

GRAĐEVINSKA FORENZIKA U GEOTEHNIČKIM ZAHVATIMA

ŽELJKO LEBO ¹, IVAN DOLIBAŠIĆ ², MIRELA BUREČIĆ ŠAFRAN ³, IVAN LEBO ⁴

¹ Tehničko veleučilište u Zagrebu – Graditeljski odjel, Av. V. Holjevca 15, Zagreb, Hrvatska

² Tehničko veleučilište u Zagrebu – Graditeljski odjel, Av. V. Holjevca 15, Zagreb, Hrvatska

³ Tehničko veleučilište u Zagrebu – Graditeljski odjel, Av. V. Holjevca 15, Zagreb, Hrvatska

⁴ Student - Tehničko veleučilište u Zagrebu – Graditeljski odjel, Av. V. Holjevca 15, Zagreb, Hrvatska

Sažetak

U radu se prikazuju osnovni principi prikupljanja i analize podataka pri provedbe forenzike u graditeljstvu nad hazardima geotehničkih konstrukcija. Kroz rad se navode mjere i principi koji su nužni u stavljanju koncepta pripreme kao dobre podloge pri samoj forenzici u geotehničkim konstrukcijama. Radom se obuhvaćaju provjere tehničkih značajki definiranih projektnom dokumentacijom, zatim redosljed i faze izvođenja građevinskih radova, kontrolu kvalitete izvedenih radova kao i komunikaciju između sudionika u realizaciji projekta. U radu se navodi primjer geotehničkog hazarda tj. sloma konstrukcije potpornog zida u kojem je nastala materijalna šteta ali na sreću bez ljudskih žrtava. Radom je pokazan forenzički postupak otkrivanja uzroka nastanka štetnog događaja. Pokazana je metodologija rada forenzičkog nalaza metodom korak po korak uz provedbu povratnih analiza i verifikacije projektiranih postupaka dimenzioniranja, odnosno iznalaženja kritičnih veličina momenata savijanja i poprečnih sila za navedeni poprečni presjek konstrukcije. Geotehničkim analizama je pokazan propust prilikom projektiranja, odnosno dimenzioniranja a kasnije i izvedbe potpornog zida. Na kraju su navedene smjernice za buduće slične zahvate u vidu izvedbe geotehničkih potpornih konstrukcija uz poštivanje trenutno važeće geotehničke regulative u Republici Hrvatskoj.

Ključne riječi

građevinska forenzika, geotehnički hazard, potporna konstrukcija, Eurokod 7

1 Uvod

Potporne konstrukcije su masivne ili raščlanjene, trajne ili privremene građevine koje podupiru vertikalne ili strme zasjeka terena ili nasuti materijal. Njima se osiguravaju slobodni prostori potrebni za promet, zgrade, skladišta i sl. Potporne konstrukcije mogu biti samostalne ili sastavni dio građevine, te one kao takve bivaju geotehničke građevine obzirom da prvenstveno preuzimaju opterećenja od tla. U ovom radu govorit ćemo o potpornoj konstrukciji armiranobetonskog zida.

Potporne konstrukcije redovito podupiru nasuti materijal kojemu je površina iza zida na višoj koti nego što je kota terena ispred konstrukcije zida, te iz tog razloga materijal iza zida nazivamo zasip. Razne su mogućnosti primjene potpornih zidova u građevinarstvu, primjenjuju se u usjecima i nasipima za ceste i željeznice, pri izradi platoa za zgrade u zasjeku ili na nasipu, u situacijama kad su prometne površine u gradovima iznad razine okolnog terena, kod pristupne rampe za visoke mostove ili usjeka ispod nivoa terena, te kod pristupa u tunele, pothodnike i sl.

Osnovna podjela potpornih konstrukcija ovisi o vrsti materijala, o načinu preuzimanja i prijenosa opterećenja te o trajnosti same potporne konstrukcije. Prema načinu oblikovanja i prijenosu opterećenja u tlo razlikujemo nekoliko vrsta potpornih konstrukcija: masivni potporni zid, konzolni AB zid, zid od armiranog tla, zagatna stijena, sidrena građevina, zagatna konstrukcija te kombinacije navedenih skupina. Prema Eurokodu 7 potporne konstrukcije su podijeljene u tri osnovne skupine: gravitacijski zidovi, zagatne stijene i složene potporne građevine, koje ujedno uključuju i građevine nastale kombinacijom prethodnih dviju vrsta kao i preostale potporne konstrukcije koje ne spadaju u prethodno navedene dvije skupine. Kad govorimo o AB potpornim zidovima, najčešći tip takve vrste konstrukcije jest konzolni AB potporni zid koji se sastoji od vertikalne konzole nazvanu još i tijelom zida koja je uklještena u temeljnu ploču nazivanu temeljnom stopom zida. Uz navedeni tip zida nalazimo još konzolni AB zid sa kontraforama koji se koristi za veće visine, a izvedena rebra za ukrutu nazvana kontrafore pružaju dodatnu stabilnost konstrukcije što u nekim uvjetima doprinosi i smanjenju debljine stijenske tijela zida.

