mathbf{H}_{Δ}). Definicija, kreacija i realizacija transformacijskog modela, tj. konkretno određivanje transformacijskih parametara i transformacijskog algoritma, koji je jedinstven i cjelovit za ukupno promatrano područje i utemeljen na izrazima (2), (3), (4) te izveden iz empirijskih vrijednosti razlika visinskih koordinata repera \mathbf{H}_{Δ} , treba omogućiti jednoznačno, homogeno, primjereno kvalitetno i učinkovito transformiranje visinskih koordinata točaka poznatog planarnog položaja, bez obzira na činjenicu tko, kada, gdje, zašto i u koju svrhu treba obaviti transformaciju.

Iako je na prvi pogled koncept definicije transformacijskog modela vrlo jednostavan, realizacija modela je zahtjevna i složena, obzirom na potrebu separatnog modeliranja datumskih i distorzijaskih komponenti te mogućnosti alternativne primjene niza različitih prostornih regresijskih funkcija i prostornih interpolacijskih metoda u svrhu kreacije modela. Pri tomu, od znatnog su utjecaja na kvalitetu modeliranja zadatost kvalitete raspoloživih podataka repera, ukupan broj repera i razina homogenosti njihove položajne distribucije duž teritorija Hrvatske i Bosne i Hercegovine, kao i činjenica da se u empirijskom smislu, a bez obzira na teorijski pretpostavljenu neovisnost datumskih i distorzijaskih komponenti dio globalnih distorzijaskih efekata ne može uvijek efikasno razlučiti od datumskih efekata.

4. Datumski i distorzijaski transformacijski model

Na temelju opsežnijih analiza koje su prethodile odabiru i konkretizaciji datumskog transformacijskog modela (Rožić 2009), koji modelira datumske komponente razlika visinskih koordinata repera $\bar{\mathbf{H}}_{\Delta D}$ na području obuhvata modela (teritorij Hrvatske i Bosne i Hercegovine), kao optimalno rješenje, koje je ujedno i čvrsto utemeljeno na geodetskoj stručnoj osnovi matematičkog definiranja međusobnog odnosa dva različita visinska koordinatna sustava s različitim definicijama visinskih datuma, usvojeno je rješenje koje je utemeljeno na linearnom prostornom pa-

rametarskom (determinističkom) modelu izvedenom iz 7- parametarske slične transformacije ili tzv. 7- parametarske S-transformacije (*Dinter i dr. 1996*). Navedeni model, uz primjenu elipsoidnih koordinatnih sustava te teorijsku postavku diferencijalne sličnosti starog HVRS1875 i novog visinskog referentnog sustava HVRS71, poprima oblik linearne regresijske funkcije

$$\bar{H}_{DD}(L, B) = H_D + v = a_{t_x} \bar{d}t_x + a_{t_y} \bar{d}t_y + a_{t_z} \bar{d}t_z + a_{e_x} \bar{d}e_x + a_{e_y} \bar{d}e_y + a_m \bar{d}m + a_f \bar{d}f, \quad (5)$$

u kojoj se kao argumenti funkcije javljaju elipsoidni položaji repera (L, B), kao nepoznati parametri javljaju se parametri translacije $\bar{d}t_x, \bar{d}t_y, \bar{d}t_z$ rotacije $\bar{d}e_x, \bar{d}e_y$ i promjene mjerila $\bar{d}m$ koordinatnih sustava te parametar promjene visinskog datuma $\bar{d}f$. Treba naglasiti da je navedena regresijska funkcija, kao osnova za obavljanje regresijskog modeliranja i konkretizaciju datumskog transformacijskog modela, prihvatljiva aproksimacija “strogije funkcije” eksplicitno izvedene primjenom S-transformacija, jer su elipsoidne visine repera supstituirane normalno-ortometrijskim visinama, uz aproksimaciju inicijalne visinske referentne plohe elipsoidnom plohom Besselovih dimenzija. Sukladno teorijskoj osnovi S-transformacija, značenje koeficijenta uvedeni u regresijsku funkciju jest:

$$\begin{aligned} a_{t_x} &= \cos B \cos L, & W &= \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}, \\ a_{t_y} &= \cos B \sin L, & N &= \frac{a}{W}, \\ a_{t_z} &= \sin B, & M &= \frac{a(1 - e)^2}{W^3}, \\ a_{e_x} &= e^2 N \cos B \sin B \sin L, & a &= 6377397.15500 \text{ m}, \\ a_{e_y} &= -e^2 N \cos B \sin B \cos L, & f &= 0.0033427732, \\ a_m &= H_{sr} + N W^2, & e &= \sqrt{0.0066743723}, \\ a_f &= \frac{W^2 M \sin^2 B}{1 - f}, & H_{sr} &= 239.8922 \text{ m}, \end{aligned} \quad (6)$$

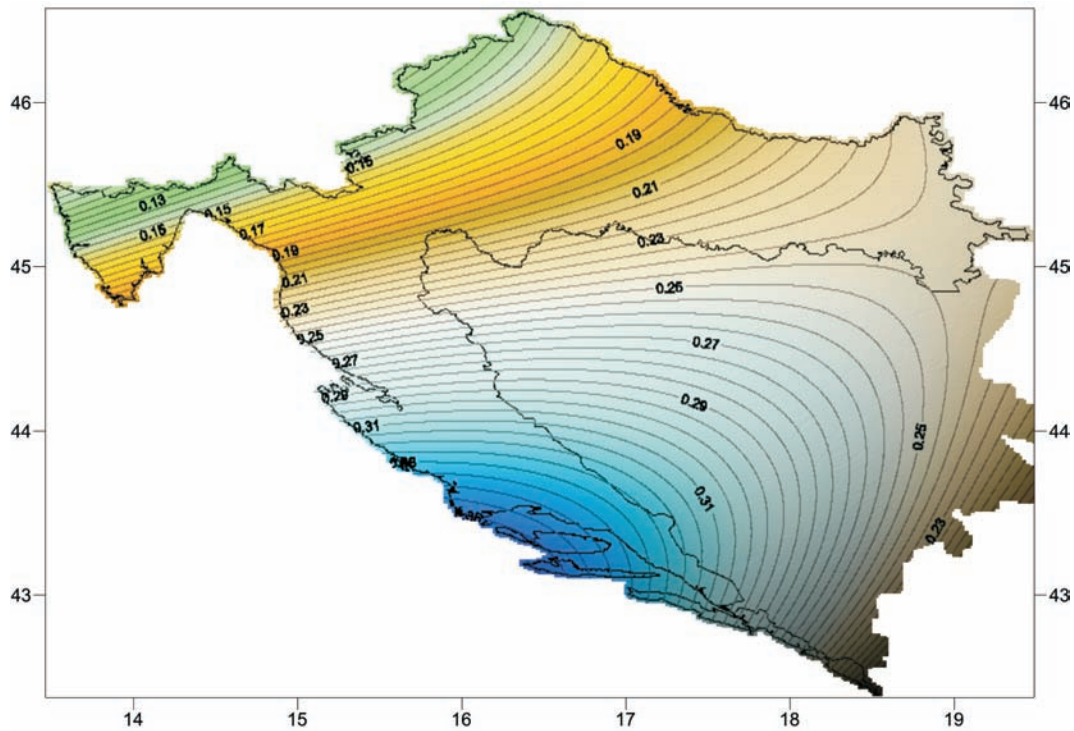
gdje su: a, f i e velika poluos, spljoštenost i prvi ekscentricitet rotacijskog elipsoida Besselovih dimenzija te H_{sr} srednja vrijednost normalno-ortometrijskih visina repera obuhvaćenih regresijskim modeliranjem. Regresijsko modeliranje utemeljeno na predloženoj regresijskoj funkciji i empirijskim podacima 10564 repera geometrijskih nivelmana (L, B, H_{Δ}), primjenom izjednačenja posrednih mjerenja i metode najmanjih kvadrata (*Seber i Lee 2003*), dovodi do konkretizacije (realizacije) datumskog transformacijskog modela, tj. određuje nepoznate regresijske parametre i definitivnu formu funkcije

$$\bar{H}_{\Delta D}(L, B) = 1986.140697a_{t_x} + 479.4372746a_{t_y} + 5899.999294a_{t_z} - 0.01548713056a_{e_x} + 0.06461378251a_{e_y} - 0.0004449605157a_m - 0.0004294240799a_f \quad (7)$$

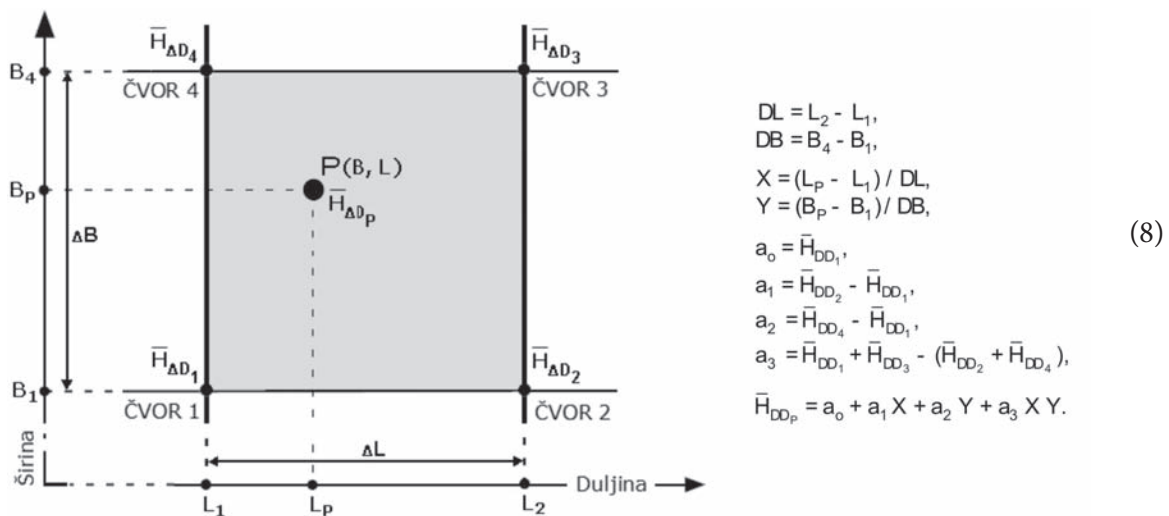
čijim se poopćenjem na sve točke poznatog položaja (L, B), sadržane na području obuhvata modela, analitički i eksplicitno mogu odrediti modelirane vrijednosti datumskih komponenti sadržanih u razlikama njihovih visinskih koordinata. Navedena regresijska funkcija je funkcija kontinuirane prostorne parametarske plohe, tj. plohe datumskog modela, koja aproksimira razlike visinskih koordinata repera H_{Δ} na području obuhvata modela, odnosno modelira sistematsku komponentu njihove dugovalne varijacije (trend), sl. 6.

Datumski model realiziran izrazom (7) te predložen na sl. 6 može se prevesti u alternativnu formu, tj. formu tzv. “grid transformacijskog modela”, koji supstituira izvorni transformacijski algoritam kraćim i jednostavnijim algoritmom. Naime, područje obuhvata modela može se prekriti pravilnom pravokutnom mrežom linija primjerene gustoće, tzv. “gridom”, poznatog i fiksiranog planarnog položaja, uz određivanje modeliranih vrijednosti datumskih komponenti $\bar{H}_{\Delta D_1}$ na svim čvorovima grida (točke sjecišta linija grida), a sukladno njihovom poznatom

položaju (L, B) i transformacijskoj funkciji danoj izrazom (7). U tom se slučaju određivanje datumske komponente $\bar{H}_{\Delta D, P}$, za proizvoljnu točku P poznatog položaja (L_P, B_P) svodi na uporabu bilinearne interpolacije, sukladno sl. 7 i izrazima (8), uz uporabu prethodno već određenih vrijednosti datumskih komponenti na čvorovima grida ($\bar{H}_{\Delta D_1}, \bar{H}_{\Delta D_2}, \bar{H}_{\Delta D_3}, \bar{H}_{\Delta D_4}$). Pri tomu, jednostavnost i efikasnost primjene algoritma bilinearne transformacije pretpostavlja primjerenu riješenost problema identifikacije čvorova ćelije grida unutar koje je sadržan položaj točke te tim čvorovima pridruženih i prethodno već priređenih modeliranih vrijednosti datumskih komponenti.



Slika 6. Ploha i izolinije datumskog modela



Slika 7. Ćelija grida i položaj točke P

U konkretnom slučaju, datumski model na području Hrvatske i Bosne i Hercegovine predočen na sl. 6 i definiran izrazom (7), preveden je u formu grid transformacijskog modela pomoću programskog sustava Surfer, a model je u užem smislu realiziran odgovarajućom grid datotekom, tj. digitalnom datotekom u kojoj su sukladno standardiziranom formatu zapisa zabilježeni podaci datumskih komponenti na čvorovima grida (datoteka formata *.GRD). Temeljne odrednice usvojenog grida, odnosno dimenzije i gustoća grida, prilagođene su veličini područja obuhvata modela, potrebi zanemarivanja interpolacijskih pogrešaka te broju, gustoći i položajnoj distribuciji repera, ali ujedno i potrebama projekta “*Novi model geoida Republike Hrvatske i poboljšanje T7D modela transformacije*” čija je realizacija nastavno vezana uz potrebu aplikacije transformacijskog modela visina. Grid je definiran ishodišnim čvorom, tj. donjim lijevim čvorom okvira grida ($L = 13^{\circ}27'45''$, $B = 42^{\circ}22'30''$) i završnim čvorom, tj. gornjim desnim čvorom okvira grida ($L = 19^{\circ}29'15''$, $B = 46^{\circ}34'30''$), sadrži ukupno 243915 čvorova, ima 505 horizontalnih i 483 vertikalne linije, s dimenzijama ćelije grida $\Delta L = 45''$ i $\Delta B = 30''$ (ćelije su kvadratičnog oblika, približnih dimenzija 1 x 1 km). Na području Hrvatske i Bosne i Hercegovine sadržano je ukupno 70310 čvorova grida, na kojima su vrijednosti modeliranih datumskih komponenti sadržane unutar ukupnog raspona od 265.1 mm, s minimalnom i maksimalnom vrijednošću datumske komponente u iznosu 92.0 mm i 357.1 mm.

Na temelju datumskog modela, a sukladno izrazu (5), razvidno je da se modeliranjem određene datumske komponente $\bar{H}_{\Delta D}$ mogu jednostavno reducirati iz razlika visinskih koordinata repera H_{Δ} , tj.

$$H_{\Delta} - \bar{H}_{\Delta D} = -v, \quad (9)$$

gdje negativne vrijednosti datumskih reziduala (-v), odnosno popravaka iz izjednačenja posrednih mjerenja primijenjenog pri kreaciji datumskog modela, poprimaju sukladno primijenjenom konceptu modeliranja značenje empirijskih vrijednosti distorzijskih komponenti, tj.

$$H_{\Delta d} = H_{\Delta} - \bar{H}_{\Delta D}. \quad (10)$$

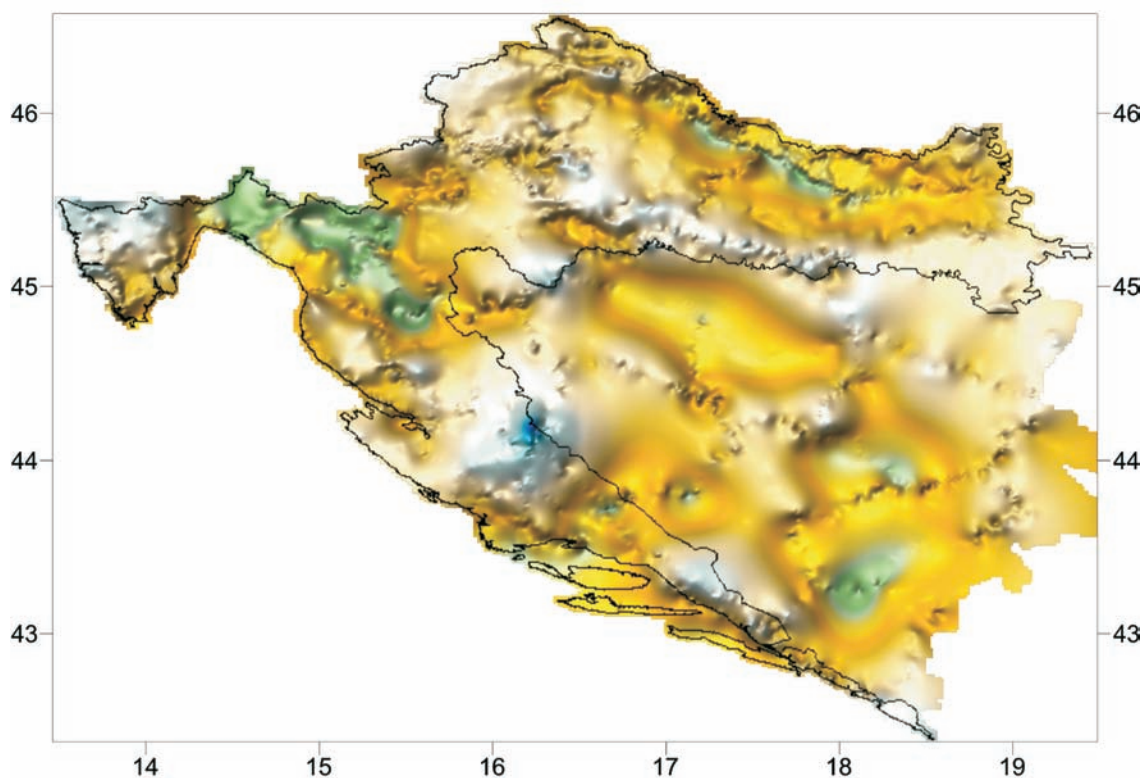
Stoga, podatkovnu osnovu za kreaciju distorzijskog modela čine prostorni podaci 10564 repera geometrijskih nivelmana (L , B , $H_{\Delta d}$), dobiveni pridruživanjem empirijskih vrijednosti distorzijskih komponenti $H_{\Delta d}$ određenih izrazom (10) podacima položaja repera (L , B). Temeljni statistički pokazatelji modeliranih vrijednosti datumskih komponenti, empirijskih vrijednosti distorzijskih komponenti i histogram distorzijskih komponenti predočeni su u tablici 2. Zakonitost skupnog ponašanja distorzijskih komponenti nije podudarna s teorijskom normalnom razdiobom, a zamjetan je i prilično velik raspon disperzije u iznosu 187.0 mm, koji potvrđuje činjenicu da su u starom visinskom sustavu HVRS1875 prisutne naglašene distorzije.

Tablica 2. Statistički pokazatelji datumskih i distorzijskih komponenti

| Pokazatelj | $\bar{H}_{\Delta D}$ | $H_{\Delta d}$ |
|-------------|----------------------|----------------|
| Broj repera | 10564 | 10564 |
| Minimum | 96.8 mm | -77.6 mm |
| Sredina | 225.2 mm | 0.0 mm |
| Maksimum | 352.0 mm | 109.4 mm |
| Raspon | 255.2 mm | 187.0 mm |
| St. odstup. | 60.4 mm | 26.2 mm |

U svrhu kreacije odgovarajućeg distorzijskog modela, a obzirom na razinu kratkovalne varijabilnosti te visoku razinu položajne autokorelacije distorzijskih komponenti, kao optimalna metoda odabrana je prostorna interpolacijska metoda modeliranja tzv. plohe minimalne zakrivljenosti – tj. “Minimal Curvature Surface – MCS” (Rožić 2009). Pojam minimalne zakrivljenosti odnosi se na bivariatnu matematički definiranu kontinuiranu plohu (ploha modela), koja nastoji obuhvatiti prostorni položaj distorzijskih komponenti repera osnovnog skupa ($L, B, H_{\Delta d}$) na području obuhvata modela, uz minimiziranje njene ukupne zakrivljenosti (Dewhurst 1990). Proces definiranja plohe može se smatrati analognim procesu mehaničkog savijanja tanke metalne elastične ploče položene preko područja obuhvata modela, koja se djelovanjem isključivo vertikalnih sila i bez deformiteta na lokacijama svih pojedinih repera nastoji dovesti u točke koje reprezentiraju vrijednosti distorzijskih komponenti, a bez ikakvih utjecaja torzijskih, kompresijskih ili ekstenzijskih mehaničkih sila i uz najmanje moguće ukupno savijanje ploče (minimalno zakrivljenje plohe).

Kreacija distorzijskog modela obavljena je primjenom programskog sustava Surfer. Sukladno metodologiji modeliranja primjenom prostornih interpolacijskih metoda općenito, odnosno metodologiji modeliranja pomoću plohe minimalne zakrivljenosti, distorzijski model je neposredno realiziran u formi grid transformacijskog modela. Kao parametri modeliranja uvedene su dimenzije i svojstva grida koji je posve podudaran s gridom iz prethodno već kreiranog datumskog modela (oblik, dimenzije okvira, broj horizontalnih i vertikalnih linija, tj. gustoća i broj čvorova), parametri tzv. unutarnje i vanjske tenzije plohe (jednaki nuli), ograničenje broja iteracijskih ciklusa (≈ 500000 - dvostruki broj čvorova grida) i maksimalna vrijednosti distorzijskog reziduala (0.0001 m) te modalitet izotropnog pretraživanja okoliša čvorova grida. Ploha distorzijskog modela dobivena modeliranjem predočena je na sl. 8, a model je u užem smislu realiziran odgovarajućom grid datotekom, tj. digitalnom datotekom u kojoj su sukladno standardiziranom formatu zapisa zabilježeni podaci modeliranih vrijednosti distorzijskih kompo-



Slika 8. Ploha distorzijskog modela

menti na čvorovima grida (datoteka formata *.GRD). Analogno datumskom modelu, modeliranje distorzijskih komponenti sadržanih u razlikama visinskih koordinata za točke poznatog položaja na području obuhvata modela obavlja se primjenom bilinearne interpolacije.

