

Jože DROBEŽ
Univ. dipl. inž. gradbeništva, GRADIS Biro za projektiranje Maribor

Projektiranje in izvedba opornega zidu in pilotne stene OZ-06 na avtocestnem odseku Vransko - Blagovica

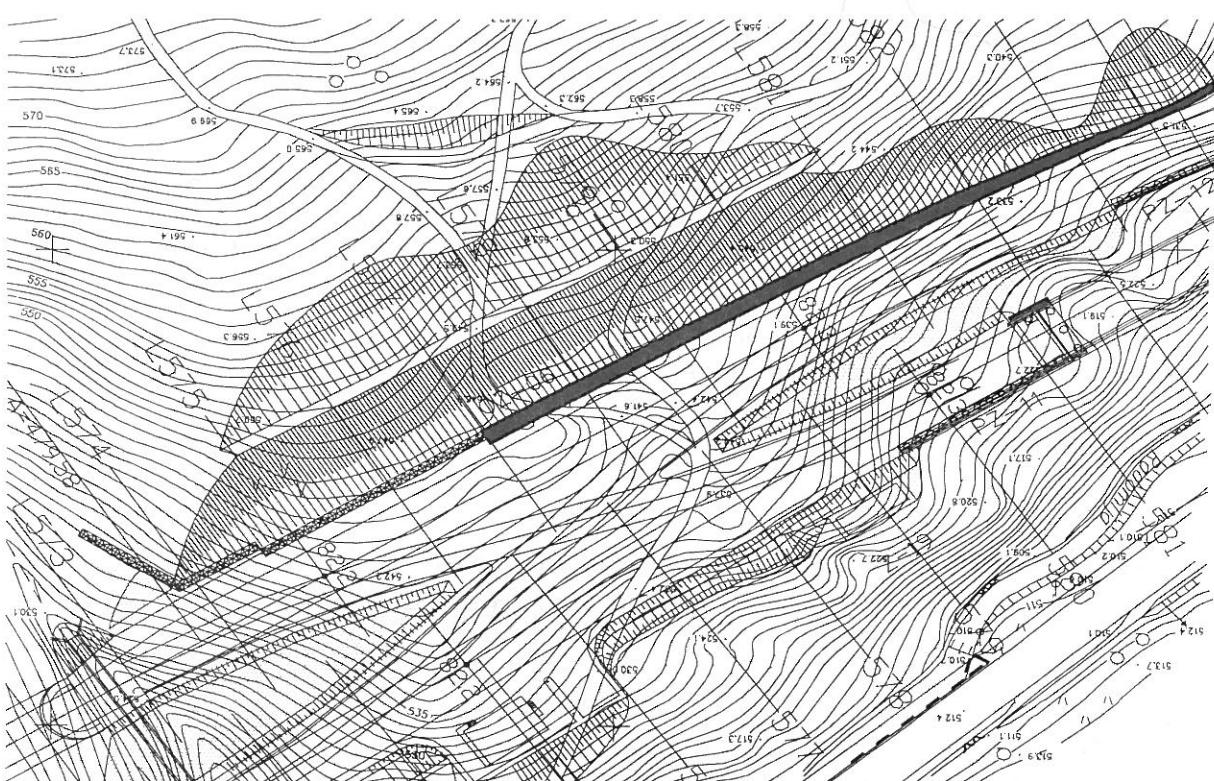
POVZETEK : V članku je opisano projektiranje in izvajanje 240 m dolgega in 10.5 m visokega opornega zidu in pilotne stene OZ 06 na avtocestnem odseku Vransko - Blagovica. Pozornost je posvečena izrazito neugodnim geomehanskim razmeram na lokaciji objekta. Podrobnejše so opisani tudi problemi, na katere smo naleteli pri izvedbi objekta in posledica katerih je bilo tudi delno preprojektiranje oporne konstrukcije. Na kratko so opisane tudi meritve, ki smo jih izvajali med gradnjo. Ker meritve, ki jih izvajamo tudi po končani gradnji, še vedno kažejo manjše naraščanje sidrnih sil in deformacij v območju pilotne stene, zaenkrat ni možno podati končne ocene o objektu.

