



Geodetska osnova za izgradnjo drugega tira Divača-Koper

Klemen Ritlop, Polona Pavlovčič Prešeren, Gašper Štebe, Klemen Kregar, Aleš
Marjetič, Tilen Urbančič, Oskar Sterle

UL FGG

52. Geodetski dan | 8. in 9. oktober 2024, Maribor

DRUŠTVO GEODETOV



SEVEROVZHODNE SLOVENIJE



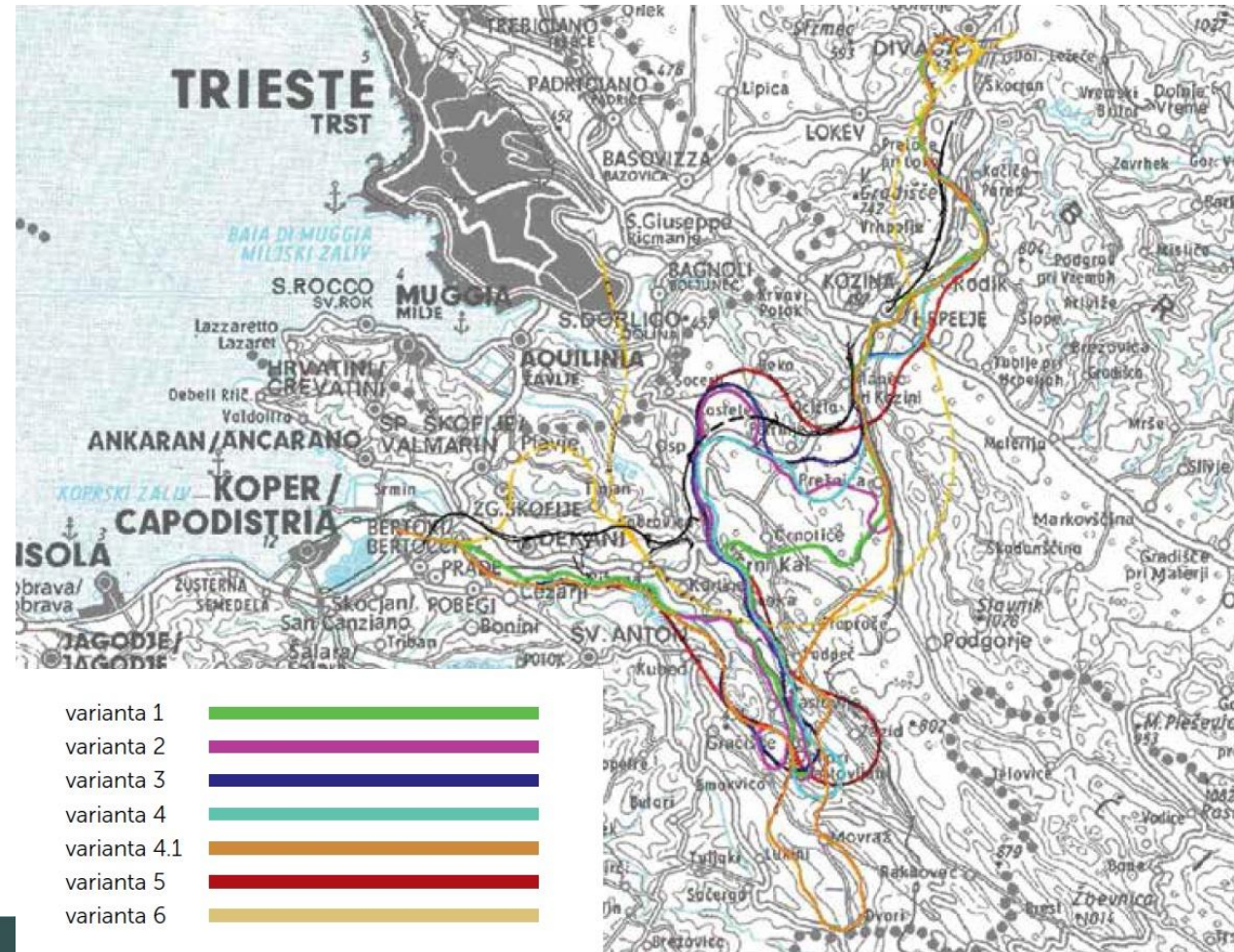
Vsebina

- 2. tir Divača – Koper
- Problem/naloga
- Portalne mreže predorov
- Geodetska koordinatna osnova predorov (idealno, pesimistično, realno)
- Geodetska izmera in obdelava opazovanj
- Geodetski datum in pogrešek preboja + ocena kakovosti
- Rezultati



2. tir Divača Koper - <https://drugitir.si/>

- Zgodba se začne že pred skoraj 30. leti
 - 1996 – prva študija upravičenosti
- Preučitev 17 variant v času 10 vlad – izbira t.i. **predorske variante**
- Tehnični podatki:
 - Dolžina – 27,1 km
 - # predorov – 7
 - Dolž. predorov, servisnih in izstopnih cevi – 37,4 km
 - Skupna dolžina viaduktov – 1,3 km
 - Največji vzdolžni naklon – 17 ‰



2. tir Divača Koper

- 7 predorov:

- T1 – **6 714** m
- T2 – **6 017** m
- T3 – 335 m
- T4 – 1 949 m
- T5-6 – 513 m
- T7 – 1 154 m
- T8 – **3 808** m

- Velikost območja - ~21 km

(vir: <https://drugitir.si/tehnicni-podatki/>)



Vir: <https://old.delo.si/novice/slovenija/po-47-letih-od-prvega-je-drugi-tir-na-slepem-tiru.html>

