

Drago OCEPEK

univ.dipl.inž.geol., GZL-Geoinženiring d.o.o.

Geza VOGRINČIČ

doc.dr.univ.dipl.gradb.inž., Univerza v Ljubljani, FMF, Oddelek za matematiko in mehaniko

VPLIV PROSTORSKE LEGE IN STRUKTURE HRIBINE NA GEOTEHNIČNE POGOJE IZVEDBE IZKOPA IN VAROVANJA BREŽIN R-17 INSTALACIJE SERMIN

POVZETEK:

Pri izkopu gradbene jame za rezervoar R-17 Instalacije Sermin, je GZL-Geoinženiring d.o.o. vršil strokovni geotehnični nadzor. Med izvedbo izkopa je prišlo do dveh odronov oslabele hribine (laporja), ki sta bila pogojena s prostorsko lego in strukturo hribine, kot tudi s prostorsko lego izkopih brežin. GZL je izvedel detajljne geotehnične preiskave in stabilnostne analize ter podal pogoje izvedbe sanacije, ki je bila izvedena s sidrano kamnito zložbo v betonu. Rezervoar je bil nato uspešno dograjen in tehnično prevzet.

INFLUENCE OF SPATIAL ORIENTATION AND ROCK STRUCTURE ON GEOTECHNICAL CONDITIONS OF CUTTING SLOPES AND SUPPORTING STRUCTURES FOR R-17 INSTALACIJE SERMIN

SUMMARY:

The excavations for tank R-17 Instalacije Sermin, were made under the geotechnical supervision of GZL Geoinženiring. During the excavations two failures (planar and circular) of soft rock (marl) provoked by spatial orientation and structural conditions of rock masses as well as geometry of excavated slopes occurred. The geotechnical investigations and stability analyses of slopes dictated appropriate choice for additional supporting measures (anchored stone-wall). The tank was successfully finished and is already in use.

UVOD

Med izvedbo izkopa za rezervoar R-17-Instalacije Sermin smo vršili geotehnični nadzor. Opravili smo meritve plastovitosti, gub in razpoklinskih sistemov in podali zahtevo po prestavitvi daljnovodnega stebra pri P-6, zajetju in odvodu vode ter potrebo po varovanju brežine v coni oslabele hribine. Dne 23.03.1998 je prišlo do površinskega odrona preperele in oslabljene hribine. Ponovno smo opravili terenski pregled površinskega odrona brežine in odvzeli vzorce za laboratorijske preiskave.

Podali smo tudi predlog o izvedbi dodatnih raziskav za določitev optimalne rešitve zavarovanja brežine na območju profilov P-4 do P-7, kjer je nastal otron slabšega materiala. Po pregledu nastalega odrona slabšega materiala na spodnji etaži (2. faza izkopa) je bil določen obseg geotehničnih raziskav za ugotovitev lege in področja slabega sivega laporja ter zahteva po ublažitvi in protieroziski zaščiti obstoječih brežin.

Preučena in ocnjena je bila možnost zamenjave slabega materiala z armirano zemljino z materialom peščenjaka in kalkarenita (boljši izkopni material). Po preučitvi te možnosti smo se odločili za cenejšo varianto sanacije s kamnito zložbo v betonu (izkopni material peščenjaka in kalkarenita). Za ugotovitev pogojev izvedbe sanacije smo izvedli geotehnične sondažne in laboratorijske preiskave ter stabilnostne analize, poleg tega pa so bile na oddelku za paleontologijo in petrologijo GZS izvedene petrografske in rentgenske preiskave.

Po izvedbi kamnite zložbe v dogovorjenem obsegu so ostale brežine še vedno protierozisko nezaščitene. Od konca kamnite zložbe je nastala vzdolž servisne ceste, ki poteka po bermi, dolga vzdolžna razpoka, ki je bila čez zimo nezaščitena.

Dne 29.01.1999 je prišlo vzdolž te razpoke do nepričakovanega nenadnega odrona flišne hribine. Pri tem k sreči temelji rezervoarja in njegov spodnji del niso bili poškodovani. Takoj smo izvedli meritve na nastali drsini in ugotovili velikost natezne razpoke. Na podlagi rezultatov meritev smo izdelali stabilnostne analize in podali pogoje izvedbe sanacije. Zložba je bila zato kasneje zato podaljšana, na vrhu tudi sidrana, rezervoar pa uspešno dograjen in tehnično prevzet.

GEOTEHNIČNE RAZISKAVE

Terenske inženirsko geološke raziskave

Na platoju izkopa (kota cca 21,5 m) smo na brežinah med profili P-7, P-6, P-5 in P-4 opravili detajljne meritve plastovitosti, gubanja ter razpoklinskih sistemov. Meritve smo vnesli na situacijo II. faze izkopa (slika 1).

