

VREDNOTENJE MODELOV TRANSFORMACIJE GEODETSKIH NAČRTOV

EVALUATION OF TRANSFORMATION MODELS FOR GEODETTIC PLANS

Nedim Tuno, Admir Mulahusić, Dušan Kogoj

UDK: 528.28

Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.01

Prispelo: 3. 6. 2015

Sprejeto: 30. 11. 2015

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2015.04.736-751

SCIENTIFIC ARTICLE

Received: 3. 6. 2015

Accepted: 30. 11. 2015

IZVLEČEK

V delu so kritično ovrednotene aktualne metode, ki se uporabljajo za obdelavo izvorne vsebine analognih geodetskih načrtov, glede na odkrivanje in odpravljanje geometrijskih deformacij ter georeferenciranje geodetskega načrta. Na izbranem testnem območju v Bosni in Hercegovini so podrobno obravnavani vplivi različnih globalnih in lokalnih modelov transformacije na geometrijsko kakovost geodetskih načrtov. Pokazano je, da najboljše rezultate transformacije dosežemo z uporabo lokalnih transformacijskih modelov. Z njimi lahko uspešno odpravimo distorzije geodetskih načrtov, ki so posledica deformacije nosilca načrta in napak pri skeniranju.

ABSTRACT

This paper critically discusses current methods for processing original content of analogue geodetic plans, in terms of identifying and removing geometric deformation and georeferencing of geodetic plans. The effects produced by the use of various transformation models for data in new survey geodetic plans were considered in detail in a characteristic testing area in Bosnia and Herzegovina. The best results of the overall accuracy of geodetic plan transformation are achieved by using local transformational models, which successfully removed the distortions caused by the deformation of plan supporting materials and scanning errors.

KLJUČNE BESEDE

geodetski načrt, geometrijska distorzija, vezna točka, transformacija koordinat, položajna točnost

KEY WORDS

geodetic plan, geometric distortion, tie point, coordinate transformation, positional accuracy

1 UVOD

Med letoma 1953 in 1992 so bili na podlagi rezultatov nove sistematične državne katastrsko-topografske izmere, izvedene s fotogrametričnimi in klasičnimi terestričnimi numeričnimi metodami, izdelani geodetski načrti za 92 % površine Bosne in Hercegovine (skrajšano BiH). V tem obdobju so bila izvedena obsežna snemanja terena, na podlagi katerih je nastala množica topografskih in inženirskih načrtov, ki so izjemno pomembni za tehnični in gospodarski razvoju BiH. S sistematično pretvorbo analognih načrtov nove izmere v digitalno obliko so v BiH začeli v letu 1998 (MapSoft, 2015), te aktivnosti so posebno intenzivirane v zadnjem desetletju. Do leta 2011 je bila digitalna zbirka podatkov geodetskih načrtov (skrajšano DGN) za potrebe katastra izdelana za 45 % površine BiH. Digitalizacija se nadaljuje tudi po letu 2011, tako sta bila v obdobju od sredine leta 2012 do konca leta 2013 vektorizirana dodatna 2 % načrtov v BiH (Ključanin, 2013).

Vzpostavitev zbirke digitalnih načrtov na podlagi obstoječih analognih podlag v različnih merilih in z različnimi podrobnostmi prikaza je enostavnejša in cenejša od izdelave digitalnih načrtov na podlagi izvornih podatkov izmere. Začetni korak digitalizacije je pretvorba načrta iz analogne v digitalno obliko, kar se najpogosteje izvede s skeniranjem. Skenogram geodetskega načrta je treba georeferencirati, to je transformirati iz lokalnega slikovnega koordinatnega sistema v državni koordinatni referenčni sistem. To dosežemo z določitvijo ustreznih transformacijskih parametrov (Gielsdorf in sod., 2003), od katerih je odvisna točnost transformiranih koordinat, oziroma odstopanja izračunanih koordinat od pravih vrednosti koordinat, ki pa jih ne poznamo. Različni postopki transformacij dajo različne končne vrednosti koordinat (Vračarić in Marošan, 2003), to pa povzroča dvome glede izbire in uporabe pravilnega modela transformacije analognih načrtov (Roić in Cetl, 2002). Njegov izbor je najpogosteje povezan z izpolnjevanjem predpisanih meril globalne točnosti transformacije, pri tem pa se modeliranju geometrijskih distorzij posveča zelo malo pozornosti.

Odpravljanje distorzij geodetskih načrtov je bolj zasnovano na uporabi konvencionalnih globalnih enosegmentnih transformacij, pri katerih se načrt obravnava kot celota. Tak pristop je pravilen le, če izvorni analogni načrti izražajo uravnotežene sistematične globalne in lokalne distorzije. Globalna transformacija ni dovolj robustna za modeliranje kompleksnih, hitro spreminjajočih se in nesistematičnih distorzij (Goshtasby, 2005). Te se redno pojavljajo pri vsebinah, ki so nastale med naknadnim vzdrževanjem geodetskega načrta. Napake in nedoslednosti pri transformacijah se najpogosteje odkrijejo šele po vzpostavitvi zbirke podatkov digitalnih geodetskih načrtov in ob njeni uporabi pri postopkih vzdrževanja. To potrjujejo izkušnje številnih katastrskih uslužbencev, ki te podatke uporabljajo vsakodnevno (Lero, 2005). S preučevanjem metod transformacij, ki so zasnovane na večsegmentnem načelu (lokalni modeli, ki se uporabljajo v daljinskem zaznavanju in medicini), je vzkliklo upanje, da bi lahko dale dobre rezultate tudi pri obdelavi skenogramov načrtov celo pri transformacijah nehomogenih vsebin geodetskih načrtov.

Čeprav so bili prvi koraki pretvorbe obstoječih bosansko-hercegovskih analognih načrtov v digitalno obliko narejeni že ob koncu osemdesetih let prejšnjega stoletja (Vukotić in sod., 1989), še ni bila izvedena resna raziskava, vezana na geometrijsko obdelavo geodetskih podlag v BiH. Podobno je z raziskavami in testiranjem transformacije načrtov numerične in fotogrametrične izmere širšega prostora nekdanje Jugoslavije. Do sedaj je tako nastalo zelo malo del, ki bi obravnavala to tematiko. Pomembnejše raziskave na tem področju so opravili Ninkov in Uljarević (1991), Berk (2001), Roić in sod. (2002), Vračarić in

Marošan (2003) ter Stefanović (2007). Veliko pozornosti je posvečeno raziskavam o možnosti transformacije katastrskih načrtov v vektorski obliki, pri čemer so najpomembnejši rezultati na območju nekdanje Jugoslavije doseženi v Sloveniji. Z implementacijo adaptivnega membranskega modela je bila dokazana občutna izboljšava geometrijske kakovosti vektoriziranih katastrskih načrtov (Čeh in sod., 2011; Čeh in sod., 2012). Uspešno je bila rešena tudi težava pretvorbe podatkov grafičnega podsistema zemljiškega katastra v nov državni koordinatni sistem z modelom trikotniške transformacije (Berk in Komadina, 2013; Berk in sod., 2014; Berk in sod., 2015).

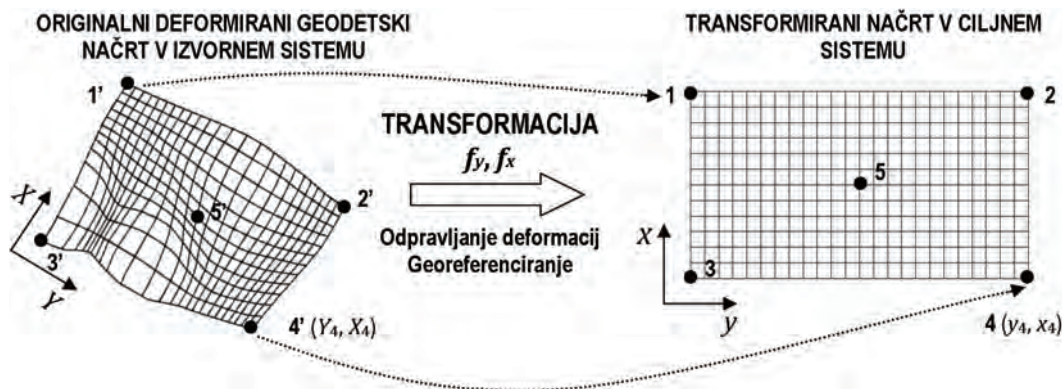
Cilj pričujoče raziskave je bil ovrednotiti možnosti za uporabo različnih metod transformacij za odpravo geometrijskih distorzij in georeferenciranje geodetskih načrtov. Vrednotenje je temeljilo na analizi rezultatov transformacij, ki so bile izvedene na načrtih izbranega testnega območja. Pri tem je bila izvedena transformacija točk iz izvornega koordinatnega sistema načrta v državni koordinatni referenčni sistem na podlagi točk koordinatne mreže načrta, tako kot zahtevata pravilnika za izdelavo DGN v Bosni in Hercegovini (Pravilnik o digitalnom ..., 2004; Pravilnik o bazi ..., 2008).

