

# **Vsdržavna trikotniška transformacija med starim in novim državnim ravninskim referenčnim koordinatnim sistemom (D48/GK ↔ D96/TM) – transformacijski model (parametri) in algoritem izračuna koordinat** (29. 05. 2017, različica transformacijskega modela 4.0)

## Pojmovnik

- **referenčni koordinatni sistem – RKS** (angl. coordinate reference system – CRS) ... dejansko vzpostavljen (realiziran) koordinatni sistem, torej koordinatni sistem z definiranim geodetskim datumom
- **referenčni koordinatni sistem D48/GK** ... »stari« slovenski državni ravninski referenčni koordinatni sistem
- **referenčni koordinatni sistem D96/TM** ... »novi« slovenski državni ravninski referenčni koordinatni sistem, tj. slovenska realizacija skupnega evropskega terestričnega referenčnega sistema – ETRS89
- **datumsko transformacija** (angl. datum transformation) ... transformacija koordinat med dvema referenčnima koordinatnima sistemoma, ki vključuje spremembo geodetskega datuma
- **datumsko transformacija D48/GK ↔ D96/TM** ... transformacija koordinat med starim in novim referenčnim koordinatnim sistemom Slovenije
- **izvirni referenčni koordinatni sistem** (angl. source CRS)... referenčni koordinatni sistem, iz katere želimo izvesti transformacijo koordinat
- **ciljni referenčni koordinatni sistem** (angl. target CRS) ... referenčni koordinatni sistem, v katerega želimo izvesti transformacijo koordinat

## Oznake koordinat v izvornem in ciljnem referenčnem koordinatnem sistemu

- e ... koordinata v D96/TM v smeri proti vzhodu (easting)
- n ... koordinata v D96/TM v smeri proti severu (northing)
- y ... koordinata v D48/GK v smeri proti vzhodu
- x ... koordinata v D48/GK v smeri proti severu

## Uvodne opombe

Transformacija se izvaja v obe smeri; zagotovljena je povratnost (reverzibilnost) transformacije. Omogočen mora biti izbor izvirnega in ciljnega referenčnega koordinatnega sistema (torej  $D48/GK \rightarrow D96/TM$  ali  $D96/TM \rightarrow D48/GK$ ).

Algoritem je enak za obe smeri transformacije, razlikujejo pa se vhodni podatki. Za transformacijo iz starega v novi sistem ( $D48/GK \rightarrow D96/TM$ ) se uporabijo vhodne datoteke v **Prilogah 1a in 2a**, za transformacijo iz novega v stari sistem ( $D96/TM \rightarrow D48/GK$ ) pa vhodne datoteke v **Prilogah 1b in 2b**.

## Uporabljena različica vsedržavnega modela trikotniške transformacije

Sedanja zasnova vsedržavnega transformacijskega modela, temelji na pravilni trikotniški mreži in virtualnih veznih točkah, različica 3.0, glej [Berk in Komadina, 2010]<sup>1</sup> in [Berk in Komadina, 2013]<sup>2</sup>. V letih 2014–2016 je bila njena kakovost preverjena na vzorcih zemljiškokatastrskih točk po vsej državi (skupaj 80 testnih območij). Z naknadno zgostitvijo veznih točk na nekaterih območjih države je bil tvorjen izboljššan in verificiran model trikotniške transformacije, različica 4.0, glej [Berk in sod., 2015]<sup>3</sup> in [Berk in sod., 2017]<sup>4</sup>. Transformacijski parametri, podani v prilogah, se torej nanašajo na vsedržavni model trikotniške transformacije, različica 4.0.

Točnost transformacije je za pretežni del državnega ozemlja boljša od 10 cm in naj bi se v prihodnje še izboljšala v okviru nadaljevanja projekta kontrole, izboljšave in verifikacije transformacijskega modela, ki se nadaljuje tudi v letu 2017, vendar bodo te spremembe zelo omejene na nekaj izbranih lokacij. Implementacija transformacije mora torej omogočati enostavno zamenjavo vhodnih podatkov z novo, izboljšano različico (zamenjava vhodnih datotek/tabel transformacijskega modela – glej priloge).

