

Prilog analizi često izvođenih armiranobetonskih potpornih zidova

Matija Kancijan

Sveučilište Sjever, bacc. ing. aedif., makancijan@unin.hr

Petar Krešimir Despinić

Sveučilište Sjever, mag. ing. aedif., pedespinic@unin.hr

Božo Soldo

Sveučilište Sjever, prof. dr. sc., bsoldo@unin.hr

Aleksej Aniskin

Sveučilište Sjever, doc. dr. sc., aaniskin@unin.hr

Bojan Đurin

Sveučilište Sjever, prof. dr. sc., bdjurin@unin.hr

Sažetak: Ovim radom su prikazane teorijske osnove dimenzioniranja i primjer proračuna potpornog zida. U prvom dijelu se daje uvid u opterećenja koja djeluju na potporne konstrukcije te osnovna načela projektiranja prema Eurokodu, zajednička za sve vrste potpornih zidova. U praktičnom djelu rada, na primjeru armiranobetonskog konzolnog potpornog zida visine 4 m, prikazan je postupak proračuna na statička i seizmička djelovanja, primjenom Europskih normi za geotehničko projektiranje, EN 1997-1 i projektiranje konstrukcija otpornih na potres, EN 1998-5. Za ostale visine potpornih zidova definiranih zadatkom, zbog opsežnosti i ograničenog prostora rada, prikazani su samo rezultati proračuna u sklopu analize rezultata. Na kraju rada je dan zaključak analize provedenog proračuna.

Ključne riječi: Eurokod, potporna konstrukcija, armiranobetonski potporni zid, tlak tla, seizmički tlak tla

Contribution to the analysis of frequently performed reinforced concrete retaining walls

Abstract: This paper presents the theoretical basis of dimensioning and an example of the calculation of a retaining wall. The first part provides an insight into the loads acting on retaining structures and the basic design principles according to Eurocode, common to all types of retaining walls. In the practical part of the paper, on the example of a reinforced concrete cantilever retaining wall with a height of 4 m, the calculation procedure for static and seismic actions is presented, using the European standards for geotechnical design, EN 1997-1 and the design of structures for earthquake resistance, EN 1998-5. For the other heights of the retaining walls defined by the task, due to the extensiveness and limited space of the paper, only the calculation results within the analysis of the results are presented. The conclusion of the analysis of the conducted calculation is given at the end of the paper.

Key words: Eurocode, retaining structure, reinforced concrete retaining wall, earth pressure, seismic earth pressure

Kancijan, M., Despinić, P. K., Soldo, B., Aniskin, A., Đurin, B.

Prilog analizi često izvođenih armiranobetonskih potpornih zidova

1. UVOD

Potporne građevine se prema Eurokodu 7 (EN 1997-1) definiraju kao konstrukcije koje pridržavaju prirodno tlo, nasipe od tla, stijene ili zasip i vodu. Za gradivo se smatra da je pridržano ako se pridržava u strmijem nagibu od onog u kojem bi vjerojatno stajalo da nema potporne građevine. U potporne građevine se uvrštavaju svi zidovi i potporni sustavi koji svojim nosivim elementima preuzimaju opterećenja uzrokovana materijalom koji pridržavaju [1].

Armiranobetonski potporni zidovi su vrlo česte i rasprostranjene građevine u graditeljstvu, sa svrhom podupiranja terena i preuzimanja pritiska od tla. Osnovno što ih razlikuje od ostalih potpornih građevina je to da se temelje. Površina terena koju zid podupire može biti vodoravna ili pod nekim nagibom. U slučaju da je teren vodoravan može se dodatno opteretiti, dok se kosine uglavnom ne opterećuju. Izvode se pojedinačno, kao linijske građevine ili u kombinaciji s više različitih vrsta građevina kojima se prirodni teren usijeca, zasijeca ili nasipa. Primjenjuju se kod stabilnih i nestabilnih terena. Kod stabilnih terena izvode se kad je potrebno osigurati iskop pod većim nagibom nego što je to dozvoljeno otporno-deformacijskim svojstvima terena, te se izvodi drenažni sustav za odvodnju oborinskih i podzemnih voda.

U ovom radu naglasak se stavlja na dimenzioniranje armiranobetonskih potpornih zidova, u graditeljstvu često primjenjivanih konstrukcija kod saniranja ili sprječavanja nastanka klizišta. Načela dimenzioniranja, zajednička za sve tipove potpornih zidova, svode se na određivanje opterećenja i njegovog utjecaja na stabilnost potpornog zida. Proračunom se redovito provjerava granično stanje stabilnosti na prevrtanje, klizanje, nosivost temeljnog tla te globalna stabilnost potpornog zida i to isključivo unutar područja mehanike tla. Isto tako, potrebno je provjeriti i utjecaj unutarnjih sila na otpornost poprečnog presjeka.

U praktičnom djelu rada, na primjeru armiranobetonskog konzolnog potpornog zida visine 4 m, prikazani su rezultati proračuna konstrukcije na statička i seizmička djelovanja, primjenom Europskih normi za geotehničko projektiranje, EN 1997-1 i projektiranje konstrukcija otpornih na potres, EN 1998-5. Za ostale visine definirane zadatkom, rezultati proračuna potpornog zida prikazani su na kraju rada u sklopu analize rezultata s komentarima proračuna.

2. PRIMJENA EUROKODA 7 KOD PRORAČUNA POTPORNIH GRAĐEVINA

Prilikom projektiranja potrebno je dokazati da će građevina tijekom gradnje i njenog korištenja zadovoljiti sve bitne zahtjeve za građevinu, odnosno, da neće doći do prekoračenja niti jednog od mogućih graničnih stanja. Pod pojmom graničnih stanja smatraju se ona stanja čijim prekoračenjem konstrukcija više ne udovoljava zahtjevima kojima je projektom predviđena. Prema karakteru, granična stanja se dijele na granično stanje nosivosti i granično stanje uporabljivosti.

Granično stanje nosivosti je krajnje stanje do kojeg konstrukcija još udovoljava projektom predviđenim opterećenjima odnosno, čijim prekoračenjem dolazi do narušavanja stabilnosti konstrukcije promatrane kao cjeline (npr. prevrtanje ili klizanje potpornog zida) ili nekog njenog dijela u kritičnom području/presjeku (npr. mjesto uklještenja zida i temelja potpornog zida) pri čemu dolazi do sloma ili prekomjerne deformacije čime se u neposrednu opasnost dovode ljudi i sama građevina.

