

Razvoj datumske transformacije med D48 in D96 z uporabo metode NTV2

Development of the datum transformation between the D48 and D96 using the NTV2 method

Bojan Šavrič, Dragan Šević, Nejc Rus, Mark David Longar, Andrej Trunkl

UDK: 528:519.2(497.4)
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.01
Prispelo: 11. 2. 2025
Sprejeto: 28. 7. 2025

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2025.03..316-327
SCIENTIFIC ARTICLE
Received: 11. 2. 2025
Accepted: 28. 7. 2025

IZVLEČEK

Geodetska uprava je za prehod med starim D48/GK in sedanjim referenčnim koordinatnim sistemom D96/TM uporabila model trikotniške transformacije za celotno državo. Kljub izvedenemu prehodu na aktualni koordinatni sistem v letu 2022 je po raznih ustanovah ostalo še kar nekaj starih podatkov, ki jih je treba transformirati. Ker trikotniška transformacija v programski opremi GIS ni podprta, se uporabniki srečujejo z dodatnim delom, saj morajo stare podatke transformirati v sedanji referenčni koordinatni sistem zunaj obstoječega GIS-ekosistema. V tej razpravi predstavljamo razvoj datumske transformacije na podlagi gridne metode NTV2 za prehod med geodetskima datumoma D48 in D96. Ta alternativna rešitev razmeroma točno (znotraj 1 centimetra) simulira vsedržavni model trikotniške transformacije ter tako omogoča uporabnikom natančnejšo trajno ali sprotno transformacijo starih prostorskih podatkov neposredno v programski opremi GIS.

ABSTRACT

The Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia used a triangle-based transformation model for the entire country to transform between the old D48/GK and the current D96/TM coordinate reference systems. Despite the transition to the current coordinate system being completed in 2022, much old data remains across various institutions that needs to be transformed. Because the triangle-based transformation is not supported in GIS software, users are faced with additional work, as they must transform old data to the current coordinate reference system outside the established GIS ecosystem. In this article, we present the development of a datum transformation using the NTV2 grid method for transitioning between the D48 and D96 geodetic datums. This alternative solution simulates the nationwide triangle-based transformation model quite accurately (within 1 centimeter) and thus allows users to transform their outdated spatial data directly within GIS software, whether permanently or on-the-fly.

KLJUČNE BESEDE

datumska transformacija, D48, D96, NTV2, trikotniška transformacija, ArcGIS

KEY WORDS

datum transformation, D48, D96, NTV2 transformation, triangle-based transformation, ArcGIS

1 UVOD

V Sloveniji se je za prehod med starim D48/GK in sedanjim referenčnim koordinatnim sistemom D96/TM uporabil vsedržavni model trikotniške transformacije, ki temelji na pravilni trikotniški mreži in virtualnih veznih točkah (Berk in Komadina, 2010 in 2013; Geodetska uprava Republike Slovenije, 2024), po vzoru Švice (Triglav, 2014). Geodetska uprava je zagotovila tudi brezplačni program 3tra (Berk, 2017) ter spletno aplikacijo SiTrik (Kozmus Trajkovski in Stopar, 2017) za transformacijo prostorskih podatkov v različnih formatih. Ocenjena točnost transformacije na ozemlju Slovenije je višja od 10 centimetrov (Berk, 2017; Geodetska uprava Republike Slovenije, 2024).

V letu 2019 je Geodetska uprava končala transformacijo vseh svojih prostorskih podatkovnih zbirk v ravninski referenčni koordinatni sistem D96/TM (Geodetska uprava Republike Slovenije, 2019 in 2024). S 1. januarjem 2022 se je končalo tudi prehodno obdobje hkratnega izdajanja prostorskih podatkov v starem in aktualnem koordinatnem sistemu (Geodetska uprava Republike Slovenije, 2019; Inženirska zbornica Slovenije, 2021). Kljub temu je po slovenskih ustanovah ostalo precej prostorskih podatkov v starem sistemu in jih je treba transformirati v obstoječi referenčni koordinatni sistem. Prav zato je še vedno prisotna potreba po transformacijah med obema koordinatnima sistemoma v programski opremi GIS.

V tej razpravi želimo pojasniti razloge za razvoj datumske transformacije na podlagi gridne metode NTv2 (angleška kratica za *National Transformation Version 2*), ki se danes morda zdi nepotrebna, ter predstaviti postopek določitve samega NTv2-grida. Razprava tudi povzema analizo rezultatov nove transformacije ter jih primerja z rezultati brezplačnega programa 3tra.

2 TEŽAVE UPORABNIKOV GIS

Pri delu s prostorskimi podatkovnimi zbirkami v starem koordinatnem sistemu je treba uporabiti programske rešitve, ki omogočajo trajno ali sprotno transformacijo podatkov v sedanji referenčni koordinatni sistem. V zbirki geodetskih parametrov EPSG so za Slovenijo predvidene 7-parametrične prostorske podobnostne transformacije. Ocenjena točnost teh transformacij je reda velikosti nekaj decimetrov za sedem različnih regij in tri pokrajine ter do reda velikosti enega metra za celotno državo. Zbirka EPSG predvideva tudi 4-parametrične ravninske podobnostne transformacije za 24 različnih območij s točnostjo dva decimetra (Berk in Boldin, 2017; Berk, Boldin in Šavrič, 2018; EPSG Registry, 2024; Geodetska uprava Republike Slovenije, 2024 in 2025). Medtem ko program QGIS podpira vse zgoraj omenjene transformacije v zbirki EPSG, so v programskih rešitvah ArcGIS trenutno na voljo le 7-parametrične prostorske podobnostne transformacije. Tako se mora uporabnik GIS, če ne želi uporabiti druge programske rešitve, zadovoljiti z metrsko točnostjo transformacije, ali pa območje države razdeliti na manjša območja, jih ločeno transformirati ter nato ponovno združiti, da doseže točnost v rangju nekaj decimetrov.

