



53. GEODETSKI DAN

Geodezija in energetika: Skupaj v prostoru

15. in 16. oktober 2025

Čatež ob Savi

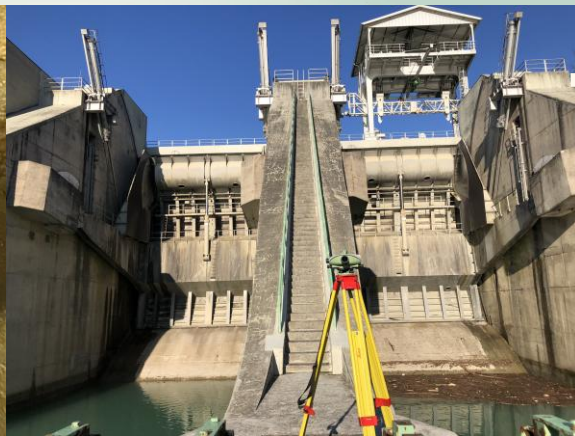
TEHNIČNO OPAZOVANJE PREGRADNIH OBJEKTOV SLOVENSКИH HIDROELEKTRARN

Dominik Štefan, Pavel Žvanut

ZAG

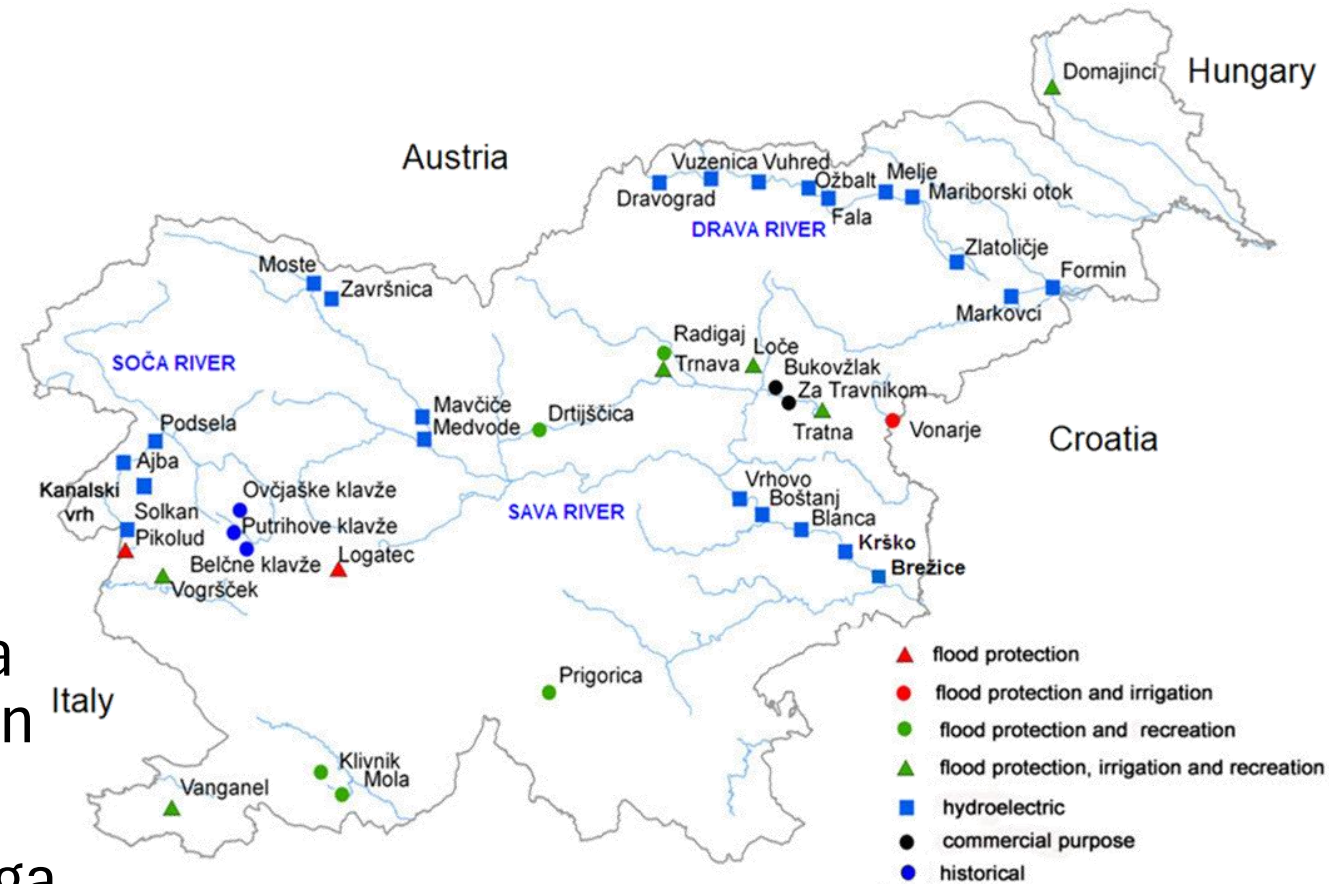
ZAVOD ZA
GRADBENIŠTVO
SLOVENIJE

SLOVENIAN
NATIONAL BUILDING
AND CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE