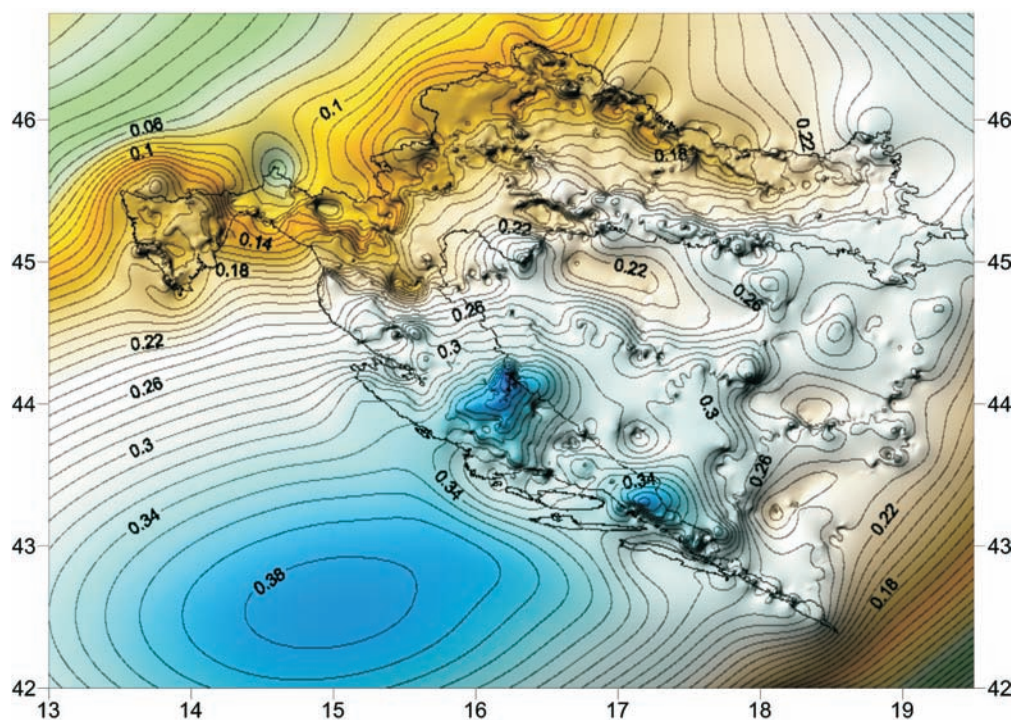
Na razinu prilagodbe plohe distorzijskog modela empirijskim vrijednostima distorzijskih komponenti $H_{\Delta d}$, koje su poslužile kao osnova za modeliranje, ukazuju distorzijski reziduali, odnosno razlike između empirijskih vrijednosti $H_{\Delta d}$ i pripadnih modeliranjem određenih vrijednosti $\bar{H}_{\Delta d}$ distorzijskih komponenti. Ovi se reziduali, za ukupno 10537 repera koji su obuhvaćeni okvirom grida (27 repera korištenih pri modeliranju nalazi se van okvira grida), nalaze unutar ukupnog raspona u iznosu od 72.0 mm, disperzirani su od minimalne vrijednosti u iznosu -39.3 mm do maksimalne vrijednosti u iznosu 32.7 mm. Za 72 od ukupno 10537 repera iznos reziduala je veći od ± 10.0 mm, a samo za 11 repera veći je od ± 20.0 mm.

Sukladno svemu navedenom, posve je razvidno da su za područje obuhvata modela određeno teritorijem Hrvatske i Bosne i Hercegovine, definirani, kreirani i realizirani u formi grid transformacijskih modela, datumski i distorzijski model, koji omogućuju jednoznačno i jednostavno modeliranje datumskih i distorzijskih komponenti sadržanih u razlikama visinskih koordinata točaka poznatog položaja. Iako se pri definiranju modela, u teorijskom smislu, uvela hipoteza o međusobnoj neovisnosti pomenutih komponenti, na razini realizacije evidentna je određena razina međusobne povezanosti. Naime, razvidno je da se distorzijski model temeljio neposredno na modeliranju razlika visinskih koordinata repera H_{Δ} te da je distorzijski model posljedično izveden iz onog dijela tih razlika koji je preostao nakon redukcije modeliranjem određenih datumskih komponenti. Treba naglasiti da su oba modela u užem smislu realizirana odgovarajućim grid računalnim datotekama (datumski grid i distorzijski grid), s u potpunosti podudarnim dimenzijama i svojstvima grida, a koje čine temeljnu podatkovnu infrastrukturu tih modela i koje omogućuju modeliranje datumskih i distorzijskih komponenti primjenom transformacijskog algoritma utemeljenog na bilinearnoj interpolaciji.

5. Hrvatski transformacijski model visina – verzija HTMV08-v.1

Na temelju datumskog i distorzijskog modela, a sukladno izrazu (2), omogućeno je jednostavno i efikasno kreiranje integralnog transformacijskog modela, odnosno modela koji objedinjuje datumski i distorzijski model ili tzv. Hrvatskog transformacijskog modela visina – HTMV. Naime, usvajanjem grida podudarnog oblika i dimenzija kao kod datumskog i distorzijskog modela te pridruživanjem modeliranih vrijednosti razlika visinskih koordinata \bar{H}_{Δ} čvorovima grida, a određenih sukladno izrazu (2), kreiran je i realiziran model koji omogućuje jednoznačno i efikasno modeliranje razlika visinskih koordinata točaka poznatog položaja na području Hrvatske i Bosne i Hercegovine primjenom bilinearne interpolacije. Uz uporabu izraza (3) i (4) on omogućuje jednostavno i jednoznačno transformiranje visinskih koordinata točaka poznatog planarnog položaja iz starog visinskog referentnog sustava HVRS1875 u novi visinski referentni sustav HVRS71.

Ploha Hrvatskog transformacijskog modela visina predočena je na sl. 9, uključujući izolinijske istih vrijednosti razlika visinskih koordinata \bar{H}_{Δ} , uz napomenu da je predočeno i ukupno ekstrapolacijsko područje modela (područje van granica Hrvatske i Bosne i Hercegovine) koje je nepozudano za uporabu. Odgovarajućoj grid datoteci, kao temeljnoj podatkovnoj osnovi za primjenu transformacijskog algoritma, pridružen je odgovarajući naziv, tj. “HTMV08-v.1.GRD”, koji je kombinacija skraćenice izvedene iz punog naziva transformacijskog modela (HTMV), skraćenice godine kreacije (2008. godina) i oznake verzije (verzija 1), a podaci su strukturirani sukladno standardiziranom formatu grid datoteka (*.GRD) programskog sustava Surfer.



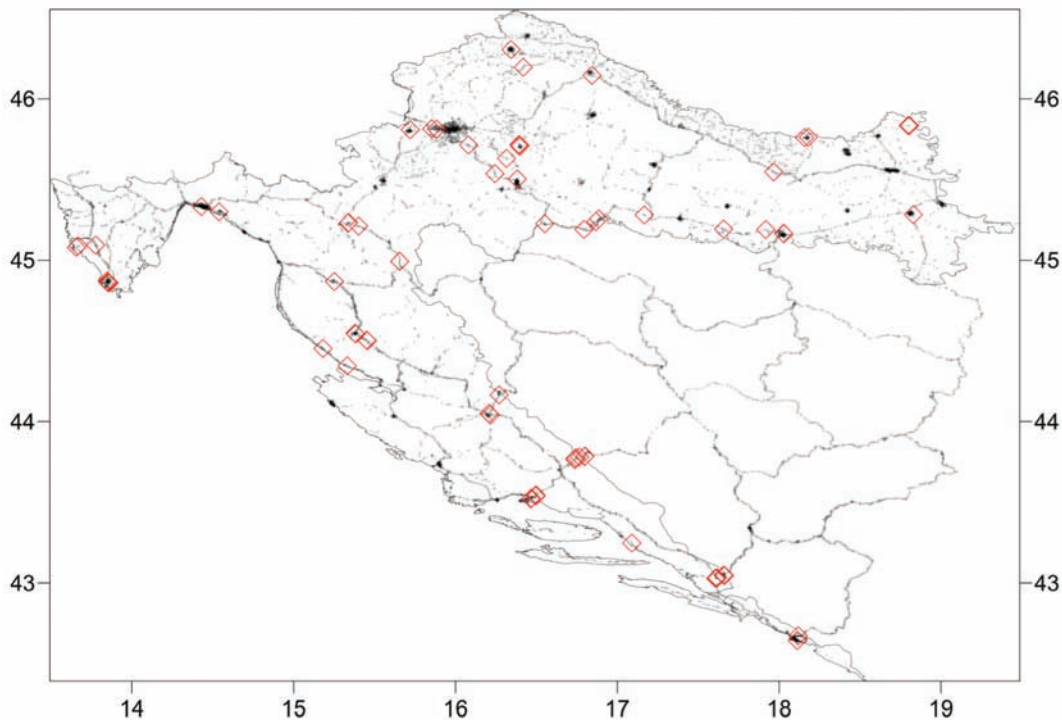
Slika 9. Ploha Hrvatskog transformacijskog modela – realizacija HTMV08v.1

Temeljni pokazatelji kvalitete modela izvedeni su iz odstupanja ε između izvornih H_{Δ} i modeliranjem određenih vrijednosti \bar{H}_{Δ} razlika visinskih koordinata repera, tj.

$$\varepsilon = \bar{H}_{\Delta} - H_{\Delta}, \quad (11)$$

koji su sukladno metodologiji i primijenjenom konceptu modeliranja praktički podudarni s distorzivnim rezidualima. Odstupanja ε , za 10537 repera sadržanih na području obuhvata modela, nalaze se unutar ukupnog raspona u iznosu 71.9 mm, od minimalne vrijednosti u iznosu -39.2 mm do maksimalne vrijednosti u iznosu 32.7 mm. Srednja vrijednost odstupanja jest 0.0 mm i standardno odstupanje poprima iznos od 2.1 mm. Za 74 repera na području obuhvata modela odstupanja ε poprimaju iznos veći od ± 10.0 mm (0.70%), a samo za 11 repera (0.10%) iznos veći od ± 20.0 mm. Standardno odstupanje ukazuje na visoku razinu kvalitete modela (tzv. unutarnja točnost), kao i činjenicu da su na praktički zanemarivom broju repera u odnosu na njihov ukupni broj, odstupanja ε poprimila iznos veći od ± 1 cm. Sukladno navedenom, a uz ograničenje broja signifikantnih znamenki (zaokruživanje) visinskih koordinata točaka H_S ili H_N koje su predmet transformacije na centimetarsku razinu, razvidno je da se transformacijski model može efikasno koristiti s primjerenom razinom očuvanja izvorne kvalitete visinskih koordinata nakon transformacije. Položaj 74 repera, na kojima odstupanja ε poprimaju iznos veći od ± 1 cm, predložen je na sl. 10. Razvidno je da položajna distribucija tih repera nema naglašeniji sistematski obrazac, jer prilično su ravnomjerno distribuirani duž ukupnog područja obuhvata modela.

Dopunski pokazatelji kvalitete modela izvedeni su i iz odstupanja ε određenih pomoću 1589 repera mreže IINVT, samo na području Hrvatske, koji nisu bili obuhvaćeni procesom modeliranja i kreacijom modela. Naime, temeljem podataka izvorne izmjere mreže IINVT obavljeno je visinsko određivanje dijela repera te mreže u starom visinskom referentnom sustavu HVRS1875 te je dobiven referentni skup repera (kontrolni skup) posve neovisan od skupa korištenog u svrhu modeliranja. Odstupanja ε ovih repera nalaze se unutar ukupnog raspona



Slika 10. Reperi s odstupanjima većim od ± 1 cm

u iznosu 81.8 mm, od minimalne vrijednosti u iznosu -35.7 mm do maksimalne vrijednosti u iznosu 46.1 mm. Srednja vrijednost odstupanja jest 2.9 mm i standardno odstupanje u iznosu 8.2 mm. Za 218 repera na području obuhvata modela odstupanja ε poprimaju iznos veći od ± 10.0 mm (13.72%), a za 87 repera (5.48%) iznos veći od ± 20.0 mm. Standardno odstupanje i u ovom slučaju ukazuje na visoku razinu kvalitete modela (tzv. vanjska točnost), usprkos činjenici da su na nešto većem broju repera odstupanja ε poprimila iznos veći od ± 1 cm. Navedena pojavnost je posve razumljiva i uobičajena, jer je referentni skup repera za vrednovanje kvalitete modela posve neovisan od repera koji su korišteni kao osnova za njegovu kreaciju.

U svakom slučaju, a nastavno na prethodno iskazane pokazatelje kvalitete, treba jasno naglasiti da uporaba svakog transformacijskog modela koji je izveden iz empirijskih podataka, a takav je upravo i prethodno predočen HTMV, uvijek zahtijeva određenu razinu opreza. Prije svega zbog činjenice da je kvaliteta modela primarno inducirana kvalitetom empirijskih podataka koji su poslužili kao osnova za modeliranje, brojnošću podataka te u slučaju prostornih podataka homogenošću distribucije duž područja obuhvata modela. Također, zbog činjenice da se izvorno nekvalitetne, netočne i pogrešne visinske koordinate točaka ili točke s nekvalitetnim ili pogrešnim planarnim položajem ne mogu primjenom transformacijskog modela transformirati i transformacijom “čudotvorno” pretvoriti u kvalitetne, točne i bespogrešne podatke. Transformacijskim se modelom izvorno nekvalitetni i pogrešni podaci konzistentno i jednoznačno mogu transformirati samo u podjednako pogrešne podatke. Pri tomu, pokazatelji kvalitete transformacijskog modela ne iskazuju eksplicitno točnost transformiranjem određenih visinskih koordinata, već kvalitetu procesa transformiranja.

Stoga, pri primjeni transformacijskog modela nije u potpunosti isključena mogućnost pojave određenih anomalija, odnosno nesuvislih, nekonzistentnih ili pogrešnih transformacijskih rezultata na određenim lokalnim područjima obuhvata modela. Sukladno mogućnostima i raspoloživom obujmu dostupnih visinskih podataka, uvijek je uputna kontrola, provjera konzistencije, komparacija s podacima u lokalnom okružju i kritička stručna prosudba transformacijskih rezultata.

6. Zaključak

Na temelju dostupnih, verificiranih, objedinjenih i analiziranih nivelmanskih podataka naslijeđene nivelmanske osnove Republike Hrvatske, odnosno podataka realizacije visinskih referentnih sustava HVRS1875 i HVRS71, a u sklopu izvedbe znanstveno-razvojnog projekta “Hrvatski transformacijski model visina”, obavljena je definicija i realizacija transformacijskog modela visina u formi tzv. grid transformacije, tj. transformacije visoke točnosti. Za teritorij Republike Hrvatske definiran je Hrvatski transformacijski model visina – HTMV, koji je u sklopu empirijske realizacije poprimio konkretiziran oblik, formu i sadržaj.

Transformacijski model i transformacijski algoritam temelje se na uporabi transformacijske grid datoteke “HTMV08-v.1.GRD” i bilinearnoj interpolaciji transformacijskih parametara sadržanih u grid datoteci, tj. modeliranih vrijednosti razlika visinskih koordinata između visinskih referentnih sustava HVRS1875 i HVRS71 koje su pridružene čvorovima grida primjerenne veličine, dimenzija i svojstava na području obuhvata modela. Pri tomu, definicija i kreacija transformacijskog modela temelji se na objedinjavanju datumskog i distorzijskog modela razlika visinskih koordinata, jer su posljedica različitog prostornog položaja, usmjerenja koordinatnih osi i mjerila visinskih referentnih sustava, odnosno visinskih datuma s jedne strane te distorzija sadržanih u visinskom referentnom sustavu HVRS1875 s druge strane. Usprkos složenosti modeliranja, koja je detaljno predložena u (Rožić 2009), transformacijski model je za praktičnu uporabu jednostavan, jednoznačan, učinkovit i programibilan, uz preduvjet automatizirane identifikacije odgovarajućih transformacijskih parametara sadržanih u grid datoteci HTMV08-v.1.GRD. Može se ocijeniti da je postignuta zamjetna kvaliteta transformacijskog modela, koja je primarno determinirana kvalitetom korištenih nivelmanskih podataka te koja ukazuje na prihvatljivost primjene modela u svrhu transformiranja visinskih koordinata točaka poznatog položaja na teritoriju Republike Hrvatske.

Zahvala. *Kreacija Hrvatskog transformacijskog modela visina (HTMV) završni je korak u procesu stvaranja neophodnih infrastrukturnih i tehničkih uvjeta za aktivnu uporabu novog visinskog datuma HVD71 i visinskog referentnog sustava HVRS71 Republike Hrvatske za najširi krug zainteresiranih korisnika. Stoga, autor transformacijskog modela i ovog članka zahvaljuje Državnoj geodetskoj upravi Republike Hrvatske i Sektoru za državnu izmjeru na učinkovitoj suradnji, sadržajnoj koordinaciji i financijskoj potpori izvedbe znanstveno-stručnog (razvojnog) projekta “Hrvatski transformacijski model visina”, koji je rezultirao kreacijom transformacijskog modela, kao i svim znanstvenicima, stručnjacima, institucijama, tvrtkama i kolegama koji su aktivno pridonijeli stvaranju nivelmanske osnove za njegovu realizaciju.*

7. Literatura

- Bilajbegović A., Feil L., Klak S., Sređić S., Škeljo Lj. (1986a): II Nivelman visoke točnosti SR: Bosne i Hercegovine, Crne Gore, Hrvatske, Slovenije i SAP Vojvodine, 1970-1973. Zbornik radova Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Niz D, Svezak br. 6/1, Zagreb, 1986.
- Bilajbegović A., Feil L., Klak S., Sređić S., Škeljo Lj. (1986b): II Nivelman visoke točnosti SR: Bosne i Hercegovine, Crne Gore, Hrvatske, Slovenije i SAP Vojvodine, 1970-1973. Zbornik radova Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Niz D, Svezak br. 6/2, Zagreb, 1986.
- Bilajbegović A., Feil L., Klak S., Sređić S., Škeljo Lj. (1986c): II Nivelman visoke točnosti SR: Bosne i Hercegovine, Crne Gore, Hrvatske, Slovenije i SAP Vojvodine, 1970-1973. Zbornik radova Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Niz D, Svezak br. 6/3, Zagreb, 1986.
- Bilajbegović A., Feil L., Klak S., Sređić S., Škeljo Lj. (1986d): II Nivelman visoke točnosti SR: Bosne i Hercegovine, Crne Gore, Hrvatske, Slovenije i SAP Vojvodine, 1970-1973. Zbornik radova Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Niz D, Svezak br. 6/4, Zagreb, 1986.

- Bilajbegović A., Feil L., Klak S., Sredić S., Škeljo Lj. (1986e): II Nivelman visoke točnosti SR: Bosne i Hercegovine, Crne Gore, Hrvatske, Slovenije i SAP Vojvodine, 1970-1973. Zbornik radova Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Niz D, Svezak br. 6/5, Zagreb, 1986.
- Bilajbegović A., Feil L., Klak S., Sredić S., Škeljo Lj. (1986f): II Nivelman visoke točnosti SR: Bosne i Hercegovine, Crne Gore, Hrvatske, Slovenije i SAP Vojvodine, 1970-1973. Zbornik radova Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Niz D, Svezak br. 6/6, Zagreb, 1986.
- Bilajbegović A., Feil L., Klak S., Sredić S., Škeljo Lj. (1986g): II Nivelman visoke točnosti SR: Bosne i Hercegovine, Crne Gore, Hrvatske, Slovenije i SAP Vojvodine, 1970-1973. Zbornik radova Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Niz D, Svezak br. 6/7, Zagreb, 1986.
- Dewhurst, W. T. (1990): 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, NADCON, Rockville, USA, January, 1990.
- 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, May 22-25 1996, Veröffentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung, Heft 57, 198-217.
- Feil, L., Klak, S., Rožić, N. (1992a): II. nivelman visoke točnosti: Bosne i Hercegovine, Crne Gore, Hrvatske, Slovenije i Vojvodine, 1970-1973. - Ispravci. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, urednik S. Klak, Zbornik radova, Zagreb, 1992, niz D, svezak br. 6/8.
- Feil, L., Klak, S., Roić, M., Rožić, N. (1992b): Beitrag zur Bestimmung der Vertikalkrustenbewegungen in Kroatien. Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie, Organ des Österreichischen Vereines für Vermessungswesen und Photogrammetrie und der Österreichischen Kommission für die Internationale Erdmessung, ISSN 0029-9650, Wien, 1992, Heft 2, 95-106.
- Feil, L., Rožić, N. (2000): Prijedlog službenog visinskog datuma Republike Hrvatske. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2000.
- Feil, L., Rožić, N. (2001): Studija o obnovi i održavanju visinskog sustava Republike Hrvatske. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2001.
- Feil, L., Rožić, N. (2005): Izrada dokumentacije neophodne za usvajanje prijedloga službenog visinskog datuma Republike Hrvatske. Izvješća o znanstveno-stručnim projektima iz 2003. godine, Državna geodetska uprava Republike Hrvatske, ISSN 1845-3953, Zagreb, 2005, 15-37.
- Feil, L., Rožić, N., Gucek, M. (2006a): Podaci o reperima - Knjiga 6. Državna geodetska uprava Republike Hrvatske, ISBN 953-6971-09-7 (cjelina), ISBN 953-6971-08-9, Zagreb, 2006.
- Feil, L., Rožić, N., Gucek, M. (2006b): Podaci o reperima - Knjiga 7. Državna geodetska uprava Republike Hrvatske, ISBN 953-6971-09-7 (cjelina), ISBN 953-6971-10-0, Zagreb, 2006.
- Feil, L., Rožić, N., Pavičić, S., Gucek, M. (2003a): Podaci o reperima - Knjiga 4. Državna geodetska uprava Republike Hrvatske, ISBN 953-6971-09-7 (cjelina), Zagreb, 2003.
- Feil, L., Rožić, N., Pavičić, S., Gucek, M. (2003b): Podaci o reperima - Knjiga 5. Državna geodetska uprava Republike Hrvatske, ISBN 953-6971-09-7 (cjelina), Zagreb, 2003.
- Geodetska uprava pri vladi NRH (1948): Nivelman na području NRH - Popis repera austrijskog preciznog nivelmana. Štamparski zavod Ognjen Prica, Zagreb, 1948.
- Klak, S., Feil, L., Rožić, N. (1992): Studija o sređivanju geometrijskog nivelmana na području Republike Hrvatske. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1992.
- Klak, S., Feil, L., Rožić, N. (1994a): Izjednačenje nivelmanskih mreža svih redova u II. nivelmanskom poligonu II.NVT. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1994.
- Klak, S., Feil, L., Rožić, N. (1994b): Podaci o reperima - Knjiga 1. Državna geodetska uprava Republike Hrvatske, ISBN 953-6971-09-7 (cjelina), Zagreb, 1994.
- Klak, S., Feil, L., Rožić, N. (1995a): Izjednačenje nivelmanskih mreža svih redova u I. nivelmanskom poligonu II.NVT. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1995.
- Klak, S., Feil, L., Rožić, N. (1995b): Izjednačenje nivelmanskih mreža svih redova u III. nivelmanskom poligonu II.NVT. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1995.
- Klak, S., Feil, L., Rožić, N. (1996a): Izjednačenje nivelmanskih mreža svih redova u VIII. nivelmanskom poligonu II.NVT. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1996.