## Vhodni podatki za oba modela transformacij (priloga teh specifikacij)

- **Niz virtualnih veznih točk** za vsedržavni model trikotniške transformacije, različica 4.0 (v nadaljevanju: VVT 4.0) – trenutno **899 točk**
- **Niz trikotnikov** (doblenih z Delaunayjevo triangulacijo) tvorjen iz VVT 4.0 s parametri ravninske afine transformacije (v nadaljevanju: PRM 4.0) – trenutno **1776 trikotnikov**

---

<sup>1</sup> Berk, S., in 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, št. 10. Založba ZRC, Ljubljana, str. 291–299.  
<http://books.google.si/books?id=pNjaBvSCAscC&pg=PA291>

<sup>2</sup> Berk, S., in Komadina, Ž. (2013). Local to ETRS89 Datum Transformation for Slovenia: Triangle-Based Transformation Using Virtual Tie Points. *Survey Review*, 45 (328), 25–34.  
<http://dx.doi.org/10.1179/1752270611Y.0000000020>

<sup>3</sup> Berk, S., Fabiani, N., Fajdiga, D., Oven, K., Komadina, Ž., Čeh, M., Lisec, A., Pavlovčič Prešeren, P., in Stopar, B. (2015). Verifikacija vsedržavnega 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](http://www.geodetski-vestnik.com/59/1/gv59-1_berk.pdf)

<sup>4</sup> Berk, S., Triglav, J., Komadina, Ž., Oven, K., Lisec, A., Čeh, M., in Stopar, B. (2017). Vsedržavni model transformacije podatkov zemljiškega katastra iz D48/GK v D96/TM. Izmerjena dežela: 200 let katastra na Slovenskem. 45. Geodetski dan, Brdo pri Kranju, str. 29–32.

### **Opombe:**

Niz trikotnikov je rezultat Delaunayjeve triangulacije niza virtualnih veznih točk, tako da bi bil niz virtualnih veznih točk s po dvema paroma koordinat (v D48/GK in D96/TM) sam po sebi zadosten vhodni niz podatkov za transformacijski model. Transformacijski parametri odsekoma afine ravninske transformacije so za dani Delaunayjev trikotnik enolično določljivi iz koordinat ogliščnih točk trikotnika v obeh koordinatnih sistemih. Za prehod iz starega v novi sistem se enačbi glasita:

$$\begin{aligned}e &= A + B \cdot y + C \cdot x \\n &= D + E \cdot y + F \cdot x\end{aligned}$$

Za prve tri parametre rešimo sistem treh enačb s tremi neznankami:

$$\begin{aligned}e_1 &= A + B \cdot y_1 + C \cdot x_1 \\e_2 &= A + B \cdot y_2 + C \cdot x_2 \\e_3 &= A + B \cdot y_3 + C \cdot x_3\end{aligned}$$

Za druge tri parametre rešimo sistem treh enačb s tremi neznankami:

$$\begin{aligned}n_1 &= D + E \cdot y_1 + F \cdot x_1 \\n_2 &= D + E \cdot y_2 + F \cdot x_2 \\n_3 &= D + E \cdot y_3 + F \cdot x_3\end{aligned}$$

Niz trikotnikov, skupaj s transformacijskimi parametri, je tu podan zaradi poenostavitve postopka implementacije transformacijskega modela. Poskrbljeno je za to, da sta Delaunayjevi triangulaciji niza virtualnih veznih točk v starem in novem sistemu topološko identični, kar zagotavlja povratnost transformacije.

### Algoritem za datumsko transformacijo D48/GK ↔ D96/TM

Osnovna koraka obdelave sta:

- **vzpostavitev transformacijskega modela** glede na vhodne podatke modela
- **izvedba transformacije** samih podatkov

Vzpostavitev transformacijskega modela vključuje:

- **branje niza virtualnih veznih točk s koordinatami v ciljnem in izvornem referenčnem koordinatnem sistemu** iz vhodne datoteke/tabele virtualnih veznih točk in
- **branje niza transformacijskih parametrov odsekoma afine ravninske transformacije** iz vhodne datoteke/tabele Delaunayjevih trikotnikov.

