

# Primjeri zaštite građevinske jame ispod razine podzemne vode

---

**Andrić, Melanija**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University North / Sveučilište Sjever**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:211409>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-06**



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**



ZAVRŠNI RAD

**PRIMJERI ZAŠTITE GRAĐEVINSKE JAME ISPOD  
RAZINE PODZEMNE VODE**

Melanija Andreić

VARAŽDIN, srpanj 2017.



# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za graditeljstvo		
PRISTUPNIK	Melanija Andreić	MATIČNI BROJ	0124/336
DATUM	31.05.2017.	KOLEGIJ	GEOMEHANIKA II.
NASLOV RADA	PRIMJERI ZAŠTITE GRAĐEVINSKE JAME ISPOD RAZINE PODZEMNE VODE		

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	EXAMPLES OF PROTECTING CONSTRUCTION PIT BELOW WATER BOUNDRY		
-----------------------------	---	--	--

MENTOR	dr.sc. Božo Soldo	ZVANJE	redoviti profesor
--------	-------------------	--------	-------------------

ČLANOVI POVJERENSTVA	1.	dr. sc. Matija Orešković, viši predavač
	2.	dr. sc. Aleksej Aniskin, viši predavač
	3.	dr. sc. Božo Soldo, red. prof.
	4.	Željko Kos, predavač
	5.	Predrag Presečki, predavač

## Zadatak završnog rada

BROJ	288/GR/2017
------	-------------

OPIS  
Pod temom završnog rada: PRIMJERI ZAŠTITE GRAĐEVINSKE JAME ISPOD RAZINE PODZEMNE VODE, pristupnik će u radu obraditi primjere zaštite građevinskih jama kišnih preljeva rekonstruiranih u Čakovcu 2015. godine, u svrhu bočne zaštite građevinskih jama i snižavanje razine podzemne vode.

1. UVOD
  2. OPĆENITO O GRAĐEVINSKIM JAMAMA
  3. O KIŠNIM RASTEREČENJIMA
  4. O LOKACIJI PREDMETNIH GRADNJA
  5. TEHNIČKE ANALIZE PREDMETNIH ZAHVATA
  6. TEHNIČKA RJEŠENJA ZAŠTITE GRAĐEVINSKIH JAMA
  7. ZAKLJUČAK
- LITERATURA

ZADATAK URUČEN

07.06.2017



*Božo Soldo*

**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**

**ZAVRŠNI RAD**

**PRIMJERI ZAŠTITE GRAĐEVINSKE JAME ISPOD  
RAZINE PODZEMNE VODE**

MENTOR:

dr.sc. Božo Soldo, red.prof.

STUDENT:

Melanija Andreić

VARAŽDIN, srpanj 2017.

## SAŽETAK

U sklopu odvodnje grada Čakovca, potrebno je izraditi 2 kišna preljeva na kolektorima I i II. Za njihovu izgradnju potrebno je zaštititi građevinsku jamu, odnosno provesti bočnu zaštitu i snižavanje podzemne vode u građevinskim jamama. Rad je podijeljen na sedam većih poglavlja u kojima se detaljnije razrađuje tema.

U drugom poglavlju opisuje se zaštita građevinske jame, te parametri koji utječu na izbor tipa zaštite, jer je pravilan odabir zaštitnog koncepta presudan za učinkovitost i uspješnost sanacijskog zahvata. Opisuju se tipovi potpornih konstrukcija, te je poseban naglasak stavljen na žmurje, jer je u našem slučaju za zaštitu bokova građevinske jame korišteno upravo žmurje. Naglasak je stavljen i na vodu u građevinskoj jami, jer u inženjerskoj praksi problem ne stvara tlo kao tlo, već voda koja se nalazi u njemu, te njoj treba posvetiti posebnu pažnju jer može biti uzročnik nekih nepovoljnih situacija koje uvelike utječu na daljnju gradnju.

Treće poglavlje bazira se na kišnim preljevima te njihovoj ulozi u kanalizacijskom sustavu.

U četvrtom poglavlju opisan je detaljnije sustav odvodnje grada Čakovca, lokacije predmetnih gradnja te laboratorijski i terenski istražni radovi na temelju kojih dobijemo parametre tla koji su nam potrebni za proračun.