Pregradni objekti

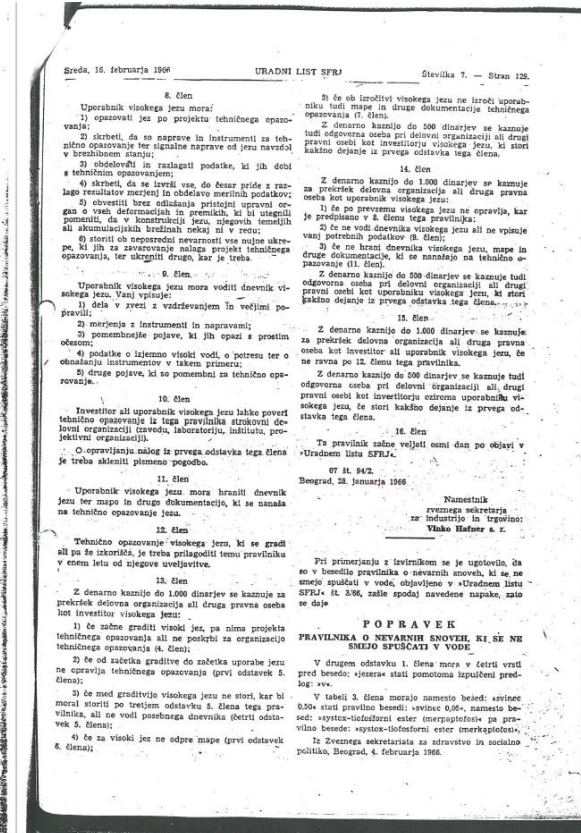
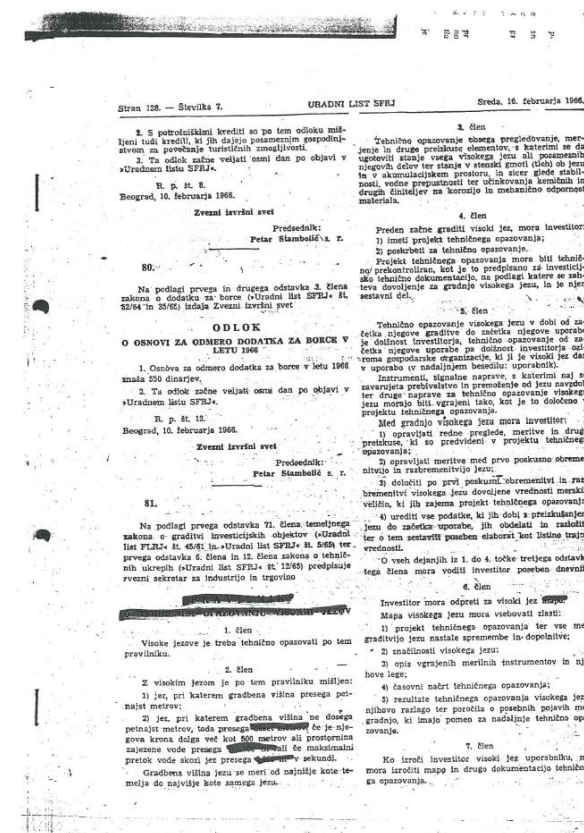
- Pregrade = ključni energetski in varnostni objekti
- Velike pregrade (ICOLD):
 - višje od 15 m
 - med 5 in 15 m višine, akumulacija najmanj 3.000.000 m³
- Sistematično spremljanje zagotavlja pravočasno zaznavanje sprememb in tveganj
- Geodetske meritve kot temelj varnega obratovanja hidroelektrarn