Rešitev je seveda uporaba brezplačnega programa 3tra ali pa spletne aplikacije SiTrik ter predpriprava prostorskih podatkov pred vnosom v programsko opremo GIS. Pri tem je treba podatke izvoziti v formate, ki jih podpira program 3tra. Ker obe programski rešitvi nista del obstoječega GIS-ekosistema, se pri transformaciji v trenutni koordinatni sistem tudi izgubijo določene povezave med elementi geopodatkovnih baz in jih je treba na novo vzpostaviti pri uvozu transformiranih podatkovnih zbirk. Tako je uporabnik spet obremenjen z dodatnim delom, ki ga mora opraviti, ter z uporabo več programskih orodij.

Te težave uporabnikov bi lahko enostavno rešila implementacija trikotniške transformacije v programsko opremo GIS, saj bi omogočila neposredno transformacijo podatkov med starim in sedanjim koordinatnim sistemom znotraj uporabljene programske rešitve. Pri tem bi se ohranila tudi povezljivost med bazami podatkov v obstoječem GIS-ekosistemu. Ker je točnost trikotniške transformacije precej večja od obstoječih transformacij v zbirki EPSG, bi se z njeno implementacijo izboljšali tudi vsi avtomatski izračuni v ozadju programske opreme GIS, kot tudi običajna sprotna transformacija podatkov za pregled v programski opremi.

Čeprav je Geodetska uprava na svoji spletni strani objavila virtualne vezne točke ter podrobno dokumentirala samo metodo izračuna (Geodetska uprava Republike Slovenije, 2017 in 2024), je implementacija trikotniške transformacije do danes ostala omejena na domače programske rešitve in specializirana orodja. Glavna ovira za njeno vključitev v programske rešitve ArcGIS je prav v sami metodi izračuna. Trikotniška transformacija se namreč izvaja med dvema ravninskima koordinatnima sistemoma, D48/GK in D96/TM. Zaradi istega razloga tudi 4-parametrične ravninske podobnostne transformacije, predvidene v zbirki EPSG, niso podprte. V okolju ArcGIS se namreč prehodi med različnimi geodetskimi datumi in terestričnimi referenčnimi sestavi običajno izvajajo na ravni geodetskih koordinatnih sistemov in preko sistemov trirazsežnih kartezičnih koordinat. Ker bi implementacija trikotniške transformacije zahtevala bistvene arhitekturne spremembe v programski zasnovi ArcGIS, smo se raje odločili za simulacijo trikotniške transformacije z gridno metodo NTv2. Tako smo uporabnikom hitreje omogočili natančnejšo transformacijo prostorskih podatkov v sedanji referenčni koordinatni sistem neposredno v programskih rešitvah ArcGIS.

3 ZAKAJ RAVNO TRANSFORMACIJA Z METODO NTv2?

V programski opremi GIS, kot sta ArcGIS in QGIS, se prehodi med različnimi geodetskimi datumi izvajajo z matematičnimi metodami, kot je na primer 7-parametrična podobnostna transformacija, ali z gridnimi metodami, ki običajno omogočajo boljšo natančnost in jih je razmeroma enostavno implementirati v programsko opremo. Takšni transformacijski gridi so običajno določeni v izvornih geodetskih koordinatah in omogočajo prehode neposredno med geodetskimi referenčnimi koordinatnimi sistemi. Za gride se danes uporablja več podatkovnih formatov. GeoTIFF oziroma COG (angleška kratica za *Cloud Optimized GeoTIFF*) se uporablja v programski knjižnici PROJ (PROJ sodelavci, 2024), ki je del programa QGIS, medtem ko je format NTv2 najpogostejši v programskih rešitvah ArcGIS.

Podatkovni format NTv2 je razvila geodetska služba kanadske vlade, natančnejše Natural Resources Canada. Glavni namen formata NTv2 je bila pridobitev natančnejše transformacije za prehod med referenčnima koordinatnima sistemoma NAD27/ $\phi\lambda$ in NAD83/ $\phi\lambda$ za Kanado. NTv2-gridi vsebujejo mrežo točk s premiki v kotnih sekundah, ki omogočajo transformacijo geodetskih koordinat iz enega sistema v drugega z uporabo bilinearne interpolacije. Hibridna različica dovoljuje tudi podrejene gride, ki so lahko bolj zgoščeni na izbranih podobmočjih, kjer so razlike med koordinatnimi sistemi bolj variabilne in je zato potrebna večja gostota. Sama datoteka se lahko zapiše v binarni ali ASCII podatkovni obliki (Government of Ontario IT Standards, 2005). Transformacijska metoda na podlagi NTv2-grida je vključena tudi v zbirko geodetskih parametrov EPSG pod kodo EPSG::9615 (EPSG Registry, 2024).

Datumske transformacije z gridno metodo NTv2 niso v široki uporabi le v Kanadi, temveč tudi drugod po svetu. V Evropi takšne transformacije med drugim omogočajo geodetske službe Avstrije,

Belgije, Francije, Irske, Islandije, Italije, Latvije, Madžarske, Nemčije, Nizozemske, Portugalske, Srbije, Španije, Švice in Združenega kraljestva (EPSG Registry, 2024). Prav Švica je za prehode med referenčnimi koordinatnimi sistemi CH1903/ $\phi\lambda$, CH1903+/ $\phi\lambda$ in CHTRF95/ $\phi\lambda$ poustvarila svojo trikotniško transformacijo v obliki NTv2-grida za uporabo v komercialni programski opremi GNSS in GIS (swisstopo, 2024).