Na podlagi meritev smo za vsak obravnavan profil izdelali tudi Schmidtove diagrame razpok, na katerih so prikazane ploskve razpok in plastovitosti z meridijani. Poleg teh so z meridijani tudi prikazane brežine (zgornja in spodnja), ki oklepajo s krogom strižne trdnosti hribine ($\varphi = 32^\circ$ - notranji krog) kritično področje (šrafirano). Strižne razpoke, ki sekajo kritično področje približno vzporedno z ravnilo brežine tvorijo z

nateznimi razpokami (izven kritičnega področja) potencialno nestabilne bloke. Presečišča strižnih in nateznih razpok pa tvorijo potencialno labilne kline. Za kline mora biti izpolnjen poseben pogoj, ki smo ga preverili z Marklandovim testom (Markland, 1972) in ugotovili, da na obravnavanem področju ni izpolnjen. Schmidtove diagrame smo izdelali s posebnim računalniškim programom (GZL) in jih prostorsko prikazali po obravnavanih profilih na situaciji (slika 1).

Realne vpadne meritev razpok in plastovitosti smo projecirali na prečne profile, na katerih prikazujemo ploskve z navideznimi vpadki, kakršni so na vsakem danem prerezu. Poleg tega smo na prečnih profilih razmejili preperelo in kompaktno hribino (meje določene pri terenskem pregledu brežin) ter deluvijalni preperinski sloj peščene do meljne gline z drobci grušča primarne hribine, oziroma zaglinjen grušč. Na profile smo vrisali tudi predlog spremembe naklona brežine, ugotovljenega s stabilnostnimi analizami. Karakteristični geotehični prečni profil podajamo na sliki 2.

Pri pregledu odrona med profili P-4 in P-7, smo ugotovili, da je nastal v slabšem mehkejšem laporju izpod antiklinale, ki se odraža na bermi ceste s ca. 0,8 do 2,0 m debelo plastjo peščenjaka z vpodom od 22° do 27° niz pobočja brežine. Krožna drsina je pogojena z nateznimi razpokami v naklonu ca. 75°, po katerih se preceja voda, cca 1,0 do 1,5 m od roba berme. Hribina v stiku z vodo tudi nabreka in se kroji po razpokah, ki so pogojene z makro in mikroskopsko teksturo (lamine, lezike, intraklasti). Na koncu nastane droben stopničast lom, ki je makroskopsko izražen s krožno drsino, katera zaobjame tako natezne, kot strižne razpoke in obenem tudi foliacijo hribine (2). Ob drsni ploskvi odrona smo odvzeli vzorce za geotehnične laboratorijske in petrografske preiskave.

Oba odrona in izviri so prikazani na situaciji II. faze izkopa slika 1.

Sondažno vrtanje

Za ugotovitev lege in obsega slabšega laporja smo izvedli 4 sondažne vrtine skupne globine 70,0 m z vrtalno garnituro GZG-50. Vrtanje je potekalo rotacijsko z vodo. Med vrtanjem je bilo izvedenih 8 standardnih penetracijskih preizkusov in obenem registrirana podtalnica. Gladina podtalnice ni posebej merodajna, saj se je v vrtino na spodnji bermi izcejala voda iz izvira, ki je bil kasneje zajet s cevjo. Vrtanje smo spremljali in vrtine detajlno inženirsко geološko-geotehnično popisali.

LABORATORIJSKE PREISKAVE

Pri odvzemenu vzorcev hribine iz zrušenega materiala preperinskega odrona, smo pazili, da smo odvzeli kose preperelega laporja in peščenjaka ob sami drsni ploskvi. V laboratoriju za mehaniko tal in hribin Geoinženiringa d.o.o. smo tako izvedli 22 preiskav točkovnega trdnostnega indeksa, in sicer 18 preiskav pravokotno na plastovitost in 4 preiskave vzporedno s plastovitostjo. Na podlagi preiskav točkovnega trdnostnega indeksa smo izvrednotili enosno tlačno trdnost.

Enemu vzorcu mehkega laporja iz odlomnega roba odrona smo določili naslednje fizikalne karakteristike:

naravno vlogo $w = 7,8\%$, konsistenčni meji $w_L = 26,6\%$ in $w_p = 14,9\%$, naravno $\gamma = 21,6 \text{ kN/m}^3$ in suho prostorninsko težo $\gamma_d = 20,2 \text{ kN/m}^3$, kohezijo c , strižni kot φ , ter nabrekalne pritiske in deformacije.

