

Transformacije prostorskih podatkov med D48/GK in D96/TM

Modeli transformacije za različne nivoje
natančnosti in tipe podatkov

Sandi Berk

sandi.berk@gis.si



GEODETSKI INŠTITUT SLOVENIJE

Obvezno izobraževanje geodetov



Vsebina predstavitev



- ♦ Zahteve pri transformaciji podatkovnih zbirk
- ♦ Vezne točke za transformacijo in problem nehomogenosti starega koordinatnega sistema
- ♦ Modeli transformacije za različne nivoje natančnosti in vrste podatkov
- ♦ Transformacija rastrskih in vektorskih podatkov

Omejitev na transformacijo horizontalnih koordinat (y, x)!

- ♦ Horizontalni in višinski sistem obravnavamo ločeno!
- ♦ Vezne točke za določitev transformacijskih parametrov projiciramo na referenčna elipsoida (torej vzamemo $\mathbf{h} = \mathbf{0}$)

Več v:

Vaníček, P., in Steeves, R. R. (1996): **Transformation of Coordinates between Two Horizontal Geodetic Datums**. *Journal of Geodesy*, letn. 70, št. 11.

Poenostavitev transformacije horizontalnih koordinat (y,x)!

Stari ravninski KS (y, x, h)

demodulacija in demodifikacija ↓ ↑ modulacija in modifikacija

Stari nemoduliran in nemodificiran ravninski KS (y, x, h)

pretvorba ravninskih v elipsoidne koordinate (GK) ↓ ↑ pretvorba elipsoidnih v ravninske koordinate (GK)

Stari elipsoidni KS – Besslov elipsoid (λ, φ, h)

pretvorba elipsoidnih v 3R-pravokotne koordinate ↓ ↑ pretvorba 3R-pravokotnih v elipsoidne koordinate

Stari 3R-pravokotni KS – datum D48 (X, Y, Z)

PROSTORSKA PODOBNOSTNA TRANSFORMACIJA (7-p) ↓ ↑ PROSTORSKA PODOBNOSTNA TRANSFORMACIJA (7-p)

Novi 3R-pravokotni KS – datum D96 (X, Y, Z)

pretvorba 3R-pravokotnih v elipsoidne koordinate ↓ ↑ pretvorba elipsoidnih v 3R-pravokotne koordinate

Novi elipsoidni KS – elipsoid GRS80 (λ, φ, h)

pretvorba elipsoidnih v ravninske koordinate (TM) ↓ ↑ pretvorba ravninskih v elipsoidne koordinate (TM)

Novi nemoduliran in nemodificiran ravninski KS (E, N, h)

modulacija in modifikacija ↓ ↑ demodulacija in demodifikacija

Novi ravninski KS (E, N, h)

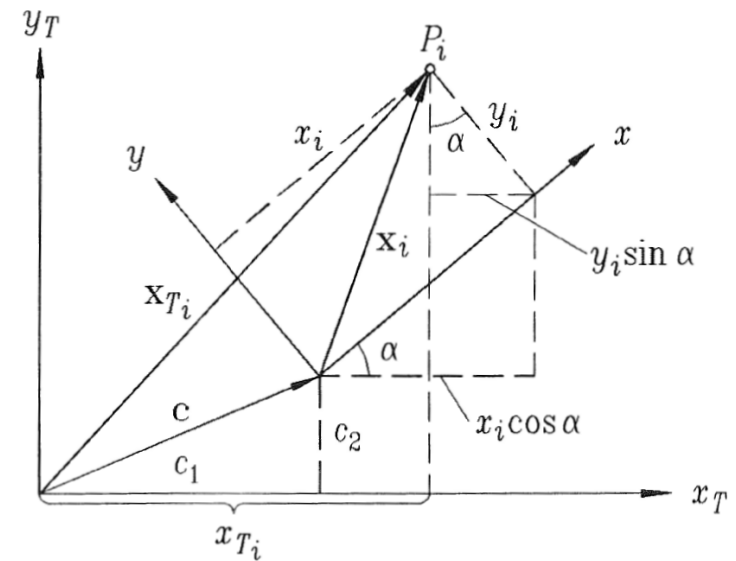
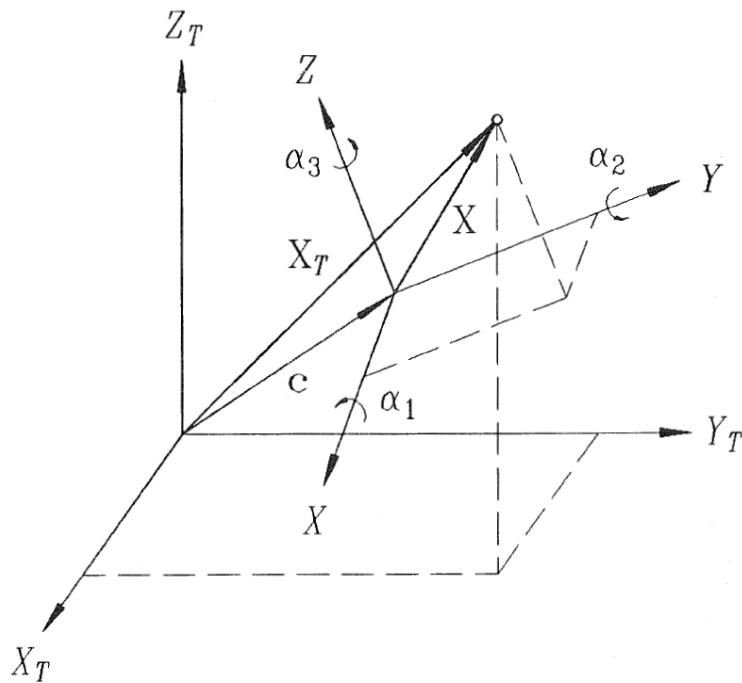


Stari ravninski KS (y, x, h)

RAVNINSKA PODOBNOSTNA TRANSFORMACIJA (4-p) ↓ ↑ RAVNINSKA PODOBNOSTNA TRANSFORMACIJA (4-p)

Novi ravninski KS (E, N, h)

Poenostavitev transformacije horizontalnih koordinat (y,x)!



Ključne zahteve pri transformaciji podatkovnih zbirk

- ♦ Zveznost transformacije
- ♦ Povratnost transformacije
- ♦ Minimalne deformacije vsebine, tj. ohranjanje relativnih odnosov:
 - Ohranitev razsežnosti (dolžin, površin)
 - Ohranitev kotov (pravokotnost stavb)
- ♦ Natančnost transformacije, tj. eliminacija nehomogene natančnosti starega koordinatnega sistema



Specifične zahteve nekaterih podatkovnih zbirk



- ◆ Ohranitev ravnosti linij,
npr. DTK 50 – zaradi razdelitve na liste
- ◆ Ohranitev pravih kotov,
npr. kataster stavb
- ◆ Preprečitev špranj in prekrivanj,
npr. ortofoto – rastrski format
- ◆ Zagotovitev pravilnega grida,
npr. DMV – interpolacija na novi grid