4 DOLOČITEV NTv2-GRIDA PREMIKOV

Za pripravo NTv2-grida premikov med starim in sedanjim referenčnim koordinatnim sistemom za Slovenijo smo uporabili brezplačni program 3tra (Berk, 2017). Gridne točke so bile najprej določene v starem geodetskem koordinatnem sistemu D48/ $\phi\lambda$ ter nato pretvorjene v ravninski koordinatni sistem D48/GK. Po transformaciji s programom 3tra smo ravninske koordinate v sistemu D96/TM pretvorili nazaj v geodetske koordinate in za vsako točko grida določili premike v kotnih sekundah za obe geodetski koordinati. Na koncu je sledil še zapis celotnega grida s premiki v binarni obliki NTv2.

Pri pripravi transformacije z gridno metodo NTv2 je na prvem mestu pomembna točnost takšne transformacije glede na obstoječe rešitve. Skoraj enako pomembna je velikost NTv2-datoteke, saj vpliva na implementacijo v programska orodja in na hitrost delovanja programskih algoritmov. Večja kot je datoteka, težavnejša sta njeno nalaganje in uporaba. Zato smo pri pripravi osnove grida skrbno določili območje in ločljivost premikov, ki najbolj vplivata na končno velikost datoteke. V nadaljevanju razprave na kratko povzemamo korake določitve območja in izbiri primerne ločljivosti NTv2-grida.

4.1 Določitev območja

Osnova za določitev območja je bila spletna aplikacija SiTrik (Kozmus Trajkovski in Stopar, 2017). Ta omogoča transformacijo koordinat točk, podanih v ravninskih koordinatah D48/GK oziroma D96/TM, z mejnimi vrednostmi koordinat (prikazano tudi na sliki 1):

$$355000 \text{ m} < y/e < 635000 \text{ m}$$

$$20000 \text{ m} < x/n < 200000 \text{ m}$$

Če pretvorimo mejne vrednosti v obeh ravninskih sistemih v geodetske koordinate, dobimo naslednje mejne vrednosti:

D96/TM --> D96/ $\phi\lambda$

$$13^{\circ}05'45,6252'' < \lambda < 16^{\circ}46'21,2520''$$

$$45^{\circ}18'17,9316'' < \phi < 46^{\circ}56'22,1604''$$

D48/GK --> D48/ $\phi\lambda$

$$13^{\circ}05'44,1852'' < \lambda < 16^{\circ}46'23,2392''$$

$$45^{\circ}18'34,4016'' < \phi < 46^{\circ}56'39,3''$$

Dobljene mejne vrednosti v geodetskih koordinatah se razlikujejo, ker datuma uporabljata drugačna referenčna elipsoida. Datum D48 je definiran na Besselovem elipsoidu, medtem ko je datum D96 določen na elipsoidu GRS80. Ker je referenčni elipsoid GRS80 večji, sta razpona geodetske dolžine in širine v sistemu D96/ $\phi\lambda$ nekoliko manjša v primerjavi z razponoma v geodetskem koordinatnem sistemu D48/ $\phi\lambda$.

Pri prvem testnem izračunu NTv2-grida so bili premiki geodetskih koordinat v obsegu naslednjih vrednosti v kotnih sekundah:

$$16,3190'' < \Delta\lambda < 18,1514''$$

$$-1,5245'' < \Delta\phi < -0,6227''$$

Pri določitvi končnega območja smo najprej združili mejne vrednosti, pridobljene iz spletne aplikacije SiTrik, ter jih dodatno razširili za največjo absolutno vrednost premikov za vsako koordinato posebej. Nato smo obe območji pretvorili v kotne sekunde ter jih zaokrožili na najbližjih 100'' navzdol za spodnjo mejo oziroma navzgor za zgornjo mejo. Ta zadnji korak zaokrožitve mejnih vrednosti je praktične narave, saj je lahko v pomoč pri iskanju morebitnih napak pri implementaciji transformacije v programska orodja ter pri njeni uporabi. Omogoča pa tudi določitev zaokroženih vrednosti ločljivosti grida.

Končne mejne vrednosti območja NTv2-grida v kotnih sekundah so naslednje (prikazano tudi na sliki 1):

$$47100'' < \lambda < 60500''$$

$$163000'' < \phi < 169100''$$



Slika 1: Prosojna turkizna barva predstavlja območje NTv2-grida, prekinjena modra črta pa mejne vrednosti spletne aplikacije SiTrik. Prikaz je pripravljen v ravninskem koordinatnem sistemu D48/GK.

4.2 Izbira ločljivosti

Na izbiro ločljivosti NTv2-grida vplivata želena točnost transformacije in velikost NTv2-datoteke. Manjša kot je ločljivost oziroma gostota grida, manjša bo tudi velikost datoteke. Po drugi strani pa večja točnost transformacije zahteva večjo gostoto. Izbira ločljivosti grida je tako iskanje pravega ravnesaja med obema kriterijema.

Privzeta vrednost natančnosti-toleranca shranjevanja podatkov v prostorskih podatkovnih zbirkah je 0,1 milimeter. Če se rezultati transformacije z gridno metodo NTv2 in programa 3tra ne bi razlikovali za več, kot je privzeta toleranca, bi lahko trdili, da je transformacija popolna. To je teorija. V praksi pa zadošča že, da točnost transformacije ni manjša od ocenjene točnosti trikotniške transformacije, ki znaša 10 centimetrov. Naš cilj pri razvoju NTv2-grida je bil doseči eno desetino tega, tj. 1 centimeter.

Za zanesljivo uporabo transformacij z gridno metodo NTv2 je priporočljivo izpolniti še dodaten pogoj, in sicer da so vsi premiki manjši od ločljivosti grida. Pogoj je namenjen zagotavljanju povratnosti transformacije, zlasti če gre za premike, podobne deformacijskim modelom, ki lahko močno spreminjajo smer, ter za transformacije ob robovih NTv2-grida v programskih rešitvah ArcGIS, kjer lahko posamezne točke po transformaciji zaidejo iz območja. Pri prvem testnem izračunu NTv2-grida je bila smer vseh premikov enaka, velikost premikov geodetskih dolžin pa je bila ocenjena med 16 in 18 kotnih sekund.