U petom poglavlju, proveden je proračun na osnovi kojeg odabiremo najadekvatniji način zaštite građevinske jame, te osvrt na podatke dobivane proračunom i njihov utjecaj na zbivanja u samoj građevinskoj jami u šestom poglavlju.

**Ključne riječi:** građevinska jama, zagatna stijena, žmurje, kišna rasterećenja

## **ABSTRACT**

It is necessary to build two diversion structures within the drainage system of the city of Čakovec on collectors I and II. For this construction, it is necessary to protect the construction pit, to perform lateral protection and lower the underground water in the construction pit. The paper is divided in seven major chapters in which the topic is elaborated in detail.

In the second chapter, the protection of the construction pit is described, so as the parameters that affect the choice of the protection type because the right choice of the protection concept is crucial for the efficiency and efficacy of the recovery procedure. The types of the retaining structures are described but a special emphasis is put on the sheet pile because in this case of lateral protection of the construction pit, sheet pile is used.

Special emphasis is put on the water in the construction pit, because in the engineering practice the problem isn't in the ground itself as in the water that is in the ground. Special attention must be paid to the water because it can be the cause of many inconvenient situations affecting further construction.

The third chapter is based on diversion structures and their part in the sewerage system.

In chapter four, the drainage system of the city of Čakovec is described in detail so as the location of the building concerned and the laboratory and field research work. The parameters of the ground needed for the budget are made on the research results.

In chapter five, the budget was implemented. Based on the budget, we choose the most convenient way to protect the construction pit. The chapter six describes the review of budget data and their impact on happening in the construction pit itself.

**Key words:** construction pit, sheet pile, embedded wall, diversion structures

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. OPĆENITO O GRAĐEVINSKIM JAMAMA .....	2
2.1. Građevinska jama .....	2
2.2. Potporne konstrukcije .....	4
2.3. Zagatne stijene.....	5
2.3.1. Berlinski zid .....	6
2.3.2. Čavlorano tlo .....	7
2.3.3. Vodonepropusna zagatna stijena(žmurje) .....	8
2.4. Voda u građevinskoj jami i utjecaj na stabilnost.....	12
2.5. Dimenzioniranje zagatne stijene .....	17
3. O KIŠNIM RASTEREĆENJIMA.....	21
3.1. Općenito o kanalizacijskom sustavu .....	21
3.2. Općenito o kišnim preljevima.....	22
3.3. Primjena kišnih rasterećenja .....	23
3.4. Mjerodavne količine otpadnih voda.....	23
3.5. Konstrukcija i oblikovanje kišnih preljeva .....	25
3.6. Materijal za građenje i oblaganje.....	28
3.7. Dimenzioniranje kišnih preljeva .....	30
4. O LOKACIJAMA PREDMETNIH GRADNJA.....	31
4.1. Geotehnički istražni radovi .....	32
4.1.1. Terenski istražni radovi .....	33
4.1.2. Laboratorijska ispitivanja.....	35
4.1.2.1. Koeficijent vodopropusnosti.....	36
5. TEHNIČKE ANALIZE PREDMETNIH ZAHVATA.....	38
5.1. Problematika.....	38
5.2. Izračun minimalne dubine zabijanja žmurja .....	40
5.2.1. U građevinskoj jami KP-I.....	40
5.2.2. U građevinskoj jami KP-II.....	43
5.3. Proračun stabilnosti bokova građevinske jame .....	46
5.4. Ugradnja žmurja .....	50
5.5. Proračun dotoka podzemne vode u građevinsku jamu kolektora I.....	53
5.6. Proračun dotoka podzemne vode u građevinsku jamu kolektora II .....	55



6. TEHNIČKO RJEŠENJE ZAŠTITE GRAĐEVINSKIH JAMA.....	58
7. ZAKLJUČAK .....	62
8. POPIS LITERATURE .....	63
9. POPIS SLIKA.....	64
POPIS TABLICA.....	67
10. POPIS PRILOGA.....	68

## 1. UVOD

U ovom radu prikazani su primjeri zaštite građevinske jame, te odabir najadekvatnijeg rješenja zaštite u građevinskim jamama kišnih preljeva u Čakovcu u tlu relativno visoke propusnosti. Razlog većoj propusnosti je sastav samog tla u kojem dominira nekoherentno tlo (šljunak, pijesak). U tlima izrazito velike propusnosti često dolazi do sakupljanja podzemne vode u građevinskoj jami te to stvara probleme pri samoj gradnji.