2 Građevinska forenzika

Građevinska forenzika je specijalizirana grana građevinarstva koja se bavi istraživanjem uzroka oštećenja, kvarova i urušavanja građevinskih objekata. Razvojem moderne gradnje i složenijih konstrukcijskih sustava raste i potreba za stručnim analizama u slučajevima kada dođe do problema na objektima. Građevinska forenzika ima važnu ulogu u utvrđivanju odgovornosti, procjeni sigurnosti te sprječavanju ponavljanja istih pogrešaka u budućnosti.

Pojam „forenzika“ odnosi se na primjenu stručnih znanja u svrhu utvrđivanja činjenica, najčešće u sudskim postupcima. U građevinarstvu to znači detaljnu tehničku analizu objekta kako bi se utvrdilo:

- što je uzrokovalo oštećenje
- je li došlo do pogreške u projektiranju
- jesu li radovi izvedeni sukladno projektu
- je li korišten odgovarajući i kvalitetan materijal

Građevinska forenzika predstavlja spoj tehničke analize, inženjerskog znanja i pravne odgovornosti.

Područja primjene.

Građevinska forenzika primjenjuje se u različitim situacijama, kao što su:

- pojava pukotina i deformacija konstrukcije
- slijeganje temelja
- problemi s vlagom i hidroizolacijom
- oštećenja nakon potresa, požara ili poplave
- djelomično ili potpuno urušavanje objekta
- sudski sporovi između investitora, izvođača i projekatanta

U praksi se često koristi kod procjene štete za potrebe osiguravajućih društava ili tijekom sudskih postupaka.

Metode rada.

Postupak građevinsko-forenzičkog ispitivanja obuhvaća više koraka:

1. Vizualni pregled građevine
2. Dokumentiranje oštećenja (fotografiranje i mjerenje)
3. Analizu projektne i tehničke dokumentacije
4. Ispitivanje ugrađenih materijala (laboratorijska analiza)
5. Statističke i proračunske analize konstrukcije
6. Izradu stručnog nalaza i mišljenja

Na temelju dobivenih rezultata donosi se zaključak o uzroku oštećenja i eventualnoj odgovornosti sudionika u gradnji.

Građevinska forenzika ima iznimno važnu ulogu u suvremenom građevinarstvu. Ona omogućuje utvrđivanje uzroka oštećenja, povećava sigurnost građevina i doprinosi profesionalnoj odgovornosti svih sudionika u procesu gradnje. Osim što pomaže u rješavanju sporova, građevinska forenzika doprinosi i unapređenju kvalitete budućih građevinskih projekata.

3 Zadatak građevinske forenzike u ovom radu

Zadatak ovog rada jest dati uvid u postupak i proces izrade građevinskog forenzičkog nalaza po nastanku štetnog događaja, odnosno hazarda sloma i urušavanja potpornog zida u krugu prostora jednog skladišnog centra u Pisarovini. Potrebno je iznaći uzorke koji su doveli do urušavanja potpornog zida, te ocijeniti odgovornost pojedinih sudionika u gradnji.

Lokacija predmetnog potpornog zida je u Pisarovini na k.č.br. 2429/1, k.o. Lijevo Sredičko.



Slika 1. Prikaz lokacije

Prema izjavama naručitelja predmetna armiranobetonska konstrukcija, potporni zid na parceli, izveden je od strane izvođača radova u skladu s dokumentacijom građevinske dozvole. Međutim nakon određenog vremena eksploatacije (oko 4 mjeseca nakon dovršetka radova), došlo je do sloma konstrukcije AB potpornog zida u središnjem dijelu duljine uz cestu okolo objekta hale kao i do urušavanja zasipnog materijala iza samog potpornog zida, (Slika 4).