2 TEORIJA GEOMETRIJSKE OBDELAVE GEODETSKIH NAČRTOV

Pri prenosu izvornih analognih načrtov v digitalne zbirke se srečujemo s pogreški metod izmere, različnimi pogreški izdelave in vzdrževanja analognih načrtov ter pogreški zaradi njihove dimenzijske neobstoynosti, pojavljajo pa se tudi pogreški digitalizacije (Huisman in de By, 2001; Ivković, 2015a).

Skupne položajne pogreške vsebine geodetskih načrtov je mogoče zmanjšati z različnimi metodami geometrijske obdelave. Večino distorzij je treba odpraviti, preden se podatki registrirajo v referenčni geometrijski zbirki. Uspešnost korekcij geometrijskih distorzij je najbolj odvisna od vrste podatkov, ki se transformirajo, in kompleksnosti uporabljenih metod (Burrough in McDonnell, 2006). Korekcija distorzij v osnovi pomeni preslikavo pikslov z njihovih izhodiščnih lokacij v izbrano referenčno mrežo, pri čemer so glavne sestavine tega procesa (Schowengerdt, 2007):

- izbor ustreznega matematičnega modela za odpravo distorzij,
- transformacija koordinat (slika 1) in
- prevzorčenje (interpolacija).



Slika 1: Transformacija geodetskega načrta iz izvornega v ciljni koordinatni sistem (Tuno, 2007).

2.1 Vezne točke

Povezovalne točke, na podlagi katerih se opredeli zveza med lokalnim (izvornim) koordinatnim sistemom načrta in ciljnim sistemom, imenujemo vezne ali identične točke (Riazanoff in Santer, 2006). Pri načrtih nove izmere so te točke običajno oglišča decimetrskih kvadratov koordinatne mreže. Ta so primerna za oceno deformacij lista, saj je njihova razporejenost na listu načrta enakomerna. Tako je mogoče določiti deformacijo lista kot celote pa tudi deformacije posameznih delov lista (Miladinović, 2005). Pravilnika za izdelavo DGN (Pravilnik o digitalnom ..., 2004; Pravilnik o bazi ..., 2008) predpisujeta, da se transformacija točk načrta iz izvornega v ciljni koordinatni sistem izvede z vsemi točkami koordinatne mreže načrta, z izjemo tistih, ki so poškodovane ali slabo vidne.

2.2 Transformacija koordinat

Točke na geodetskem načrtu, ki so bile izvorno določene v državnem koordinatnem sistemu, so po digitalizaciji zaradi deformacij lista, na katerem je bil načrt izrisan, georeferencirane v nekoliko popačenem koordinatnem sistemu (Miladinović, 2005). Da bi na digitaliziranih točkah odpravili vpliv geometrijske distorzije, je treba na podlagi veznih točk določiti način preslikave in nato transformirati vse točke lista načrta (Goshtasby, 2005). Postopek umestitve geodetskega načrta v ciljni koordinatni sistem imenujemo georeferenciranje (Riazanoff in Santer, 2006). Kadar je število veznih točk večje od najmanjšega potrebnega števila za določitev globalnega modela transformacije, se optimalni parametri transformacije običajno določijo z izravnavo po metodi najmanjših kvadratov ali z grozdenjem (angl. *clustering*) (Goshtasby, 2005).

2.2.1 Razvrstitev transformacij

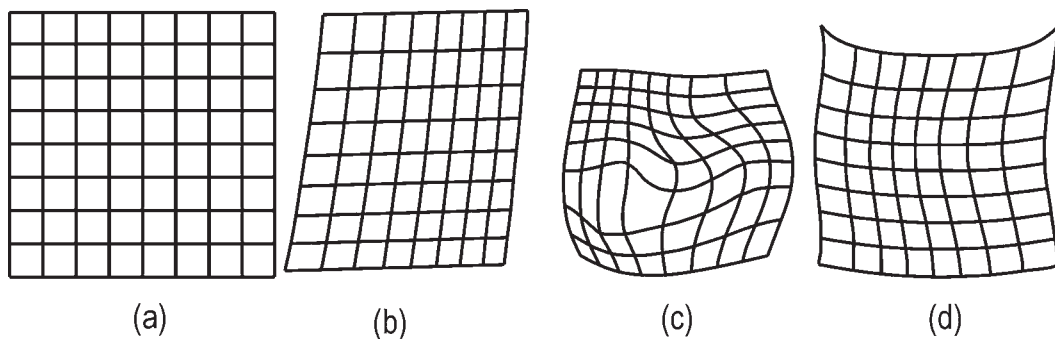
Obstaja več načinov razvrstitve transformacij, ki se uporabljajo pri obdelavi skeniranih geodetskih načrtov. Pri tem so lahko merila način spremembe geometrijskih podatkov, vrste geometrijskih podatkov in podobno. V odvisnosti od tega, ali so transformacijski parametri isti za vse točke ali pa so za izbrane skupine točk različni, transformacije v ravnini delimo na globalne in lokalne. Pri prvih se spremeni celotna vsebina načrta po istih pravilih, medtem ko lokalne transformacije temeljijo na različnih transformacijskih parametrih (Roić in Cetl, 2002).

2.2.2 Funkcionalni modeli transformacije

Transformacijske funkcije, ki povezujejo koordinate pripadajočih točk v izvornem koordinatnem sistemu načrta in ciljnem koordinatnem sistemu, je mogoče vzpostaviti z različnimi metodami (Goshtasby, 2005) (slika 2).

V geodeziji se tradicionalno uporabljajo Helmertova, afina in projektivna transformacija, katerih opise je mogoče najti v številnih delih, na primer Roić in sod. (2002), Burger in Burge (2009). Pri obdelavi digitalnih posnetkov se danes najpogosteje uporabljajo polinomske transformacije (Ochis in sod., 1997; Berk, 2001; Tuno, 2007 itd.). Ker se s polinomskimi transformacijami izvaja prilagajanje celotnemu območju transformacije, z njimi ni mogoče ustrezno obravnavati lokalnih odstopanj, zato ponujajo omejene možnosti za modeliranje in odpravljanje neuniformiranih in neenakomerno razporejenih distorzij. V zadnjem času se za rešitev te težave vse pogosteje uporablja kolokacija po metodi

najmanjših kvadratov (angl. *least squares collocation* – LSC), pri kateri se v opazovani točki upošteva vpliv distorzije sosednjih točk v odvisnosti od oddaljenosti od opazovane točke (Miladinović, 2005) in tudi različni lokalni modeli transformacije (Fogel in Tinney, 1996; Burger in Burge, 2009). Eden od teh je odsekovna linearna transformacija (angl. *piecewise linear* – PL) (Ochis in sod., 1997; Berk, 2001), ki je implementirana v večini programskih paketov za geometrijsko obdelavo rastrskih slik in se zato uporablja pogosto. Zelo zanimivi so lokalni transformacijski modeli, zasnovani na radialnih baznih funkcijah, kot sta multikvadratna transformacija (angl. *multiquadratic* – MQ) in transformacija po načelih tankoslojnega zlepka (angl. *thin plate spline* – TPS) (Fogel in Tinney, 1996; Goshtasby, 2005; Bohdal, 2007), pa tudi transformacija z metodo lokalne utežene sredine (angl. *local weighted mean* – LWM) (Goshtasby, 2000). Ti transformacijski modeli do sedaj pri obdelavi geodetskih načrtov niso bili uporabljeni.



Slika 2: Izhodiščna slika (a) in transformirana slika kot rezultat polinomske (b), TPS (c) in multikvadratne (d) metode (Goshtasby, 2000).