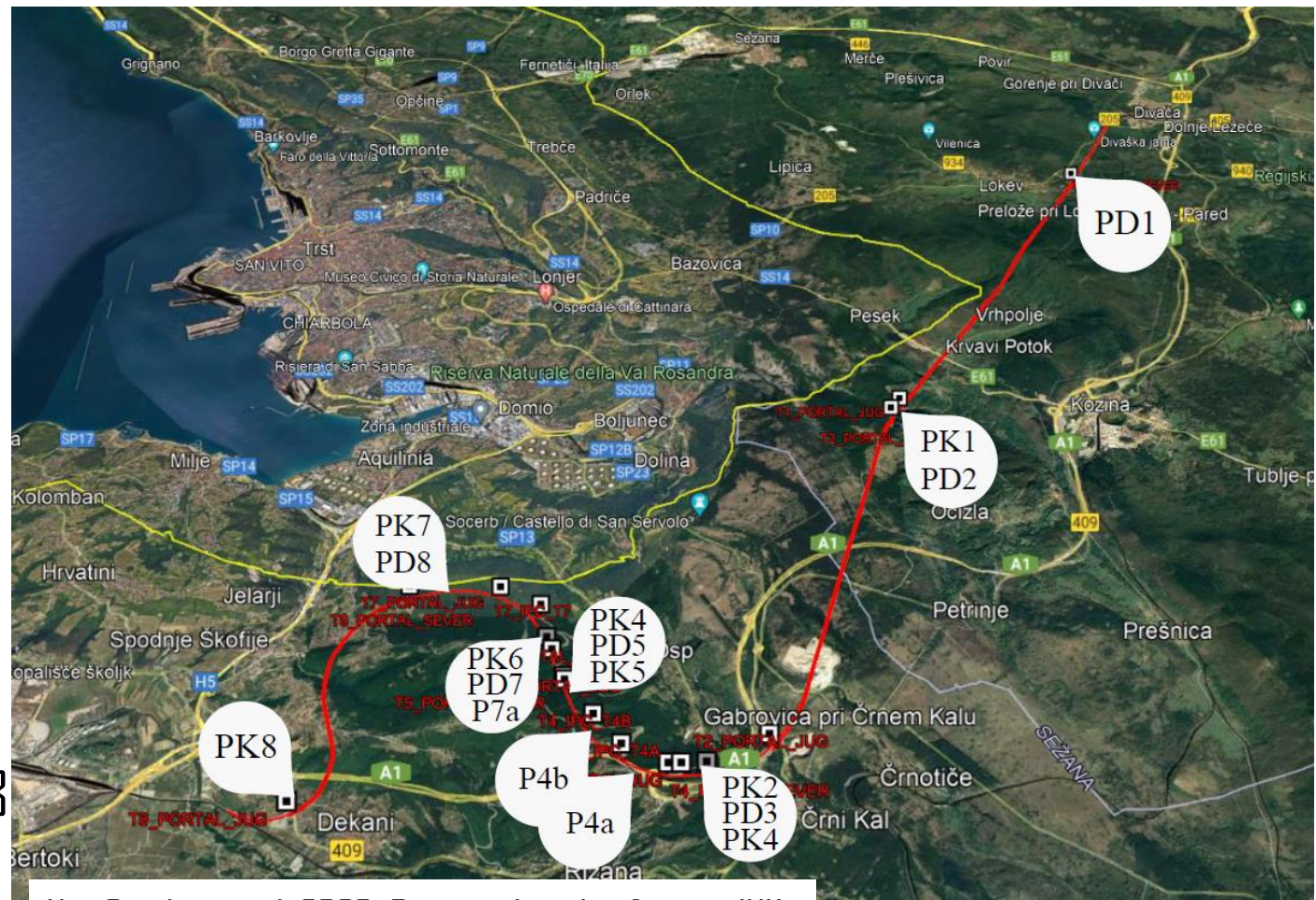
Problem/naloga + izhodišče

- Zagotovitev koordinatne osnove za izgradnjo predorov
 - Ključno: usmerjanje izkopavanja
- Največji pogrešek preboja: 25mm/km predora (pogrešek določitve smeri ~5")
- Izhodišče:
 - Že izgrajene portalne geodetske mreže
 - Nismo sodelovali v tem delu projekta
- Stanje na gradbišču:
 - Predori se niso gradili istočasno
 - Sočasno grajeni predori niso bili eden poleg drugega (zaporedna izgradnja)
 - Daljši predori se gradijo iz obeh smeri istočasno



Portalne geodetske mreže

- Portalna geodetska mreža
 - Geodetska mreža ob vhodu v predor, ki služi za koordinatno osnovo izkopavanja
- Vsak predor – dve portalni mreži PKi in PDi
 - PDi – portalna mreža na strani Divače za i-ti predor
 - PKi – portalna mreža na strani Kopra za i-ti predor
- Skupno:
 - Teoretično: 16 portalnih mrež
 - Praktično: 14 portalnih mrež – združevanja + 3 servisne cevi



Vir: Sterle in sod. 2023. Prispevek na konferenci IVK

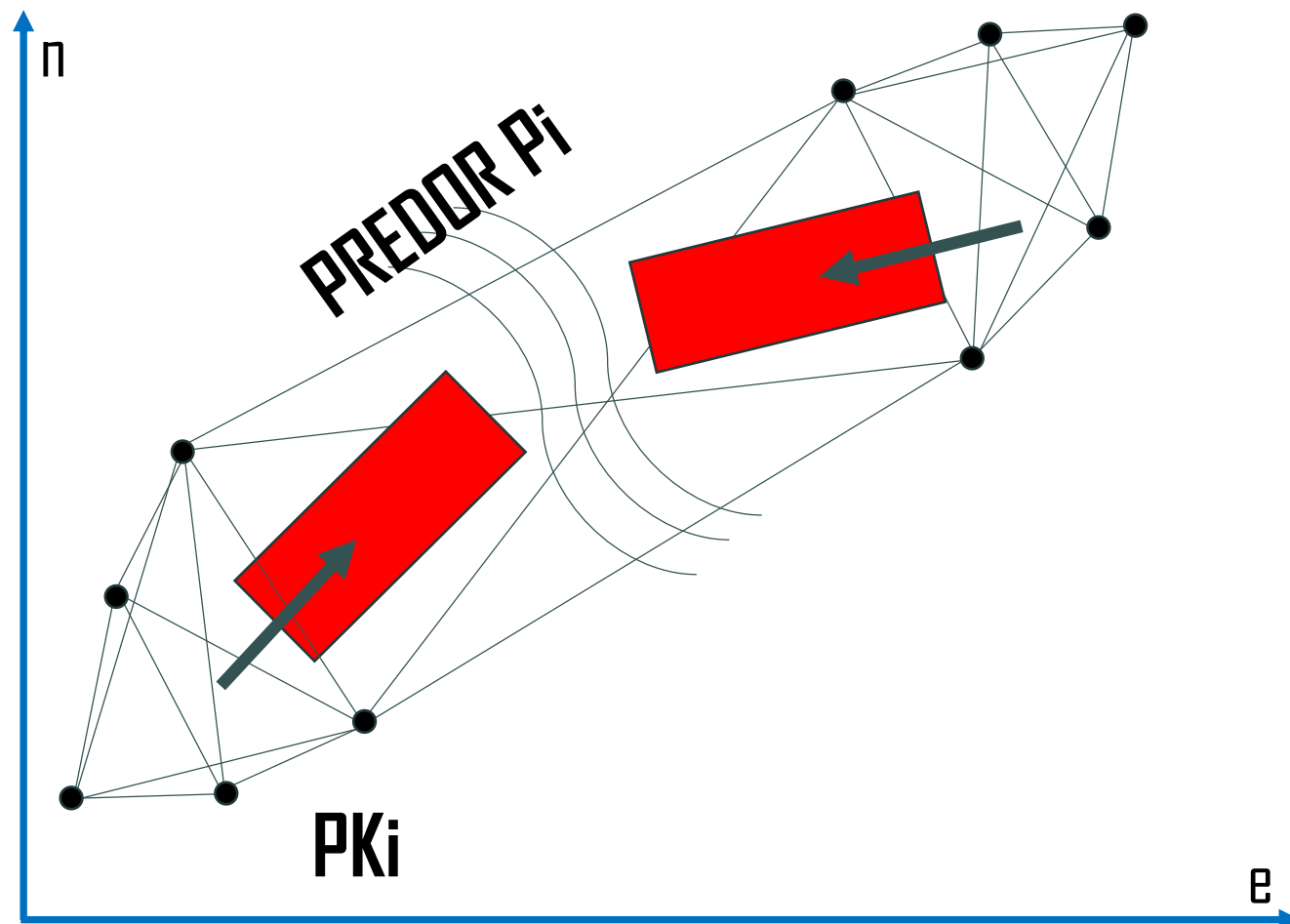
Portalne geodetske mreže

- Vsaka portalna mreža ima:
 - Niz geodetskih točk stabiliziranih z betonskimi stebri - ni koordinat
 - Eno ali dve geodetski točki (kovinski čep v asfalt) z znanimi koordinatami v D96-17/TM, D46/GK in znano višino v SVS2000 (Blejec, 2021)
- Cilj - Vsem geodetskim točkam vseh portalnih mrež določiti:
 - koordinate v D96-17/TM in D46/GK
 - Višine v SVS2000
- Zahtevana kakovosti: točnost preboja (25 mm/km)



