

Zdenka POPOVIĆ  
univ.dipl.inž.geol., Geoinženiring, Dimičeva 14, Ljubljana

## VPLIV IZGRADNJE PREDORA GOLOVEC NA POVRŠINO IN UKREPI ZA SANACIJO SEVERNEGA POBOČJA

**POVZETEK:** Izredno težavni pogoji pri izgradnji predora v tektonsko zelo porušenih permokarbonovskih klastičnih sedimentih so zahtevali natančno geotehnično spremljavo tako v predoru kot na površini. Vpliv izgradnje predora Golovec je segal vse do površine tudi v območju največjega nadkritja. Posledica je poslabšanje geotehničnih karakteristik hribinske mase in pojav plazanja na strmih pobočjih. S pomočjo geotehničnih meritev so bila na severni strani Golovca pravočasno določena in sanirana nestabilna pobočja ob kraku "D" in ob kraku "C".

## INFLUENCE OF THE CONSTRUCTION OF THE GOLOVEC TUNNEL ON GROUND SURFACE AND MEASUREMENTS FOR THE RECONSTRUCTION OF THE NORTHERN SLOPE

**SUMMARY:** Due to extremely difficult conditions accompanying the construction of the tunnel in tectonically very disturbed Permo-Carboniferous clastic sediment rocks, very precise geotechnical supervision was necessary in the tunnel as well as on the surface. Influences of the construction of the Golovec tunnel were shown up to the ground surface also in the area of the thickest overburden. As a consequence, the geotechnical characteristics of the soil mass got worse and landslides occurred on the steepest slopes. Due to geotechnical measurements, non-stable slopes on the northern side of Golovec along the branches "D" and "C" were identified and reconstructed in time.

## UVOD

Odločitev o izgradnji predora Golovec je bila posredno sprejeta že v sedemdesetih letih z zasnovno sistema ljubljanskih obvoznic. Z izgradnjo južne obvoznice in nadeljevanjem proti Dolenski z avtocestnim odsekom med Malencami in Šmarjem Sap je bila lega predora Golovec že natančno določena.

Predor Golovec je bil prvotno načrtovan kot dvocevni in dvopasovni predor, vendar so strokovne analize o naraščanju prometa v naslednjih desetletjih narekovali odločitev, da je potreben dvocevni tropasovni predor.

V jeseni 1995 so se začela izvajati zemeljska dela v razcepu Malence v smeri proti južnemu portalu predora Golovec. Pri napredovanju izkopavanja proti portalom se je sprožil obsežen hribinski plaz globine 10-15 metrov. Sanacija plazu je obsegala izvedbo dveh sidranih pilotnih sten. Sledila je izgradnja dveh pilotnih sten in postavitev geotehničnega opazovanja južnega pobočja, ki je zajemala natančne geodetske meritve točk na pilotnih stenah in na pobočju, meritve inklinacij vrtin ter meritve sidrinih sil.

V oktobru 1996 je izvajalec z zemeljskimi deli začel napredovati proti portalu zahodne predorske cevi (krak "D", slika 1). Ko se je izkop približal vhodu v predor, je bilo iz rednega geotehničnega opazovanja razvidno, da se je na območju portalov sprožil globok plaz, ki je imel drsno ravnino 10 metrov pod nivojem vpetja pilotov in je potekala skozi območje izkopa za predor. Potreben je bil ponoven zasip pete plazu s približno 90 000 m<sup>3</sup> materiala. Vhoda v predor sta bila izvedena s pilotnima konstrukcijama (galerijama) in previdnim premeščanjem zasipnega materijala, da ne bi ponovno sprožili plazu.

Izkop predorske cevi kraka "D" se je začel 17. junija 1997 in po prvih 80m predora so sledili štirje večji zruški, ki so segali do površine (slike 1 in 2). Geotehnično opazovanje se je razširilo preko Golovca, v začetku je bilo usmerjeno predvsem na opazovanje plazovitega južnega pobočja, kasneje pa tudi za opazovanje vpliva izkopa predorskih cevi na površino. Kljub večanju nadkritja se vpliv predorogradnje na površino ni zmanjševal.

