

Drago OCEPEK
mag., univ.dipl.inž.geol., Geoinženiring d.o.o.

Lara HUMAR
dipl.inž.grad., Geoinženiring d.o.o.

PROJEKTIRANJE, IZVEDBA IN TEHNIČNO OPAZOVANJE OPORNIH KONSTRUKCIJ NA ODSEKU AC BLAGOVICA - KOMPOLJE

POVZETEK: Geološko – geomehanske raziskave za potrebe projektiranja opornih konstrukcij temeljijo na različnih metodah ugotavljanja fizikalnih lastnosti kamenin, mehkih kamenin in zemljin ter na pravilni izbiri vhodnih podatkov za stabilnostne analize in geostatične analize. Raziskave in analize potekajo v fazi glavnega projekta najprej z namenom, da bi oporne konstrukcije pravilno dimenzionirali in ustrezno umestili v dano geološko zgradbo prostora gradnje avtoceste, kasneje pa še zaradi prilagajanja geološko - geomehanskim spremembam med samo izvedbo. Že med izvedbo opornih konstrukcij, analize preverjamo s pomočjo tehničnega opazovanja, ki vključuje meritve sidrnih sil, opazovanja geodetskih točk na konstrukcijah in zalednih brežinah, ter meritve pomikov in nivojev vode v inklinometrih – piezometrih. Tehnično opazovanje se nadaljuje tudi v fazi obratovanja objektov.

PROJECTING, REALZATION AND MONITORING OF RETAINING WALLS ON THE HIGHWAY SECTION BLAGOVICA - KOMPOLJE

SUMMARY: Geological - geomechanical investigations consists of analysis the quality of rocks, soft rocks and soils and on the proper selection of the input data for stability and geostatic analysis. The primary goal of these investigations and analysis is correctly dimensioning of the retaining walls and for exactly installing them on natural geological conditions in building area of highway and later for fitting to variable geological – geotechnical conditions. Before the work on realization of retaining walls had been finished, the results of analysis are checked by monitoring, measurements of anchor forces and also by geodetic monitoring of reper points and measurement of inclinations and water level in boreholes in rear slopes of the retaining walls. This monitoring will continue in the phase of exploitation of the objects.

SPLOŠNO

Geološko geomehanski opis

Avtocesta Blagovica - Šentjakob poteka na pod odseku Blagovica – Kompolje po geološko zelo zahtevnem terenu, zgrajenem iz glinastih skrilavcev in meljevcev s strmimi pobočji prerezanimi s pogostimi erozijskimi grapami. Ob vznožju pobočij se iz teh grap iztekajo hudourniški potoki. Ti so nanесли debele sloje vršajev, ki so se odložili na mehke aluvijalne naplavine potoka Radomlja z geomehanskimi karakteristikami barjanskih tal.

Med traso AC in pobočji poteka struga potoka Radomlja, ki jo je bilo zaradi gradnje nove trase potrebno regulirati. Med samo gradnjo je bilo potrebno zagotoviti nemoten mednarodni promet po obstoječi glavni cesti G 1/10 (Celje – Ljubljana). Vsi ti pogoji so narekovali izredno pazljivo projektiranje kot tudi samo izvedbo.

Trasa AC se na tem odseku dotakne le iztekov pobočij. Toda tik ob njeni levi strani poteka tudi deviacijska cesta, ki je bila po osnovnem projektu na kritičnih odsekih varovana s težnostnimi opornimi konstrukcijami, za katere bi bilo potrebno izvajati zahtevna začasna varovanja brežin izkopov. To bi bil dokaj dolgotrajen proces s tehnologijo gradnje začasnega varovanja brežin. Tak način gradnje težnostnih opornih konstrukcij bi trajal vsaj eno leto.

Intenzivna gradnja avtoceste s predvidenimi širokimi izkopi, poslabšani hidrološki pogoji in hkrati nevarnost nastanka plazov, so zahtevali spremembo tehnologije gradnje opornih konstrukcij na občutljivem delu trase.

Predhodne geološko geomehanske raziskave

Raziskave za traso AC

Na območju projektiranih vkopov in deviacijske ceste varovane s predvidenimi opornimi konstrukcijami so raziskave za traso tega odseka avtoceste obsegale izvedbo osmih vrtin in štirih sondažnih jaškov. Vrtanje je potekalo v poletju leta 1995. Hkrati je bilo obravnavano področje podrobno inženirsko geološko kartirano z registriranimi labilnimi pobočji in površinsko labilnim terenom. Na območju OZ – 01 in OZ - 02 smo ugotovili fosilna plazova ter erozijske hudourniške grape na področju vseh petih projektiranih konstrukcij. Na podlagi teh preiskav je bilo narejeno poročilo za fazo PGD – PZI, usklajeno z revizijo (GZL - IGGG, avgust 1997)

Raziskave za oporne konstrukcije

Geološko geomehanske raziskave za oporne konstrukcije, ki jih je sprojektiral PNZ d.o.o. so potekale v juniju 1998. Na zalednem pobočju projektiranih konstrukcij OZ – 01 in OZ - 02 sta bili poleti leta 1997, kjer so bili možni dostopi in dovoljenja lastnikov zemljišč, izvedeni dve vrtini. V osi temeljev predvidenih opornih konstrukcij je bilo narejenih šestnajst sond dinamičnih penetracij ter opravljene laboratorijske preiskave in stabilnostne analize. V geološko geomehanskih poročilih je bila podana natančna tehnologija izvedbe varovanja začasno izvedenih izkopov po kampadah, dolžine 6 m ob geotehničnem nadzoru, s pregledom izkopov in določitvijo začasnih opornih ukrepov (hribina razdeljena na tri kategorije, ki pogojujejo tri vrste začasnega varovanja. S projektom je bila med izvedbo, v skladu z zahtevo geološko geomehanskega poročila, dodatno predvidena izvedba inklinometriško - piezometriških vrtin v zaledju opornih konstrukcij in odvzem vzorcev za dodatne laboratorijske preiskave in stabilnostne analize.

