

Janko LOGAR

asist.mag., dipl.gradb.inž., Univerza v Ljubljani, FGG, Katedra za mehaniko tal z laboratorijem

## **VPLIV INTERAKCIJE MED ZEMLJINO, PODPORNO KONSTRUKCIJO IN SIDROM NA OBREMENITVE KONSTRUKCIJSKIH ELEMENTOV PODPORNE KONSTRUKCIJE**

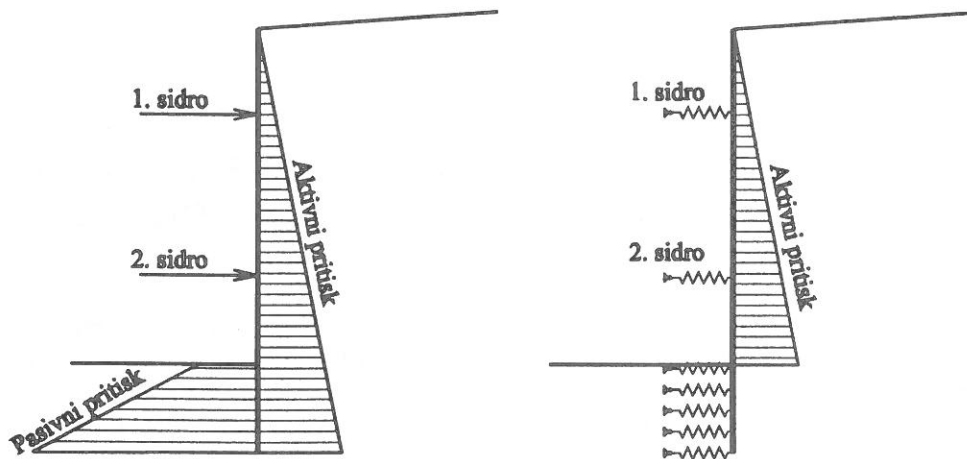
**POVZETEK:** Sodobne numerične metode omogočajo modeliranje sodelovanja med zemljino in konstrukcijskimi elementi podpore konstrukcije. Računski primeri kažejo, kako na odziv konstrukcijskih elementov vpliva zasnova konstrukcije (enkrat ali dvakrat sidrana stena, povečanje globine vpetja), in zlasti velikost sile prednapetja v sidru. Za računski primer je izbrana realna konstrukcija in sicer pilotna stena nad južnima portaloma predora Golovec.

## **THE INFLUENCE OF THE SOIL - RETAINING STRUCTURE - ANCHOR INTERACTION ONTO THE CONSTRUCTION ELEMENTS LOAD**

**SUMMARY:** Modern numerical methods enable a soil - retaining structure interaction modelling. Numerical examples show how is the response of construction elements influenced by the retaining structure design (number of anchor levels, increase of embedment depth) and anchor pre-stressing. As a numerical example a realistic retaining structure is chosen which was constructed at the southern portals of the Golovec tunnel.

## UVOD

Za projektiranje zahtevnih podpornih konstrukcij kot so pilotne stene se še vedno uporabljajo pretežno "klasični" postopki geostatične analize. To pomeni, da najprej določimo zemeljske pritiske kot obremenitev na tako konstrukcijo pri čemer upoštevamo ustrezno varnost, zatem pa poiščemo tako globino vpetja in sile v sidrih, da konstrukcija lahko varno prevzame predvidene obremenitve. Slabost tega postopka je v tem, da so izračunani zemeljski pritiski neodvisni od premikov konstrukcije, njihov razpored z globino pa je vselej predpostavljen na osnovi izkušenj. Tudi v nadaljevanju postopka so možne različne poti. Geotehnikom je najbližji račun, pri katerem odpor pod koto vpetja stene računamo kot razliko pasivnih pritiskov pred steno in aktivnih pritiskov v zaledju (slika 1a). Na tak način lahko iz ravnovesnih pogojev določimo globino vpetja ter potrebne sidrne sile. Konstrukterju - statiku je bližji račun z elastičnimi vzmetmi (slika 1b). Nekritična uporaba takega računa je lahko nevarna, saj se pogosto zgodi, da reaktivni tlaki v elastičnih podporah presegajo vrednosti, ki jih zemljina še lahko prevzame (Majes, 1995).