Direktno strižno preiskavo smo izvedli na pregnetenem, preplavljenem in konsolidiranem vzorcu. V Casagrandejevem aparatu smo 4 preizkušance strižno obremenjevali pri različnih vertikalnih obremenitvah ($\sigma = 50, 100, 200$ in 300 kPa) in za posamezno vertikalno obremenitev določili porušno strižno obremenitev τ . V diagramu $\tau = \tau(\sigma)$ smo določili kohezijo $c = 0$ in strižni kot $\varphi = 38^\circ$.

V edometru smo opazovali nabrekalne pritiske in deformacije preplavljenega vzorca laporja. Po 16-ih dnevih so se nabrekalne deformacije umirile na vrednosti $\Delta V/V = 2,99\%$. Izmerili smo nabrekalne pritiske, ki so znašali $\sigma_{nab} = 30 \text{ kN/m}^2$.

STABILNOSTNE ANALIZE ZA II. FAZO IZKOPA

Modificiran Hoekov & Brownov proušitveni kriterij

Porušitveni kriterij (Hoek et all; 1992) smo uporabili za določitev strižnih karakteristik preperelega laporja. Ta uporablja za vhodne parametre enoosno tlačno trdnost intaktnih kosov hribine, sestavo, strukturo (velikost blokov) in stopnjo preperelosti ter največjo glavno napetost pri porušitvi. Sestavo, strukturo (velikost blokov) in stopnjo preperelosti (1) smo določili pri detajlnem kartiraju I. faze izkopa brežine. Podatke enoosne tlačne trdnosti, pridobljene na podlagi točkovnega trdnostnega indeksa, smo korigirali. Iz podatkov enoosne tlačne trdnosti vzporedno s plastmi smo izračunali povprečno enoosno tlačno trdnost $\sigma_{cp} = 2,62 \text{ MPa}$, pravokotno na plasti pa $\sigma_{cn} = 2,85 \text{ MPa}$. Redukcijski faktor smo določili iz razmerja: $RF = \log \sigma_{cp}/\log \sigma_{cn}$ in tako izvrednotili korigirano enoosno tlačno trdnost med povprečjem vrednosti iz obeh smeri: $\sigma_{kor} = 2,58 \text{ MPa}$.

Tako smo na podlagi pridobljenih parametrov s pomočjo porušitvenega kriterija ugotovili strižne karakteristike preperelega laporja in laporja s polami peščenjaka: $c = 25-52 \text{ kPa}$, $\varphi = 32^\circ - 23^\circ$.

Stabilnostne analize v preperelem delu izkopa

V preperelem delu izkopa smo izvedli analize po Bishopu s pomočjo programskega paketa GEO-SLOPE-SLOPE/W (verzija 3). Analizirali smo kritični profil P-5, pri čemer smo obdelali najprej obstoječe stanje z naklonom brežine $n = 1:0,8$ v prepereli hribini. V analizi smo upoštevali naslednje fizikalne karakteristike zemljine in hribin:

- | | |
|--|---|
| 1. deluvialni preperinski sloj | $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, $c = 0 \text{ kPa}$, $\varphi = 32^\circ$ |
| 2. preperel lapor | $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$, $c = 5,3 \text{ kPa}$, $\varphi = 32^\circ$ |
| 3. kompakten lapor s polami peščenjaka | $\gamma = 23 \text{ kN/m}^3$, $c = 52 \text{ kPa}$, $\varphi = 32^\circ$ |

Vodo smo upoštevali na kontaktu deluvijalnega preperinskega sloja in preperele hribine, saj se le-ta lahko dvigne do take višine, kar potrjujejo limonitno - manganovi oprhi po nateznih razpokah v prepereli hribini. Za stanje ob zdrsnu smo analizirali plitvo drsino, ki je dejansko nastala na brežini. Pri znižanem kohezijskem odporu

preperele hribine $c = 5,3 \text{ kPa}$ smo ugotovili faktor varnosti pod mejnim ravnovesjem $F = 0,976$. V naslednjih dveh analizah smo znižali naklon brežine v prepereli hribini na $n = 1:1,5$ in $n = 4:5$. Pri teh analizah smo za globalne drsine upoštevali vrednost kohezijske odpornosti preperele hribine, določene s pomočjo modificiranega Hoekovega & Brownovega porušitvenega kriterija. Program SLOPE/W omogoča izbiro poljubno velike in poljubno goste mreže središč in radijev in tako smo med vsemi možnimi kombinacijami določili drsino z najmanjšim faktorjem varnosti, ki pa je pri obeh analizah naklonov brežin zadosten. V primeru naklona $n = 1:1,5$ je minimalen faktor varnosti $F_{\min} = 1,706$, pri naklonu $n = 4:5$ pa je minimalen faktor varnosti $F_{\min} = 1,330$.