Slabe izkušnje na južnem pobočju Golovca so vodile k postavitvi pilotnih galerijskih konstrukcij tudi na severnih portalih in dodatnih ukrepov za stabilizacijo severnega pobočja. Geološke raziskave so pokazale, da gradi severno pobočje prav tako slaba hribinska masa kot na jugu. Ker vpliv predorogradnje zelo poslabša geotehnične karakteristike hribine je bilo potrebno preveriti stabilnost obstoječih severnih brežin in z dodatnimi ukrepi preprečiti možnost plazenja.

## GEOLOŠKO - GEOTEHNIČNE RAZMERE OBMOČJA GOLOVCA

Območje predora Golovec sestavlja permokarbonski nizko metamorfozirani klastični sedimenti, ki so tektonsko močno porušeni. Prevladuje temnosiv glinasti in meljasti skrilavec z laminami peščenjaka. Plasti vpadajo proti jugu, jugovzhodu in delno proti vzhodu. Narivne cone, ki ležijo globoko pod površjem gradi tektonsko močno porušen glinasti in meljasti skrilavec, vpadajo proti jugu in neugodno vplivajo na globalno stabilnost južne brežine. Na severni strani je hribina tektonsko močno porušena vendar je smer plasti in narivnih con usmerjena proti jugu kar je za stabilnost pobočij ugodnejše. Voda je vezana na peščene in meljaste plasti zato je njeno precejjanje usmerjeno proti južnemu pobočju.

Od površja navzdol sledijo naslednje geotehnično različne hribinske mase:

- Svetlorjav peščen melj s koški peščenjaka in razpokan peščenjak s tankimi plastmi glinastega skrilavca. Znotraj te plasti se pojavljajo precejnice podtalne vode, ki pogosto razmakajo spodnjo nepropustno plast.
- Sledi različno debela plast temnosivega vlažnega pregnetenega glinastega in meljastega skrilavca.
- Trša hribinska osnova je tektonsko poškodovan temnosiv glinasti in meljasti skrilavec z vložki peščenjaka.

## GEOTEHNIČNO OPAZOVANJE

Geotehnično opazovanje na območju predora Golovec se je začelo že leta 1996 in se je dopolnjevalo z napredovanjem predorskih cevi ter zajema naslednje meritve:

- geodetske meritve točk stabiliziranih na portalnih objektih predora, pilotnih stenah in površini ter
- meritve odklona in posedkov vrtin (meritve inklinacije in ekstenziometerske meritve).

V času gradnje predora so se meritve geodetskih točk in inklinacij vrtin izvajale na vsakih 7 oziroma 14 dni s tem, da so se razredčila opazovanja geodetskih točk in vrtin, ki so se umirili oziroma so bila že izven vplivnega območja predorogradnje. Po preboju zadnje cevi smo ponovno preverili premike na celotni površini Golovca. Rezultati meritev so grafično prikazani :

**Slika 1. Situacija predora Golovec in vpliv izgradnje predora na površino** - Pri napredovanju izkopa predorskih cevi z južne strani je segal vpliv na površini cca 50m pred čelom (vplivni kot 50°) ter se pri prehodu na severno stran močno zmanjšal na cca 25m (vplivni kot je 65°). Različen vpliv predorogradnje na površino je posledica neugodne smeri vpada plasti in topografije. Označeni zruški so posledica nizkega nadkritja in slabo nosilne hribine.

**Slika 2. Vzdolžna profila kraka "D" in "C" s posedki v predorski cevi in na površini** - Na profilih je vidna povezava povečanih deformacij v predoru in na površini, predvsem na območju južnega dela predora. Na območju največjega nadkritja je prišlo do povečanih posedkov pri izkopu druge cevi (krak "C") zaradi širokega območja razrahljane hribine, ki je posledica izkopa kraka "D". Posedeči zaradi izkopa obeh cevi pri nadkritju 70m je 35 cm (merski profil MER-1), vplivni pas pa 160m.

**Slika 3. Situacija predora Golovec z merskimi geodetskimi točkami in vektorji horizontalnih premikov** - Premiki geodetskih točk in pravtako inklinacijskih vrtin so sledili izkopavanju predorskih cevi. Na južnem pobočju so skupni premiki posledica plazjenja in neugodne plastovitosti, medtem ko na severni strani zgornji in srednji del lezeta proti grapi ob kraku "C".