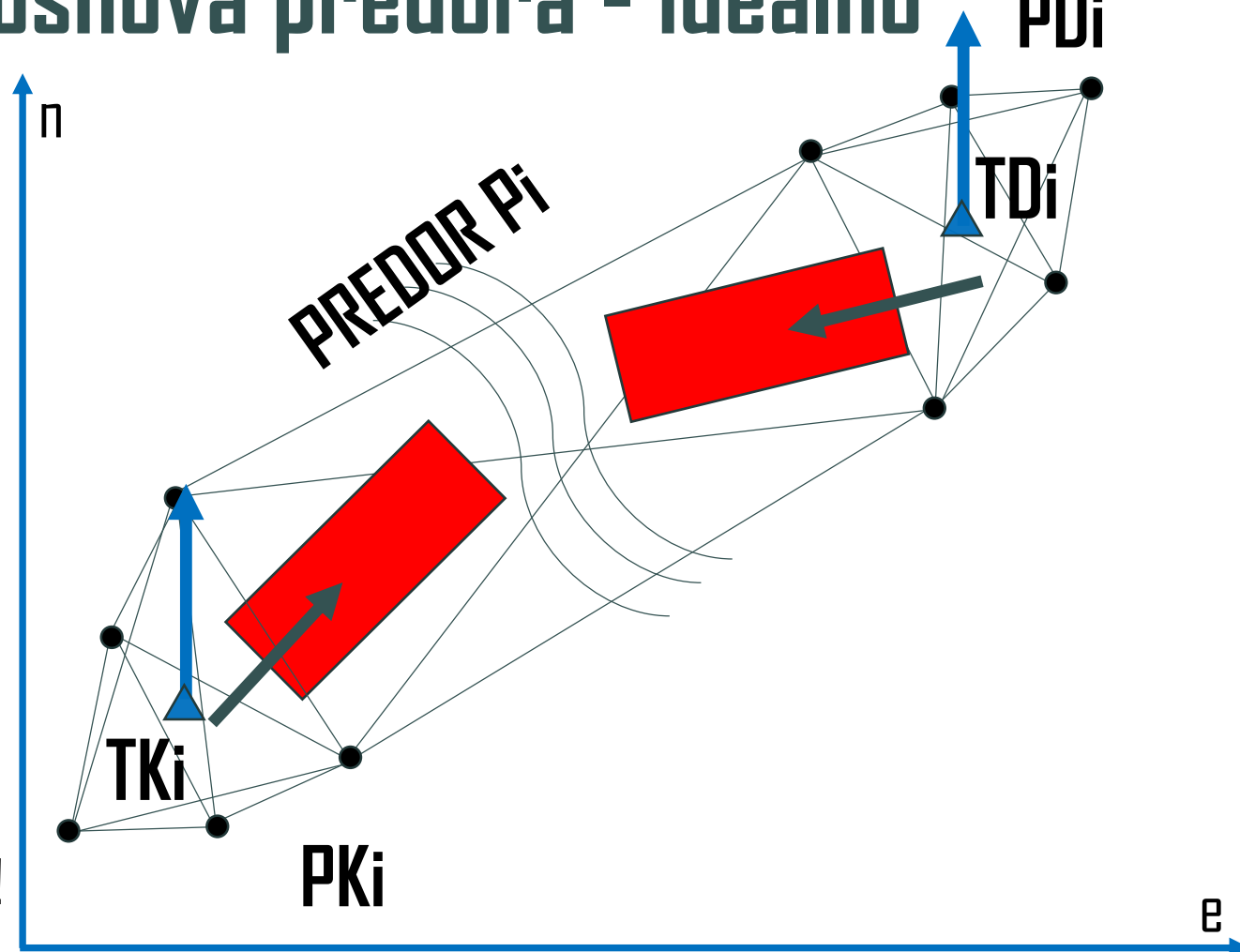
Geodetska koordinatna osnova predora - idealno PD_i

- Ključni namen – usmerjanje gradnje predora
- Dve portalni mreži predora
- Koordinate vseh točk obeh mrež v istem koordinatnem sistemu
- Geometrija obeh portalnih mrež naj predstavlja dejansko geometrijo v naravi
 - Dolžine enake – razdalja med obema vhodoma
 - Orientacije enake – smer obeh vhodov



Geodetska koordinatna osnova predora - idealno

- Smer vhoda v predor izračunamo iz vseh točk portalne mreže
- Celotno portalno mrežo lahko poenostavimo s:
 - Težiščem portalne mreže (T)
 - Smerjo severa na portalni mreži
- Obe smeri severa morata kazati v isto smer („vzporednost“)
- Težišči morata bi ti oddaljeni za pravo razdaljo
- Absolutna orientacija obeh težišč ni pomembna – relativna je!
- Kakovost zagotovitve koordinatne osnove – kakovost težišča in orientacije portalne mreže
- Kakovost položaja posamezne točke ni tako ključna!



Geodetska koordinatna osnova predora - idealno

- Ampak – predorov je več!

- In – koordinatna usklajenost mora veljati tudi med mrežami različnih predorov!

PREDOR P₁

PREDOR P₂

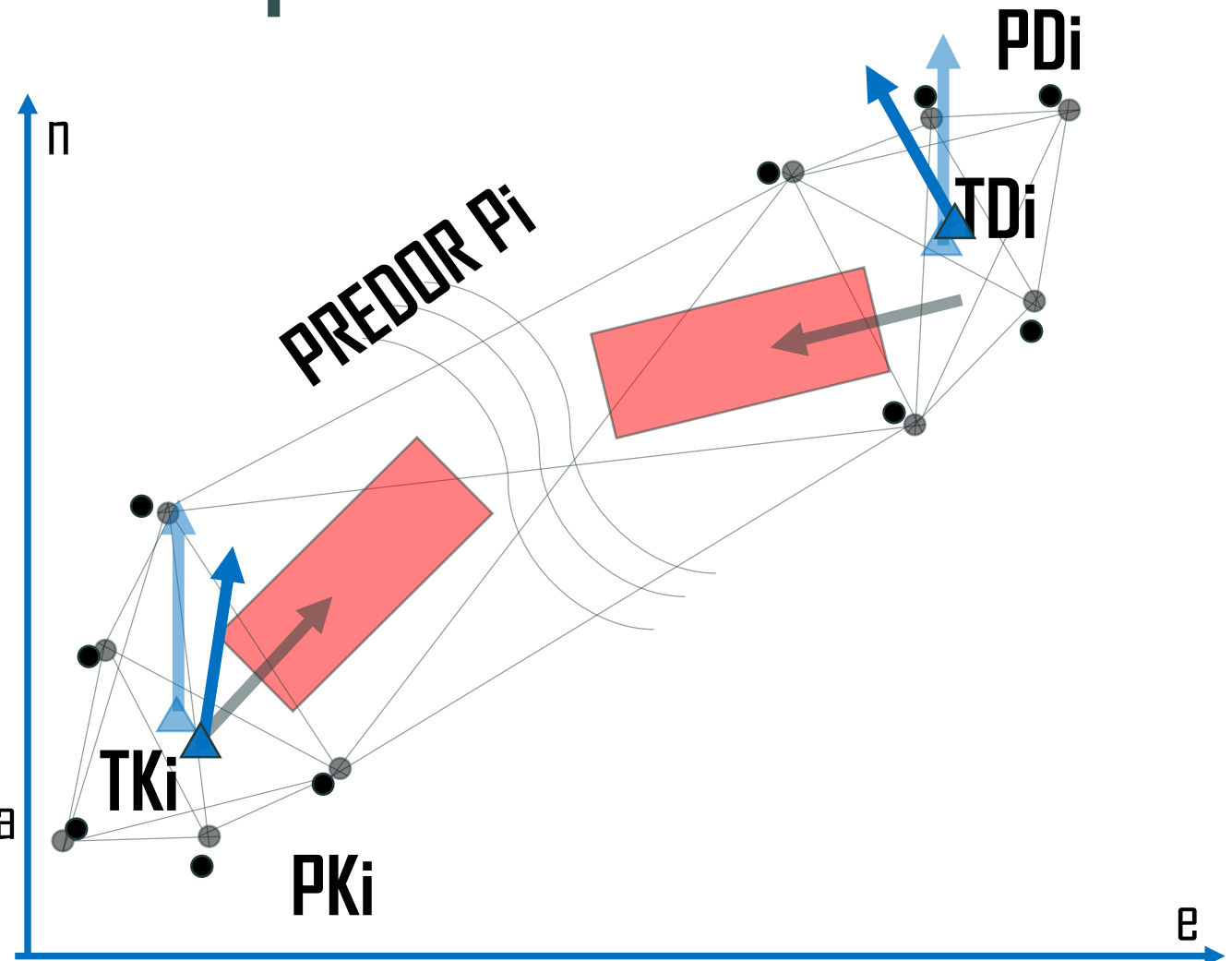
PREDOR P₃

PREDOR P₄

- **Ključno:** gledamo koordinatni sistem celotnega projekta, ne samo portalne mreže!

