

3TRA – BREZPLAČNI PROGRAM ZA TRANSFORMACIJO PROSTORSKIH PODATKOV V NOVI REFERENČNI KOORDINATNI SISTEM SLOVENIJE

3TRA – A FREWARE TOOL FOR THE TRANSFORMATION OF SPATIAL DATA INTO THE NEW COORDINATE REFERENCE SYSTEM OF SLOVENIA

Sandi Berk

1 UVOD

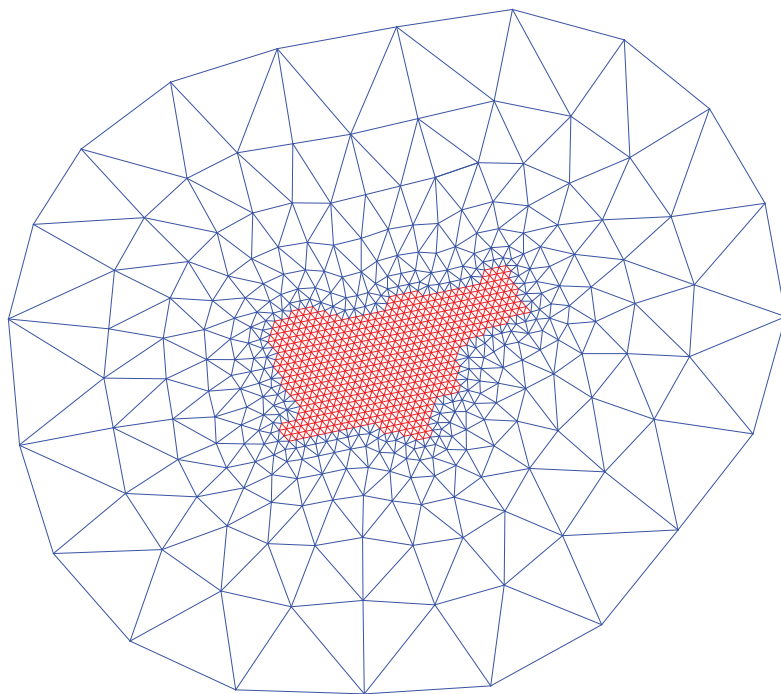
V Sloveniji smo v sklepnih fazi prehoda s starega (D48/GK) na novi ravninski referenčni koordinatni sistem (D96/TM). O strokovno in predvsem organizacijsko zahtevnem projektu priča dejstvo, da je bil sam protokol prehoda pripravljen že pred desetimi leti. Pravno podlago za izvedbo prehoda, katerega ključni korak je transformacija koordinat v prostorskih podatkovnih zbirkah v novi sistem, daje Zakon o državnem geodetskem referenčnem sistemu (ZDGRS, 2014). Geodetska uprava Republike Slovenije je skladno z 28. členom tega zakona zagotovila enoten model prehoda – vsedržavni model trikotniške transformacije. Poskrbela je tudi za brezplačni program, ki omogoča izvedbo transformacije koordinat po tem modelu.

Podrobnosti o prehodu nekaterih ključnih državnih prostorskih podatkovnih zbirk v novi referenčni koordinatni sistem so na voljo na spletnih straneh Geodetske uprave Republike Slovenije (2017a). V prispevku sta na kratko predstavljena transformacijski model in program za transformacijo koordinat. Podani so napotki za transformacijo vektorskih in rastrskih podatkov ter opozorila glede uporabe programa 3tra pri vodenju zbirke zemljiškega katastra.

2 VSEDRŽAVNI MODEL TRIKOTNIŠKE TRANSFORMACIJE, RAZLIČICA 4.0

Vsodržavni model trikotniške transformacije je model ravninske afine transformacije po trikotnih transformacijskih odsekih. Trikotniška transformacija je neprekinjena (zvezna) in povratna (reverzibilna) na območju države in širše okolice, kar omogoča tudi transformacijo območij sosednjih držav, ki jih pokrivajo državni sistemski načrti in karte, ter tudi uporabo na morju – v severni polovici Jadrana. Transformacijski trikotniki na ozemlju države sestavljajo skoraj pravilno trikotniško mrežo, s širitvijo navzven pa se trikotniki postopoma večajo (slika 1).

Vendarle pa je definicijsko območje transformacije omejeno. Zunaj sta tudi »izhodišči« starega in novega referenčnega koordinatnega sistema – sta dobrih 600 metrov vsaksebi in ležita blizu mesta Alessandria, približno 80 kilometrov vzhodno od Torina v Italiji.



