

**DVANAESTO MEĐUNARODNO NAUČNO – STRUČNO
SAVETOVANJE
OCENA STANJA, ODRŽAVANJE I SANACIJA GRAĐEVINSKIH
OBJEKATA**

Mirjana Vukićević¹, Sanja Jocković², Miloš Marjanović³

**OCENA UZROKA DEFORMACIJA POTPORNOG ZIDA U SKLOPU
POSTROJENJA ZA ISKORIŠĆENJE KOMUNALNOG OTPADA I
DEPONIJSKOG GASA KOMPLEKSA ZA UPRAVLJANJE OTPADOM
"VINČA"**

U ovom radu prikazana je analiza i ocena uzroka velikih deformacija potpornog zida (AB dijafragma) u sklopu postrojenja za iskorišćenje komunalnog otpada i deponijskog gasa kompleksa za upravljanje otpadom "Vinča". Prikazani su rezultati dodatnih geotehničkih istraživanja na lokaciji. Kao osnovni uzrok povećanih deformacija identifikovan je geotehnički profil terena, koji ne odgovara ulaznim podacima korišćenim u projektu konstrukcije. Dat je predlog mera sanacije izvedene konstrukcije.

Ključne reči: Potporna konstrukcija, AB dijafragma, lapor, bubrenje, injektiranje, ankeri

**ASSESSMENT OF THE CAUSES OF DEFORMATIONS OF THE RETAINING
WALL WITHIN THE MUNICIPAL WASTE AND LANDFILL GAS
UTILIZATION PLANT OF THE WASTE MANAGEMENT COMPLEX
"VINČA"**

Summary: *This paper presents the analysis and assessment of the causes of large deformations of the retaining wall (RC diaphragm) within the municipal waste and landfill gas utilization plant of the waste management complex "Vinča". The results of additional geotechnical research on the site are presented. The geotechnical profile of the terrain, which does not correspond to the input data used in the structural design, was identified as the main cause of increased deformations. A proposal of the measures for the rehabilitation of the constructed structure is also given.*

Keywords: Retaining structure, RC diaphragm wall, marl, swelling, injecting, anchors

¹ Redovni profesor (u penziji), Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd, mirav@grf.bg.ac.rs

² Docent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd, borovina@grf.bg.ac.rs

³ Docent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd, mimarjanovic@grf.bg.ac.rs

UVOD

Kompleks za upravljanje otpadom "Vinča", koji je u fazi proširenja i rekonstrukcije, predstavljaće savremen sistem za kontrolisano upravljanje komunalnim otpadom. U okviru kompleksa predviđeno je nekoliko funkcionalnih celina, kao što su: postrojenje za iskorišćenje komunalnog otpada i deponijskog gasa (spalionica komunalnog otpada), postrojenje za tretman otpadnih voda, sistem za prikupljanje deponijskog gasa, interne saobraćajnice itd. Prilikom izvođenja potpornog zida PZ3 unutar budućeg postrojenja za iskorišćenje komunalnog otpada i deponijskog gasa došlo je do pojave velikih deformacija. Građevinski fakultet u Beogradu uradio je Stručno mišljenje o uzrocima deformacija potpornog zida [1].

OPIS KONSTRUKCIJE ZIDA

Potporni zid PZ3 je projektovan [2] kao armirano-betonska dijafragma sa ankerima, dužine oko 161 m i promenljive visine. PZ3 pozicioniran je na južnoj strani postrojenja (Slika 1) i njegova uloga je zaštita iskopa glavnog platoa budućeg postrojenja. PZ3 se sastoji od 27 segmenata različite visine, koji prate nivelaciju okolnog terena i građevinsku liniju. Debljina dijafragme je $d=60$ cm. Segmenti su u vrhu povezani veznom gredom, na koju se kasnije dodaje AB zid i ograda.