Stabilnostna analiza obstoječega stanja ob zdrusu je podana na sliki 3.

Stabilostne analize sanacije s kamnito zložbo

Stabilostne analize smo izvedli po metodi Morgenstern-Price (Morgenstern; 1965, 1967), ki upošteva tudi strižne sile med lamelami. Analize smo prav tako izvedli s programskim paketom GEO-SLOPE-SLOPE/W (verzija 3). Analizirali smo profil P-6, kjer smo v spodnjem delu predvideli kamnito zložbo v betonu (naklon 1:1) z betonskim temeljem. V zgornjem delu je naklon brežine v preperem laporju 4:5, v deluvialnem preperinskem sloju pa 1:2. Upoštevane so naslednje fizikalne karakteristike zemljin in hribin:

1. deluvialni preperinski sloj $\gamma = 20,5 \text{ kN/m}^3$ $c = 0$ $\varphi = 32^\circ$
2. preperel lapor $\gamma = 21,0 \text{ kN/m}^3$ $c = 5,3 \text{ kPa}$ $\varphi = 32^\circ$
3. mehkejši lapor s polami tršega laporja $\gamma = 21,6 \text{ kN/m}^3$ $c = 0$ $\varphi = 38^\circ$
4. trd peščen lapor s polami mehkejšega laporja $\gamma = 21,6 \text{ kN/m}^3$ $c = 25 \text{ kPa}$ $\varphi = 32^\circ$
5. trd peščen lapor s polami kalkarenita $\gamma = 21,6 \text{ kN/m}^3$ $c = 50 \text{ kPa}$ $\varphi = 32^\circ$

Karakteristike zemljin za 1. in 2. sloj so bile določene s povratno stabilnostno analizo obstoječega stanja v prepereli hribini, karakteristike hribin za 4. in 5. sloj pa s Hoek & Brownovim porušitvenim kriterijem.

Karakteristike 3. sloja smo privzeli iz rezultatov direktne strižne preiskave v laboratoriju.

Upoštevane karakteristike kamnite zložbe v betonu so:

$$\gamma = 23 \text{ kN/m}^3 \quad c = 50 \text{ kPa} \quad \varphi = 45^\circ$$

karakteristike temelja pa:

$$\gamma = 24 \text{ kN/m}^3 \quad c = 100 \text{ kPa} \quad \varphi = 45^\circ$$

Upoštevali smo tudi znižanje nivoja vode za kamnito zložbo.

Posebej smo izvedli analizo spodnjega dela brežine, kjer je predvidena kamnita zložba in globalno analizo (slika 4). V prvem primeru je faktor varnosti kritične drsine $F_{\min} = 1,534$, v globalni analizi pa je $F_{\min} = 1,395$. Na sliki je podana kritična drsina z izpisanim faktorjem varnosti.

GEOTEHNIČNA PROBLEMATIKA V III. FAZI IZKOPA

Otron flišne hribine, ki jo sestavlja na tem področju trd siv peščen lapor v menjavi z mehkejšim temnosivim laporjem s polami kalkarenita, se je izvršil po drsini (strižni razpoki) v širini ca. 17 m in dolžini ca. 26 m. Otron je zadaj omejen z natezno razpoko višine ca. 5-6 m. Drsino pogojuje strižna razpoka z vpodom $349^\circ/17^\circ$, ki tvori v presečišču z nateznima razpokama $185^\circ/85^\circ$ in $232^\circ/82^\circ$ ključni blok. Natezna razpoka je bila registrirana že pri izkopu v II. fazi. Razločno je bila vidna (tudi fotografirana) v nadaljevanju kamnite zložbe ob servisni cesti ($185^\circ/85^\circ$). Stranski rob ključnega bloka pa tvori razpoka $232^\circ/82^\circ$, vendar se tenzija razpoka $185^\circ/85^\circ$ za presečiščem (robom ključnega bloka (3) - otrona) nadaljuje izza obstoječe zložbe še v razdalji ca. 5-10 m. Zato je obstajala nevarnost rušenja v dolžini ca. 10 m zgornjega dela že izvedene kamnite zložbe, ki deluje sicer s horizontalno silo ca. 20 kN na brežino.

Presečni razpoklinski sistemi registrirani že v II. fazi izkopa so prikazani na Schmidtovih diagramih razpok (profil P-4, profil P-5 - slika 1). Velikost ključnega bloka (t.j. do katere dolžine in širine se bodo aktivirale strižne in natezne razpoke) pogojujejo strižne karakteristike hribine. Strižne karakteristike smo določili na podlagi modificiranega Hoekovega & Brownovega porušitvenega kriterija.