Nivoji natančnosti transformacije

◆ Metrski nivo

- Podobnostna transformacija

$$\sigma = \pm 0,45 \text{ m} \dots \delta_{\max} = 1,22 \text{ m}$$

- Projektivna transformacija

$$\sigma = \pm 0,29 \text{ m} \dots \delta_{\max} = 0,85 \text{ m}$$

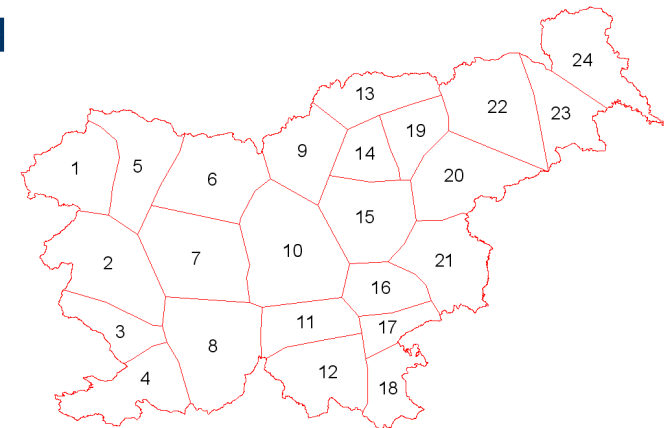
◆ Decimetrski nivo

- Podobnostna transformacija (24 regij ↑)

$$\sigma = \pm 4,7 \text{ cm} \sim \pm 13,4 \text{ cm} \dots \delta_{\max} = 25,8 \text{ cm}$$