Vir: SLOCOLD, karta velikih pregrad (www.slocold.si)

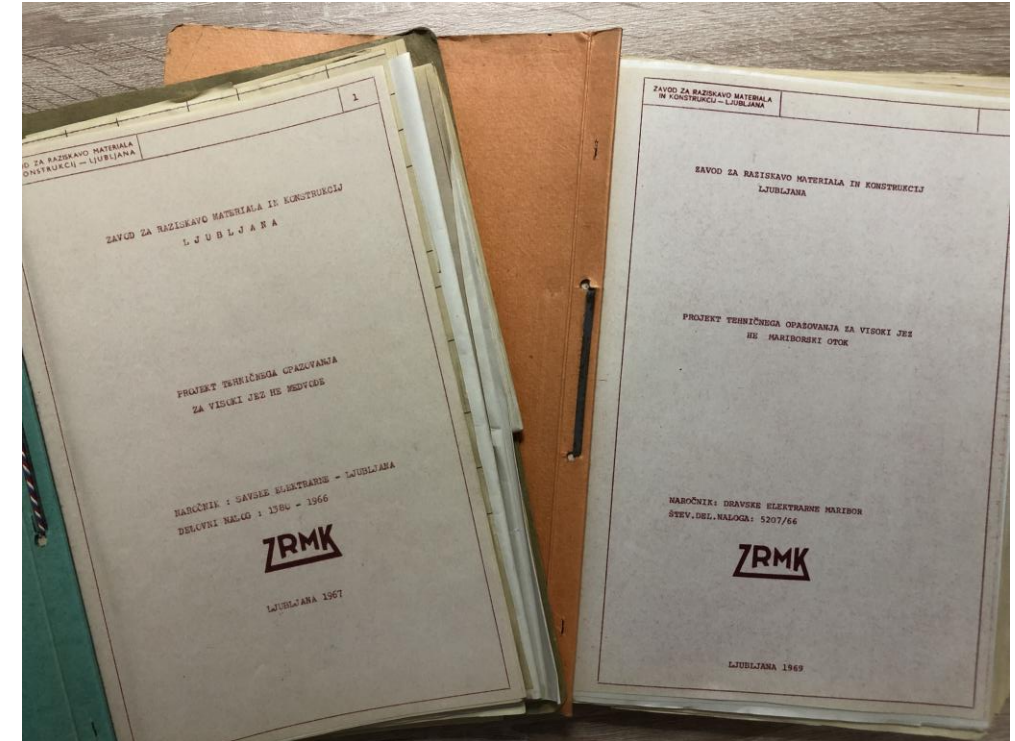
Pravni okvir tehničnega opazovanja

- 1966: Pravilnik o tehničnem opazovanju visokih jezov (UL SFRJ, št. 7/1966) – *ne velja več*
- ZGO-1 in GZ-1, ZGPro
- Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju pregrad
- Standardi:
 - Evrokod 7: Geotehnično projektiranje
 - Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij (žerjavne proge)



Projekt tehničnega opazovanja

- Za obstoječe pregrade (do 1966) izdela ZRMK
 1. Opis pregrade
 2. Pregled obstoječega stanja, izvedenih meritev (Geodetski zavod Ljubljana)
 3. Predlog vzpostavitve tehničnega opazovanja
 1. Deformacije
 2. Podlaga in boki
 3. Kvaliteta betonov



Projekt tehničnega opazovanja pregrad HE Medvode in Mariborski otok

Deformacije

Vizualna
opazovanja

Inštrumentalna
opazovanja

Podlaga in boki

Hidrogeološke
razmere

Ocena zunanjih
vplivov

Hidrostaticne
razmere

Hidrodinamične
razmere

Kakovost betonov

Vzorčenje

Laboratorijske
preiskave

Meritve vertikalnih premikov

- **Metoda:** precizni nivelman
- **Instrumentarij:**
 - nivelir, ki dosega natančnost $< 1 \text{ mm/km}$ dvojnega nivelmana,
 - priporočen nivelir Zeiss Ni 004 s planparalelno ploščo
 - Nivelmanske late s termično malo občutljivo razdelbo (invar)
- **Merska mesta:** izhodiščne reperje določi geolog, detajlne statik
- **Reperji** tudi v kontrolnem hodniku, meritve žerjavne proge