**Slika 1:** Statična analiza pilotne stene (a) s predpostavljenimi zemeljskimi pritiski in (b) z elastičnimi vzmetmi

Tretjo možnost predstavljajo zahtevnejši numerični postopki, s katerimi hkrati rešujemo deformacijske, ravnovesne in kompatibilitetne enačbe ob upoštevanju nelinearnih zvez med napetostmi in deformacijami za zemljine. Danes so taki postopki ob sodobni računalniški tehnologiji že toliko prijazni do uporabnika, da je njihova uporaba razmeroma preprosta in ne več zamudna kot v preteklosti. Bistvena prednost takega računa je, da je postopek zelo blizu dogajanju v naravi. Projektant na ekranu računalnika vrši odkopavanja, nasipavanja, izdelavo podpore konstrukcije, namešča sidra, nalaga obtežbo in podobno, program pa izračuna tem dejavnostim ustrezna napetostna in deformacijska stanja. Zato takim računom pravimo tudi simulacije ali modeliranje. Tako se ni več potrebno spraševati ali je za konkreten primer podpore konstrukcije ustrežnejše aktivno ali mimo stanje zemeljskih pritiskov in se odločati o najprimernem razporedu zemeljskih pritiskov z globino. Do teh rezultatov pripelje račun. Najbolj vpliva na rezultate računa izbran materialni model, t.j. zveza med napetostmi in deformacijami. Za analizo stabilnosti pobočij in dimenzioniranje podpornih konstrukcij je zelo primeren že preprost elastoplastični model Mohra in Coulomba. Z elastičnim odnosom med napetostmi in deformacijami pa take analize niso mogoče. Tako je ena od "slabosti" takih analiz ta, da potrebujemo poleg strižnih parametrov za zemljine tudi deformacijske parametre. K sreči rezultati analiz podpornih konstrukcij niso zelo občutljivi na deformacijske parametre. Kljub temu pa je vsaj okvimo poznavanje deformacijskih karakteristik materialov nujno.

## PILOTNA STENA NAD JUŽNIMA PORTALOMA PREDORA GOLOVEC

Zanimiva problematika projektiranja in gradnje te pilotne stene gotovo zasluži podrobnejšo obravnavo. Tu se omejimo le na najnujnejši opis geoloških razmer in konstrukcije, da bo bolj jasen namen predstavljenih numeričnih analiz.



## Opis problematike in geoloških razmer

V novembru 1995 je zaradi manjšega posega v južno pobočje Golovca prišlo do porušitve ravnovesja in s tem do večjih premikov znatnih zemeljskih mas. Preiskave so pokazale, da gre za do 15 m globoko drsenje. Sanacija pobočja, ki naj omogoči pričetek vame gradnje predora, je potekala v dveh fazah. V prvi fazi smo s preoblikovanjem pobočja zaustavili premike do te mere, da je bilo možno pristopiti k 2. fazi - izgradnji sidrane pilotne stene (slika 2). Potem, ko bo pilotna stena izdelana, se pred njo odstrani vsa preperina (plazina) do čvrstejše hribine. V tem stanju se lahko pričnejo dela na predoru. Šele potem, ko bo izveden portalni del predora v odprti gradbeni jami (cut & cover), se brežina izdela nazaj iz kvalitetnejšega materiala. V končnem stanju bo tako svetla višina stene le 2 m, v vmesnem stanju pa do 10 m. Posamezne pomembne faze v izgradnji konstrukcije so torej:

- izdelava pilotov in sidrne grede (stena deluje kot konzola)
- montaža in napetje 1. nivoja sider ter izkop do 2. nivoja sider na koti -5 do -7 m (1x sidrana stena)
- montaža in napetje 2. nivoja sider ter izkop do končne kote -7.5 do -10 m (2x sidrana stena)
- izdelava zasipa pred steno, tako da ostane vidne le 2 m stene (sidrna greda).

Geološke razmere v prostoru, kjer leži pilotna stena, so zaradi tektonike razmeroma zapletene. Hribinsko osnovo predstavlja temnosiv glinasti in meljasti skrilavec z laminami peščenjaka, nad njim je 5 do 10 m debel sloj temnosive preperine glinastega in meljastega skrilavca, ki je zaradi prisotnosti meljevca in lamin peščenjaka tudi dodobra razmočen. Vrhnji sloj debeline 2 do 10 m predstavlja svetlorjav peščen melj s koščki peščenjaka in tankimi plastmi glinastega skrilavca. Nivo podtalnice je izrazito odvisen od padavin, vendar je tudi v razmeroma suhih obdobjih opaziti znatne količine vode, ki se precejajo po pobočju.