Građenje građevine kao i geotehničkih konstrukcija uz i oko građevine je dopušteno sukladno izdanoj građevinskoj dozvoli i u skladu sa glavnim projektom koji je sastavni dio građevinske dozvole. Glavni projekt sadržava 4 mape i jedan geotehnički elaborat. Izvođenje radova je započeto 27. studenog 2023. godine, a dovršeno 30. srpnja 2024. godine. Za vrijeme izvođenja radova vođen je e-dnevnik s ukupno 181 listova. Po završetku radova obavljen je tehnički pregled i dobivena je Uporabna dozvola 26. rujna 2024. godine. Prema izjavi investitora urušavanje konstrukcije potpornog zida se dogodilo 28. studenog 2024. godine.

4 Metode

Metode korištene pri koncipiranju i razradi građevinskog forenzičkog nalaza prikazane u nastavku sastoje se od:

1. vizualnog pregleda građevine, odnosno obilaska gradilišta(in-situ)
2. dokumentiranja oštećenja, mjerenja i fotografiranja
3. analize projektne i tehničke dokumentacije prikupljene od naručitelja nalaza i investitora.

4.1 Vizualni pregled građevine, odnosno obilazak gradilišta

U vidu prikupljanja podataka in-situ, podrazumjeva se fotodokumentiranje zatečene situacije i stanja geotehničkih konstrukcija prije i neposredno nakon samog hazarda, kako bi se verificirale potencijale prijetnje i naznake o mogućim novim urušavanjima i destabilizaciji konstrukcije kao i terena uzrokovanih nastalim hazardom.

Promatrajući potpornu konstrukciju neposredno prije samog hazarda, uočava se kompletno potopljen i natopljen zasip iza zida (Slika 2 lijevo gore) koji upućuje naloše izveden drenažni sustav. Tako natopljen zasip iza zida uz prisutnost mikro pukotina u konstrukciji, omogućava prodor vode kroz samu konstrukciju potpornog zida (Slika 2 desno-gore). Može se uočiti kako potporni zid nema izvedene procjednice (barbakane) što u kombinaciji sa loše izvedenom drenažom iza potporne konstrukcije za posljedicu ima natapanje tla zasipa iza zida (saturiranje tla) za vrijeme oborina. Takva situacija za vrijeme oborina dovodi do pojave pornog tlaka u punoj visini zida što u zatečenim uvjetima i za predmetnu situaciju rezultira maksimalnom hidrostatskom silom na potpornu konstrukciju. Ukoliko zasip ostaje natopljen (saturiran), a potporna konstrukcija (zid) nije dimenzionirana na utjecaj hidrostatske sile na potpornu konstrukciju, tada je taj scenarij koban za gradnično stanje nosivosti konstrukcije.



Slika 2. Situacija potpornog zida na lokaciji neposredno prije hazarda

4.2 Dokumentiranje oštećenja, mjerenja i fotografiranje

U vidu prikupljanja podataka in-situ, podrazumjeva se fotodokumentiranje zatečene situacije i stanja geotehničkih konstrukcija prije (ako se raspolaže tim podacima) i neposredno nakon samog hazarda, kako bi se verificirale potencijale prijetnje i naznake o mogućim novim urušavanjima i destabilizaciji konstrukcije kao i terena uzrokovanih nastalim hazardom.

Nakon otjecanja zarobljene vode, te po disipaciji purnog tlaka u zasipu iza zida, primjećuje se pomak zida u kruni (slika 2 lijevo-dolje) za min. 5-7 cm od osi prema cesti oko objekta, te se dodatno uočava aktiviran pasivni dio ispred lica/stope potpornog zida (slika 2 desno-dolje), što je ujedno i pokazatelj destabilizacije zida u vidu translacije potpornog zida, a kasnije i rotacije. Uočava se kako je situacija u kojoj zasip iza zida biva kompletno natopljen vodom dosegla granično stanje nosivosti obzirom na slom konstrukcije (STR).



Slika 3. Situacija potpornog zida i nasipa iza zida neposredno nakon hazarda 1. dilatacije

Nadalje, po obilasku lokacije neposredno nakon hazarda uočava se kako je zasip iza potporne konstrukcije i dalje saturiran tj. drenaža iza zida jako slabo funkcionira, i tlo iza zida je i dalje natopljeno vodom, dodatno je uočena destabilizacija i naboranost naipa iza potporne konstrukcije (Slika 3).

Nastavno na zatečenu situaciju i potencijalne opasnosti, utvrđeni su i date mjere investitoru za daljnje postupanje kako bi se smanjila opasnost od eventualnih dodatnih rizika uz obavezan oprez glede očuvanja dokaza neophodnih za provedbu građevinske forenzike.