3 OCENA KAKOVOSTI TRANSFORMIRANIH PODATKOV GEODETSKEGA NAČRTA

Pri oceni znanstvene, strokovne in praktične vrednosti geodetskih načrtov je najpomembnejše merilo ocenjevanja geometrijska (položajna) točnost (Ivković, 2015b). Položajna točnost je opisana z zanesljivostjo položaja neke točke v modelu geoprostora ($x \pm \sigma_x$, $y \pm \sigma_y$, $z \pm \sigma_z$) glede na pravi položaj te točke v prostoru (x , y , z) (Radojčić in sod., 2011). Pri ocenjevanju kakovosti prostorskih podatkov se uporabljajo številne metode. Točnost položaja se najpogosteje ocenjuje na podlagi empiričnega standardnega odklona globalne transformacije σ_r , izračunanega iz popravkov koordinat veznih točk r_{yx} , ki so bile uporabljene za definiranje transformacijskega modela. Bolj zanesljivo se točnost ocenjuje na podlagi kontrolnih točk (Riazanoff in Santer, 2006).

Načine za oceno položajne točnosti geoprostorskih informacij opredeljujejo različni standardi. Družina mednarodnih standardov ISO 19100 določa samo osnovna načela in splošne postopke ocene. Standardi, ki podrobneje urejajo to problematiko, se pojavljajo šele na nacionalni ravni (Radojčić in sod., 2011). Pregled aktualnih standardov za ocenjevanje položajne točnosti sta pripravila Ariza in Atkinson (2008).

Za preverjanje kakovosti geodetskih načrtov je zelo uporaben ameriški nacionalni standard za točnost prostorskih podatkov (angl. *National Standard for Spatial Data Accuracy*) (NSSDA, 1998). Standard NSSDA predpisuje, da morajo biti izbrane točke enakomerno razporejene v skupini podatkov, in opredeljuje merila za reprezentativnost vzorca podatkov o prostoru, ki pokriva območje oblike pravokotnika

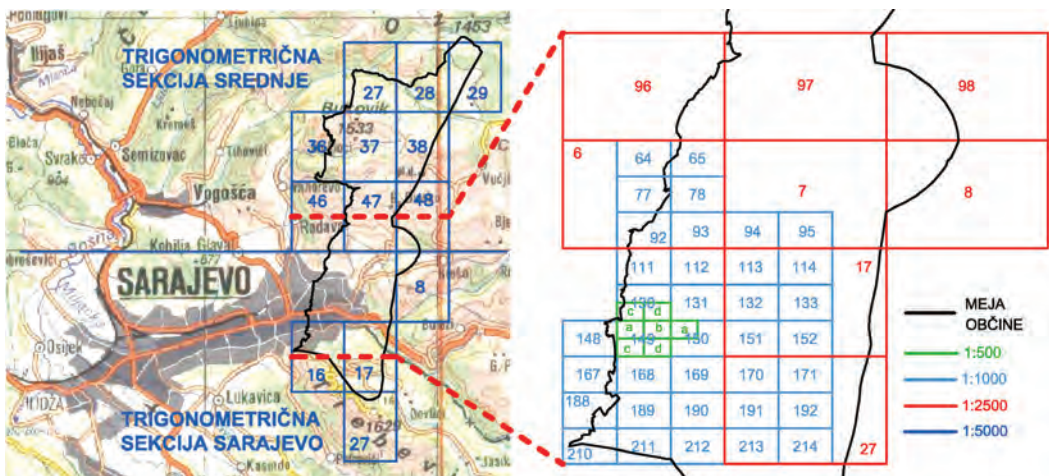
(glede na list načrta). Najmanjše število kontrolnih točk na obravnavanem območju je 20. Pri standardu NSSDA se za oceno položajne točnosti kot izhodiščna ocena uporablja koren srednjega kvadratnega pogreška, označen z *RMSE* (angl. *root mean square error*), ki se določi iz vrednosti koordinatnih razlik *dy* in *dx* med merjenimi in referenčnimi koordinatami. Na podlagi skupnega položajnega odstopanja *RMSE_r*, se računa horizontalna točnost z intervalom zaupanja 95 % (NSSDA, 1998; Radojčić in sod., 2011).

4 ANALIZA POLOŽAJNE TOČNOSTI TRANSFORMACIJE GEODETSKIH NAČRTOV NA PRAKTIČNEM PRIMERU

Analizirali smo točnost različnih transformacijskih modelov, ki jih lahko uporabimo pri obdelavi skeniranih geodetskih načrtov. Za popolno oceno vpliva uporabljene metode transformacije na kakovost podatkov digitaliziranih načrtov nove izmere Bosne in Hercegovine bi bilo treba testirati vzorce celotnega območja države. To je v okviru omejene raziskave nemogoče. Izbrano je bilo reprezentativno testno območje, ki najbolj odraža stanje geodetskih načrtov v vsej državi.

4.1 Izbira testnega območja, priprava in obseg podatkov

Analiza različnih modelov ravninskih transformacij skeniranih geodetskih načrtov v bosansko-hercegovski državni koordinatni sistem (skrajšano BHDKS) je izvedena na vzorcu 55 listov načrtov občine Stari Grad, Sarajevo (slika 3), ki obsega območje s površino 49,7 km². Raziskava je izvedena na listih načrtov, ki so bili konec šestdesetih let prejšnjega stoletja izdelani v štirih različnih merilih (1 : 500, 1 : 1000, 1 : 2500, 1 : 5000) na podlagi podatkov klasične terestrične izmere in fotogrametrične izmere. Res je, da ta vzorec ni v celoti reprezentativen za vse geodetske načrte v BiH, je pa s skrbno izbiro omogočen vpogled v številne sistematične pojave. Na načrtih izbranega območja so prikazana območja, ki se razlikujejo glede na poseljenost, obliko reliefa in nadmorsko višino terena. Izbrani načrti so izdelani na različnih materialih, uporabljali so jih različno pogosto, kar pomeni, da se ni pri vseh enako intenzivno spreminjala vsebina v okviru večdesetletnega vzdrževanja zemljiškega katastra. Izbira območja ponuja veliko možnosti, da se na podlagi obdelave velikega števila načrtov pridobijo rezultati, iz katerih je mogoče izločiti ekstremne pojave.



Slika 3: Razdelitev na liste načrtov testnega območja občine Stari Grad, Sarajevo.

Priprava podatkov za raziskavo je bila zelo obsežna in zahtevna. Zajetih podatkov je bilo veliko, del jih je bilo treba iz izvorne analogne oblike pretvoriti v digitalno obliko zapisa. Obsežna je bila analiza pravilnosti in verodostojnosti podatkov, prevzetih iz različnih virov, nujne pa so bile tudi dopolnilne računske obdelave za del podatkov, ki v izvorni obliki niso bili uporabni. Rezultat uspešnih pripravljanih del je obsežen niz dovolj kakovostnih prostorskih podatkov, ki so dobra podlaga za testiranje izbranih transformacijskih modelov ter analizo kakovosti transformiranih podatkov. Analiza temelji na naslednjih vsebinah izbranih listov geodetskih načrtov:

- koordinate oglišč kvadratov in pravokotnikov koordinatne mreže (5858 točk),
- koordinate trigonometričnih veznih in linijskih točk (2492 točk) in
- koordinate detajlnih točk (5485 točk).

4.2 Ocena položajne točnosti za različne transformacijske modele

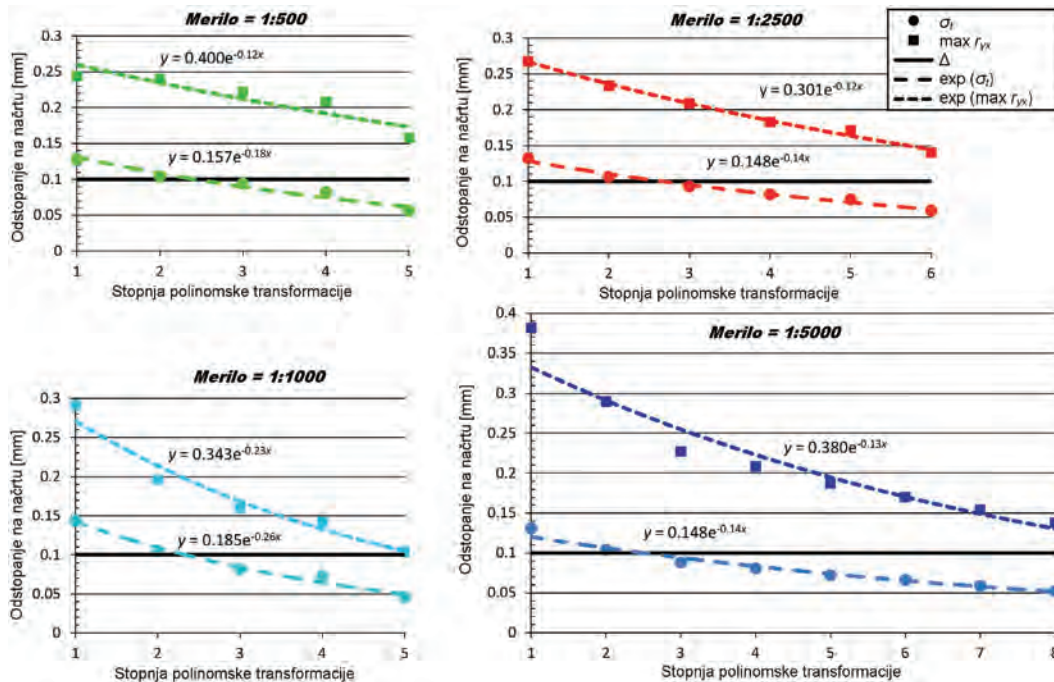
Za potrebe raziskave različnih transformacijskih modelov za transformacijo skeniranih geodetskih načrtov je bila uporabljena lastna avtorska programska oprema PlanTra (PLAN TRANSformacija), napisana v programskem jeziku Visual Basic for Application (VBA).