Međimurska županija bogata je podzemnom vodom, razlog tome su tri rijeke Mura, Drava, Trnava, od kojih Mura i Drava omeđuju Međimursku Županiju, a manja rijeka Trnava prolazi njezinim središtem. U građevinskoj jami kišnog preljeva KP-I izmjerena je razina podzemne vode 2,1 m ispod kote terena, te u građevinskoj jami kišnog preljeva KP-II razina vode je 2,8 m ispod kote terena zbog toga je potrebno snižavanje razine podzemne vode da bih se radovi izveli u „suhom“.

Prije samog odabira i izvedbe određene zaštitne konstrukcije, bilo je potrebno provesti geotehničke istražne radove u tlu koji se sastoje od terenskih i laboratorijskih istražnih radova. Pomoću ovih radova saznajemo u kakvom se tlu planira raditi određena građevina. Nizom pokusa i ispitivanja dobiju se svi potrebni parametri tla preko kojih dobijemo profil tla u kojem se izvodi građevina.

Za zaštitu bokova obje građevinske jame odabrano je isto tehničko rješenje. Zaštita je provedena čeličnim žmurjem tipa Larssen. Prednost čeličnog žmurja prema ostalim zagatima je to da ih se uvijek po završetku radova može ponovno koristiti, odnosno najčešće se koriste kao privremena zaštita građevinske jame. Prvenstveno sprječavaju urušavanje iskop i bočno dotjecanje vode u jamu. Nakon provjere normalnih i posmičnih naprezanja, pokazalo se da odabrano žmurje zadovoljava za zaštitu građevinske jame.

Također su izračunati protoci dotoka podzemne vode u obje građevinske jame. Daleko veći protok izračunati je u građevinskoj jami kišnog preljeva KP-II, gdje je ujedno izračunat i veći koeficijent vodopropusnosti. Sve to rezultira sakupljanjem podzemne vode u građevnoj jami, te problemom odvodnje te iste vode. Rješenju sakupljanja vode u građevinskoj jami pristupilo se na način da se voda crpi paralelno s iskopom, te sa naknadnom ugradnjom drenaža i zdenaca.

## 2. OPĆENITO O GRAĐEVINSKIM JAMAMA

### 2.1. Građevinska jama

Građevinska jama je privremena građevina koja mora omogućiti izvedbu temelja i/ili dijela podzemne građevina za koju je projektirana. Taj prostor mora biti siguran za rad te dostupan ljudima i strojevima. Prilikom izvedbe građevine redovito je potreban iskop građevinske jame. Također često dolazi do potrebe vertikalnog iskopa. Za nekoherentno tlo, veće dubine iskop, vertikalne je iskope potrebno podgrađivati i pridržavati nekom potpornom građevinom. Za iskope veće dubine nužno je podgrađivanje iz razloga zaštite ljudi i materijalnih dobra. Zaštitom ili osiguranjem iskopa jame mora se spriječiti prodiranje vode u slobodni prostor njezina iskopa i osigurati stabilnost iskopanih stranica.



*Slika 1. Građevinska jama*

Građevinsku jamu, kako je već navedeno štitimo ovisno o tlu i vodi u tlu, pa tako onda izabiremo najpovoljnije rješenje zaštite građevinske jame. Kod izbora tipa zaštite građevinske jame, vodi se računa o vrsti tla, prisutnosti i razini podzemnih voda, blizini okolnih građevina, cesta, dubini iskopa, fazama iskopa, dopuštenim deformacijama i sl.