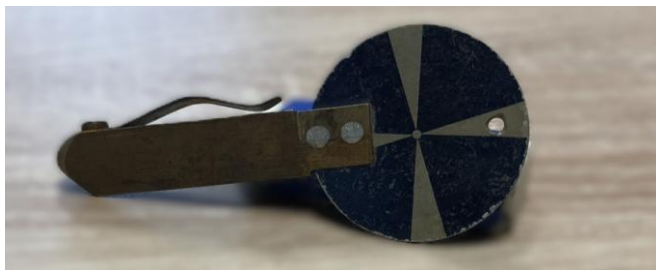


Nivelir Zeiss Ni 004 (ZAG)



Meritve horizontalnih premikov

- **Inštrumentarij:** uporabi naj se sekundni teodolit
 - predlagan je Zeiss Theo 010
 - natančnost centriranja $< 0,1$ mm
- **Signalizacija točk:** značke iz eloksirane pločevine z narisano vizirno tarčo



Vizirna značka



Kontrolni steber



Teodolit Zeiss Theo 010 (ZAG)



Tehnično opazovanje pregrad danes

- Zadnja tri desetletja izvaja tehnično opazovanje večine pregradnih objektov slovenskih hidroelektrarn ZAG s partnerji,
- vključenih vseh deset pregrad na reki Dravi (DEM), zgornjih pet pregrad na reki Savi (SEL) in vse tri pregrade na reki Soči (SENG).
- Tri glavna področja:
 - spremljanje deformacij,
 - vizualni pregledi in
 - spremljanje filtracije podzemne vode na območju pregradnih objektov

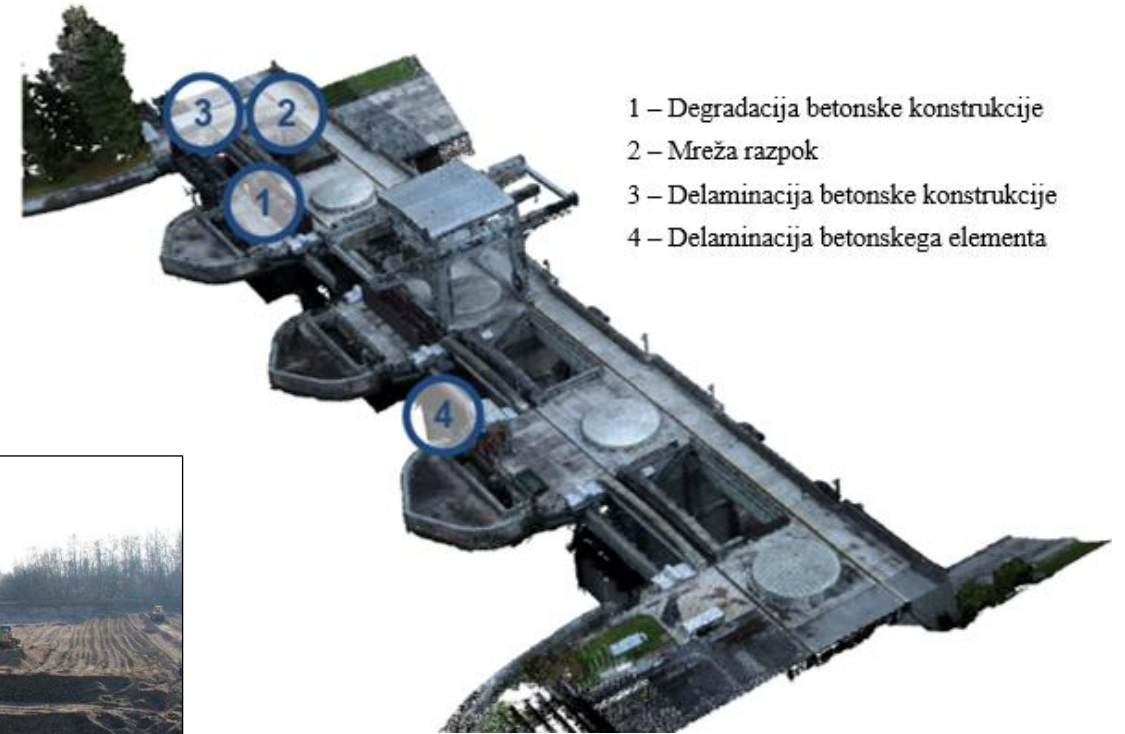


Vizualni pregledi

- Pregled kvalitete in stanja betonov
- Kataster razpok
- Potapljaški pregledi
- Geološki pregled brežin akumulacij