4.2.1 Ocena položajne točnosti globalnih transformacij na podlagi popravkov koordinat veznih točk koordinatne mreže

Parametri ocene točnosti globalnih transformacij na podlagi popravkov koordinat veznih točk (54 točk na listih načrtov merila 1 : 500 in 1 : 1000, 70 točk na listih načrtov merila 1 : 2500 in 130 točk na listih načrtov merila 1 : 5000) kažejo, da so rezultati (pričakovano) najslabši pri uporabi Helmertovega transformacijskega modela. Helmertova transformacija daje pri bolj deformiranih listih načrta izjemno slabe rezultate, kar še posebej velja za načrte merila 1 : 5000.

Pri obdelavi vseh 55 obravnavanih listov načrtov dobimo najboljše rezultate s polinomske transformacije 5. stopnje (načrti merila 1 : 500 in 1 : 1000), 6. stopnje (načrti merila 1 : 2500) in 8. stopnje (načrti merila 1 : 5000). Trend sprememb vrednosti standardnega odklona transformacije σ_t in največjega položajnega popravka r_{yx} , v odvisnosti od stopnje uporabljene polinomske transformacije je mogoče modelirati z eksponentno funkcijo (slika 4).

Helmertova, afina in projektivna transformacija glede na rezultate analize ne ustrezajo tehničnim normativom za transformacijo načrtov, predpisanim z bosansko-hercegovskima pravilnikoma o DGN (Pravilnik o digitalnom ..., 2004; Pravilnik o bazi ..., 2008). Pravilnika določata merila, ki jih morajo izpolniti načrti v postopku georeferenciranja. Vrednost standardnega odklona odstopanj točk koordinatne mreže od teoretičnih vrednosti po transformaciji mora biti manjša od praga točnosti transformacije, ki znaša $\Delta = 0,1 \text{ mm} \cdot M$ (M je modul merila). Zahtevanemu pragu točnosti pri načrtih testnega območja ustreza polinomska transformacija najmanj 2. stopnje. Čeprav je torej očitno, da je mogoče sprejemljive rezultate doseči že z bikvadratno transformacijo, se v praksi najpogosteje uporablja polinomska transformacija 4. ali višje stopnje.

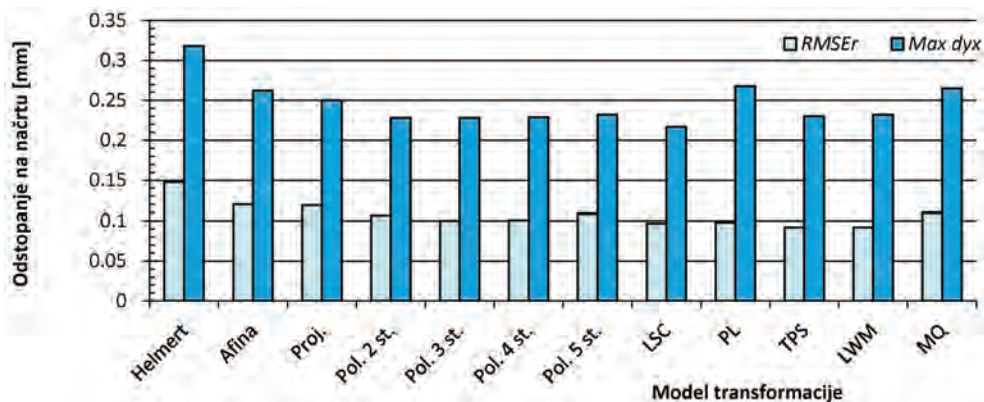


Slika 4: Trend sprememb vrednosti standardnih in največjih položajnih odstopanj na veznih točkah v odvisnosti od izbrane stopnje polinomne transformacije za liste načrtov različnih meril.

4.2.2 Ocena položajne točnosti na podlagi kontrolnih točk pomožne koordinatne mreže

Osnovno koordinatno mrežo načrtov merila 1 : 1000 sestavljajo kvadrati velikosti 100 mm × 100 mm in pravokotniki 50 mm × 100 mm. Na nekaterih listih teh načrtov je koristen prostor zapolnjen tudi s pomožno koordinatno mrežo, pri kateri je razmik med oglišči kvadratov 50 mm. Na vsak list so z velikim koordinatografom kartirali 122 točk pomožne mreže in nanесли točke osnovne koordinatne mreže. Vsa koordinatna mreža je bila torej kartirana z isto natančnostjo in pri isti postavitvi nosilca načrta na koordinatografu. Pomožne točke koordinatne mreže zato ponujajo odlično možnost za oceno vplivov uporabljenih transformacijskih modelov, definiranih na 54 točkah osnovne koordinatne mreže. Vozlišča pomožne koordinatne mreže so bila uporabljena kot kontrolne točke za oceno točnosti transformacijskih metod po standardu NSSDA.

Rezultati kažejo, da je koordinatna mreža na skeniranih načrtih zelo homogena. Pri vseh transformacijskih modelih (z izjemo Helmertovega) je zagotovljeno, da so na več kot 90 % kontrolnih točk odstopanja manjša od $0,2 \text{ mm} \cdot M$. Odstopanja, večja od $0,3 \text{ mm} \cdot M$, se pri nekaterih modelih sploh ne pojavljajo (npr. LSC in TPS), pri drugih pa jih je zanemarljivo malo (na primer pri polinomskih transformacijah in PL). Če grobo primerjamo povprečne vrednosti $RMSE_f$, in največja položajna odstopanja $\text{Max } d_{yx}$, se zdi, da so vrednosti uravnotežene za vse uporabljene transformacijske modele (slika 5). Po merilih standarda NSSDA dajejo lokalni transformacijski modeli najboljše rezultate pri 65 % načrtov. Ob upoštevanju rezultatov vseh raziskanih načrtov se je kot najboljši izkazal transformacijski model TPS.



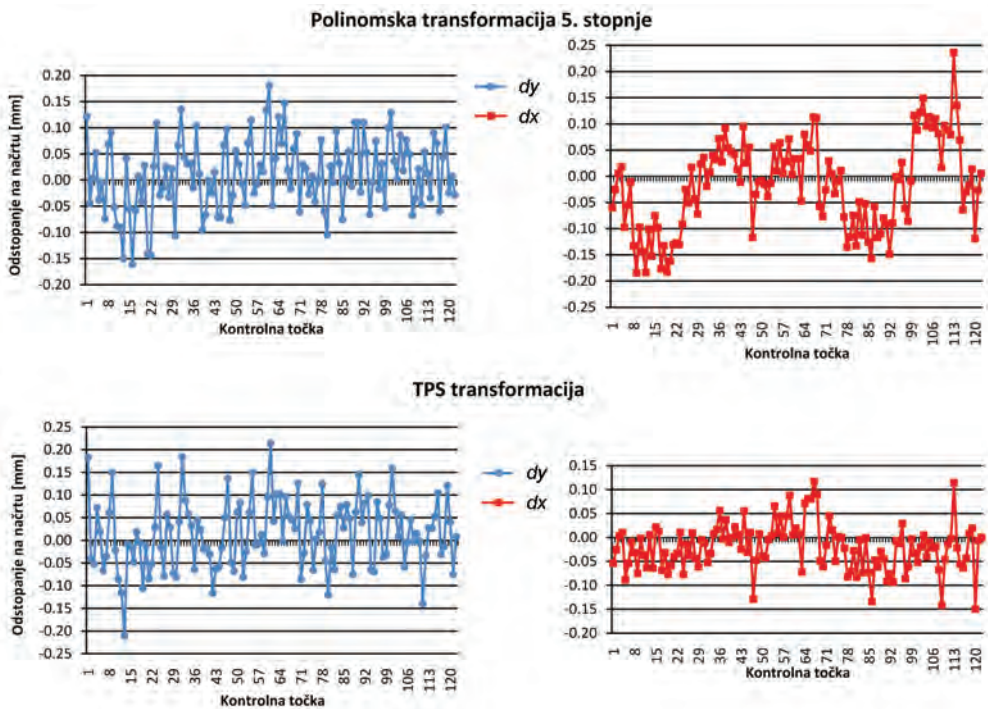
Slika 5: Povprečna vrednost korena srednjega kvadratnega pogreška $RMSE_r$, in največje položajno odstopanje $Max d_{xy}$ na kontrolnih točkah pomožne koordinatne mreže pri različnih modelih transformacije.