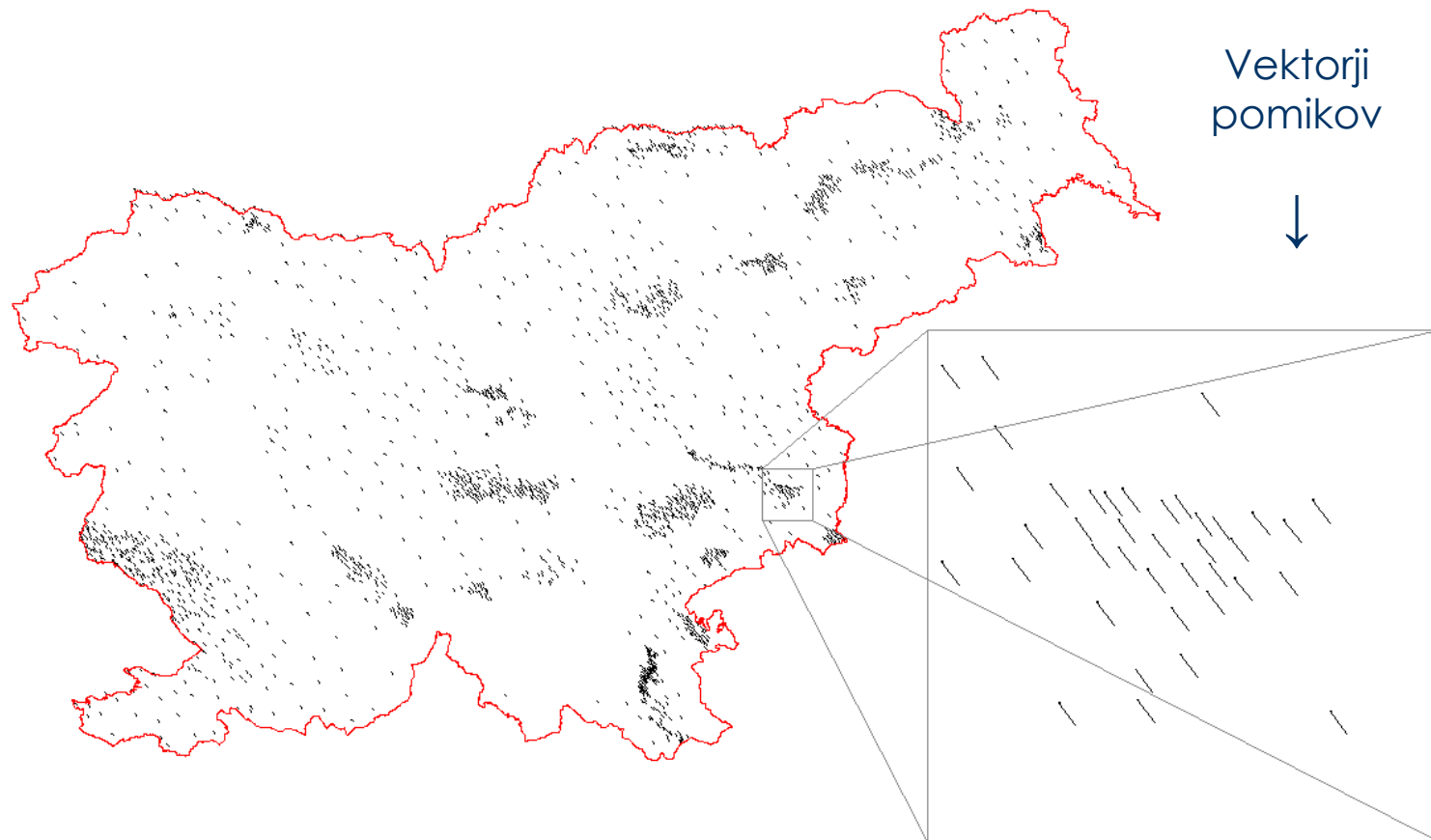
- Trikotniška transformacija

$$\sigma = \pm 4,2 \text{ cm} \dots \delta_{\max} = 18,6 \text{ cm}$$



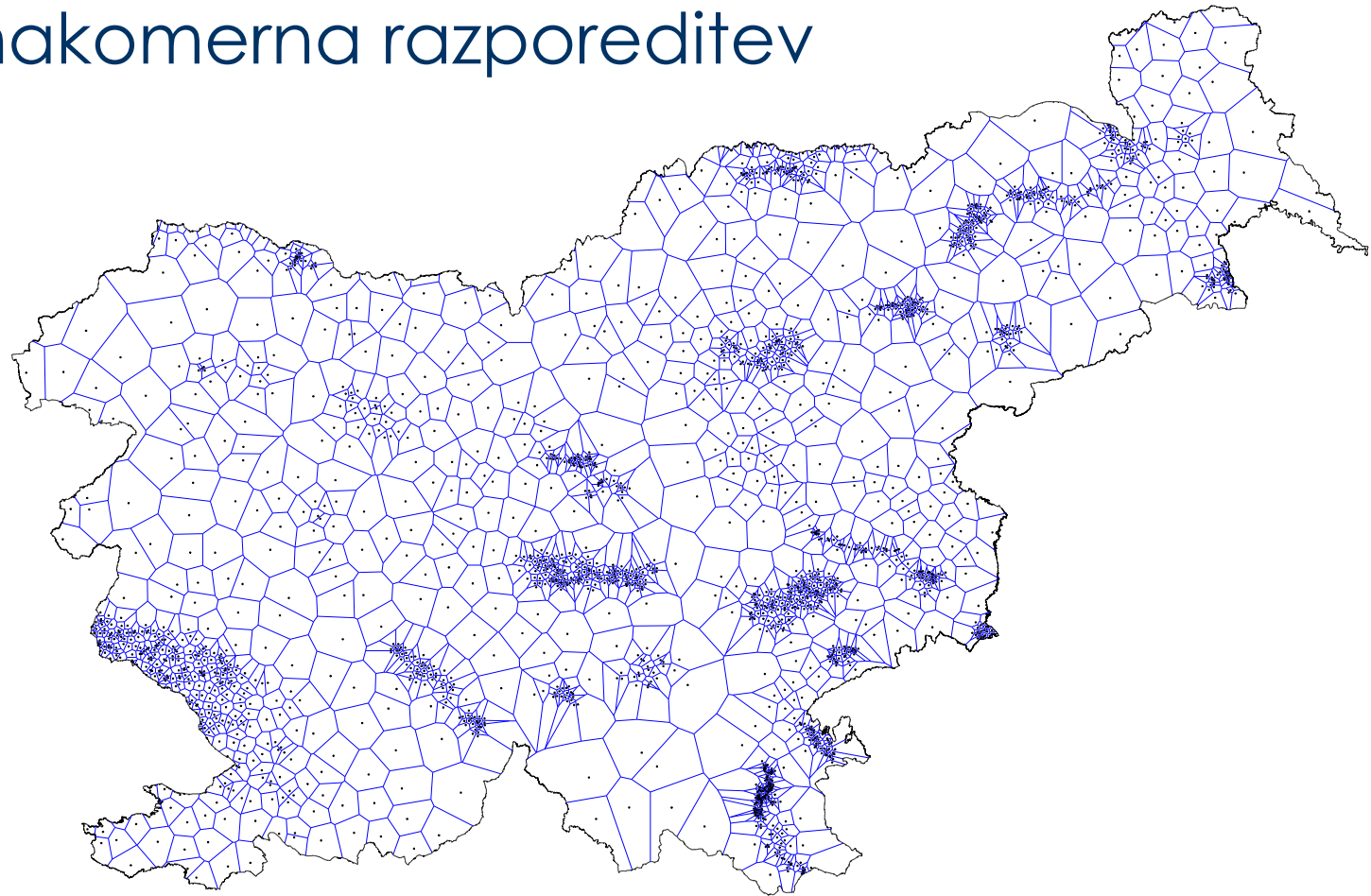
Vezne točke za transformacijo

~ 2.000 točk s koordinatami v D48/GK in D96/TM



Vezne točke za transformacijo

Neenakomerna razporeditev



Enostavni modeli transformacije

- ◆ 7-parametrična prostorska podobnostna transformacija

↓ poenostavitve (ravnina)

- ◆ 4-parametrična podobnostna transformacija
- ◆ 6-parametrična afina transformacija
- ◆ 8-parametrična projektivna transformacija

Modeli datumske transformacije med koordinatnimi sistemi nehomogene natančnosti

- ♦ Razpačenje (rubber sheeting), npr. trikotniška transformacija
- ♦ Uporaba ploskve minimalne ukrivljenosti (minimum curvature surface)
- ♦ Kolokacija po metodi najmanjših kvadratov (least squares collocation)
- ♦ Polinomska transformacija
- ♦ Umetna nevronska mreža

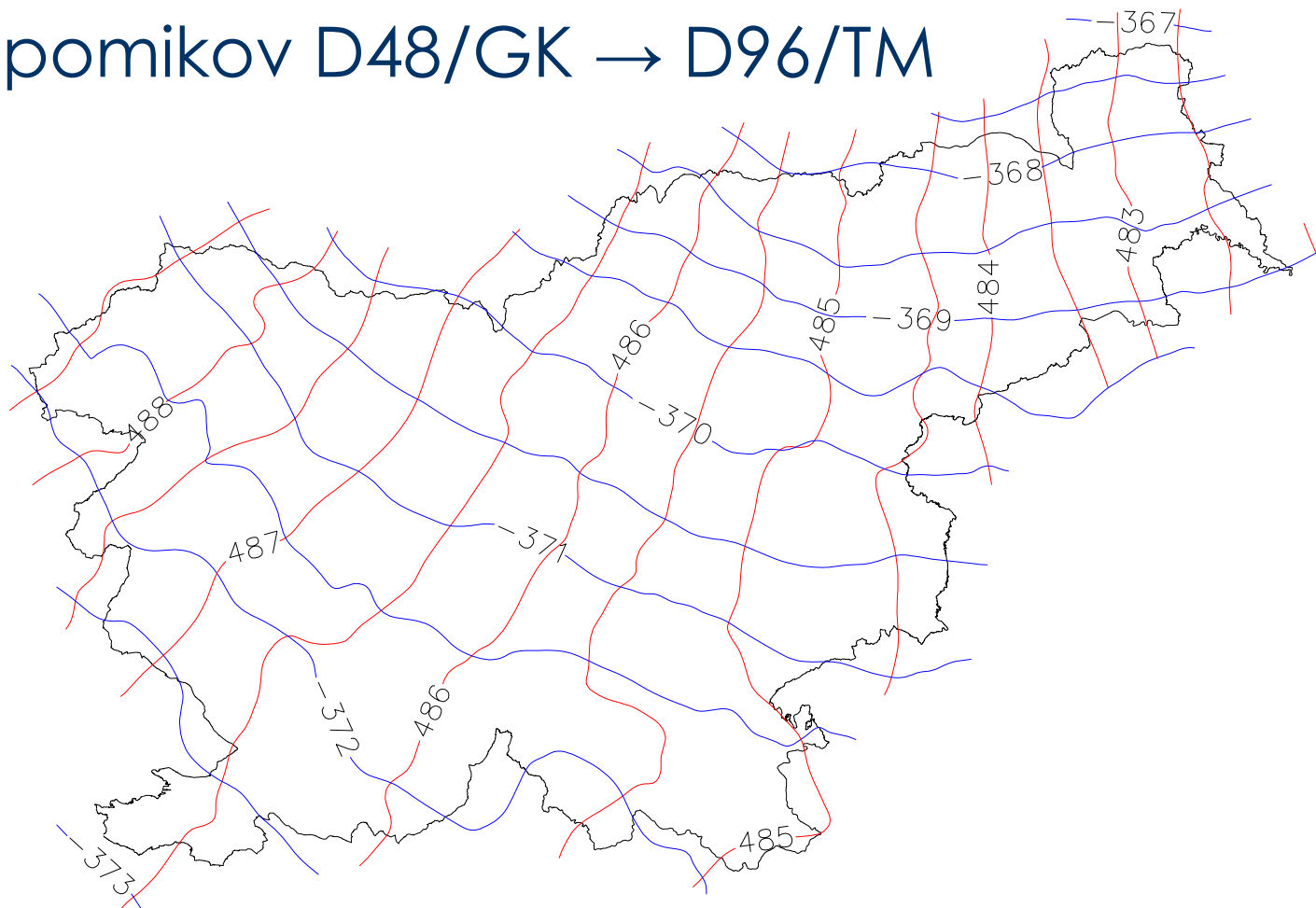
Več v:

González-Matesanz, J., Dalda, A., in Malpica, J. A. (2006): **A range of ED50-ETRS89 datum transformation models tested on the Spanish geodetic network.** *Survey Review*, letn. 38, št. 302.

Kutoglu, H. S. (2009): **Alternative methods for improving transformation consistency between geocentric and nongeocentric (local) coordinate systems.** *Survey Review*, letn. 41, št. 314.