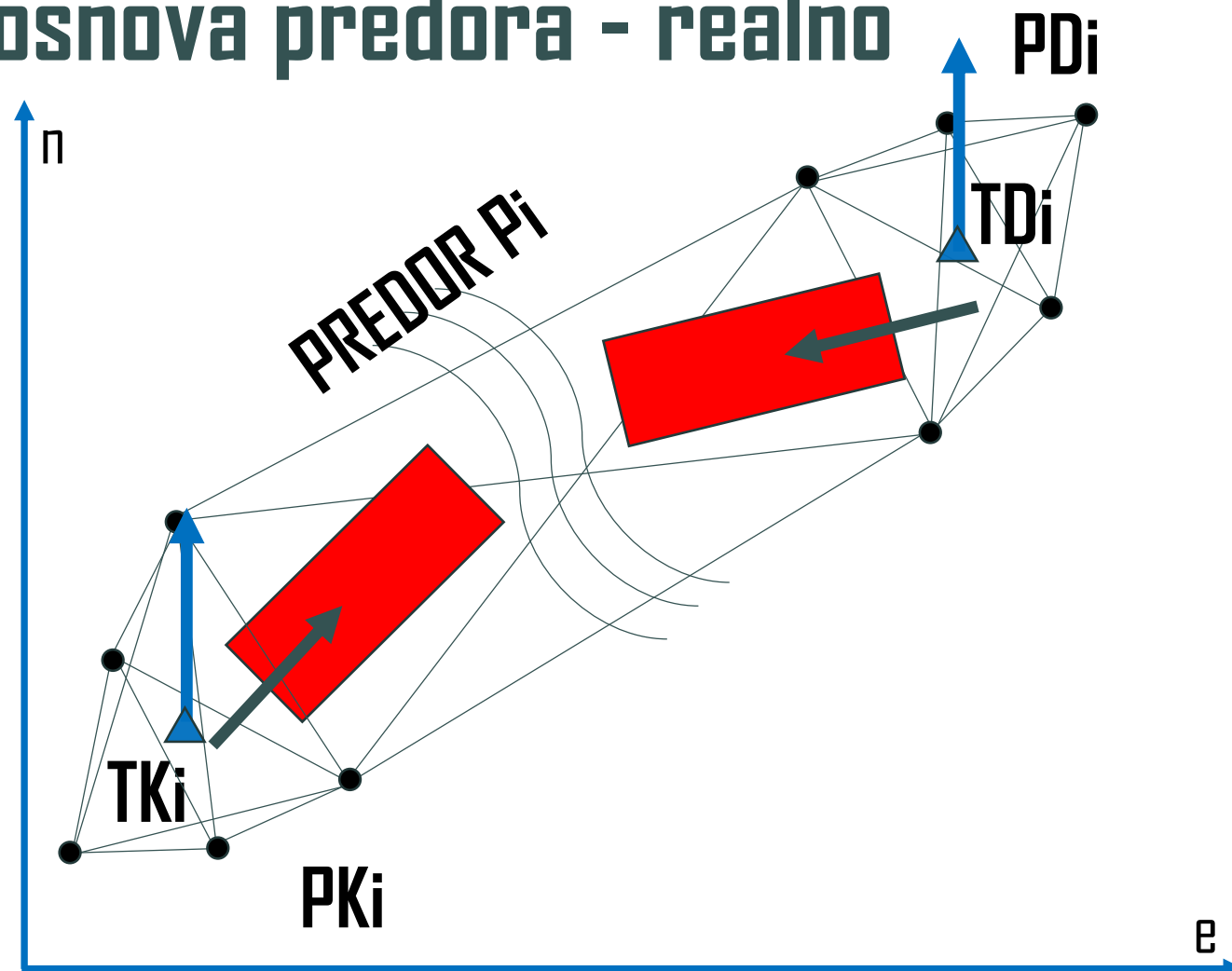
Geodetska koordinatna osnova predora – pesimističen scenarij

- Izračunane koordinate točk niso enake pravim:
 - Slučajni in sistematični pogreški
- Določimo napačne geometrije (oblike in **velikosti**) geodetskih mrež
- Določimo napačna **težišča** mrež
- Določimo napačne/različne **orientacije** mrež
- Določimo napačne **razdalje** med mrežami
- Posledica: usmerjanje izkopa v napačno smer na napačne razdalje



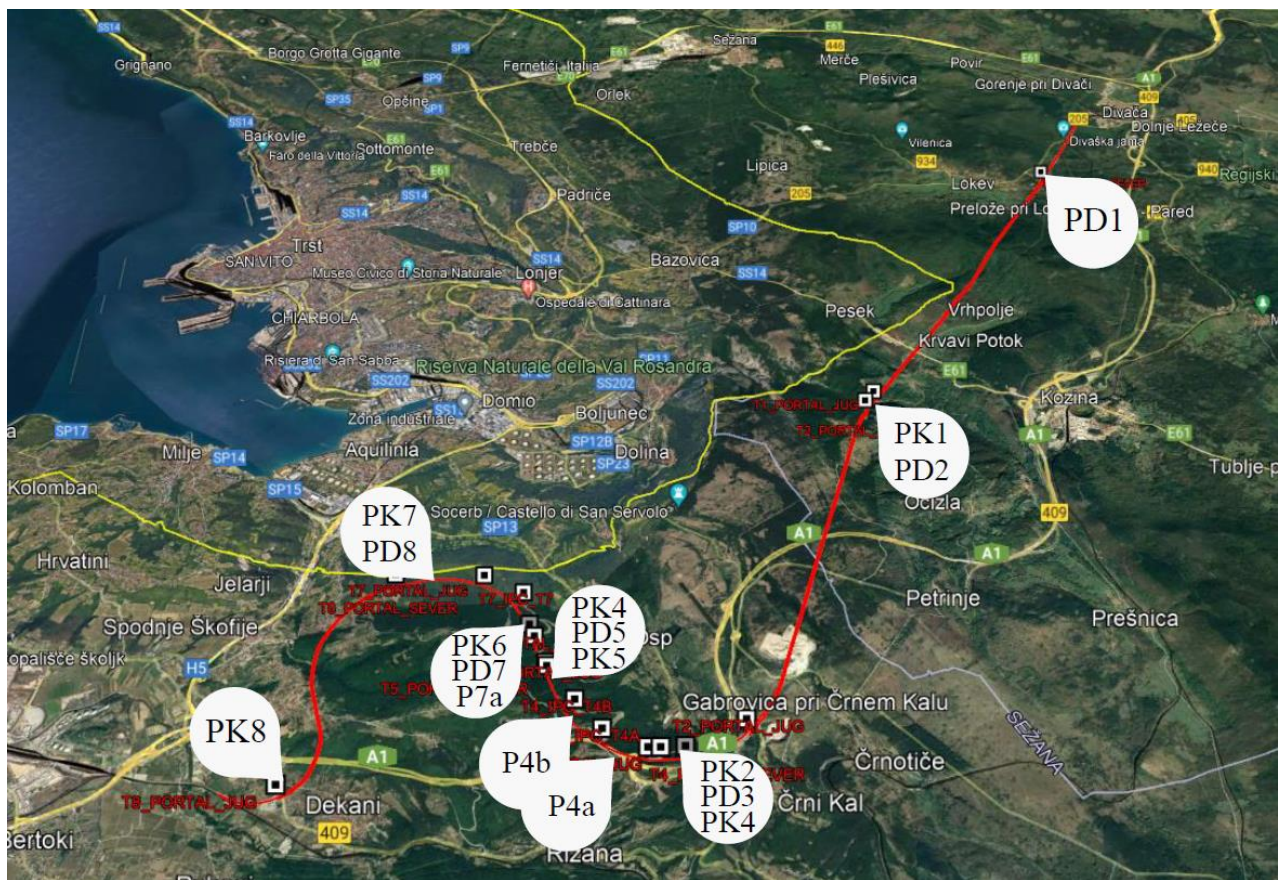
Geodetska koordinatna osnova predora - realno

- V realnosti pa moramo upoštevati:
 - Merske tehnologije in postopke
 - Prisotnost slučajnih in sistematičnih pogreškov
 - Metodologija izmere pri gradnji (usmerjanju izkopa)
 - Čas in finance!
- Idealno situacijo lahko zagotovimo le:
 - Uporaba precizne klasične geodetske izmere
 - Medsebojna vidnost točk obeh portalnih mrež
 - Medsebojna vidnost točk mrež različnih predorov
 - Razdalje ne smejo biti predolge
 - Izmera GNSS
 - Dolgo-dolgotrajne serije izmer
 - Zelo dobri pogoji izmere (odprtost neba)
 - Časovno, finančno in tudi izvedbeno nemogoče!