Strižne karakteristike navedenih treh karakterističnih plasti so bile raziskane v laboratoriju z direktnimi strižnimi preiskavami, dokončna izbira pa je bila potrjena s povratnimi analizami stabilnosti. Pri tem smo si lahko pomagali s podatki o znanih odlomnih robovih in globinah drsenja, ki so bile ugotovljene z inklinometriškimi meritvami. Nivoji podtalnice so bili prav tako merjeni v perforiranih inklinometriških ceveh. Računske karakteristike so zbrane v preglednici 1.

Preglednica 1: Računske karakteristike tipičnih slojev tal

Sloj	Opis	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (°)	$c'$ (kPa)	G (kPa)	$\nu$
1	peščen melj s kosi peščenjaka	21	20	0	2000	0.35
2	preperel glinasti in meljasti skrilavec z laminami peščenjaka	22	20	0	4000	0.32
3	glinasti in meljasti skrilavec - hribinska osnova	24	20	200	15000	0.3

Vse analize, predstavljene v tem referatu, se nanašajo na prečni profil V-5 pilotne stene, ki je eden od kritičnih, saj je tu globina drsenja največja. Ta profil je prikazan na sliki 2.

## Zasnova konstrukcije

Piloti so premera  $\varnothing 125$  cm na medosni razdalji 2.5 m. Vpetje v hribinsko osnovo znaša minimalno 2.0 m. Pilotna stena je v končnem stanju zasnovana kot enkrat sidrana stena. Zaradi obsežnega izkopa pred steno v času gradnje predora pa je bilo potrebno poskrbeti za stabilnost tudi v tej fazi. Na osnovi premisleka, da bi naj bila stena tudi v vmesni fazi podobno obremenjena kot v končni fazi, je padla odločitev o sidranju v dveh nivojih. Spodnje sidro bo začasno vršilo funkcijo, ki jo kasneje prevzame zasipna zemljina. Zato se spodnja sidra namestijo na tretjini višine zasipa, torej približno v težišču kasnejših pritiskov zasipne zemljine.

Obravnavali smo tudi alternativni predlog, da bi opustili 2. sidro in povečali nosilnost zgornjega sidra, zaradi povečanja upogibnih momentov v pilotu pa tudi nosilnost pilotov.

Ker smo se v prikazanih računskih analizah največ ukvarjali s prednapetjem sider, povejmo še nekaj o tem konstrukcijskem elementu. Izbrana so bila štiri in petvrtna sidra proizvajalca Dywidag. Dopustna obremenitev za trajno štirivrtno sidro je 496 kN, za začasno pa 551 kN. Trajno petvrtno sidro smemo obremeniti s 620 kN.

## RAČUNSKÉ ANALÍZE

V projektu so računské analíze 2x sidrane pilotne stene izvedene s programom SAPS po klasičnem postopku, kjer steno analiziramo kot nosilec, obremenjen z zemeljskimi pritiski na zaledni strani, pred steno pa nastopijo pasivni zemeljski pritiski. Enako analízo smo ponovili še za 1x sidrano steno v kritični fazi (izkop pred steno do osnovne hribine). Primerá smo poimenovali S1 (enkrat sidrana stena) in S2 (dvakrát sidrana stena). Rezultate povzemamo v preglednici 2.

**Preglednica 2: Primerjava statičnih količin za 1x in 2x sidrano steno**

Račun	M (kNm/m)	Q (kN/m)	S <sub>1H</sub> (kN/m)	S <sub>1</sub> (kN)	S <sub>2H</sub> (kN/m)	S <sub>2</sub> (kN)
S1	1323	557	432	596	-	-
S2	1013	489	369	509	131	361

Oznake v preglednici pomenijo:

- M ..... upogibni moment na tekoči meter konstrukcije,  
 Q ..... prečno silo na tekoči meter konstrukcije,  
 S<sub>1H</sub> ..... horizontalno komponento sidrne sile zgornjega sidra na tekoči meter konstrukcije,  
 S<sub>1</sub> ..... pravo vrednost sile v zgornjem sidru (upoštevajoč razdaljo med sidri in naklon sidra),  
 S<sub>2H</sub> ..... horizontalno komponento sidrne sile spodnjega sidra na tekoči meter konstrukcije.