- Klak, S., Feil, L., Rožić, N. (1996b): Izjednačenje nivelmanskih mreža svih redova u IV. nivelmanskom poligonu II.NVT - prvi dio. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1996.
- Klak, S., Feil, L., Rožić, N. (1997a): Izjednačenje nivelmanskih mreža svih redova u VI., XIV., XV. i XVI. nivelmanskom poligonu II.NVT. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1997.
- Klak, S., Feil, L., Rožić, N. (1997b): Povezivanje nivelmana visoke točnosti Republike Hrvatske i Republike Mađarske. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1997.
- Klak, S., Feil, L., Rožić, N. (1998a): Izjednačenje nivelmanskih mreža svih redova u IV. nivelmanskom poligonu II.NVT - drugi dio. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1998.
- Klak, S., Feil, L., Rožić, N. (1998b): Izjednačenje nivelmanskih mreža svih redova u V. nivelmanskom poligonu II.NVT. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1998.
- Klak, S., Feil, L., Rožić, N. (1998c): Podaci o reperima - Knjiga 2. Državna geodetska uprava Republike Hrvatske, ISBN 953-6971-09-7 (cjelina), Zagreb, 1998.
- Klak, S., Feil, L., Rožić, N. (1999a): Izjednačenje nivelmanskih mreža svih redova u VIII. nivelmanskom poligonu II.NVT - dopuna. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1999.
- Klak, S., Feil, L., Rožić, N. (1999b): Izjednačenje nivelmanskih mreža svih redova u IX. nivelmanskom poligonu II.NVT. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1999.
- Klak, S., Feil, L., Rožić, N. (1999c): Izjednačenje nivelmanskih mreža svih redova u XII. nivelmanskom poligonu II.NVT. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1999.
- Klak, S., Feil, L., Rožić, N. (2000): Povezivanje nivelmana visoke točnosti Republike Hrvatske i Republike Mađarske - drugi dio. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2000.
- Militär-geographisches Institut (1875): Die Astronomisch-geodätischen Arbeiten. Band VII, Wien.
- Militär-geographisches Institut (1884): Astronomisch-geodätischen Arbeiten. Band IV, Wien, 1884.
- Militär-geographischen Institute (1897): Die Astronomisch-Geodätischen Arbeiten. VIII Band. Das Präcisions-Nivellement in der Österreichisch-ungarischen Monarchie, Wien, 1897.
- Militär-geographisches Institut (1899a): Die Astronomisch-Geodätischen Arbeiten. XIV Band. Das Präcisions-Nivellement in der Österreichisch-ungarischen Monarchie. Wien. 1899.
- Militär-geographisches Institut (1899b): Die Ergebnisse des Präcisions-Nivellement in der Österreichisch-ungarischen Monarchie, Südöstlicher Theil, Wien, 1899.
- Militär-geographisches Institut (1909): Die Fortsetzung des Präcisions-Nivellement ausgeführt im Jahre 1899-1909, Wien, 1909.
- Narodne novine (2004): Odluka o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske. Službeni list Republike Hrvatske, br. 110, Zagreb, 2004.
- Narodne novine (2007): Zakon o državnoj izmjeri i katastru nekretnina. Službeni list Republike Hrvatske, br. 16, Zagreb, 2007.
- Rožić, N. (1995): Ispitivanje slučajnih i sistematskih pogrešaka u geometrijskom nivelmanu. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, doktorska disertacija, Zagreb, 1995.
- Rožić, N., Feil, L. (2000): Izjednačenje nivelmanskih mreža svih redova u VII. i XI. nivelmanskom poligonu II.NVT i izjednačenje otočkih nivelmanskih mreža. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2000.
- Rožić, N.: Fundamental levelling networks and height datums at the territory of the Republic of Croatia. Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica, Akadémiai Kiadó, ISSN 1217-8977, Budapest, 2001, Vol. 36, 2, 231-243.
- Rožić, N. (2009): Hrvatski transformacijski model visina. Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zagreb, 2009.
- Rožić, N., Feil, L., Pavičić, S. (2001): Podaci o reperima - Knjiga 3. Državna geodetska uprava Republike Hrvatske, ISBN 953-6971-09-7 (cjelina), Zagreb, 2001.
- Rožić, N., Klak, S., Feil, L. (1999): Izjednačenje nivelmanskih mreža svih redova u III. i VIII. nivelmanskom poligonu II.NVT - dopune. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1999.
- Seber, G. A. F., Lee, A. J. (2003): Linear Regression Analysis. Wiley-Interscience, 2nd ed., New Jersey, 2003.

Analiza preduvjeta za pojedinačno prevođenje katastarskih čestica u katastar nekretnina

Miodrag Roić¹, Siniša Mastelić Ivić¹, Vlado Cetl¹,
Mario Mađer¹, Baldo Stančić¹

Sažetak

U okviru projekta provedena je analiza preduvjeta potrebnih za pokretanje postupka pojedinačnog prevođenja katastarskih čestica u katastar nekretnina. Kako pojedinačno prevođenje katastarskih čestica u katastar nekretnina umnogome ovisi o postojećem stanju čimbenika koji na tu mogućnost utječu, a u koje ulaze propisi, organizacije i projekti, to se oni u ovom projektu analiziraju. Analiza postojećih podataka napravljena je, općenito, za područje Republike Hrvatske dok je na temelju polaznih stanja organizacije podataka izabrano područje Grada Zagreba za detaljnije analize. Sukladno usvojenim načelima i metodama modelirani su procesi ispunjavanja preduvjeta općim jezikom modeliranja (UML) te prikazani dijagramima slučaja uporabe i aktivnosti. Sve spoznaje dobivene kroz provedena istraživanja na ovom projektu sažeta su kroz analizu stanja (SSPP) koja je prikazana pregledno u tablicama. Na temelju toga, zaključeno je da pojedinačno prevođenje ne može započeti dok se ne ispune navedene financijske i tehničke pretpostavke.

Ključne riječi: Katastar zemljišta, Katastar nekretnina, pojedinačno prevođenje katastarskih čestica, preduvjeti, analiza

1. Uvod

Zakon o državnoj izmjeri i katastru nekretnina (NN 16/2007) propisuje održavanje katastra zemljišta i njegovo postupno prilagođivanje katastru nekretnina te mogućnost pojedinačnog prevođenja katastarskih čestica u katastar nekretnina. Za takovo prevođenje zakonom su propisani preduvjeti:

- usklađeno područje i granice katastarskih općina u katastru i zemljišnim knjigama,
- donesen plan podjele na područja u kojima se katastarskim česticama pridružuje podatak o istoj adresi katastarske čestice,
- izrađen elaborat geodetske osnove,
- izrađena podjela na detaljne listove katastarskog plana
- izrađen katastarski plan u digitalnome obliku,

¹ Prof. dr. sc. Miodrag Roić, prof. dr. sc. Siniša Mastelić Ivić, dr. sc. Vlado Cetl, Mario Mađer, dipl. ing. geod., Baldo Stančić, dipl. ing. geod., Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Katedra za upravljanje prostornim informacijama, Kačićeva 26, Zagreb, e-mail: mroi@geof.hr, ivic@geof.hr, vcetl@geof.hr, mmadjer@geof.hr, bstancic@geof.hr.

- izrađen digitalni ortofotoplan i digitalni model terena,
- provedena homogenizacija katastarskoga plana,
- uspoređen digitalni katastarski plan s knjižnim dijelom katastarskog operata katastra zemljišta i izrađeni popisi razlika,
- postojeći podaci katastra zemljišta prevedeni u popise i posjedovne listove katastra nekretnina,
- ustrojene zbirka parcelacijskih i drugih geodetskih elaborata i zbirka isprava

Postojeće stanje katastra zemljišta je različito te je za ispunjenje ovih preduvjeta potrebno definirati različite pristupe u ovisnosti o polaznom stanju. Za to je potrebno na reprezentativnom skupu podataka katastra zemljišta ispitati mogućnost provedbe svakog preduvjeta. Cilj ovog projekta je bio, temeljem stanja podataka u katastru zemljišta i odredbi Zakona o državnoj izmjeri i katastru nekretnina, predložiti mogućnosti sustavne preobrazbe katastarskih čestica katastra zemljišta u katastar nekretnina te predložiti eventualno potrebne izmjene ili dopune postojećih propisa.

2. Čimbenici i polazna stanja

Pojedinačno prevođenje katastarskih čestica u katastar nekretnina umnogome ovisi o postojećem stanju čimbenika koji na tu mogućnost utječu pa su oni u ovom projektu analizirani. Čimbenici uključuju propise, organizacije i projekte.

2.1. Propisi

Osnovna i nužna pretpostavka za provođenje pojedinačnog prevođenja jesu propisi. U nastavku je dan pregled zakonskih propisa značajnih za postupno prevođenje katastarskih čestica iz katastra zemljišta u katastar nekretnina i njihov utjecaj na taj proces.

Mogućnost postupnog prevođenja katastarskih čestica otvorena je usvajanjem Zakona o državnoj izmjeri i katastru nekretnina. Reforma katastra, odnosno prijelaz iz katastra zemljišta u katastar nekretnina propisana je člancima od 62. do 69. U članku 68. uz katastarsku izmjeru kao jedan od načina izrade katastra nekretnina uvodi se i pojam pojedinačnog prevođenja katastarskih čestica u katastar nekretnina. Postupak pojedinačnog prevođenja detaljnije je propisan člancima od 70. do 76. u kojima je dan pravni temelj kao i preduvjete koje treba ispuniti za jedinu katastarsku općinu, a da bi uopće bio moguć početak procesa pojedinačnog prevođenja katastarskih čestica. Važno je spomenuti i članak 74. koji propisuje dozvoljene razlike u površinama čestica koje se pojedinačno prevode u katastar nekretnina. Razlike unutar dozvoljenih vrijednosti se ne smatraju promjenom sastava zemljišnoknjižnog tijela, a praktičnu provedbu treba osigurati u okviru Zajedničkog informacijskog sustava (ZIS).

Na temelju članka 69. Zakona, je 1. kolovoza 2007. godine donesen Pravilnik o katastru zemljišta. Pravilnik je objavljen 13. kolovoza 2007. godine u Narodnim novinama broj 84/07. Uz postupak pojedinačnog prevođenja izravno su vezani članci od 65. do 75. U njima se uz propisivanje preduvjeta, što je identično Zakonu, pobliže propisuje i ostvarivanje preduvjeta.

Uz Pravilnik o katastru zemljišta, važan je i Pravilnik o parcelacijskim i drugim geodetskim elaboratima (NN 86/2007). On propisuje i elaborate koji se izrađuju u svrhu postupnog osnivanja katastra nekretnina.

Od ostalih važnih propisa za pojedinačno prevođenje treba spomenuti pravilnik o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova (članak 10. Zakona) i pravilnik o načinu prikupljanja,

obrađivanja i pohranjivanja podataka topografske izmjere, način vođenja i održavanja topografskih i kartografskih baza podataka te način izrade službenih državnih karata odgovarajućih mjerila (članak 14. Zakona) koji još nisu doneseni.

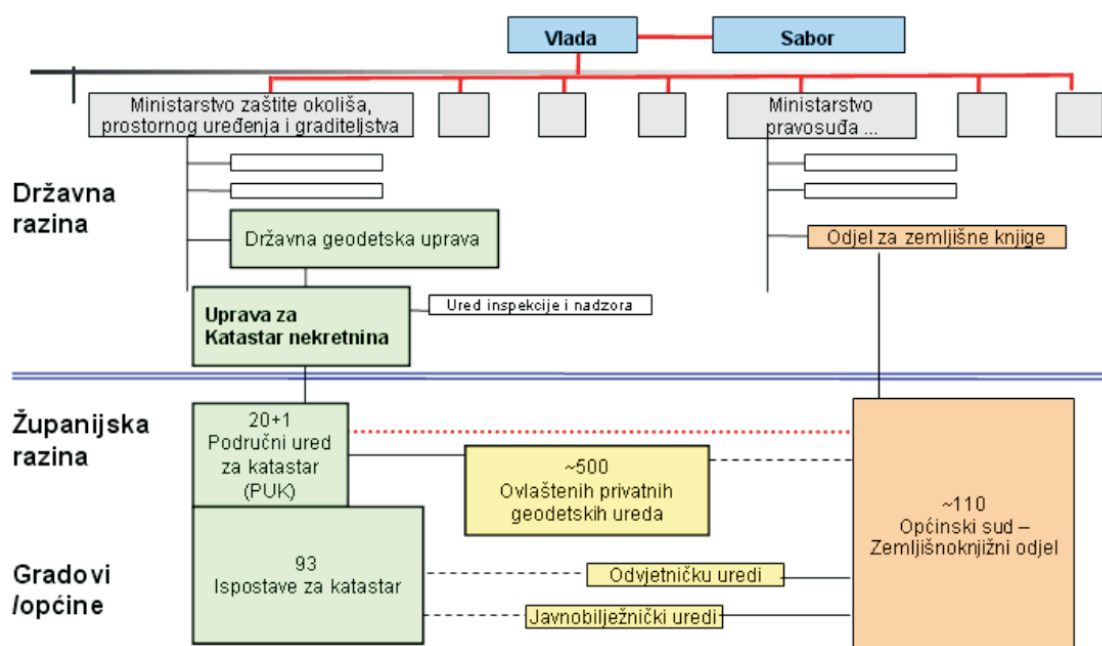
Zakonom o zemljišnim knjigama je, među ostalim, definirano i usklađivanje podataka katastra zemljišta i zemljišne knjige. Članci od 10. do 13. te 21. i 28. definiraju usklađivanje stanja katastra zemljišta i zemljišne knjige prilikom održavanja zemljišne knjige odnosno katastarskog operata. Međusobno usklađivanje područja katastarskih općina i nadležnosti općinskih sudova definirano je u članku 211.

U Zakonu o zemljišnim knjigama nije definirano pojedinačno prevođenje katastarskih čestica u katastar nekretnina odnosno pojedinačno preoblikovanje u EOP zemljišnu knjigu te je zbog toga pokrenuta njegova izmjena odnosno dopuna koja je u tijeku.

Na postupno prevođenje utječu izravno ili posredno i drugi propisi od kojih su najvažniji Zakon o prostornom uređenju i gradnji te Pravilnik o registru prostornih jedinica.

2.2. Organizacije

Proces reforme sustava upravljanja zemljištem u Republici Hrvatskoj jedan je od najvažnijih. U njemu sudjeluju mnogi čimbenici sa različitim nadležnostima i zaduženjima (Slika 1).



Slika 1. Čimbenici upravljanja zemljištem

Svi prikazani čimbenici će sudjelovati i u postupku pojedinačnog prevođenja, te su u nastavku detaljnije opisani.

Nadležnost nad pojedinim poslovima vezanim uz pojedinačno prevođenje katastarskih čestica iz katastra zemljišta u katastar nekretnina mogu se podijeliti na poslove koje obavlja Središnji ured i poslove područnih ureda odnosno ispostava. Središnji ured:

- donosi odluku o postupnoj izradi katastra nekretnina;
- ravnatelj u sporazumu s ministrom nadležnim za poslove pravosuđa propisuje način pojedinačnog prevođenja katastarskih čestica katastra zemljišta u katastar nekretnina;
- kontrolira kvalitetu katastarskog plana u digitalnom obliku (vektORIZACIJE);
- kontrolira kvalitetu postupka homogenizacije.

Gradski ured Grada Zagreba te područni uredi i ispostave do započinjanja pojedinačnoga prevođenja katastarskih čestica u katastar nekretnina za neku katastarsku općinu vode katastar zemljišta tako da se postupno prilagođava katastru nekretnina. To obuhvaća održavanje katastra zemljišta na način da se u njemu postupno formiraju posjedovni listovi koji odgovaraju zemljišnoknjižnim ulošcima, upisivanje vlasnika i ovlaštenika u posjedovne listove te ostvarivanje preduvjeta iz članka 71. Zakona. Uz Državnu geodetsku upravu, važan čimbenik u postupku pojedinačnog prevođenja je i Ministarstvo pravosuđa, a posebno zemljišnoknjižni odjeli u sastavu općinskih sudova.

Neke od poslova u procesu pojedinačnog prevođenja će izvoditi ovlaštene geodetske tvrtke, ovlaštene inženjeri geodezije, odvjetnici i javni bilježnici. Ti poslovi se odnose uglavnom na proces prevođenja dok će u poslovima ostvarivanja preduvjeta najveći dio poslova obaviti državna tijela.

2.3. Projekti

U okviru reforme sustava upravljanja zemljištem provedeni su ili se provode mnogi projekti. Oni se bave pojedinačnim zadaćama, a njihov je cilj unaprjeđenje tih pojedinačnih aktivnosti. Kako su sve aktivnosti reforme sustava međusobno povezane i nije moguće rješavati jednu zadaću ne vodeći računa o drugima to će njihovi rezultati utjecati i na pojedinačno prevođenje. Neki od projekata daju ili će osigurati preduvjete za pojedinačno prevođenje. U takve projekte mogu se uvrstiti sljedeći:

- CROPOS,
- Vektorizacija,
- Poboljšanje (homogenizacija),
- Digitalni ortofotoplan,
- Metapodaci,
- e-Katastar,
- Geoportal,
- Digitalizirane zemljišne knjige,
- Zajednički informacijski sustav,
- CronoGIP III – A,
- Sustav za identifikaciju zemljišnih čestica (LPIS).

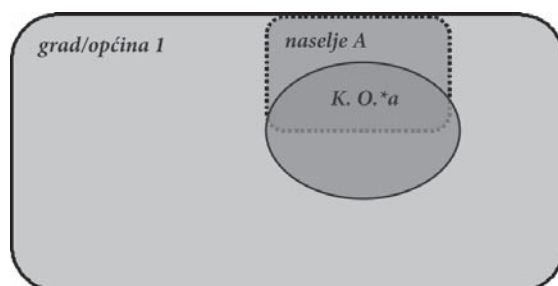
Doprinos pojedinih projekata ka pojedinačnom prevođenju detaljno je prikazan u Konačnom izvješću o projektu pa je ovdje izostavljen.

3. Analiza postojećih podataka

Polazna stanja organizacije podataka sagledana su u pogledu sukladnosti područja samoupravnih prostornih jedinica, zemljišnoknjižnih i katastarskih općina te homogenosti unutar katastarske općine.

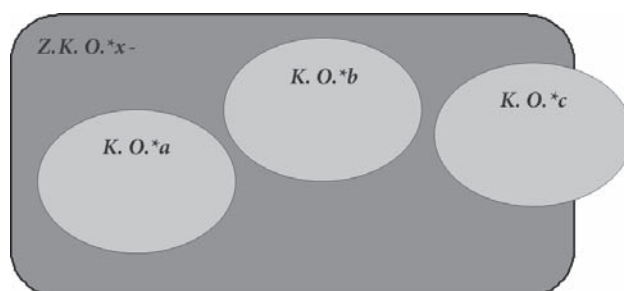
3.1. (Ne)usklađenost područja

Najvažniji čimbenik tehničke provedbe i jednoznačne identifikacije tih prostornih jedinica je sukladnost granica katastarskih općina sa granicama ostalih prostornih jedinica. Značajne promjene ustroja Republike Hrvatske u nedavnoj prošlosti dovele su do višestrukih razmimoilaženja tih granica i narušavanja hijerarhijske strukture (Slika 2).



Slika 2. Jedinice lokalne samouprave

Organizacija podataka u katastru i zemljišnoj knjizi temelji se na katastarskim općinama kao cjelinama. Nažalost i u ovom slučaju imamo neusklađenost područja. Tako u katastru i zemljišnoj knjizi susrećemo situaciju kada jedna katastarska općina u zemljišnoj knjizi, kao posljedica “starih novih izmjera”, sadrži više novih katastarskih općina od kojih neke ponekad prelaze i u druge katastarske općine u zemljišnoj knjizi (Slika 3).



Slika 3. Katastarska općina (*x) u zemljišnoj knjizi

Različitost stanja podataka unutar katastarske općine u katastru karakteriziraju razlike koje se odnose na homogenost podataka proizašlih iz različitih izvora nastanka podataka i nstandardiziranog pristupa u dodjeljivanju imena rudina pojedinim katastarskim česticama.

Različiti izvori nastanka prostornih podataka (katastarski plan) mogu se podijeliti na četiri osnovne vrste:

- franciskanska izmjera
- komasacija
- “stara nova izmjera”
- “nova izmjera”.

Analizirajući homogenost podataka na području cijele katastarske općine mogući su sljedeći slučajevi:

1. cijela K.O. je franciskanska izmjera
2. cijela K.O. je “stara nova izmjera”
3. cijela K.O. je “nova izmjera”
4. cijela K.O. je komasacija
5. Izvorno franciskanska uz dijelove “stare nove izmjere”, nove izmjere” i komasacije
6. Izvorno “stara nova izmjera” uz dijelove franciskanske, “nove izmjere” i komasacije
7. Izvorno “nova izmjera” uz dijelove franciskanske, “stare nove izmjere” i komasacije
8. Izvorno komasacija uz dijelove “stare nove izmjere” i “nove izmjere”.

Za slučajeve 5.-8. od drugih izmjera mogu postojati sve ili samo jedna od njih.

3.2. Adrese

Nestandardni pristup u dodjeljivanju atributa: naziv rudine u prošlosti uzrokovao je raštrkanost katastarskih čestica sa istim nazivom rudine (Slika 4).



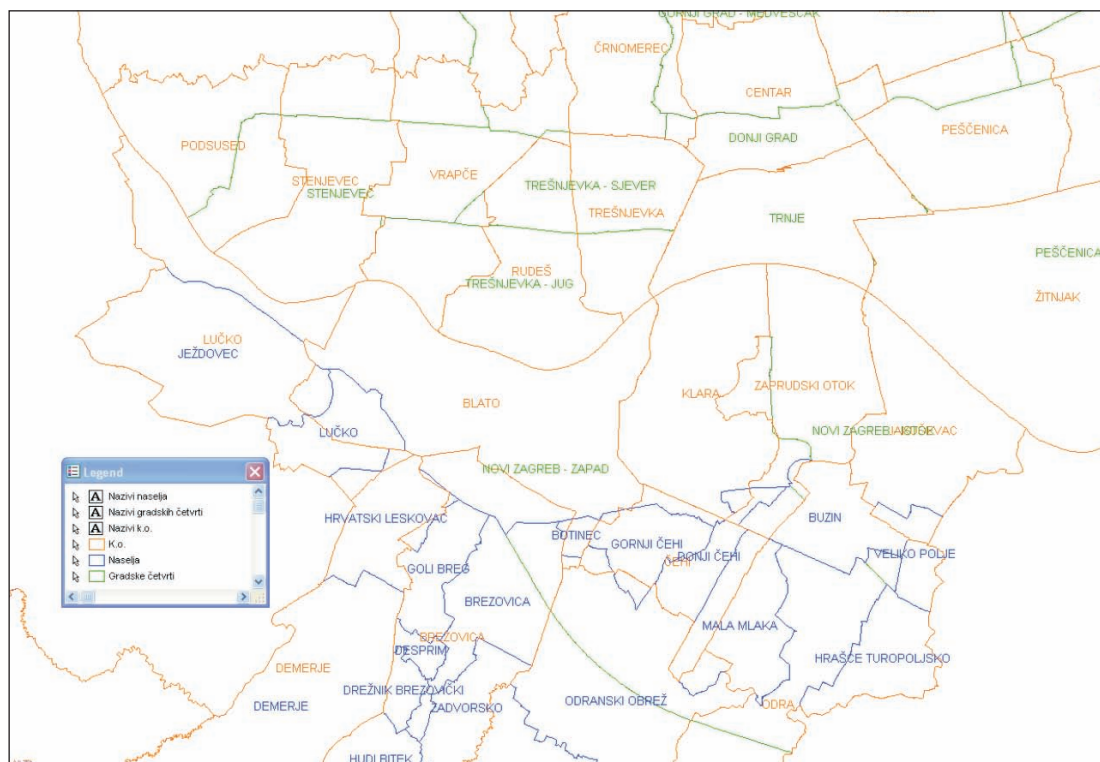
Slika 4. Rudine i ulice = Adresa

3.3. Grad Zagreb

Kao najpogodnije područje za ispunjavanje preduvjeta odabrano je područje Grada Zagreba. Iz Gradskog ureda za katastar i geodetske poslove preuzeti su podaci katastra zemljišta za katastarske općine Horvati i Črnomerec kao i podaci iz RPJ-a. Za navedene općine traženi su i podaci zemljišne knjige (popis katastarskih čestica, broj zku.) koji, međutim, nisu dostavljeni.