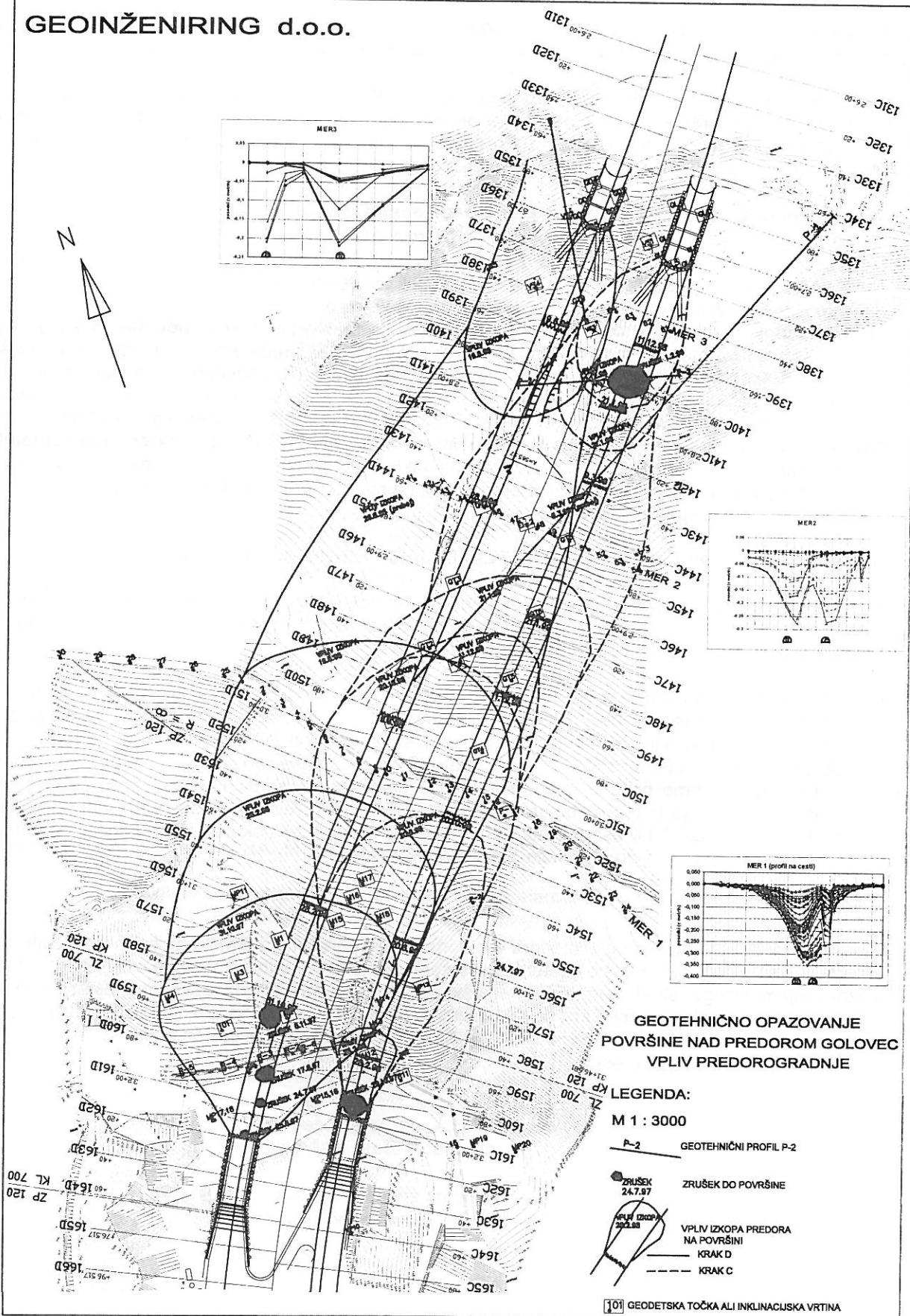
### SANACIJSKI UKREPI ZA PREPREČITEV PLAŽENJA SEVERNEGA POBOČJA

Geotehnično opazovanje površine je pokazalo, da se ne moremo izogniti deformacijam hribinske mase vse do površine zaradi predorogradnje in s tem poslabšanja geotehničnih karakteristik hribine, zato smo predvideli dva dodatna ukrepa za preprečitev možnega plazjenja:

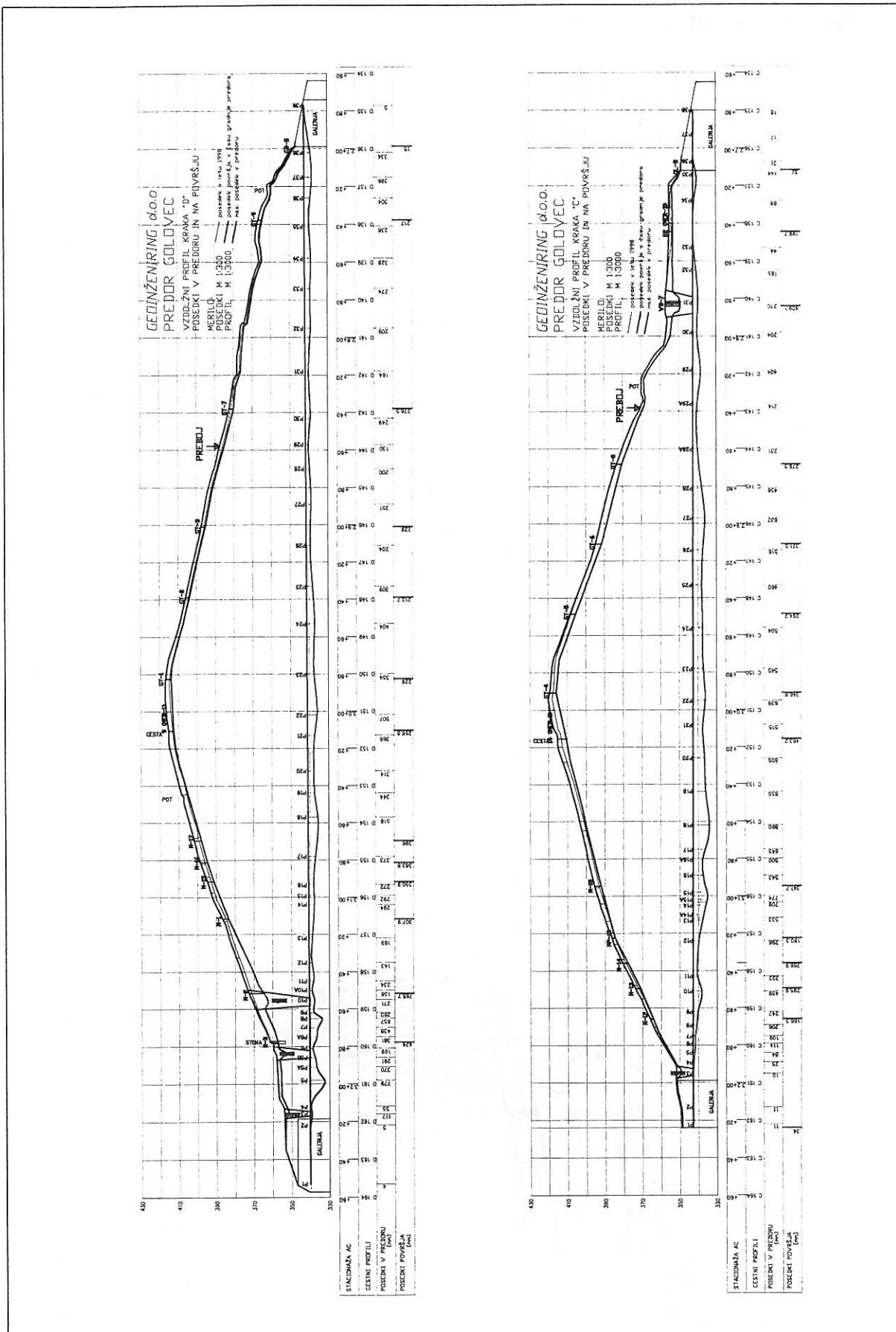
- Strmo pobočje zahodno ob galeriji kraka "D" (profil B-B, slika 1) smo analizirali s poligonalnimi porušnicami po metodi Janbu. Rezultati so pokazali, da je potrebno pred začetkom predorogradnje izdelati obremenilni nasip in zasuti grapo do kote 340m (slika 4 in slika 5).
- Ob pobočju nad grapo ob kraku "C" smo zaradi nizkega nadkritja nad predorskimi cevji, ki poteka tik pod vznožjem strme brežine, predvideli zasutje grape do kote 347m. Kasneje je geotehnično opazovanje pobočja in zrušek ob stacionaži km 2,7+58 zahtevalo dodatno analizo pobočij na tem območju. Rezultati stabilnostne analize po profilu P-1 (slika 1) so pokazali, da je pobočje stabilno z nadvišanjem deponije v grapi do kote 359m (slika 6 in slika 7).