Slika 4. Mjerenje dimenzija armature (promjer i razmak šipki) potpornog zida

Detaljnim pregledom (očevid) građevine i objekata obavlja se uzimanjem uzoraka i provedba potrebnih izmjera dimenzija elemenata, armature i sl. (slika 4). Utvrđena je širina temeljne stope zida od 160 cm i konstantna širina tijela potpornog zida od 30 cm. Ugrađena armatura u kritičnom poprečnom presjeku zida prema promjeru također je sukladna izvedbenom projektu dok je razmak ugrađene armature veći nego onaj predviđen projektom (20cm).

4.3 Analiza projektne dokumentacije

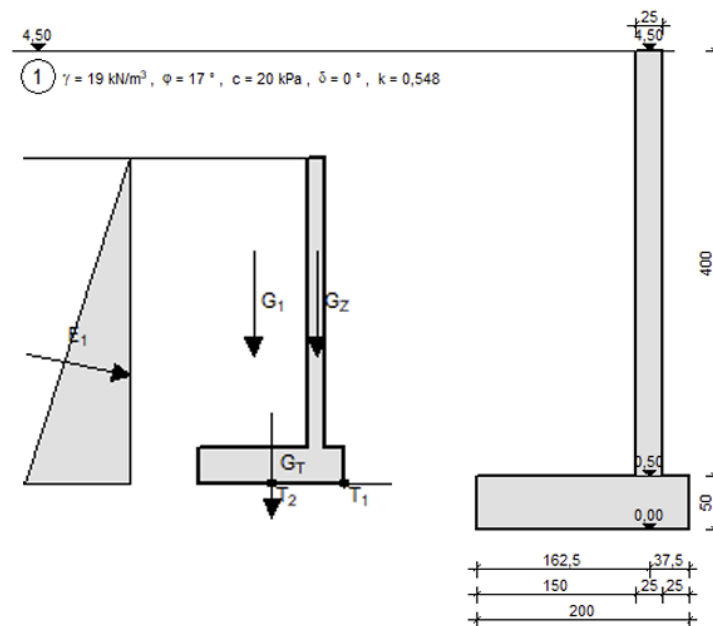
Analizirajući dostupnu i dostavljenu projektnu dokumentaciju, uočavaju se određena odstupanja u geometriji potpornog zida između Glavnog i Izvedbenog projekta konstrukcije. Geotehnički parametri su odabrani sukladno uputi iz geotehničkog elaborata koji je prethodio izradi projektne dokumentacije. Uviđa se kako izračun stabilnosti potpornog zida nije izrađen sukladno Eurokodu 7, HRN EN 1997 – Geotehničko projektiranje (s nacionalnim dodatcima), te se uočava ne uzimanje u obzir svih sila koje djeluju na potpornu

konstrukciju ovakvog tipa, također može se primjetiti kako nisu provedene sve provjere koje treba provesti pri dimenzioniranju potpornog zida.

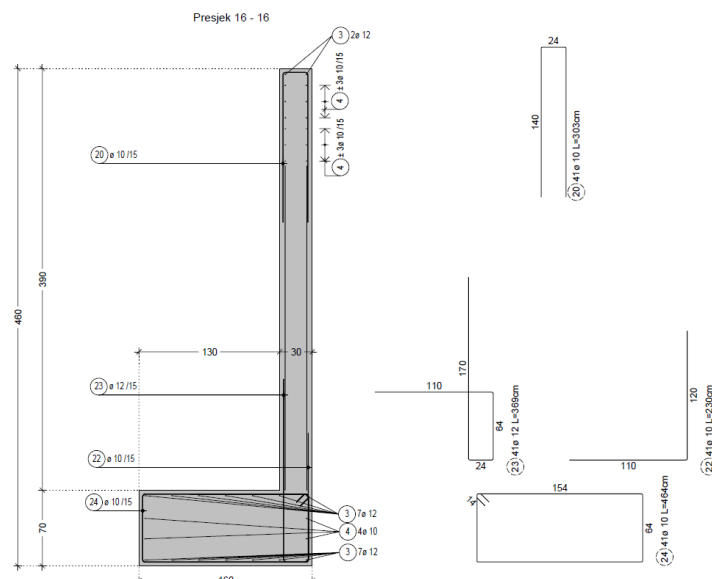
4.3.1 Odstupanja projektne dokumentacije između glavnog i izvedbenog projekta

Uvidom u nacrt potpornog zida iz glavnog projekta konstrukcije, Slika 5. te uvidom u nacrt potpornog zida definiranom u izvedbenom projektu konstrukcije, Slika 6, primjećuju se određena odstupanja: U glavnom projektu širina zida iznosi 25 cm, dok u izvedbenom projektu širina zida iznosi 30 cm, dalje uspoređujući, u glavnom projektu temeljna stopa širine je 200 cm, dok je u izvedbenom projektu temeljna stopa širine 160 cm. Nadalje, u glavnom projektu statička visina temeljne stope je 50 cm, dok je u izvedbenom projektu 70 cm, nadalje "peta" temelja zida, u glavnom projektu definirana je širine 25 cm dok u izvedbenom projektu zid nema "petu" uopće.