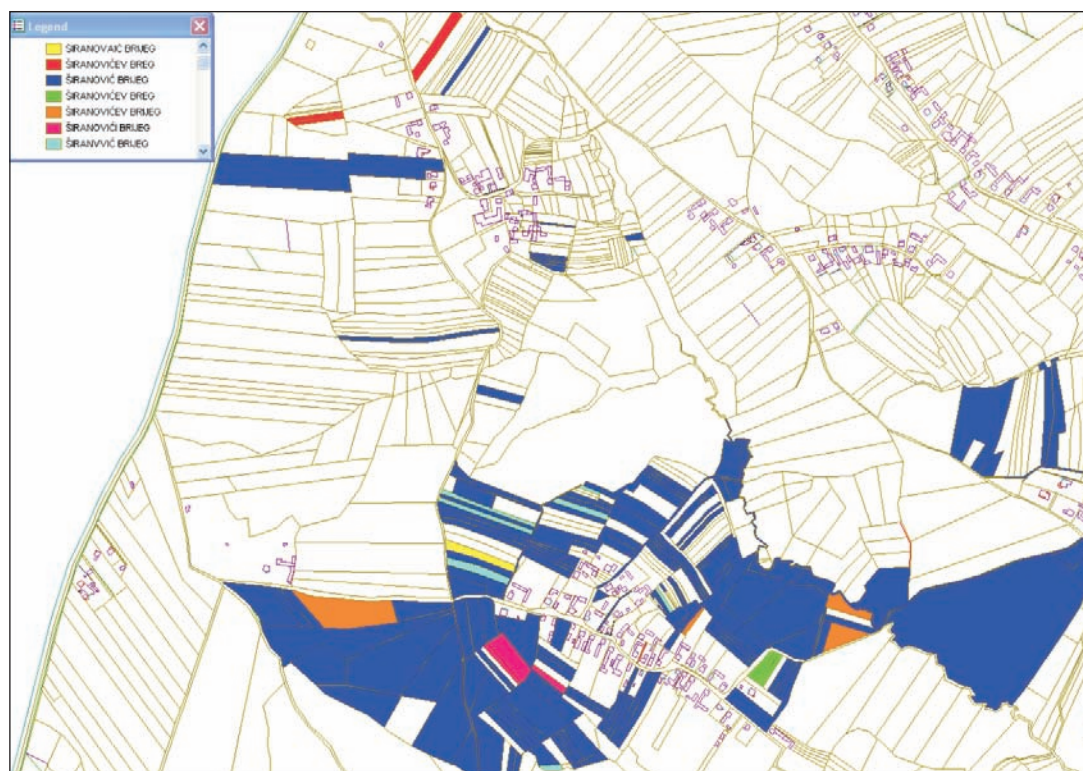
Iz Središnjeg ureda DGU preuzeti su za navedene općine podaci iz baze DOF-a /DMR-a i podaci iz baze podataka koordinata stalnih geodetskih točaka.

Nekoordiniranost obnove katastarskih operata i zemljišnih knjiga na području Grada Zagreba je vrlo izražena. Usklađenost, odnosno neusklađenost područja katastarskih općina i područja naselja odnosno gradskih četvrti uzrokovana je dinamičnim razvojem tog područja (Slika 5).



Slika 5. Granice prostornih jedinica u dijelu Grada Zagreba

Analizom preduvjeta podjele na područja, na izabranom području, uočeno je nekoliko činjenica koje treba ispraviti. Za naziv rudine u pravilu je upisivan onaj koji je rekao korisnik katastarske čestice. Takav pristup uzrokovao je nehomogenost rudina (Slika 6).



Slika 6. Nehomogenost – rudine

Uz usklađivanje područja i podjelu na područja, na izabranom području su analizirani i ostali preduvjeti, što je detaljno opisano u Konačnom izvješću o projektu.

3.4. Ispunjenost preduvjeta

Analizom propisa te izvedenih projekata, a osobito stanja podataka na izabranom području ocijenjeno je trenutno stanje ispunjenosti propisanih preduvjeta. Tablica 1 daje pregledno prikaz ispunjenosti preduvjeta u % za čitavo područje Republike Hrvatske.

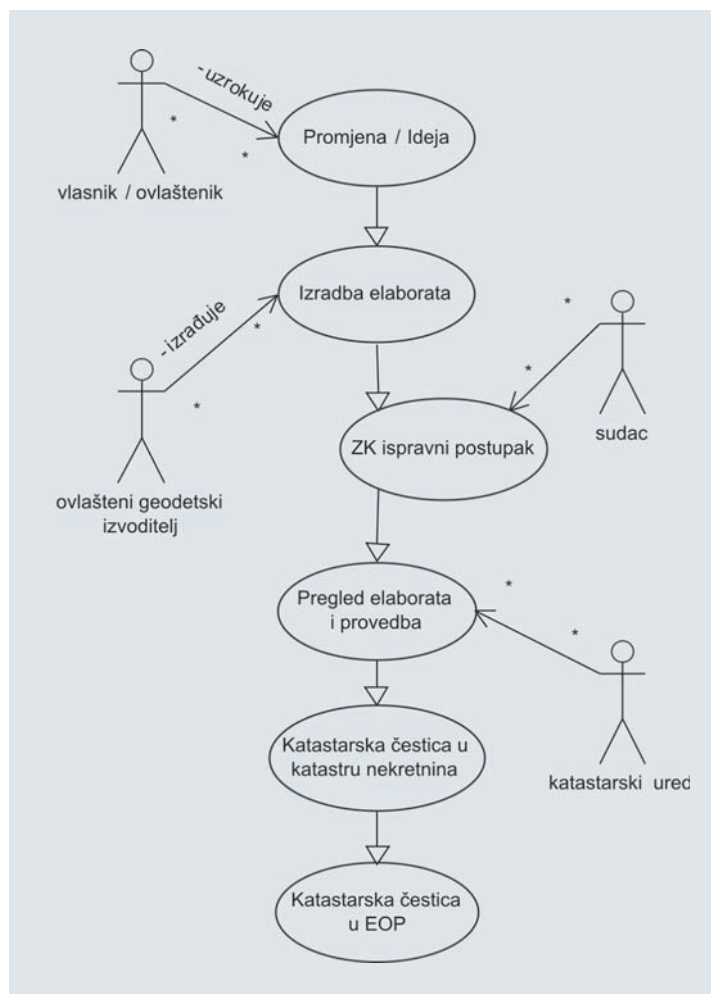
Tablica 1. Ispunjenost preduvjeta

| Preduvjet | Ispunjenost (% RH) | Nadležnost (izvoditelj) |
|---|--------------------|-------------------------|
| usklađeno područje i granice katastarskih općina u katastru i zemljišnim knjigama (<i>jedinica lokalne samouprave</i>) | 70 | PUK |
| donesen plan podjele na područja u kojima se katastarskim česticama pridružuje podatak o istoj adresi katastarske čestice | 0 | PUK |
| izrađen elaborat geodetske osnove | 0 | DGU |
| izrađena podjela na detaljne listove katastarskog plana | 0 | DGU |
| izrađen katastarski plan u digitalnome obliku | 40 | OGI |
| izrađen digitalni ortofotoplan i digitalni model terena (<i>reljefa</i>) | 90 | DGU |
| provedena homogenizacija katastarskoga plana | 1 | OGI |
| uspoređen digitalni katastarski plan s knjižnim dijelom katastarskog operata katastra zemljišta i izrađeni popisi razlika | 35 | OGI |
| postojeći podaci katastra zemljišta prevedeni u popise i posjedovne listove katastra nekretnina | 0 | DGU |
| ustrojene zbirka parcelacijskih i drugih geodetskih elaborata i zbirka isprava sukladno ovome Zakonu | 0 | PUK |

4. Procesi ostvarivanja preduvjeta

Da bi se ispitale mogućnosti ispunjavanja preduvjeta, definiran je proces postupnog prevođenja i prikazan kao dijagram slučaja uporabe (Slika 7).

Postupak pojedinačnog prevođenja pokreće vlasnik/ovlaštenik katastarske čestice, bilo uzrokovanjem neke prostorne promjene na čestici, bilo iz nekih subjektivnih razloga koji ne uključuju takove prostorne promjene. Ovlašteni geodetski izvoditelj kojeg unajmljuje vlasnik/ovlaštenik izrađuje elaborat temeljem kojeg će se katastarska čestica prevesti iz katastra zemljišta u katastar nekretnina. Ako je potrebno obaviti i ZK ispravni postupak, u proces pojedinačnog prevođenja uključuje se i sudac nadležnog općinskog suda.

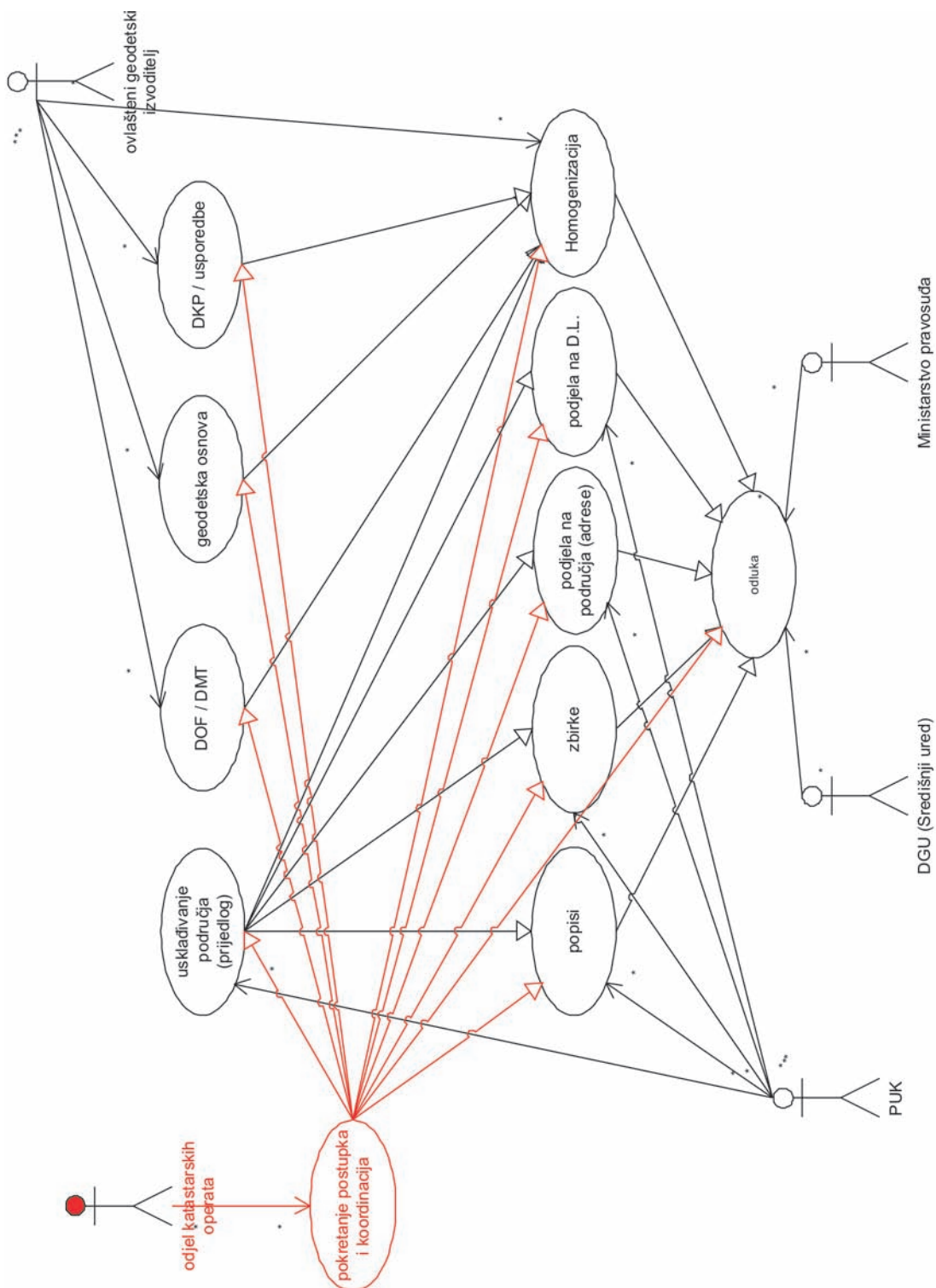


Slika 7. Dijagram slučaja uporabe pojedinačnog prevođenja

Preduvjeti koji prethode donošenju odluke središnjeg ureda Državne geodetske uprave o postupnoj izradbi katastra nekretnina, međusobno su povezani i odvijaju se određenim tijekom (Slika 8).

Pokretanje postupka ostvarivanja preduvjeta nije jasno definirano propisima te je dijagram dopunjen. Odjel katastarskih operata u sastavu središnjeg ureda Državne geodetske uprave je najpozvaniji za pokretanje tih aktivnosti, a također i za praćenje te koordinaciju u svrhu postizanja što potpunijih i kvalitetnijih rezultata u pojedinim segmentima postupka. Neki preduvjeti mogu smatrati vanjskima (DOF/DMT, geodetska osnova i DKP/usporedbe) i njihovo ispunjavanje odvija se neovisno o projektu pojedinačnog prevođenja, ali su njegov nužan preduvjet. Također, sa slike je jasno vidljiva ovisnost ostalih preduvjeta o usklađenosti područja. Naime, njihovo ispunjavanje nije moguće niti je svrsishodno bez unaprijed provedenog postupka usklađivanja područja.

Složeni proces ostvarivanja preduvjeta nadalje je razložen na pojedinačne podprocese koji su u ovisnosti o njihovoj složenosti prikazani i dijagramima aktivnosti. Njihov detaljan prikaz dan je u Konačnom izvješću o projektu.



Slika 8. Dijagram slučaja uporabe ostvarivanja preduvjeta

5. Analiza stanja (SSPP)

Na temelju provedenih analiza sagledani su vanjski i unutarnji čimbenici koji će utjecati na ostvarenje željenog cilja odnosno preduvjeta i navedeni su kao snage, slabosti, prilike i prijetnje ostvarivanju preduvjeta. Snage i slabosti odnose se na unutrašnje čimbenike (resurse Državne geodetske uprave).

- usklađeno područje i granice katastarskih općina u katastru i zemljišnim knjigama (jedinice lokalne samouprave):

| | |
|-------------------|---|
| Snage: | usklađeno 70% područja RH digitalna obrada |
| Slabosti: | nejasan proces provedbe kadrovski resursi nedostatni |
| Prilike: | neophodno usklađivanje sa samoupravnim jedinicama izmjene Zakona o zemljišnim knjigama interes korisnika za jednoznačnu identifikaciju nekretnine |
| Prijetnje: | nedefiniran način usklađivanja podataka sa zemljišnom knjigom |

- donesen plan podjele na područja u kojima se katastarskim česticama pridružuje podatak o istoj adresi katastarske čestice:

| | |
|-------------------|---|
| Snage: | jednostavna digitalna obrada |
| Slabosti: | nekonzistentni postojeći podaci kadrovski resursi nedostatni |
| Prilike: | suradnja sa lokalnom samoupravom (PRPJ) |
| Prijetnje: | promjena tradicionalnih naziva |

- izrađen elaborat geodetske osnove:

| | |
|-------------------|---|
| Snage: | CROPOS |
| Slabosti: | elaborat geodetske osnove - nedefiniran područja nedostupna CROPOSu korištenje "starih" datuma i projekcija |
| Prilike: | financiranje od drugih korisnika |
| Prijetnje: | nedostatak satelitskih prijavnika |

- izrađena podjela na detaljne listove katastarskog plana:

| | |
|-------------------|------------------------------|
| Snage: | jednostavna digitalna izrada |
| Slabosti: | nedostatak pravilnika |
| Prilike: | - |
| Prijetnje: | - |

Napomena: (ne)ispunjenje ovog preduvjeta ne utječe na pojedinačno prevođenje

- izrađen katastarski plan u digitalnome obliku:

| | |
|-------------------|---|
| Snage: | uspostavljeni standardi i procedure izrade izrađeno 40% područja RH |
| Slabosti: | nedefinirana pravila održavanja česte promjene specifikacija kadrovski resursi nedostatni |
| Prilike: | mogućnosti sufinanciranja (LPIS...) |
| Prijetnje: | nedovoljan broj ovlaštenih geodetskih izvoditelja |

- izrađen digitalni ortofotoplan i digitalni model terena:

| | |
|-------------------|--|
| Snage: | izrađeno 90% (ako je dovoljna kvaliteta DOF5) |
| Slabosti: | nedefinirana potrebna kvaliteta (DOF5 ili DOF2) nejasna potreba za DMT (DMR dovoljan) |
| Prilike: | mogućnosti sufinanciranja (LPIS...) |
| Prijetnje: | dugotrajna izrada DMT-a |

Napomena: Zadovoljava DOF5, nepotreban DMT

- provedena homogenizacija katastarskoga plana:

| | |
|-------------------|--|
| Snage: | ispitane i predložene metode provedene u Gradu Zagrebu |
| Slabosti: | nepropisane metode i djelomično kriteriji provedeno za 1% područja RH financijska sredstva |
| Prilike: | mogućnosti sufinanciranja (LPIS...) |
| Prijetnje: | složena obrada nedovoljan broj izvoditelja financiranje |

Napomena: najzahtjevniji uvjet, financijski i tehnički

- uspoređen digitalni katastarski plan s knjižnim dijelom katastarskog operata katastra zemljišta i izrađeni popisi razlika:

| | |
|-------------------|--|
| Snage: | uspostavljeni standardi i procedure izrađeno 35% područja RH |
| Slabosti: | održavanjem se prave nove pogreške kadrovski resursi nedostatni |
| Prilike: | mogućnost implementacije procesa u ZIS |
| Prijetnje: | usporedba sa glavnom knjigom |

Napomena: potrebna ponovna usporedba prije donošenja odluke

- postojeći podaci katastra zemljišta prevedeni u popise i posjedovne listove katastra nekretnina:

| | |
|-------------------|---|
| Snage: | dovoljni resursi jednostavna računalna izrada |
| Slabosti: | nepostojanje jedinstvenog modela podataka, pravilnika |
| Prilike: | - |
| Prijetnje: | - |

- ustrojene zbirka parcelacijskih i drugih geodetskih elaborata i zbirka isprava sukladno ovo-me Zakonu:

| | |
|-------------------|---|
| Snage: | iskustvo u uspostavljanju zbirki dostatna minimalna sredstva |
| Slabosti: | različito pristupa po katastarskim uredima nedostatak pravilnika (elektronske zbirke?) |
| Prilike: | - |
| Prijetnje: | - |

6. Zaključak i preporuke

Projektom Analiza preduvjeta za pojedinačno prevođenje katastarskih čestica u Katastar nekretnina utvrđeno je da postupak prevođenja ne može započeti jer propisani preduvjeti nisu ispunjeni.

Kako se postupak pojedinačnog prevođenja uvodi po katastarskim općinama to je do donošenja odluke za prvu katastarsku općinu potrebno:

- ▶ donijeti preostale propise
- ▶ osigurati tehničku podršku (ZIS i CROPOS) i
- ▶ zadužiti tijelo za upravljanje i koordinaciju.

Nakon ostvarenja navedenog, moći će se započeti sa pojedinačnim prevođenjem za katastarske općine za koje je provedena homogenizacija.

Homogenizacija katastarskog plana – I. faza

Miodrag Roić¹, Vlado Cetl¹, Mario Mađer¹, Hrvoje Tomić¹, Baldo Stančić¹

Sažetak

Zakon o državnoj izmjeri i katastru nekretnina propisuje održavanje Katastra zemljišta i njegovo postupno prilagođivanje Katastru nekretnina i putem pojedinačnog prevođenja katastarskih čestica u Katastar nekretnina. Početak pojedinačnog prevođenja je uvjetovan ostvarenjem više preduvjeta od kojih je jedan Homogenizacija katastarskog plana. U studiji (Roić i dr. 2007) su ispitani ti preduvjeti te detaljnije razrađene aktivnosti potrebne za uvođenje pojedinačnog prevođenja. U njoj je općenito obrađen i proces homogenizacije, a u ovom projektu se on razmatra detaljnije. Za ispitivanja su izabrana područja dviju katastarskih općina, jedna u primorskoj, a druga u kontinentalnoj Hrvatskoj. Na tim karakterističnim katastarskim općinama je primijenjen proces homogenizacije u pet varijanti. Analizom rezultata svake pojedine varijante, uočene su prednosti i nedostaci te na temelju toga dani zaključci i preporuke.

1. Uvod

Katastar zemljišta kao evidencija o položaju, obliku, površini, kulturi, načinu iskorištavanja i korisniku (posjedniku) svake pojedine katastarske čestice služio je za tehničke, gospodarske i statističke potrebe te za izradbu zemljišnih knjiga i kao podloga za izračunavanje katastarskog prihoda. Kroz dugo razdoblje postojanja ispunio je svoju svrhu. Međutim, današnji zahtjevi za upravljanjem prostorom traže nova rješenja te se katastri transformiraju prema Katastru nekretnina (NN 128/99 i NN 16/07).

Da bi katastar mogao udovoljiti svojoj svrsi mora se neprekidno održavati u suglasnosti sa stvarnim stanjem u naravi i po potrebi obnavljati. Prijelaz od Katastra zemljišta ka Katastru nekretnina iziskuje obnavljanje i dopunjavanje mnogih elemenata. To podrazumijeva prikupljanje novih podataka, digitalizaciju podataka te objedinjavanje podataka u jedinstveni referentni sustav.

Osnovu višenamjenskog katastarskog sustava čini jedinstveni referentni koordinatni sustav za pohranjene podatke, on omogućava i olakšava povezivanje s drugim podacima o prostoru. Za Republiku Hrvatsku to je od 2004. godine: Hrvatski terestrički referentni sustav za epohu 1995.55 – skraćeno HTRS96 (NN 2004).