### ZAKLJUČEK

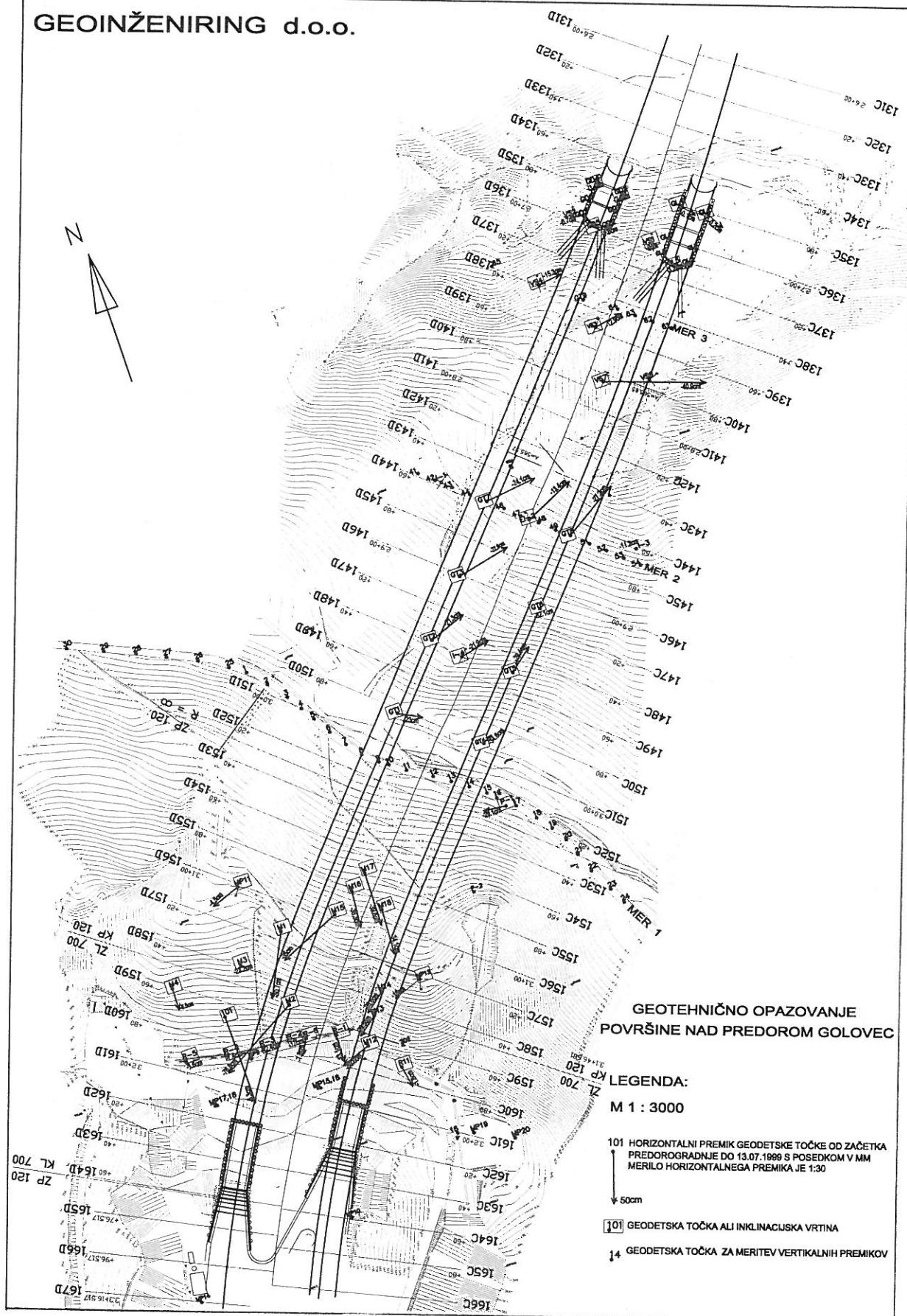
Izredno težavni pogoji pri izgradnji predora v tektonsko zelo porušenih permokarbonskih klastičnih sedimentih so zahtevali natančno geotehnično spremljavo tako v predoru kot na površini. S poznavanjem obsega razrahljanega vplivnega svoda nad predorom lahko preprečimo nestabilnosti na površini s pravočasnimi ukrepi. Tako so na severnem pobočju pravočasno izvedeni dodatni ukrepi z obremenitvijo spodnjega dela pobočja desno ob kraku "D" in zasutjem grape ob kraku "C" z deponiranim materialom iz predora.