Rekognosciranje terena

- Točke posamezne portalne mreže se (povečini) dogledajo
- Možnost nekaterih povezav med različnimi portalnimi mrežami (povezave mrež) – na koncu 9 geodetskih mrež (dve mali – P4a, P4b)
- Različni pogoji izmere GNSS:
 - Vsaj ena do dve točki na portalni mreži ugodni za izmero GNSS
 - Razdalje med portalnimi mrežami so lahko tudi velike (tudi do 14 km)
- Portalne mreže so majhne – po večini največ nekaj 100 m – za predore dolge do 7 km (iz malega v veliko!)
- Problem: portalne mreže so bile grajene pred samo izmero (stabilnost) → istočasnost izmer!



Vir: Sterle in sod. 2023. Prispevek na konferenci IVK





Geodetska izmera

- Precizna klasična geodetska izmera

- Najvišji kakovostni rang
 - Precizni tahimeter + dodatni pribor, girusna metoda (7), meteorologija
 - Precizni digitalni nivelir + kalibrirana invar lata s kodno razdelbo
- Zagotovitev pod mm kakovosti koordinat in višin v okviru geodetske mreže
- Zelo kakovostno določena geometrija (oblika in velikost (**merilo**)) geodetske mreže

- GNSS izmera

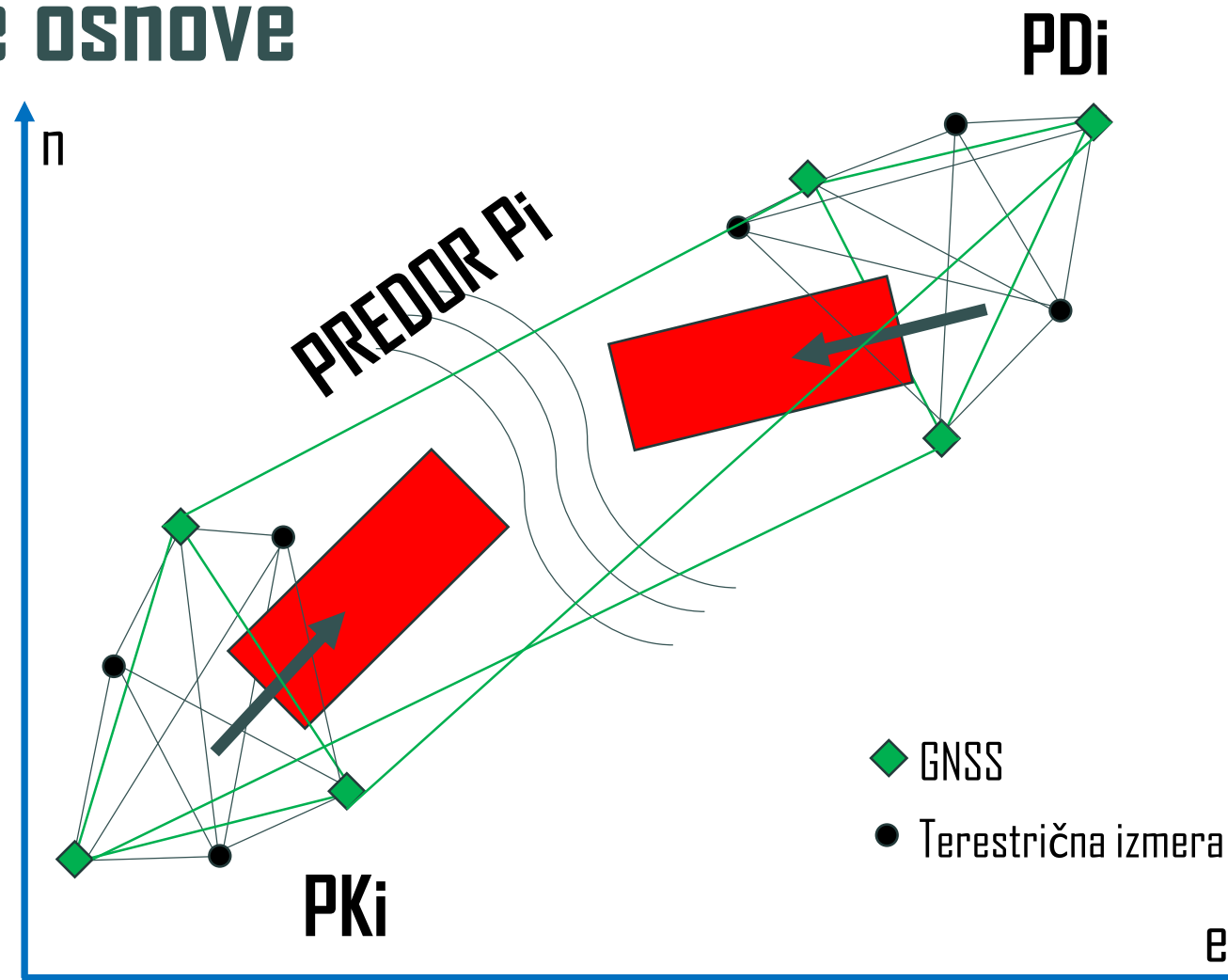
- Najvišji kakovostni rang
 - Statična izmera GNSS (6 – 8 h, 1s, 0°)
 - Kakovostni geodetski instrumenti GNSS
- Visoka kakovost pri kratkih razdaljah (do 1 km) – odvisno od pogojev izmere (pod mm do nekaj mm)
- Daljši bazni vektorji slabše kakovosti (povezave med portalnimi mrežami)
 - Vpliv atmosfere (troposfera – modeliranje/ocenjevanje, ionosfera – modeliranje)
 - Prisotnost sistematičnih pogreškov (nivo cm) – vpliv na dolžine baznih vektorjev
 - Spet odvisno od pogojev izmere
- Geometrija mreže (oblika in velikost (**merilo**)), pravilna usmerjenost mreže (**orientacija**) in položaj (**premik**)
- Zagotovi vse parametre geodetskega datuma!

KLJUČNI CILJ: KAKOVOST PREBOJA!