¹ Prof. dr. sc. Miodrag Roić, doc. dr. sc. Vlado Cetl, Hrvoje Tomić, dipl. ing. geod., Mario Mađer, dipl. ing. geod., Baldo Stančić dipl. ing. geod., Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zavod za primijenjenu geodeziju, Katedra za upravljanje prostornim informacijama, Kačićeva 26, Zagreb, e-mail: mroi@geof.hr, vcetl@geof.hr, htomic@geof.hr, mmader@geof.hr, bstancic@geof.hr.

U više od sedam desetljeća od uvođenja Gauss-Krügerove projekcije na našim prostorima, tek su za oko 20% područja izrađeni listovi katastarskog plana ponovnim izmjerama. Ova, a i druge činjenice, kao što su iskustva drugih zemalja, iziskuju traženje drugih rješenja za dobivanje jedinstvenog i homogenog katastarskog plana na razini države. Više dosadašnjih istraživanja, u svijetu i kod nas, bavi se tom problematikom (Carosio 1991; Ernst i Mayer 1994; Morgenstein i dr. 1988). Ona ukazuju na jeftiniju i bržu mogućnost postizanja tog cilja digitalizacijom i homogenizacijom postojećih podataka.

U tijeku je uspostava Katastra nekretnina katastarskom izmjerom za oko 5% područja Republike Hrvatske. Za preostala područja preostaje mogućnost uspostave Katastra nekretnina putem pojedinačnog prevođenja (NN 2007). Da bi se sa pojedinačnim prevođenjem moglo započeti propisani su preduvjeti od kojih je najzahtjevniji homogenizacija katastarskog plana. Homogenizacijom se katastarski plan Katastra zemljišta dovodi u službeni referentni sustav i ispravljaju unutrašnje nehomogenosti kako bi se daljnje održavanje moglo provoditi po propisima o Katastru nekretnina, prvenstveno neposrednim mjerenjima oslonjenim na geodetsku osnovu.

Da bi to bilo moguće, potrebno je ispitati mogućnosti ispunjenja preduvjeta "homogenizacija katastarskog plana" za pojedinačno prevođenje katastarskih čestica u katastar nekretnina. Procedure i redoslijed ispunjenja preduvjeta predloženi su u radu (Roić i dr. 2007). Nastavno na ta istraživanja, homogenizacija katastarskog plana se u ovom projektu razrađuje kao zasebna cjelina vodeći pri tome računa o ostalim preduvjetima i stanju njihove ispunjenosti.

Neposredna provedba homogenizacije ovisi o polaznom stanju podataka. Zbog toga su izabrana dva karakteristična područja na kojima su provedene analize. Na temelju početnih istraživanja je zaključeno da su za to najpogodnije po jedna katastarska općina iz kontinentalne (Gornji Pustakovec) i primorske Hrvatske (Orašac). Provedba homogenizacije sa različitim vrijednostima parametara prikazana je u ovom radu. Na temelju rezultata istraživanja dani su zaključci i preporuke za daljnje postupanje.

2. Polazne osnove

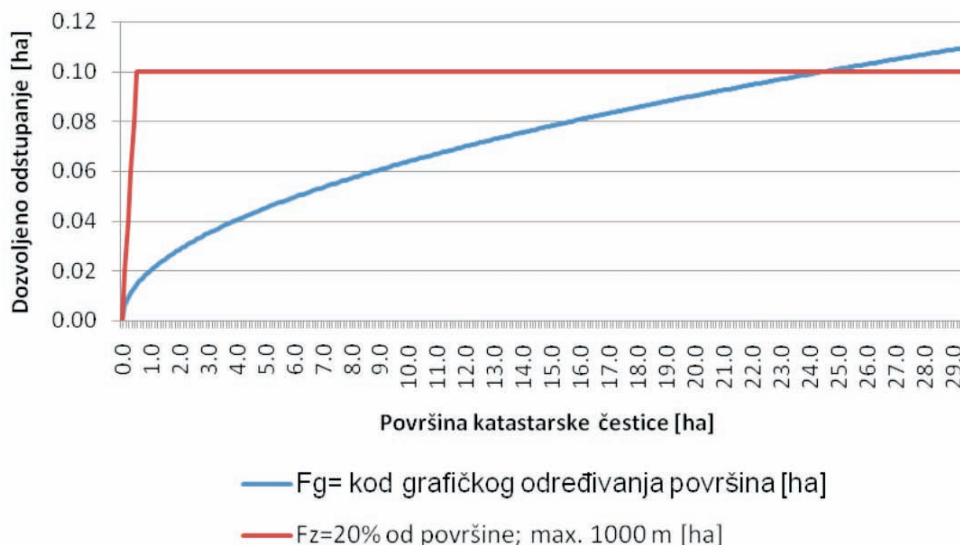
Homogenizacija katastarskog plana je proces koji nije moguće provoditi neovisno o okružju koje na njega utječe. To se prvenstveno odnosi na prateće propise i sudionike na tim poslovima. Osim toga primjena spoznaja, dobivenih u okviru drugih projekata unaprjeđenja upravljanja zemljištem u Hrvatskoj i u inozemstvu, može olakšati, ubrzati i povećati kvalitetu homogenizacije katastarskog plana. Osnovna i nužna pretpostavka za provođenje homogenizacije katastarskog plana ostvarena je Zakonom (NN 16/2007). Osim njega, homogenizacija je pobliže propisana i ostalim propisima.

Mogućnost homogenizacije katastarskog plana otvorena je usvajanjem Zakona o državnoj izmjeri i katastru nekretnina, gdje je člankom 71., propisana obveza provođenja homogenizacije, kao uvjet za početak pojedinačnog prevođenja katastarskih čestica u katastar nekretnina.

Osim toga, narednim člancima, propisuju se dozvoljene razlike u površinama čestica koje se pojedinačno prevode u katastar nekretnina. Razlike unutar dozvoljenih vrijednosti (20% površine) se ne smatraju promjenom sastava zemljišnoknjižnog tijela. Ove vrijednosti se mogu primijeniti i kao kriteriji kontrole kvalitete pri provođenju homogenizacije.

Homogenizacijom se mijenjaju tehničke površine katastarskih čestica. Ta promjena mora ostati u tim propisanim okvirima. Dakle, katastarske čestice kod kojih je homogenizacijom tehnička površina promijenjena za manje od 20% se smatraju nepromijenjenim. Dozvoljeno

odstupanje kod određivanja površina grafičkim načinom (F_g), koje se koristi kod usporedbe podataka vektorizacije, su stroži kriterij za katastarske čestice površine do 24 hektara (Slika 1).



Slika 1. Dozvoljena odstupanja površina katastarskih čestica

Proces reforme sustava upravljanja zemljištem u Republici Hrvatskoj jedan je od najvažnijih. U njemu sudjeluju mnogi čimbenici sa različitim nadležnostima i zaduženjima. U homogenizaciji katastarskog plana će sudjelovati Državna geodetska uprava i ovlaštene geodetski izvoditelji. Državna geodetska uprava obavlja upravne i druge poslove iz svog djelokruga u Središnjemu uredu i područnim uredima za katastar. Na području Grada Zagreba upravne i stručne poslove obavlja ured Grada Zagreba. Nadležnosti nad pojedinim poslovima vezanim uz homogenizaciju katastarskog plana mogu se podijeliti na poslove koje obavlja Središnji ured i poslove područnih ureda odnosno ispostava. Sukladno praksi raspisivanja natječaja za obavljanje većih tehničkih katastarskih poslova, homogenizaciju katastarskog plana će izvoditi ovlaštene geodetske tvrtke.

U okviru reforme sustava upravljanja zemljištem provedeni su ili se provode mnogi razvojno istraživački projekti. Oni se bave pojedinačnim zadaćama, a njihov je cilj unaprjeđenje tih pojedinačnih aktivnosti. Kako su sve aktivnosti reforme sustava međusobno povezane i nije moguće rješavati jednu zadaću ne vodeći računa o drugima to će njihovi rezultati utjecati i na homogenizaciju katastarskog plana. Neki od projekata daju ili će osigurati preduvjete za homogenizaciju katastarskog plana.

U Republici Hrvatskoj, homogenizacija katastarskog plana je bila predmet istraživanja dvaju projekata: Poboljšanje katastarskih planova u postupku prijelaza u međni katastar (1997) i Poboljšanje katastarskog plana – smjernice (2001). Tim projektima ispitana je mogućnost primjene i dane su preporuke za postupanje pri homogenizaciji podataka i dovođenju u državni koordinatni sustav. Jedan dio rezultata tih projekata iskoristiv je i danas te su oni uvaženi pri radu na ovom projektu.

Vektorizirani digitalni katastarski plan (VDKP) je jedan od preduvjeta za homogenizaciju katastarskog plana. Prevođenje listova katastarskog plana u digitalni oblik odvija se već dulje vrijeme. Prevođenje listova katastarskih planova u digitalni vektorski oblik je projekt koji se

izvodi po katastarskim općinama te se obavlja isključivo za cijelu katastarsku općinu uz provođenje odgovarajućih kontrola.

Mreže referentnih stanica kao osnovna infrastruktura za obavljanje različitih zadataka u domeni osnovnih geodetskih radova, katastra i inženjerske geodezije su danas uspostavljene u mnogim zemljama. Dana 9. prosinca 2008. godine pušten je u rad sustav CROatian POSitioning System (CROPOS). CROPOS je nacionalna referentna GNSS mreža koja definira nove standarde pozicioniranja i navigacije u Hrvatskoj.

Napredak informacijskih tehnologija omogućio je brzo i jeftino dobivanje digitalnog ortofota. U Republici Hrvatskoj se sustavno obavljaju snimanja i izrađuje ortofoto kvalitete mjera 1:5000 (DOF5). Prema programu Državne geodetske uprave, do kraja 2008. godine su trebali biti dostupni podaci za cijelu Republiku Hrvatsku. To će omogućiti pravovremeni početak radova na homogenizaciji katastarskog plana.

Cilj projekta "Podrška evidenciji i upravljanju preobrazbe katastra zemljišta u katastar nekretnina" (Roić i dr. 2005.) bio je, temeljem postojećih evidencija, predložiti načine sustavnog računalnog evidentiranja preobrazbe Katastra zemljišta u Katastar nekretnina modernim tehnologijama te omogućiti pristup širem krugu korisnika tim informacijama izradom prototipa baze metapodataka.

Uz financijsku pomoć Republike Norveške izrađena je studija "Katastarske izmjere – standardizacija i kontrola kvalitete". Projektom je predložena reorganizacija ugovaranja poslova po grupama. Ovako predloženo ugovaranje poslova otvara mogućnost odlučivanja o načinu uvođenja katastra nekretnina nakon obavljenih analiza. Ako se analizom utvrdi da je količina utvrđenih promjena nedovoljna za isplativost projekta reambulacije ili ponovne katastarske izmjere onda se to područje podvrgava homogenizaciji i nakon toga pojedinačnom prevođenju.

Uspostava zajedničkog informacijskog sustava (ZIS) zemljišnih knjiga i katastra, koji obuhvaća Bazu zemljišnih podataka (BZP) i Bazu podataka digitalnog katastarskog plana (BPDKP), treba biti osnova za realizaciju Integriranog sustava zemljišne uprave u Hrvatskoj. Uspostavom ovog sustava želi se postići najvažniji cilj zemljišne uprave, a to je izgradnja sigurnog, pouzdanog i učinkovitog sustava upisa nekretnina i prava na nekretninama, na način koji bi trebao, sukladno postojećim propisima, ukloniti dvostruka postupanja iz postupka upisa i osigurati uslugu usmjerenu korisnicima.

Zakonom otvorena mogućnost pojedinačnog prevođenja katastarskih čestica u katastar nekretnina u pogledu ispunjenosti preduvjeta analizirana je te definiran proces postupnog prevođenja i prikazan kao dijagram slučaja uporabe (Roić i dr. 2007). Dugotrajnost katastarskih podataka te brzi razvoj mjernih i računalnih tehnologija potaknuo je homogenizaciju katastarskog plana u mnogim zemljama. Njome se podiže kvaliteta vektoriziranih podataka u pogledu njihove homogenosti, a podaci se transformiraju u jedinstveni referentni koordinatni sustav. Homogenizaciju su primijenile mnoge zemlje (Austrija, Švicarska, Njemačka, Australija ...) prije unosa podataka u zemljišne informacijske sustave.

3. Polazna stanja podataka

Uvođenje mogućnosti pojedinačnog prevođenja katastarskih čestica u katastar nekretnina umnogome ovisi o homogenosti postojećih prostornih podataka (Vektorizirani digitalni katastarski plan - VDKP). To se prvenstveno odnosi na mogućnost održavanja katastarskog plana osloncem na geodetsku osnovu. Ta homogenost na većem dijelu područja Republike Hrvatske ne zadovoljava. To se posebno odnosi na područja u kojima je službeni katastarski plan iz razdoblja Franciskanskog katastra (oko 75% područja RH).

Na ostalim područjima su u upotrebi listovi katastarskog plana Jugoslavenskog katastra. Ti listovi su nastali katastarskim izmjerama, uglavnom numeričkim metodama, a podaci su kartirani u koordinatnim sustavima Gauss-Kruegerove projekcije. Za te listove katastarskog plana moguće je obaviti konverziju u HTRS96/TM egzaktnim matematičkim transformacijama (konverzija). Za ostale podatke potrebno je provesti homogenizaciju za koju je neophodno koristiti geodetsku osnovu i DOF.

Podatke za homogenizaciju možemo podijeliti na neophodne:

1. vektorizirani digitalni katastarski plan
2. geodetska osnova i
3. digitalni ortofoto

te ostale, koje je poželjno koristiti, ako su dostupni:

4. parcelacijski i drugi geodetski elaborati
5. podaci katastarskih izmjera / reambulacija
6. hrvatska osnovna karta i
7. podaci o podacima.

Polazna stanja podataka treba sagledati u pogledu potpunosti i kvalitete. Kako se projekt homogenizacije odnosi na cijelu katastarsku općinu to se pod potpunosti podrazumijeva postojanje određenog skupa podataka za područje cijele katastarske općine. Istodobno ti skupovi podataka moraju biti tražene kvalitete.

Zbog toga su analizirani podaci, na razini Republike Hrvatske, kako bi se dobio pregled mogućnosti pristupanja poslovima homogenizacije katastarskog plana. Prije pokretanja projekta homogenizacije za pojedinu katastarsku općinu potrebno je obaviti analizu postojanja i kvalitete podataka za tu katastarsku općinu. Homogenizacija katastarskog plana kao jedan od najvažnijih preduvjeta za pojedinačno prevođenje katastra zemljišta u katastar nekretnina izravno koristi podatke vektorizacije, geodetsku osnovu i digitalni ortofoto.

3.1. Vektorizirani digitalni katastarski plan

Vektorizacija katastarskog plana je u tijeku, a do kraja 2008. godine je trebala biti dovršena za sve katastarske općine u Republici Hrvatskoj. Također treba biti dovršena i standardizacija podataka za one katastarske općine koje nisu vektorizirane po službenim specifikacijama. Prema tome, od početka 2009. godine, vektorizirani digitalni katastarski plan bi trebao biti potpun i zadovoljavati propisane kriterije kvalitete.

3.2. Geodetska osnova

Pod geodetskom osnovom, tradicionalno podrazumijevamo mrežu stalnih geodetskih točaka (trigonometrijske, poligonske ...). Gustoća i kvaliteta tih točaka nije dostatna za potrebe homogenizacije katastarskog plana. Međutim, GNSS sustav CROPOS osigurava skoro potpunu prekrivenost i zadovoljavajuću kvalitetu geodetske osnove. Prema tome, od početka 2009. godine geodetska osnova je potpuna i zadovoljava propisane kriterije kvalitete, za veći dio područja Republike Hrvatske tj. za ona područja na kojima je CROPOS sustav dostupan.

3.3. Digitalni ortofoto

Izrada 1. ciklusa digitalnog ortofota (DOF5) je u završnoj fazi te je do kraja 2008. godine planirana potpuna prekrivenost područja Republike Hrvatske. Njegova kvaliteta bi trebala biti zadovoljavajuća za potrebe homogenizacije katastarskog plana što će se još analizirati u daljnjem radu na ovom projektu. Digitalni ortofoto (DOF2) se, za sada, izrađuje samo u okviru projekata katastarskih izmjera te za obalna područja. Prema tome, od početka 2009. godine je DOF5 potpun i zadovoljava tražene kriterije kvalitete. Osim toga, u okviru uspostave LPIS-a, u tijeku je izrada digitalnog ortofota (DOF5) za oko 2/3 Republike Hrvatske. Taj projekt bi trebao biti dovršen tijekom 2009. godine. Tada će za cijelu republiku Hrvatsku biti dostupan DOF5 u boji ne stariji od 5 godina.

Osim navedenih nužnih podataka za provođenje homogenizacije katastarskog plana, njezinu kvalitetu može podići korištenje i drugih dostupnih podataka. To su parcelacijski i drugi geodetski elaborati, podaci katastarskih izmjera/reambulacija i hrvatska osnovna karta (HOK) odnosno osnovna državna karta (ODK).

4. Modeliranje homogenizacije

Pristup radu na ovom projektu se temelji na dobrim iskustvima prethodnih studija uz uvažavanje drugih Hrvatskih te međunarodnih iskustava. Na temelju istraživanja, pristup homogenizaciji katastarskog plana treba se temeljiti na načelima:

1. homogeniziraju se objekti digitalnog katastarskog plana
2. područje homogenizacije je katastarska općina katastra zemljišta
3. objekti katastarskog plana se dovode u najvjerojatniji položaj
4. oblik objekata katastarskog plana smije se promijeniti unutar propisanih vrijednosti
5. službeno upisani katastarski podaci se ne mijenjaju

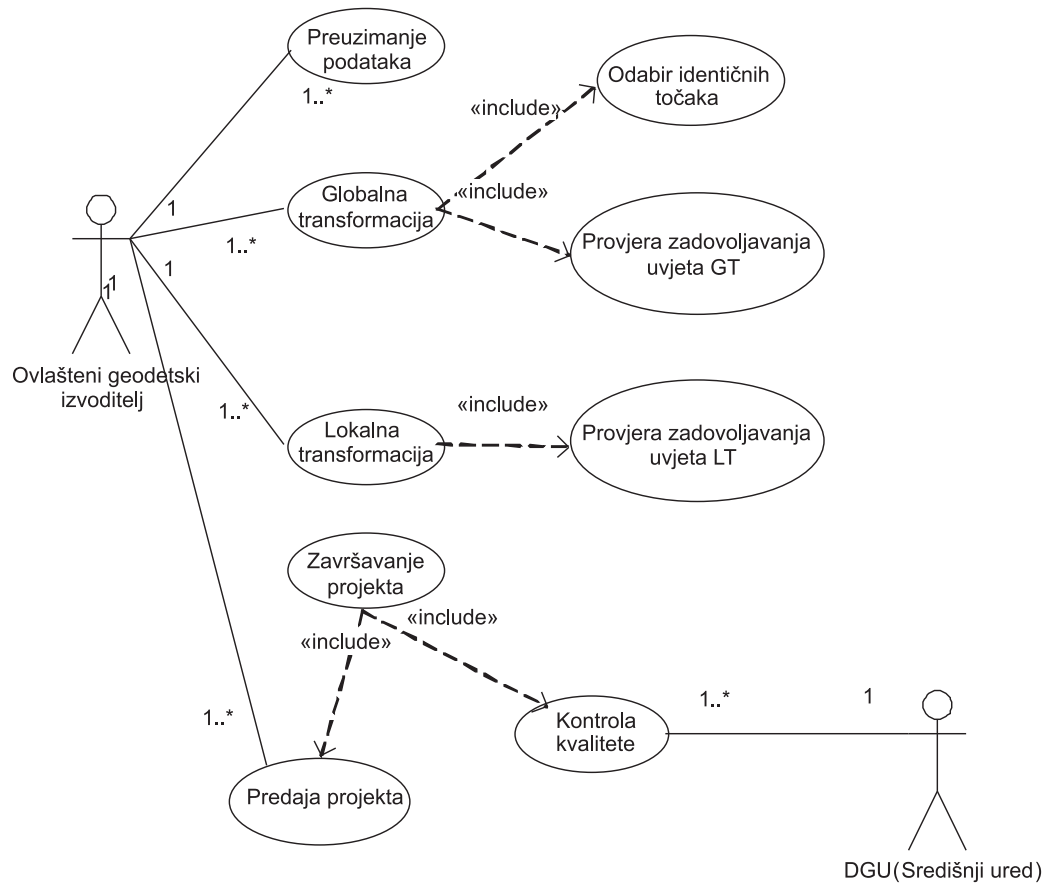
4.1. Poslovi

Homogenizacija katastarskog plana, kao preduvjet za pojedinačno prevođenje može se razmatrati kao zasebna cjelina (Slika 2).

Ona se sastoji od više skupova aktivnosti koje izvodi ovlaštenu geodetski izvoditelj. Preuzimanjem podataka započinje projekt u kojem slijede dvije vrste transformacija, globalna i lokalna. Globalnom transformacijom se obavlja odabir identičnih točaka i kontrolira njihova kvaliteta. Lokalnom transformacijom se objekti katastarskog plana dovode u najvjerojatniji položaj uz kontrolu kvalitete.

Homogenizacija je ponovljivi posao, primjenjiv na svim katastarskim općinama te se stoga lako može opisati korištenjem notacija UML –a (Slika 2). Podaci koje preuzima ovlaštenu geodetski izvoditelj u okviru izvođenja poslova homogenizacije strukturirani su hijerarhijski na način da se na najvišoj razini nalazi katastarska općina koja se sastoji od skupa katastarskih čestica, a svaka katastarska čestica je definirana međnim odnosno lomnim točkama.

Homogenizacija se provodi na razini cijele katastarske općine, međutim kako je cilj homogenizacije popraviti tj. poboljšati njenu geometrijsku točnost potrebno se spustiti na razinu točke kao elementarnog dijela katastarske općine tj. dijela koji definira geometrijski podatak.