Ti rezultati so navedeni zato, da jih bomo lahko primerjali z analizami po MKE.

Vse nadaljnje analíze so izvedena po metodi končnih elementov za ravninsko deformacijsko stanje in ob upoštevanju nelinearnosti zemljine s programom PLAXIS. Uporabljen je Mohr-Coulombov elastoplastični konstitucijski model za zemljine, stena je modelirana kot linijska konstrukcija, sidro pa kot palični element. Taka analíza omogoča realno modeliranje obnašanja konstrukcije in okolne zemljine v vseh fazah gradnje. Prikazujemo rezultate naslednjih analiz:

- V5A 2 sidri, brez prednapetja (prvi aproksimativni račun za oceno potrebne velikosti sidrnih sil)  
 V5B 2 sidri, prednapetje na 100% dopustno silo štirivrtnega sidra  
 V5C 2 sidri, prednapetje na 75% dopustno silo štirivrtnega sidra  
 V5D 2 sidri, prednapetje zgornjega sidra na 75% računské vrednosti računa S2, spodnjega sidra na 100% računsko vrednost računa S2  
 V5E 2 sidri, prednapetje zgornjega sidra na 75% dopustne vrednosti, spodnjega sidra na 100% dopustno vrednost štirivrtnega sidra  
 V5F 1 sidro, prednapetje na 75% dopustno silo petvrtnega sidra  
 V5G 1 sidro, prednapetje na 75% dopustno silo petvrtnega sidra, vpetje v hribino 4.5 m (2 m več kot pri V5F)

Izvedeni računi analizirajo konstrukcijo po naslednjih fazah:

1. Konzolna stena: izkop do nivoja 1. sidra
2. 1x sidrana stena: prednapetje 1. sidra
3. 1x sidrana stena: izkop do nivoja 2. sidra
4. 2x sidrana stena: prednapetje 2. sidra
5. 2x sidrana stena: izkop do končne kote

Zadnja, 5. faza predstavlja začasno stanje, ki traja ves čas izgradnje predora do izgotovitve zunanje ureditve. V nadaljevanju bomo to stanje po 5. računski fazi imenovali kar končno stanje, ker obravnavamo le problematiko do končnega izkopa, po zasutju pa nastopijo za steno zopet lažji časi. Na sliki 3 so prikazane mreže končnih elementov za posamezne računské faze.

Vsi rezultati so zbrani v preglednici 3 po zgoraj navedenih fazah. V preglednici so za posamezno fazo podani upogibni moment in prečna sila na tekoči meter stene (da bi dobili moment oz. prečno silo v kolu je vrednosti potrebno množiti z medosno razdaljo med koli 2.5 m), sidrne sile pa prav tako na tekoči meter konstrukcije ( $S_{1H}$  in  $S_{2H}$ ), poleg tega pa je podana še "prava" vrednost sile v sidru ( $S_1$  in  $S_2$ ) ob upoštevanju projektne medsebojne razdalje (1.25 m za zgornja in 2.5 m za spodnja sidra) in projektiranega naklona sider.

**Preglednica 3: Rezultati računov V5A do V5G**

Faza	M (kNm/m)	Q (kN/m)	$S_{1H}$ (kN/m)	$S_1$ (kN)	$S_{2H}$ (kN/m)	$S_2$ (kN)
<b>Primer V5A</b>						
1	209	134	-	-	-	-
3	791	366	327	451	-	-
5	877	462	352	485	45.5	126
<b>Primer V5B</b>						
1	209	134	-	-	-	-
2	423	266	360	496	-	-
3	996	412	481	663	-	-
4	743	361	433	597	200	551
5	751	363	437	603	235	648
<b>Primer V5C</b>						
1	209	134	-	-	-	-
2	251	190	270	372	-	-
3	882	356	409	564	-	-
4	690	318	374	516	150	414
5	706	363	379	523	186	513
<b>Primer V5D</b>						
1	209	134	-	-	-	-
2	265	196	277	382	-	-
3	891	361	415	572	-	-
4	721	328	384	529	130	359
5	740	374	390	537	166	457
<b>Primer V5E</b>						
1	209	134	-	-	-	-
2	251	190	270	372	-	-
3	882	356	409	564	-	-
4	632	305	362	499	200	551
5	641	339	366	505	235	648
<b>Primer V5F</b>						
1	209	134	-	-	-	-
2	428	268	363	501	-	-
3	1110	464	502	692	-	-
<b>Primer V5G</b>						
1	310	104	-	-	-	-
2	494	272	363	501	-	-
3	1120	450	495	683	-	-