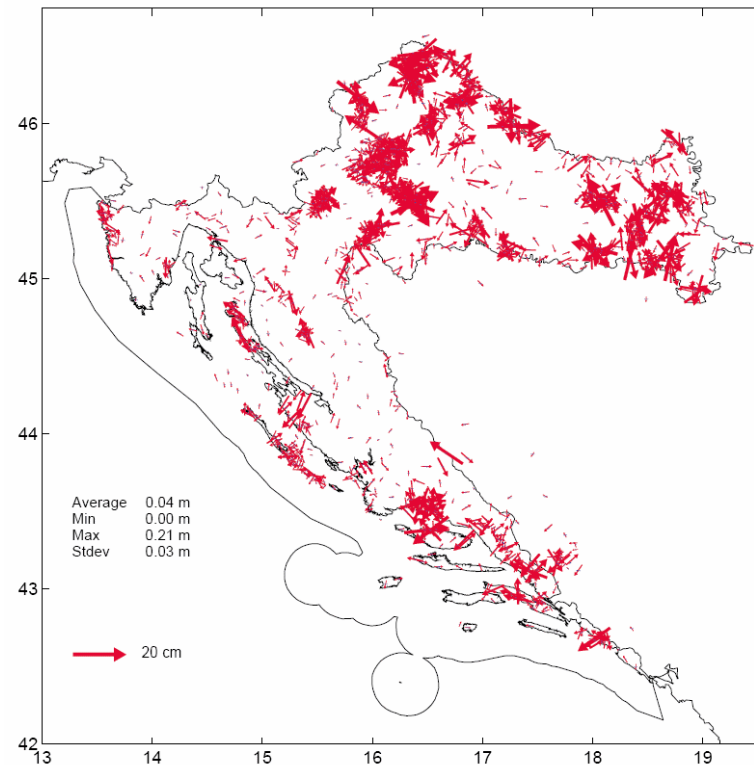
Model transformacije in korekcij nehomogenosti

Ploskvi pomikov D48/GK → D96/TM



Primeri datumske transformacije Hrvaška

T7D (kolokacija)

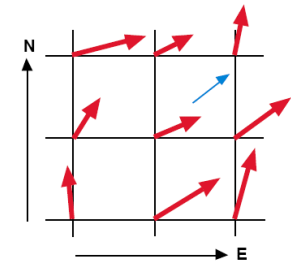
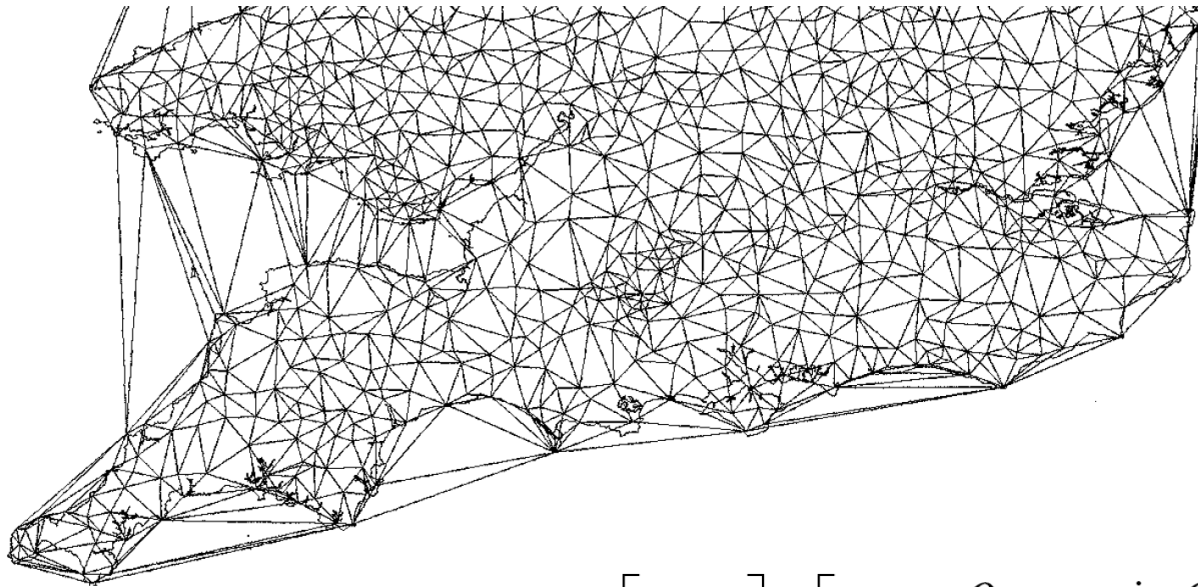


Več v:

Bašić, T. (2009): **Jedinstveni transformacijski model i novi model geoida Republike Hrvatske.** *Izvešća o znanstveno-stručnim projektima 2006.–2008.* Zbornik. Državna geodetska uprava Republike Hrvatske, Zagreb.

Primeri datumske transformacije **Velika Britanija**

»grid look up transformation«



$$\begin{bmatrix} e_{OSGB} \\ n_{OSGB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_e \cos \theta_e & \mu_n \sin \theta_n \\ \mu_e \sin \theta_e & \mu_n \cos \theta_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} e_{ETRS} \\ n_{ETRS} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta e \\ \Delta n \end{bmatrix}$$

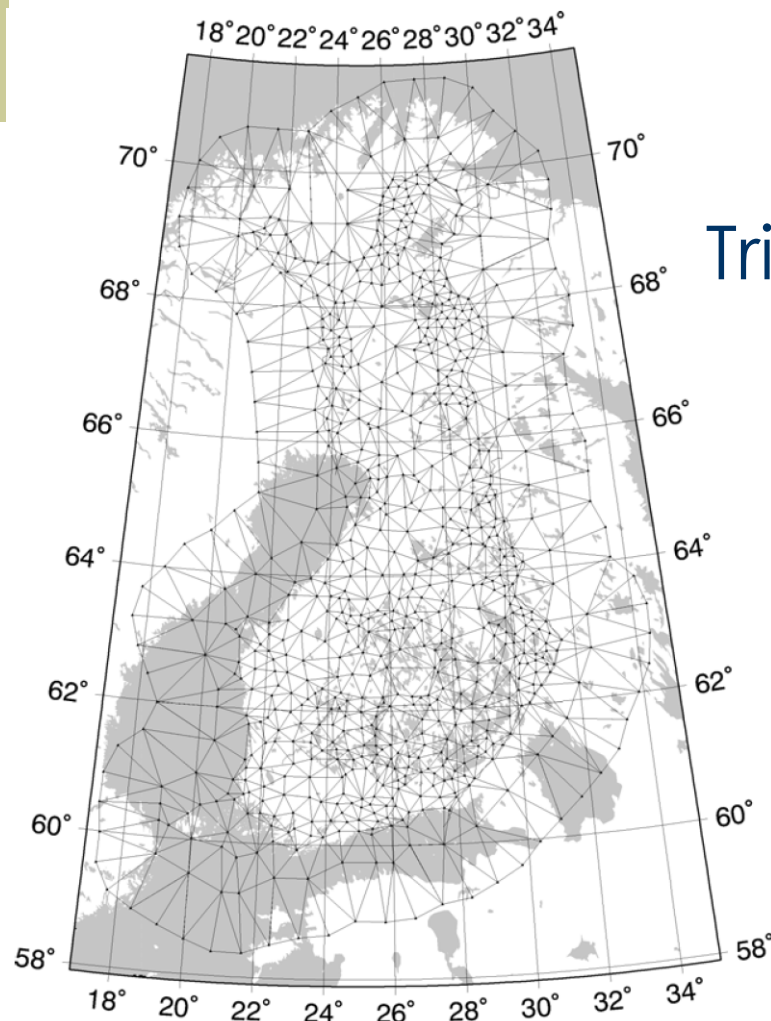
Več v:

Greaves, M., in Cruddance, P. (2001): **The OS's new coordinate transformation for Great Britain**. *Geomatics World*, letn. 10, št. 1.