Design and construction of retaining wall and pile wall OZ 06 on the motorway section Vransko – Blagovica

SUMMARY: Design and construction of 240 metres long and 10.5 metres high retaining wall and pile wall OZ 06 on the motorway section Vransko - Blagovica is described in the present article. Attention has been paid to extremely unfavourable soil mechanics conditions at the project location. In greater detail, problems occurring during construction, as well as the modifications of the retaining structure design as a consequence of those problems are described. In short, measurements performed during construction are described as well. Since the measurements that are performed after ending of construction are showing some minor increasing of displacements and anchor forces, a final appraisal on the project can not be presented at this moment.

LOKACIJA OBJEKTA

Oporni zid in pilotna stena **OZ 06** sta locirana na območju hriba Vobelk, ko se trasa avtoceste po izhodu iz predora Trojane na približno 250 m dolgem odseku vkopljje v strmo pobočje in v nadaljevanju z viaduktom Šentožbolt premosti dolino reke Radomlje. Zid se nahaja levo ob avtocesti, gledano v smeri Trojane - Ljubljana.



Slika 1: Situacija OZ 06 - izvedeno stanje

TERENSKE RAZMERE IN GEOLOŠKA ZGRADBA TAL

Izvedene sondažne vrtine in geološko kartiranje v fazi predhodnih raziskav je pokazalo, da so inženirsko geološke razmere na mestu izgradnje zidu OZ 06 dokaj slabe.

Na celotnem pobočju so bili ugotovljeni številni aktivni in fosilni plazovi. Poleg tega je bilo opaženih precej izvirov, ki dodatno namakajo labilno zemljino.

Osnovo začetnega dela prostora zidu tvorijo permokarbonske skrilave kamnine. Zaradi delovanja močne tektonike je hribina še v veliki globini močno pregnetena in razpada v lističast glinast grušč ter meljno gline. Pretežen del zidu pa je temeljen v plasti srednje permijskih klastitov značilno vijoličaste barve. V sestavi prevladuje kremenov peščenjak, ki je zdrobljen v gost peščen grušč ter pesek. Plasti manj razokane zemljine so zelo redke.

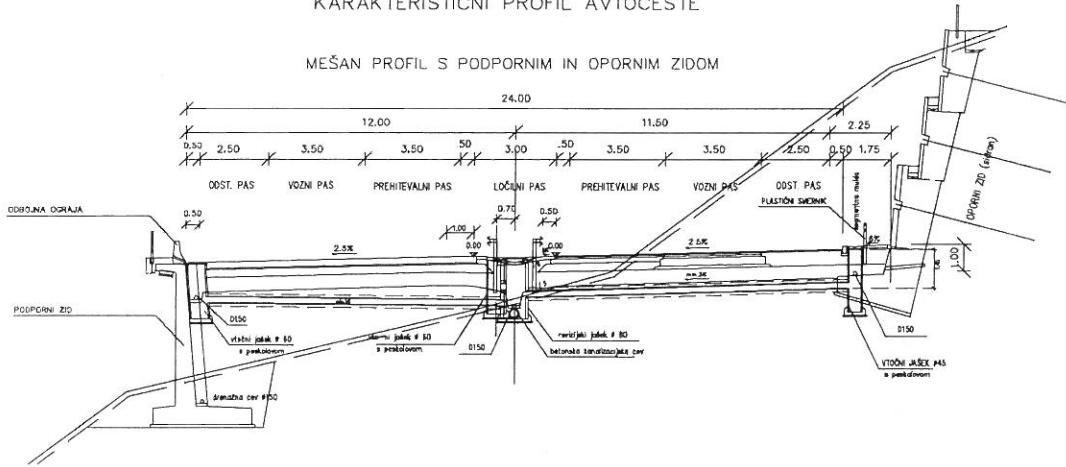
Meteorna voda hitro ponikne v porozne grušče ter se pretaka po razpokanih peščenjakih proti dolini.