Metode izrade građevinske jame ovise o (Nonveiller, 1979.):

- osobinama materijala u kojem se gradi
- dubini temelja ispod površine terena
- osobinama materijala u kojem se gradi
- položaju temeljne plohe prema najvišoj razini podzemne vode
- dubini temelja ispod površine terena
- hidroloških i hidrauličkih uvjeta na gradilištu
- osobinama materijala u koje kopamo
- dostupnih metoda, pazeći na ekonomičnost, trajanje i sigurnost izvedbe

U praksi se najčešće koriste sljedeći tipovi zaštite:

- zabijeni čelični profili (talpe)
- AB dijafragme
- mlazno injektiranje tla
- bušeni piloti na međusobnom razmaku ili bez njega
- čavljano tlo
- zaštita berlinskim zidom

## 2.2. Potporne konstrukcije

Potporne građevine stare su koliko i graditeljstvo. Kao primjere možemo izdvojiti suhozide ili gomile kao potporne konstrukcije kojima obiluje mediteranska obala, koji su građeni bez veziva i potpuno propusni za vodu, te obrambeni zidovi oko gradova i naselja koje možemo pronaći u Dubrovniku, Stonu i drugim gradovima.



*Slika 2. Suhozid*

Potporne konstrukcije se prema Eurokodu-7 dijele u 3 osnovne skupine:

- gravitacijski zidovi
- zagatne stijene
- složene potporne građevine

Osnovna uloga potpornih konstrukcija je da preuzimaju opterećenje od tla, vode ili nekog drugog materijala koji se nalazi u njenom zaleđu i na nju se oslanja. Potporne konstrukcije koje su pridržane kao konzole koriste se za manje dubine, jer ako bi se izvodile za veće cijena izvedbe bila bi jako visoka. Potporne konstrukcije koje su pridržane kosnicima ili razuporama izvode se u manjim građevinskim jama i mana im je manjak prostora u jami. Kada je u pitanja građevinska jama velikih dimenzija gdje se ne mogu koristiti razupore, koriste se zatege odnosno sidra za pričvršćivanje potporne konstrukcije. Mogu biti privremene ili se mogu konstruktivno uklopiti u buduću građevinu.

### 2.3. Zagatne stijene

Zagatne stijene su potporne konstrukcije nalik zidu ugrađene u tlo, koje osiguravaju stabilnost građevinske jame. Uravnotežuju tlak tla te sprječavaju urušavanje iskopa i bočno dotjecanje vode u jamu. Ugrađuju se u tlo po obodu buduće građevinske jame prije iskopa.

Opterećenje prenose u tlo pomakom koji izazove deformacija savitljive stjenke koja zatim aktivira otpor tla u koje je zagatna stijena ugrađena ili zabijena. Dio tla djeluje kao opterećenje s aktivnim tlakom ili tlakom mirovanja, dok se dio opterećenja preuzima aktiviranjem pasivnog otpora.

Zagatne stijene možemo podijeliti prema više kriterija:

- prema načinu izvedbe:
  - konzolne(ne pridržane)
  - pridržane(sidrom ili razuporom)
- prema načinu deformiranja u tlu i momentima koji se javljaju u njima:
  - slobodne(nema upetosti dna u tlo)
  - fiksirane(postoji upetost dna u tlo)
- prema materijalu od kojeg su izrađene:
  - metalne
  - drvene
  - armirano-betonske
- prema vremenu djelovanja
  - trajne(ostaju i nakon izgradnje objekata)
  - privremene (uklanjaju se po završetku izgradnje objekta)

Razlikuju se tri vrste zagatnih stijena, a tu su berlinski zid, čavljano tlo, vodonepropusna zagatna stijena.