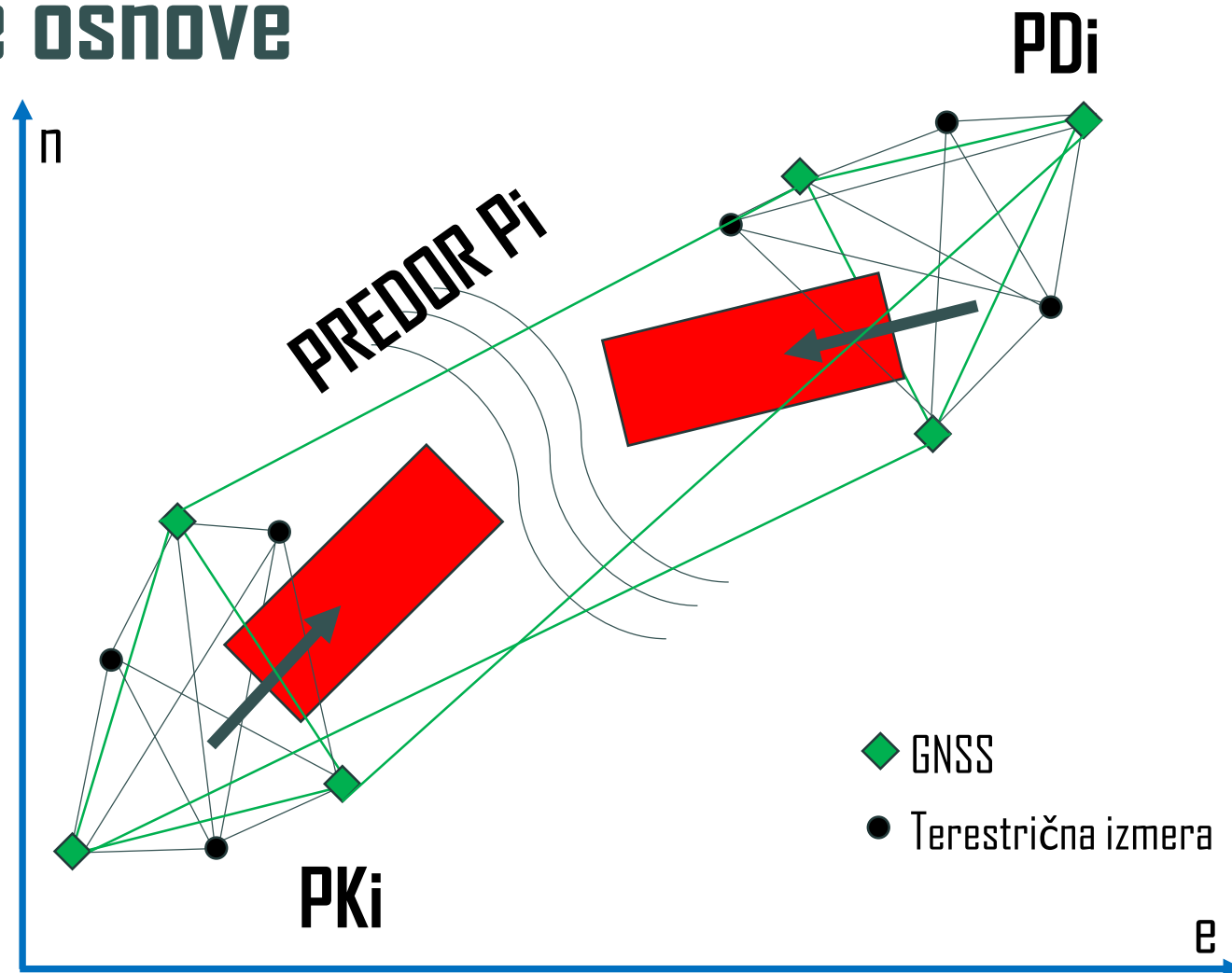
Zagotovitev koordinatne osnove

- Izmera v okviru ene portalne geodetske mreže:
 - Izmera vseh možnih povezav s klasično izmero
 - Izmera GNSS na (vsaj) treh točkah
- Izmera v okviru dveh (več) portalnih mrež
 - Izmera GNSS med najbolj kakovostnimi točkami različnih portalnih mrež
 - Več portalnih mrež na enkrat (ne samo dve) – zagotovitev enolične koordinatne osnove celotnega projekta
- Pričakovano:
 - Geometrija portalnih mrež na pod mm nivoju kakovosti
 - Koordinate točk GNSS portalne mreže na nivoju nekaj mm kakovosti
 - Povezava med portalnimi mrežami – nivo kakovosti do cm



Zagotovitev koordinatne osnove

- V okviru posamezne portalne mreže:
 - 3-parametrična transformacija (ravnina: dva premika + zasuk):
 - Iz: terestrične koordinate, **oblika in velikost** (pod mm)
 - V: koordinate GNSS, **položaj in orientacija** (nekaj mm)
- Med portalnimi mrežami
 - Daljši vektorji zagotovijo **premik / razdaljo + orientacijo med portalnimi mrežami**
- Pogreški v velikosti (**merilo**), položaju (**premiki**) in orientaciji (**zasuk**) predstavljajo pogrešek preboja!



Pogrešek preboja in geodetski datum

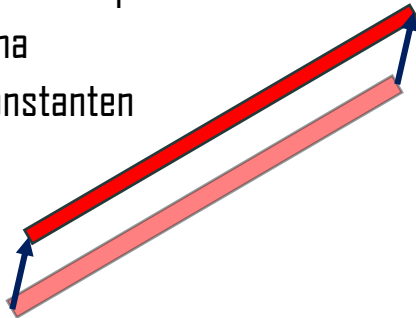
Ni pogreška geodetskega datuma:

- Začetek in konec predora sovpadata s pravim začetkom in koncem



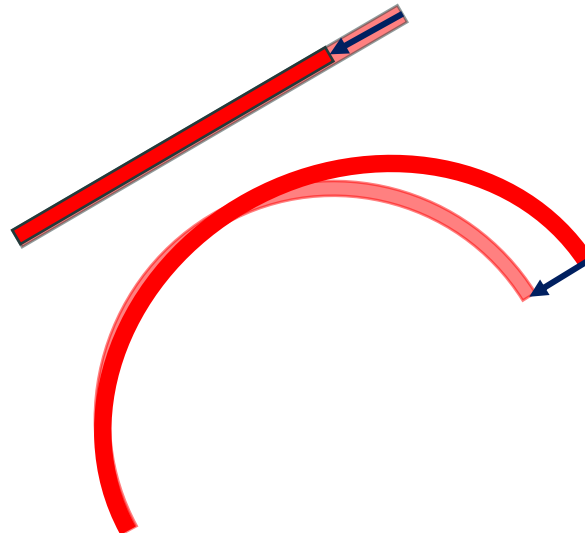
Pogrešek premika (težišča obeh mrež)

- Začetek in konec predora sta zamaknjena
- Vpliv je konstanten



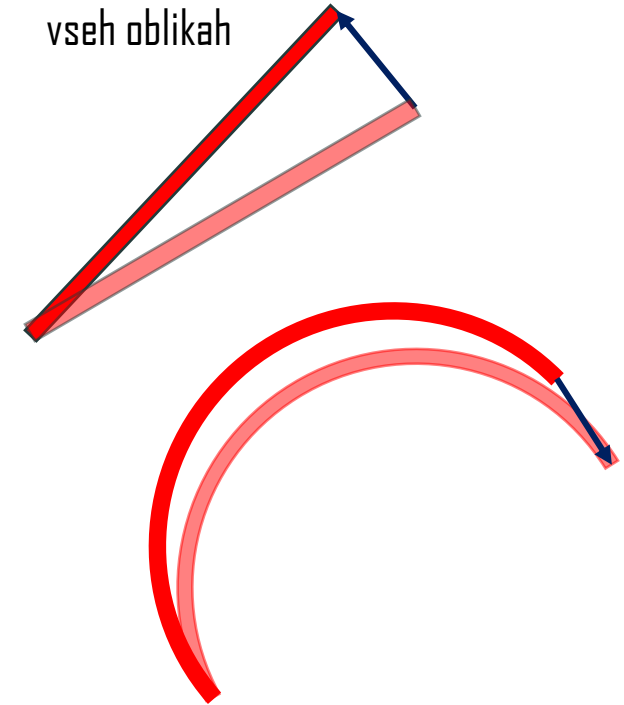
Pogrešek merila

- Razdalje niso enake, izhodišče isto
- Vpliv je linearen, odvisen od velikosti
- Problematičen izkop odvisen od oblike predora