*Izredni inženirski geološko-geomehanski pregled
odvodnega kanala HE Formin*



Prikaz ugotovljenih nepravilnosti in poškodb betonov

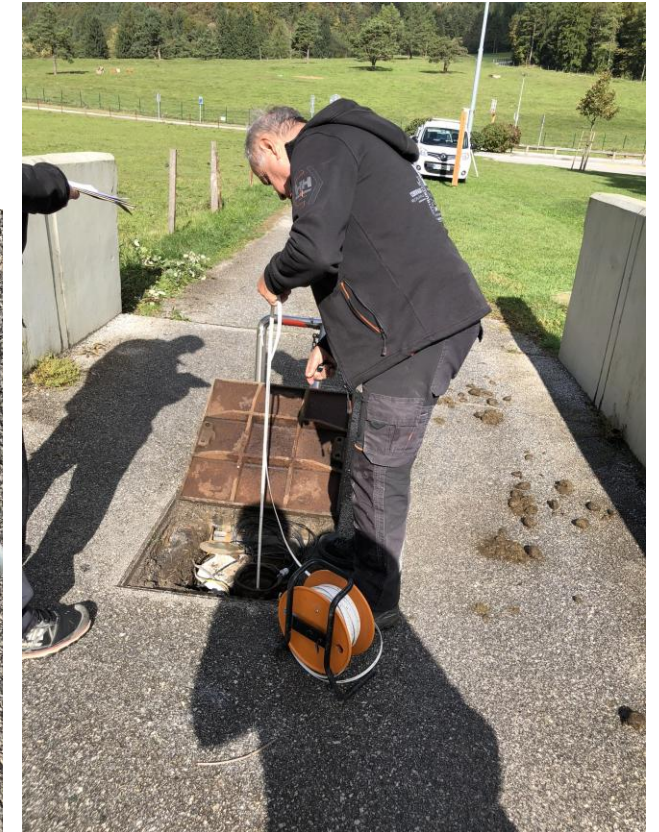


Spremljanje filtracije podzemne vode



*Vrtina, opremljena z avtomatskim
merilcem piezometričnega tlaka
(SEL, pregrada Završnica)*

*Meritve prevodnosti in temperature
vode za ugotavljanje njenega izvora*



Meritve nivoja vode v vrtini (ZAG)



Meritve deformacij

Meritve delovanja razpok in dilatacij

- Deformetrični trikotnik – omogoča spremljanje širjenja in strižnega delovanja razpok
- Deformeter: baza 10" (254 mm), točnost $\pm 0,05$ mm
- Dilatomer (3-osni)