Zasip iza potpornog zida u visini je krune zida što ne odgovara stvarno izvedenoj situaciji na terenu.



Slika 5. Poprečni presjek predmetnog potpornog zida, Glavni projekt



Slika 6. Poprečni presjek predmetnog potpornog zida, Izvedbeni projekt

4.3.2 Analiza dokumentacije glavnog i izvedbenog projekta

Na temelju očevida može se sa sigurnošću zaključiti da je predmetni potporni zid na parceli izveden prema Izvedbenom projektu konstrukcije. Predmetni armiranobetonski potporni zid je u navedenoj projektnoj dokumentaciji kod rekapitulacije i iskaza armature definiran kao "12. L604-2023-ARM-15-Potporni zid", a isti je ukupne ravne duljine gotovo 80 m (79.77 m), te prikazan tlocrtno i poprečnim presjekom (presjek 16 – 16) kao i pogledom. Na slici 7, prikazan je poprečni presjek potpornog zida koji je predmet građevinskog forenzičkog nalaza.

Po provedenom detaljnom uvidu u izvedbenu dokumentaciju, uočavaju se dimenzije potpornog zida kako slijedi: Širina temeljne stope 160 cm, širina tijela zida 30 cm, visina temeljne stope 70 cm, visina denivelacije 390 cm, ukupna visina zida 460 cm.

Sukladno izvedbenom projektu predmetni potporni zid je armiran je na sljedeći način (za 1m' zida).

Temeljna stopa je armirana sa pozicijom 24., gdje piše 7 kom $\Phi 10$ mm ukupne duljine $L= 464$ cm. Tijelo zida (prema tlu) armirano je sa pozicijom 23, gdje piše 7 kom $\Phi 12$ mm ukupne duljine $L= 369$ cm u spoju sa temeljnom stopom te sa armaturnim mrežama Q 524 u preostalom dijelu tijela prema vrhu zida. Tijelo zida (prema hali) armirano je sa pozicijom 22, gdje piše 7 kom $\Phi 10$ mm ukupne duljine $L= 230$ cm u spoju sa temeljnom stopom te sa armaturnom mrežom Q 335 u preostalom dijelu tijela prema vrhu zida. Tijelo zida u vrhu armirano je sa pozicijom 20, gdje piše 7 kom $\Phi 10$ mm ukupne duljine $L= 303$ cm. Navedena količina armature je predviđena za 1m' duljine zida.

Sve armaturne šipke su kvalitete armaturnog čelika B500B.



Slika 7. Izvedena drenaža iza potpornog zida

Na lokaciji nakon hazarda utvrđeno je da drenaža iza zida nije izvedena sukladno traženoj projektnoj dokumentaciji što možemo vidjeti na Slici 7. Iznad perforirane drenažne cijevi nema drenažnog filtera od kamenog materijala niti je ugrađen geotekstil već je drenažna cijev ugrađena u podnožje zida i ista je "zatrpana" tj. preko iste je položen zemljani materijal slabe propusnosti kroz koji zarobljena voda vrlo teško i jako sporo struji prema drenažnom rovu, što za posljedicu ima zadržavanje vode unutar zasipa.

