



ID 14

## GEOLOŠKO-GEOMEHANSKE RAZISKAVE ZA POTREBE ČRPALNE ELEKTRARNE ČHE KOZJAK pregled in preliminarni rezultati

dr. Vladimir VUKADIN<sup>1</sup>, Igor ČUŠ<sup>2</sup>, Alenka PERNAVER<sup>2</sup>, Jože MILIČ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>IRGO, Slovenčeva 93, LJUBLJANA

<sup>2</sup>DEM Dravske elektrarne Maribor d.o.o. Obreža 170a, MARIBOR

<sup>3</sup>HSE Invest d.o.o. Obreža 170a, MARIBOR

[vlado.vukadin@irgo.si](mailto:vlado.vukadin@irgo.si)

[igor.cus@dem.si](mailto:igor.cus@dem.si)

[alenka.pernaver@dem.si](mailto:alenka.pernaver@dem.si)

[joze.milic@hse-invest.si](mailto:joze.milic@hse-invest.si)

### POVZETEK

Za potrebe izdelave projektne dokumentacije za črpalno hidroelektrarno ČHE Kozjak (2x220 MW) izvajamo geološko-geomehanske preiskave, katerih namen je podati geotehnične pogoje izvajanja akumulacijskega bazena, tlačnega rova in strojnice. Akumulacijski bazen s koristno vsebino 3 milijone m<sup>3</sup>, je predviden na nadmorski višini 1.000m, (Kolarjev vrh), strojnica premera 30m in globine 85 m, pa na nadmorski višini 280 m in se nahaja ob Dravi v območju akumulacije HE Fala. Tlačni cevovod dolžine 2.400 m, poteka vseskozi pod površino in se mestoma nahaja tudi do 300 m pod površjem.

V skladu z velikostjo, težavnostjo in pomembnostjo predvidenih objektov, izvajamo obsežne preiskave, ki vključujejo detaljno geološko in strukturno kartiranje, morfotektonsko analizo, strukturno vrtanje, inženirsko-geološki, petrografski in mineraloški popis jedra vrtin, geomehanske in hidrogeološke preiskave v vrtinah, geofizikalne preiskave (površinske in v vrtinah), ter laboratorijske preiskave.

Na osnovi rezultatov vseh opravljenih preiskav bomo pristopili k izdelavi 3D geološko-geomehanskega modela strojnice, bazena in tlačnega rova s pomočjo katerega bo mogoče podati geotehnične pogoje gradnje. V prispevku bodo predstavljeni preliminarni rezultati, ki so zanimivi tudi s stališča, da preiskave potekajo v metamorfnih kamninah s katerimi se v geotehnični praksi ne srečujemo pogosto.

**Ključne besede:** ČHE Kozjak, geologija, geomehanika, terenske preiskave, laboratorijske preiskave, filonit.

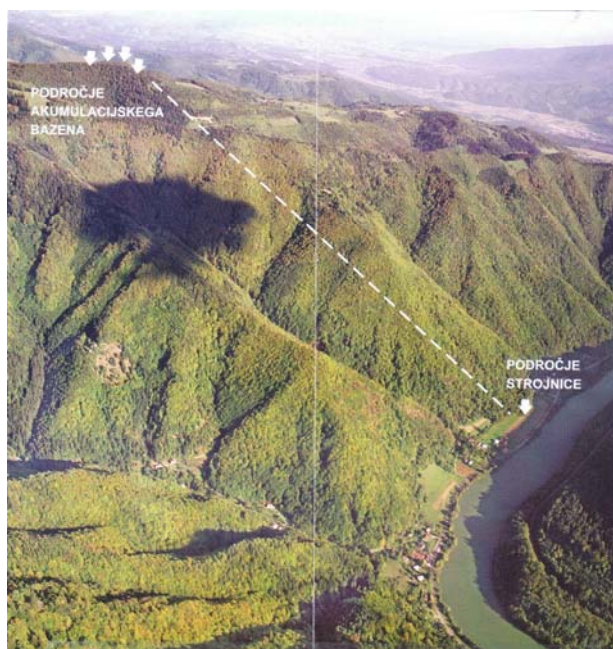
## UVOD

Za potrebe izdelave projektne dokumentacije za črpalno hidroelektrarno ČHE Kozjak izvajamo geološko-geomehanske preiskave, katerih namen je podati geotehnične pogoje izvajanja akumulacijskega bazena, tlačnega rova in strojnice. V članku je predstavljen pregled in potek geološko-geomehanskih raziskav, ter potek izdelave 3D geološko-geotehničnega modela na območju akumulacijskega bazena.