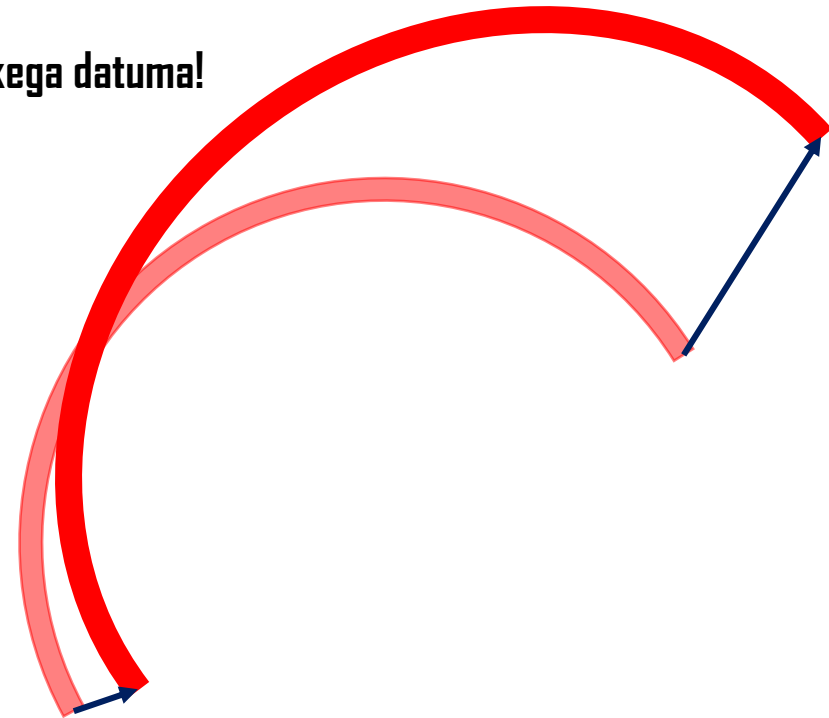
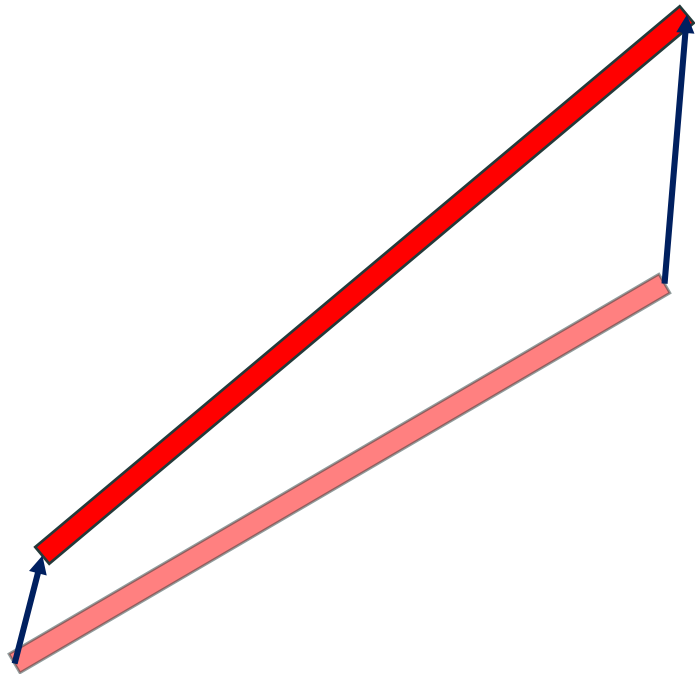
Pogrešek orientacije

- Smer izkopa se spremeni
- Vpliv je linearen in problematičen v vseh oblikah

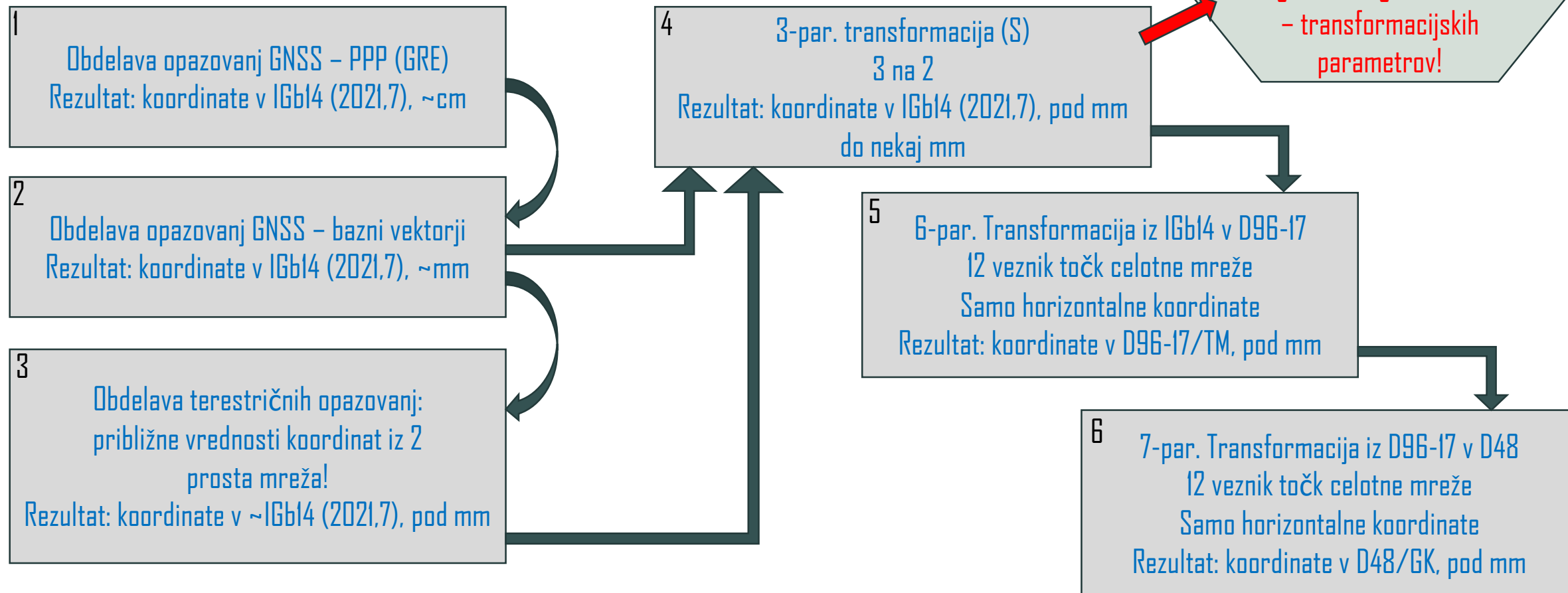


Pogrešek preboja in geodetski datum

V splošnem lahko pričakujemo pogreške vseh parametrov geodetskega datuma!



Obdelava geodetskih opazovanj





Kaj pa višine?

- Niveliranje + trigonometrično višinomerstvo
- Izhodišče: talne geodetske točke (SVS2000, Trst)
- Kakovost ni vprašljiva



Ocena kakovosti parametrov geodetskega datuma

- V okviru posamezne portalne geodetske mreže
 - Analiza kakovosti ravninske 3-par. transformacije ter. koordinat na GNSS-koordinate
 - Natančnost premika (σ_{t_y} in σ_{t_x}), natančnost zasuka (σ_{ω}) in referenčna varianca a-posteriori ($\hat{\sigma}_0^2$)
 - Odvisna od:
 - Števila točk (k)
 - Odstopanj GNSS-koordinat od ter. koordinat po izravnavi transformacije (v_{y_i}, v_{x_i})
 - Uteži (kakovosti) posamezne točke (p_i)
 - Razdalj med točkami (velikost geodetske mreže) (d_i)

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\sum p_i (v_{y_i}^2 + v_{x_i}^2)}{2k - 3}$$

$$\sigma_{t_y} = \sigma_{t_x} = \sqrt{\frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sum p_i}}$$

$$\sigma_{\omega} = \sqrt{\frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sum p_i d_i^2}}$$



Ocena kakovosti parametrov geodetskega datuma

- $\hat{\sigma}_0^2$ neposredno predstavlja kakovost koordinat GNSS – višja kot je kakovost, bolje bodo določeni parametri geodetskega datuma
- Večje kot je število točk (k), bolje bodo določeni parametri geodetskega datuma
- Večje kot bodi razdalje med točkami (velikost geodetske mreže) (d_i), bolje bodo določeni parametri geodetskega datuma

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\sum p_i (v_{y_i}^2 + v_{x_i}^2)}{2k - 3}$$

$$\sigma_{t_y} = \sigma_{t_x} = \sqrt{\frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sum p_i}}$$

$$\sigma_\omega = \sqrt{\frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sum p_i d_i^2}}$$





Ocena kakovosti parametrov geodetskega datuma

Portalna geodetska mreža	k	$\bar{d}$ [m]	$\hat{\sigma}_0$ [mm]	σ_{t_y} [mm]	σ_{t_x} [mm]	σ_ω ["]	σ_p [cm/km]
PD1	3	142	0.82	0.5	0.5	0.7	0.33
PK1, PD2	3	503	8.47	4.9	4.9	1.9	0.94
PK2, PK3, PD3, PD4	7	479	5.30	2.0	2.0	0.9	0.43
P4a	2	37	0.82	0.6	0.6	3.2	1.56
P4b	2	18	1.72	1.2	1.2	13.6	6.58
P4K, P5D, P5K	6	273	4.90	2.0	2.0	1.5	0.73
PK6, PD7, P7a	4	298	2.23	1.1	1.1	0.8	0.37
PK7, PD8	4	488	11.00	5.5	5.5	2.6	1.24
PK8	3	61	1.55	0.9	0.9	3.0	1.46

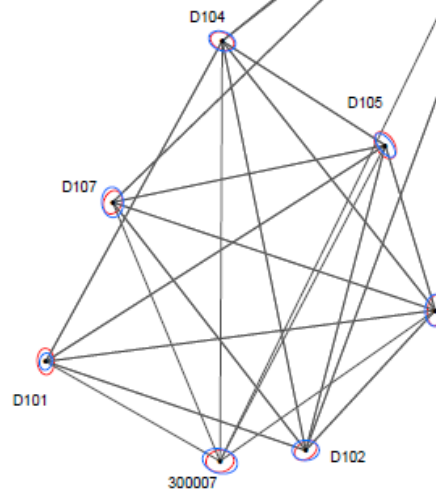




Legenda

- Prosta mreža
- S-transformacija

Kaj pa merilo?