Za transformacijo med koordinatnima sistemoma D48/ $\phi\lambda$ in D96/ $\phi\lambda$ smo zato v prvem koraku uporabili enotne ločljivosti 20", 10" in 5", da bi ocenili, katera ločljivost je primernejša za doseg želene točnosti transformacije. Ker ločljivosti 10" in 5" ne izpolnjujeta dodatnega pogoja glede ločljivosti in premikov, saj je razpon premikov geografskih dolžin precej večji, smo v nadaljevanju pripravili še dodatni grid z ločljivostjo 20" $\times$ 10".

Zgolj za primerjavo, transformacija z gridno metodo NTv2 za Švico (EPSG::15486) z ocenjeno natančnostjo 20 centimetrov uporablja ločljivost 30" $\times$ 30". Najnovejša avstrijska transformacija (EPSG::9910) pa ima ločljivost 7" $\times$ 5" in natančnost 14 centimetrov. Velikost NTv2-datoteke za švicarsko transformacijo je okoli 3 MB, medtem ko je velikost avstrijske kar 127 MB (EPSG Registry, 2024).

5 PRIMERJAVA REZULTATOV IN NARAVA NAJVEČJIH RAZLIK

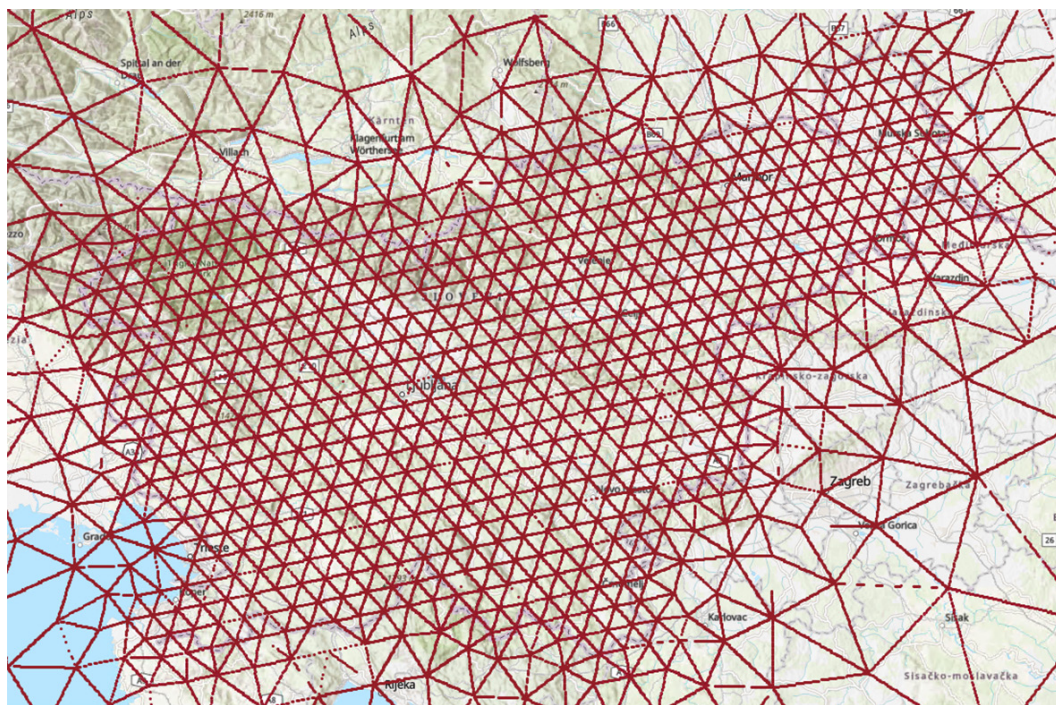
Za izbiro končnega NTv2-grida ter oceno točnosti transformacije smo izračunali razlike med rezultati transformacij s pripravljenimi gridi in programom 3tra. Glede na naravo gridnih modelov in uporabo bilinearne interpolacije znotraj posameznih celic je moč pričakovati največja odstopanja prav na sredini gridnih celic. Zato smo za testiranje najprej uporabili prav te točke na sredini. Preglednica 1 povzema rezultate izračunov za vse štiri pripravljene NTv2-gride.

Preglednica 1: Preglednica prikazuje velikost NTv2-datoteke, število gridnih točk in celic ter izračunane razlike med rezultati transformacij s pripravljenimi NTv2-gridi in programom 3tra za vse štiri gride.

Grid	Velikost	Št. točk/celic	Razlike	ΔE [cm]	ΔN [cm]	$ \Delta E + \Delta N $ [cm]
20" $\times$ 20"	3.209 kB	205.326	Povprečje	0,0001	-0,0002	0,0182
		204.350	Minimum	-0,7644	-0,8886	0,0000
			Maksimum	0,7278	0,8439	0,8892
20" $\times$ 10"	6.407 kB	409.981	Povprečje	-0,0001	-0,0001	0,0093
		408.700	Minimum	-0,5401	-0,7241	0,0000
			Maksimum	0,4769	0,7466	0,8175
10" $\times$ 10"	12.803 kB	819.351	Povprečje	0,0000	-0,0001	0,0050
		817.400	Minimum	-0,3813	-0,5602	0,0000
			Maksimum	0,3627	0,4539	0,5655
5" $\times$ 5"	51.149 kB	3273.501	Povprečje	0,0000	0,0000	0,0016
		3269.600	Minimum	-0,2319	-0,2402	0,0000
			Maksimum	0,1588	0,2043	0,2880