GRADBENI PROJEKT OPORNEGA ZIDU

Kot osnova za izdelavo gradbenega projekta opornega zidu in pilotne stene je služil izvedbeni projekt ceste, ki ga je izdelal PNG Ljubljana. Geomehanske podatke s predlogom temeljenja pa so pripravili na Gradbenem inštitutu ZRMK Ljubljana.

Na spodnji sliki je prikazan karakteristični profil avtoceste na mestu opornega zidu.

KARAKTERISTIČNI PROFIL AVTOCESTE

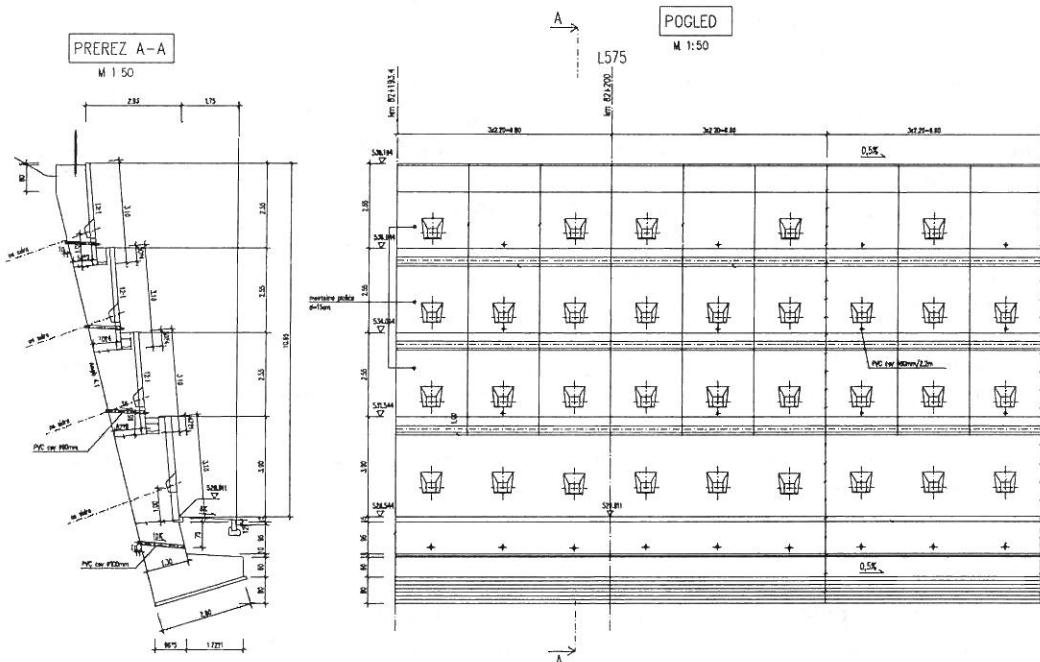


Slika 2: Karakteristični profil avtoceste na mestu opornega zidu

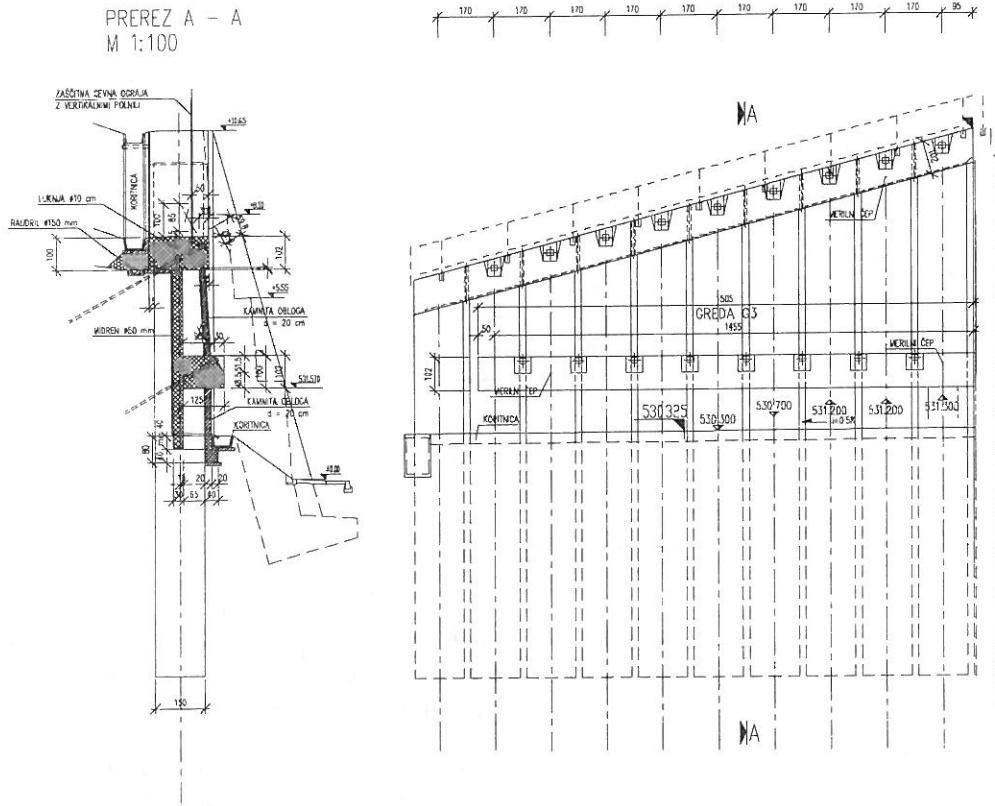
Na osnovi poznane geometrije zidu, zahtev arhitekta - krajinarja, geomehanskih karakteristik zaledne hribine in izkušenj pri projektiranju in izvedbi podobnih konstrukcij je bil za oporno konstrukcijo izbran sidran zid, grajen po lamelah od zgoraj navzdol. Po višini zidu so bile predvidene štiri lamele višine od 2.55 do 3.0 m, tako da je znašala celotna višina zidu 10.5 m nad avtocesto. Vsako kampado zidu dolžine 6.60 m je bilo potrebno sidrati s trajnimi zemeljskimi sidri in šele ko so sidra lahko prevzela računsko obtežbo, je bilo možno nadaljevati z izkopom za nižjo lamelo.

V začetnem plazovitem delu pobočja nad hudoorniško grapo pa je bila izbrana sidrana pilotna stena iz pilotov ϕ 150 cm na osmem razmaku 170 cm. Piloti so bili v dveh nivojih povezani z armiranobetoniskimi gredami, le-te pa so bile sidrane v zaledno hribino.

Projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja je bil izdelan decembra 1996 in nato po ustaljenem postopku revidiran na DDC in FGG - katedra za mehaniko tal.



Slika 3: Prečni prerez opornega zidu in pogled na prednjo stran zidu



Slika 4: Prečni prerez prvotno projektirane pilotne stene in pogled na prednjo stran stene

TRAJNA GEOTEHNIČNA SIDRA

Zelo pomemben element za zagotavljanje stabilnosti opornega zidu in pilotne stene v fazi gradnje in fazi uporabe so trajna geotehnična sidra. Hkrati je to tudi zelo občutljiv člen, ki zahteva že med projektiranjem in nato še posebej med izvedbo zelo pazljivo obravnavo, sicer lahko pride do poškodb in do pospešene korozije prednapetega jekla.