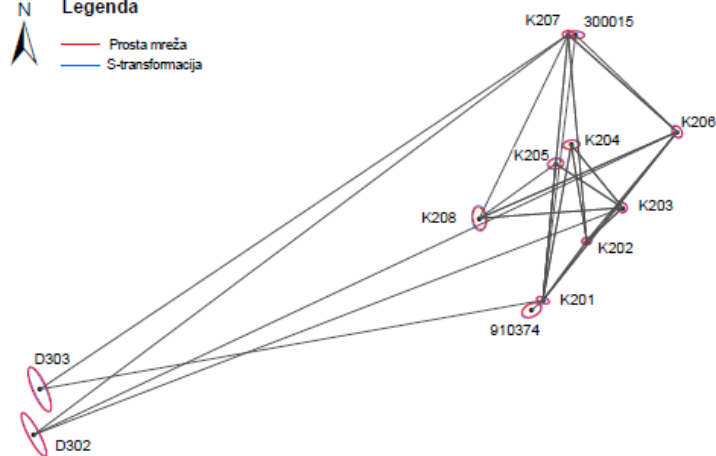
Merilo elips pogreškov: 0 0.5 1 mm
Merilo mreže: 0 30 60



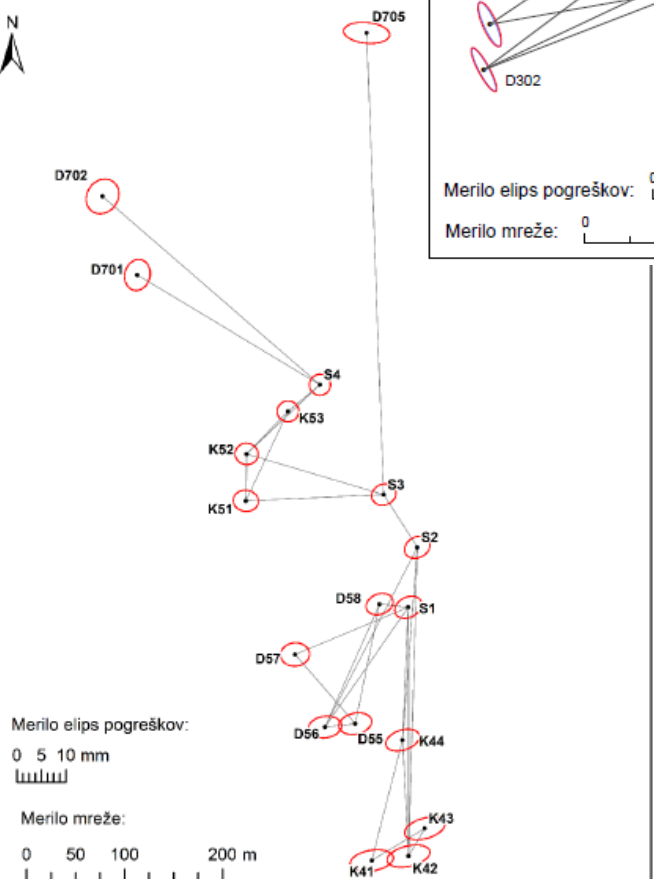
Legenda

- Prosta mreža
- S-transformacija

Merilo elips pogreškov: 0 1 2 mm
Merilo mreže: 0 125 250 500 m



Merilo elips pogreškov: 0 5 10 mm
Merilo mreže: 0 50 100 200 m



DRUŠTVO GEODETOV



SEVEROVZHODNE SLOVENIJE



Natančnost terestričnih koordinat (σ_c):
pod mm

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{\sigma_c^2}{\sum p_i d_i^2}}$$

Vpliv na pogrešek preboja: ~mm na
predor v smeri predora!

- mejna območja v sprejetem DLN
- spremembe meje območja v sprejetem DLN
- drugi tir v DLN (trasa na površju)
- drugi tir v DLN (trasa v predoru)
- posegi, ki so predmet sprememb in dopolnitev DLN



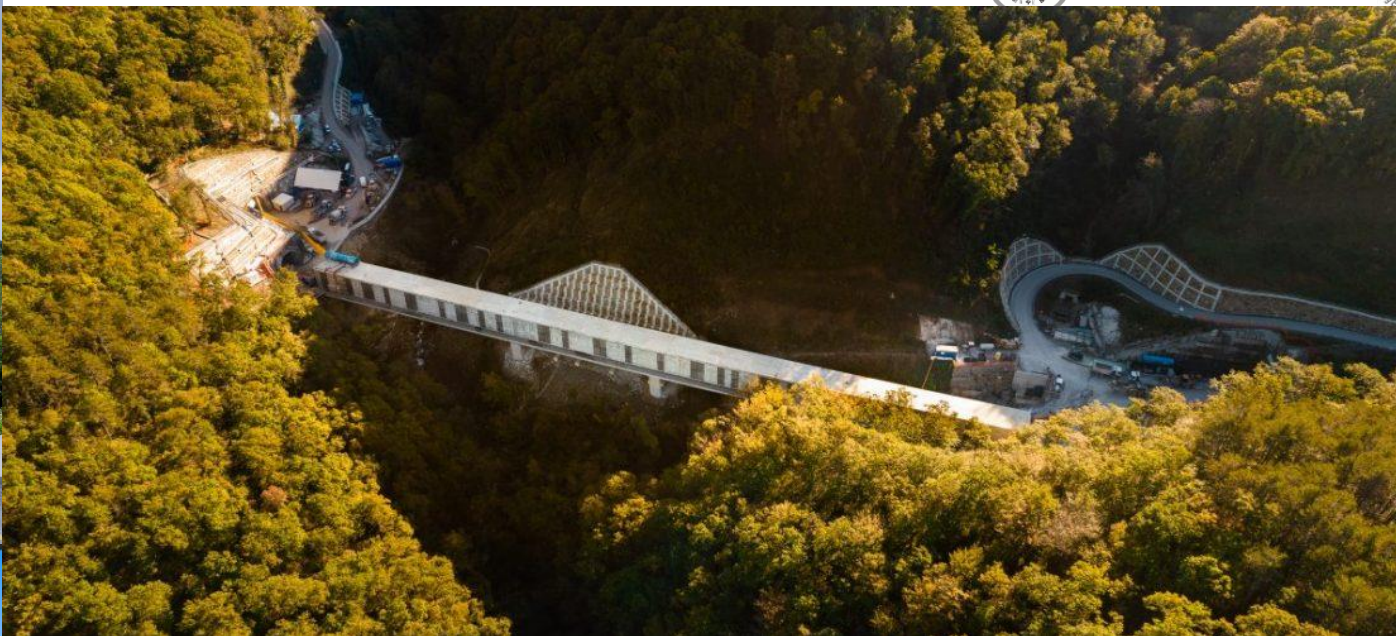
52. Geodetski dan 18. in 19. oktober 2024, Maribor

Po koncu gradnje – izmerjeni pogreški preboja

Predor	Dolžina [m]	Pogrešek preboja [cm]
T1	6 714	7,8
T2	6 017	8,8
T8	3 808	6,5
T4	1 949	4,2

- Pri vseh predorih na koncu pogrešek preboja <25 mm/km
- Osnova dobro zagotovljena
- Ključno – kakovostno delo geodetov pri gradnji predorov:
 - Številne izmere portalnih in predorskih geodetskih mrež
 - Kakovostna izmera in obdelava





Vir: <https://drugitir.si/>

Hvala lepa za pozornost...



52. Geodetski dan | 8. in 9. oktober 2024, Maribor