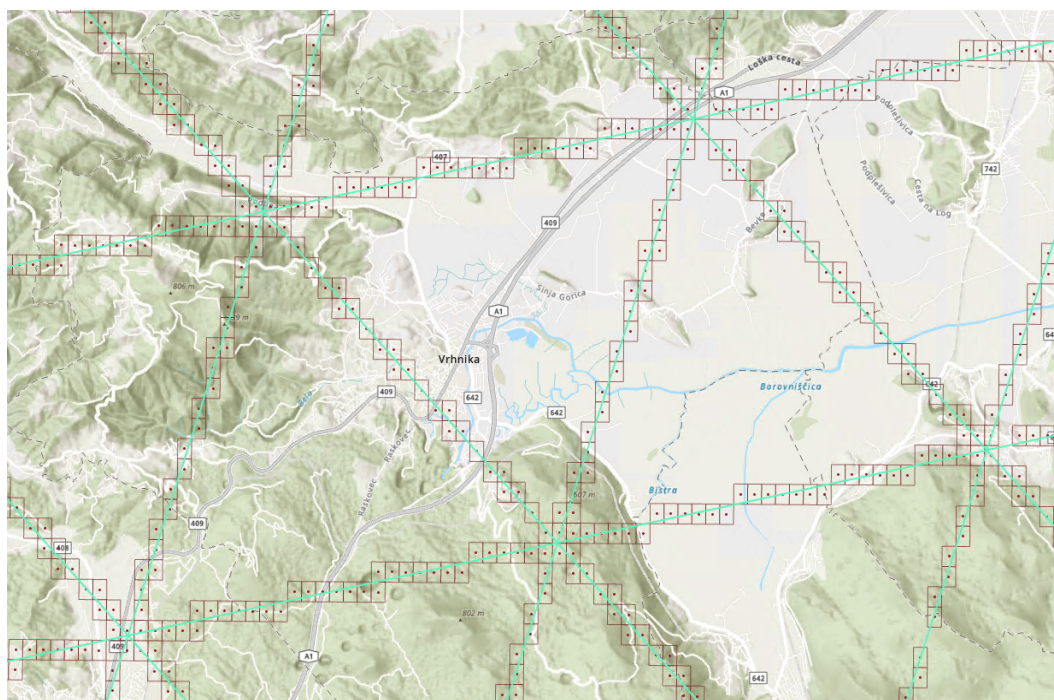
Maksimalne razlike transformacij vseh štirih gridov s programom 3tra ne presegajo ciljne vrednosti 1 centimeter. Vsi gridi, razen tistega z ločljivostjo $20'' \times 20''$, imajo povprečno razliko manjšo od 0,1 milimetra (preglednica 1). Pri gridu z ločljivostjo $20'' \times 20''$ kar 39.156 od skupno 204.350 testnih točk odstopa za več kot 0,1 milimetra, kar predstavlja približno 19,16 % vseh točk. Pri gridu z ločljivostjo $10'' \times 10''$ je takšnih točk 70.897 (8,67 %) od skupno 817.400, pri gridu z ločljivostjo $5'' \times 5''$ pa 107.860 (3,3 %) od skupno 3269.600 testnih točk. Po pričakovanju z večjo gostoto grida pridobimo tudi večjo točnost transformacije.

Ker smo pri razvoju podobnih gridov običajno dosegli precej manjša odstopanja (velikokrat celo manj kot 1 mikrometer), nas je v nadaljevanju zanimala prostorska razporeditev testnih točk z največjimi odstopanji. Za izris smo uporabili NTv2-grid z ločljivostjo $10'' \times 10''$ ter le testne točke in njihove gridne celice, katerih odstopanja so večja od 0,1 milimetra. Izris prikazujeta sliki 2 in 3.



Slika 2: Razporeditev gridnih celic, kjer se rezultati med programom 3tra in transformacijo z NTv2-gridom ločljivosti $10'' \times 10''$ razlikujejo za več kot 0,1 milimetra. Prikaz je pripravljen v ravninskem koordinatnem sistemu D48/GK.

Vzorec, ki ga izrisujejo testne točke z največjimi razlikami, je dejansko identičen trikotniški mreži, uporabljeni za trikotniško transformacijo v programu 3tra. V vseh primerih gre za testne točke iz tistih gridnih celic, ki pokrivajo robove trikotnikov. Ali povedano drugače, gridne celice, katerih gridne točke se nahajajo v dveh ali več različnih trikotnikih, imajo največja odstopanja. V nekaterih primerih je dovolj, da je le ena gridna točka celice v drugem trikotniku. Slika 3 prikazuje nekaj takšnih gridnih celic in testnih točk na območju Vrhnike.



Slika 3: Prikaz testnih točk in njihovih gridnih celic na območju Vrhnike, kjer se rezultati med programom 3tra in transformacijo z NTv2-gridom ločljivosti $10'' \times 10''$ razlikujejo za več kot 0,1 milimetra. Ravne turkizne črte predstavljajo trikotniško mrežo na tem območju. Prikaz je pripravljen v ravninskem koordinatnem sistemu D48/GK.

V nadaljevanju smo preverili, ali so večja odstopanja omejena na posamezne gridne celice. Za to analizo smo izbrali območje Radovne v občini Gorje, kjer je celica z največjim odstopanjem znotraj Slovenije pri gridu z ločljivostjo $10'' \times 10''$. Mejne vrednosti testnega območja so bile naslednje:

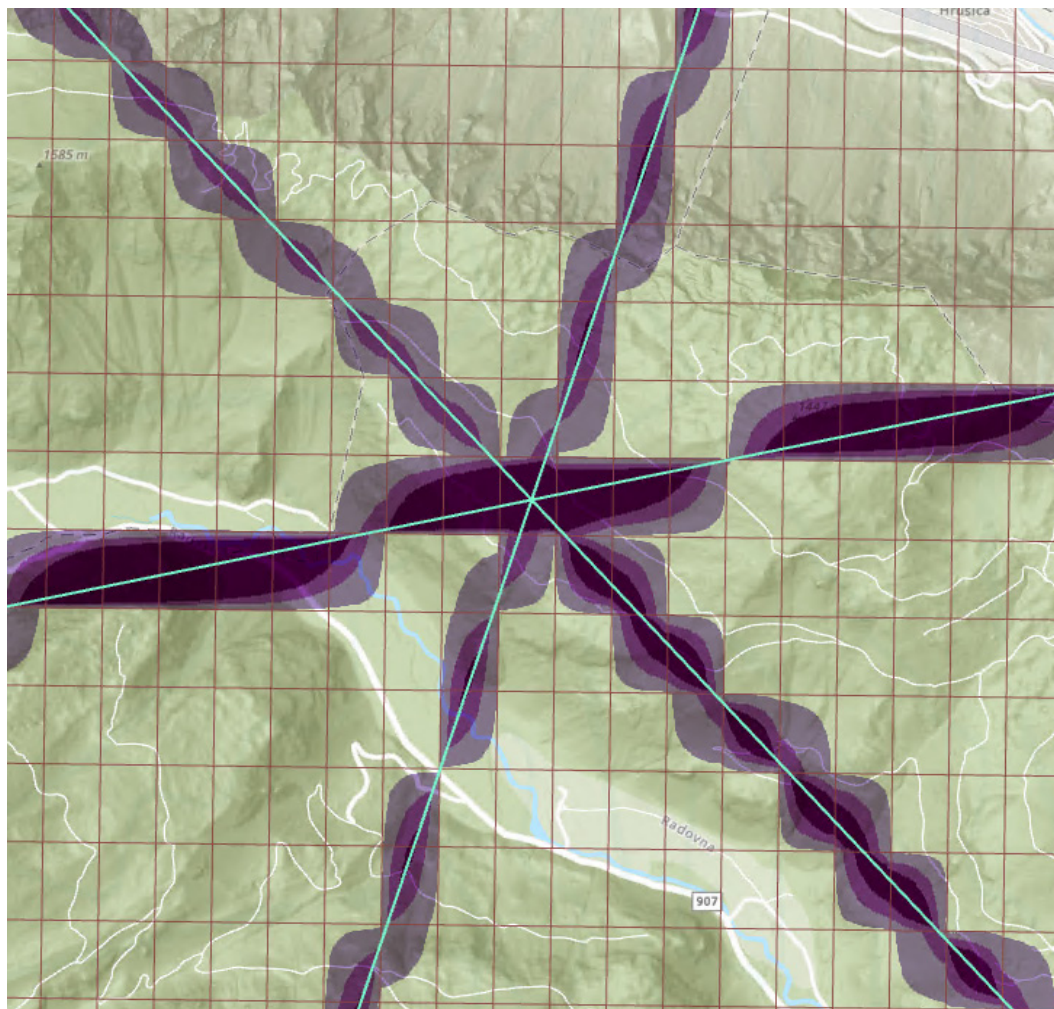
$$420000 \text{ m} < y/e < 424000 \text{ m}$$

$$141500 \text{ m} < x/n < 145500 \text{ m}$$

Na izbranem območju Radovne smo v razmiku vsakih 5 metrov transformirali testne točke s programom 3tra ter s transformacijo na podlagi NTv2-grida z ločljivostjo $10'' \times 10''$ in primerjali rezultate. V tem primeru nas je zanimala le prostorska razporeditev razlik, ki je prikazana na sliki 4. Prosojna območja predstavljajo točke, kjer so razlike manjše od 0,1 milimetra.

S slike 4 je razvidno, da se največje razlike res pojavljajo le ob robovih trikotnikov ter samo znotraj gridnih celic, katerih gridne točke se nahajajo v dveh ali več različnih trikotnikih. Takšna narava največjih odstopanj niti ni presenetljiva in jo je moč pojasniti. Vsak trikotnik v trikotniški mreži ima svojo afino ravninsko transformacijo. Ko so vse štiri gridne točke celice znotraj istega trikotnika, so premiki znotraj takšne celice homogeni in je transformacija z NTv2-gridom izredno točna. Kadar pa celica prečka rob trikotnika trikotniške mreže in je vsaj ena gridna točka celice v drugem trikotniku, ta homogenost znotraj celice ne obstaja več, kar povzroči večje razlike. Velikost teh razlik pa je najverjetneje odvisna prav od razlik med afinimi transformacijami sosednjih trikotnikov. Ker trikotniška mreža pokriva celotno območje

Slovenije, te težave ni mogoče rešiti s hibridno verzijo NTv2-grida, ki omogoča podrejene gride z večjo gosto celic na sklenjenih podobmočjih.



Slika 4: Razlike med točkami, transformiranimi s programom 3tra, in tistimi, transformiranimi z NTv2-gridom ločljivosti $10'' \times 10''$, na območju Radovne (občina Gorje). Svetlo vijolična barva predstavlja območja, kjer so razlike manjše od 0,5 milimetrov a večje od 0,1 milimetra, vijolična območja, kjer so razlike manjše od 1 milimetra a večje od 0,5 milimetra, ter temno vijolična območja, kjer so razlike večje od 1 milimetra. Rdeča mreža predstavlja NTv2-grid z ločljivostjo $10'' \times 10''$. V turkizni barvi so prikazani robovi trikotniške mreže. Prikaz je pripravljen v ravninskem koordinatnem sistemu D48/GK.

Glede na ravnokar predstavljeno naravo največjih razlik med transformacijo z NTv2-gridom ločljivosti $10'' \times 10''$ ter programom 3tra ni mogoče pričakovati, da bodo največje razlike transformacij na sredini gridnih celic, temveč ob robovih niza trikotnikov trikotniške mreže. Morda ravno v virtualnih veznih točkah. Zato smo opravili še dodatno analizo razlik med rezultati pripravljenih transformacij ter programom 3tra, pri čemer smo uporabili prav virtualne vezne točke trikotniške mreže. Preglednica 2 povzema rezultate izračunov za vse štiri NTv2-gride.

Preglednica 2: Preglednica povzema izračunane razlike med rezultati vseh štirih transformacij na podlagi pripravljenih NTv2-gridov in programom 3tra za virtualne vezne točke trikotniške mreže, ki se nahajajo znotraj območja gridov.