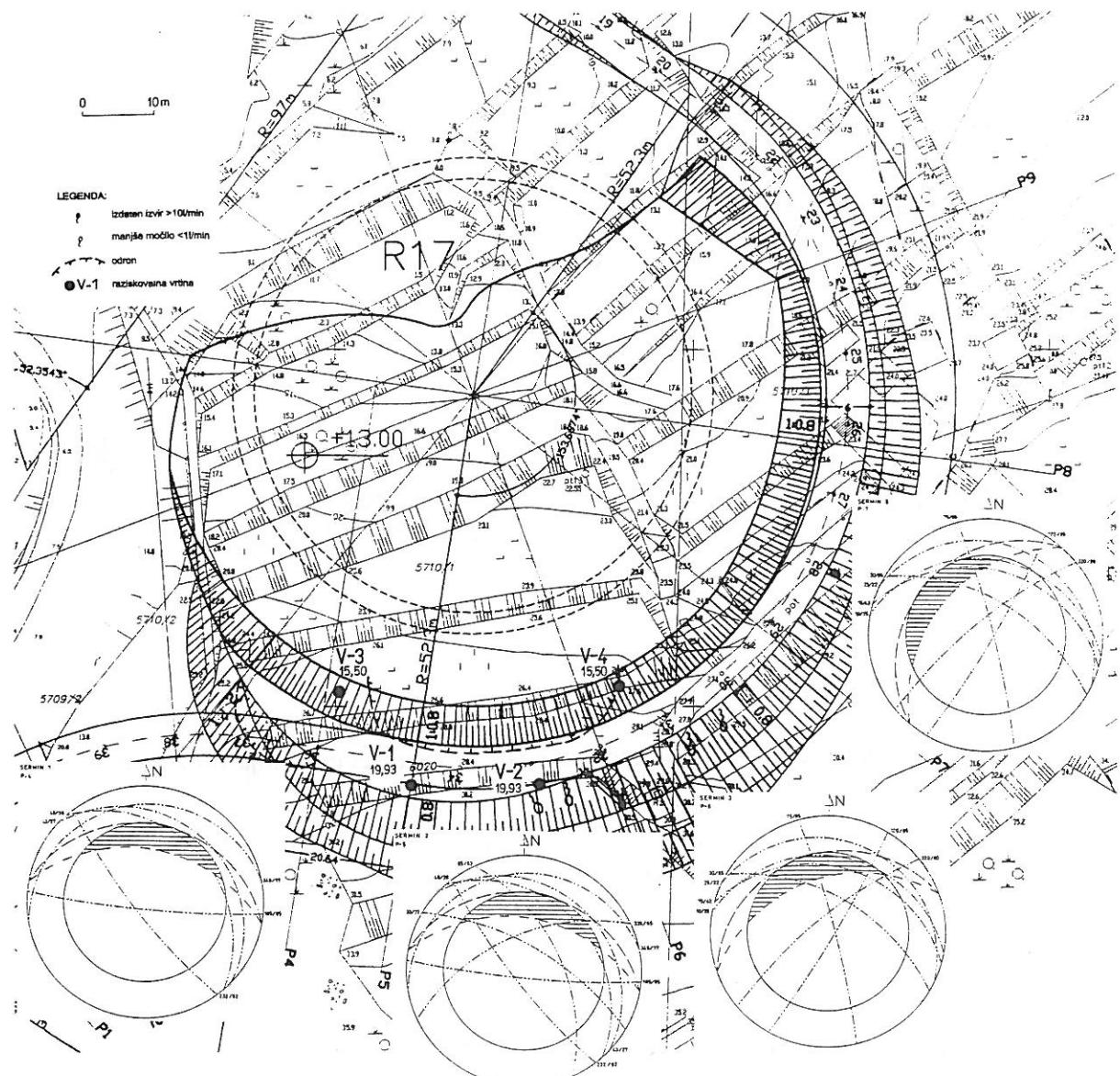
Strižna krivulja modificiranega Hoekovega & Brownovega porušitvenega kriterija nam pokaže pri različnih maksimalnih glavnih napetostih (2 globini izkopa 7,0 m v II. in 14 m v III. fazi), ki nastanejo pri razbremenjevanju ob izkopu, različne vrednosti strižnega kota ϕ in kohezije (tangente na krivuljo).

Tako smo za nadaljnjo obdelavo vzeli sedaj po razbremenitvi zaradi izkopa v globini 14,0 m strižni kot $\phi = 23^\circ$ in kohezijo $c = 25$ kPa.