INŽENIRSKO GEOLOŠKE RAZMERE

Litološko stratigrafska in tektonska zgradba

Podlago pobočja projektiranih konstrukcij sestavljajo permsko karbonske plasti. Te so v zgornjem delu sestavljene pretežno iz skrilavih meljevcev z vložki prepererelega kremenovega peščenjaka, v spodnjem delu pa iz skrilavih meljevcev s prehodi v glinast skrilavec, s tanjšimi vložki kremenovega peščenjaka. Zgornji del serije plasti je močno do zmerno preperel, saj imajo peščenjaki razpoklinsko poroznost,

skrilavi meljevci pa so večinoma razpadli, tako da se po plasti preperale mehke kamenine – pol hribine intenzivno preceja voda. Peščenjaki so zelo razpokani, z oprhi železovih hidroksidov po stenah razpok.

V spodnjem delu plasti, kjer prevladujejo skrilavi meljevci s prehodi v glinaste skrilavce so vložki peščenjaka redkejši in tanjši, tako da so pojavi precejnih con redki. Te plasti so pogosto pregnetene z vložki kremenovih žil, kar je znak večje tektonske poškodovanosti in oslabiljenosti.

Med vrtnjem je bila, praktično v vseh vrtinah na prehodu med preperelo in kompaktno hribino, ugotovljena vlažna do razmočena cona mehke kamenine - pol hribine. Ta v povezavi z registriranimi starimi odlomnimi robovi nakazuje potek fosilne drsine – strižne cone sestavljene iz gline z drobcu grušču. Ta je bila ugotovljena tudi v nekaterih intaktnih vzorcih odvzetih iz tega območja.

Prelomi, ob katerih je mehka kamenina pregnetena, trša pa razpokana, so nastali pri neotektonskih aktivnostih. Glavni prelom je Trboveljski, ki poteka v smeri vzhod – zahod, približno po reki Radomlji. V dinarski smeri je še več manjših prelomov; so pa tudi lokalni gravitacijski prelomi s smerjo sever – jug.

Nastanek plaz med gradnjo

Na območju predvidene gradnje oporne konstrukcije OZ –04 je ob vznožju pobočja potekala izvedba regulacije potoka Radomlja. Po izvedbi izkopa projektirane trajne brežine nad oporno konstrukcijo in daljšem obilnem deževnem obdobju ter manjšem potresu z magnitudo 3,5, z epicentrom na območju Brezovice pri Ljubljani na predvečer splazitve, se je dne 14.10.2002 sprožil plaz.

Sprva so se nad predvideno oporno konstrukcijo pojavile manjše odlomne razpoke. V nadaljevanju večjega deževja so se razpoke širile tudi na območje pod projektirano oporno konstrukcijo. Predvidenega izkopa po kampadah za oporno konstrukcijo ni bilo možno pričeti izvajati.

Od 14.10.2002 naprej smo plaz dnevno opazovali in pri nadzoru predpisali najnujnejše začasne sanacijske ukrepe. 17.10.2002 dopoldan je reka Radomlja močno narasla in poplavlila polje med traso AC in glavno cesto G - 1/10. Zaradi nevarnosti zasutja območja gradbišča in zaježitve potoka Radomlja, so začasne sanacijske ukrepe takoj pričeli izvajati.

GEOTEHNIČNI UKREPI IN DOPOLNILNE RAZISKAVE

Začasni sanacijski ukrepi

Na terenu so potekali predhodni začasni sanacijski ukrepi z namenom, da bi preprečili dotoke vode v plazino in ustavili hitre premike, ki so bili največji dne 17.,10.,2002 do 0,5 m. Najprej so pokrili odprte razpoke s PVC folijo. Sproti se je preusmerjal hudourniški potok zunaj območja plazine nad zgornjim odlomnim robom, s posebej izkopanim jarkom, prekritim s PVC folijo v desno stransko stabilno grapo (gledano po plazu navzdol). Ob zgornjem odlomnem robu so bili s prečnima gibljivima drenažama v obliki črke Y zajeti izviri. Njun iztok je bil speljan v desno stransko stabilno grapo z urejenim odtokom pod nasipom AC prek prepusta skozi dodatno poglobljeno kovinsko cev Ø 500. Na območju plazine in tudi zunaj nje je bilo vgrajenih sedemnajst (17) začasnih geodetskih točk za opazovanje hitrih pomikov. Meritve površinskih pomikov so se v začetku izvajale vsak dan.

Dodatne geološko geomehanske raziskave in meritve na območju OZ - 04

Po izvedenih začasnih potrebnih sanacijskih ukrepih smo opravili dodatne geološko geomehanske raziskave in meritve, da bi določili pogoje za izvedbo sanacije plaz. Pri obdelavi smo upoštevali vse predhodno izvedene raziskave.

Terenske raziskave in meritve

Območje plaz je bilo podrobno inženirsko geološko kartirano. Napravili smo tudi geofizikalne meritve s seizmičnim in električnim profiliranjem. Izvedli smo devet (9) raziskovalnih vrtin in med vrtnjem odvzeli večje število intaktnih vtorcev za laboratorijske preiskave. Vzorci preperle hribine so bili

parafinirani, da bi se čimbolj ohranila vlaga in struktura mehke kamenine. Skupaj je bilo odvzetih dvanajst (12) intaktnih vzorcev, od tega jih je bilo osem (8) parafiniranih.