### 2.3.1. Berlinski zid

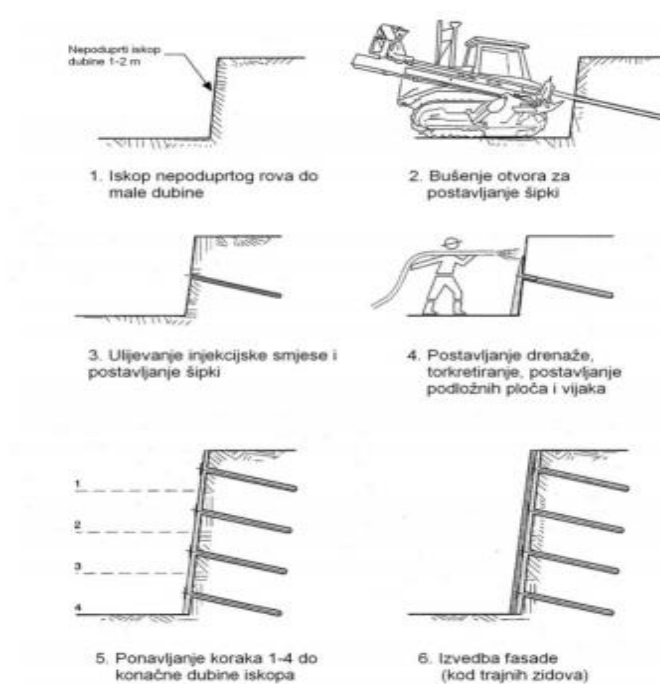
Berlinski zid je sustav podgrađivanja tla masivno primjenjivan pri izgradnji podzemne željeznice u Berlinu, odakle je dobio ime. Koristi se najčešće u nekoherentnim, pjeskovitim tlima. Opterećenje od tla preuzima samo do dubine iskopa i nije opterećen hidrostatskim tlakom. Osnovi dijelovi su piloti ili vodilice( koje mogu biti čeličnog I profila, AB piloti zabijeni ili izvedeni u tlu i sl.) i platice koje se spuštaju između pilota tijekom iskopa. Platice mogu biti čelične, drvene, ili tvornički izrađene armiranobetonske, one su najčešće sastavni dio buduće građevine, dok su sve druge uglavnom privremene građevine. Prije uporabe čeličnih platice koristile su se drvene platice za izradu berlinskog zida, kao što je prikazano na (Slika 3.).



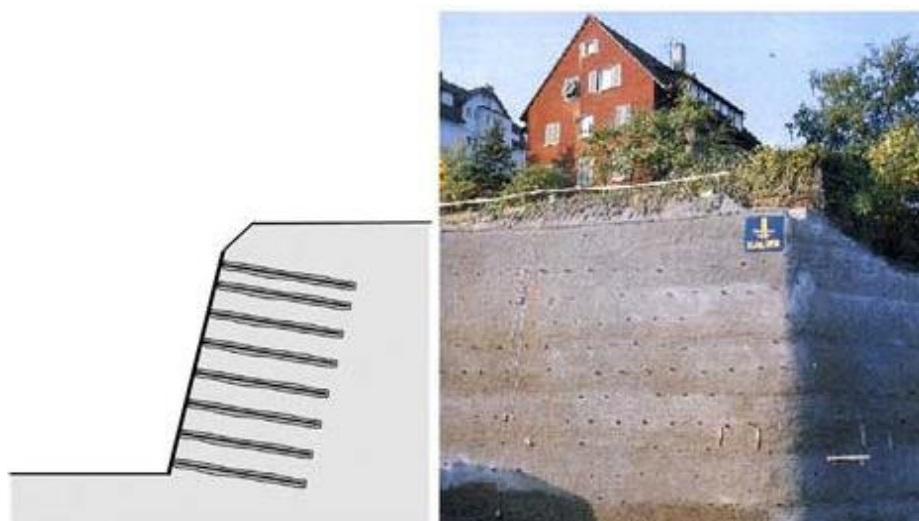
Slika 3. Berlinski zid od drvenih platice

### 2.3.2. Čavlano tlo

Čavlano tlo izvodi se u fazama kako prikazuje (Slika 4.). Prvo se iskopa nepoduprti rov dubine 1-2m, nakon toga se buše otvori za postavljanje šipki te se ulijeva cementa smjesa i postavljaju šipke. Lice vertikalnog zida se torkretiranjem štiti od urušavanja. Ovi koraci se ponavljaju sve do željene dubine iskopa. Takva zaštita iskopa je financijski vrlo prihvatljiva, ali je javljaju problemi pri izvođenju čavlanog tla u koherentnim tlima.