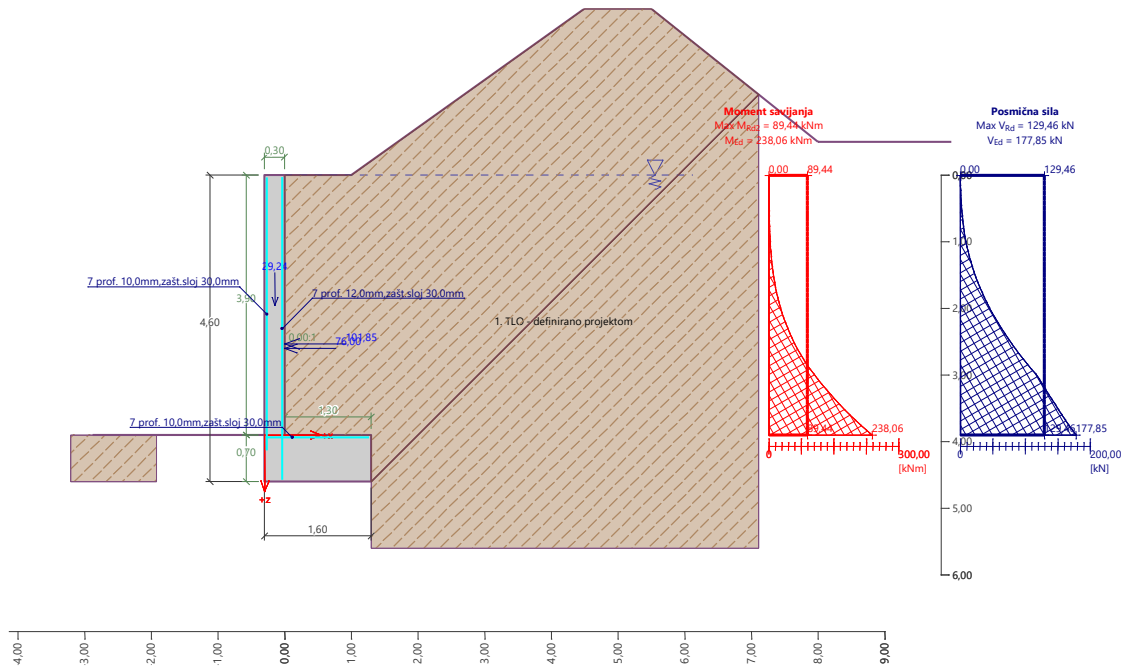
5 Rezultati geomehaničkih analiza u forenzičkom postupku

U ovom poglavlju prikazani su rezultati geomehaničkih analiza sukladno dostupnoj dokumentaciji te svim dostupnim parametrima nakon uvida po štetnom događaju. Za potrebe i pri provedbi geomehaničke analize

(za statičke i seizmičke uvjete), preuzeti su podaci o temeljnom tlu kao i o tlu zasipa iza potporne konstrukcije, preuzete su također i dimenzije tj. geometrija izvedenog nasipa iza potporne konstrukcije kao i dimenzije same potporne konstrukcije armiranobeonskog potpornog zida.

5.1 Geostatička naponsko deformacijska analiza potpornog zida – 2D

U ovom poglavlju prikazana je naponsko deformacijska analiza potpornog zida za 1m` zida sukladno stvarnim uvjetima zatečenim na terenu (ugrađenj armaturi).



Slika 8. Prikaz rezultata - geostatička naponsko deformacijska analiza potpornog zida - 2D za 1m` zida

Tablica 1. Prikaz rezultata dimenzioniranja AB elementa

Provjera naprezanja u kritičnom presjeku na spoju tijela i stope zida		Provjera naprezanja u kritičnom presjeku na spoju tijela i stope zida	
Ugrađena armatura: 7kom $\phi 12.0\text{mm}$		Ugrađena armatura: 7kom $\phi 10.0\text{mm}$	
Proračunska otpornost Momenta savijanja:	$M_{Rd} = 89.44 \text{ kNm}$	Proračunska otpornost posmična sila otpora:	$V_{Rd} = 129.46 \text{ kN/m}$
Proračunski učinak djelovanja Momenta savijanja:	$M_{Ed} = 238.06 \text{ kNm}$	Proračunski učinak posmična sila:	$V_{Ed} = 177.85 \text{ kN/m}$
$M_{Ed} > M_{Rd}$ Poprečni presjek NE ZADOVOLJAVA $U = 266.17\%$		$V_{Ed} > V_{Rd}$ Poprečni presjek NE ZADOVOLJAVA $U = 137.38\%$	

Po provedenoj geostatičkoj analizi (Slika 8.) i rezultatima dimenzioniranja prikazanim Tablicom 1. vidljivo je da ugrađena armatura potpornog zida za segment od 1m` zida nije zadovoljavajuća. Može se uočiti kako proračunski učinak djelovanja momenta savijanja (M_{Ed}) u kritičnom presjeku zida na kontaktu tijela i temeljne stope zida iznosi $M_{Ed} = 238.06 \text{ kNm}$ što će reći kako je isti znatno veći nego proračunska otpornost momenta savijanja (M_{Rd}) ostvarena ugradnjom projektom definirane armature u istom presjeku koji iznosi $M_{Rd} = 89.44 \text{ kNm}$.