Prekoračenjem graničnog stanja uporabljivosti sama konstrukcija u smislu nosivosti nije ugrožena ali je zbog velikih deformacija, pomaka, progiba i sl. u znatnoj mjeri otežano njeno korištenje ili više ne služi svojoj svrsi (npr. oštećenje kolnika uslijed nedozvoljenog pomaka, pojava pužišta, ako se radi o potpornoj građevini čija je svrha osigurati zasjek terena na kojem je izveden a kao posljedica prekoračenja otežano ili onemogućeno prometovanje).

Eurokod 7 [1] naglasak stavlja na korištenje proračuna dok se primjena propisanih mjera, ako nije u suprotnosti s normom, može prilagoditi kroz nacionalni dodatak.

Kancijan, M., Despinić, P. K., Soldo, B., Aniskin, A., Đurin, B.

Prilog analizi često izvođenih armiranobetonskih potpornih zidova

3. STABILNOST I DIMENZIONIRANJE POTPORNIH ZIDOVA

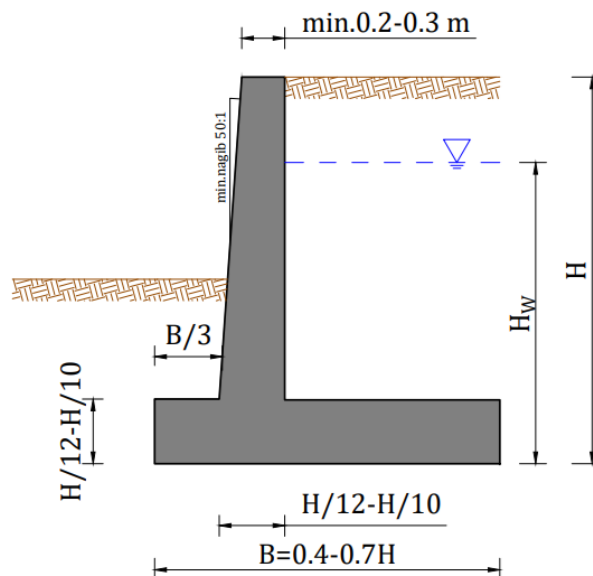
Kod proračuna potpornih zidova potrebno je provjeriti pojedina stanja stabilnosti konstrukcije vezana na područje iz mehanike tla, tj. na stanja stabilnosti u interakciji s tlom u prostoru na kojem ili unutar kojeg se izvodi građevinski zahvat. Provjerava se stabilnost na prevrtanje, klizanje, nosivost tla, provjera globalne stabilnosti te dokaz otpornosti presjeka zida.

Uvjet da konstrukcija bude u stanju ravnoteže je da bude zadovoljen faktor sigurnosti za svako pojedino stanje ravnoteže. Faktor sigurnosti predstavlja odnos između proračunske otpornosti konstrukcije ili dijela konstrukcije i proračunskog učinka djelovanja na konstrukciju i ne smije biti manji od 1, $FS \geq 1$. U suprotnom, takvu konstrukciju se smatra nestabilnom.

Provjera stabilnosti se provodi u odnosu na sve sile koje djeluju na potporni zid, a to su [2]:

- aktivni tlak tla (E_a)
- hidrostatički tlak (P_a)
- hidrodinamički tlak (U)
- vanjske, vodoravne sile (V)
- dodatno površinsko opterećenje (koncentrirano, P, linijsko, P' i površinsko, q)
- težina zida (G)
- pridrzanje u zatezi (S)
- pasivni otpor (E_p)
- trenje na kontaktu temelja i tla (T)

Na Slici 1. prikazana je početna geometrija kod dimenzioniranja potpornog zida prema gore navedenim silama.



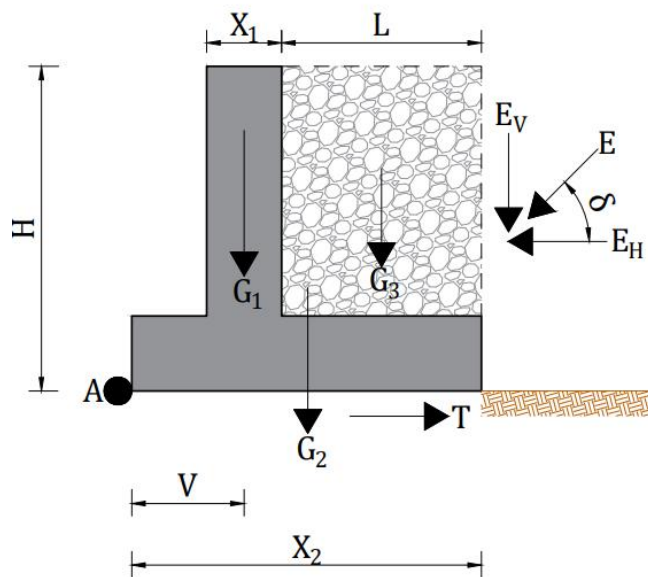
Slika 1. Preporučene dimenzije armiranobetonskog potpornog zida

Tendencija horizontalne komponente sile aktivnog tlaka (E_a) jest da naruši stupanj ravnoteže potpornog zida tako da ga prevrne oko vanjskog ruba temelja zida (nožice) ili prouzroči njegovo klizanje. Tom djelovanju (destabilizirajućem) suprotstavlja se sila od same konstrukcije (G). Kod potpornih zidova s prepustom na strani zasipa Slika 2. (zid T presjeka), otporu prevrtanja se suprotstavlja i vertikalna komponenta sile aktivnog tlaka te težina stabilizirajuće mase zasipa. Kod oblika izraza za provjeru stabilnosti na prevrtanje ($E_d \leq R_d$) silu E_v ispravnije promatrati kao dio jednog djelovanja s negativnim predznakom – rezultante aktivnog tlaka E – nego kao zasebno stabilizirajuće djelovanje, tj. s lijeve, a ne desne strane

Kancijan, M., Despinić, P. K., Soldo, B., Aniskin, A., Đurin, B.

Prilog analizi često izvođenih armiranobetonskih potpornih zidova

nejednadžbe $E_d \leq R_d$. Radi se o tzv. „single-source principle“ iz Eurokoda 7, po kojem se djelovanje iz istog izvora (npr. aktivni tlak s obje svoje komponente), ne može u istom izrazu promatrati na način da se dio uzima kao nepovoljno djelovanje, a dio kao povoljno djelovanje. Naime, obje komponente treba tretirati ili kao nepovoljno ili kao povoljno djelovanje, te provjeriti koja je kombinacija nepovoljnija [2]. Sila od konstrukcije po svojoj veličini ima znatni utjecaj na stabilnost jer se istovremeno svojim djelovanjem (stabilizirajućim) odupire prevrtanju i pojavi klizanja. Povoljan utjecaj sile G najviše dolazi do izražaja kod masivnih, gravitacijskih potpornih zidova ali isto tako značajnu ulogu ima i kod ostalih tipova potpornih zidova (olakšanih i tankostijenih potpornih zidova) [3].