Slika 1: Definijsko območje transformacije.

Prva različica vsedržavnega modela trikotniške transformacije je iz leta 2007. Takrat so bila oglišča transformacijskih trikotnikov kar izbrane vezne točke – na terenu fizično označene točke s kakovostno določenimi koordinatami tako v D48/GK kot tudi v D96/TM (Berk in Duhovnik, 2007). Izboljšana zasnova vsedržavnega transformacijskega modela temelji na virtualnih veznih točkah, ki na območju države tvorijo trikotnike s površino okoli 20 km². Stranica trikotnika meri slabih 6,8 kilometra. Skupaj 899 virtualnih veznih točk sestavlja 1776 transformacijskih trikotnikov (Berk in Komadina, 2010 in 2013).

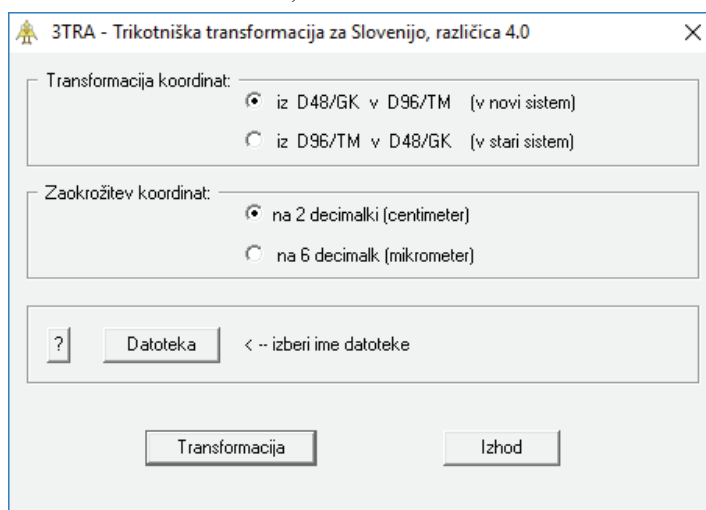
Prvotni niz okoli 2000 veznih točk je vseboval samo točke temeljnih geodetskih mrež in nekaterih navezovalnih mrež. Z analizami skladnosti D48/GK- in D96/TM-koordinat zemljiškokatastrskih točk, na primer v Pomurju, so odkrili neskladja in izpostavili pomen kakovosti transformacije pri ohranjanju kakovosti prostorskih podatkov (Berk, Komadina in Triglav, 2011). V letih 2014–2016 je bila kakovost trikotniške transformacije preverjena na vzorcih zemljiškokatastrskih točk po vsej državi; vključenih je bilo 80 testnih območij s približno 2500 ponovno izmerjenimi zemljiškokatastrskimi točkami (Berk in sod., 2015). Po naknadni zgostitvi veznih točk na nekaterih območjih države (tudi s točkami izmeritvenih mrež) na skupaj 3540 točk je bil izdelan izboljšan in verificiran model trikotniške transformacije, različica 4.0 (Berk in sod., 2016 in 2017). Točnost transformacije je za pretežni del državnega ozemlja višja od decimetrске. Transformacija praktično ohranja pravokotnost stavb – kotne deformacije so manjše od 17". Spremembe dolžin so manjše od 0,06 ‰ (6 cm/km), spremembe površin pa so manjše od 0,09 ‰ (0,9 m²/ha).

3 PROGRAM ZA TRANSFORMACIJO PROSTORSKIH PODATKOV 3TRA

Brezplačni program 3tra omogoča izvedbo transformacije datotek s prostorskimi podatki v nekaterih bolj razširjenih vektorskih in rastrskih formatih. Za transformacijo med starim in novim referenčnim koordinatnim sistemom je uporabljen vsedržavni model trikotniške transformacije, različica 4.0. Program je bil razvit v okolju MS Visual Studio 2017, v programskem jeziku Visual C++. S spleta si lahko snamete izvršljivo datoteko (3tra.exe), spremljajočo knjižnico za delo s shp-datotekami in uporabniški priručnik (Berk, 2017). Program zahteva operacijski sistem MS Windows, ki je novejši od Windows XP. Posebna namestitvev ni potrebna, s čarovnikom za ustvarjanje bližnjic pa lahko program 3tra postane dosegljiv prek ikone v obliki »trikotizirane« kokoške.