## OSNOVNI TEHNIČNI PODATKI O ČHE KOZJAK

V ČHE Kozjak je predvidena namestitvev dveh turbin moči 220 MW, z nazivnim številom vrtljajev 600 obr/min in s predvideno letno proizvodnjo 860 GWh. Celotna elektrarna je sestavljena iz treh ključnih objektov, ki so lokacijsko prikazani na sliki 1, in sicer:

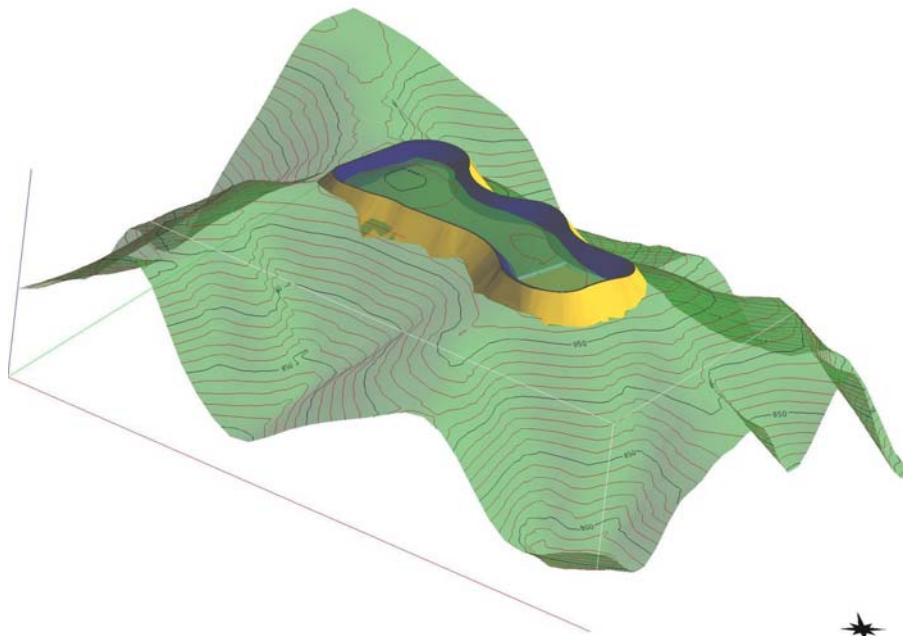
- Akumulacijskega bazena
- Tlačnega rova in
- Strojnice



**Slika 1.:** Prostorski prikaz lokacije predvidenih objektov

Akumulacijski bazen s koristno vsebino 3 milijone m<sup>3</sup> in površino cca 300.000 m<sup>2</sup> (880x350m) je predviden na nadmorski višini 1.000 m na Kolarjevem vrhu (slika 2), kjer bo dno bazena vkopano do 20 m pod nivo sedanjega terena, na zunanjih straneh pa ga o varoval do 25 m visok nasip.

Ustje strojnice premera 30m in globine 85 m, se nahaja na nadmorski višini 280 m in leži ob Dravi v območju akumulacije HE Fala. Tlačni cevovod dolžine 2.400 m poteka vseskozi pod površino (od 85 do 300 m), bruto padec pa znaša cca 710 m.



**Slika 2.:** Situacijski prikaz akumulacijskega nasipa

## PREGLED PREDVIDENIH GEOLOŠKO-GEOMEHANSKIH PREISKAV

V skladu z velikostjo, težavnostjo in pomembnostjo predvidenih objektov, izvajamo obsežne preiskave, ki so v razdeljene po sklopih, na preiskave na bazenu, na tlačnem rovu in na območju akumulacijskega bazena. V tabeli 1 so predstavljene vse predvidene preiskave na območju ČHE Kozjak:

**Tabela 1.:** Pregled predvidenih preiskav po posameznih objektih

<b>Preiskave</b>	
Strukturno geološko kartiranje širšega območja	
Morfotektonska analiza	
Strukturno vrtanje z izplako	
Presiometriške preiskave	
Hidrogeološke preiskave:	Nalivalni preiskusi
	VDP-ji
	Hidrogeološko kartiranje
	Vgradnja merilcev pornih tlakov
Geofizikalne preiskave:	VSP
	Seizmika
	Elektrometrično sondiranje
	Elektrometrično skeniranje

	<i>Cross-hole meritve</i>
	<i>Snemanje vrtin s kamero(borelogging)</i>
	<i>Mikrotremorji</i>
	<i>Mikroseizmična rejonizacija</i>
<i>Laboratorijske preiskave:</i>	<i>Prostorninska teža</i>
	<i>Enoosna tlačna trdnost</i>
	<i>Meritev elastičnih modulov</i>
	<i>Strižne preiskave kamnin in zemljin in vzdolž razpok</i>
	<i>Preiskave stisljivosti in nabrekljivosti</i>
	<i>Triosne strižne preiskave</i>
<i>Petrografske in roentgenske analize</i>	
<i>Inžinersko-geološko kartiranje in spremljava vrtanja</i>	

Kot je iz tabele 1 razvidno preiskave vključujejo detaljno geološko in strukturno kartiranje, morfotektonsko analizo, strukturno vrtanje, inženirsko-geološki, petrografski in mineraloški popis jedra vrtin, geomehanske in hidrogeološke preiskave v vrtinah, geofizikalne preiskave (površinske in v vrtinah), ter laboratorijske preiskave.

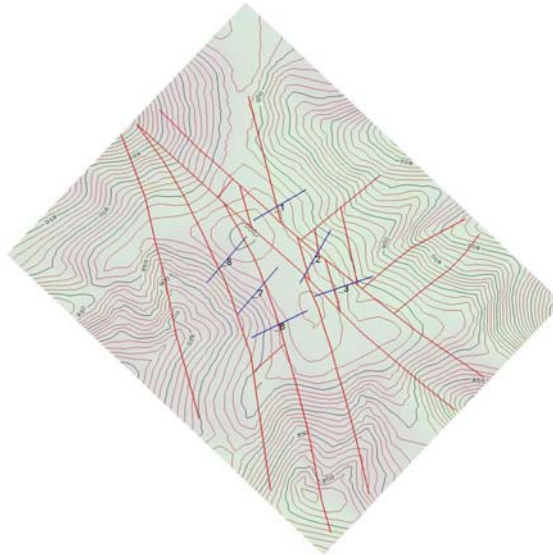
Relativno velik obseg in raznovrstnost opravljenih preiskav, nam omogoča izdelavo prostorskega geološko-geotehničnega modela, ki bo izdelan z dovolj veliko gotovostjo in bo predstavljal osnovo za stabilnostne presoje in nadaljne projektiranje.

## **PROSTORSKI MODEL ZA AKUMULACIJSKI BAZEN PRELIMINARNI REZULTATI**

Preiskave na območju strojnice in tlačnega rova še potekajo, na območju akumulacijskega bazena pa so preiskave v večjem delu že izvedene in smo v fazi vrednotenja rezultatov, ter izdelave 3D geološko-geomehanskega modela. V nadaljevanju bomo predstavili preliminarne rezultate izdelave modela.

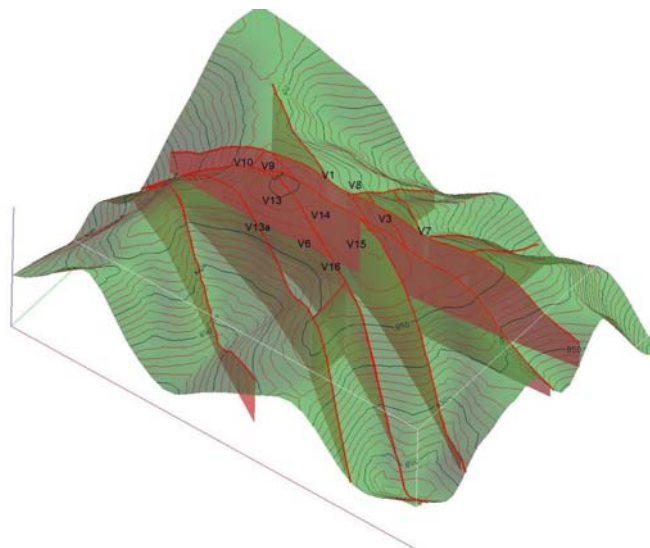
Celoten bazen bo izdelan v geološki enoti filonita (diaforizirani blestniki, gnajsi in skrilaenci), ki je zaradi prisotnosti prelomov in preperevanja mestoma močno pretir in preperela, celoten paket filonita pa je narinjen na podlago iz gnajsa in blestnika.