Slika 2. Prikaz djelujućih sila na armiranobetonski konzolni potporni zid

Potrebno je spomenuti da u postupku provjere stabilnosti, prilikom određivanja ukupnog otpora zida, nije poželjno u proračun uključiti puni iznos sile pasivnog otpora (E_p) koja se javlja ispred temelja. S obzirom na to da je za aktiviranje pasivnog otpora potreban određeni pomak, u pitanje se dovodi funkcionalnost i uporabljivost građevine, tako da je preporučljivo uključiti samo dio sile, $1/2$ do $2/3$ E_p [3]. Redovita provjera stabilnosti potpornog zida uključuje četiri mehanizma sloma [4]:

- proračun na prevrtanje
- proračun na klizanje
- provjera nosivosti tla ispod temelja
- provjera globalne stabilnosti potpornog zida
- provjera naprezanja u kritičnom presjeku

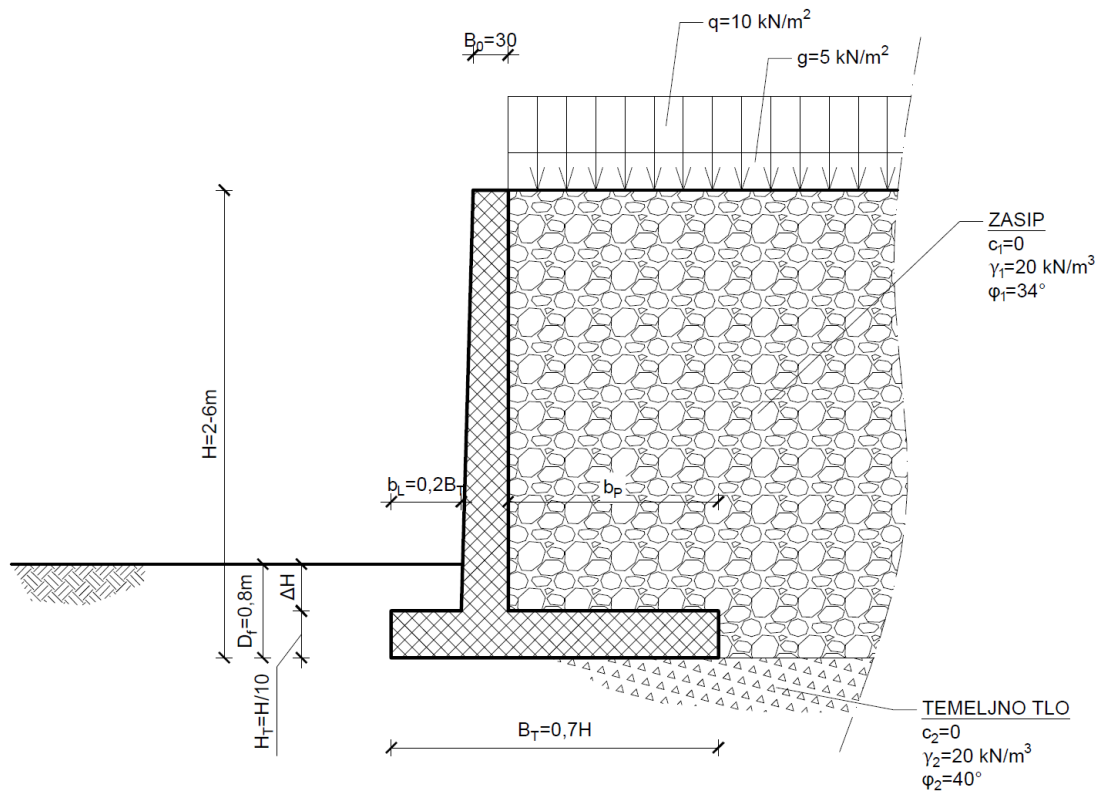
4. PRIMJER PRORAČUNA ARMIRANOBETONSKOG POTPORNOG ZIDA

U praktičnom dijelu rada, za konzolni armiranobetonski potporni zid usporednih visina: $H=2, 3, 4, 5$ i 6 m (geometrija svakog zida prikazana je u Tablici 1) proveden je statički i seizmički proračun kontrole stabilnosti na prevrtanje i klizanje, dokaz nosivosti temeljnog tla, provjera globalne stabilnosti (provedena u računalnom geotehničkom komercijalnom softveru "GEO5 - Konzolni zid (demo verzija)") te proračun armature proveden klasičnim ručnim proračunom.

Kancijan, M., Despinić, P. K., Soldo, B., Aniskin, A., Đurin, B.

Prilog analizi često izvođenih armiranobetonskih potpornih zidova

Proračun s iskazom i planom armature je detaljnije prikazan samo za visinu zida $H=4$ m, zadanih dimenzija i opterećenja prema Slici 3, dok su vrijednosti proračuna za ostale visine dane tabelarno (Tablica 1.).



Slika 3. Geometrija zida i zadanog opterećenja za visinu potpornog zida $H = 2, 3, 4, 5$ i 6 m

Tablica 1. Geometrijski podaci za visinu potpornog zida: $H = 2, 3, 4, 5$ i 6 m

H [m]	6	5	4	3	2
B_0 [m]	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
$B_T=0,7H$ [m]	4,20	3,50	2,80	2,10	1,40
$b_L=0,2B_T$ [m]	0,80	0,70	0,60	0,40	0,30
$H_T=H/10$ [m]	0,60	0,50	0,40	0,30	0,30
b_P [m]	2,80	2,30	1,80	1,40	0,80
D_f [m]	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

5. REZULTATI I ANALIZA PRORAČUNA

Kancijan, M., Despinić, P. K., Soldo, B., Aniskin, A., Đurin, B.

Prilog analizi često izvođenih armiranobetonskih potpornih zidova**5.1 Granična stanja nosivosti**

U Tablici 2 prikazani su rezultati proračuna za zadane visine potpornog zida $H=2, 3, 4, 5$ i 6 m. Rezultati proračuna odnose se na kontrolu graničnih stanja stabilnosti na prevrtanje, klizanje i nosivost tla te na provjeru globalne stabilnosti. Proračun je proveden za statičku i potresnu kombinaciju djelovanja, prema Eurokodu 7 (EN 1997-1) i Eurokodu 8 (EN 1998-5) s primjenom izraza za ukupnu proračunsku silu (statička + dinamička komponenta) koja djeluje na konstrukciju pri potresnom opterećenju prema postupku kojeg su razvili Mononobe & Okabe. Granična stanja nosivosti i proračunski pristup proveden je prema Eurokodu 7 [5].