U zavisnosti od visine iskopa, ankeri su projektovani u jednom ili dva reda. Prvi red ankera nalazi se na 1.5 m ispod gornje ivice PZ3, sa međusobnim razmakom ankera od 4.0 m. Na segmentima sa većim visinama iskopa nalazi se drugi red ankera, na 4.5 m ispod gornje ivice zida, sa međusobnim razmakom ankera od 1.5 m. Ankeri su prethodno napregnuti, ukupne dužine 17.0 m, sa dužinom ankerovanja od 8.0 m i minimalnim projektovanim prečnikom ankerog bloka od 450 mm. Projektovana sila u ankerima je 275-335 kN. Ankeri su izrađeni od čeličnih kablova 3×140 mm².

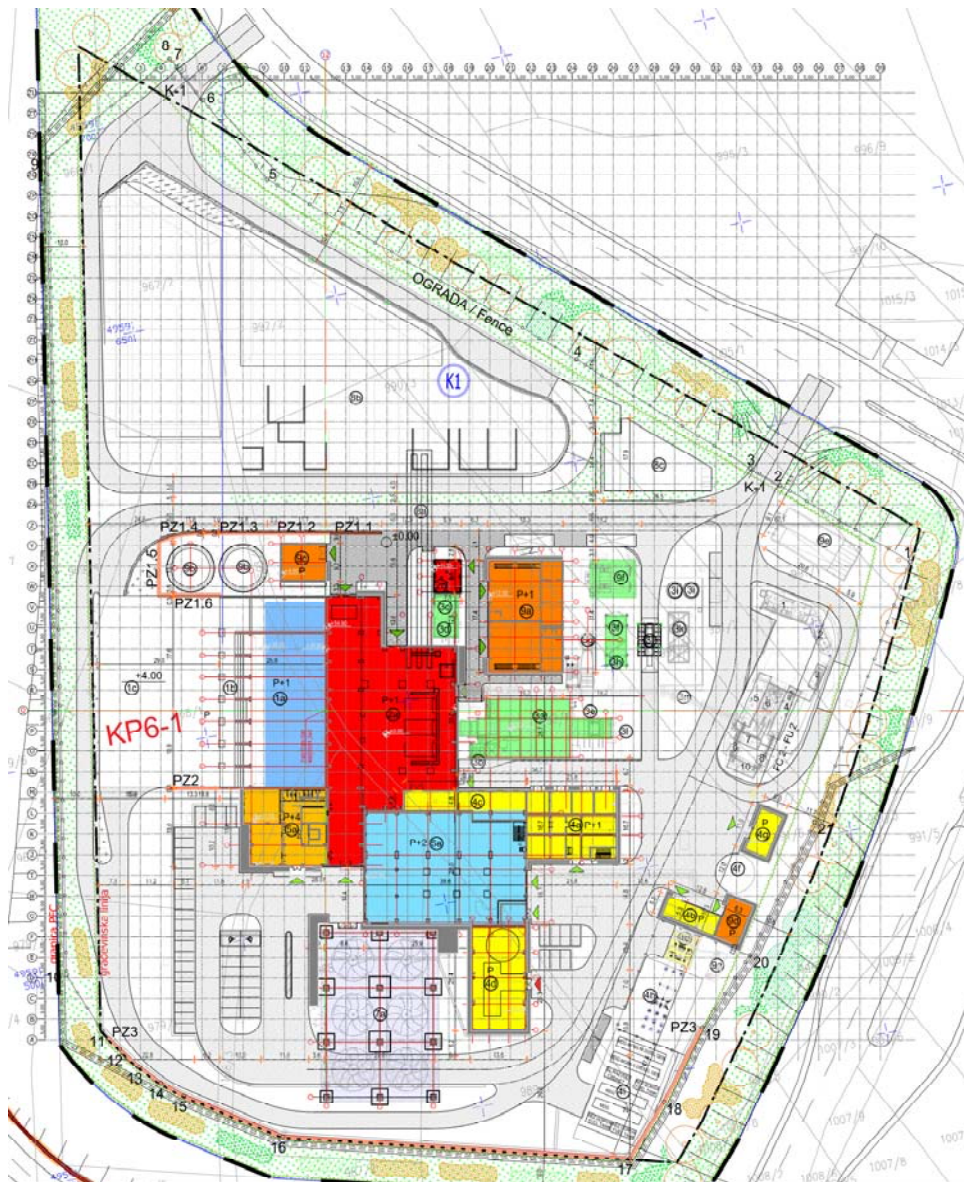
Prema projektu, predviđeno je da se izvođenje potpornog zida PZ3 vrši po sledećim fazama:

1. Izgradnja potpornog zida
2. Iskop do dubine 2.0 m
3. Izvođenje prvog reda ankera
4. Iskop do dubine od 5.0 m
5. Izvođenje drugog reda ankera
6. Iskop do maksimalne projektovane dubine od 6.3 m

Pojava velikih deformacija na PZ3 uočena je na potezu između segmenata 7-18, gde je ukupna visina PZ3 11.0 m, sa visinom iskopa od oko 6.0 m.

HRONOLOGIJA IZVOĐENJA RADOVA I POJAVE VELIKIH DEFORMACIJA ZIDA

Izvođenje AB dijafragme završeno je u februaru 2020. Nakon završetka izvođenja, na dijafragmi su montirani geodetski reperi i registrovana je nulta epoha. Sledeće opažanje izvršeno je u maju 2020, nakon iskopa do dubine od 5.0 m (za drugi red ankera). Maksimalno horizontalno pomeranje vrha dijafragme, u zoni najvećeg iskopa, iznosilo je 42-61 mm, što je u granicama projektovanih vrednosti.

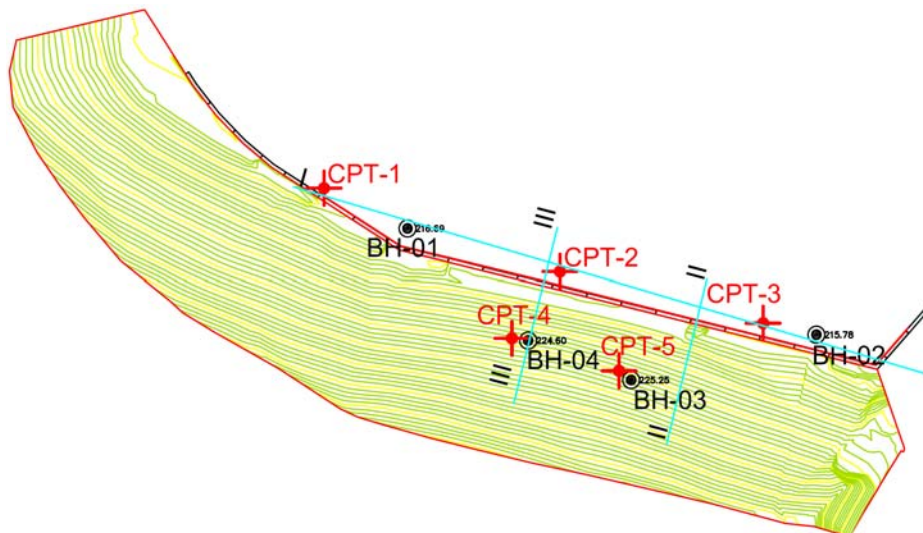


Slika 1. Položaj PZ3 [2]

Tokom faze injektiranja ankera u segmentu br.16, 28. maja 2020, došlo je do naglog, incidentnog pomeranja dijafragme. Nakon incidenta je geodetskim osmatranjem utvrđeno translatorno pomeranje zida od oko 7.0 cm u nivou segmenta 16 i dalji radovi na injektiranju ankera su obustavljeni. Sledeća geodetska osmatranja izvršena su u julu i avgustu 2020 i pokazala su da nema dodatnih pomeranja dijafragme.

GEOTEHNIČKI USLOVI U TLU

Prethodno opisana hronologija pojave velikih deformacija zida ukazuje na to da je incidentno pomeranje u vezi sa fazom injektiranja prednapregnutih ankera u tlu. Stoga su prvo izvršeni dodatni geotehnički istražni radovi: istražno bušenje (4 istražne bušotine), opiti statičke penetracije (5 opita), uzimanje neporemećenih uzoraka tla i laboratorijska geomehnička ispitivanja. Na osnovu rezultata istražnih radova formiran je geotehnički model terena. Položaj istražnih radova prikazan je na Slici 2.