Ker je izdelava prostorskega modela zahtevna smo k izdelavi pristopili postopno z upoštevanjem vseh razpoložljivih podatkov. V prvem koraku smo na osnovi strukturno-tektonskega pregleda območja in morfotektonske analize določili dominantne smeri prelomov, ter postavili mehanski model in medsebojne odvisnosti med posameznimi strukturami v prostoru (slika 3).



**Slika 3.:** Situacijski prikaz ugotovljenih prelomnih struktur na območju akumulacije

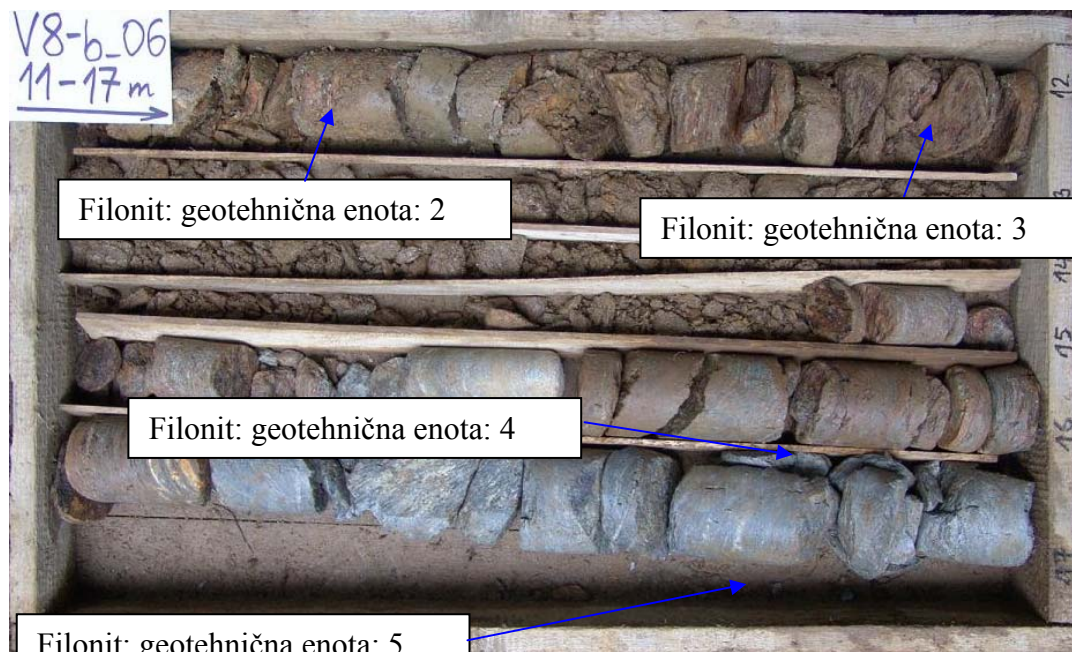
V nadaljevanju smo postavljeni model korelirali z ugotovitvami iz geofizikalnih preiskav (seizmične meritve in mikrotremorji), ter na osnovi vsega izdelali prostorski model poteka prelomnih struktur (slika 4).



**Slika 4.:** Prostorski prikaz poteka ugotovljenih prelomnih struktur

Vzporedno z interpretacijo strukturnih razmer, je potekala geomehanska interpretacija rezultatov dobljenih z in-situ meritvami, laboratorijskimi preiskavami, inženirsko-geološkim kartiranjem in geofizikalnimi preiskavami.