Pored kontrole graničnih stanja, proračunat je i stupanj iskoristivosti nosivosti temeljnog tla za svaki od graničnih stanja, kao i za globalnu stabilnost koji se izvodi iz uvjeta stabilnosti na prevrtanje, klizanje i nosivost tla:

Tablica 2. Rekapitulacija proračuna graničnih stanja nosivosti za usporedne visine potpornog zida

<i>provjera</i>			<i>6 m</i>	<i>5 m</i>	<i>4 m</i>	<i>3 m</i>	<i>2 m</i>
STATIČKO DJELOVANJE							
Prevrtanje	Moment prevrtanja [kNm]	$M_p=$	371,71	228,46	127,23	60,88	22,31
	Moment otpora na prevrtanje [kNm]	$M_o=$	1089,1	634,85	328,49	143,32	44,29
	Faktor sigurnosti	$F_{sp}=$	2,93	2,78	2,58	2,35	1,99
	Stupanj iskoristivosti	$U=$	34,10%	36,00%	38,70%	42,50%	50,40%
Klizanje	Aktivna horizontalna sila [kN]	$H_a=$	166,63	121,05	82,6	51,27	27,06
	Horizontalna sila otpora [kN]	$H_o=$	295,46	206,25	132,98	79,61	36,55
	Faktor sigurnosti	$F_{sk}=$	1,77	1,7	1,61	1,55	1,35
	Stupanj iskoristivosti	$U=$	56,40%	58,70%	62,10%	64,40%	74,00%
Nosivost	Maksimalno naprezanje [kN/m^2]	$\sigma=$	175,18	151,85	128,37	113,75	86,18
	Nosivost temeljnog tla [kN/m^2]	$q_{rd}=$	424,04	370,25	315	276,32	208,12
	Stupanj iskoristivosti	$U=$	41,30%	41,00%	40,80%	41,20%	41,40%
Globalna nosivost	Moment klizanja [kNm]	$M_k=$	175,18	151,85	128,37	113,75	86,18
	Moment otpora na klizanje [kNm]	$M_o=$	424,04	370,25	315	276,32	208,12
	Faktor sigurnosti	$F_{sm}=$	41,30%	41,00%	40,80%	41,20%	41,40%
	Stupanj iskoristivosti	$U=$	56,80%	57,10%	55,40%	53,30%	48,70%
Ovaj konzolni zid:			zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava

Kancijan, M., Despinić, P. K., Soldo, B., Aniskin, A., Đurin, B.
Prilog analizi često izvođenih armiranobetonskih potpornih zidova

provjera		6 m	6 m	5 m	4 m	3 m	2 m
SEIZMIČKO DJELOVANJE (SLUČAJ A) - seizmička sila u horizontalnom smjeru							
Pevrtanje	Moment prevrtanja [kNm]	$M_p=$	551,23	332,45	180,54	84,25	29,22
	Moment otpora na prevrtanje [kNm]	$M_o=$	1137,39	662,81	342,81	149,46	46,14
	Faktor sigurnosti	$F_{sp}=$	2,06	1,99	1,9	1,77	1,58
	Stupanj iskoristivosti	$U=$	48,50%	50,20%	52,70%	56,40%	63,30%
Klizanje	Aktivna horizontalna sila [kN]	$H_a=$	228,9	164,26	110,22	67,27	34,23
	Horizontalna sila otpora [kN]	$H_o=$	308,62	215,38	138,82	83,06	38,11
	Faktor sigurnosti	$F_{sk}=$	1,35	1,31	1,26	1,23	1,11
	Stupanj iskoristivosti	$U=$	74,20%	76,30%	79,40%	81,00%	89,80%
Nosivost	Maksimalno naprezanje [kN/m ²]	$\sigma=$	246,4	213,1	180,47	160,22	130,48
	Nosivost temeljnog tla [kN/m ²]	$q_{rd}=$	424,04	370,25	315	276,32	208,12
	Stupanj iskoristivosti	$U=$	58,10%	57,60%	57,30%	58,00%	62,70%
Globalna nosivost	Moment klizanja [kNm]	$M_k=$	5542,06	3413,53	1454,42	756,74	214,72
	Moment otpora na klizanje [kNm]	$M_o=$	8333,46	5262,05	2366,34	1279,53	400,77
	Faktor sigurnosti	$F_{sm}=$	1,5	1,54	1,63	1,69	1,87
	Stupanj iskoristivosti	$U=$	66,50%	64,90%	61,50%	59,10%	53,60%
Ovaj konzolni zid:			zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava

provjera		6 m	6 m	5 m	4 m	3 m	2 m
SEIZMIČKO DJELOVANJE (SLUČAJ B) - seizmička sila prema gore							
Pevrtanje	Moment prevrtanja [kNm]	$M_p=$	522,03	315,39	171,69	80,43	28,03
	Moment otpora na prevrtanje [kNm]	$M_o=$	1040,8	606,89	314,17	137,17	42,43
	Faktor sigurnosti	$F_{sp}=$	1,99	1,92	1,83	1,71	1,51
	Stupanj iskoristivosti	$U=$	50,20%	52,00%	54,60%	58,60%	66,10%
Klizanje	Aktivna horizontalna sila [kN]	$H_a=$	219,17	157,44	105,79	64,72	33,05
	Horizontalna sila otpora [kN]	$H_o=$	282,3	197,12	127,14	76,17	34,99
	Faktor sigurnosti	$F_{sk}=$	1,29	1,25	1,2	1,18	1,06
	Stupanj iskoristivosti	$U=$	77,60%	79,90%	83,20%	85,00%	94,40%
Nosivost	Maksimalno naprezanje [kN/m ²]	$\sigma=$	218,79	189,76	161,71	148,47	128,06
	Nosivost temeljnog tla [kN/m ²]	$q_{rd}=$	424,04	370,25	315	276,32	208,12
	Stupanj iskoristivosti	$U=$	51,60%	51,30%	51,30%	53,70%	61,50%
Globalna nosivost	Moment klizanja [kNm]	$M_k=$	5199,96	3187,29	1359,2	694,23	200,87
	Moment otpora na klizanje [kNm]	$M_o=$	7684,05	4824,54	2171,32	1148,21	367,49
	Faktor sigurnosti	$F_{sm}=$	1,48	1,51	1,6	1,65	1,83
	Stupanj iskoristivosti	$U=$	67,70%	66,81%	62,60%	60,50%	54,70%
Ovaj konzolni zid:			zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava

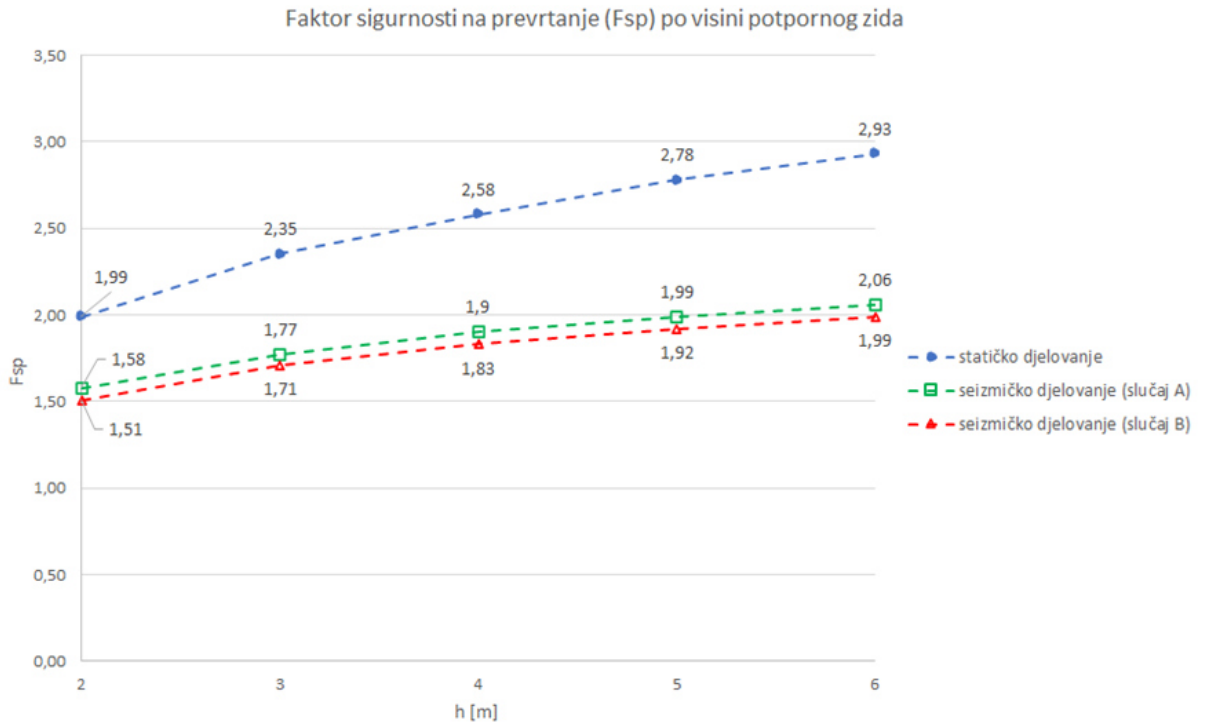
Iz prikazanih rezultata vidljivo je da geometrija svih potpornih zidova zadovoljava, s time da djelovanje potresa ima značajan utjecaj na smanjenje faktora sigurnosti, pogotovo na faktor sigurnosti na klizanje kad seizmička sila djeluje prema gore (slučaj B).

Dijagrami na sljedećim slikama (Slika 4. i Slika 5.) prikazuju dobivene vrijednosti faktora sigurnosti na prevrtanje i klizanje iz kojih proizlazi da je potporni zid, promatran kao kruto tijelo, stabilniji s porastom visine, na ovdje analizirani slučaj kada iza zida djeluje vanjsko opterećenje iznosa kao u danim primjerima. U slučaju kada nema vanjskog opterećenja iza zida, s porastom visine zida, F_s opada (U raste). Ipak, treba uzeti u obzir da se s porastom visine zida povećava i količina zasipanog materijala, koja svojom težinom zajedno s ostalim dodatnim opterećenjima, u obliku aktivnog tlaka, nepovoljno djeluje na konstrukciju, uzrokujući tako najveći moment savijanja na djelu uklještenja vertikalne konzole s temeljom [6]. Zbog većeg momenta savijanja, na mjestu kritičnog presjeka potreban je veći presjek zida i količina armature. U praksi se pokazalo da je optimalna visina AB konzolnih potpornih zidova do 7 m,

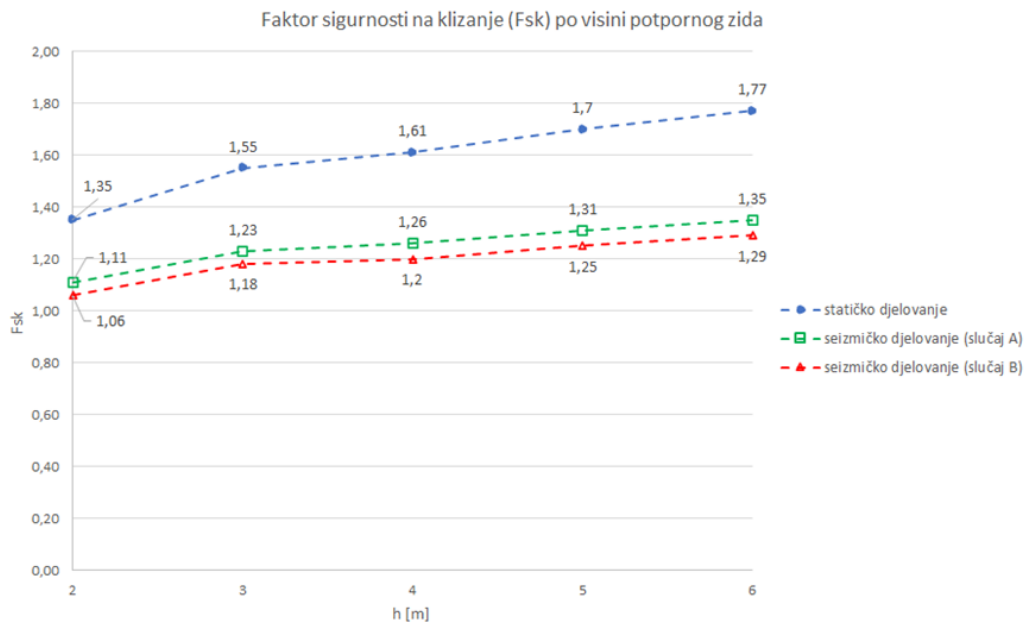
Kancijan, M., Despinić, P. K., Soldo, B., Aniskin, A., Đurin, B.

Prilog analizi često izvođenih armiranobetonskih potpornih zidova

dok se izvedba viših zidova nije pokazala osobito sigurna. Tendencija rasta dobivenih vrijednosti momenta savijanja u kritičnom presjeku za geostatička djelovanja ovisno o visini potpornog zida prikazana je na dijagramu na Slici 6.