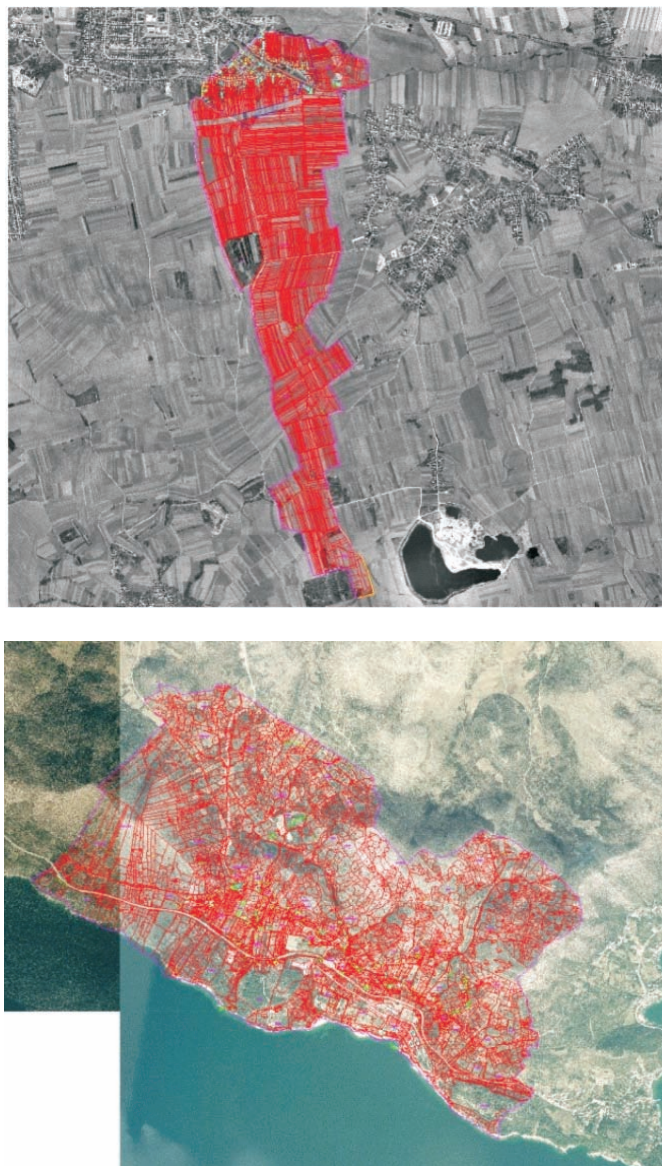


Slika 2. Poslovi kod homogenizacije

Transformacije obuhvaćene homogenizacijom odvijaju se nad tim podacima. Poboljšanjem geometrijskog podatka svake točke poboljšava se geometrijska točnost čestica, a time i geometrijska točnost cijele katastarske općine. Konačan rezultat homogenizacije, dobiven primjenom transformacija uz praćenje zadovoljavanja propisanih uvjeta podvrgava se kontroli kvalitete.

5. Primjena i analize

Proces i matematički model homogenizacije katastarskog plana, prikazani u prethodnim poglavljima, su ispitani na podacima katastra. Za ispitivanja su izabrane dvije katastarske općine: Gornji Pustakovec i Orašac (Slika 3).



Slika 3. Katastarske općine Gornji Pustakovec i Orašac

Kriteriji za njihov izbor su bili mnogostruki. Na temelju iskustva i stanja postojećih podataka nastojali smo da one imaju što više različitosti koje se mogu susresti u hrvatskom katastru danas. Zbog osnovne regionalne podjele Republike Hrvatske, na kontinentalnu i primorsku, izabrane su po jedna katastarska općina iz tih područja. Također smo vodili računa da katastarski plan izabranih područja bude različitih mjerila (1:2880 i 1:1440).

Kako bi mogli obaviti ispitivanja, bez dodatnih terenskih poslova, nastojali smo da za te katastarske općine bude dostupno što više podataka (VDKP, DOF5, geodetska osnova) nužnih za provedbu homogenizacije te ostalih (DOF2, HOK/ODK) koji mogu pridonijeti boljim konačnim rezultatima. Rezultate provedene homogenizacije je bilo potrebno kontrolirati za što je

potrebno imati točne podatke u odnosu na one koji se homogeniziraju. To su podaci katastarske izmjere (DKP). Takvi podaci, u budućim projektima homogenizacije neće biti dostupni jer ako je obavljena katastarska izmjera onda nije potrebno provoditi homogenizaciju. Međutim, za potrebe ovog projekta, takva situacija je bila poželjna zbog ocjene kvalitete homogenizacije. Iz tih razloga izabrana je k.o. Gornji Pustakovec za koju je u tijeku katastarska izmjera, a bio nam je dostupan DKP.

Ocjena kvalitete preuzetih podataka provedena je sukladno međunarodnim normama. Za svaki skup podataka, izabrani su najvažniji elementi i podelementi kvalitete te ispitana usklađenost sa zahtjevima. Rezultati su prikazani tablično za svaki podatak. Jedan primjer ocjene kvalitete podataka za vektorizirani digitalni katastarski plan prikazuje Tablica 1.

Tablica 1. Kvaliteta podataka – VDKP (Orašac)

| RB | Element kvalitete | Kriterij | Stanje |
|----|--------------------|--|---|
| 1 | Dostupnost | Datoteke postoje | Postoji 1. datoteka koja sadrži prikaz područja cijele katastarske općine. |
| 2 | Format datoteka | Dostavljene u propisanom formatu | Datoteka je dostavljena u propisanom formatu (dwg). |
| 3 | Naziv datoteka | Nazivi su ispravni | Naziv datoteke nije napisan u obliku "ime_ko.dwg". |
| 4 | Otvaranje datoteka | Mogu se otvoriti | Dostavljena datoteka može se otvoriti. |
| 5 | Metapodaci | Metapodaci su priloženi u propisanom formatu | Metapodaci su dostavljeni, ali u cijelosti nisu u propisanom formatu. |
| 6 | Georeferenciranje | Podaci uklopljeni u HTRS96/TM | Ne, Georeferenciranje podataka obavljeno je pomoću transformacijskih parametara (Borčić i Frančula 1969) u HDKS. Odstupanja VDKP-a od stanja na terenu - do 20 m. |
| 7 | Sadržaj | Sadržaj odgovara specifikacijama | Sadržaj djelomično ne odgovara specifikacijama. Uočeni su sljedeći nedostaci: <ul style="list-style-type: none"> - Koordinate imaju više od dva decimalna mjesta - Nazivi slojeva nisu napisani malim slovima - Nepotpun naziv sloja "7_podjela" - Boje slojeva nisu usklađene sa specifikacijama - Nisu dobro definirani atributni blokovi: kc, zg - Postoji atributni blok koji nije naveden u specifikacijama: dio - Znak pripadnosti nema poravnanje "middle center" - Nazivlje nije pisano u stilu "nazivlje", Arial, visina 5 - Zgradne čestice nisu pisane sa zvjezdicom nego sa točkom - Točka nije dobro definirana (pdsiz=0.2 umjesto 0.5) - broj k.č. 1934 se pojavljuje 2 puta |

Sukladno razvijenom procesu homogenizacije ispitani su matematički modeli transformacija. Ključnu ulogu u konačnoj kvaliteti rezultata imaju identične točke. One se mogu izabrati na temelju više kriterija i sa različitim stupnjevima sigurnosti. Kako bi izbjegli subjektivno ocjenjivanje kvalitete izbora identičnih točaka provedene su transformacije sa ciljem ispitivanja:

- pogodnosti pojedine vrste podataka (DOF5, HOK/ODK, DOF2)
- subjektivne ocjene kriterija pouzdanosti (subjektivno sigurne, subjektivno moguće, 1/5ha)
- mogućnosti korištenja identičnih linija

Usporedba postignutih rezultata obavljena je numerički i prikazana tablično (Tablica 2 i Tablica 3) te su izabrana karakteristična područja katastarskih općina i rezultati prikazani slikama (kao na primjer Slika 11). Sve slike su prikazane u izvornom mjerilu (1:2880), osim onih za koje je to izričito navedeno, kako bi vizualna ocjena bila realna. U ovoj fazi projekta nisu predviđeni terenski radovi te nije obavljena izmjera identičnih točaka i analizirani rezultati homogenizacije sa takovim podacima. To je planirano napraviti u II. fazi projekta.

U okviru projekta, obavljena je analiza i kontrola preuzetih podataka za obe k.o. te ocjena njihove pogodnosti za homogenizaciju katastarskog plana.

Osim podataka nužnih za homogenizaciju i provođenje ovog projekta, preuzeti su i drugi dostupni podaci koji su služili za kontrolu provedene homogenizacije. To su DKP i DOF2 iz katastarske izmjere koja je u tijeku. Budući ta vrsta podataka nije i neće biti dostupna u projektima homogenizacije oni nisu korišteni za izbor identičnih točaka ni određivanje njihovih koordinata za homogenizaciju, oni su korišteni kao točne vrijednosti pri naknadnom provođenju kontrola homogenizacije kako bi mogli kvalitetno ocijeniti i predložiti najoptimalniji i najkvalitetniji pristup homogenizaciji.

5.1. Transformacije

Sukladno planu istraživanja za k.o. Gornji Pustakovec provedene su sve (1-5) varijante homogenizacije. Analiza polaznih podataka je pokazala da ovu katastarsku općinu nije potrebno homogenizirati već se ona može održavati sukladno propisima o katastru nekretnina u postojećem stanju. Međutim, zbog prikladnosti ovih podataka za planirana istraživanja, ona su provedena kako bi se na takvom skupu podataka potvrdile ili odbacile predložene metode i procesi.

Očekivani rezultati svih varijanti homogenizacije su potvrđeni primjenom predloženih metoda i procesa (Tablica 2, Slika 4 i Slika 5). Postignute apsolutne vrijednosti su iznad onih koje treba očekivati nakon homogenizacije. Radi mogućnosti usporedbe rezultata, provedena je homogenizacija sa različitim pristupima izbora identičnih točaka (varijante 1, 2 i 3) na DOF5. Osim toga napravljene su varijanta 4 u kojoj su kombinirane varijante 1 i 3, te varijanta 5 sa dodatnim identičnim točkama izabranim na ODK.

Tablica 2. Različiti pristupi homogenizaciji ($n_T=6979$; $n_K=1150$)

| RB | Izvor podataka (Prostorna osnova) | Izbor (Subjektivna sigurnost) | n_{IT} | $n_{IT}/10$ ha | Δd (prosječno) | Δd_{max} | Fd (prosječno) | Transformacija | S_0 |
|----|-----------------------------------|------------------------------------|----------|----------------|------------------------|------------------|----------------|----------------|-------|
| 1 | | | | | [m] | [m] | [m] | | [m] |
| 2 | DOF5 | Sigurne (min) | 23 | 0.8 | 1.49 | 2.65 | 1.79 | G | 2.12 |
| | | | 23 | 0.8 | 1.71 | 4.87 | 1.77 | L | |
| 3 | DOF5 | Moguće (max) | 254 | 9.0 | 1.36 | 2.24 | 1.88 | G | 1.82 |
| | | | 254 | 9.0 | 1.13 | 6.25 | 1.56 | L | |
| 4 | DOF5 | Linijske | 19 | 0.7 | 0.86 | 1.76 | 1.55 | G | 1.27 |
| | | | 19 | 0.7 | 0.58 | 3.09 | 1.47 | L | |
| 5 | DOF5 | Sigurne i linijske | 42 | 1.5 | 1.20 | 2.48 | 1.65 | G | 1.82 |
| | | | 42 | 1.5 | 1.11 | 4.87 | 1.48 | L | |
| 6 | DOF5 ODK | Sigurne i linijske i dodatne (ODK) | 46 | 1.6 | 1.09 | 2.34 | 1.57 | G | 1.79 |
| | | | 46 | 1.6 | 1.02 | 4.87 | 1.33 | L | |

Gdje je:

x, y - polazne koordinate

x', y' - koordinate u ciljnom sustavu

n_T - broj točaka za homogenizaciju

n_{IT} - broj identičnih točaka

$n_{IT}/10$ ha - broj identičnih točaka na 10 hektara

$$\Delta d = \sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2}$$

Δd (prosječno) - $\Delta d/n_T$

Δd_{max} - najveći Δd

$(X, Y)_i$ - koordinate kontrolnih točaka (npr. koordinate poznate iz katastarske izmjere)

n_K - broj točaka sa poznatim koordinatama (kontrolnih točaka)

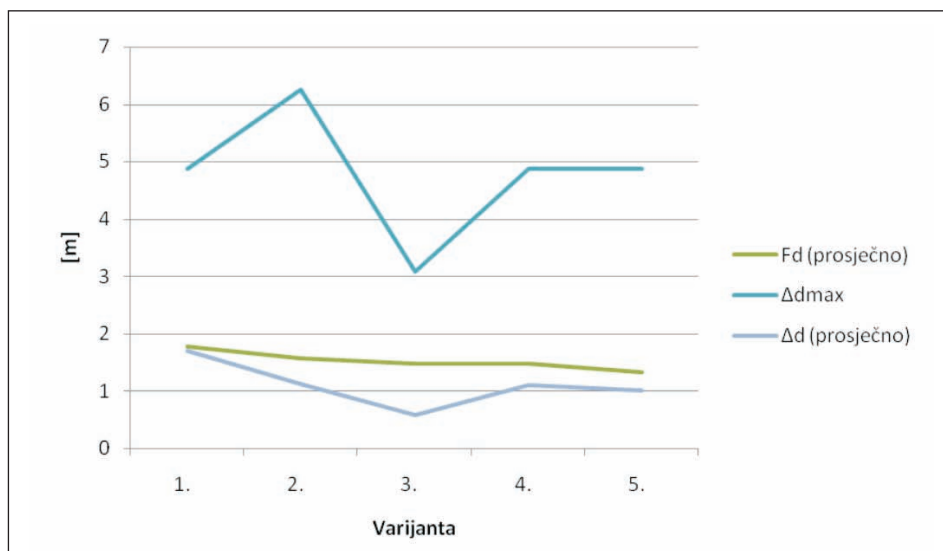
$$Fd = \sqrt{(x' - X)^2 + (y' - Y)^2} \text{ (kontrola kvalitete homogenizacije)}$$

G - globalna transformacija

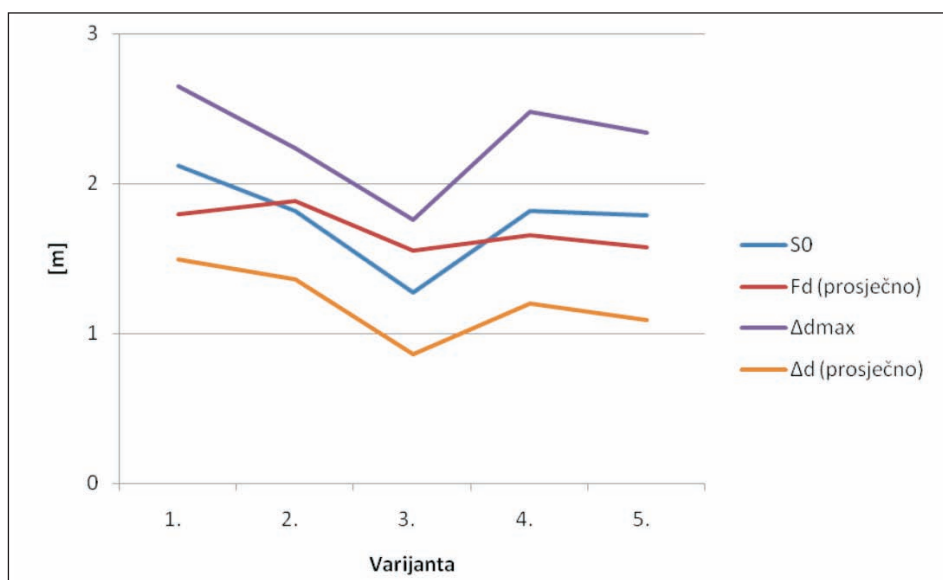
L - lokalna transformacija

S_0 - standardno odstupanje.

Ostvareni trendovi poboljšanja podataka različitim varijantama (Slika 4) su ono što je potvrdilo prethodna razmatranja. Osim toga, vidi se da homogenizacijom ovako kvalitetnog skupa podataka predloženim pristupom ne dolazi do kvarenja podataka. Nedvojbeno se vidi svrsishodnost kombiniranog pristupa izboru identičnih točaka i korištenju više izvora podataka. Ovo se osobito odnosi na dopunu skupa identičnih točaka za područja koja se na DOF-u ne vide, sa identičnim točkama koje se mogu identificirati na ODK.



Slika 4. Lokalna transformacija

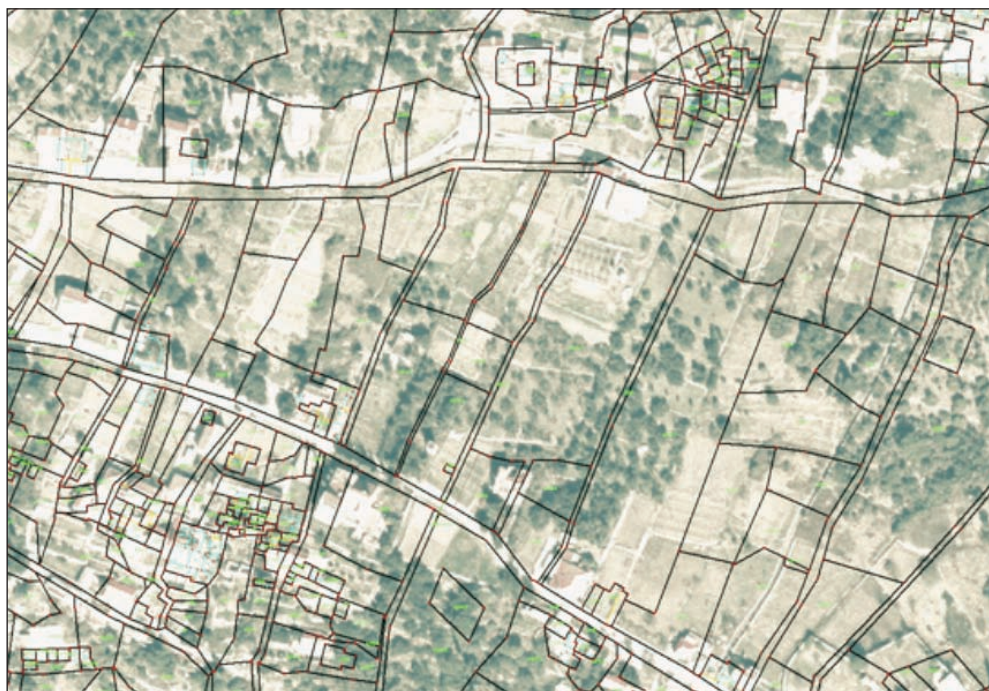


Slika 5. Globalna transformacija

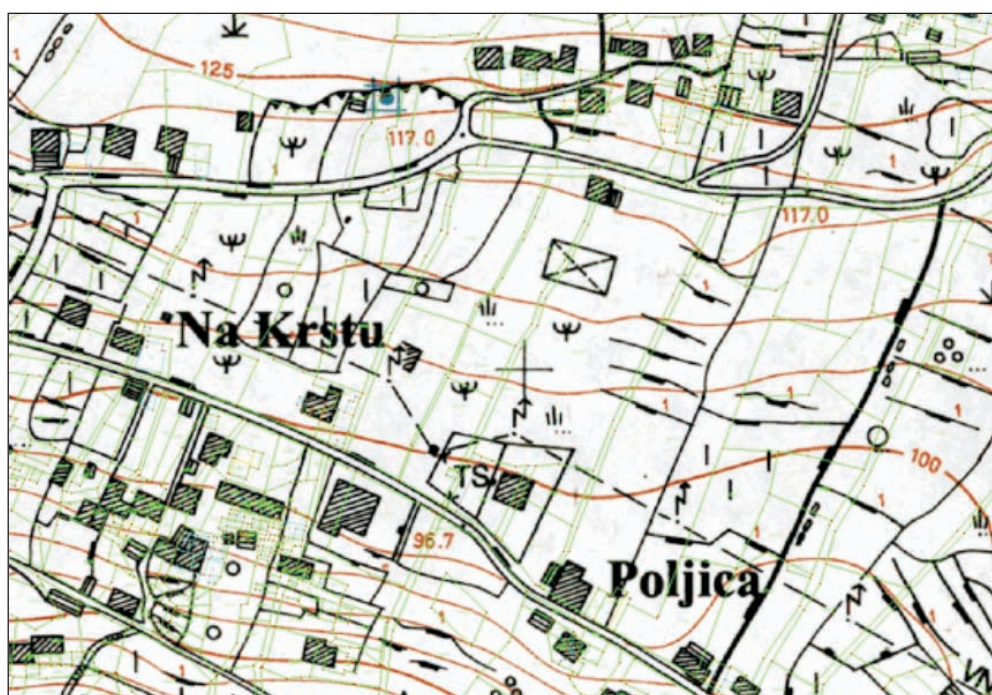
Osim takve numeričke ocjene rezultata provedene su i vizualne kontrole. One potvrđuju navedeno iako je to na slici ponekad manje uočljivo. Primjeri rezultata izabranog područja su dani na slikama. Vizualna usporedba postignutih rezultata za izabrano karakteristično područje prikazano je za svaku pojedinu varijantu.

Osnovni ulazni podaci za homogenizaciju katastarskog plana su VDKP i DOF5. Njihovom usporedbom se ocjenjuje potreba za homogenizaciju i svrishodnost. Usporedba tih podataka je za k.o. Orašac pokazala veliko apsolutno odstupanje i unutrašnju nehomogenost.

Kako je na ovoj katastarskoj općini prisutna velika nehomogenost katastarskog plana to se mogu uočiti područja sa velikim odstupanjima od stanja na terenu (Slika 6 i Slika 7) i ona gdje on dobro odgovara stanju na terenu (Slika 8). Analizom dijelova usklađenih područja (Slika 8) moglo bi se zaključiti da homogenizacija nije potrebna. Međutim na drugim dijelovima razlike su i do 20 m (Slika 6) što ukazuje na neophodnost homogenizacije.



Slika 6. VDKP i DOF5 prije homogenizacije - dio Orašca (A)



Slika 7. VDKP i ODK prije homogenizacije - dio Orašca (A)



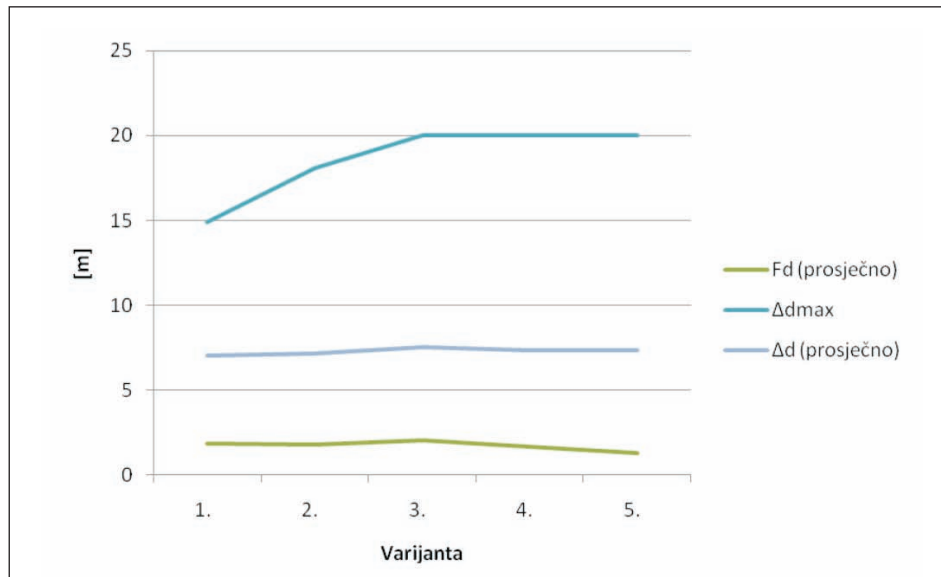
Slika 8. VDKP i DOF5 prije homogenizacije – dio Orašca (B)

Sukladno planu istraživanja i za k.o. Orašac su provedene iste (1-5) varijante homogenizacije kao i za k.o. Gornji Pustakovec. Analiza polaznih podataka je pokazala da je ovu katastarsku općinu neophodno homogenizirati kako bi se mogla održavati sukladno propisima o katastru nekretnina.