Če primerjamo vrednost povprečne $RMSE_r$ za TPS- in polinomsko transformacijo 5. stopnje (model, ki pri obravnavanih globalnih transformacijah na podlagi točk osnovne koordinatne mreže, podglavljav 4.2.1, zagotavlja najboljše rezultate), vidimo, da daje transformacijski model TPS za 15 % boljši rezultat. Zahteva $d_{yx} < 0,1 \text{ mm} \cdot M$ je z uporabo transformacijskega modela TPS izpolnjena za 73 % kontrolnih točk, pri polinomski transformaciji 5. stopnje pa je pogoj izpolnjen le na 57 % kontrolnih točkah. Vrednosti σ_r in $RMSE_r$ so pri afini transformaciji in polinomski transformaciji 2. stopnje tako rekoč enake. Z naraščanjem stopnje polinoma se razlike teh vrednosti povečujejo. Pri polinomski transformaciji 5. stopnje, s katero se georeferencirajo načrti v okviru uradnih projektov izdelave DGN, so vrednosti standardnega odklona σ_r v povprečju celo za 55 % manjše od $RMSE_r$.

Z grafičnim prikazom pretvorbe obravnavanih listov geodetskih načrtov v BHDKS je mogoče dobiti vpogled v kakovost uporabljenih transformacijskih modelov. Na sliki 6 so prikazane razlike teoretičnih vrednosti koordinat in izravnanih digitaliziranih koordinat vozlišč pomožne koordinatne mreže na listu načrta SA111 merila 1 : 1000 z uporabo polinomske transformacije 5. stopnje in transformacije TPS. Za boljšo interpretacijo grafikonov je treba poznati vrstni red zajema točk koordinatne mreže. Koordinate točk so v izvornem koordinatnem sistemu čitane v zaporedju po osi y od leve proti desni in po osi x od juga proti severu. Iz grafikonov je razvidno, da so razlike izravnanih in teoretičnih vrednosti koordinat skoncentrirane okrog ničelne osi, nekoliko pravilnejši razpored in manjša odstopanja so dosežena z modelom TPS. Če upoštevamo točnost digitalizacije (Stefanović, 2007), lahko ugotovimo, da je porazdelitev razlik koordinat obravnavanih modelov naključna. To potrjuje tudi test normalnosti, ki pokaže, da so odstopanja koordinat točk pomožne koordinatne mreže po osi y in x normalno porazdeljena.

Rezultati, predstavljeni na sliki 6, prikazujejo točnost uporabljenih transformacijskih modelov. Za ilustracijo lokalnih geometrijskih značilnosti transformacij vizualizirajmo položajno točnost z vektorji pomikov, to je vektorji razlik teoretičnih in izravnanih vrednosti koordinat točk koordinatne mreže (slika 7). Na veznih in kontrolnih točkah ostajajo po transformaciji posamezna odstopanja, ki predvsem kažejo na stopnjo homogenosti podatkov. Slika 7 jasno kaže, da so spremembe smeri in velikosti vektorjev pomikov med izvornim in ciljnim koordinatnim sistemom zelo izražene pri afini transformaciji. Na delih načrta so odstopanja grupirana in se kažejo v določeni smeri, kar kaže na lokalne sistematične vplive. Vektorji

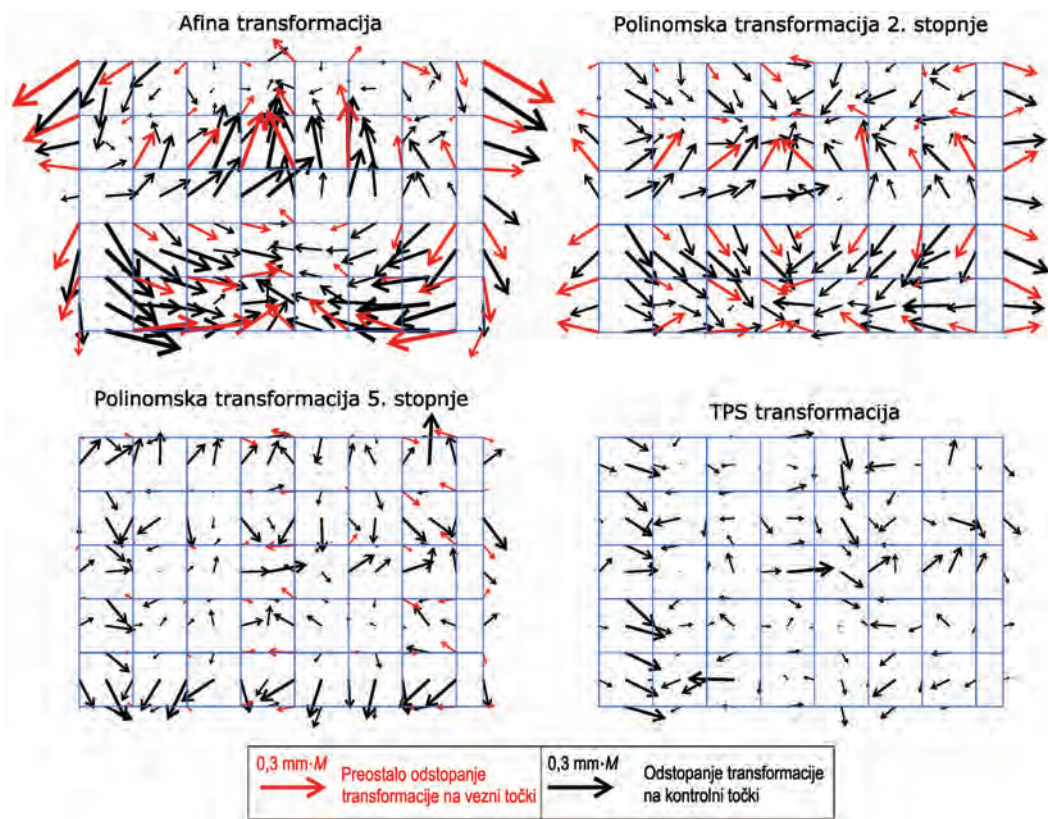
pomikov so si na veznih in bližnjih kontrolnih točkah zelo podobni. Afina transformacija se zato lahko uspešno uporabi za preučevanje zakonitosti porazdelitve distorzij tako na točkah, na podlagi katerih se določi transformacijski parametri, kot tudi na točkah, ki so predmet transformacije.



Slika 6: Porazdelitev odstopanj na kontrolnih točkah pomožne koordinatne mreže lista načrta SA111 v merilu 1 : 1000, dobljenih s polinomsko transformacijo 5. stopnje in transformacijo TPS.

Odstopanja afine transformacije na celotnem listu načrta zelo nihajo, največja so v zgornjem levem in desnem vogalu načrta. Vektorji razlik koordinat kažejo, da se lokalni sistematični vplivi z afino transformacijo bistveno ne odstranijo. Višanje stopnje polinoma pri polinomskih transformacijah se odrazi v spremembah odstopanj na posameznih točkah. Najboljši rezultat v smislu homogenosti dobimo s polinomsko transformacijo 5. stopnje. Enakomerna razporeditev in razmiki vozlišč osnovne koordinatne mreže na geodetskih načrtih nove izmere zagotavljajo, da se distorzije lahko učinkovito odstranijo s polinomskimi transformacijami višjih stopenj. Na območju med veznimi točkami se pri tem ne pojavljajo nezaželene geometrijske deformacije.