Da bi se zagotovilo kar največjo kvaliteto in trajnost vgrajenih sider, je bilo že pred začetkom projektiranja zahtevano s strani naročnika, da se mora prednapenjanje sider in antikorozjsko zaščito izvajati skladno s predpisi SIA 191 iz januarja 1996.

Gradis se je odločil, da razvije svoje trajno geotehnično sidro in ga uporabi pri sidranju objektov iz slovenskega avtocestnega programa. Tako sta bili pred začetkom izvajanja OZ-06 že pripravljeni dve sidri - GNSS-4 z največ 3 prameni preseka 1.4 cm^2 in GNSS-7 z največ 6 prameni preseka 1.4 cm^2 . Za sidranje opornega zidu smo uporabili sidro GNSS-4 s tremi prameni, za sidranje pilotne stene pa sidro GNSS-7 s štirimi prameni.

Zunanjo nosilnost sidra in dolžino veznega dela smo določili na osnovi testnih sider, izvedenih na lokaciji zidu oziroma pilotne stene. Skladno z zahtevami v geomehanskem poročilu in z opravljenimi stabilnostnimi analizami pa so bile izbrane proste dolžine sider 12.0 m .

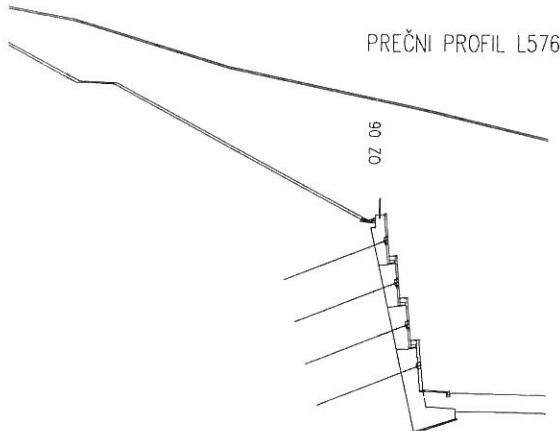
Da bi lahko nadzorovali gibanje sil v sidrih tudi v kasnejšem obdobju, smo predvideli 5% kontrolnih oziroma merilnih sider.

IZVAJANJE ZIDU

Z izgradnjo zidu in pilotne stene se je pričelo konec poletja 1997. Najprej je izvajalec del na trasi odstranil drevje in grmovje in s širokim izkopom odstranil preperinski sloj višine cca 6 m do krone zidu (glej spodnji prečni profil).

Brežino je oblikoval v nagibu 1:2 in v sušnem vremenu je ostalo pobočje stabilno. Ob pričetku jesenskega deževja pa so se pričele kazati lokalne splazitve pobočja in pokazalo se je, da je nagib 1:2 prestrm. Hkrati je bilo to tudi prvo opozorilo, da so karakteristike zemljinje iz geomehanskega

poročila preoptimistične in da poročilo ni dovolj upoštevalo vpliva razbremenitve na permokarbonske skrilavce, prav tako pa je bil podcenjen tudi vpliv površinske in podtalne vode.



Slika 5: Značilen prečni profil na mestu opornega zidu

Medtem je še v sušnem obdobju izvajalec Gradis Celje brez problemov izdelal pilote in postavil večji del zgornje vrste zidu. Sistem gradnje zidu z uporabo montažnih AB opažnih plošč debeline 15 cm se je pokazal kot zelo uspešen. Odpadlo je zamudno opaževanje zidu, hkrati pa kvalitetno izdelane plošče zagotavljajo tudi trajnost in estetski izgled zidu.

Ko pa so na gradbišču postavili kampado zidu v nadaljevanju pilotne stene (profil L577), je bilo pobočje že toliko razmočeno, da je zaradi povečanih pritiskov zemljine prišlo do rotacije novozgrajenega zidu. Tudi sidranje zidu teh rotacij ni zaustavilo. Poleg tega so inklinometri, postavljeni na pobočju za zidom, pokazali premike v globini cca 12 m, kar je kazalo na začetek plazanja tudi na tem območju hriba. S tem je postala vprašljiva tudi sama izbrana konstrukcija in pričelo se je razmišljati o podaljšanju pilotne stene tudi v to kritično plazovito področje (do profila L 577).