Deformetrični trikotnik



Deformeter Huggenberger



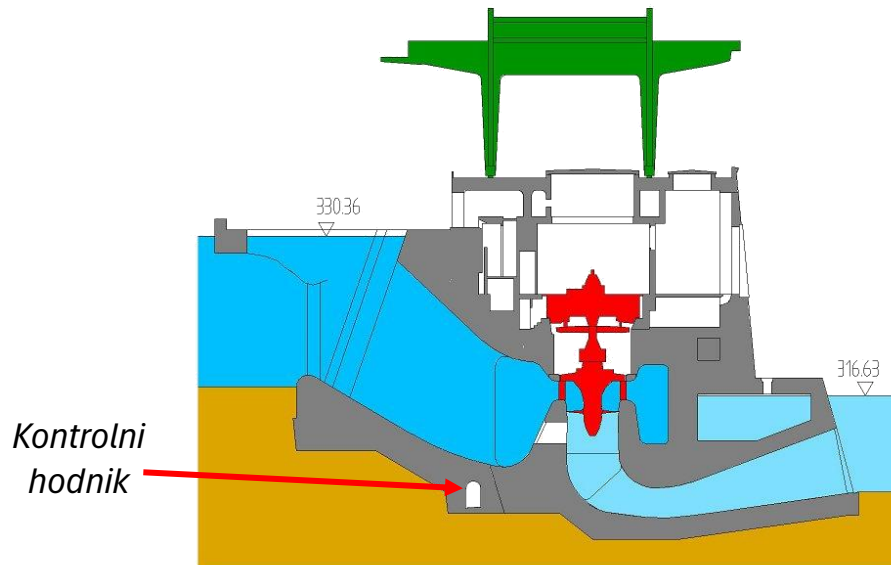
Dilatomer



Meritve deformacij

Nagibi in rotacije pregrade

- Inklinometer
- Koordimeter



Koordimeter na obteženi jeklenici HE Moste



Inklinometerske meritve v kontrolnem hodniku

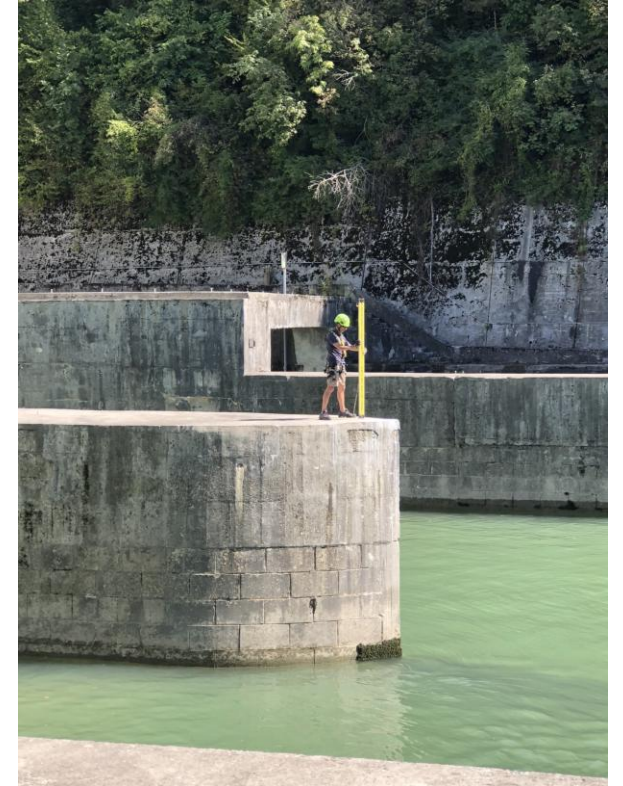
Geodetske meritve

- Posodobitve geodetskih mrež od vzpostavitve tehničnega opazovanja (DEM, Moste ...)
- Na novejših pregradah že od začetka vzpostavljene sodobne geodetske mreže
- Zahtevana II. stopnja natančnosti geodetske izmere:
 - Najnatančnejši geodetski instrumenti
 - Ustrezen dodatni pribor
 - Spremljanje meteoroloških parametrov
 - Ustrezna obdelava podatkov



Meritve vertikalnih premikov

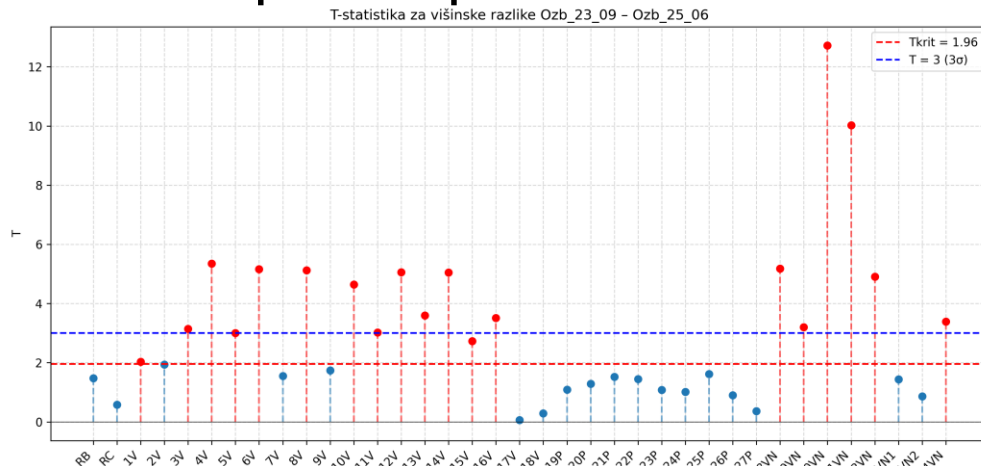
- Instrumentarij:
 - Precizni nivelir: $\sigma_{\Delta h} \leq 0.5 \text{ mm/km}$
 - Precizne invar nivelmanske late
 - Termometer za meritve temperature late
- Metoda geometričnega nivelmana z upoštevanjem priporočil za precizni nivelman