Na osnovi razpoložljivih rezultatov smo filonite razdeli v štiri značilne geotehnične enote z oznakami od 2 do 5. Enota 2 predstavlja popolnoma tektonsko pretrt in zdrobljen filonit, oz. kose filonita v glinasti osnovi, enota 5 pa predstavlja predstavljaja najmanj preperel in najbolj kompakten filonit, vrednosti dobljene v laboratoriju in s presiometričnimi meritvami pa so najvišje. Na sliki 5, ki prikazuje fotografijo jedra ene od vrtin, so prikazane vse štiri geotehnične enote filonita, ki jih lahko v tem primeru ločimo tudi vizuelno.



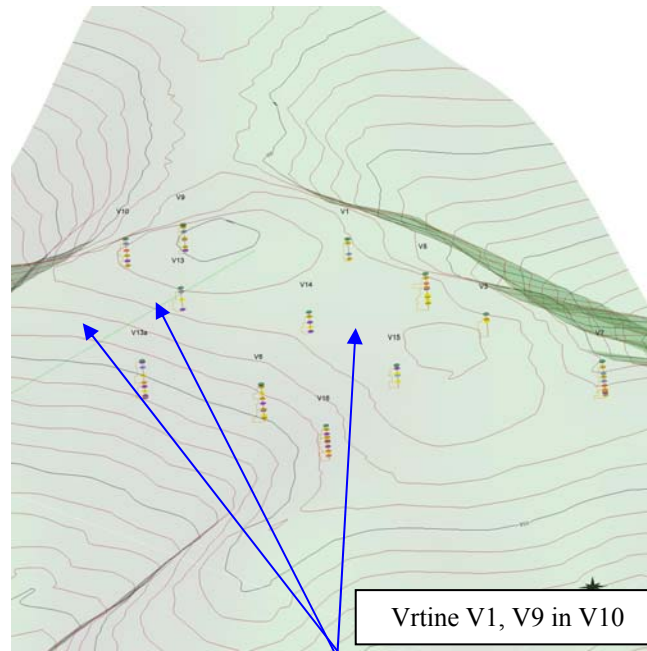
Slika 5. Različne geotehnične enote filonita – vizualni prikaz

Prostorska umestitev posameznih geotehničnih enot predstavlja najtežji del naloge, ker znotraj filonitov ne obstajajo značilni horizonti, ki bi jih lahko spremljali v vrtinah, ter opazovali njihove pomike ob prelomih. Filonit je kot večina metamorfni kamnin močno naguban, vpad foliacije se spreminja od 0 do  $40^{\circ}$ , tudi na zelo kratkih razdaljah, kot je razvidno iz slike 5. Prisotnost prelomov in posledično pretrtosti, ter različnega vpliva preperevanja še dodatno otežuje izdelavo modela.

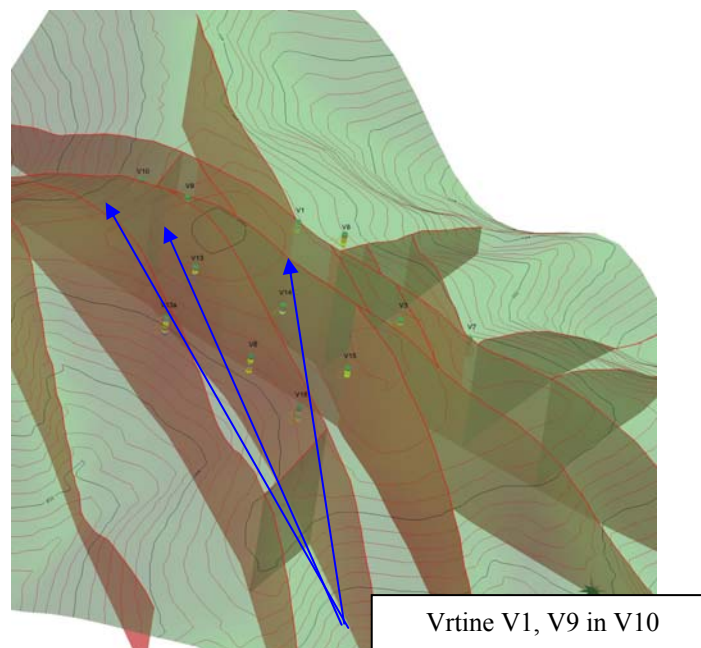
Pri izdelavi prostorskega modela je tako potrebno vse rezultate interpretirati skozi ugotovljene strukturno-tektonske razmere. Šele pri postavitvi izvedenih vrtin z določenimi geotehničnimi enotami v prostor in ob upoštevanju vseh razpoložljivih podatkov, je mogoče izdelati prostorski geološko-geotehnični model.