Grid	Razlike	ΔE [cm]	ΔN [cm]	$ \Delta E + \Delta N $ [cm]
20" × 20"	Povprečje	0,0026	−0,0032	0,2307
	Minimum	−0,7702	−0,9376	0,0030
	Maksimum	0,8977	0,8580	1,1653
20" × 10"	Povprečje	−0,0045	−0,0052	0,1638
	Minimum	−0,7356	−0,7392	0,0017
	Maksimum	0,4963	0,6742	0,7432
10" × 10"	Povprečje	0,0006	−0,0029	0,1171
	Minimum	−0,4434	−0,5925	0,0009
	Maksimum	0,3707	0,4956	0,5981
5" × 5"	Povprečje	0,0000	−0,0017	0,0587
	Minimum	−0,2727	−0,2829	0,0011
	Maksimum	0,2284	0,2499	0,3240

Pri vseh štirih gridih so povprečne razlike med transformacijami z NTv2-gridi in programom 3tra večje kot povprečne razlike, predstavljene v preglednici 1. Le pri NTv2-gridu z ločljivostjo 20" × 20" dobimo maksimalno razliko, večjo od 1 centimetra (preglednica 2). Primerjava absolutnih maksimalnih razlik med testnimi točkami na sredini gridnih celic (preglednica 1) ter virtualnimi veznimi točkami (preglednica 2) nakazuje možnost, da se največje odstopanje transformacij nahaja nekje ob robovih trikotnikov, in ne nujno v samih virtualnih veznih točkah. Pri NTv2-gridu z ločljivostjo 20" × 10" je namreč maksimalna razlika večja pri testnih točkah na sredini gridnih celic (0,8175 centimetrov), kot je za virtualne vezne točke (0,7432 centimetrov).

6 IMPLEMENTACIJA TRANSFORMACIJE V PROGRAMSKE REŠITVE ArcGIS

Glede na analize rezultatov vseh štirih NTv2-gridov se zdi, da je prav grid z ločljivostjo 20" × 10" najprimernejši za simulacijo vsedravnega modela trikotniške transformacije med starim D48/φλ in sedanjim D96/φλ referenčnim koordinatnim sistemom. Povprečne razlike med transformacijo z NTv2-gridom ločljivosti 20" × 10" in programom 3tra ne presegajo 0,1 milimetra, maksimalne razlike pa so manjše od 1 centimetra. Hkrati je NTv2-datoteka takšnega grida najmanjša možna, ki še izpolnjuje te pogoje. Grid z ločljivostjo 20" × 10" izpolnjuje tudi dodaten pogoj, tj. da so vsi pričakovani premiki manjši od ločljivosti grida, kar zagotavlja povratnost transformacije v programskih rešitvah ArcGIS tudi ob robovih gridnega območja.

Transformacijo na podlagi NTv2-grida z ločljivostjo 20" × 10" smo poskusno testirali pri uporabnikih programskih rešitev ArcGIS. Ker so bila testiranja uspešna, smo transformacijo implementirali za prehode med MGI 1901/φλ (EPSG::3906) in Slovenia 1996/φλ (EPSG::4765) ter med D48/φλ (Esri::104131) in Slovenia 1996/φλ (EPSG::4765). Tako sta bili v programske rešitve ArcGIS dodani dve novi transformaciji za območje celotne Slovenije, ki simulirata transformacijo s programom 3tra:

MGI 1901 To Slovenia 1996 3tra NTv2

(Esri::108475)

D48 To D96 3tra NTv2

(Esri::108476)

Obe transformaciji sta na voljo uporabnikom ArcGIS 11.3 in ArcGIS Pro 3.3 ter v njunih poznejših različicah. Za uporabo novih transformacij morajo uporabniki predhodno namestiti dodatno komponento ArcGIS Coordinate Systems Data, ki programskim rešitvam ArcGIS doda datoteko SI_D48_D96_GRID.gsb v podatkovnem formatu NTv2.

Treba je poudariti, da novi transformaciji v programskih rešitvah ArcGIS le simulirata vsedržavni model trikotniške transformacije, zato lahko uporaba povzroči razlike do 1 centimetra v primerjavi z rezultati, pridobljenimi s programom 3tra. Uporaba teh transformacij tako ni primerna za uradna katastrska opravila ali druga dela, ki zahtevajo visoko natančnost in točnost transformacije. Pred nadaljnjo uporabo transformiranih podatkov je tudi priporočljivo, da se uporabniki prepričajo o njihovi točnosti in doslednosti.

7 ZAKLJUČEK

Nova transformacija na podlagi gridne metode NTv2 v programski opremi GIS lahko razmeroma točno simulira vsedržavni model trikotniške transformacije programa 3tra, saj so razlike manjše od 1 centimetra. Implementacija transformacije v GIS-okolje omogoča uporabnikom enostavnejšo trajno ali sprotno transformacijo podatkov iz starega D48/GK v obstoječi D96/TM referenčni koordinatni sistem. Ker je transformacija del programske rešitve, lahko uporabniki prostorske podatke v starem koordinatnem sistemu transformirajo neposredno znotraj programske opreme, brez potrebe po izvozu in predpripravi podatkov. Transformacija je tudi natančnejša od obstoječih transformacij v programski opremi GIS in tako omogoča pravilnejše prostorske analize s sprotno transformacijo podatkov, kot je bilo to mogoče doslej.

Pri razvoju transformacij med referenčnimi koordinatnimi sistemi sta na prvem mestu natančnost in točnost transformiranih podatkov. Danes pa je pomembna tudi izbira same metode, ki mora biti čim bolj združljiva z obstoječimi programskimi rešitvami za pripravo in analizo prostorskih podatkov. Če so metode znane in v splošni uporabi, je implementacija novih transformacij enostavna in lahko vsi uporabniki prostorskih podatkov hitreje pridobijo rešitve, ki jih potrebujejo. Uporaba znanih transformacijskih metod hkrati preprečuje pojav alternativnih tehničnih rešitev, ki zgolj simulirajo uradne transformacijske modele in lahko povzročijo neprimerno uporabo ter zmedo pri geodetskih izvajalcih in uporabnikih GIS.