Fakulteta za gradbeništvo - KMTAL je v vrtini V–9 med vrtanjem opravila meritve s presiometrom. Geoinženiring d.o.o. je v vrtinah V–8 in V–9 pred vgradnjo inklinometrov izvedel geofizikalne meritve »down hole« ter seizmično tomografijo v kombinaciji z geofoni položenimi na površini plazu. Po izvedbi vrtanja je bilo osem vrtin opremljenih z inklinometri – piezometri. Ob ustju vrtin so bile zabetonirane trajne geodetske točke.

Pomiki so imeli po ničelni meritvi z dne 23.10. do 25.10.2002 vsak dan velikostni red od 0,3 m do 0,5 m. Kasneje (26.10.) so upadli na 0,2 m do 0,35 m. Tako je bil kumulativni pomik okrog 0,7 m do 1,4 m. Bili so intenzivnejši ob levi strani plazu (gledano po plazu navzdol). Celotno območje plazu je bilo v samem območju plazine in tudi zunaj nje na stabilnih grebenih opremljeno s trajnimi geodetskimi točkami.

Ko je bil zgrajen obrambni nasip ob izravnem robu plazu tik ob strugi Radomlje, so se dnevni pomiki končno zmanjšali na okrog 0,04 do 0,06 m, pri čemer so skupni kumulativni pomiki znašali že od 2,0 do 3,8 m.

Laboratorijske preiskave

V laboratoriju Fakultete za gradbeništvo – KMTAL je bilo preiskanih pet (5) vzorcev zemljin in hribin. Preiskave so obsegale določitev naravne vlage in prostorninske teže, direktno strižno preiskavo in tri nedrenirane triosne preiskave. V laboratoriju Geoinženiringa d.o.o. smo določili naravno vlago devetindvajsetim vzorcem in konsistenčne meje ter prostorninsko težo. Enajst (11) vzorcev smo preiskali z direktno strižno preiskavo, dva (2) z rotacijsko strižno preiskavo ter napravili tri (3) preiskave stisljivosti in zrnivosti. Enoosno tlačno trdnost smo določili trem vzorcem ter točkovni trdnostni indeks šestinsedemdesetim kosom mehke kamenine.

Sanacija plazu in sprememba projekta konstrukcije OZ - 04

V zvezi z nastalimi razmerami je bil sklican geomehanski konzilij geomehanikov, geologov, projektantov trase in objektov, predstavnikov fakultete za gradbeništvo in revidentov. Vseskozi so potekali usklajevalni sestanki. Na podlagi le teh so se predlogi za sanacijo plazu nemudoma realizirali, saj bi bila drugače zaustavitev plazu nemogoča, nastale bi nepredvidljive posledice.

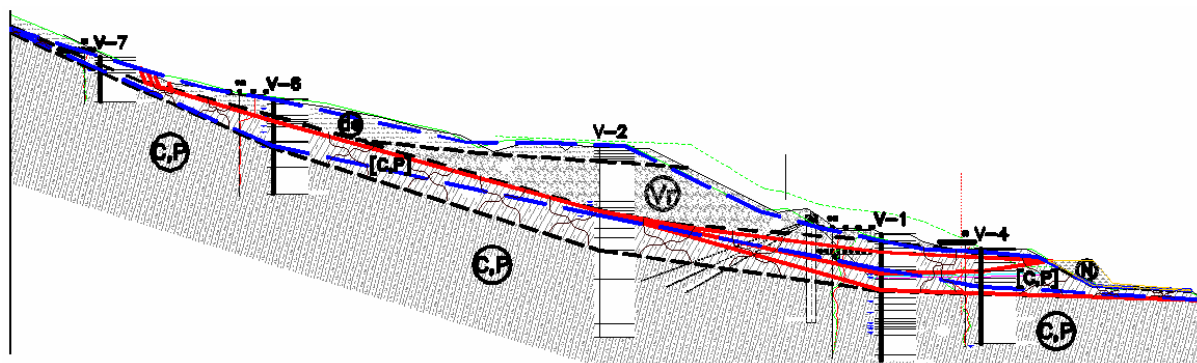
Pred izdelavo končnih geostatičnih analiz so bili kritični profili plazu posneti ponovno geodetsko. Ugotovili smo dotedanje merjene pomike in na podlagi zadnjega posnetka stanja ter s pomočjo geostatičnih analiz različnih variant sanacije, optimalno umestili novo projektirano konstrukcijo.

Analizirali smo različne variante sanacije: z dvema pilotnima stenama, z eno pilotno steno v koridorju AC in eno pilotno steno obloženo s kamnito zložbo v betonu. Primerjava je pokazala, da je sanacijo možno izvesti uspešno z eno pilotno steno v spodnjem delu plazu in z drenažnimi rebri na vkopu nad konstrukcijo za znižanje nivoja vode, ter z ureditvijo brežine pred konstrukcijo, z zamenjavo materiala (plazine), utrjenega s kamnito oblogo v betonu.

V mesecu januarju 2003 smo izvajali tedenske meritve, da bi ugotovili umirjanje plazu in določili začetek in potek gradnje novo projektirane oporne konstrukcije. Med prvo in drugo meritvijo z dne 10. 01. 2003 so se pomiki vseh površinskih točk zmanjšali na velikostni red do 1 cm.