Še boljše rezultate, kot jih daje polinomska transformacija 5. stopnje, daje transformacija TPS. Pri njej so vektorji pomikov manjši, spremembe smeri in spremembe velikosti pa manj izrazite. S tem je potrjena predpostavka, da je mogoče s pravilno izbiro transformacijskega modela odpraviti velik del sistematičnih vplivov. Tudi pri modelu TPS vektorji pomikov v nekaterih primerih kažejo na lokalno sistematičnost v smeri in velikosti, vendar pa so te spremembe med bližnjimi točkami majhne in postopne. To kaže, da je mogoče s transformacijo TPS eliminirati del sistematičnih vplivov na ožjem območju, pri čemer se geometrijski odnosi med točkami na širšem območju ne spremenijo.



Slika 7: Preostala odstopanja po transformaciji točk koordinatne mreže lista načrta SA111 v merilu 1 : 1000 pri afini in polinomskih transformacijah ter modelu TPS-transformacije.

Z ustreznim modelom transformacije lahko odpravimo deformacije listov skeniranih načrtov. Položajna točnost vsebine načrtov, ocenjena s pomožno koordinatno mrežo, je tako rekoč enaka točnosti njihovega kartiranja in digitalizacije.

4.2.3 Ocena položajne točnosti na podlagi kontrolnih točk geodetske osnove

V analizo točnosti je vključena tudi geodetska mreža, ki je bila na liste kartirana pri prvotni izdelavi analognega geodetskega načrta. Teoretične (prave) vrednosti koordinat vzamemo iz trigonometričnega obrazca št. 25, digitalizirane koordinate točk pa obravnavamo kot merjene vrednosti. Analiza po standardu NSSDA je izvedena na podlagi koordinat 2492 točk (637 točk za načrte merila 1 : 500, 1139 točk za načrte merila 1 : 1000, 290 točk za načrte merila 1 : 2500 in 426 točk za načrte merila 1 : 5000).

Izračunana povprečna vrednost $RMSE$, točk geodetske osnove je v mejah od $0,10 \text{ mm} \cdot M$ do $0,15 \text{ mm} \cdot M$ (merila 1 : 500 in 1 : 1000) ter od $0,15 \text{ mm} \cdot M$ do $0,20 \text{ mm} \cdot M$ (merila 1 : 2500 in 1 : 5000). Na načrtih meril 1 : 2500 in 1 : 5000 so za oceno točnosti uporabljene tudi geodetske točke, nanese na dele načrtov, ki so bili izdelani s pomanjšanjem listov načrtov večjih meril. To je najverjetnejši razlog,

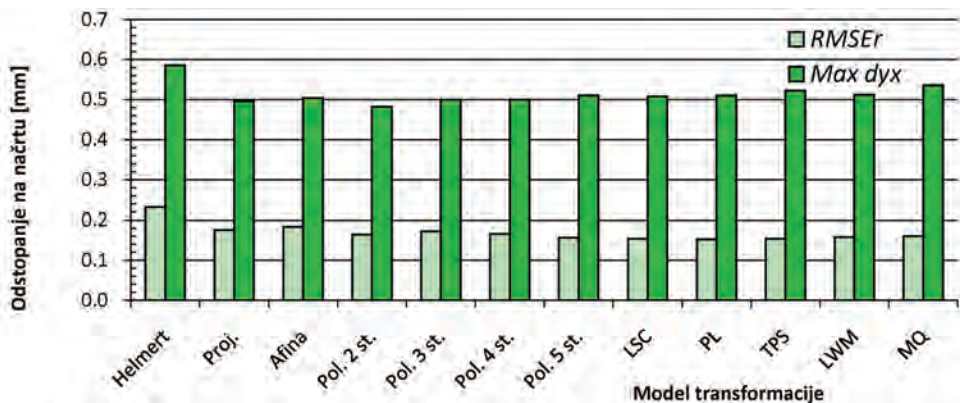
da je tu točnost slabša. Večje odstopanje od $0,3 \text{ mm} \cdot M$ ima statistično zanemarljivo število geodetskih točk. Na načrtih meril $1 : 500$ in $1 : 1000$ je za 95 % točk $d_{yx} < 0,2 \text{ mm} \cdot M$.

Primerjava rezultatov ocene točnosti transformiranih načrtov merila $1 : 1000$ na podlagi točk pomožne koordinatne mreže (podpoglavje 4.2.2) in na podlagi točk geodetske mreže kaže, da drugi način daje za približno 25 % večje vrednosti $RMSE_r$. Rezultati transformacije na podlagi točk geodetske mreže so torej slabši. Razlog za to je verjetno v postopku kartiranja. Del geodetskih točk ni bil kartiran na velikem koordinatografu skupaj s koordinatno mrežo, ampak naknadno. S tem je točnost kartiranja slabša, je pa tudi zelo odvisna od geodetskega strokovnjaka, ki je kartiranje izvedel. Pravilnost izvedbe postopka, sposobnost in odgovornost geodetskega strokovnjaka so odločilno vplivali na kakovost položaja naknadno kartiranih geodetskih točk na načrtu.

4.2.4 Ocena položajne točnosti na podlagi kontrolnih detajlnih točk

Zanima nas kakovost koordinat detajlnih točk, določenih z različnimi transformacijskimi modeli. Oceno omogoča primerjava teh koordinat s koordinatami, dobljenimi z obdelavo izvornih podatkov izmere. Izhajali smo iz terenskih zapisnikov detajlne izmere in skic izmere, vključno z dopolnilnimi kontrolnimi merami. Na podlagi podrobnega pregleda obsežnega gradiva so bile izračunane koordinate 5485 detajlnih točk (80 % ortogonalne izmere in 20 % polarne izmere – tahimetrije).

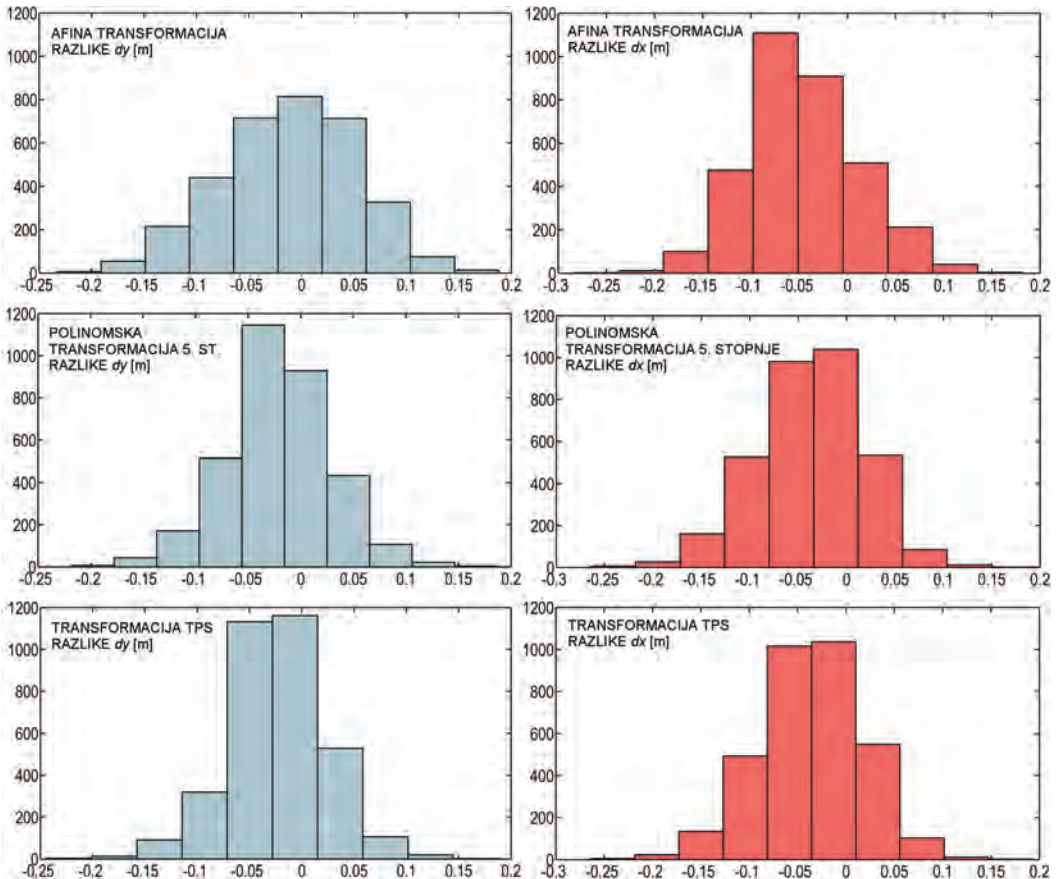
Rezultati primerjave koordinat detajlnih točk, izračunanih iz izvornih podatkov izmere, s koordinatami teh točk, dobljenimi s transformacijo iz izvornega sistema v BHDKS po standardu NSSDA, so v strnjeni obliki prikazani na sliki 8.