#### KOMENTAR RAČUNSKIH ANALIZ

Pregled gomjih rezultatov pokaže, da daje prvi račun V5A v primerjavi s klasičnim računom nižje vrednosti notranjih statičnih količin v steni in sidru. Če si pogledamo zemeljske pritiske na sliki 5, vidimo, da je privzeta stopnja mobilizacije strižne trdnosti v klasičnem računu dobro predpostavljena, saj se izračunani zemeljski pritiski za primer V5A dobro ujemajo z računom S2. Razlike gredo torej delno na račun mobilizacije pasivnih pristikov pred steno, delno pa na račun upoštevanja trenja med konstrukcijo in zemlino pri računu V5A.

V naslednjem računu V5B smo upoštevali 100% prednapetje sider (100% izkoriščene dopustne obremenitve sider). Največje obremenitve doživi pilotna stena tik pred napetjem 2. sidra in so podobne tistim iz klasičnega računa. Sidrna sila v zgornjem sidru pa je znatno večja in znaša 663 kN, kar presega celo dopustno obremenitev petvrvnega sidra. Tudi za stanje po dokončanem izkopu je sidrna sila še vedno velika, obremenitve kolov pa so v sprejemljivih mejah. Prekoračena je tudi dopustna obremenitev spodnjega sidra. Razlog je v povečanju zalednih pritiskov vsled velike stopnje prednapetja sider, kar ne dopušča ustrezne mobilizacije trenja za steno.

Glede na rezultate računov V5A in V5B lahko sklepamo, da je z izbranim sidrom mogoče varno prevzeti zaledne pritiske, vendar ne ob 100% prednapetju sider. Naslednji računski primer V5C kaže, kako zmanjšanje prednapetja v obeh sidrih na 75% dopustnih obremenitev posameznega sidra vpliva na rezultate. Notranje statične količine se glede na primer V5B zmanjšajo, prav tako sidrne sile. Sidrna sila niha med dopustnima vrednostima za trajno in začasno sidro, le v času pred napetjem spodnjega sidra nekoliko presega dopustno vrednost. Spodnje sidro je obremenjeno v dovoljenih mejah vendar skoraj v celoti izkoriščeno.

Račun V5D prikazuje obnašanje konstrukcije v primeru, ko zgornje sidro prednapnemo na 75% računske sile (85% dopustne sile), spodnje sidro pa je prednapeto na 100% računske sile iz primera S2 (65% dopustne sile). Spodnje sidro je smiselno prednapeti približno na končno vrednost, saj se zaradi izkopa, ki še preostane do končne kote, stena v horizontalni smeri le še minimalno deformira. Rezultati so v tem primeru nekje med primeroma V5B in V5C, le spodnje sidro je manj obremenjeno, ker je v njem prednapetje manjše, kasnejša deformacija pa po pričakovanju ni dovolj velika, da bi omogočila samonapetje tega sidra.

Račun V5E analizira obnašanje konstrukcije v primeru, ko zgornje sidro prednapnemo na 75%, spodnje pa na 100% dopustne sile štirivrnega sidra. Že prej smo ugotovili, da je smiselno spodnje sidro bolj prednapeti, da tako zadržimo upogibne momente v zmernih mejah tudi v primeru, da se obremenitve zaradi plaz v zaledju povečajo nad pričakovani nivo. Momenti so v tem primeru ob koncu računa manjši, prav tako sila v zgornjem sidru. Sila v spodnjem sidru pa je nekoliko nad dopustnim nivojem.