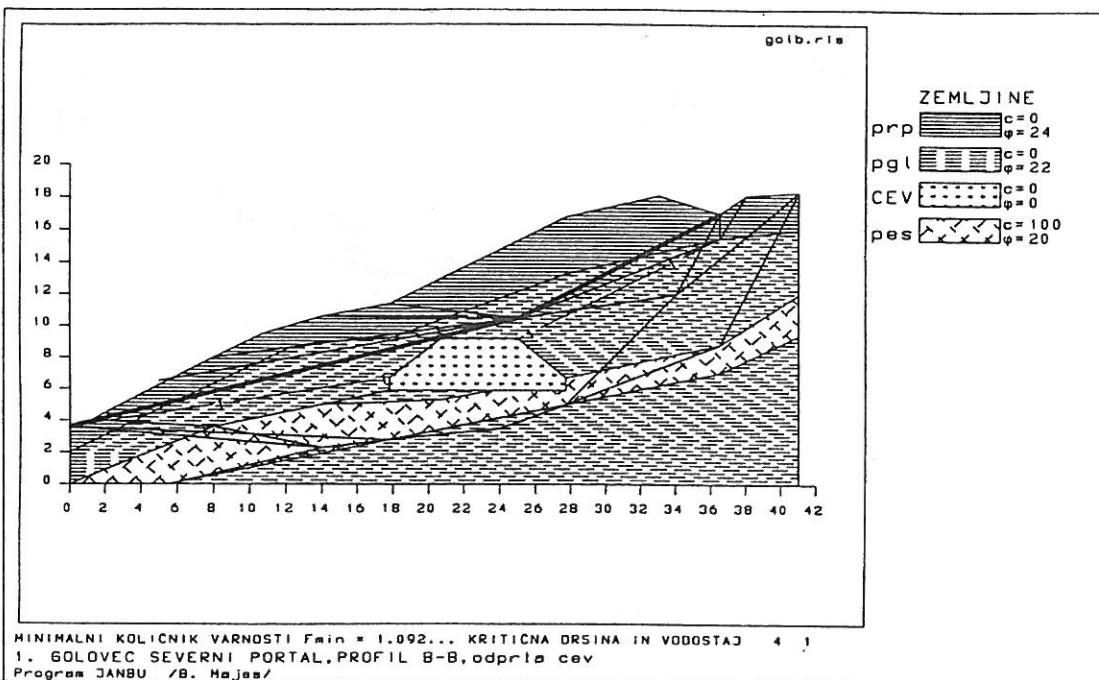
Slika 1. Situacija predora Golovec in vpliv izgradnje predora na površino