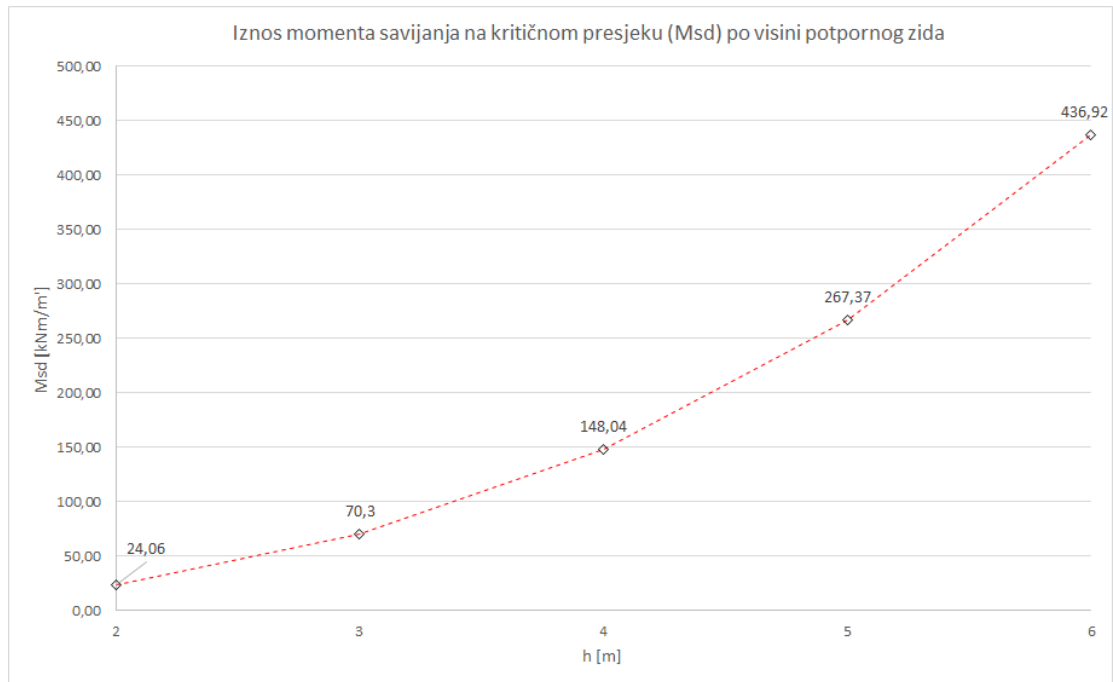


Slika 4. Dijagram iznosa faktora sigurnosti na prevrtanje, F_{sp} za zadane visine potpornog zida



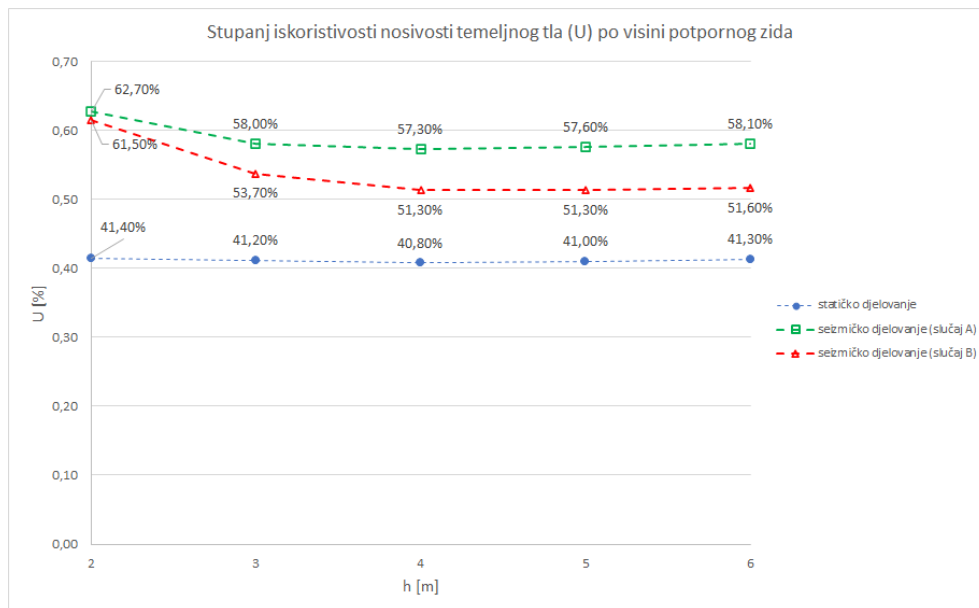
Slika 5. Dijagram iznosa faktora sigurnosti na klizanje, F_{sk} za zadane visine potpornog zida

Kancijan, M., Despinić, P. K., Soldo, B., Aniskin, A., Đurin, B.
Prilog analizi često izvođenih armiranobetonskih potpornih zidova



Slika 6. Dijagram vrijednosti momenta savijanja na kritičnom presjeku, Msd za zadane visine potpornog zida

U pogledu stupnja iskoristivosti nosivosti temeljnog tla, kao omjera maksimalnog naprezanja i nosivosti temeljnog tla [7], dobiveni su gotovo jednaki rezultati proračuna, a koji se za statički utjecaj kreću oko 40 %, dok su za seizmička djelovanja veća i kreću se oko 60 % (Slika 7.).