Slika 2. Položaj dodatnih istražnih radova (BH - istražne bušotine, CPT - opiti statičke penetracije). Plava linija prikazuje položaje geotehničkih profila [1]

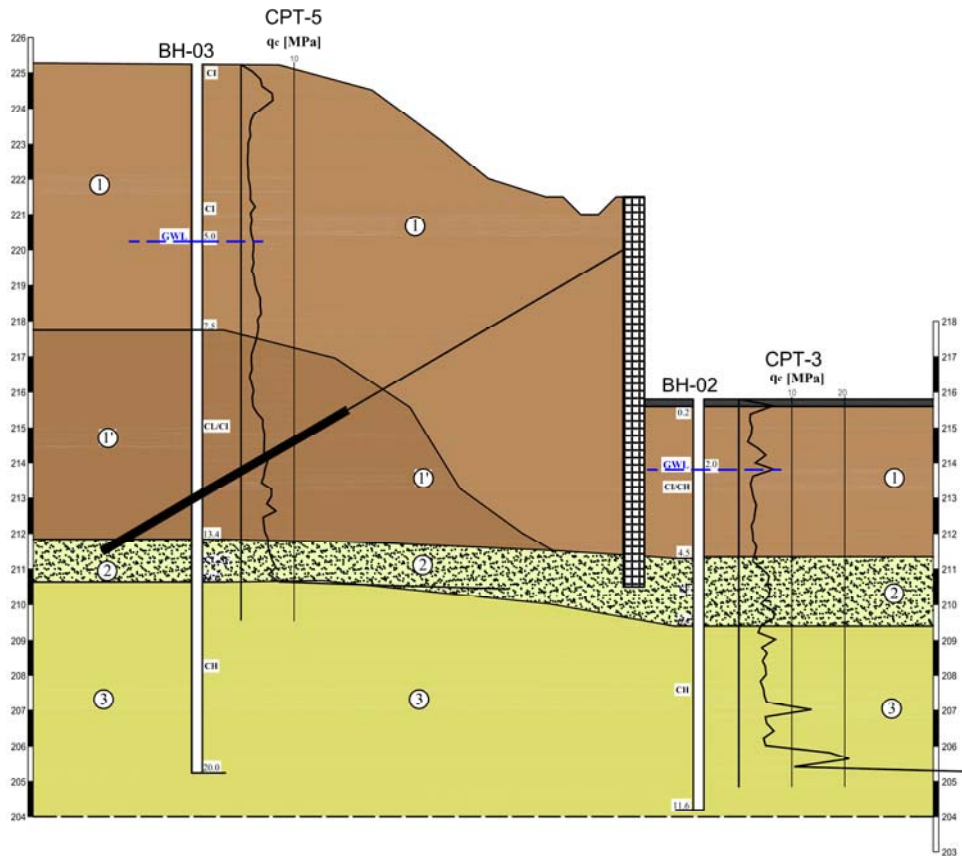
Na lokaciji PZ3 kote terena su u granicama 222-225 m.n.v. u zoni zadržanog tla, dok su na suprotnoj strani zida kote terena 216-217 m.n.v. Tlo u zoni PZ3 je zasićeno vodom, sa promenljivim nivoom podzemne vode, koji se kreće u granicama od 2.0 m (u zoni istražne bušotine BH-02) do 9.8 m (u zoni istražne bušotine BH-01). Predominantni materijal u geotehničkom profilu terena su gline srednje do visoke plastičnosti (CI - CH) i lapor. Mehaničke karakteristike identifikovanih slojeva tla prikazane su u Tabeli 1.