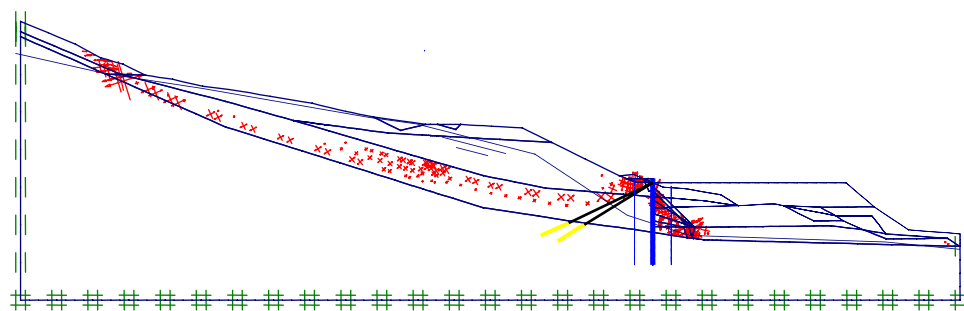
Neodvisno od izvedbe oporne konstrukcije je bilo potrebno izvesti sanacijo zgornjega dela plazu nad vkopno brežino. Vse razpoke in odlomni robovi so bili zapolnjeni z glino za preprečitev dotokov vode v plazino. Struga hudourniškega potoka je bila zaščitena s kamnito betonsko oblogo, z urejenim iztokom v prepust.

Na sliki 1 prikazujemo kritični prečni geološko geotehnični prerez A, ki je služil za izdelavo stabilnostnih in geostatičnih analiz.



Slika 1: Zgornja tanjša črta prikazuje teren pred izvedenim izkopom; črtkana črta sestavljena iz daljših črt, predstavlja nivoje vode, debelejša, polna črta predstavlja drsini, povezani prek največjih merjenih pomikov v inklinometrih. Črtkani črti, sestavljeni iz kratkih črt, sta litološki meji. Sivo so šrafirani sloji zemljin in hribinske podlage, ki si sledijo od zgoraj navzdol: de – deluvijalna preperina – glina z drobcu grušča, vr – vršaj – hudourniški nanos zaglinjenega grušča, CP – prečrtan – preperel permsko karbonski peščenjak s polami skrilavega meljevca; CP – skrilav meljevec s polami drobnozrnatega peščenjaka, ki globlje prehaja v karbonski glinast skrilavec. Desno spodaj leži umetni nasip zameljenega peščenega grušča – N.

Na sliki 2 prikazujemo geostatično analizo, ki je služila pri projektiranju sanacije plazu in zaščite brežine nad oporno konstrukcijo in pod njo.



Slika 2: Geostatična analiza, narejena po metodi končnih elementov s programom Plaxis. Zemljine in hribine so bile modelirane z Mohr – Coulombovim materialnim modelom. Prikazan je porušni mehanizem po izvedeni sanaciji.

Za izvedbo pilotne stene je bil narejen izkop zaledne brežine delovnega platoja v enakem naklonu kot je že izvedena obstoječa brežina vkopa nad bermo ($n = 1 : 2$). Po ureditvi delovnega platoja so se ob projektantskem nadzoru Geoinženiringa d.o.o. izkopavali piloti $\phi 150$ na povprečnem rastru 2,6 m v dolžini 16,5 m skupaj z gredo, ki je bila narejena naknadno (greda 1,5 m in piloti 15 m).

Pred sidranjem je bil izza pilotne stene izveden izkop za vzdolžno drenažo po kampadah dolžine 6 m do globine okrog 3 m izpod kote delovnega platoja.

Na zaledni brežini nad konstrukcijo je bil izveden izkop za drenažna rebra na medosni razdalji po 6 m. Predvidena širina drenažnih reber je obsegala zgoraj okrog 2,5 m, pri dnu izkopa pa okrog 1 m. Dejansko so bila zgoraj rebra široka tudi do 3,5 m, spodaj pa ob nadzoru izkopana do globine kontakta s preperelo hribino. Izkopi so bili zapolnjeni z drobljencem ustrezne granulacije za drenažni zasip.

Skozi pripravljene utore na gredi pilotne stene so bile izvrtane vrtnice za sidra (vrtine $\phi 151$ mm). Ta so bila vstavljena in zainjektirana v dveh nivojih v povprečnem rastru 2,6 m: prva vrsta dolžine 26 m v naklonu 25° in druga vrsta dolžine 24 m v naklonu 30° z veznimi deli dolžine 7 m. Po desetih dneh so bila zaklinjena na delovno silo 450 kN.

Pred pilotno steno je bil ob projektantskem nadzoru Geoinženiringa d.o.o. izveden stopničast izkop do nivelete avtoceste po kampadah dolžine 6 m. Ob robu AC je bil narejen izkop za kamnito peto do globine okrog 2 m med kontaktom preperete in kompaktne hribine. V dno izkopa je bila položena gibljiva vzdolžna drenaža $\phi 250$ mm. Peta je bila zapolnjena s kamnom v betonu. Na stopničasto urejeni podlagi izkopa je bil vgrajen dolomitni drobljenec. Ob vgradnji smo sproti izvajali meritve geodetskih točk na gredah pilotne stene in inklinacij v pilotih. Pri tem so bili doseženi maksimalni merjeni pomiki, ki kasneje niso bili preseženi. V debelini okrog 1 m je bila na vrhu brežina rolirana v naklonu 1 : 1 s kamnom v betonu.