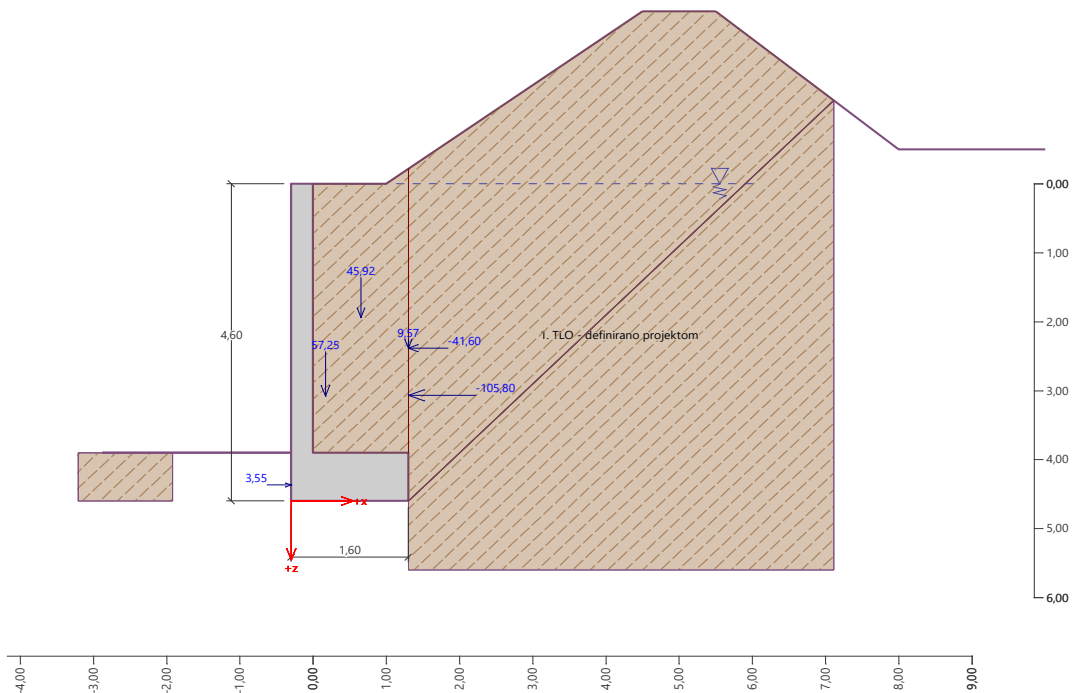
Uočavamo kako je proračunski učinak djelovanja momenta savijanja (M_{Ed}) na potpornu konstrukciju u kritičnom presjeku gotovo 2.6 puta veći nego proračunska otpornost momenta savijanja (M_{Rd}) ostvarena ugrađenom armaturom.

5.2 Geostatička analiza na klizanje i prevrtanje potpornog zida

S obzirom na dobivene ne zadovoljavajuće rezultate minimalno potrebne armature u kritičnom poprečnom presjeku konstrukcije potpornog zida, provedene su i geostatičke analize u vidu provjere na klizanje (translaciju) i prevrtanja potpornog zida kako bi dobili potpunu analizu stabilnosti potpornog zida. Provjeravana su granička stanja nosivosti STR, GEO i EQU. Rezultati analize na klizanje i prevrtanje potpornog zida prikazani su Tablicom 3.

Tablica 2. Sile koje djeluju na konstrukciju

Naziv	F_x [kN/m]	F_y [kN/m]	d_x [m]	d_y [m]
Težina – zid	0.00	57.25	0.47	-1.53
FF otpornost prednjeg lica	3.55	0.00	0.00	-0.23
Težina – zemljani klin	0.00	96.94	0.95	-2.66
Aktivni pritisak	-99.16	19.61	1.60	-1.87
Pritisak od vode	-105.80	0.00	1.60	-1.53



Slika 9. Analiza sile koje djeluju na konstrukciju

Tablica 3. Rezultati analize na prevrtanje i klizanje potpornog zida

Provjera stabilnosti na prevrtanje		Provjera stabilnosti na klizanje	
Moment otpora:	$M_{res} = 85.89$ kN/m	Horizontalna sila otpora:	$H_{res} = 27.58$ kN/m

Moment prevrtanja:	$M_{ovr} = 253.63 \text{ kN/m}$	Aktivna horizontalna sila:	$H_{act} = 143.86 \text{ kN/m}$
$M_{ovr} > M_{res}$ Zid za prevrtanje NE ZADOVOLJAVA $U = 295.30\%$		$H_{act} > H_{res}$ Zid za klizanje NE ZADOVOLJAVA $U = 521.70\%$	

Kod provjere na prevrtanje potpornog zida može se uočiti kako proračunski učinak djelovanja destabilizirajućeg momenta prevrtanja iznosi $M_{ovr} = 253.63 \text{ kNm/m}$ i time biva veći nego proračunska otpornost stabilizirajućeg momenta prevrtanja koja iznosi $M_{res} = 85.89 \text{ kNm/m}$. Uočavamo kako provjera na prevrtanje ne zadovoljava obzirom da stupanj iskoristivosti iznosi više od 290%.