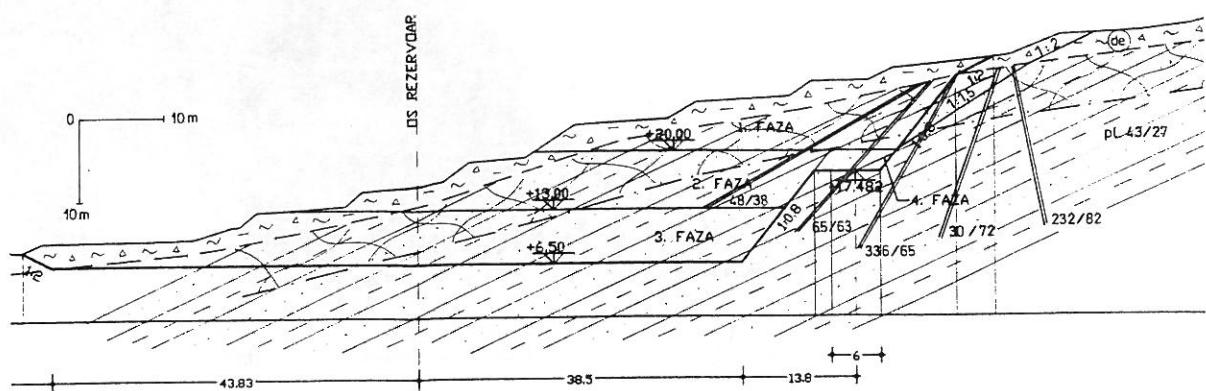
STABILNOSTNA ANALIZA HRIBNSKEGA ODRONA OB KAMNITI ZLOŽBI

S stabilnostno analizo po metodi Hoek & Braya (5) za zdrs bloka smo preverili varnost obstoječe in dodatno podaljšane kamnite zložbe v betonu. Za stabilnostno analizo smo uporabili računalniški program "Zdrs bloka" (FGG), ki omogoča izbiro poljubne lege natezne razpoke, kot tudi poljubno izbiro varnosti na kohezijo, strižni kot, vzgon in hidrostatski pritisk ter globalne varnosti. V skladu s predpisi in standardni EUROCODE 7 za geotehnična dela smo izbrali naslednje varnosti:

- varnost na strižni kot $F_\phi = 1,25$
- varnost na kohezijo $F_c = 1,60$
- varnost na vzgon in hidrostatski pritisk $F_w = 1,50$
- globalna varnost $F_g = 1,30$

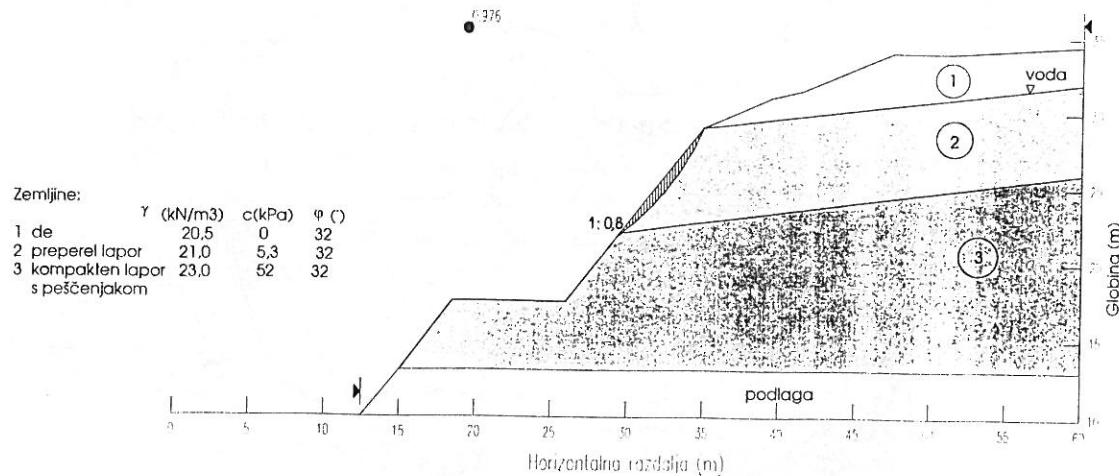


Slika 1: Inženirsko geološka karta s Schmidtovimi diagrammi razpok v 2. fazi izkopa