Primeri datumske transformacije

Finska

Trikotniška transformacija



Virtualne
vezne točke
zunaj države

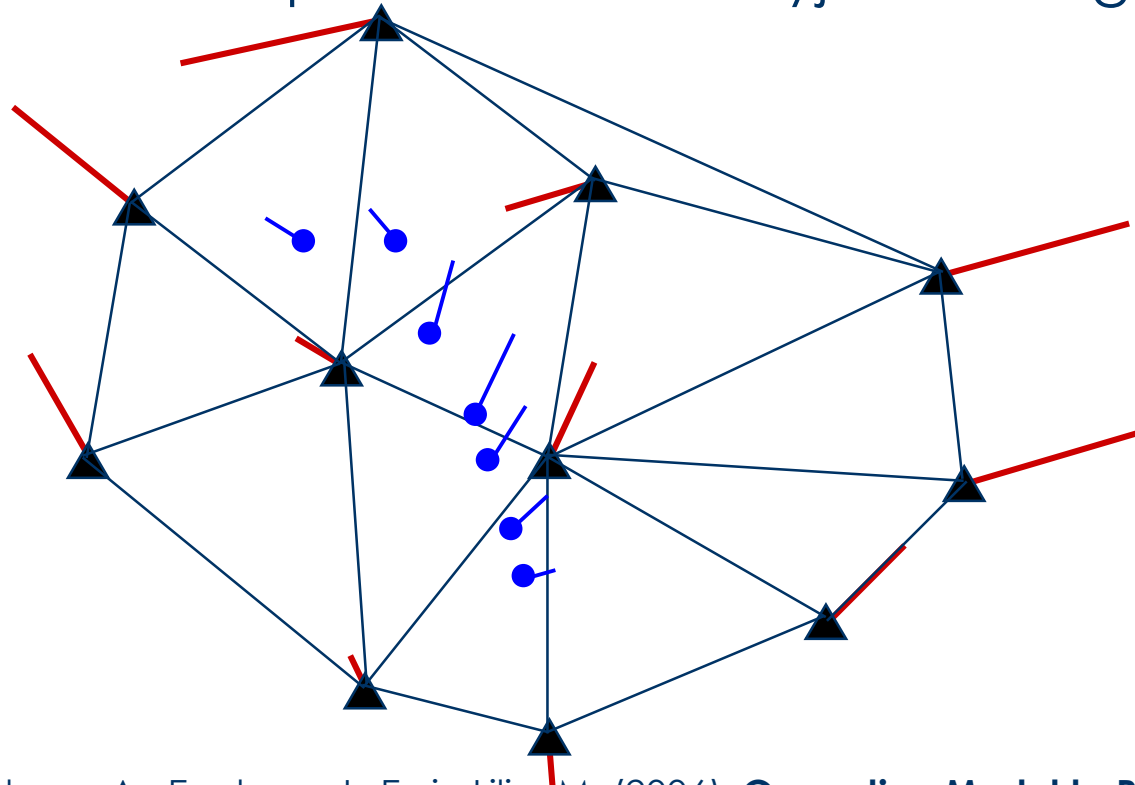
$$\begin{aligned}x_2 &= \Delta x + a_1 x_1 + a_2 y_1 \\y_2 &= \Delta y + b_1 x_1 + b_2 y_1\end{aligned}$$

Več v:

Ollikainen, Marko, Ollikainen, Matti (2004): **The Finnish Coordinate Reference System.**
Finnish Geodetic Institute & National Survey of Finland, Helsinki.

Primeri datumske transformacije Švedska

Korekcijski model z uporabo Delaunayjeve triangulacije

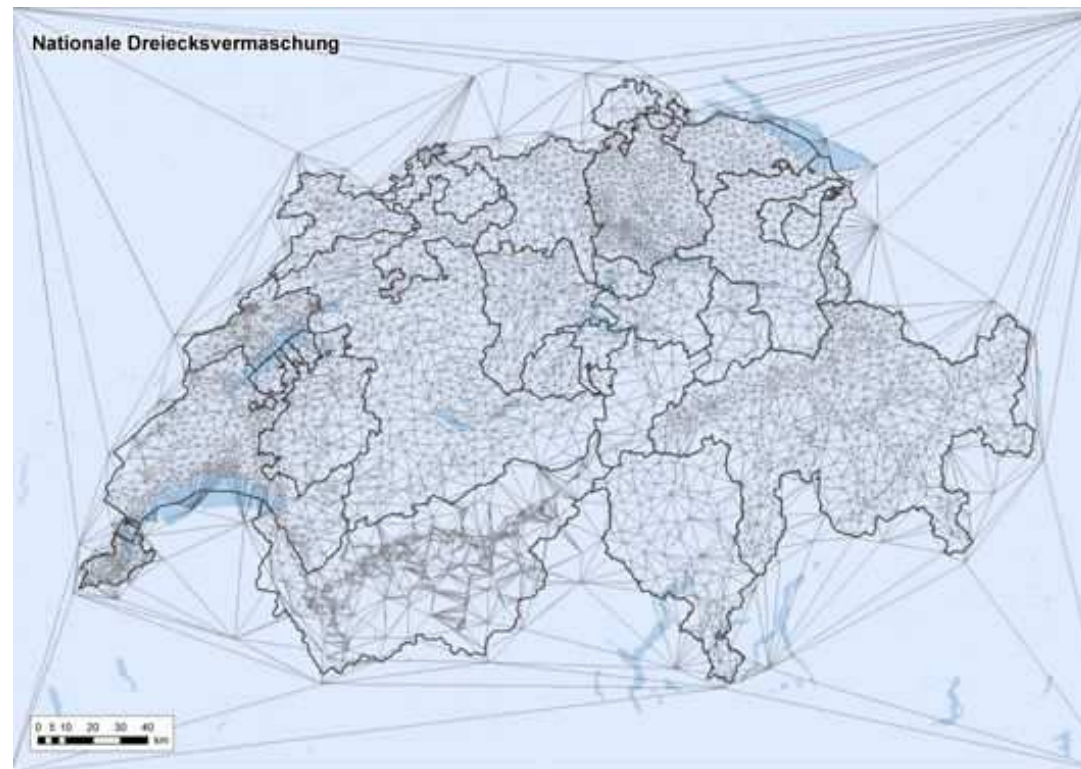


Več v:

Kempe, C., Alfredsson, A., Engberg, L. E., in Lilje, M. (2006): **Correction Model to Rectify Distorted Co-ordinate Systems**. *Shaping the change – XXIII FIG International Congress Proceedings*. München.