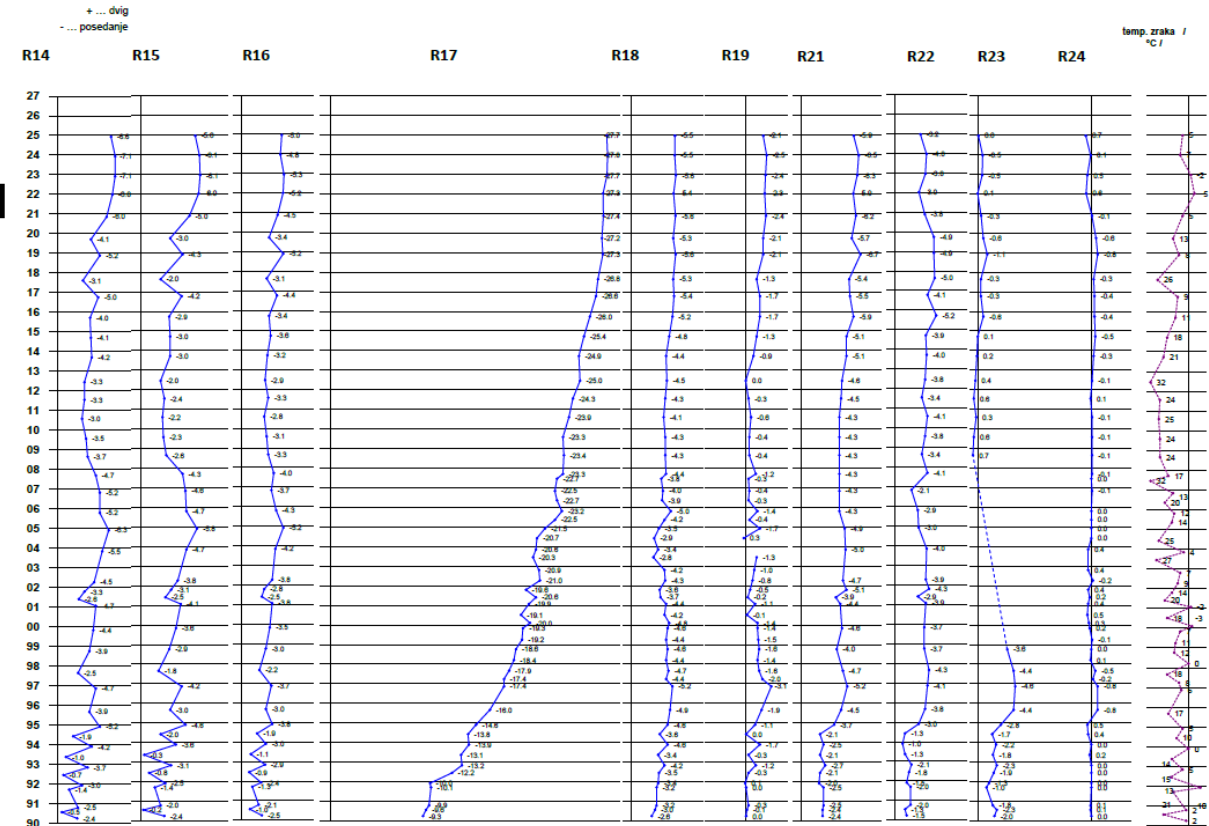
Nivelman pregrade HE Medvode

Meritve vertikalnih premikov - rezultati

- Izravnane višine reperjev v lokalnem/državnem višinskem sistemu
- Statistična analiza premikov
- Grafični prikazi premikov



Statistična analiza vertikalnih premikov HE Ožbalt



Grafični prikaz vertikalnih premikov reperjev pregrade
HE Mavčiče



Meritve horizontalnih premikov

- Instrumentarij:
 - Razdaljemer: $\sigma_s \leq 2 \text{ mm}; 2 \text{ ppm}$
 - Teodolit: σ_α in $\sigma_\alpha \leq 1 \text{ mm}$
 - Precizne prizme in podnožja
- Spremljanje meteoroloških parametrov
- Girusna metoda izmere *ali* alinman
- Ustrezna obdelava podatkov
- Izravnavna opazovanj