Slika 4. Postupak izvedbe čavlanog tla



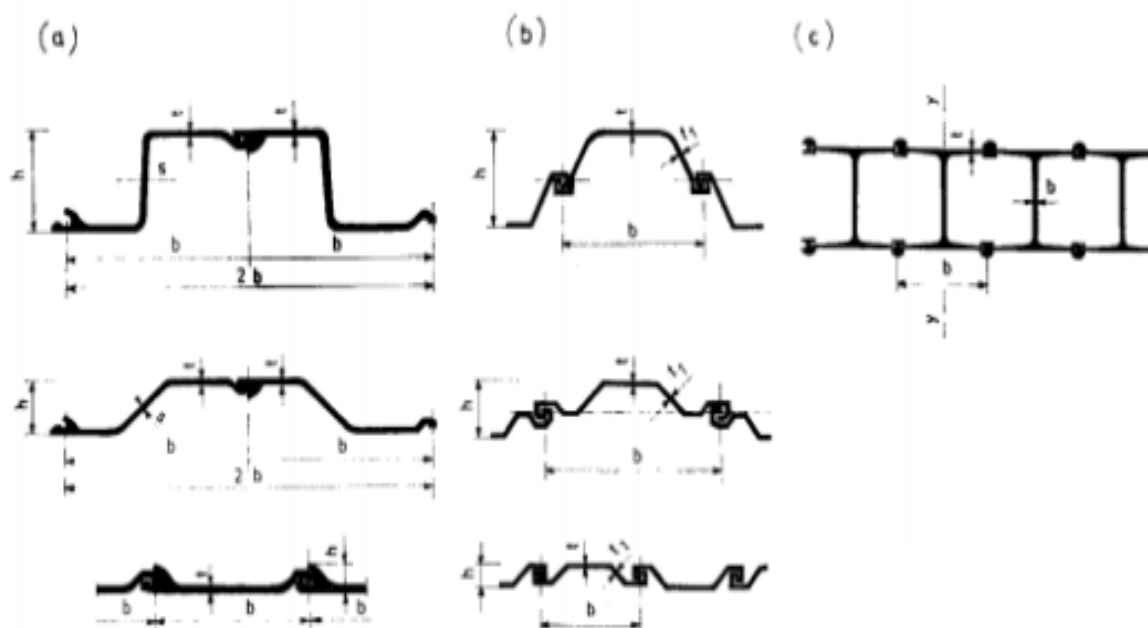
Slika 5. Čavlano tlo



### 2.3.3. Vodonepropusna zagatna stijena(žmurje)

Žmurje ili kako je u narodu poznato talpe su uski, dugi i vitki elementi od čelika koji se upotrebljavaju za osiguranje građevne jame od tlaka tla ili vode. Najstarije zagatne stijene izvodile su se zabijanjem drvenih platica jedne do druge. Drvo se kao klasični građevinski materijal prije puno upotrebljavao. Danas je ono skuplje nego prije, pa se sve više zamjenjuje drugim materijalima koji su jeftiniji i veće otpornosti. Osnovni element su platice koje mogu biti od drva, čelika i armiranog betona.

Čelično žmurje nagli je razvoj doživjelo pojavom čelika, od kojeg se i danas izrađuju razni tipovi platica, najčešće nazvanih po proizvođaču. Zbog male debljine potrebno je da čelične platice na krajevima imaju posebno oblikovane utore kojima se međusobno povezuju i užljebljuju. Oblik utora i platica varira od proizvođača do proizvođača. Ove se platice gotovo uvijek upotrebljavaju tamo gdje postoji mogućnost da ih se po završetku građenja može izvaditi i ponovno koristiti. Platice se oblikuju prema svojoj svrsi kojoj su namijenjene. One koje preuzimaju male momente na savijanje izrazito su ravne. Platice koje preuzimaju veći moment na savijanje, potrebno je odabrati presjek s većim momentom otpornosti. Oblici ovih platica također variraju od proizvođača do proizvođača. Najpoznatiji tipovi čeličnih platica prikazani su na (Slika 6.), a to su: Larssen, Hoesch i Peine.