Primeri datumske transformacije Švica

Trikotniška transformacija z uporabo Delaunayjeve triangulacije



Več v:

Kistler, M., in Ray, J. (2007): **Neue Koordinaten für die Schweiz**. Geomatik Schweiz, letn. 105, št. 9.

Trikotniško zasnovana odsekoma afina transformacija za Slovenijo

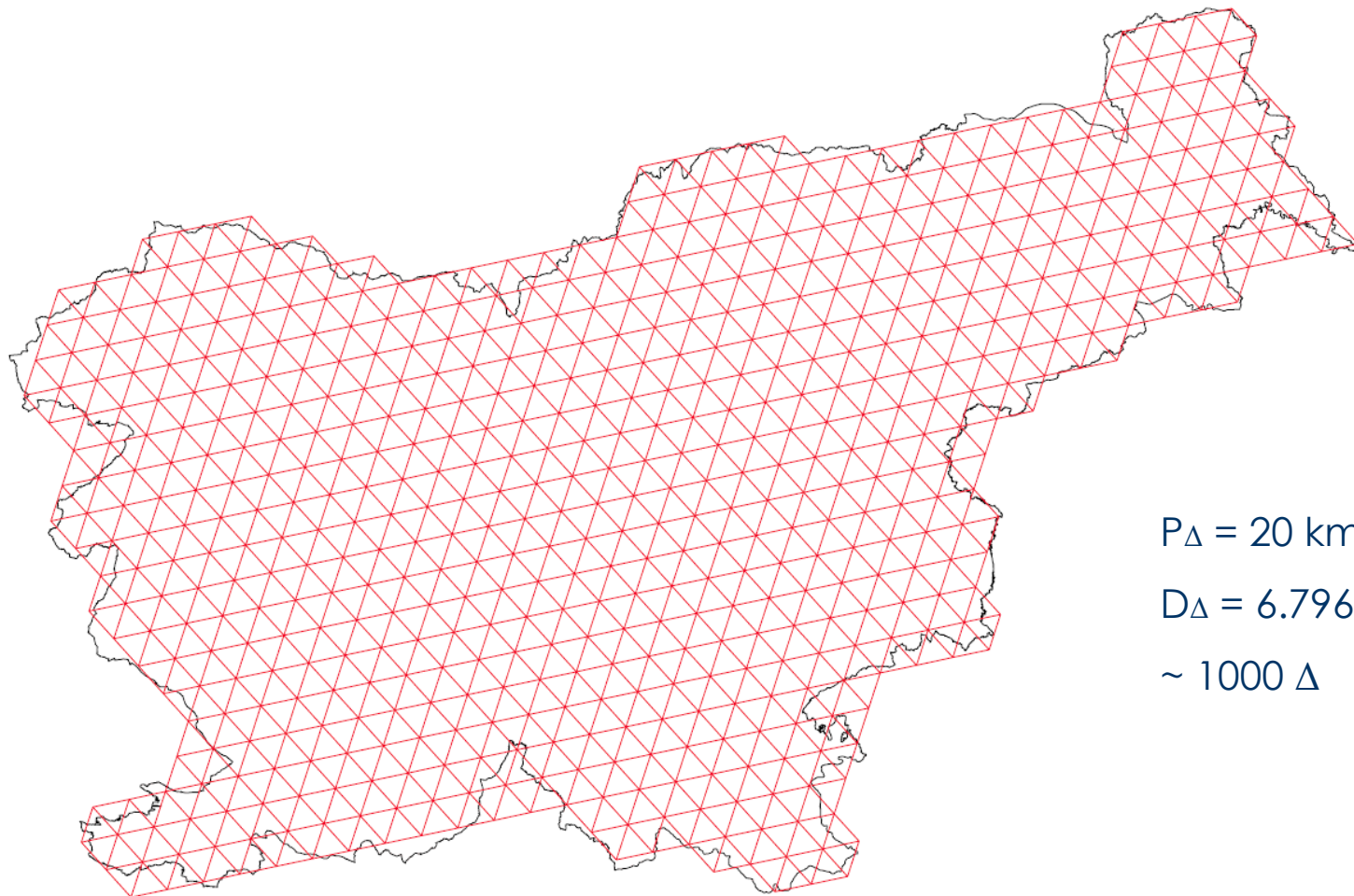
Ključni argumenti:

- ♦ Definijsko območje pokriva vso državo in širšo okolico (ekstrapolacija)
- ♦ Neprekinjenost (zveznost) na celotnem definijskem območju
- ♦ Povratnost (reverzibilnost), tj. brez izgub pri zaporednih transformacijah **D48/GK** → **D96/TM** → **D48/GK**
- ♦ Dosežena natančnost

Zgodovina trikotniške transformacije

- ♦ Različica 1.0 (2006):
Vezne točke izbrane na podlagi geometrijskih kriterijev (čimbolj enakomerno – lepi trikotniki)
- ♦ Različica 2.0 (2008):
Vezne točke iz 2007 so bile zamenjane za »najbolj reprezentativne« – iz njihove neposredne okolice
- ♦ Različica 3.0 (2009):
Virtualne vezne točke – vektorji pomikov so bili določeni z optimalno (best-fit) transformacijo iz točk v njihovi neposredni okolici