Sama transformacija se izvaja zaporedoma – točka za točko – in vključuje:

- **iskanje območja transformacije** (trikotnika), v katerem se nahaja točka, ki jo želimo transformirati; v načelu gre za »point-in-polygon« algoritem, ki ga izvajamo na nizu trikotnih transformacijskih območij (po vrsti, dokler pač ne najdemo pravega), in
- **transformacijo točke** z ravninsko afino transformacijo s parametri za dani trikotnik.

Pri iskanju območja transformacije se teoretično lahko zgodi, da točka ne leži znotraj nobenega izmed transformacijskih območij (Delaunayjevih trikotnikov), ampak na robu tega. V tem primeru naj algoritem nadaljuje s preverjanjem ali:

- sovpada točka s katerim izmed oglišč trikotnika (torej s katero izmed virtualnih veznih točk) ali pa
- leži točka na robu katerega izmed trikotnikov – »point-on-line-segment« algoritem.

V primeru, da točka sovpada z eno izmed virtualnih veznih točk, prevzamemo njen par koordinat v ciljnem sistemu. V primeru, da leži točka na kateri izmed stranic trikotnika, uporabimo parametre za enega izmed obeh trikotnikov, ki si delita skupno stranico.

Datumsko transformacijo D48/GK → D96/TM izvedemo po enačbah

$$\begin{aligned} e &= A + B \cdot y + C \cdot x \\ n &= D + E \cdot y + F \cdot x \end{aligned}$$

datumsko transformacijo D96/TM → D48/GK pa po enačbah

$$\begin{aligned} y &= A + B \cdot e + C \cdot n \\ x &= D + E \cdot e + F \cdot n \end{aligned}$$

kjer so seveda  $A, B, C, D, E$  in  $F$  parametri afine ravninske transformacije za dani Delaunayjev trikotnik in so za obe transformaciji zgoraj (torej za D48/GK → D96/TM in D96/TM → D48/GK) različni.

## Priloge

- **VVT4.0: Priloga 1a in Priloga 1b** – datoteki: **GK2TM\_VVT4.csv** in **TM2GK\_VVT4.csv**

*Vsaka vrstica vsebuje zapis za eno virtualno vezno točko, in sicer: identifikator točke, par koordinat v ciljnem koordinatnem sistemu in par koordinat v izvornem koordinatnem sistemu; v datoteki GK2TM... torej {ID, e, n, y, x}, v datoteki TM2GK... pa {ID, y, x, e, n}.*

*Identifikator virtualne vezne točke ni vedno številka; od številke 479 dalje gre za oznake, ki so kombinacija črke in številke, npr. »G26«.*

*Ločilo med podatki v posamezni vrstici je presledek, za decimalke koordinat pa decimalna pika.*

- **PRM 4.0: Priloga 2a in Priloga 2b** – datoteki: **GK2TM\_PRM4.csv** in **TM2GK\_PRM4.csv**

*Vsaka vrstica vsebuje zapis za en Delaunayjev trikotnik, in sicer: trojico identifikatorjev njegovih oglišč ter šesterico parametrov afine ravninske transformacije, torej {ID1, ID2, ID3, A, B, C, D, E, F}.*

*Identifikator oglišča Delaunayjevega trikotnika (tj. virtualne vezne točke) ni vedno številka; od številke 479 dalje gre za oznake, ki so kombinacija črke in številke, npr. »G26«.*

*Ločilo med podatki v posamezni vrstici je presledek, za decimalke koordinat pa decimalna pika.*

- Kontrolna izpisa transformacijskih parametrov: **Priloga 3a in Priloga 3b** – datoteki: **GK2TM\_R4\_parametri.txt** in **TM2GK\_R4\_parametri.txt**