Na sliki 6 so prikazane lokacije vrtin v prostoru, na vsaki od vrtin pa so označene posamezne geotehnične enote, ki so bile ugotovljene v vrtinah. Podatki kažejo, da se v vrtinah V1, V9 in

V10 pojavljaj pretežno močno pretrt in preperel filonit (enota 2), ki mestoma prehaja v zaglinjenen grušč. Ko te iste vrtiline postavimo v prostor skupaj s potekom prelomov, ugotovimo, da le te ležijo v območju prelomnih ploskev, kar razloži njihovo močno porušenost (slika 7).

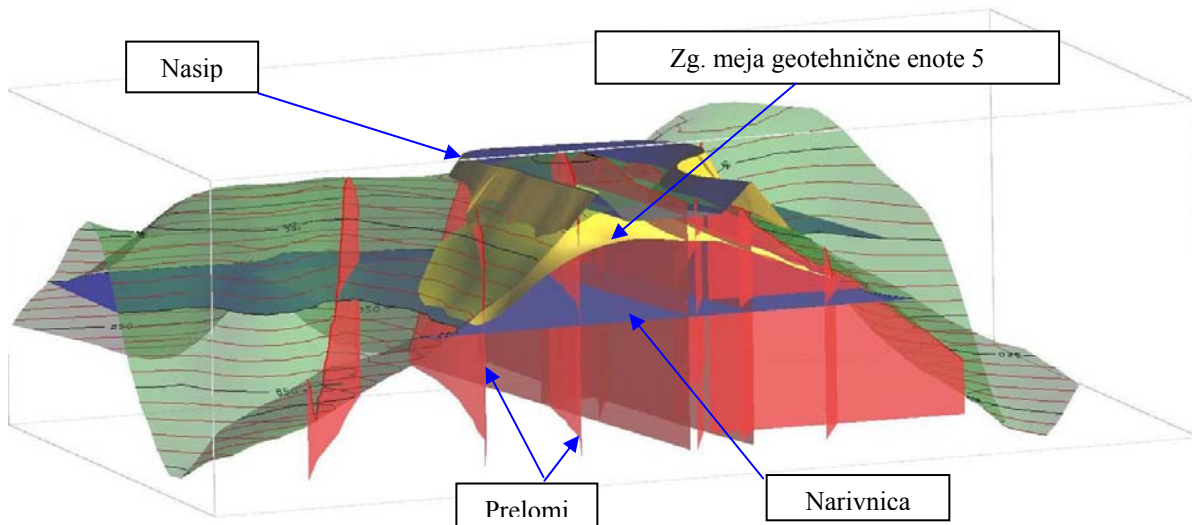


**Slika 6.:** Lokacije vrtin v prostoru



**Slika 7.:** Lokacije vrtin v prostoru - upoštevanje lokacije prelomov

Na sliki 8 je prikazan delni 3D model bazena v prerezu, iz katerega so razvidni prostorski podatki, ki so pomembni za projektiranje. Pod nasipom vidimo ploskev, ki omejuje območje, kjer prevladuje geotehnična enota 5 (rumena ploskev), narivnico filonita na nižje ležeče gnajse (modra ploskev), ter lokacije prelomov (rdeče ploskve).



**Slika 8.:** Lokacije vrtin v prostoru

Z nadaljno obdelavo, bomo v model vključili tudi ostale geotehnične geotehnične enote, ki se pojavljajo na območju akumulacije.

## ZAKLJUČEK

V prispevku smo na kratko predstavili obseg raziskav za potrebe ČHE Kozjak. Ker raziskave na območju strojnice in tlačnega rova še potekajo, smo predstavili postopek izdelave 3D prostorskega geotehničnega modela in preliminarne rezultate le na območju akumulacijskega bazena, kjer so preiskave v veliki meri že zaključene. Končni rezultat opravljenih preiskav bo celovit 3D model, s pomočjo katerega, bo mogoče bolj učinkovito pristopiti k projektiranju akumulacijskega bazena, ter izvesti ustrezne stabilnostne presoje v najbolj kritičnih prerezih.