Ob zagonu programa 3tra se odpre pogovorno okno (slika 2), v katerem izberete:

- izvorni in ciljni referenčni koordinatni sistem (smer transformacije),
- število decimalnih mest pri koordinatah (zaokrožitev koordinat) in
- ime vhodne datoteke za transformacijo.



Slika 2: Osnovno pogovorno okno programa 3tra.

Program 3tra (različica 1.1, november 2017) podpira naslednje oblike vhodnih datotek:

- shp-datoteke (ArcView Shapefile Format),
- gen-datoteke (ArcInfo Generate Format, tudi plb/plv+pkb/pkv-datoteke),
- dat-datoteke (podatki o zemljiškokatastrskih točkah, tudi zkb/zkv-datoteke),
- dxf-datoteke (AutoCAD Drawing Exchange Format),
- csv-datoteke (MS DOS, ločeno z vejico ali s podpičjem),
- txt-datoteke (MS DOS, ločeno s tabulatorji ali presledki, tudi prn-datoteke),
- xyz-datoteke (tudi asc-datoteke),
- jpg-datoteke (Joint Photographic Experts Group Format, tudi jpeg-datoteke),
- tif-datoteke (Tagged Image File Format, tudi tiff-datoteke) in
- sid-datoteke (Multiresolution Seamless Image Database – MrSID).

Program 3tra vedno ohrani vhodne datoteke nespremenjene. Imena izhodnih datotek pa tvori iz imen vhodnih datotek, pri čemer je ime razširjeno z dodatkom »_TM«, ko izvedete transformacijo v novi referenčni koordinatni sistem, oziroma z dodatkom »_GK«, ko izvedete transformacijo v stari sistem. Program po potrebi tvori tudi istoimensko datoteko napak s pripono ».err« (iz angl. errors).

4 TRANSFORMACIJA VEKTORSKIH PODATKOV

Pri vektorskih datotekah program 3tra odpre vhodno datoteko in jo prepisuje v izhodno datoteko. Ob tem transformira koordinate točk iz izvornega v ciljni referenčni koordinatni sistem, ostale vsebine pa ohrani nespremenjene. Osnovni algoritem za transformacijo posamezne točke je zelo enostaven in obsega:

- iskanje transformacijskega trikotnika, v katerem se nahaja točka (slika 1), in
- transformacijo koordinat točke s šestparametrično ravninsko afino transformacijo.

Program določi transformacijske parametre za posamezen trikotnik na podlagi vogalnih koordinat slednjega v izvornem in ciljnem referenčnem koordinatnem sistemu. Transformacijo v novi sistem (D48/GK → D96/TM) izvede po enačbah

$$e = A_1 + B_1 \cdot y + C_1 \cdot x$$

$$n = D_1 + E_1 \cdot y + F_1 \cdot x.$$

Transformacijo v stari sistem (D96/TM → D48/GK) izvede po enačbah

$$y = A_2 + B_2 \cdot e + C_2 \cdot n$$

$$x = D_2 + E_2 \cdot e + F_2 \cdot n.$$

$A_1, B_1 \dots F_1$ so parametri ravninske afine transformacije v novi referenčni koordinatni sistem, $A_2, B_2 \dots F_2$ pa parametri povratne transformacije. Vsehrzavni model trikotniške transformacije torej za 1776 trikotnikov tvori po 10656 transformacijskih parametrov (tj. 1776×6) za transformacijo v novi in prav toliko za transformacijo nazaj v stari sistem. Vsi ti parametri pa so izračunani iz vogalnih koordinat transformacijskih trikotnikov (torej iz koordinat 899 virtualnih veznih točk) v obeh sistemih – skupaj 3596 koordinat točk (tj. $899 \times 2 \times 2$), ki so edini nujno potreben vhodni niz podatkov za tvorbo transformacijskega modela, topologijo mreže (slika 1) namreč določa Delaunayjeva triangulacija (Geodetska uprava Republike Slovenije, 2017b).

Morebitne točke zunaj definicijskega območja transformacije program ne transformira, ampak jo v izhodno datoteko samo prepíše. V tem primeru točko zabeleži tudi v err-datoteki. Odvisno od formata vhodne datoteke poda zaporedne številke takšnih točk ali ustrezne zaporedne številke vrstic vhodne datoteke ali oznake/številke točk (pri zemljiškokatastrskih točkah tudi s šifro katastrske občine) in seveda njihove koordinate.