Račun V5F (enkrat sidrana stena) moramo primerjati z računom V5E, katerega smatramo za najbolj ustreznega. Upogibni moment 1x sidrane stene presega tistega za 2x sidrano steno za 26%, prečna sila za 30% in sidrna sila za 37%. Velikosti zlasti sidrne sile presegajo dopustne vrednosti do te mere, da moramo predvideti v zgornjem nivoju 37% več sider, oziroma zmanjšati medsebojne razdalje iz 1.25 m na 0.9 m. Predvsem zaradi slabih izkušenj pri sidranju v grafitne skrilavce je na osnovi teh rezultatov padla končna odločitev o dveh nivojih sidranja, saj z vgraditvijo spodnje vrste sider na najboljši možen način izenačimo začasno in trajno obremenitev konstrukcijskih elementov, kar na svoj način prispeva k njihovim racionalnim vendar vamim dimenzijam.

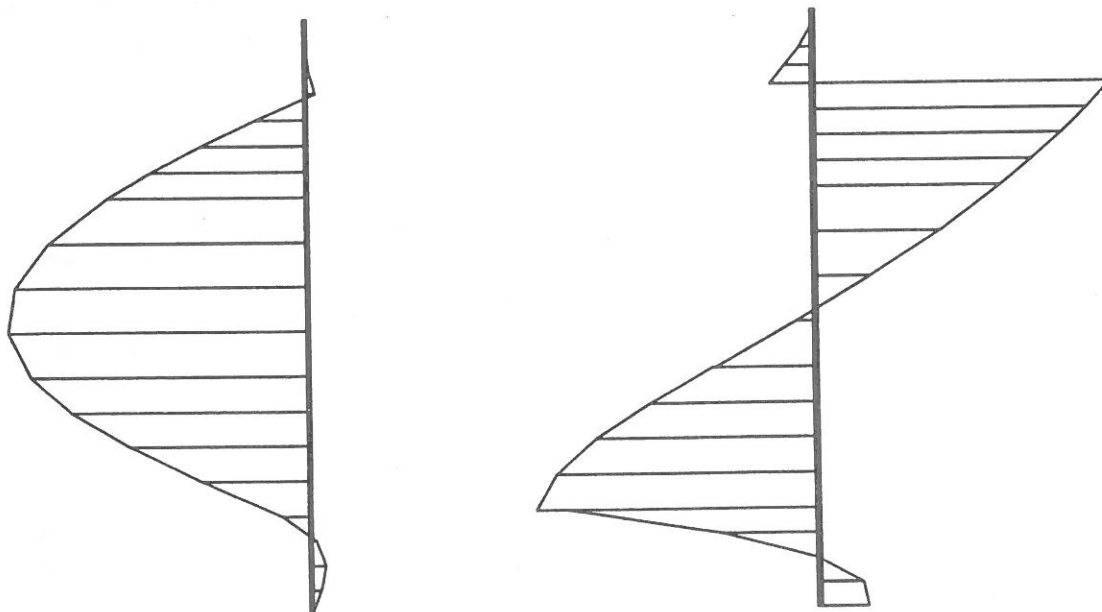
Z računom V5G smo želeli preveriti ali je ob večjem vpetju kolov v hribino (4 m namesto dosedaj upoštevanih 2 m) možno izvesti samo 1x sidrano pilotno steno. Če primerjamo rezultate računov V5F in V5G, je jasno, da tudi povečanje vpetja za 2 m praktično ne vpliva na rezultat.

Na osnovi rezultatov teh računov sta se sidri na konstrukciji prednapeli takole: za zgornje sidro je bilo v območju kritičnih profilov (V-3 in V-5) izbrano petvrvno sidro. Po projektu so napeta na 75% dopustne sile petvrvnega sidra (465 kN). Mersko sidro je bilo v obeh kritičnih profilih dejansko napeto na silo  $\approx 500$  kN. Spodnje sidro je štirivrvno in je napeto na 90% dopustne za začasno sidro, kar je enako dopustni sili trajnega sidra (496 kN).

Na sliki 4 so prikazane notranje statične količine v pilotni steni kot rezultat izvedene numerične analize za primer V5E v zadnjem računskem koraku.