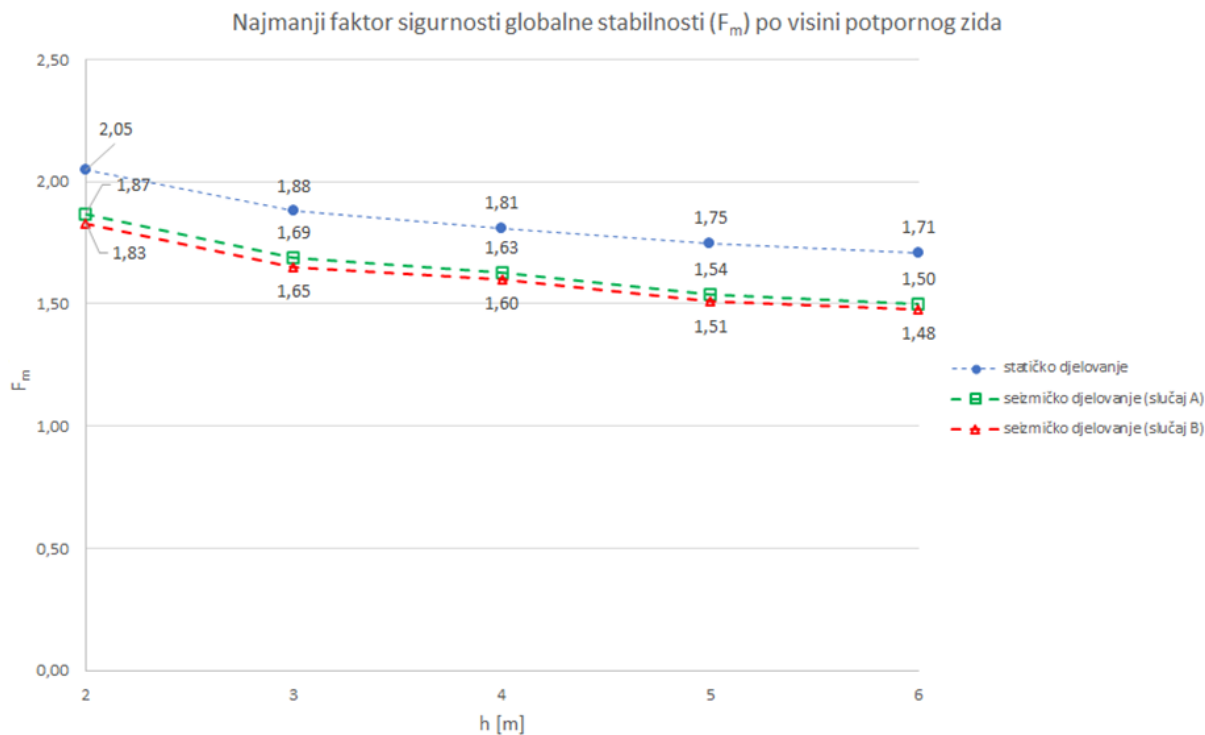


Slika 7. Dijagram stupnja iskoristivosti nosivosti temeljnog tla, za zadane visine potpornog zida

Kancijan, M., Despinić, P. K., Soldo, B., Aniskin, A., Đurin, B.

Prilog analizi često izvođenih armiranobetonskih potpornih zidova

Provjera globalne stabilnosti provedena je u računalnom programu „GEO5 – Konzolni zid (demo verzija)“, metodom granične ravnoteže, pri čemu je korištena Bishopova metoda za određivanje kritične klizne plohe, tj. plohe s najmanjim faktorom sigurnosti [8], $F_m > 1$. Dobiveni rezultati proračuna za svaki pojedini potporni zid prikazani su na dijagramu na Slici 8.



Slika 8. Dijagram kretanja iznosa najmanjeg faktora sigurnosti globalne stabilnosti, F_m za zadane visine potpornog zida

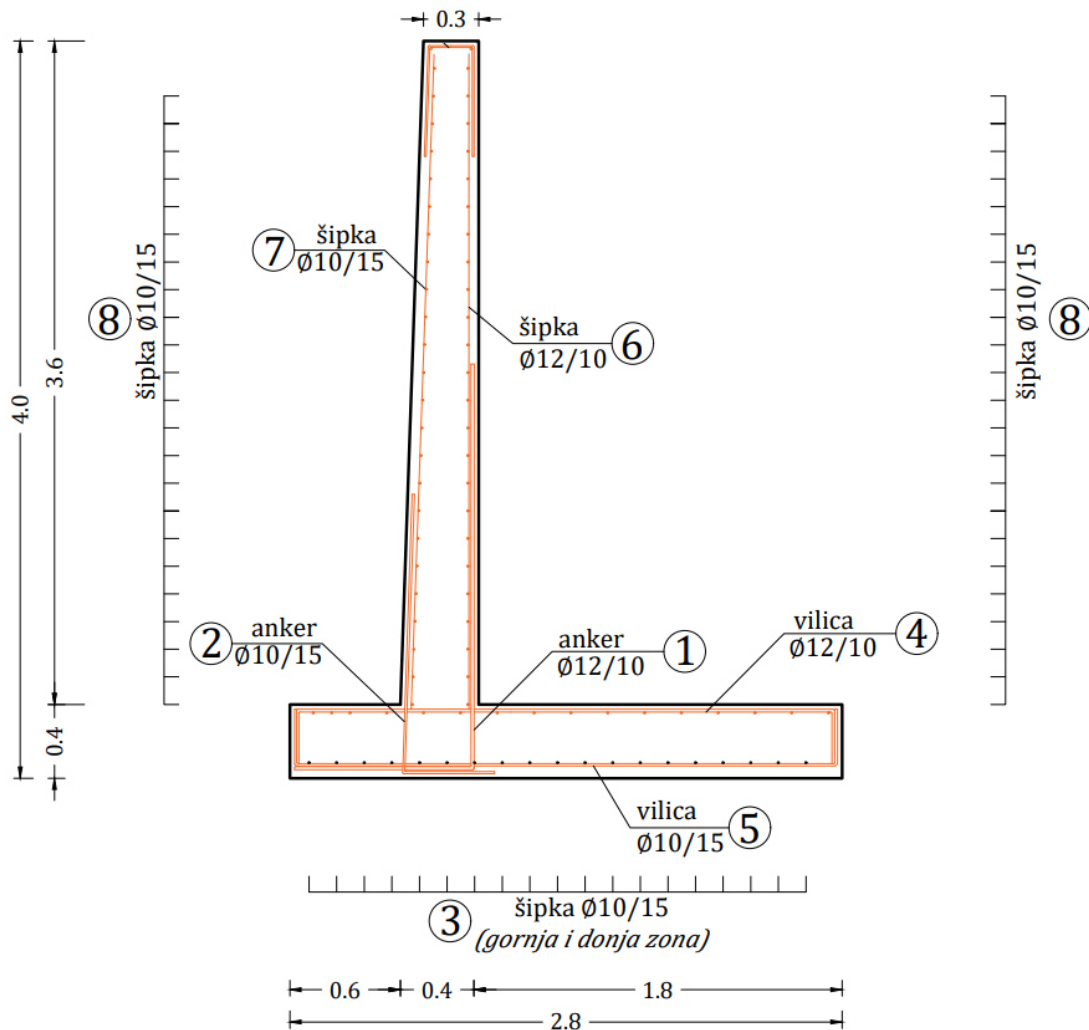
5.2 Količina armature

U Tablici 3., dan je prikaz količine armature za svaki pojedini potporni zid i to za dužinu zida od 5 m, 1 m, te količina za 1 m³ betona.

Tablica 3. Rekapitulacija armature za usporedne visine potpornog zida

Visina potpornog zida:	6 m	5 m	4 m	3 m	2 m
Armatura za dužinu zida L=5 m [kg]	2.183,63	1.353,92	941,83	444,38	269,66
Armatura za dužinu zida L=1 m [kg]	436,73	270,78	188,37	88,88	53,93
Armatura po 1 m ³ betona [kg/m ³]	88,23	76,28	79,15	61,72	51,36

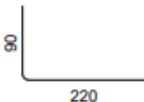
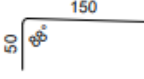

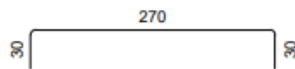

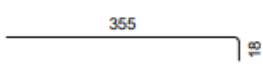
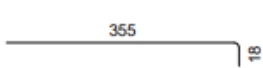


Kancijan, M., Despinić, P. K., Soldo, B., Aniskin, A., Đurin, B.