R.B.	Sloj	USCS	M_v (100-200 kPa) [kN/m ²]	M_v (200-400 kPa) [kN/m ²]	c' [kPa]	ϕ' [°]	q_c [kPa]
1	Glina	CI / CH	4850-9360	7750-12200	16.7-25.6	17.5-25	2000-6000
1'	Glina	CL / CI	8450	9860	29.7	19.3	2000-6000
2	Pesak						4000-6000
3	Laporovita glina	CH	6700-12800	8900-15700	3.6-36.7	13-18	4000-35000
4	Lapor	CI / CH	7700-10500	11300-14000	14.7-28.7	21.4-24.5	20000-35000

Tabela 1a. Mehaničke karakteristike slojeva tla

R.B.	Sloj	USCS	Pritisak bubrenja [kPa]	Deformacija bubrenja [%]
1	Glina	CI / CH	85-156	1.9-2.9
1'	Glina	CL / CI		
2	Pesak			
3	Laporovita glina	CH	65-230	1.8-6.8
4	Lapor	CI / CH	26-102	0.5-2.4

Tabela 1b. Mehaničke karakteristike slojeva tla

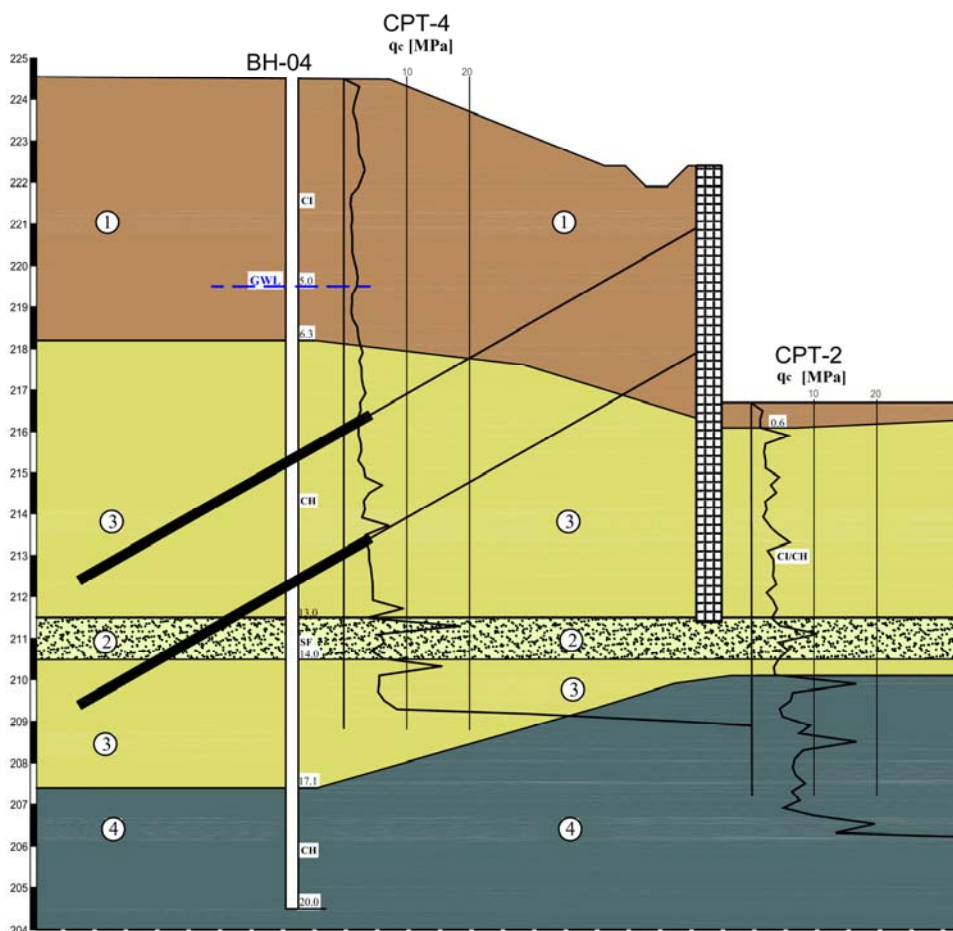


Slika 3. Položaj PZ3 u geotehničkom profilu 2-2. U ovom profilu sloj lapora nije registrovan. [1]

OCENA UZROKA INCIDENTNIH POMERANJA

Na osnovu rezultata geotehničkih terenskih istraživanja i laboratorijskih ispitivanja, na mestu PZ3 definisan je izuzetno heterogen geotehnički profil terena. Od izuzetnog značaja je sloj lapora, u kojem je projektom konstrukcije predviđeno ankerovanje prethodno napregnutih ankera.