Med samo izvedbo opornega zidu so potekala tedenska geodetska opazovanja in meritve inklinacij ter sidrnih sil, s čimer se izvaja monitoring celotnega plazljivega področja še sedaj enkrat mesečno.

Dopolnilne geološko - geomehanske raziskave za konstrukcije OZ – 01, 02, 03 in OZ - 06

Na istem pobočju kot konstrukcija OZ -04 se nahaja tudi konstrukcija OZ – 03. Na sosednjem pobočju pa se nahajata konstrukciji OZ – 02 in OZ – 01. Inženirsko geološke razmere, ki so narekovale pogoje izvedbe, so enake, ali vsaj zelo podobne. Potrjene so bile tudi z dodatnimi geološko geomehanskimi raziskavami. Zato so se, skladno s predlogom projektanta, zgradili obrambni nasipi, ki so omogočili dostop mehanizacije najprej za izvedbo sondažnih vrtnic in kasneje opornih konstrukcij (pilotnih sten in zidov temeljenih na pilotih).

V naslednji preglednici je prikazan pregled dodatno izvedenih terenskih geotehničnih in geomehanskih laboratorijskih preiskav. Podrobno je prikazano število raziskovalnih vrtnic, vgrajenih inklinometrov – piezometrov, ter med vrtnjem izvedenih meritev s presiometrom. Med vrtnjem so bili odvzeti številni intaktni vzorci, ki so služili za različne laboratorijske preiskave obravnavanih objektov. Vzorci, odvzeti iz preperete hribine, so bili zaviti v gazo in zaliti s parafinom, da bi se ohranila naravna vlaga in struktura mehke kamenine.

Preglednica 1: Terenske geotehnične in geomehanske laboratorijske preiskave na področju objektov

Konstrukcija	Število vrtnic/skup. globina (m)	Vgrajeni Inklinom.-piezom.	Meritve s presiom.	Laboratorijske preiskave				
				Vlaga/kons. meje/prost. tež.	Direkt. strižne	Rotac. strižne	Triosne CU preisk.	Enoos. tlač. trd.
OZ - 01	6 / 123 m	3	9	15 / 2 / 9	4	2	2	4
OZ - 02	3 / 50 m	3	/	14 / 8 / 8	7	1	2	/
OZ - 03	3 / 47 m	3	4	5 / 5 / 7	4	1	3	2
OZ - 06	2 / 24 m	/	/	9 / 5 / 5	3	1	/	1

Geotehnične razmere pri projektiranju in izvedbi konstrukcije OZ – 1

Med vrtnjem je bila v vrtnicah V – 1 in V – 4, na prehodu med preperelo in kompaktno hribino, ugotovljena pregnetena in vlažna do razmočena cona mehke kamenine – pol hribine, ki tudi tu nakazuje fosilno drsino. Ta je bila ugotovljena tudi v treh intaktnih vzorcih, odvzetih iz tega območja.

Glede na ugotovljene razmere je bila edini možna racionalna gradnja opornega zidu OZ – 01 v osrednjem delu, kjer je bil registriran fosilni plaz in labilne površine preperinskega pokrova, gradnja s

pilotno steno, sidrano v zaledno kompaktno hribino. Na začetnem in končnem delu, kjer je potrebno le varovanje nasipa deviacijske ceste, je bil projektiran podporni zid, temeljen na pilotih.

Projektirana konstrukcija:

- piloti $\phi 1,5$ m, dolžine 12 do 15,0 m (4,5 m v kompaktno hribino) in greda 1,5 m (skupaj 16,8m),
- 5 pilotov / kampado L = 13 m (raster 2,6 m),
- 6 vrвна sidra pod kotom 30° dolžine L = 21 do 26 m, vezni del v kompaktni hribini 7 m,
- 10 sider / kampado L = 13 m (povprečni raster sider 1,3 m),
- prednapetje sider 450 do 550 kN,
- podporni zid nad gredo višine 2,2 m.

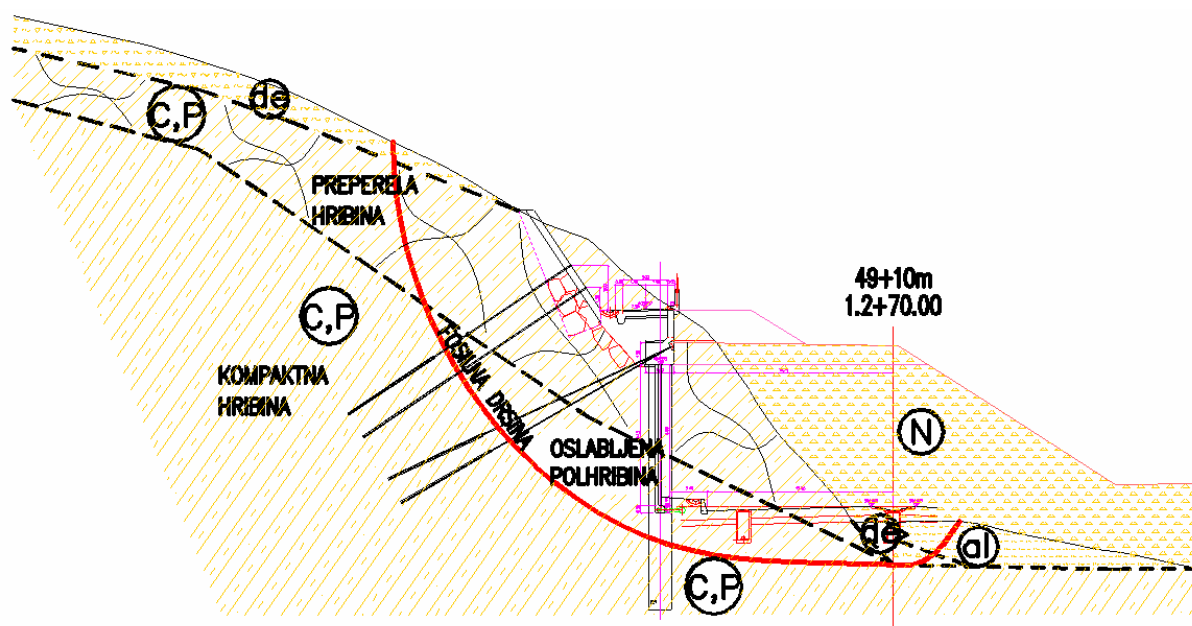
Varovanje izkopne brežine nad pilotno steno:

- kamnita zložba v betonu,
- sidrani slopi na horizontalnem rastru 2 m,
- 2 sidra na slopu, pravokotno na slop, dolžine L = 18 m, vezni del v kompaktni hribini 7m,
- pri izkopu za gredo oblaganje brežine pod zložbo in slopi s kamni (kamnita obloga).

Projektirana konstrukcija pred začetkom in v nadaljevanju pilotne stene:

- piloti $\phi 1,18$ m, vpetje 3,6 m v kompaktno hribino (konzola),
- raster pilotov 4 m,
- podporni zid nad gredo višine od 3 do 4,5 m (višji v smeri proti Ljubljani).

Na sliki 3 prikazujemo kritičen geološko geotehnični prečni prežez s fosilno drsino in projektirano konstrukcijo.



Slika 3: Geološko geotehnični prežez, ki je služil za geostatično analizo. Hribina je razdeljena na tri kategorije. Zgoraj leži preperela hribina; v območju nad fosilno drsino – debelejša črta, leži oslABLJENA (v preteklosti splazela) hribina. Spodaj je kompaktna hribina (skrilav meljevec s polami drobnozrnatega peščenjaka in prehodi v glinast skrilavec).

Geotehnične razmere pri projektiranju in izvedbi konstrukcije OZ - 02

Po prvi varianti je bila projektna rešitev izdelana s pilotno steno in cesto izza konstrukcije. Med spomladansko odjugo se je pred pričetkom izvedbe opornega zidu sprožil zemljinski plaz širine 30 m z odlomnim robom na razdalji 25 m od roba brežine vkopa. Dršina se je aktivirala po plasti drobnega peska, zasičeni z vodo, ki se nahaja v sloju deluvijalne gline v globini do 3,4 m.

Nastala situacija je zahtevala takojšnje ukrepanje zato smo ob nadzoru izvedli ustrezne sanacijske ukrepe. Narejena so bila kamnita drenažna rebra pod globino peščene plasti. Ob vznožje vkopne brežine je bila položena gibljiva vzdolžna drenaža. Po izvedenih sanacijskih ukrepih smo predlagali novo projektno rešitev s pilotno steno in cesto deviacije pred pilotno steno.

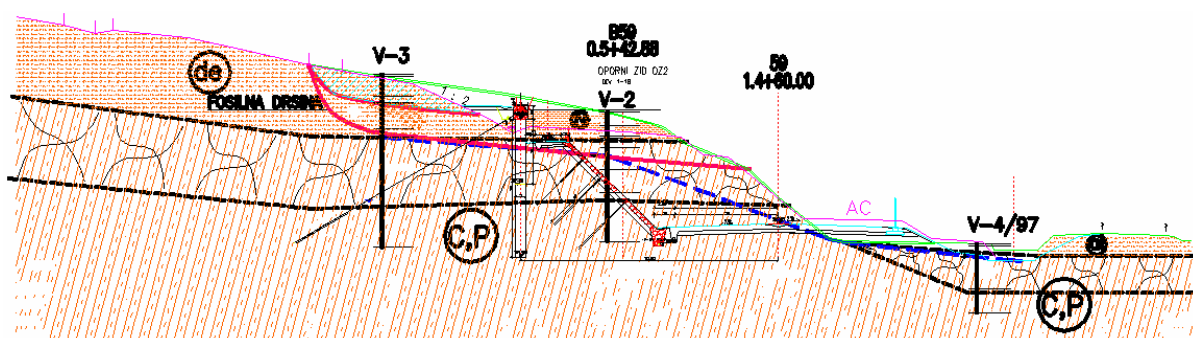
Na pobočju, kjer je umeščena konstrukcija OZ – 02, so v spodnjem delu plasti, v katerih prevladujejo skrilavi meljevci z izrazitimi pojavi kremenovih žil, kar je znak večje tektonske poškodovanosti in oslabiljenosti.

Med vrtnjem za dodatne raziskave je bila v vseh treh vrtinah na prehodu med deluvijalno preperino in preperelo hribino ugotovljena pregnetena in vlažna do razmočena cona mehke kamenine. Vzorec iz vrtine V-3, ki je bil odvzet iz te cone, je vseboval ostanke lesa in druge organske ostanke, ki potrjujejo fosilno drsino. Prva meritev inklinacij je pokazala pomike fosilne plazine, nad to cono razmočene in pregnetene hribine.

Projektirana konstrukcija je enkrat sidrana pilotna stena s tremi tipi pilotov s premerom 1,18 m z dolžino 16 m, 15 m in 13,5 m ter vmesnimi piloti $\phi 118$ na rastru 4,0 m, dolžine 7,5 m. Zadaj je izveden izkop do kote dna vezne grede pilotne stene ter položena vzdolžna drenaža ($\phi 250$) in nato narejen nasip deviacijske ceste. Kasneje so izvedena sidra ($5\phi 0,6''$) v rastru 2 m, dolžine 31m.