Pravilna trikotniška mreža virtualnih veznih točk

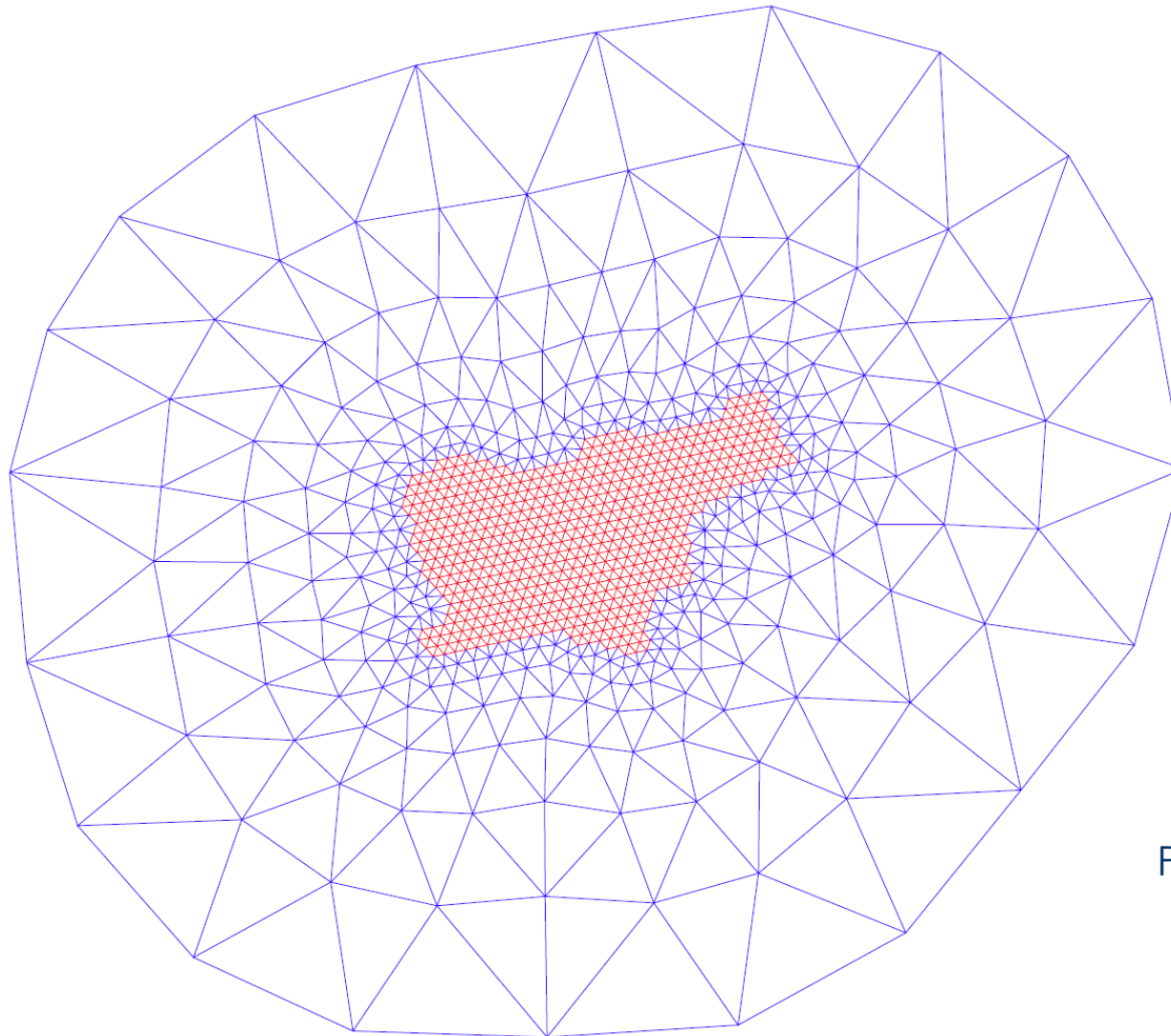


$$P_{\Delta} = 20 \text{ km}^2$$

$$D_{\Delta} = 6.796 \text{ m}$$

$$\sim 1000 \Delta$$

Pravilna trikotniška mreža in razširitvena mreža



$$P \approx 18 \times P_{SVN}$$

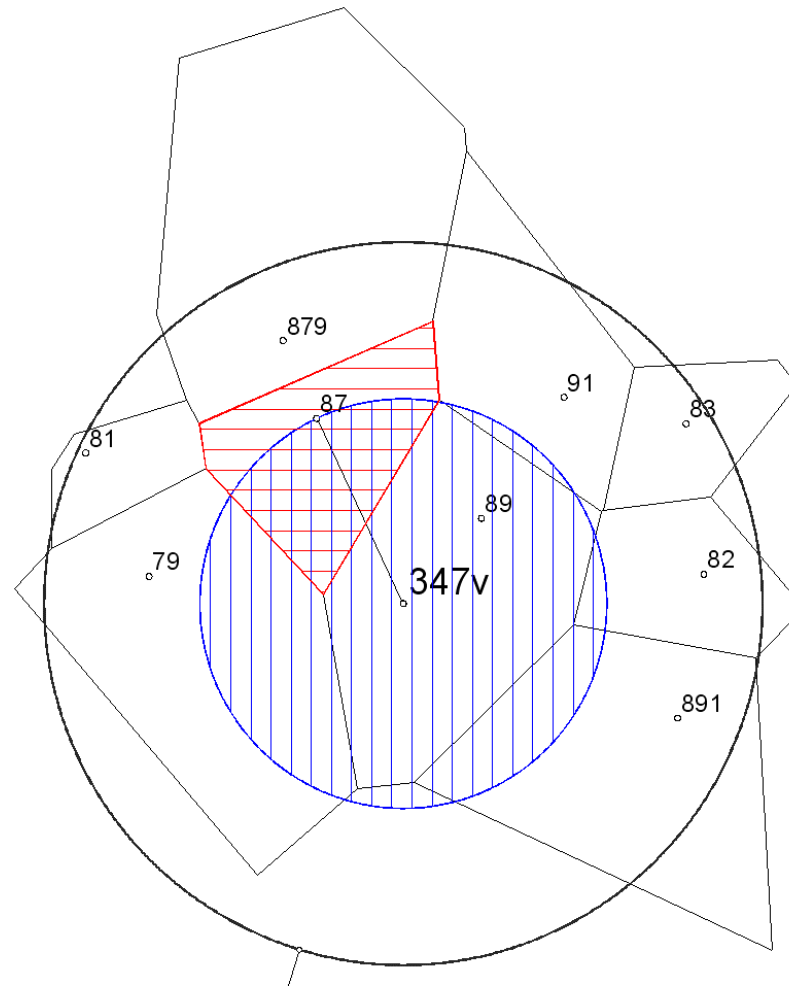
Problem določitve vektorjev pomikov v virtualnih veznih točkah

- ♦ Vektorji pomikov so določeni z optimalno (best-fit) transformacijo iz točk v njihovi neposredni okolici:
 - Kako velika naj bo neposredna okolica, da bo eliminiran vpliv slučajnih napak?
 - Kako majhna naj bo neposredna okolica, da bo transformacija imela lokalni značaj (in s tem eliminirala vpliv nehomogene natančnosti starega koordinatnega sistema)?

Optimalna določitev vektorjev pomikov v virtualnih veznih točkah

- ♦ Postopek je opredeljen empirično z določitvijo:
 - Optimalne velikosti neposredne okolice virtualne vezne točke
(izbran je bil krog s polmerom 5,885 m)
 - Optimalne utežne funkcije za točke v neposredni okolici virtualne vezne točke
(o tem naslednja prosojnica)
 - Optimalnega modela transformacije v neposredni okolici virtualne vezne točke
(izbrana je bila ravninska podobnostna transformacija)