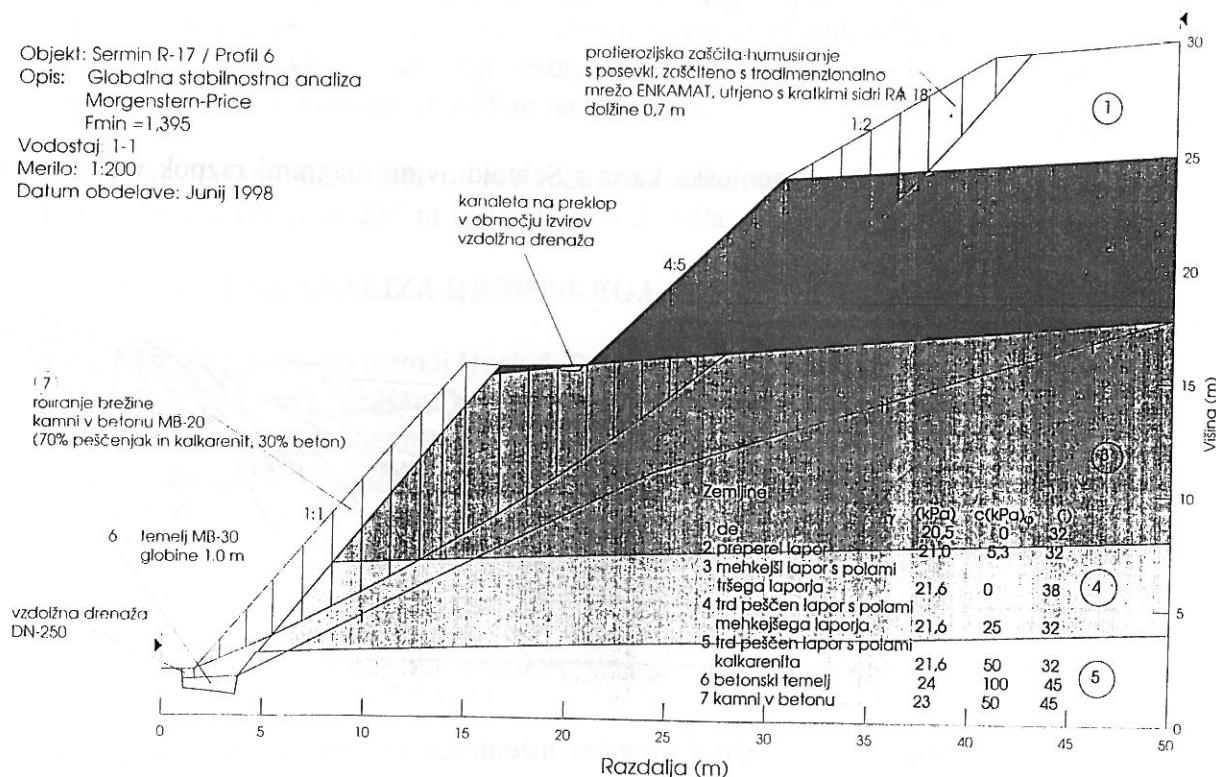
Slika 2: Karakteristični inženirsko geološko-geotehnični profil

Objekt: Sermin R-17
 Opis: Stabilnostna analiza po Bishopu
 Profil P-5 / Obstojče stanje / F=0,976
 Merilo: 1 : 300
 Datum obdelave: April 1998



Slika 3: Stabilnostna analiza obstoječega stanja ob zdrusu

Objekt: Sermin R-17 / Profil 6
 Opis: Globalna stabilnostna analiza
 Morgenstern-Price
 $F_{min} = 1,395$
 Vodostaj: 1-1
 Merilo: 1:200
 Datum obdelave: Junij 1998



Slika 4: Globalna stabilnostna analiza sanacije

Enačba po Hoek & Brayu je stabilna v mejnem ravnovesju, zato je varnost na težo bloka $F_\gamma = 1,00$.

Strižne parametre po razpokah v hribini smo izbrali na podlagi modificiranega Hoekovega & Brownovega porušitvenega kriterija za razbremenitev v globini 14 m. Mobilizirano kohezijo pa smo zaradi zdrsa po razpoki s povprečnim naklonom $\Psi = 16^\circ$ izvrednotili po naslednji relaciji Hoek & Braya (5):

$$c_{mob} = \frac{\gamma \cdot z \cdot \cos \Psi \cdot \sin(\Psi - \varphi)}{\cos \varphi} \quad (5)$$

γ = prostorninska teža hribine

z = kritična višina natezne razpoke

Ψ = naklon drsine

φ - strižni kot

Izračunana vrednost je: $c_{mob} = 16,5$ kPa

Pri detajlnem pregledu podora smo izmerili dolžino drsne ploskve $L =$ ca. 17 m, naklon drsine $\Psi_1 = 11^\circ$ - prvih 5 m in $\Psi_2 = 18^\circ$ - v dolžini ca. 12 m. Natezna razpoka je višine $z =$ ca. 5,0 - 6,0 m v naklonu $n = 85^\circ$ v brežino. Stabilnostna analiza je pokazala, da je z navedenimi vhodnimi podatki, pri višini vode v tenzijski razpoki $z_w = 3,70$ m, kar da vzgonsko silo na drsino $U = 473,18$ kN in silo hidrostatskega pritiska v tenzijski razpoki $V = 102,68$ kN, varnostni faktor pod mejnem ravnovesjem $F = 0,99$.