Zahvala

Zahvaljujemo se Agenciji Republike Slovenije za okolje ter družbi Telekom Slovenije d. d. za pomoč pri testiranju transformacij v programski opremi ArcGIS. Posebna zahvala gre tudi recenzentoma za njune dragocene pripombe in predloge, ki so pomembno prispevali k izboljšavi članka.

Literatura in viri:

- Berk, S. (2017). 3tra – brezplačni program za transformacijo prostorskih podatkov v novi referenčni koordinatni sistem Slovenije. *Geodetski vestnik*, 61 (4), 659–665. http://www.geodetski-vestnik.com/61/4/gv61-4_berk.pdf, pridobljeno 15. 11. 2024.
- Berk, S., Boldin, D. (2017). Slovenski referenčni koordinatni sistemi v okolju GIS. *Geodetski vestnik*, 61 (1), 91–101. http://www.geodetski-vestnik.com/61/1/gv61-1_berk.pdf, pridobljeno 15. 11. 2024.
- Berk, S., Boldin, D., Šavrič, B. (2018). Nedavne posodobitve zbirke geodetskih parametrov EPSG in pregled podatkov, pomembnih za Slovenijo. *Geodetski vestnik*, 62 (4), 668–678. http://www.geodetski-vestnik.com/62/4/gv62-4_berk.pdf, pridobljeno 15. 11. 2024.
- Berk, S., Komadina, Ž. (2010). Trikotniško zasnovana transformacija med starim in novim državnim koordinatnim sistemom Slovenije. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2009–2010*, Ljubljana, 28. september 2010. GIS v Sloveniji, 10, 803–826.
- 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/10.1179/1752270611Y0000000020>

EPSG Registry (2024). EPSG Geodetic Parameter Registry, različica 11.022. International Association of Oil & Gas Producers. <https://epsg.org/>, pridobljeno 15. 11. 2024.

Geodetska uprava Republike Slovenije (2017). Vsedržavna trikotniška transformacija med starim in novim državnim ravninskim referenčnim koordinatnim sistemom (D48/GK ↔ D96/TM) – transformacijski model (parametri) in algoritem izračuna koordinat. https://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/Podrocja/DKS/Drugo_razno/Transformacija_v_novi_KS/Transformacijski_modeli/Trikotniška_transformacija_4.zip, pridobljeno 15. 11. 2024.

Geodetska uprava Republike Slovenije (2019). Novice Geodetske uprave RS. Geodetski vestnik, 63 (1), 121–125. https://www.geodetski-vestnik.com/arhiv/63/1/gv63-1_stroka.pdf, pridobljeno 15. 11. 2024.

Geodetska uprava Republike Slovenije (2024). Transformacija v novi koordinatni sistem. <https://www.e-prostor.gov.si/podrocja/drzavni-koordinatni-sistem/drugo/razno/transformacija-v-novi-koordinatni-sistem/>, pridobljeno 15. 11. 2024.

Geodetska uprava Republike Slovenije (2025). EPSG kode za Slovenijo. <https://www.e-prostor.gov.si/podrocja/drzavni-koordinatni-sistem/drugo/razno/epsg-kode-za-slovenijo/>, pridobljeno 18. 6. 2025.

Government of Ontario IT Standards (2005). NTV2 (National Transformation Version 2). <https://docs.ontario.ca/documents/1886/go-its-45-2-ntv2-national-transformation-version-2.pdf>, pridobljeno 15. 11. 2024.

Inženirska zbornica Slovenije (2021). Prehod na državni koordinatni sistem D96/TM. <https://www.izs.si/aktualno/novice/prehod-na-drzavni-koordinatni-sistem-d96/tm>, pridobljeno 15. 11. 2024.

Kozmus Trajkovski, K., Stopar, B. (2017). SiTrik – Trikotniška transformacija, v4. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. <http://sitranet.si/sitrik.html>, pridobljeno 15. 11. 2024.

PROJ sodelavci (2024). PROJ coordinate transformation software library. Open Source Geospatial Foundation, <https://proj.org/>, pridobljeno 15. 11. 2024.

swisstopo (2024). GIS Tools and Applications (FME). <https://www.swisstopo.admin.ch/en/geodetic-software-tools-gis-fme/>, pridobljeno 15. 11. 2024.

Triglav, J. (2014). Kdo je to narredil? Eee ... Švicarji. Geodetski vestnik, 58 (2), 342–348. http://geodetski-vestnik.com/58/2/gv58-2_triglav2.pdf, pridobljeno 15. 11. 2024.



Šavrič B., Šević D., Rus N., Longar M. D., Trunkl A. (2025). Razvoj datumske transformacije med D48 in D96 z uporabo metode NTV2. Geodetski vestnik, 69 (3), 316–327.

DOI: <https://doi.org/geodetski-vestnik.2025.03.316-327>

Dr. Bojan Šavrič, univ. dipl. inž. geod.

Esri, 380 New York Street, Redlands, California 92373, ZDA
e-naslov: bsavric@esri.com

Dragan Šević, univ. dipl. geog.

GDi d.o.o., Šmartinska cesta 106, 1000 Ljubljana
e-naslov: dragan.sevic@gdi.net

Nejc Rus

GDi d.o.o., Šmartinska cesta 106, 1000 Ljubljana

Mark David Longar

GDi d.o.o., Šmartinska cesta 106, 1000 Ljubljana

Andrej Trunkl, mag. podat. znan.

GDi d.o.o., Šmartinska cesta 106, 1000 Ljubljana
e-naslov: andrej.trunkl@gdi.net