Določitev uteži točk v neposredni okolici virtualne vezne točke



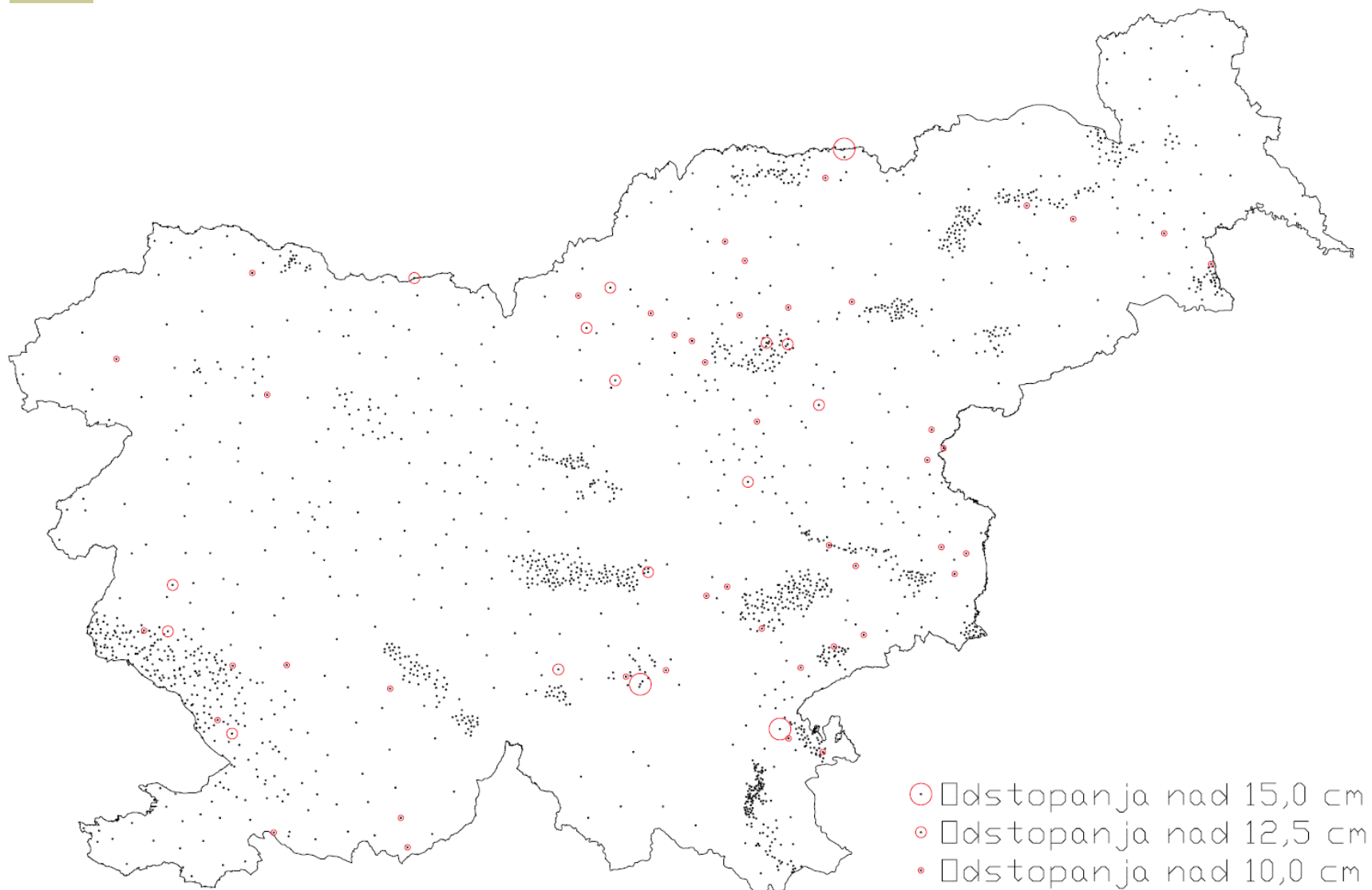
← Utež je točke
št. 87 je kvocient
šrafiranih površin

Neposredna okolica virtualne vezne točke št. 347v

Kakovost trikotniške transformacije (Različica 3.0)

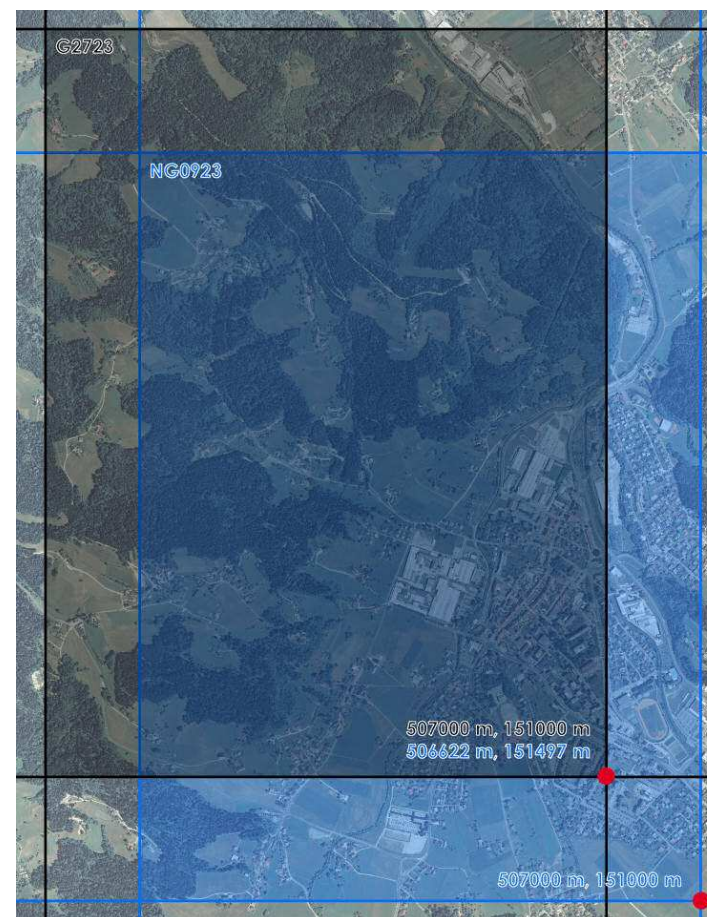
- ◆ Položajna natančnost:
 - Položajni standardni odklon = 4,2 cm
 - Največje položajno odstopanje = 18,6 cm
- ◆ Deformacije:
 - Največja površinska deformacija = 0,085 ‰
 - Največja dolžinska deformacija = 0,065 %
 - Največja kotna deformacija = 15,0"

Odstopanja na ETRS-točkah



Komentarji k že transformiranim podatkovnim zbirkam GURS

- ♦ Stari (D48/GK) **ortofoto**:
TT, različica 1.0 – samo nove geolokacijske datoteke (*.tfw, *.sdw)
- ♦ Novi (D96/TM) **ortofoto**:
TT, različica 2.0 – nove geolokacijske datoteke in tudi nov razrez na liste stare razdelitve



Komentarji k že transformiranim podatkovnim zbirkam GURS

- ♦ **DMV 12,5 & 25 & 100:**

TT, različica 3.0 – samo transformacija datotek (y,x,H), tj. točka po točka

- ♦ **DTK 25 & 50:**

Rastrski podatki:

TT, različica 1.0 – samo nove geolokacijske datoteke (*.tfw)

Vektorski podatki:

optimalna državna projektivna transformacija:

$$\bar{x} = \frac{a_1 + a_2 \cdot x + a_3 \cdot y}{1 + a_4 \cdot x + b_4 \cdot y} \quad \text{in} \quad \bar{y} = \frac{b_1 + b_2 \cdot x + b_3 \cdot y}{1 + a_4 \cdot x + b_4 \cdot y}$$

Domače branje

- Berk, S., in Komadina, Ž. (2010): **Trikotniško zasnovana transformacija med starim in novim državnim koordinatnim sistemom Slovenije.** *GIS v Sloveniji*, št. 10. Založba ZRC, Ljubljana.
- Triglav Čekada, M., Berk, S., in Barborič, B. (2010): **Nepremičninske evidence in novi koordinatni sistem v luči direktive INSPIRE.** *Geodetski vestnik*, letn. 54, št. 2.
- Berk, S., in Duhovnik, M. (2007): **Transformacija podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije v novi državni koordinatni sistem.** *Geodetski vestnik*, letn. 51, št. 4.
- Mozetič, B., in Komadina, Ž. (2006): **Transformacija!?** *Geodetski vestnik*, letn. 50, št. 1.