Ugotovljena lega kritične drsine sovpada z ugotovljeno globino pojava precejne vode med vrtanjem v vrtini V-4 narejeni še v II. fazi izkopa.

Za zagotovitev globalne varnosti ($F = 1,30$) je izračunana sidrna sila $S = 132,6$ kN/m v horizontalni smeri. Kamnita zložba znanih dimenzij deluje v območju labilnega bloka s horizontalno silo $Q_z = 20$ kN/m, kar pomeni da potrebno razliko za dosego globalne varnosti zagotovimo s sidranjem $Q_s = 112,6$ kN/m. Sidra pa je potrebno izvesti pod optimalnim kotom od vodoravnice $\alpha = 14^\circ$, da zagotovimo ustrezno dolžino veznih delov ca. 1,0 m izza drsin. Pri tem se poveča sidrna sila na $S = 137,5$ kN/m, kar pomeni da morajo sidra prevzeti silo $Q_s = 117,5$ kN/m.

IZVEDBA SANACIJE BREŽINE

Da bi zagotovili globalno stabilnost brežine na območju ogroženega dela obstoječe kamnite zložbe in hribinskega odrona, je bilo potrebno obstoječo zložbo podaljšati za ca. 26 m. Na najbolj ogroženem delu tako obstoječe, kot nove zložbe je bilo izvedeno varovanje s sidranjem v tlorisni dolžini ca. 20 m. Zložba je bila sidrana s sidri tipa CATI-1x $\phi 06"$ (nosilnosti $P_{0max} = 147,6$ kN) dolžine $L = 14$ m, ki so antikoroziski zaščiteni. Sidra so izvedena vertikalno v 4-ih vrstah na horizontalni razdalji $b = 2$ m in vertikalni razdalji $h = 2$ m. Horizontalne vrste so zamaknjene za ca. 1 m (cik-cak). Sidra v naklonu $\alpha = 14^\circ$ imajo vezni del dolžine $l_v = 4$ m in prosti del 10 m. Tako je bilo uvrtnih, vgrajenih in injektiranih 40 komadov sider.

Po 20-ih dneh smo izvedli 4 preizkusna sidra, ki so bila uspešno testirana, nato pa so bila vsa sidra napeta in zaklinjena na projektirano delovno silo $Q_s = 60$ kN.

Da bi bila zagotovljena trajna stabilnost brežin, bo moral investitor Instalacije-Sermin d.o.o. poskrbeti še za celovito odvodnjevanje in protierozjsko zaščito brežin v skladu s projektom.

LITERATURA

- (1) Attewell P.B. (1993). The Role of Engineering Geology in the Design of Surface and Underground Structures. Comprehensive Rock Engineering Vol 1, 111-154.
- (2) Bandis , C.S. (1993) Engineering Properties and Characterization of Rock Discontinuities. Comprehensive Rock Engineering Vol. 1, 155-183.
- (3) Goodman. R.E. (1995). Block theory and its application. Geotechnique 45, No. 3,383-423.
- (4) Hoek, E., Wood, D., Shah, S. (1992). A modified Hoek & Brown Failure Criterion for Jointed Rock masses. ISRM SYMPOSIUM 208-214.
- (5) Hoek, E., Bray J.W. (1981). Rock slope engineering. 3rd Edition. Institute for Mining and Metallurgy, London.
- (6) Markland, J.D. 1972. A useful technique for estimating the stability of rock slopes when the rigid wedge sliding type of failure is expected. Imperial college rock Mechanics Research Report, No. 19, 10 pages.
- (7) Morgenstern, N.R. & V.E. Price 1965. The analysis of the stability of general slip surfaces, Geotechnique, No. 15: 79-93.
- (8) Morgenstern, N.R. & V.E. Price 1967. A numerical method for solving the equations of stability of general slip surfaces. Computer Journal, No.9: 388-393.
- (9) Shah, S. & E. Hoeck 1992. Simplex reflection analysis of laboratory rock strength data to obtain Hoek-Brown parameters. Canadian Geotechnical Journal.