Primerjajmo sedaj še rezultate glede na izbran numerični postopek. Primerjava je podana v preglednici 4, kjer so za vsak primer izbrane samo maksimalne vrednosti opazovanih količin, izražene pa so tudi v odstotku glede na klasičen račun. Upogibni momenti, izračunani s programom SAPS so vselej večji od tistih, ki smo jih dobili s programom PLAXIS. Enako velja za prečne sile. Pri sidrnih silah pa je največkrat ravno narobe. Glavni razlog za te razlike je v velikosti in zlasti razporeditvi zemeljskih pritiskov v zaledju. Pri klasičnem računu velikost zemeljskega pritiska

izračunamo z upoštevanjem nekega količnika varnosti, obliko diagrama zemeljskih pritiskov pa običajno po trikotniku (kot v tem primeru) ali po trapezu za večkrat sidrane konstrukcije. Pri metodi končnih elementov so predpostavke skrite globlje v postopku, tako da je diagram zemeljskih pritiskov rezultat računa. Na sliki 5 je podana primerjava zemeljskih pritiskov za račune S2 in V5A do V5E, ki pokaže, da so v primeru brez prednapetja sider zemeljski pritiski res razporejeni po trikotniku in so nekoliko manjši od tistih v primeru S2. V vseh ostalih primerih pa ima diagram zemeljskih pritiskov obliko podobno trapezu.



Moments in beam chain 1  
Extreme moment 8.82E+02 units

Shear forces in beam chain 1  
Extreme force 3.56E+02 units

**Slika 4:** Upogibni momenti in prečne sile v pilotni steni po zadnjem računskem koraku računa V5E

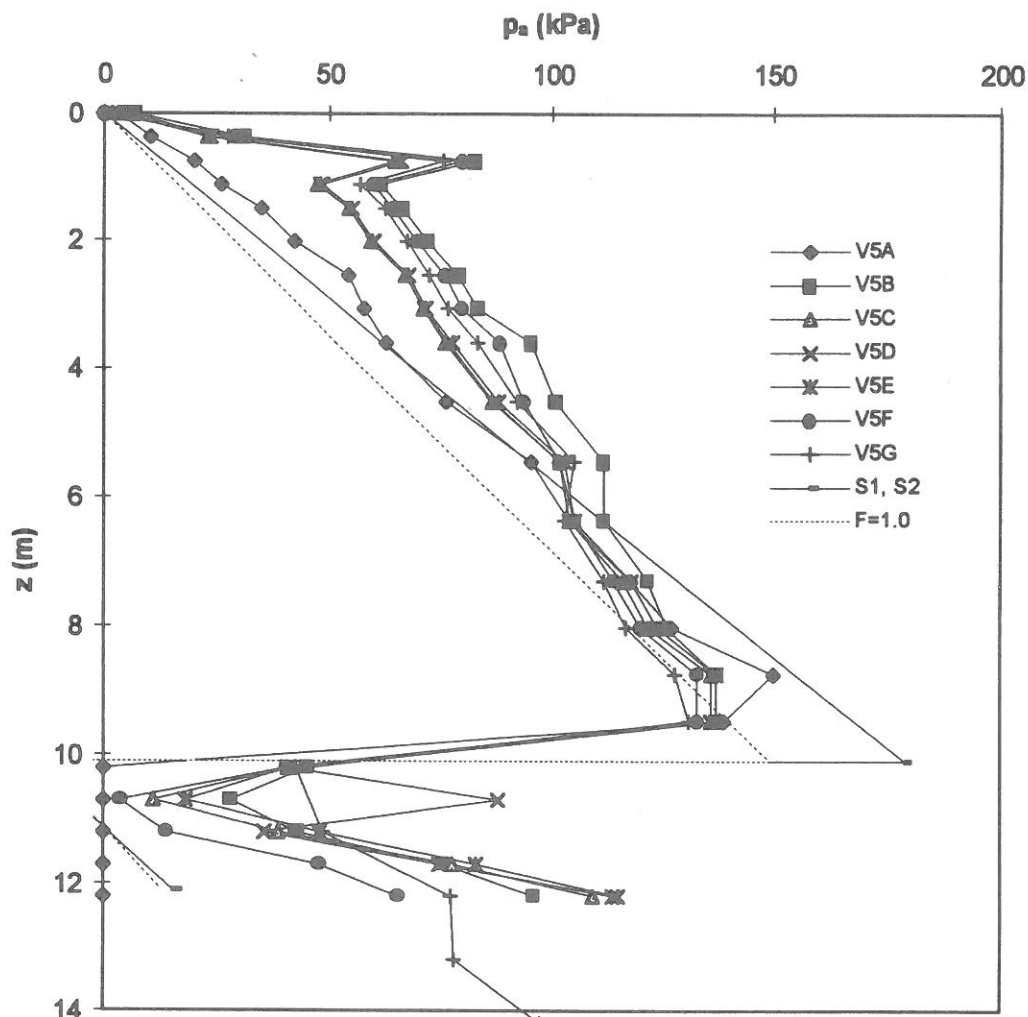
**Preglednica 4:** Primerjava rezultatov programa SAPS in PLAXIS