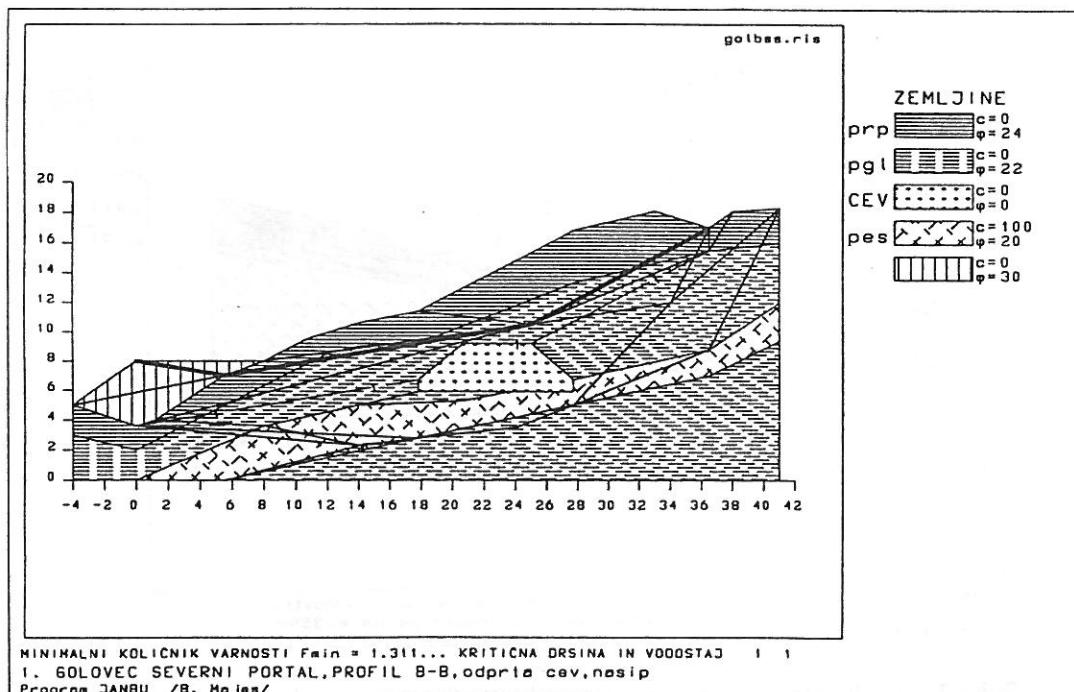
Slika 2. Vzdolžna profila kraka "D" in "C" s posedki v predorski cevi in na površini



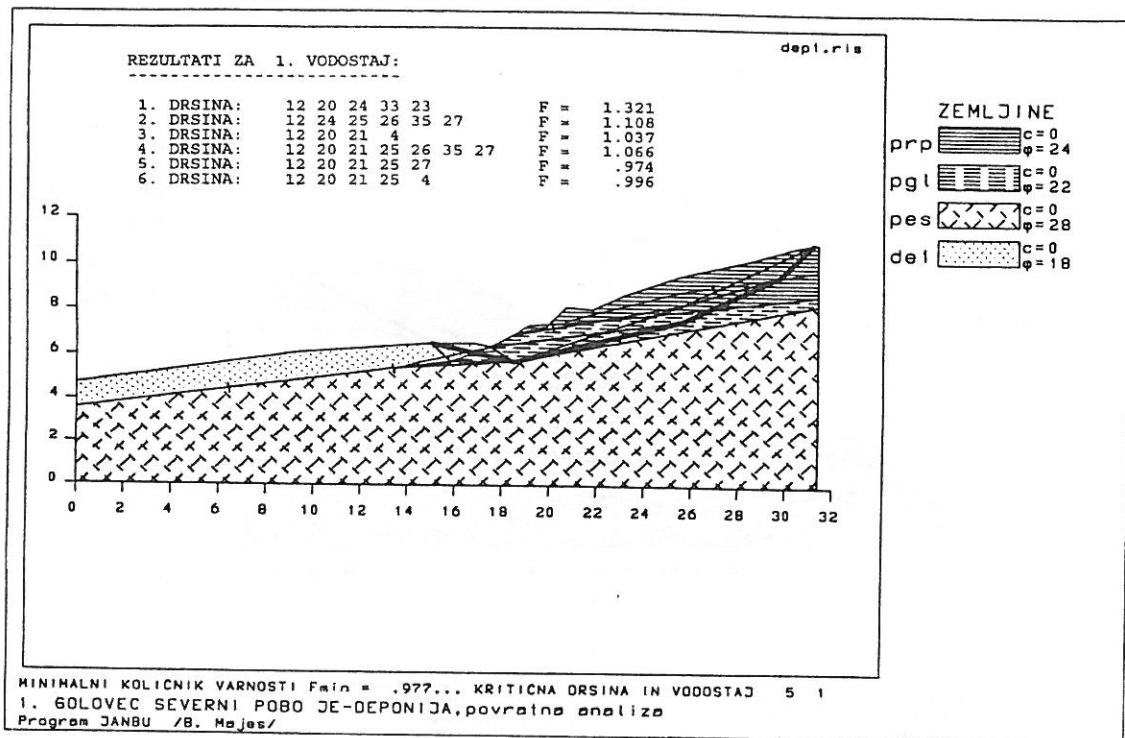
Slika3. Situacija predora Golovec z merskimi geodetskimi točkami in vektorji horizontalnih premikov