Prilog analizi često izvođenih armiranobetonskih potpornih zidovaSlika 9. Plan armature armiranobetonskog potpornog zida visine $H = 4$ m

Plan armature armiranobetonskog potpornog zida izrađen je tako da raspored horizontalne armature bude takav da se spriječi nastanak vlačnih pukotina, stoga je horizontalna armatura sa većim presjekom šipke i manjim razmakom između njih u gornjoj zoni temelja, dok je u donjoj zoni temelja raspored sa manjim poprečnim presjekom šipki na većem razmaku. Raspored vertikalne armature je takav da se u vlačnoj zoni vertikalnog elementa zida postave šipke većeg promjera na manjem razmaku, kako bi se prihvatili momenti savijanja nastali od tlaka tla. Na strani gdje ne djeluje tlak od tla (lijeva strana), armiranje je izvedeno sa šipkama manjeg promjera, na većem razmaku.

Na dijelu uklještenja zida dolazi do najvećeg momenta savijanja iz razloga što se ovakav zid može promatrati kao vertikalna konzola, stoga je u planu armature presječen dio uklještenja vertikalnom i horizontalnom armaturom, kako bi se spriječio nastanak deformacija.

Kancijan, M., Despinić, P. K., Soldo, B., Aniskin, A., Đurin, B.
Prilog analizi često izvođenih armiranobetonskih potpornih zidova

RA šipke - specifikacija za 5 m ³ potpornog zida					
ozn	oblik i mjere [cm]	Ø [mm]	lg [m]	n [kom]	lgn [m]
1		12	3,10	50	155,00
2		10	2,00	33	66,00
3		10	5,00	38	190,00
4		12	3,30	50	165,00
5		10	3,30	33	108,90
6		12	3,73	50	186,50
7		10	3,73	33	123,09
8		10	5,00	46	230,00
9		10	1,42	28	39,76

RA šipke - rekapitulacija za 5 m ³ potpornog zida			
Ø [mm]	lgn [m]	jedinična težina [kg/m ³]	težina [kg]
B500 B			
10	757,75	0,634	480,41
12	506,50	0,911	461,42
Ukupno za 5 m³ potpornog zida:			941,83 kg

Slika 10. Iskaz armature armiranobetonskog potpornog zida visine H = 4 m

Kancijan, M., Despinić, P. K., Soldo, B., Aniskin, A., Đurin, B.

Prilog analizi često izvođenih armiranobetonskih potpornih zidova

6. ZAKLJUČAK

Zbog niza prednosti u odnosu na ostale tipove zasipanih potpornih konstrukcija, AB potporni zidovi se vrlo često primjenjuju u graditeljstvu, prvenstveno u saniranju i sprečavanju nastanka klizišta. Osim relativno jednostavne izvedbe, pokazali su se i ekonomski isplativima.

Prije samog početka projektiranja potrebno je provesti preliminarnu razredbu konstrukcije s obzirom na opseg i složenost geotehničkih istražnih radova. Tim se postupkom potporne građevine svrstavaju u jednu od tri geotehničke kategorije, sa svrhom što racionalnijeg i ekonomičnijeg pristupa projektu. Proračunom, zajedničkim za sve tipove potpornih zidova, dokazuje se stabilnost konstrukcije u interakciji s tlom na granična stanja nosivosti, odnosno, provjerava se stabilnost na prevrtanje, klizanje, nosivost temeljnog tla te globalna stabilnost potpornog zida, kao i dokaz otpornost presjeka na sve sile koje djeluju na potporni zid.

Pored statičkih, na potporne građevine mogu djelovati i seizmičke sile, koje svojim djelovanjem znatno utječu na stabilnost, pogotovo na stabilnosti konstrukcije na klizanje. Stoga ih je potrebno projektirati tako da za vrijeme potresa i nakon njega ne pretrpe značajnija strukturalna oštećenja te da se ne naruši niti jedno granično stanje ravnoteže.

Primjenom pojednostavljene metode proračuna, korištenjem Mononobe-Okabeovih izraza za fleksibilne te određenog izraza za krute potporne konstrukcije, na jednostavan se način dinamička potresna sila preračunava u pseudostatičku silu a daljnji postupak proračuna provodi isto kao sa statičkim silama.

U sklopu proračunskog dijela, primjenom Europskih normi za geotehničko projektiranje, EN 1997-1 i projektiranje konstrukcija otpornih na potres, EN 1998-5 [9], proveden je statički i seizmički proračun AB konzolnog potpornog zida, visina 2, 3, 4, 5 i 6 m. Iz dobivenih rezultata proračuna na granična stanja nosivosti konstatirano je da zadana geometrija svih potpornih zidova zadovoljava. Iz provedenih se proračuna može izvući zaključak kako faktor sigurnosti na prevrtanje raste s povećanjem visine, za visinu od 2 m iznosi 1,99, dok za najveću visinu od 6 m iznosi 2,93. Faktor sigurnosti na klizanje također raste s povećanjem visine, što ukazuje da je konstrukcija visine 6 metara manje sklona klizanju od one visine 2 metra, tako da za visinu od 2 metra faktor sigurnosti iznosi 1,35, dok za najveću visinu od 6 metara iznosi 1,77. Navedeni zaključak vrijedi samo za slučaj kao u prikazanom primjeru s uključenim djelovanjem vanjskog opterećenja iza zida.

LITERATURA

1. Eurocode 7: Geotehničko projektiranje – 1. dio: Opća pravila (EN 1997-1:2004)
2. Roje-Bonacci, T.: Potporne građevine i građevne jame, Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split, 2005.
3. Mišćević, P., Štambuk Cvitanović, N., Vlastelica, G.: Dimenzioniranje gravitacijskih potpornih zidova, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu, Split, 2020.
4. Mitrović, P.: Sanacija klizišta i nedovoljno nosivog tla, AGM knjiga, Beograd, 2014.
5. Despinić, P. K.: Prilog analizi često izvođenih armiranobetonskih potpornih zidova. Diplomski rad. Varaždin: Sveučilište Sjever, 2022.
6. Szavits-Nossan, A., Ivšić, T.: Novi Eurokod 7: geotehničko projektiranje, Priopćenje 4. savjetovanja HGD-a, Ojačanje tla i stijena, Opatija, 2006.
7. Ibrahimović, A., Mandžić, K.: Sanacija klizišta, Mikroštampa, Tuzla, 2013.
8. Szavits-Nossan, V.: Mehanika tla i stijena, Predavanja, Građevinski fakultet u Zagrebu
9. Eurocode 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 5.dio: Temelji, potporne konstrukcije i geotehnička pitanja (EN 1998-5:2004).