Račun	M		Q		S <sub>1H</sub>		S <sub>2H</sub>	
	(kNm/m)	(%)	(kN/m)	(%)	(kN/m)	(%)	(kN/m)	(%)
S2	1013	100	489	100	369	100	131	100
V5A	877	87	462	94	352	95	45.5	35
V5B	996	98	412	84	481	130	235	179
V5C	882	87	363	74	409	111	186	142
V5D	923	91	378	77	437	118	168	128
V5E	882	87	356	72	409	111	235	179
S1	1323	100	557	100	432	100		
V5F	1110	84	464	83	502	116		
V5G	1120	85	450	81	495	115		

Prav na koncu omenimo še rezultate prvih meritev sidrnih sil. Merska sidra so le v zgornjem nivoju, saj bodo spodnja sidra dostopna le krajši čas. Meritve se opravljajo odkar je stena v fazi, ki približno ustreza 5. računski fazi, le izkop pred steno še ni izveden do končne kote. Merska sidra so v profilih



V-3, V-5 in V-6. Razmere v prvih dveh merskih profilih so podobne, v območju profila V-6 pa je geološka zgradba nekoliko ugodnejša. Izmerjene velikosti sidrnih sil v profilih V-3 in V-5 nihajo v območju med 540 kN in 600 kN. To vrednost moramo primerjati z računom V5B, ki je najbližji dejansko izvedeni konstrukciji. Tam smo računsko dobili silo v sidru 603 kN. Če bi izvršili odkop pred steno do projektirane kote, bi se merjene vrednosti tudi povečale in nihale okrog računске vrednosti. Nihanje meritev je pogojeno predvsem s temperaturo, delno pa tudi z razmerami na saniranem plazju, pri čemer imamo v mislih predvsem nihanje podtalnice.



Slika 5: Zaledni zemeljski pritiski na pilotno steno v posameznih računskih primerih.

## ZAKLJUČEK

V prispevku smo želeli na konkretnem primeru pokazati prednosti sodobnih numeričnih postopkov za analize različnih geotehničnih problemov pred klasičnimi postopki. Nikakor ne želimo na osnovi tu navedenih rezultatov vleči splošnih zaključkov o obnašanju tovrstnih podpornih konstrukcij, čeprav je morda glede na naslov prispevka to kdo pričakoval. Kajti ravno tu leži bistvena razlika v metodi analize. Pri klasičnih postopkih moramo na osnovi izkušenj in znanja uporabiti pravilne predpostavke o velikosti zemeljskih pritiskov (varnost) in njihovi razporeditvi z globino, o morebitnem povečanju zalednih pritiskov vsled prednapetja sider ali globokega vpetja stene, ki prav tako onemogoča dovolj velike deformacije. Neredko je težko v računu dovolj natančno upoštevati dejansko stratigrafijo. Programi, ki rešujejo tovrstne naloge na osnovi metode končnih ali robnih elementov ali diferenčne metode ob upoštevanju osnovnih enačb mehanike trdnih teles ter ustreznih zvez med napetostmi in deformacijami, ki dobro veljajo za geološke materiale, pa omogočajo, da vse te faktorje razmeroma

realno upoštevamo v računskih analizah. S takimi orodji lahko na cenen način hitro preizkusimo vpliv posamezne spremembe v zasnovi, dimenziji ali pri izvedbi podporne konstrukcije, kot smo to naredili v tem prispevku, in na osnovi takih analiz izberemo najbolj ustrezno različico.

#### LITERATURA

- (1) Šterk, V., Popovič, Z. (1995), II. faza sanacije plazu nad južnima portaloma predora Golovec s sidrano pilotno steno, projekt GZL - IGGG.
- (2) Majes, B. (1995), Numerične analize pilotnih sten, Ceste i mostovi, št. 7-8, Zagreb, 215-221.