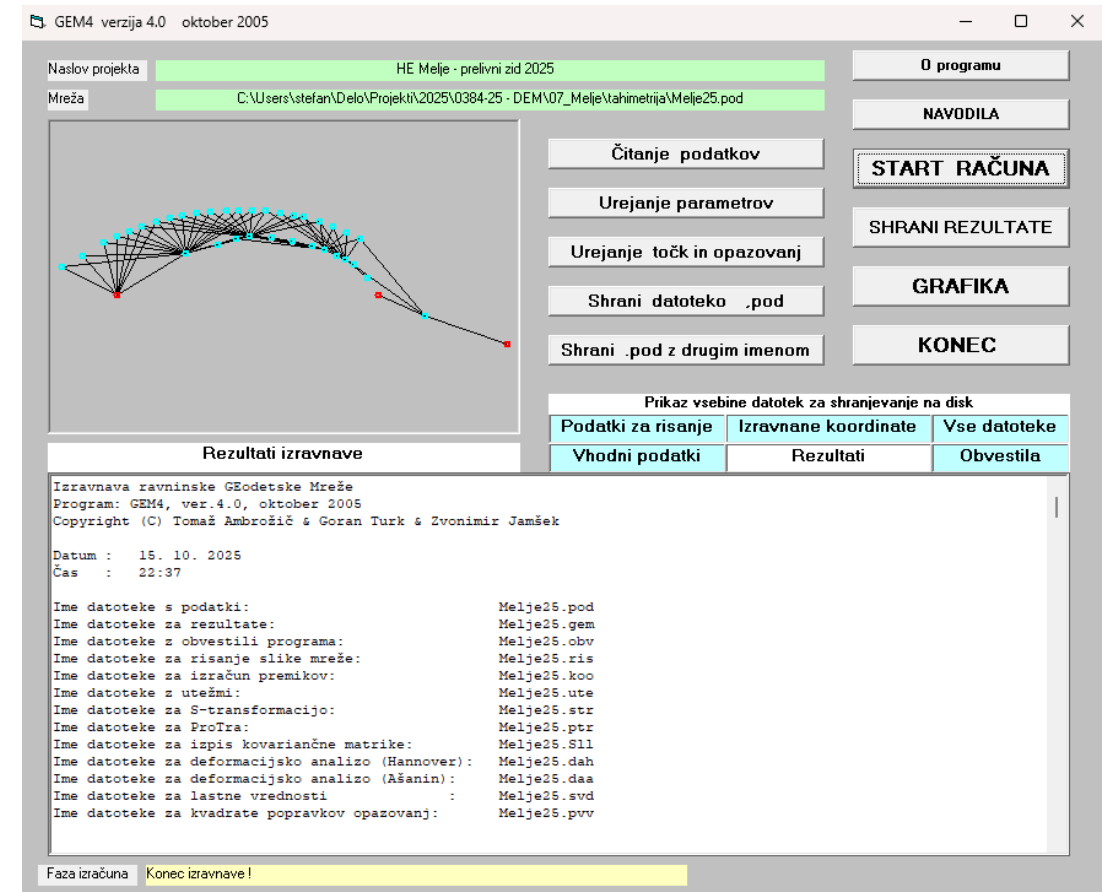


Meritve prelivnega in opornega zidu pri pregradi Melje



Meritve horizontalnih premikov - rezultati

- Izravnane koordinate točk v lokalnem koordinatnem sistemu
- Statistična analiza premikov
- Grafični prikazi premikov



Izravnava opazovanj prelivnega in opornega zidu pregrade Melje v programu GEM



Zaključek

“Redno in sistematično tehnično opazovanje pregradnih objektov je ključnega pomena za dolgoročno varnost in trajnost pregradnih objektov, saj omogoča pravočasno zaznavanje morebitnih sprememb in tveganj ter sprejem ustreznih ukrepov za njihovo preprečitev.”



Pregrada Ajba (SENG)





Hvala za pozornost!

53. Geodetski dan | 15. in 16. oktober 2025, Čatež ob Savi