Pričakovan vrstni red koordinat v vhodnih datotekah je najprej y- in nato x-koordinata oziroma najprej e- in nato n-koordinata. Pri besedilnih formatih so – razen ko gre za formatiran zapis z vnaprej določenimi širinami stolpcev (zkb-, zkv-, pkb- in pkv-datoteke) – ločila med koordinatami in/ali drugimi atributi točk tabulatorji in/ali presledki (gen-, plb-, plv-, txt-, prn- in xyz-datoteke) oziroma vejica in/ali podpičje (gen-, dat-, csv- in asc-datoteke). Ločilo pri koordinatah je decimalna pika, pogojno tudi decimalna vejica – če vejica ni uporabljena že kot ločilo med atributi točke. Program prepozna tudi koordinate točk, ki so podane v narekovajih, na primer „515200.61“, “515200.61”, »515200,61« in podobno.

Pri transformaciji shp-datoteke tvori program 3tra tudi projekcijsko datoteko (angl. projection file) s pripomočkom »prj«. Pri transformaciji iz novega v stari referenčni koordinatni sistem dobljena prj-datoteka namenoma ne podaja parametrov datumske transformacije (TOWGS84) oziroma so ti enaki 0. Za ohranitev položajne točnosti – razen ko zadošča že metrska – namreč sedemparametrična podobnostna transformacija ni primerna, ampak je treba vse podatke najprej transformirati v isti sistem z vsedržavnim modelom trikotniške transformacije (Berk in Boldin, 2017) – na primer s programom 3tra. Za združevanje tako pripravljenih podatkov (z enakimi prj-datotekami) pa so ob uvozu v GIS-okolje ti parametri nepomembni – niso uporabljani.

Pri transformaciji dxf-datoteke, razen za osnovne grafične gradnike (točka, daljica, lomnica), povsem stroga izvedba trikotniške transformacije ni enostavno izvedljiva. Modeliranje lokalnih popačenosti (distorzij) z odsekoma afino transformacijo namreč povzroči tudi usmerjeni razteg – krog bi postal elipsa, torej drug grafični gradnik. V praksi so te nedoslednosti večinoma zanemarljive. Večja težava lahko nastopi pri uporabi blokov grafičnih gradnikov. Teh se je priporočljivo znebiti pred izvozom v format DXF, tako da jih razbijete na prvinske gradnike; v AutoCAD-u to storite z ukazom »Explode«.

5 TRANSFORMACIJA RASTRSKIH PODATKOV

Vsi trenutno podprti rastrski formati (jpg-, jpeg-, tif-, tiff- in sid-datoteke) omogočajo zapis georeferenciranih rastrov s pomočjo pomožne geolokacijske datoteke (angl. world file). Pripone teh datotek so tvorjene na podlagi pripone osnovnih datotek (jgw-, tfw- in sdw-datoteke). Pomožne geolokacijske datoteke je uvedla družba ESRI in podajajo informacije o umestitvi rastrske slike v prostor s šestparametrično afino transformacijo. Parametri po vrsticah geolokacijske datoteke so:

- projekcija zgornjega roba celice rastra na e- oziroma y-os (običajno dolžina stranice celice oziroma širina celice),
- projekcija zgornjega roba celice rastra na n- oziroma x-os (običajno 0),
- projekcija levega roba celice rastra na e- oziroma y-os (običajno 0),
- projekcija levega roba celice rastra na n- oziroma x-os (običajno dolžina stranice celice oziroma višina celice z negativnim predznakom),
- e- oziroma y-koordinata središča leve zgornje celice rastra (tj. abscisa središča leve zgornje celice rastra) in
- n- oziroma x-koordinata središča leve zgornje celice rastra (tj. ordinata središča leve zgornje celice rastra).

Pri transformaciji georeferenciranega rastra s programom 3tra gre za optimalno umestitev izvornega rastra v ciljnem referenčnem koordinatnem sistemu. Obvezna je pripadajoča geolokacijska datoteka s parametri v izvornem sistemu. Sama rastrska datoteka ostane po transformaciji nespremenjena (ni prevzorčenja); spremeni se le geolokacijska datoteka.

Transformacije rastrske datoteke, ki ni v celoti znotraj definicijskega območja transformacije, program 3tra ne izvede. Ob uspešno izvedeni transformaciji pa v err-datoteko zapiše tudi osnovne informacije o načinu in kakovosti umestitve rastra v ciljnem referenčnem koordinatnem sistemu, ki vključujejo tudi koordinatna odstopanja v središčni in štirih vogalnih točkah rastra ter največje položajno odstopanje po transformaciji.