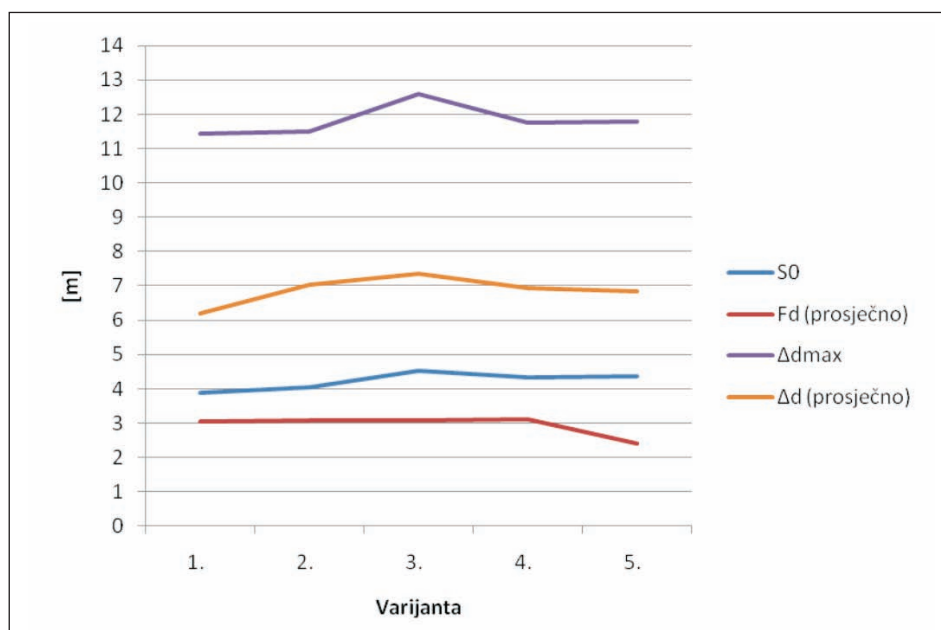
Očekivani rezultati svih varijanti homogenizacije su potvrđeni primjenom predloženih metoda i procesa (Tablica 3, Slika 9 i Slika 10). Postignute apsolutne vrijednosti su karakteristične i kao takve ih treba očekivati u većini budućih projekata homogenizacije. Radi mogućnosti usporedbe rezultata, provedena je homogenizacija sa različitim pristupima izbora identičnih točaka (varijante 1, 2 i 3) na DOF5. Osim toga napravljene su varijanta 4 u kojoj su kombinirane varijante 1 i 3, te varijanta 5 sa dodatnim identičnim točkama izabranim na ODK.

Tablica 3. Rezultati različitih pristupa homogenizaciji ($n_T=23034$; $n_K=66$)

| RB | Izvor podataka (Prostorna osnova) | Izbor (Subjektivna sigurnost) | n_{IT} | $n_{IT}/10$ ha | Δd (prosječno) | Δd_{max} | Fd (prosječno) | Transformacija | S_0 |
|----|-----------------------------------|------------------------------------|----------|----------------|------------------------|------------------|----------------|----------------|-------|
| 1 | | | | | [m] | [m] | [m] | | [m] |
| 2 | DOF5 | Sigurne (min) | 30 | 0.5 | 6.21 | 11.45 | 3.05 | G | 3.88 |
| | | | 30 | 0.5 | 7.06 | 14.91 | 1.88 | L | |
| 3 | DOF5 | Moguće (max) | 100 | 1.7 | 7.06 | 11.51 | 3.06 | G | 4.04 |
| | | | 100 | 1.7 | 7.20 | 18.08 | 1.81 | L | |
| 4 | DOF5 | Linijske | 53 | 0.9 | 7.37 | 12.60 | 3.08 | G | 4.54 |
| | | | 53 | 0.9 | 7.52 | 20.01 | 2.04 | L | |
| 5 | DOF5 | Sigurne + linijske | 81 | 1.4 | 6.96 | 11.78 | 3.08 | G | 4.35 |
| | | | 81 | 1.4 | 7.33 | 20.02 | 2.04 | L | |
| 6 | DOF5 HOK | Sigurne + linijske + dodatne (HOK) | 83 | 1.4 | 6.87 | 11.81 | 2.40 | G | 4.39 |
| | | | 83 | 1.4 | 7.33 | 20.02 | 1.32 | L | |

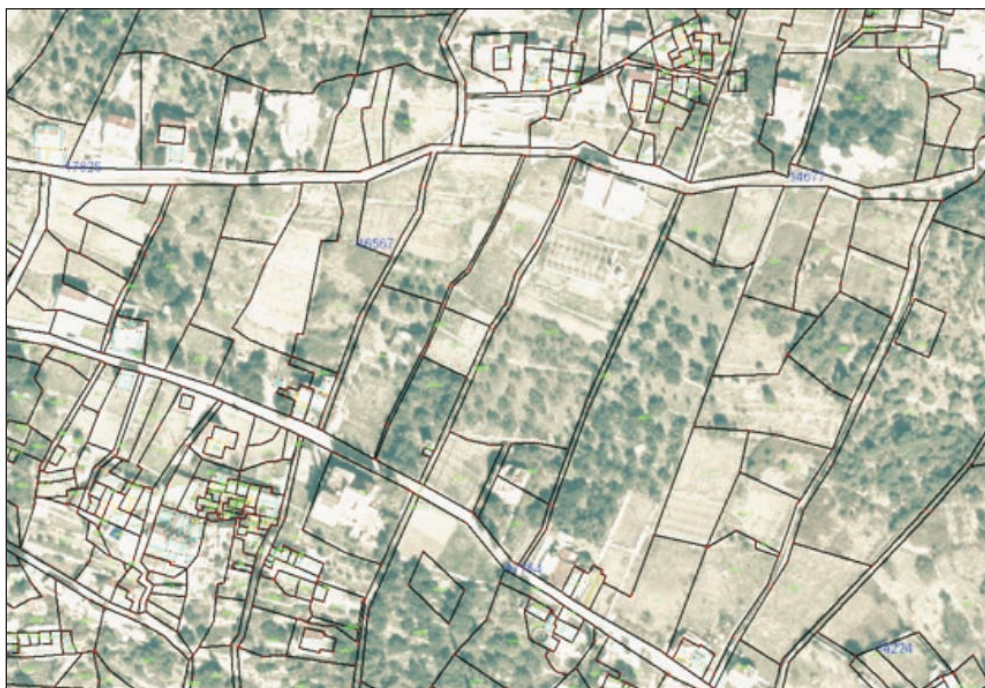


Slika 9. Lokalna transformacija



Slika 10. Globalna transformacija

Varijantama 1-3 su analizirani rezultati pojedinačnih pristupa izboru identičnih točaka. Svaka od njih je pokazala na neke prednosti. Kombinacijom prednosti prethodnih varijanti napravljena je homogenizacija (varijanta 4) čiji su rezultati bolji od svake pojedinačne. To se jasno vidi iz numeričkih rezultata (Tablica 3), a detaljnijim uvidom i iz grafičkog prikaza (Slika 11).



Slika 11. Nakon homogenizacije (A)5

6. Usporedbe

Katastarske općine na kojima su ispitane mogućnosti provedbe homogenizacije su različite u mnogim parametrima (Tablica 4) te daju kvalitetne mogućnosti izvođenja zaključaka koje se mogu primijeniti na sve katastarske općine u Republici Hrvatskoj. Gornji Pustakovec je katastarska općina sjeverozapadne Hrvatske po svojim prirodnim karakteristikama, ravničarsko područje sa većim dijelom poljoprivrednih čestica. Nasuprot tome, Orašac je katastarska općina jugoistočne Hrvatske, brdovite konfiguracije terena i bez površina pogodnih za poljoprivrednu proizvodnju.

Katastarska izmjera Gornjeg Pustakovca provedena je 1911. godine pod mađarskom upravom, a listovi katastarskog plana su prikazani u Budimpeštanskom koordinatnom sustavu dok je k.o. Orašac mjerena 1837. godine pod austrijskom upravom, a planovi su prikazani u Bečkom koordinatnom sustavu Franciskanskog katastra.

Vektorizirani digitalni katastarski plan Gornjeg Pustakovca je vrlo dobre kvalitete. Razlike u odnosu na točne vrijednosti su uvijek manje od 2 m što se može smatrati zadovoljavajućim obzirom da je izmjera provedena prije 100 godina. Transformacijski parametri kojima su ti podaci transformirani su određeni od strane katastarskog ureda na temelju dovoljnog broja identičnih točaka što je jedan od uzroka kvaliteti podataka. Kako se radi o numeričkoj katastarskoj izmjeri (ortogonalna metoda) to su i podaci mjerenja vrhunske kvalitete.

Nasuprot tome, vektorizirani digitalni katastarski plan k.o. Orašca je nehomogen na cijelom području sa razlikama do 20 metara. Uzrok tome je nepovoljna konfiguracija terena za izmjernu geodetskim stolom. Prosječnom pomaku podataka od 6 metara je uzrok nedovoljan broj identičnih točaka za određivanje transformacijskih parametara (Borčić i Frančula 1969).

Tablica 4. Osobine analiziranih katastarskih općina

| | Gornji Pustakovec | Orašac | Napomena |
|---|-------------------|---------|----------|
| Konfiguracija terena | ravničarski | brdovit | |
| Površina [ha] | 245 | 579 | |
| Broj katastarskih čestica | 1287 | 4306 | |
| Prosječna površina katastarske čestice [ha] | 0.19 | 0.13 | |
| Koordinatni sustav | Budimpeštanski | Bečki | |
| Homogenizacija: | | | |
| n_{IT} [m] | 46 | 83 | |
| n_{IT}/ha | 0.16 | 0.14 | |
| Δd (prosječno) [m] | 1.02 | 7.33 | |
| Δd_{max} [m] | 4.87 | 20.02 | |
| Fd (prosječno) [m] | 1.33 | 1.32 | |
| S_0 [m] | 1.79 | 4.39 | |

Standardno odstupanje (S_0) globalne transformacije ukazuje na prosječan iznos translacije cijele katastarske općine. Na temelju dosadašnjih istraživanja, ako je njezina vrijednost iznad 2 m potrebno je homogenizirati podatke. Za Gornji Pustakovec ona iznosi 1.79 m, a kako je već utvrđena dobra kvaliteta tih podataka iz drugih parametara i nepotrebnost provođenja homogenizacije, ona potvrđuje taj zaključak. Nasuprot tome zaključak o potrebi homogenizacije k.o. Orašac potvrđuje i standardno odstupanje od 4.39 m.

Unutrašnju nehomogenost podataka pokazuje nam pomak točaka nakon lokalne transformacije (Δd). Kao kriterij o potrebi provođenja homogenizacije ovdje također možemo postaviti graničnu vrijednost na 2 m (prosječno). Na provedenim homogenizacijama to se potvrđuje. Naime, za Gornji Pustakovec ona je 1.02 što znači da nije potrebna homogenizacija. Odnosno, za Orašac ona je 7.33 što znači da je potrebno provesti homogenizaciju.

Na nehomogenosti podataka unutar katastarske općine može nas upozoriti pojedinačni pomak (Δd_{max}). On je za Gornji Pustakovec 4.87 m, što je značajno više od traženih 2 m, ali se radi o manjem području. Kod Orašca on je 20.02 m što je trostruka vrijednost od prosječne i ukazuje, pored velike translacije, na veliku nehomogenost unutar katastarske općine.

Kvalitetu homogenizacije možemo procijeniti na temelju odstupanja koordinata točaka nakon homogenizacije u odnosu na prave vrijednosti (Fd). Postignute prosječne vrijednosti za Gornji Pustakovec (1.33 m) i Orašac (1.32 m) ulaze u postavljeni zahtjev tj. da nakon homogenizacije te razlike budu ispod 2 m.

Time se potvrđuje predloženi proces i metodologija. To je postignuto uz korištenje 0.16 (Gornji Pustakovec) odnosno 0.14 (Orašac), identičnih točaka po hektaru. Preporučenu vrijednost od 0.2 točke / ha (Roić i dr. 2001), prema istraživanjima u ovom projektu, je moguće postići. Navedenim, manjim brojem identičnih točaka, potvrđena je ta preporuka i dokazano da se i sa manjim brojem identičnih točaka mogu postići zadovoljavajući rezultati.

7. Zaključak i preporuke

Homogenizacija katastarskog plana je neophodna, a da bi se moglo održavati podatke katastra zemljišta i prevoditi ih u katastar nekretnina, prema propisima.

Za njezino provođenje ostvarene su, ili će u skoroj budućnosti biti ostvarene, neophodne pretpostavke. To su:

- ▶ vektorizirani digitalni katastarski plan
- ▶ geodetska osnova (CROPOS ...)
- ▶ digitalni ortofoto (DOF5).

Uz korištenje ostalih dostupnih prostornih podataka (DOF2, ODK, HOK ...) ona se može uspješno provoditi.

Zbog toga je potrebno:

- ▶ izraditi tehničke upute
- ▶ osposobiti i obučiti kadrove
- ▶ osigurati financijska sredstva.

U drugoj fazi projekta će se na temelju rezultata I. faze dodatnim terenskim kontrolama potvrditi navedene rezultate i izrade tehničke upute za homogenizaciju katastarskog plana. One trebaju poslužiti kao okvir za sve buduće projekte homogenizacije katastarskog plana u republici Hrvatskoj.

Osnovna geomagnetska mreža Republike Hrvatske – za potrebe službene kartografije – faza II i III

Mario Brkić¹, Danijel Šugar¹, Marko Pavasović¹,
Milan Rezo¹

Sažetak

Prikazan je status Osnovne geomagnetske mreže Republike Hrvatske u okviru obnove geomagnetizma u Hrvatskoj. Dovršena je uspostava Hrvatske geomagnetske sekularne mreže, te izvedena izmjera u 2004., 2007. i 2008. godini. Prva trećina Hrvatske geomagnetske mreže za kartiranje polja uspostavljena je i izmjerena 2008. godine. Dobiveni modeli deklinacije i njene godišnje promjene potvrđuju kvalitetu izmjere i redukcije te nužnost izmjera Hrvatske geomagnetske sekularne mreže periodom unutar 5 godina.

Ključne riječi: geomagnetska deklinacija, godišnja promjena, geomagnetska sekularna mreža, geomagnetska mreža za kartiranje polja, geomagnetska izmjera.

Abstract

Basic Geomagnetic Network of the Republic of Croatia

Status of Basic Geomagnetic Network of the Republic of Croatia is presented in the frame of renewal of geomagnetism in Croatia. The establishment of Croatian Geomagnetic Repeat Stations Network is completed, and surveys were carried out in 2004, 2007 and 2008. First third of Croatian Geomagnetic Network for Field Mapping was established and surveyed in 2008. Obtained declination and annual change models confirm survey and reduction quality as well as necessity of Croatian Geomagnetic Repeat Stations Network surveys within 5 year period.

Keywords: geomagnetic declination, annual change, geomagnetic repeat station network, geomagnetic network for field mapping, geomagnetic survey.

1. Uvod

Znanje o geomagnetskom polju općenito se koristi kao temelj za orijentaciju i navigaciju, izmjeru i kartiranje, istraživanje mineralnih ležišta, ispitivanja Zemljine kore i njene duboke unutrašnjosti te u razumijevanju odnosa Sunca i Zemlje. Sa stajališta nacionalne sigurnosti i obrane, geomagnetska informacija, posebice geomagnetska deklinacija s topografskih i naviga-

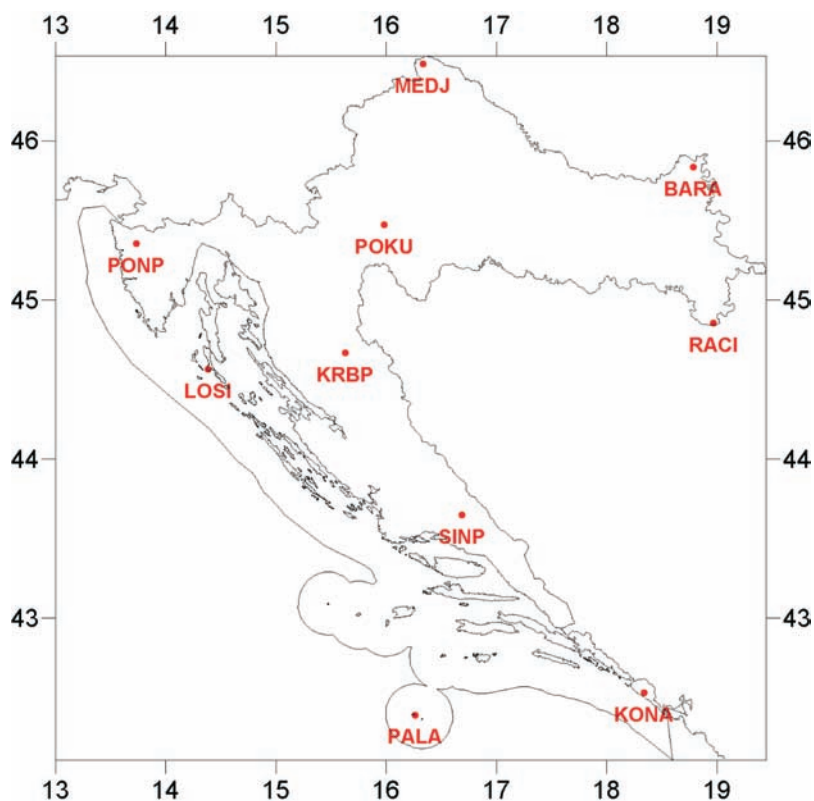
¹ Prof. dr. sc. Mario Brkić, mr. sc. Danijel Šugar, dipl. ing., Marko Pavasović, dipl. ing., mr. sc. Milan Rezo, dipl. ing., Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb

cijskih karata, važna je za sigurnost kopnene, pomorske i zračne navigacije, orijentacije i učinkovitost topništva (Bašić *et al.* 2002). Geomagnetska informacija tj. deklinacija i njena godišnja promjena, zastarjeva jer se geomagnetsko polje mijenja u prostoru i vremenu neprekidno i nepredvidivo. Prema tomu geomagnetsku informaciju nužno je obnavljati periodičnim izmjerama geomagnetskih mreža nacionalnog teritorija koristeći pritom kontinuirane zapise geomagnetskog opservatorija (Newitt *et al.* 1996). Projektom “Osnovna geomagnetska mreža Republike Hrvatske - za potrebe službene kartografije” svrha je obnove geomagnetske deklinacije i njene godišnje promjene na kartama. I. fazom uspostavljena je u ljeto 2004. godine Hrvatska Geomagnetska Sekularna Mreža – HGSM (Bašić *et al.* 2004). Namjena ove mreže je određivanje godišnje promjene deklinacije D . HGSM tada čini osam lokacija sekularnih točaka (SV), zajedno s pripadnim pomoćnim (POM) točkama te geomagnetskim orijentacijskim točkama (GOT): POKUpsko, MEDJimurje, BARAnja, RACInovci, PONte Porton, KRBavsko Polje, SINjsko Polje i KONAvle (Brkić *et al.* 2006a). Točke HGSM projektirane su, uspostavljene i izmjerene u skladu s kriterijima *International Association of Geomagnetism and Aeronomy – IAGA* (Newitt *et al.* 1996), te preporukama *Magnetic Network in Europe – MagNetE*. Status točaka mreže dokumentiran je obrascima položajnog opisa i geomagnetskih parametara (Bašić *et al.* 2004). Projekt se nastavlja II. fazom 2007. godine kroz uspostavu nove sekularne točke i izmjeru cijele HGSM (Brkić *et al.* 2008a), te III. fazom 2008. godine kroz uspostavu i izmjeru dijela Hrvatske Geomagnetske Mreže za Kartiranje Polja – HGMKP (Brkić *et al.* 2008b). Projekt “Osnovna geomagnetska mreža Republike Hrvatske - za potrebe službene kartografije” koji Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu izvodi za Državnu geodetsku upravu (DGU), komplementaran je i izvodi se u koordinaciji s projektom “Obnova geomagnetske informacije” Geodetskog fakulteta za Institut za istraživanje i razvoj obrambenih sustava Ministarstva obrane Republike Hrvatske – IROS MORH (Brkić *et al.* 2006, Brkić *et al.* 2007, Brkić *et al.* 2008).