Slika 8: Povprečna vrednost korena srednjega kvadratnega pogreška $RMSE_r$ in največje položajno odstopanje $Max d_{yx}$ na detajlnih točkah na načrtu merila $1 : 500$ pri različnih modelih transformacije.

Statistične cenilke točnosti kažejo, da so najboljši rezultati dobljeni z uporabo metode LSC, polinomske transformacije 5. stopnje in transformacijskega modela TPS. Razlike transformiranih in teoretičnih koordinat detajlnih točk na načrtu merila $1 : 500$ so za 20 % večje od primerljivih razlik koordinat točk geodetske osnove. To je razumljivo glede na to, da detajlne točke na načrt niso nanesene z velikim koordinatografom obenem s koordinatno mrežo, ampak se je njihovo kartiranje izvedlo naknadno z ortogonalnimi in polarnimi koordinatografi (čemusom in polarnim transporterjem). Neizbežni majhni

pogreški se pojavljajo pri postavitvi (centriranje in orientiranje) in sami uporabi koordinatografa. Poleg tega se je kartiranje detajlnih točk pogosto izvedlo na podlagi geodetskih točk, ki na načrt niso bile kartirane obenem z geodetsko mrežo, ampak naknadno. Posledica tega je nehomogena natančnost kartiranja detajlnih točk in točk koordinatne mreže. Povprečne vrednosti $RMSE_r$ v odvisnosti od uporabljenega transformacijskega modela zato znašajo od $0,15 \text{ mm} \cdot M$ do $0,20 \text{ mm} \cdot M$, kar je več od pričakovane vrednosti $0,1 \text{ mm} \cdot M$ (Ivković, 2015b). Pri transformacijskih modelih, ki dajejo najboljše rezultate, znaša za približno 80 % detajlnih točk $RMSE_r < 0,2 \text{ mm} \cdot M$, medtem ko je približno 4 % točk obremenjenih z odstopanji, večjimi od $0,3 \text{ mm} \cdot M$.



Slika 9: Histogrami razlik teoretičnih in transformiranih koordinat detajlnih točk lista načrta SA 149b v merilu 1 : 500 pri uporabi afine, polinomske transformacije 5. stopnje in TPS-transformacije.

Podrobno je obravnavan list načrta SA 149b v merilu 1 : 500, na katerem je na celotnem koristnem prostoru enakomerno razporejenih 3374 detajlnih točk, za katere so izračunane koordinate na podlagi izvornih meritev. Razlike teoretičnih in transformiranih koordinat so na obravnavanem načrtu nepričakovano velike, še posebej, če upoštevamo točnost metodologije za izdelavo analognega načrta in točnost digitalizacije. Porazdeljujejo se v intervalih dolžine 406 mm po osi y in 460 mm po osi x (podatki za polinomske transformacije 5. stopnje). Porazdelitev odstopanj prikazujemo s histogrami na sliki 9. Uvedeno

je ustrezno število statističnih razredov iste širine znotraj celotnega intervala. Čeprav histogrami (slika 9) po obliki spominjajo na normalno porazdelitev, statistični testi potrjujejo, da je empirična porazdelitev razlik koordinat značilno različna od normalne. Preverjanje, ali so razlike transformiranih in teoretičnih koordinat detajlnih točk po osi y in x (dy_i in dx_i , $i = 1 \dots n$) normalno porazdeljene glede na parametre, $RMSE_y$, $RMSE_x$, je izvedeno s testom Jarque-Bera (Thadewald in Büning, 2007). Testi so pokazali, da razlike koordinat niso normalno porazdeljene pri nobenem od obravnavanih transformacijskih modelov. To kaže na nehomogenost rezultatov transformacije v smislu točnosti, oziroma glede na prisotne preostale sistematične pogreške.

Obstoj sistematičnih pogreškov potrdimo ali ovržemo z intervalnimi ocenami za matematično pričakovane razlike koordinat po osi y in x . Pri analizi srednjih vrednosti je treba ugotoviti, ali se te vrednosti značilno razlikujejo od nič. Vsako značilno odstopanje od nič namreč kaže, da so v rezultatih prisotni sistematični pogreški. Sum o prisotnosti sistematičnih pogreškov v koordinatnih razlikah dy in dx je ovržen, če je izpolnjen pogoj:

$$\bar{d} - t_{(\alpha/2, n-1)} \cdot \frac{RMSE}{\sqrt{n}} < 0 < \bar{d} + t_{(\alpha/2, n-1)} \cdot \frac{RMSE}{\sqrt{n}}$$

kjer je t vrednost iz Studenove porazdelitve s stopnjo značilnosti $\alpha/2$, za $n - 1$ prostostno stopnjo (Radojčić i dr., 2011). Izračunani intervali niti za en model, s katerim je list načrta SA 149b transformiran iz izvornega v ciljni koordinatni sistem, ne vključujejo ničle, kar potrjuje prisotnost sistematičnih pogreškov.

5 SKLEP

Kakovost georeferenciranja geodetskih načrtov je v marsičem odvisna od znanja, koncentracije in skrbnosti strokovnjakov, ki postopek izvajajo, pa tudi od uporabljenega transformacijskega modela. Potrjeno je, da je mogoče z globalnimi polinomskimi transformacijami, pri katerih se koeficienti transformacijske funkcije določijo na podlagi koordinatne mreže načrta, uspešno odpraviti distorzijo, ki je posledica deformacije nosilca načrta in napak skeniranja. Enakomerna razporeditev in gostota vozlišč koordinatne mreže zagotavljata, da s polinomskimi transformacijami višjih stopenj uspešno odpravimo navedena odstopanja brez pojava oscilacij v prostoru med veznimi točkami. Priporočil o izogibanju uporabe polinomov višjih stopenj za geometrijsko obdelavo rastrskih podatkov se torej na podlagi ugotovitev raziskave pri obdelavi skenogramov geodetskih načrtov ni treba držati.

Najkakovostnejši rezultati geometrijske transformacije geodetskih načrtov so bili doseženi s transformacijskimi tehnikami, zasnovanimi na radialnih baznih funkcijah, od katerih se je kot najboljša pokazala metoda tankoslojnega zleпка (TPS).

Analiza transformacij detajlnih točk na podlagi točk koordinatne mreže načrta kaže, da so razlike teoretičnih in transformiranih koordinat posledica ne samo pogreškov digitalizacije, ampak tudi pogreškov kartiranja točk koordinatne mreže in (naknadno) detajlnih točk. To pomeni, da pri transformaciji iz izvornega v ciljni koordinatni sistem na podlagi točk koordinatne mreže, kot zahtevajo uradni predpisi, z nobenim postopkom ni mogoče v celoti odpraviti napak, narejenih pri izdelavi analognega geodetskega načrta.

Literatura in viri:

- Ariza, L. F., Atkinson, G. A. (2008). Analysis of Some Positional Accuracy Assessment Methodologies. *Journal of Surveying Engineering*, 134(2), 45–54. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9453\(2008\)134:2\(45\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9453(2008)134:2(45))
- Berk, S. (2001). Možnosti transformacije katastrskih načrtov grafične izmere v državni koordinatni sistem. *Geodetski vestnik*, 45(1–2), 91–108.
- Berk, S., Fabiani, N., Fajdiga, D., Oven, K., Komadina, Ž., Čeh, M., Lisec, A., Pavlovič Prešeren, P., Stopar, B. (2015). Verifikacija vsedravnega modela transformacije med D48/GK IN D96/TM. *Geodetski vestnik*, 59(1), 159–167.
- Berk, S., Fajdiga, D., Fabiani, N., Černič, B., Bajec, K., Mivšek, E., Oven, K., Čeh, M., Ferlan, M., Lisec, A., Mencin, A., Pavlovič Prešeren, P., Sterle, O., Trobec, B., Stopar, B. (2014). Kontrola, izboljšava in verifikacija modela trikotniške transformacije za potrebe prehoda sloja ZK in drugih prostorskih podatkovnih zbirk iz D48/GK v D96/TM na pilotnem območju IOGU Ljubljana. Končno poročilo. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije in Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani.
- Berk, S., Komadina, Ž. (2013). Local to ETRS89 datum transformation for Slovenia : triangle-based transformation using virtual tie points. *Survey Review*, 45(328), 25–34. DOI: <http://dx.doi.org/10.1179/1752270611Y.00000000020>
- Bohdal, R. (2007). Picture Deformation Recovery of Cadastral Maps. *Journal of Electrical Engineering*, 58(7/5), 67–71.
- Burger, W., Burge, M. J. (2009). *Principles of Digital Image Processing: Core Algorithms*. London: Springer-Verlag.
- Burrough, P. A., McDonnell, R. (2006). Principi geografskih informacionih sistema. Prevod iz angleškega jezika B. Bajat in D. Blagojević. Beograd: Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu.
- Čeh, M., Lisec, A., Ferlan, M., Šumrada, R. (2011). Geodetsko podprta prenova grafičnega dela zemljiškega katastra. *Geodetski vestnik*, 55(2), 257–268. DOI: <http://dx.doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2011.02.257-268>
- Čeh, M., Šumrada, R., Ferlan, M., Švab, B., Lisec, A. (2012). Application of membrane homogenization method on Slovenian cadastral index map. *FIG Working Week 2012, Rim, Italija*, 6.–10. maj 2012. Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage. *Proceedings. Rim: FIG*, 2012, 10 str.
- Fogel, D. N., Tinney, L. R. (1996). Image Registration using Multiquadric Functions, the Finite Element Method, Bivariate Mapping Polynomials and the Thin Plate Spline. Santa Barbara, Kalifornija, ZDA: National Center for Geographic Information and Analysis.
- Gielsdorf, F., Gruendig, L., Aschoff, B. (2003). Geo-Referencing of Analogue Maps with Special Emphasis on Positional Accuracy Improvement Updates. *FIG Working Week 2003, Pariz, Francija*, 13.–17. april 2003, 8 str.
- Goshtasby, A. A. (2000). Transformation Functions. CiteSeer⁴. https://www.researchgate.net/publication/2316646_Transformation_Functions, pridobljeno 23. 4. 2015.
- Goshtasby, A. A. (2005). 2-D and 3-D Image Registration for Medical, Remote Sensing, and Industrial Applications. Hoboken, New Jersey, ZDA: John Wiley & Sons, Inc.
- Huisman, O., de By, R. A. (ur.) (2001). *Principles of Geographic Information Systems*. Enschede, Nizozemska: The International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC).
- Ivković, M. (2015a). Digitalni planovi. Interna skripta. www.geof.unizg.hr/~mivkovic/nastava_files/DP-mivkovic.pdf, pridobljeno 20. 4. 2015.
- Ivković, M. (2015b). Geodetski planovi. Interna skripta. <http://bs.scribd.com/doc/234237254/Geodetski-planovi-M-Ivkovic#scribd>, pridobljeno 30. 4. 2015.
- Ključanin, S. (2013). INSPIRATION: National report Bosnia and Herzegovina (Act. 1.3) – District Brcko. Zagreb: Projekt INSPIRATION – Spatial Data Infrastructure in the Western Balkans, projekt ID: EuropeAid/130907/C/SER/Multi. http://www.gfa-group.de/web-archiv/inspire/www.inspiration-westernbalkans.eu/5/8/9/9/0/3/Nacionalno_IPP_izvjesce_Distrikt_Brcko.pdf, pridobljeno 2. 11. 2015.
- Lero, M. (2005). Metodologija održavanja i obnove katastra nepokretnosti u RS-BiH. Doktorska disertacija (delovna verzija). Beograd: Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu.
- MapSoft (2014). Beograd: Preduzeće za geometiku MapSoft, d.o.o. <http://www.mapsoft.rs/index.php/sr/gis-softver/mapsoft/mapsoft>, pridobljeno 5. 1. 2015.
- Miladinović, M. (2005). Geodetski planovi. <http://www.scribd.com/doc/203228058/91Geodetski-Planovi-MM#scribd>, pridobljeno 4. 11. 2013.
- Ninkov, T., Uljarević, B. (1991). Razmatranje problema prevođenja grafičkih baza u digitalni oblik. V: J. Kobolica, D. Štemberger, M. Gostović, B. Borozan, E. Rončić in R. Ribarovski (ur.). *Savetovanje nove tehnologije u geodeziji: Zbornik radova* (str. 127–137). Neum, BiH: Savez geodetskih inženjera i geometara Jugoslavije.
- NSSDA – Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy (1998). Reston, Virginija, ZDA: Federal Geographic Data Committee (FDGC), Subcommittee for Base Cartographic Data.
- Ochis, H., Russell, E. C., Hoffer, R. M. (1997). Comparison of a Triangulation-Based Piecewise Transformation to Polynomial-Based Geometric Correction Algorithms. *ACSM ASPRS annual convention and exposition. Remote sensing and photogrammetry*, 3, 215–225.
- Pravilnik o bazi podataka katastra nekretnina (2008). Sarajevo: Federalna uprava za geodetske i imovinsko pravne poslove. <http://www.fgu.com.ba/bs/pravilnici.html?file=files/Stranice/PDF>, pridobljeno 5. 1. 2014.
- Pravilnik o digitalnom geodetskom planu (2004). Službeni glasnik Republike Srpske, 13(43). <http://www.rgurs.org/dokumenti/pravilnici/Pravilnik%20o%20digitalnom%20geodetskom%20planu.pdf>, pridobljeno 7. 4. 2015.
- Radojčić, S., Borisov, M., Božić, B. (2011). Položajna tačnost geografskih informacija i savremeni standardi za njeno ocenjivanje. *Glasnik Srpskog geografskog društva*, 91(2), 99–112. DOI: <http://dx.doi.org/10.2298/GSGD1102099R>
- Riazanoff, S., Santer, R. (2006). Quality of Raster Data. V: R. Devillers in R. Jeansoulin (ur.), *Fundamentals of Spatial Data Quality* (str. 61–88). London: ISTE Ltd. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/9780470612156.ch4>
- Ročić, M., Cetl, V. (2002). Transformacije geometrijskih podataka u katastru. *Geodetski list*, 79(3), 155–170.
- Ročić, M., Cetl, V., Matijević, H., Kapović, Z., Mastelić Ivić, S., Ivić, I. (2002). Prevođenje katastarskih planova izrađenih u Gauss-Kruegerovoj projekciji u digitalni vektorski oblik – postupci i procedure. Zagreb: Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Schowengerdt, R. A. (2007). *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. Burlington, Massachusetts: Elsevier Inc.

- Stefanović, S. (2007). Komparativna analiza postojećih programa za georeferenciranje. Geodetska služba, 107–108, 5–11.
- Thadewald, T., Büning, H. (2007). Jarque–Bera test and its competitors for testing normality: A power comparison. Journal of Applied Statistics, 34(1), 87–105. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/02664760600994539>
- Tuno, N. (2007). Polinomska transformacija u georeferenciranju. Geodetski glasnik, 39, 38–46.
- Vračarić, K., Marošan, S. (2003). Podela duži u datoj srazmeri primenjena na digitalizaciju koordinata tačaka. Geodetska služba, 32(3), 9–15.
- Vukotić, Nj., Senić, N., Šimić, S. (1989). Primjena CAD/CAM sistema na obradi planova i karata u komasaciji. V: M. Gostović, D. Štemberger, V. Rančković, L. Barcal in Z. Galić (ur.), Savetovanje geodezija i informacijski sistemi u prostoru, katastra zemljišta: Zbornik radova (str. 213–225). Jajce, BiH: Savez geodetskih inženjera i geometara Jugoslavije.

Tuno N., Mulahusić A., Kogoj D. (2015). Vrednotenje modelov transformacije geodetskih načrtov. Geodetski vestnik, 59 (4): 736-751.
DOI: 10.15292/geodetski-vestni.2015.04.736-751

doc. dr. Nedim Tuno, univ. dipl. inž. geod.

Univerza v Sarajevu, Građevinski fakultet
Patriotske lige 30, BIH-71000 Sarajevo, Bosna in Hercegovina
e-naslov: nedim_tu@yahoo.com

izr. prof. dr. Dušan Kogoj, univ. dipl. inž. geod.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: dusan.kogoj@fgg.uni-lj.si

izr. prof. dr. Admir Mulahusić, univ. dipl. inž. geod.

Univerza v Sarajevu, Građevinski fakultet
Patriotske lige 30, BIH-71000 Sarajevo, Bosna in Hercegovina
e-naslov: amulahusic@yahoo.com