Zaradi optimalne določitve parametrov v geolokacijski datoteki zahteva program 3tra podatka o razsežnostih rastra (širini in dolžini območja v naravi), na podlagi katerih določi koordinate središčne in štirih vogalnih točk v izvornem referenčnem koordinatnem sistemu. Zadošča tudi približna ocena – v primeru skeniranih topografskih in preglednih kart skupaj z izvenokvirno vsebino. Razsežnosti rastra lahko podate z izborom ustrezne razdelitve na liste temeljnih topografskih načrtov, državnih topografskih ali preglednih kart, z izborom ustrezne celice hierarhične mreže ali pa z ročnim vnosom.

Program 3tra najprej izvede transformacijo središčne in štirih vogalnih točk rastra v ciljni referenčni koordinatni sistem – z vsedravnim modelom trikotniške transformacije, različica 4.0. Nato na podlagi parov koordinat teh točk v izvornem in ciljnem sistemu določi parametre za optimalno umestitev rastra v ciljnem sistemu (po metodi najmanjših kvadratov), in sicer:

- samo s pomiki po obeh koordinatnih oseh,
- s pomiki po obeh koordinatnih oseh in spremembo merila ali
- z afino transformacijo.

Afina transformacija je najboljši način umestitve rastrske slike v ciljnem referenčnem koordinatnem sistemu; ko je območje rastra v celoti znotraj enega samega transformacijskega trikotnika (s slike 1), je takšna umestitev matematično stroga – v nobeni točki rastra ni položajnih odstopanj glede na vsedravnim model trikotniške transformacije. Vendar pa nekateri programi ne zagotavljajo povsem pravilnega prikaza rastrske slike, ko se v geolokacijski datoteki poleg pomikov po obeh koordinatnih oseh pojavljata tudi zasuk in usmerjeni razteg (tj. ko sta drugi in tretji parameter različna od 0 ter je vsota prvega in četrtega parametra različna od 0). V tem primeru je priporočljiv drugi način umestitve rastrske slike – z določitvijo obeh pomikov in prilagoditvijo velikosti celice rastra. Mogoča je tudi še bolj poenostavljena (in manj natančna) umestitev zgolj z obema pomikoma, ki torej ohranja izvorno velikost celice rastra. Tudi ta način običajno povsem zadošča za kakovostno georeferenciranje rastrske slike.

Omeniti velja format GeoTIFF (Geographically Registered Tagged Image File Format) – različico formata TIFF, pri kateri so lahko informacije o georeferenciranju rastra zapisane tudi v glavi osnovne tif-datoteke. V tem primeru je treba preveriti, ali uporabljeno GIS-orodje upošteva informacije iz glave osnovne datoteke ali iz pomožne geolokacijske datoteke. V programu ArcMap na primer lahko date prednost tfw-datotekam na meniju Tools > Options > Raster ... kljukica pred »Use world file to define the coordinates of the raster«.

6 SKLEP

Vsedravnim model trikotniške transformacije delno odpravlja vplive popačenosti D48/GK. Zadnja različica transformacijskega modela (4.0) zagotavlja točnost transformacije, višjo od decimetrske, za večji del države – posebej tam, kjer je kakovost podatkov najvišja (npr. večja urbana središča, ki so bila vključena v verifikacijo modela). Vendar se pojavljajo tudi območja, kjer ta model zaradi težav s homogenostjo starih detajlnih izmer ne zagotavlja zadostne kakovosti transformacije. Do nadaljnjega bo treba takšna območja, kjer se pojavljajo precejšnja odstopanja med lokalno transformacijo (na detajlu) in vsedravnim modelom trikotniške transformacije, obravnavati ločeno tudi v postopkih vzdrževanja zbirke zemljiškega katastra (Berk in sod., 2017).