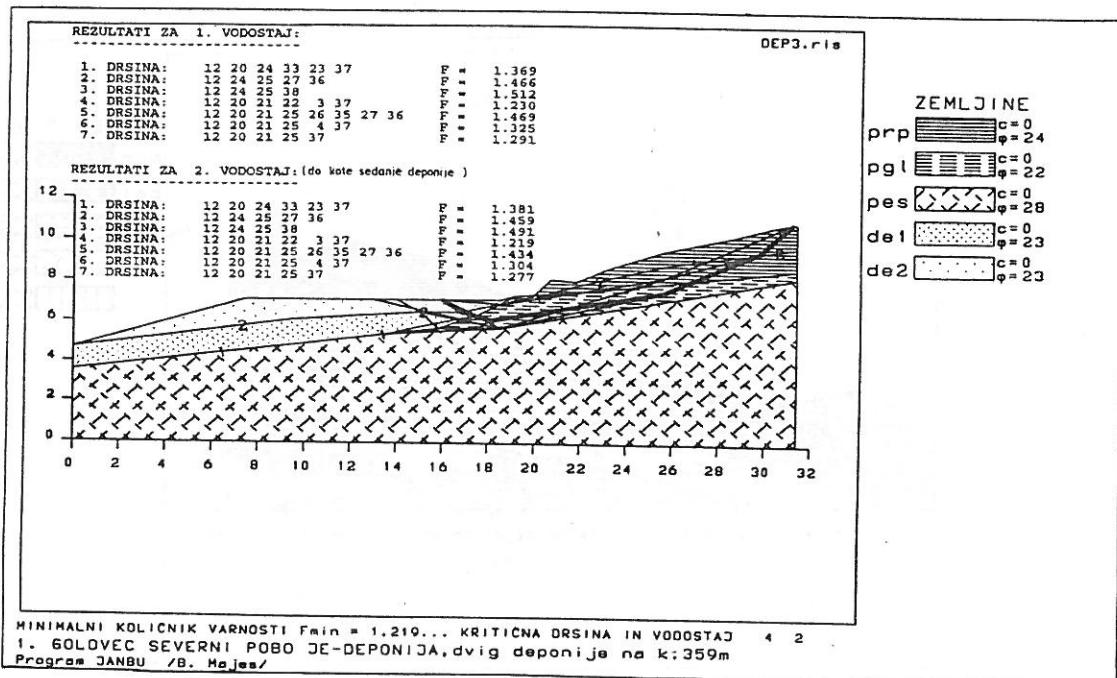
Slika 4. Povratna stabilnostna analiza pobočja ob kraku D-severni portal (profil B-B)



Slika 5. Stabilnostna analiza pobočja ob kraku D-severni portal (profil B-B) z zasutjem grape do kote 340m



Slika 6. Povratna stabilnostna analiza pobočja ob kraku C-severno pobočje (profil P1)



Slika 7. Stabilnostna analiza pobočja ob kraku C-severno pobočje (profil P-1) z nadvišanjem deponije do kote 359m