Geotehničkim istraživanjima je, međutim, ustanovljen vrlo promenljiv položaj sloja lapora, pri čemu je ustanovljeno da većina projektovanih ankera neće biti ankerovana u laporu, već u sloju laporovite gline visoke plastičnosti, sa lošijim parametrima smičuće otpornosti i deformabilnosti. To znači da je nosivost geotehničkih ankera niža od projektovanih vrednosti. Pored toga, parametri smičuće otpornosti slojeva tla u zoni potpornog zida su niži od projektom razmatranih vrednosti, što znači da je opterećenje na PZ3 usled zemljanih pritisaka veće od projektovanog opterećenja. Takođe, projektom nije razmatran uticaj nivoa podzemne vode na potpurnu konstrukciju.



Slika 4. Položaj PZ3 u geotehničkom profilu 3-3. Sloj lapora obeležen je brojem 4. [1]

Položaj projektovanih ankera u ustanovljenom geotehničkom profilu terena prikazan je na Slikama 3-4.

Poređenjem rezultata geotehničkih terenskih istraživanja sa računskim geotehničkim profilom u projektu konstrukcije, može se zaključiti da projektant konstrukcije nije raspolagao geotehničkim podacima koji oslikavaju realne geotehničke uslove u tlu u zoni potporne konstrukcije.

Na osnovu sprovedenih dodatnih geotehničkih istraživanja i analize rezultata, mogu se izdvojiti dva negativna faktora koji su najverovatnije doveli do pojave velikih deformacija PZ3:

1. Na osnovu geotehničkih istraživanja, u zoni PZ3 se javljaju proslojci peska, prostorno diskontinualno raspoređeni. U slučaju kada telo ankera prolazi kroz ove proslojke (Slike 3 i 4, sloj 2), prilikom injektiranja ankera pod visokim pritiskom dolazi do prodiranja injekcione mase kroz ove proslojke, što se manifestuje i povećanim utroškom injekcione mase. Injektiranje pod visokim pritiskom u zoni proslojaka peska najverovatnije je dovelo do prenošenja značajnih dodatnih pritisaka na dijafragmu
2. Sloj veoma ekspanzivne gline visoke plastičnosti (Slike 3, 4, sloj 3), kroz koji prolazi telo ankera, ima vrednosti pritisaka bubrenja od oko 200 kPa, kao i vrednosti deformacije bubrenja od 2-7%. Usled prodiranja injekcione mase u ovaj sloj došlo je do povećanja vlažnosti ekspanzivne gline, što je dovelo do dodatnih pritisaka bubrenja na potpornu konstrukciju, kao i do dodatnih horizontalnih pomeranja.

ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Na osnovu prikazanih rezultata dodatnih geotehničkih istraživanja, može se zaključiti da je osnovni uzrok velikih deformacija PZ3 geotehnički profil terena koji se u značajnoj meri razlikuje od projektom razmatranog profila. Stvarni geotehnički profil terena praktično onemogućava injektiranje ankera pod visokim pritiskom.

Preporučeno je da se dalje izvođenje geotehničkih ankera zaustavi, iz sledećih razloga:

- Usled nemogućnosti predviđanja pojave proslojaka peska, prilikom daljeg injektiranja geotehničkih ankera mogu se javiti slični incidenti
- Projektovana potporna konstrukcija je projektovana za povoljnije geotehničke uslove, tako da ne zadovoljava granična stanja nosivosti

Kao predlog sanacije konstrukcije preporučeno je da se zaustavi dalje izvođenje ankera, a izvedena potporna konstrukcija dodatno ojača. Diјаfragma se može ojačati izvođenjem dodatne konstrukcije na šipovima.

ZAHVALNICA

Ovo istraživanje je finansirano od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja preko projekta broj 200092.

REFERENCE

- [1] Vukićević M, Jocković S, Marjanović M. Stručno mišljenje o uzrocima deformacija potpornog zida u sklopu postrojenja za iskorišćenje komunalnog otpada i deponijskog gasa kompleksa za upravljanje otpadom "Vinča", Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2020.
- [2] Design for Execution (PZI) - 2/24 - Design of structural part - Retaining walls, Energoprojekt Entel a.d., 2019