Pod deviacijsko cesto je narejena brežina v prepereli hribini, v naklonu 1 : 1 z izkopom po kampadah v dolžini po 6 m do polovice višine celotnega izkopa. Izkop je bil sproti obložen s kamnito oblogo v betonu debeline 1 m in ojačan s sidranimi slopi na horizontalni razdalji po 4 m. Slopi so učvrščeni s po dvema nenapetima sidroma (tip: $2\phi 0,6''$). V nadaljevanju je potekal kampadni izkop na spodnji polovici brežine do nivelete trase AC in izvedba kamnite pete v betonu. Izkop je bil tudi v spodnjem delu sproti obložen s kamnito oblogo v betonu debeline 1 m in varovan s sidranimi slopi na horizontalni razdalji po 4m. Slopi so učvrščeni z enim nenapetim sidrom (tip: $2\phi 0,6''$).

Podrobno je izvedba prikazana na prečnem geološko - geotehničnem prerezu P-59 na sliki 4.



Slika 4: Geološko – geotehnični prerez s prikazano sanacijo preperinskega plazu.

Geotehnične razmere pri projektiranju in izvedbi konstrukcije OZ – 6

Tudi oporna konstrukcija OZ – 06 je bila prvotno projektirana kot težnostni oporni zid, za katerega bi bilo potrebno izvajati zahtevna varovanja izkopov brežin. Na območju konstrukcije, v fazi preiskav za traso AC, ni bilo sondažnih vrtin. Ko se je pričel izvajati izkop za brežine deviacijske ceste, smo ugotovili, da je na sicer dokaj strmem pobočju (naklon okrog 40°) odložen debelejši nanos

pobočnega grušča. Podlago srednje strmega pobočja grade triasne plasti, ki so z manjšim prečnim prelomom razdeljene na apence in dolomite. Prelom leži prečno do pravokotno, glede na glavni Trboveljski prelom, ki poteka vzdolž doline potoka Radomlja. Ob obeh je hribina tektonsko razpokana, dolomit pa močno milonitiziran.

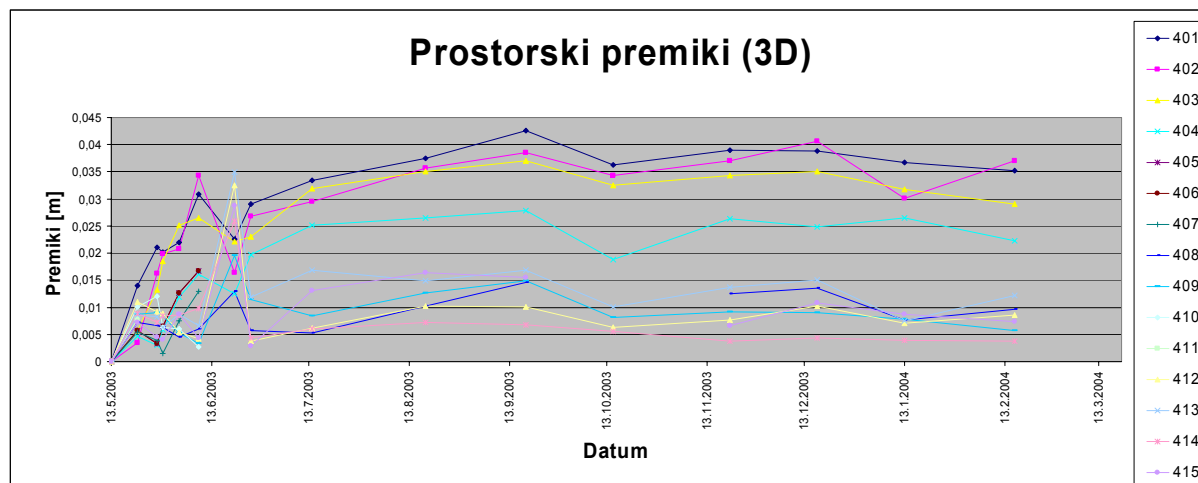
Ob tej prečni tektonsko razpokani coni je bil v fazi preiskav za traso pri podrobnem inženirsko geološkem kartiranju ugotovljen tudi manjši aktivni plaz milonitizirane hribine, razpadle v grušč, ki vsebuje veliko drobnih frakcij (milonit – meljno peščena zemljina). Plazina doseže globino okrog 3,5 m in širino 15m. Dodatne vrtnice so v območju predvidene osi oporne konstrukcije pokazale tudi do 7 m debel gruščnat pokrov.

Z dodatnimi geološko geotehničnimi preiskavami in meritvami je bilo ob upoštevanju obstoječih raziskav pridobljenih dovolj podatkov, da se je predvidela ustrezna projektna rešitev s pilotno steno, ki zagotavlja varnost avtoceste in je hkrati omogočila intenzivno hitrost gradnje.

TEHNIČNO OPAZOVANJE

Pri nadzoru izvedbe opornih konstrukcij smo v območju kritičnih prerezov določili vgradnjo merskih sider, vgradnjo inklinometrov v pilote in vgradnjo geodetskih točk na grede vsake kampade pilotnih sten. Meritve smo v fazi gradnje skupaj z meritvami inklinometrov – piezometrov na zalednih pobočjih izvajali tedensko. Med gradnjo so bili registrirani pomiki geodetskih točk na gredah pilotnih sten in povečanja sil v sidrih ob izvedbi predpisanega kampadnega izkopa pred pilotnimi stenami. Tedaj merjeni pomiki z geostatičnimi analizami ugotovljenih računskih pomikov niso presegli. Po končani gradnji smo izvajali mesečne meritve, ki se še nadaljujejo. Povečanje pomikov geodetskih točk smo registrirali med jesenskim deževjem in po koncu zime ob taljenju snega ter po obilnem pomladanskem deževju.