Brezplačni program 3tra za transformacijo koordinat z uporabo zadnje različice vsedravnega modela trikotniške transformacije si lahko snamete s spleta (Berk, 2017). Namenjen je transformaciji prostorskih podatkovnih zbirk – še posebej tistih, ki niso v pristojnosti Geodetske uprave Republike Slovenije. Njihovo transformacijo v novi referenčni koordinatni sistem bodo namreč morali zagotoviti skrbniki teh zbirk (ZDGRS, 2014). Podatke, ki se vodijo datotečno, lahko transformirate neposredno s programom – vsaj za nekatere bolj razširjene formate, za ostale je treba prej izvesti pretvorbo v enega izmed podprtih formatov. Pri kompleksnejših prostorskih podatkovnih zbirkah lahko transformacijo izvedete s predhodnim izvozom koordinat točk iz geografskega oziroma zemljiškega informacijskega sistema (GIS/LIS) in ponovnim uvozom transformiranih koordinat. Tudi v tem primeru se za transformacijo lahko uporabi program 3tra. Za zahtevnejše sisteme pa bi lahko prišla v poštev tudi vgradnja lastne rešitve za transformacijo (v sam sistem). Podrobnejši opis načina vzpostavitve in algoritma trikotniške transformacije kot tudi parametre vsedravnega transformacijskega modela najdete na spletnih straneh Geodetske uprave Republike Slovenije (2017b).

Literatura in viri:

Berk, S. (2017). 3tra – Trikotniška transformacija za Slovenijo, različica 1.1. Ljubljana: Geodetska uprava Republike Slovenije. http://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/ogs/Transformacija_v_novi_koor_sistem/3tra.zip, pridobljeno 23. 11. 2017.

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

Berk, S., Duhovnik, M. (2007). Transformacija podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije v novi državni koordinatni sistem. Geodetski vestnik, 51 (4), 803–826. http://www.geodetski-vestnik.com/51/4/gv51-4_803-826.pdf

Berk, S., Fabiani, N., Bric, V., Žagar, T., Janežič, M., Mivšek, E., Oven, K., Liseč, A., Čeh, M., Pavlovčič Prešeren, P., Stopar, B. (2016). Kontrola, izboljšava in verifikacija modela trikotniške transformacije za potrebe prehoda sloja ZK in drugih prostorskih zbirk iz D48/GK v D96/TM. Končno poročilo. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije.

Berk, S., Fabiani, N., Fajdiga, D., Oven, K., Komadina, Ž., Čeh, M., Liseč, A., Pavlovčič Prešeren, P., Stopar, B. (2015). Verifikacija vsedravnega modela transformacije med D48/GK in D96/TM. Geodetski vestnik, 59 (1), 159–167. http://www.geodetski-vestnik.com/59/1/gv59-1_berk.pdf

Berk, S., Komadina, Ž. (2010). Trikotniško zasnovana transformacija med starim in novim državnim koordinatnim sistemom Slovenije. V D. Perko (ur.), M. Zorn (ur.), Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2009–2010. GIS v Sloveniji, 10 (str. 291–299). Ljubljana: Založba ZRC.

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.0000000020>

Berk, S., Komadina, Ž., Triglav, J. (2011). Analiza skladnosti D48/GK- in D96/TM-koordinat zemljiškokatastrskih točk v Pomurju. Geodetski vestnik, 55 (2), 269–283. DOI: <http://dx.doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2011.02.269-283>

Berk, S., Triglav, J., Komadina, Ž., Oven, K., Liseč, A., Čeh, M., Stopar, B. (2017). Vsedržavni model transformacije podatkov zemljiškega katastra iz D48/GK v D96/TM. V A. Liseč (ur.), Izmerjena dežela: 200 let katastra na Slovenskem. 45. Geodetski dan. Povzetki prispevkov (str. 29–32). Kranj: Društvo geodetov Gorenjske.

Geodetska uprava Republike Slovenije (2017a). Transformacija v novi koordinatni sistem. <http://www.e-prostor.gov.si/zbirke-prostorskih-podatkov/drzavni-koordinatni-sistem/transformacija-v-novi-koordinatni-sistem/>, pridobljeno 23. 11. 2017.

Geodetska uprava Republike Slovenije (2017b). Vsedržavna trikotniška transformacija med starim in novim državnim ravninskim referenčnim koordinatnim sistemom (D48/GK ↔ D96/TM) – transformacijski model (parametri) in algoritem izračuna koordinat. http://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/ogs/Transformacija_v_novi_koor_sistem/Trikotniška_transformacija_4.zip, pridobljeno 23. 11. 2017.

ZDGRS (2014). Zakon o državnem geodetskem referenčnem sistemu. Uradni list Republike Slovenije, 25/2014. <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO6446>



Sandi Berk, univ. dipl. inž. geod.
 Geodetska uprava Republike Slovenije
 Zemljemerska ulica 12, SI-1000 Ljubljana
 e-naslov: sandi.berk@gov.si