Na osnovi vseh opažanj je bil sprejet sklep, da se izdela novo geomehansko poročilo, ki bo povzelo vse ugotovitve, dobljene med gradnjo zidu kakor tudi prejšnja spoznanja z objektov, grajenih v permokarbonskih hribinah.

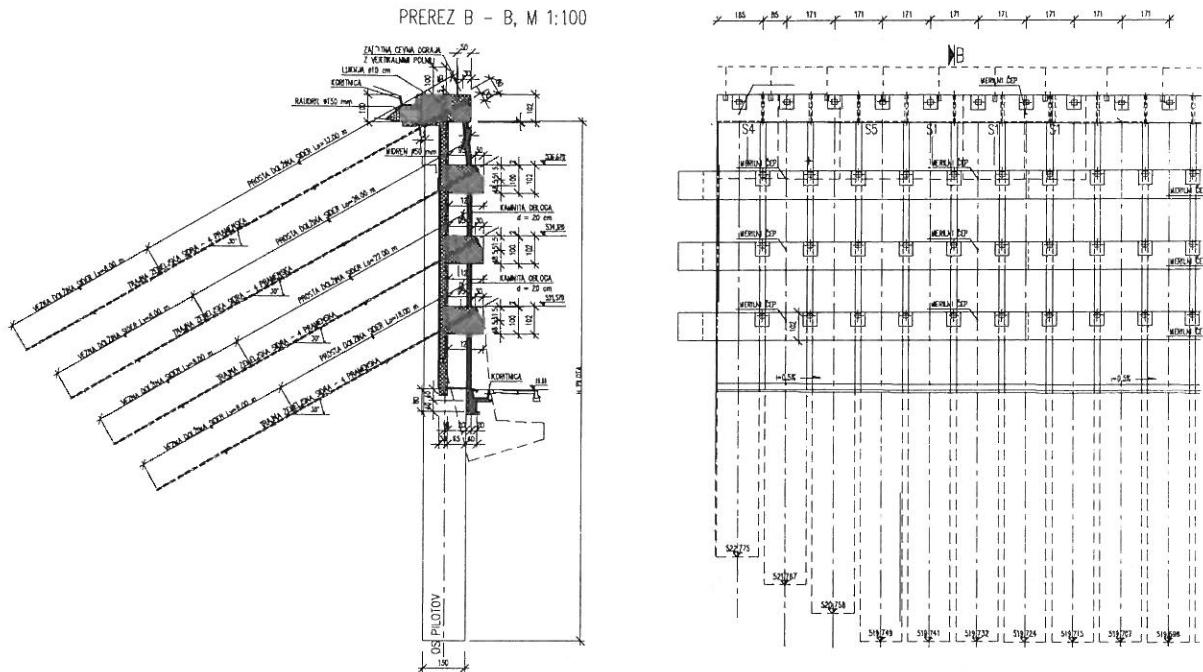
Novo revidirano geomehansko poročilo je potrdilo opažanja na terenu, da izvedba sidranega zidu na tem plazovitem področju dolžine cca 40 m ni možna in da je potrebno preveriti možnost izvedbe sidrane pilotne stene. Po opravljenih statičnih analizah z novimi vhodnimi podatki (klasičen izračun pilotne stene in sodoben izračun z metodo končnih elementov na FGG - Katedra za mehaniko tal) je bilo potrjeno, da se da izvesti pilotno steno, vendar pa mora biti ta po višini štirikrat sidранa. Tudi dolžine prostega dela sider so se morale bistveno povečati in tako so bila sidra v zgornji gredi dolga kar 40 m.