2. Osnovna geomagnetska mreža Republike Hrvatske – II. faza projekta

U okviru II. faze projekta izvedena je kontrola postojećeg stanja HGSM, uspostava nove SV PALAgruža, određivanje položajnih koordinata točaka GPS metodom, izmjera geomagnetskih elemenata, te izrada položajnih opisa i tehničke dokumentacije. U pripremi za uspostavu SV PALAgruža izračunane su regionalne anomalije kore pomoću modela NGDC-720 (URL1). Iako se Palagruža ne nalazi na području zanemarivih regionalnih anomalija, poradi modeliranja značajno je uspostaviti i opažati geomagnetsko polje na tom najjužnijem dijelu Hrvatske. Nadalje je razmotrena i geologija otoka (Montanari 2005, te Jungwirth, *priv. komunik.*). Kao i prilikom uspostave HGSM 2004. godine, konačnu riječ imala je terenska evaluacija kriterija uspostave SV točke (Bašić *et al.* 2004). U sklopu pripreme za geomagnetsku izmjeru dodatno su izrađeni vlastiti računalni programi s namjenom potpore izmjeri. Tako se programom *SpaceWeatherNow!* automatski šalju K_p indeksi i 24-satna predikcija geomagnetskih oluja opažanima kao *e-mail* i *sms* poruke. Program *D-I-F Survey* izrađen je za potrebe registracije opažanja geomagnetske deklinacije D , inklinacije I i totalnog intenziteta F na sekularnim točkama. Sumnjive nagle skokove (pulsacije), veliku diurnalnu varijaciju ili poremećaje polja u magnetogramima otkriva posebno napisan program *Noise*. Vlastiti program *Spectrum* korišten je za detekciju kratkoperiodičnih civilizacijskih šumova u magnetogramima totalnog intenziteta. Za šumove koji su posljedica lokalnih anomalija, uzrokovanih pripovršinskom geološkom građom ili vizualnom inspekcijom neuočenih feromagnetičnih predmeta, unaprijeđeni su postojeći programi (Brkić *et al.* 2006a): *QuickPointZGrad*, *QuickAreaGrad*, *QuickInnGridGrad*, *QuickOutGridGrad*. Uz navedeno je poradi određivanja razlike SV i POM točke izrađen program *AUX-SV*. Prije i nakon terenske izmjere kontrolirana je ispravnost PPM i DIM instrumenata:

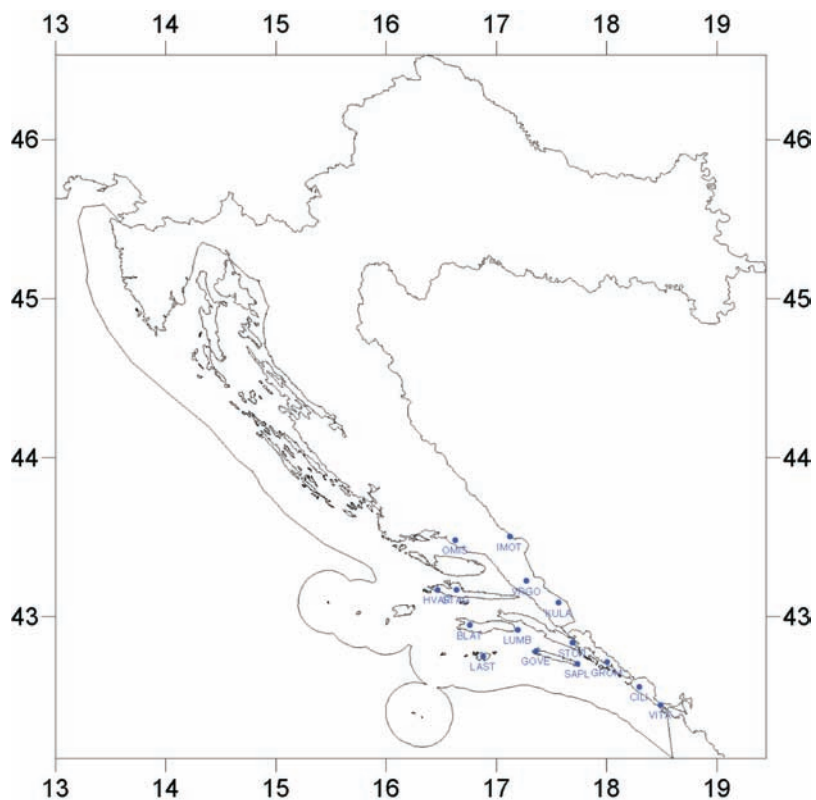
GEM Systems GSM-19G Overhauser gradiometra/magnetometra, odnosno Bartingtonovog MAG-01H sa Mag A sondom montiranom na Zeissov 010B nemagnetični teodolit. Teodolit je najprije ispitan i rektificiran u Laboratoriju za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta, te dodatno u laboratoriju u Budimpešti. Usporedba PPM i DIM instrumenata te kalibracija Bartington Mag A sonde i elektoničke jedinice MAG – 01H, izvedene su na Tihany Geophysical Observatory Eötvös Loránd Geophysical Institute. Konačno, pripremom su za potrebe stabilizacije uništenih i/ili novih SV te POM točaka, izrađene stabilizacije od nemagnetičnog materijala POLIAMID 6 (PA 6), dimenzija promjera 4 cm, te visine 34 cm. Za uništene i/ili nove GOT, pripremljene su poligonske točke. Sami terenski radovi odvijali su se u razdoblju od rujna 2007. god. do travnja 2008. god. i obuhvatili su osam lokacija HGSM iz 2004. godine, te novu lokaciju PALAgruža. Sukladno iskustvima iz prethodne kampanje, izvedeni su koraci na održavanju odnosno uspostavi te geomagnetskoj izmjeri (Brkić *et al.* 2006a). Na svakoj lokaciji je izvedena kontrola stanja, a sve točke stabilizirane u prethodnoj fazi projekta pronađene su neuništene i nekontaminirane nepoželjnim šumom. Položajne koordinate točaka osam lokacija HGSM određene su relativnom statičkom GPS metodom, a koordinate točaka lokacije PALAgruža, GPS RTK metodom pozicioniranja (pouzdanosti unutar 2 cm). Za obradu i transformaciju korišteni su programi Trimble GPSurvey 2.35 odnosno T7D i DAT_ABMO. Položajne koordinate tih točaka, izražene su u HDKS, ETRF89 kao i HTRS96/TM i dane u položajnim opisima. Verifikacija geomagnetske izmjere provedena je usporedbom prediciranih *D-I-F* vrijednosti sa nereduciranim rezultatima *D-I-F* izmjere. Određeni geomagnetski parametri pokazali su prikladnost lokacija za potrebe obnove godišnje promjene geomagnetske deklinacije na službenim kartama. Uspostava HGSM kompletirana je lokacijom LOSInj kroz MORH-ov projekt "Obnova geomagnetske informacije" (Brkić *et al.* 2007). HGSM danas ukupno broji 10 lokacija (slika 1); najmanja međusobna udaljenost lokacija je 93 km, najveća 263 km, a prosječna 178 km.



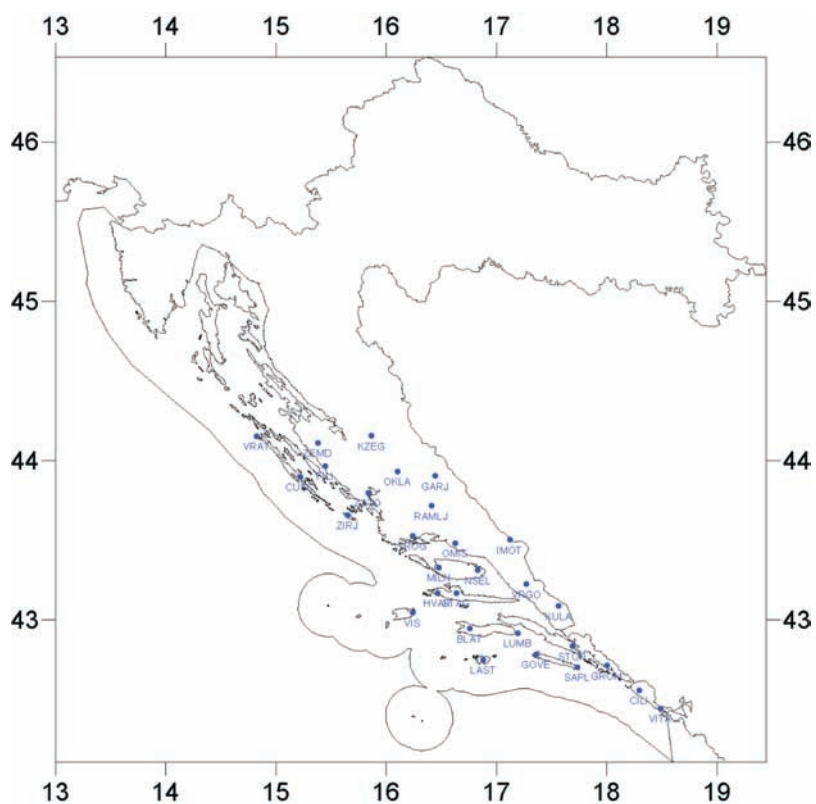
Slika 1. Hrvatska geomagnetska sekularna mreža 2008.

3. Osnovna geomagnetska mreža Republike Hrvatske – III. faza projekta

Projektom “Osnovna geomagnetska mreža Republike Hrvatske - za potrebe službene kartografije – III. faza” započinje uspostava Hrvatske geomagnetske mreže za kartiranje polja u svrhu obnove geomagnetske deklinacije na kartama. III. fazom realizirana je prva trećina mreže. U pripremi projekta provedeni su nužni koraci kontrole instrumenata i održavanja programa, te je uvedena nova metoda gradiometrije *QuickCrossGrad*, u svrhu zamjene dugotrajne *QuickOutGridGrad*. Metoda *QuickCrossGrad* temeljena je na modifikaciji metode križa (Newitt *et al.* 1996), tako da se opažanja gradiometrom izvode u kardinalnim smjerovima NS i WE, veličine 5m*5m, s inkrement 1 m, redom tako da se krene od geomagnetske točke (KP odnosno POM) prema N, pa od W prema E, pa od S prema geomagnetskoj točki. U usporedbi s *QuickOutGridGrad*, metoda *QuickCrossGrad* prilikom testiranja pokazala je prihvatljive razlike. Posebno je projektirana HGMKP tako da je međusobna udaljenost lokacija oko 25 km, te da zadovolji sve kriterije uspostave guste geomagnetske mreže. U praksi je to značilo maksimalno pridržavanje istih kriterija kao pri uspostavi i izmjeri HGSM, posebice izbjegavanje lokalnih šumova zbog pripovršinske geologije (npr. utjecaja crvenice), a poradi čega su razmatrane i raspoložive pedološke karte te je došlo do izmještanja pojedinih dizajniranih lokacija u južnoj Dalmaciji te otocima. Sama terenska izmjera započela je u srpnju i završila u rujnu 2008. god. te obuhvatila 15 lokacija HGMKP: Vitaljina, Čilipi, Gromača, Ston, Kula Norinska, Saplunara, Govedari, Lumbarda, Blato, Lastovo, Stari Grad, Hvar, Vrgorac, Imotski i Omiš. Za sve lokacije HGMKP izvedeno je lociranje točke za kartiranje polja KP, te POM i GOT točaka; gradiometrija KP točke i obrada; gradiometrija KP i POM točaka te obrada; određivanje razlike KP i POM točaka; stabilizacija KP, POM i GOT točke; RTK GNSS određivanje koordinata KP, POM i GOT (pouzdanosti unutar 2 cm); opažanja i obrada geomagnetskih elemenata deklinacije, inklinacije i totalnog intenziteta na KP i POM točkama, te izrada obrazaca položajnih opisa i geomagnetskih parametara. U slučajevima nepovoljnih uvjeta, gradijenata, šuma, visokih Kp vrijednosti i sl., tražena je prikladnija lokacija, ili su čekane povoljnije prilike. Određeni geomagnetski parametri potvrdili su prikladnost lokacija HGMKP za potrebe obnove geomagnetske deklinacije na službenim kartama. Dodatno je uspješno određen totalni intenzitet na otoku Brusnik. HGMKP uspostavljena u ljeto 2008. za Državnu geodetsku upravu broji 15 lokacija (slika 2). Uspostava i izmjera HGMKP koordinirana je s IROS MORH, kroz čiji je projekt “Obnova geomagnetske informacije” uspostavljeno još 14 lokacija u južnoj Dalmaciji te otocima (Brkić *et al.* 2008). HGMKP u 2008. godini broji ukupno 29 lokacija (slika 3). Najveća međusobna udaljenost lokacija ovog dijela HGMKP iznosi 34,2 km, najmanja 11,1 km, a prosječna 22,7 km.



Slika 2. Hrvatska geomagnetska mreža za kartiranje polja 2008 (DGU).



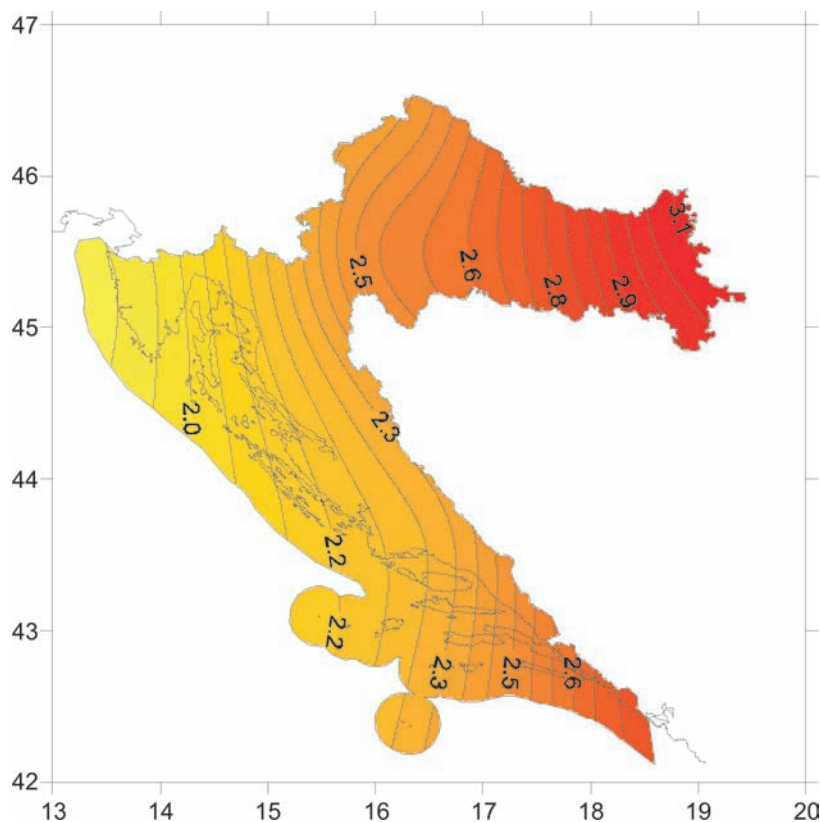
Slika 3. Hrvatska geomagnetska mreža za kartiranje polja 2008 (MORH i DGU).

4. Deklinacija i godišnja promjena u Hrvatskoj

Prva izmjera na Hrvatskoj geomagnetskoj sekularnoj mreži reducirana je na epohu 2004,5 pomoću definitivnih podataka INTERMAGNET-ovih opservatorija Fuerstenfeldbruck - FUR, Tihany - THY i L'Aquila - AQU (tablica 1 i slika 4). Procijenjena ukupna pogreška cijele mreže iskazana prosječnim rasapom za D iznosi 0,5' što je usporedivo s tipičnim pogreškama suvremenih geomagnetskih izmjera (Brkić i Šugar 2008d). U (*ibid.*) određeni su i koeficijenti Hrvatskog geomagnetskog normalnog referentnog polja za 2004,5. Normalno polje uključuje i doprinose donje kore, vrlo je slično glavnom polju Zemljine jezgre i koristi se pri istraživanju Zemljine unutrašnjosti, te kao referentno polje u istraživanju lokalnih magnetskih anomalija.

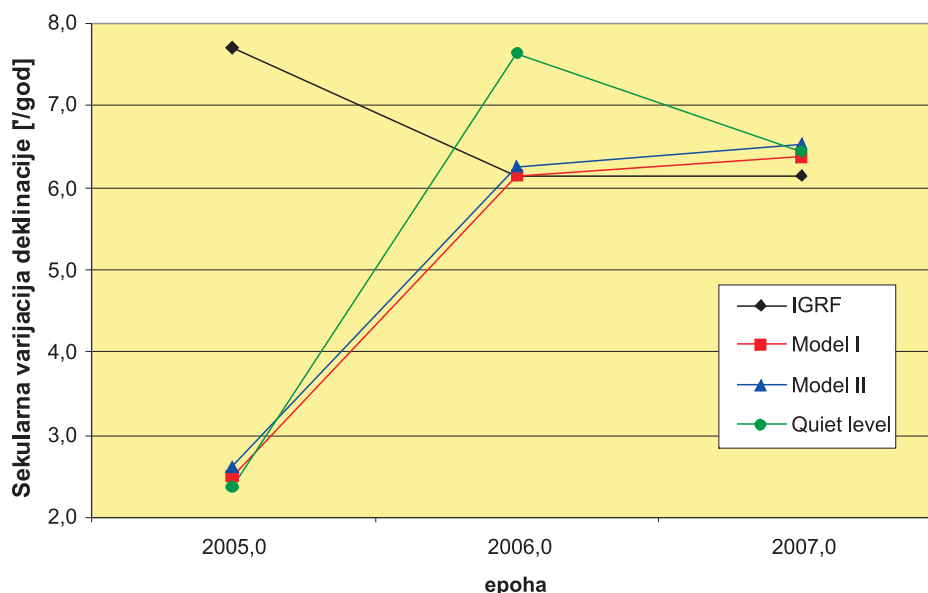
Tablica 1. D-I-F izmjera reducirana na FUR, THY i AQU i epohu 2004,5.

| Sekularna točka | φ [st.] | λ [st.] | h [m] | D [st.] | Rasap D [st.] |
|-----------------|--------------------|--------------------|------------|--------------|--------------------|
| POKU | 45,4733 | 15,9833 | 105 | 2,485 | 0,012 |
| MEDJ | 46,4839 | 16,3317 | 199 | 2,403 | 0,001 |
| BARA | 45,8364 | 18,7869 | 86 | 3,046 | 0,007 |
| RACI | 44,8564 | 18,9694 | 81 | 2,959 | 0,013 |
| KONA | 42,5322 | 18,3403 | 47 | 2,716 | 0,009 |
| SINP | 43,6494 | 16,6886 | 296 | 2,302 | 0,014 |
| KRBP | 44,6697 | 15,6300 | 648 | 2,270 | 0,004 |
| PONP | 45,3561 | 13,7347 | 5 | 1,924 | 0,006 |



Slika 4. Deklinacija [st.] reducirana na epohu 2004,5.

Reprezentativna recentna sekularna varijacija (godišnja promjena) za teritorij Hrvatske procijenjena je na temelju konzekutivnih opažanja na točki POKU_{psko} u godinama 2004 – 2007 (Brkić *et al.* 2008c). Neprikladnost sekularne varijacije deklinacije dobivene pomoću globalnog IGRF modela, odnosno potreba za periodičnim izmjerama u svrhu obnove karata, evidentna je usporedbom s rješenjima tri metode redukcije: Modela I, u kojem je pretpostavljeno da su sekularne varijacije jednake na opservatoriju i sekularnoj točki, Modela II, u kojem je sekularna varijacija linearna, ali različita na opservatoriju i sekularnoj točki, te tzv. *Quiet level* modela (slika 5).



Slika 5. Sekularna varijacija deklinacije [°/god.] na POKU.

5. Zaključak

Projekti Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu na fundamentalnoj zadaći uspostave Osnovne geomagnetske mreže Republike Hrvatske, rezultat su aktualnih potreba obnove geomagnetske deklinacije i njene godišnje promjene ponajprije na topografskim i navigacijskim kartama Državne geodetske uprave i Ministarstva obrane Republike Hrvatske. Projektima “Osnovna geomagnetska mreža Republike Hrvatske - za potrebe službene kartografije” za DGU i “Obnova geomagnetske informacije” za IROS MORH, do sada je realizirana uspostava i izmjera Hrvatske geomagnetske sekularne mreže te uspostava i izmjera prve trećine Hrvatske geomagnetske mreže za kartiranje polja. Projektima su na lokacijama sukladnim IAGA i MagNetE kriterijima trajno stabilizirane točke za izmjeru geomagnetske deklinacije, inklinacije i totalnog intenziteta. Dobiveni modeli deklinacije i njene sekularne varijacije verificiraju kvalitetu izmjere i redukcije te ukazuju na nužnost izmjera HGSM periodom od najviše 5 godina. U predstojećem razdoblju slijedi dovršenje uspostave i izmjere Hrvatske geomagnetske mreže za kartiranje polja, te konačna redukcija i modeliranje podataka. Poradi specifičnog oblika Republike Hrvatske, uspostava i periodična izmjera barem jedne sekularne točke u susjednoj BiH unaprijedila bi pouzdanost modela deklinacije i godišnje promjene. Iako se redukcija može izvesti i bez nacionalnog opservatorija (oslanjajući se na mađarske ili talijanske), uspostava Hrvatskog geomagnetskog opservatorija ne samo da bi dala pouzdanija rješenja modela i karata, već bi dugoročno omogućila kontinuiranu i neovisnu potporu sigurnosti kopnene, pomorske i zračne navigacije, razvitak znanosti i gospodarstva, te podigla razinu učinkovitosti sigurnosnih struktura.

6. Literatura

- Bašić T., Brkić M., Hećimović Ž., Šljivarić M., Markovinović D., Rezo M., Jungwirth E., Viher M. & Horvat S. 2002: Osnovna mreža geomagnetske deklinacije Republike Hrvatske, - prethodna studija, Ministarstvo obrane Republike Hrvatske, Institut za obrambene studije, istraživanja i razvoj, Zagreb.
- Bašić T., Brkić M., Šugar D., Rezo M., Markovinović D. 2004: 'Osnovna geomagnetska mreža Republike Hrvatske - za potrebe službene kartografije - I. faza', Elaborat, Državna geodetska uprava RH, Zagreb.
- Brkić M., Jungwirth E., Rezo M., Markovinović D., Šugar D. 2006: "Obnova geomagnetske informacije, Tehničko-ekonomska analiza - primijenjena istraživanja", Ministarstvo Obrane Republike Hrvatske, Institut za istraživanje i razvoj obrambenih sustava.
- Brkić M., Jungwirth E., Šugar D., Peti I., Pavasović M. 2007: Elaborat znanstveno-stručnog projekta "Obnova geomagnetske informacije - I. faza", Ministarstvo Obrane Republike Hrvatske, Institut za istraživanje i razvoj obrambenih sustava, Zagreb
- Brkić M., Jungwirth E., Šugar D., Rezo M., Pavasović M., Pilić M. 2008: Tehničko-izvješće znanstveno-stručnog projekta "Obnova geomagnetske informacije - II. faza", Ministarstvo Obrane Republike Hrvatske, Institut za istraživanje i razvoj obrambenih sustava, Zagreb listopad.
- Brkić M., Šugar D., Pavasović M. 2008a: 'Osnovna geomagnetska mreža Republike Hrvatske - za potrebe službene kartografije - II. faza', Tehničko izvješće, Državna geodetska uprava RH, Zagreb.
- Brkić M., Šugar D., Pavasović M. 2008b: 'Osnovna geomagnetska mreža Republike Hrvatske - za potrebe službene kartografije - III. faza', Tehničko izvješće, Državna geodetska uprava RH, Zagreb.
- Brkić M., Šugar D., Pavasović M. 2008c: The representative recent secular variation of the geomagnetic field on the Croatian territory, International scientific conference on Magnetism – Geomagnetism – Biomagnetism MGB – 2008, 7th and 8th November 2008 Sezana, Slovenia.
- Brkić M., Šugar D., Rezo M., Markovinović D., Bašić T. 2006a: "Croatian Geomagnetic Repeat Stations Network", "Geomagnetics for Aeronautical Safety: A Case Study in and around the Balkans", NATO Security through Science Series, Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on New Data for the Magnetic Field in the former Yugoslav Republic of Macedonia for Enhanced Flying and Airport Safety, Ohrid, 18-22 May 2005, Springer.
- Brkić M., Šugar D. 2008d: Hrvatsko Geomagnetsko Normalno Referentno Polje 2004.5, Geodetski list, 62 (85), 1, Zagreb.
- Montanari A. 2005: Introducing the Dalmatian Dinarides, RETREAT Tectonic Interpretation (RTI) Workshop, 2-6 October 2005, Hvar.
- Newitt, L. R., Barton, C. E., i Bitterly, J. 1996: Guide For Magnetic Repeat Station Surveys, IAGA, Boulder, USA.

URL 1: <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/EMM/emm.shtml>

Zahvala

Autori ljubazno zahvaljuju ravnatelju prof. dr. sc. Željku Bačiću i Državnoj geodetskoj upravi Republike Hrvatske na pruženoj potpori u realizaciji i financiranju projekta.