Nadalje, kod provjere na klizanje potpornog zida uočavamo iznos proračunskog učinka djelovanja destabilizirajuće aktivne sile od $H_{act} = 143.86 \text{ kN/m}$, dok proračunska otpornost stabilizirajuće horizontalne sile biva manja i iznosi svega $H_{res} = 27.58 \text{ kN/m}$. Provjera na klizanje potpornog zida nije zadovoljena obzirom da je stupanj iskoristivosti veći od 500%.

Obzirom da konstrukcija ne zadovoljava statičku analizu, tada seizmičku analizu nema smisla provoditi.

4 Zaključak

Uzevši u obzir sve aspekte u vidu dimenzioniranja i izvedbe predmetne potporne konstrukcije, iz svega navedenog proizlazi kako predmetna konstrukcija potpornog zida nije dimenzionirana za opterećenja koja su se ostvarila nakon izvedbe.

U analizama statičkog proračuna glavnog projekta nije obuhvaćeno nadvišenje tla zasipa iza zida, niti porni tlak vode u zasipu iza zida koji se pojavio u vrijeme padalina (kiša i snijega), što je za posljedicu imalo povećanje ukupne horizontalne sile na zid koja nepovoljno djelovala na stabilnost potpornog zida i koja je kao takva dovela do sloma i urušavanja zida.

Primarno, dimenzioniranje potpornog zida nije provedeno prema važećim propisima za proračun geotehničkih konstrukcija u RH tj. nije u potpunosti primjenjen Zakon o gradnji (NN 155/25), odnosno Eurokod 7, HRN EN 1997-1:2012 – Geotehničko projektiranje 1. dio: Opća pravila (EN 1997-1:2004+AC:2009).

Propusti u izvedbi su također doprinijeli havariji, tako u glavnom i izvedbenom projektu konstrukcije potpornog zida, teren zasipa iza zida je u ravnini s krunom zida, dok je kod izvedbe taj dio zasipa izveden u pokosu s nadvišenjem od cca 2.0 m u odnosu na krunu zida što predstavlja odstupanje u izvedbi.

Drenaža iza potpornog zida je izvedena nepropisno što je također imalo negativan utjecaj na stabilnost potpornog zida.

Navedeni primjer sadrži kompletan i cijelovit koncept pristupa u prikupljanju i razradi podataka u vidu provedbe forenzike u graditeljstvu, a u ovom specifičnom slučaju navedenog primjera slobodno možemo reći kako se uočava spona kompatibilnosti geotehnike i hidrotehnike obzirom da uviđamo jedinstveni primjer u kojem je slom geotehničke konstrukcije najvećim djelom uzrokovan hidrotehničkim utjecajem.

Građevinska forenzika predstavlja ključnu poveznicu između inženjerske prakse i pravnog sustava, osiguravajući da se svaki tehnički propust znanstveno dokaže, a ne nagađa. Njezin krajnji cilj nije samo utvrđivanje krivca i naplata štete, već povećanje sigurnosti buduće gradnje kroz učenje na prošlim pogreškama. Bez ove discipline, sanacije bi bile tek privremena estetska rješenja, a odgovornost za sigurnost ljudskih života ostala bi nedorečena.

Literatura

- Delatte, N. J. (2009). *Beyond Failure: Forensic Case Studies for Civil Engineers*. ASCE Press.
- Feld, J., & Carper, K. L. (1997). *Construction Failure*. John Wiley & Sons.
- Kaminetzky, D. (1991). *Design and Construction Failures: Lessons from Forensic Investigations*. McGraw-Hill.
- Lebo, Ž. i Dolibašić, I. (2025) *Geotehnika*. Zagreb: Tehničko veleučilište u Zagrebu
- Lebo, Ž. (2025) *Nalaz i mišljenje sudskog vještaka*. Zagreb: Geoplan d.o.o.
- Nonveiller E. (1979) *Mehanika tla i temeljenje građevina*. Zagreb: Školska knjiga
- Roje-Bonacci T. (2005) *Potporne građevine i građevne jame*. Split: Građevinsko -Arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu
- Zakon o gradnji, Narodne Novine 155/25 – Republika Hrvatska.