Kot dodatni ukrep, ki naj bi prispeval k stabilnosti objekta, je bila predvidena tudi ublažitev nagiba zaledne brežine in izvedba globokih kamnitih drenažnih reber v pobočju za pilotno steno.

Na osnovi vseh zgoraj opisanih analiz smo nato izdelali nov projekt pilotne stene v območju profilov L577 do L577 (glej situacijo na sliki 1). Prečni prerez in pogled nove sidrane pilotne stene je prikazan na sliki 6.

Po tako dopolnjenem projektu je bila pilotna stena tudi izvedena. Ker pri izkopu za pilote na predvideni globini nismo naleteli na kompaktnejšo osnovno, smo pilote v srednjem delu stene podaljšali do globine 10 m pod končno niveleto ceste. Tako so bili najdaljši piloti dolgi 20 m, kar je za ta teren predstavljalo že skrajno dolžino izvedljivosti. Že pri tej globini so bili pritiski zemljine takoj veliki, da je bilo še komaj mogoče izvleči jekleni opaž.

Ker je v delu pilotne stene kljub sidrom v štirih nivojih še vedno prihajalo do pomikov pilotov na koti izkopa za avtocesto, se je pod koto bodoče avtoceste izvedlo še peto vezno gredo, v kateri so pripravljena sidrišča za morebitno kasnejše dodatno sidranje pilotov. Sedem zemeljskih sider v območju tlorisnega loma pilotne stene je bilo medtem že tudi vgrajenih in prednapetih.



Slika 6: Prečni prerez izvedene pilotne stene in pogled na prednjo stran stene

Meritve na objektu

Ves čas gradnje so se na zidu in pilotni steni vsak teden opravljale geodetske meritve, meritve sil v merskih sidrih ter meritve deformacij v inklinometrih, postavljenih na pobočju oziroma vgrajenih v pilotih. Z geodetskimi meritvami smo lahko zaznali le pomike konstrukcije velikostnega reda 1 cm, kar je pre malo povedalo o obnašanju konstrukcije. Odčitavanje velikosti sidrih sil v merskih sidrih nam je dajalo zelo natančne podatke o naraščanju sil, kar je bilo posledica delovanja hribinskih pritiskov. Prav tako so bili zelo koristni tudi podatki, pridobljeni z inklinometri. Še zlasti so nam pomagali podatki o deformacijah pilotov, ki smo jih dobili s pomočjo inklinometrov, vgrajenih v pilote. Z meritvami na objektu še vedno nadaljujemo, zadnje meritve so pokazale minimalno naraščanje sidrih sil v območju pilotne stene, medtem ko v območju zidu sile ne naraščajo več.

Zaključne ugotovitve

Težave, s kakršnimi smo se srečali pri izvedbi OZ-06, opozarjajo, da je potrebno v tako zapletenih terenskih razmerah posvetiti še večjo pozornost predhodnim geološko-geomehanskim raziskavam. Z njimi je potrebno ugotoviti čim bolj realne parametre za statično analizo objekta in se po možnosti izogniti neljubim presenečenjem med gradnjo.

Tudi pri sami izvedbi podpornih in opornih konstrukcij v tako zahtevnih razmerah je potrebno ukrepati previdno. Vsakim širokим izkopom, ki pripeljejo do hitre razbremenitve hribinske osnove, se je potrebno izogniti. Izkope je potrebno opraviti v čimmanjšem obsegu in takoj zgraditi oporno konstrukcijo in jo sidrati ter tako preprečiti nastanek lokalnih splazitev.

Posebno pozornost je potrebno posvetiti vodi, ki predstavlja največji dejavnik tveganja. Po odstranitvi vegetacije in zgornjih slojev zemljine se omogoči vodi lažje prodiranje v temeljna tla in s tem se lahko aktivirajo potencialne drsine v hribini. Zato bi bilo potrebno že ob načrtovanju ceste razmišljati o tem, kako se izogniti velikim posegom v pobočje nad krono oporne konstrukcije (eventuelen dvig nivelete).