Na sliki 7 prikazujemo časovni potek meritev geodetskih točk na gredi pilotne stene OZ – 4, ki varuje plaz.



Slika 7: Prostorski pomiki točk na gredi pilotne stene OZ – 04. Največji pomiki znašajo do 3,7 cm na zadnji kampadi pilotne stene (v smeri proti Ljubljani).

Meritve inklinacij in nivojev vode v inklinometrih – piezometrih vgrajenih v zaledna pobočja kažejo podobna nihanja, kot geodetske točke, v skladu s spremembami padavinskega režima v različnih letnih obdobjih. Najbolj izrazito so se pomiki v inklinometrih povečali v času jesenskih in pomladanskih padavin. Pomiki v zaledju konstrukcij kažejo na aktiviranje tako plitvih, kot globokih drsin, registriranih že v času vrtnja. Inklinometri vgrajeni v pilote opornih konstrukcij kažejo na aktiviranje pritiskov, vendar računsko ugotovljenih ne dosegajo.

Meritve sidrnih sil na pilotnih stenah OZ – 01, OZ – 02, OZ – 03 in OZ – 04 za sedaj kažejo manjše spremembe sidrnih sil. V naslednji preglednici prikazujemo rezultate meritev.

Preglednica 2: Meritve sidrnih sil na obravnavanih objektih

Objekt	Mersko sidro	Sila zaklinjenja (kN)	Meritve sidrnih sil / datum	
			November 2003	April 2004
OZ - 01	S - 9	459	/	460
	S - 31	553	/	584
	S - 49	443	/	480
OZ - 02	S - 15	468	/	446
OZ - 03	S - 9	445	/	405
OZ - 04	S - 12	478	468	390
	S - 25	452	451	428
	S - 39	439	435	412
	S - 50	421	440	404
	S - 64	458	524	451

ZAKLJUČEK

Na izredno zahtevnem odseku avtoceste Blagovica – Kompolje, ki poteka pod plazljivim pobočjem ob potoku Radomlja, je bilo v fazi načrtovanja predvidenih pet težnostnih opornih konstrukcij.

Tehnologija in zahtevana hitrost gradnje (predviden rok izvedbe – junij 2003) opornih konstrukcij s sprotnim začasnim varovanjem zalednih brežin na izredno plazovitih predelih, kjer predstavlja temeljna tla oslABLJENA v preteklosti splazela in tektonsko poškodovana mehka kamenina, ter sprememba hidroloških pogojev med samo izvedbo (čas jesenskega deževja), je zahtevala tudi spremembo projektov.

Zaradi razbremenitve pri izkopu za izvedbo temeljenja opornih konstrukcij, se lahko aktivirajo plitvi ali celo globoki plazovi. Plaz, ki je dejansko nastal med izvedbo izkopa brežine nad projektirano oporno konstrukcijo, in pred potekom kampadnega začasno varovanega izkopa za izvedbo temeljenja, je narekoval izdelavo spremembe projektov vseh petih opornih konstrukcij.

Med gradnjo so bile po splazitvi izvedene dodatne geološko geotehnične raziskave in meritve (s projektom predvidene že v fazi načrtovanja za potrebe tehničnega opazovanja - monitoringa) za določitev pogojev izvedbe globoko temeljenih sidranih opornih konstrukcij.

Niz skrbno izvedenih terenskih in laboratorijskih preiskav ter meritev nam je omogočil dovolj natančno interpretacijo dane geološke zgradbe, hidroloških pogojev in izbiro vhodnih parametrov za geostatične analize. Določili smo tehnologijo gradnje ter pravilno prostorsko umestitev novo projektiranih opornih konstrukcij.

Med izvedbo objektov so bili ob projektansko geotehničnem nadzoru v določene pilote dodatno vgrajeni inklinometri, ki so skupaj z geodetskimi meritvami deformacij površja in meritvami sidrnih sil, služili za monitoring med gradnjo AC in tudi po njej

LITERATURA

- (1) Schrott, T., Ocepek, D., Kraljič-Kenk, M., Jerman, J., Brenčič, M., (1997). Geološko geotehnično poročilo o pogojih izvedbe trase avtoceste A10 Šentilj-Nova Gorica, odsek Blagovica-Šentjakob, pod odsek Blagovica-Lukovica. Poročilo za fazo PGD-PZI usklajeno z revizijo. GZL-IGGG.
- (2) Ocepek, D., Humar, L., (2003). Geološko-geotehnično poročilo o pogojih izvedbe trase AC na odseku Blagovica-Lukovica med km 2,0 + 40 do km 2,1 + 40, na območju plazu nad projektirano konstrukcijo OZ-04, usklajeno z revizijo. Geoinženiring d.o.o., arh. št.: 7709/02.
- (3) Ocepek, D., Humar, L., (2003). Geološko-geotehnična poročila o pogojih izvedbe opornih konstrukcij OZ-01, OZ-02, OZ-03, OZ-06 v sklopu trase AC na odseku Blagovica-Lukovica, pod odsek: Blagovica-Kompolje. Geoinženiring d.o.o., arh. št.: 7774/03, 7763/03, 7753/03, 7780/03.