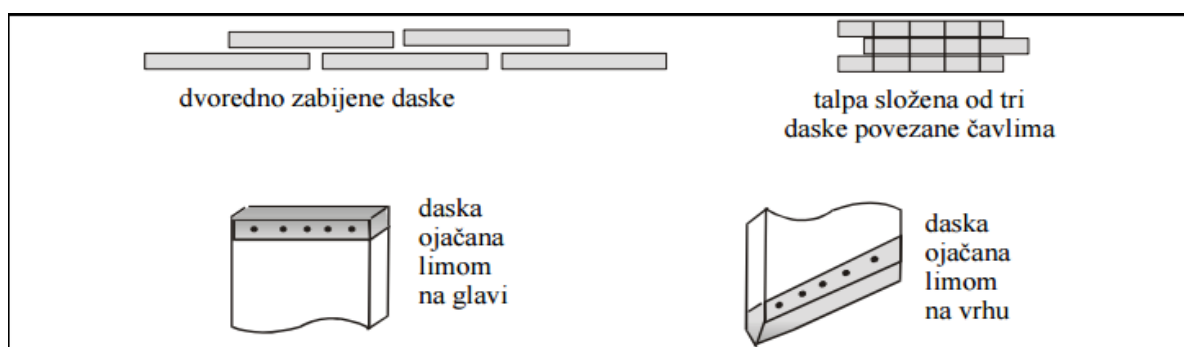
Slika 6. Profili zagatnih stijena Hoesch (a), Larssen (b), Peine (c)



Slika 7. Zagatna stijena od čeličnog žmurja

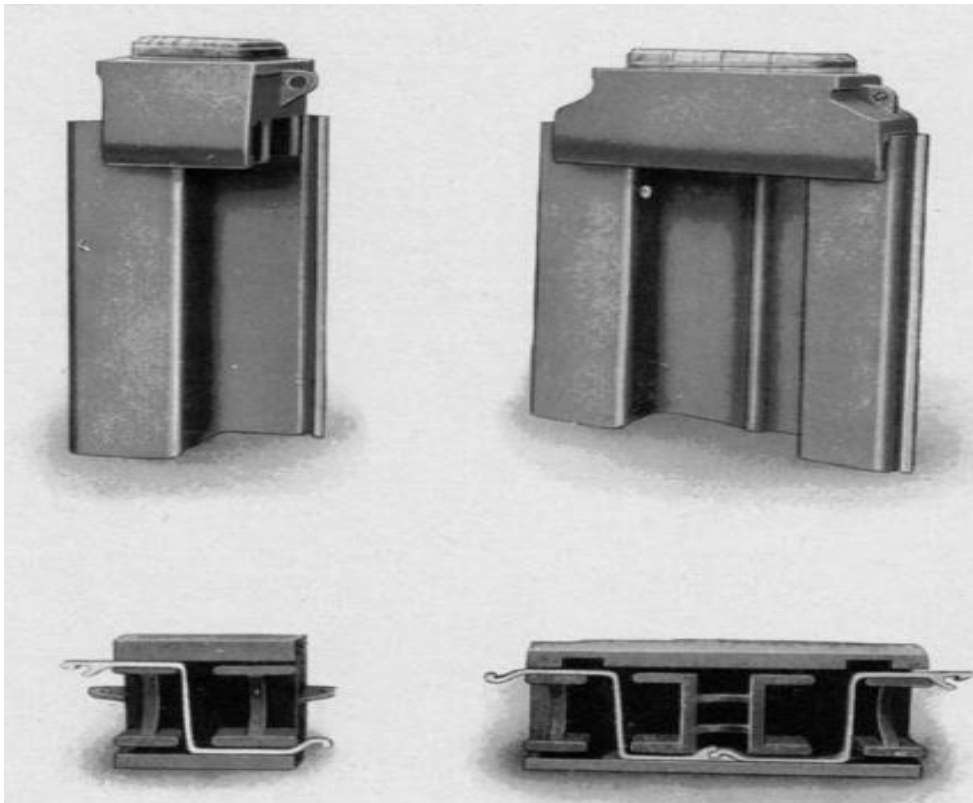
Čelično žmurje je najpogodnije za ugradnju u pjeskovita tla, meke do polučvrste gline i slične materijale, te ih nije moguće zabijati ako se u tlu nalaze krupniji komadi kamena ili samaca.

Drvena žmurja se danas rijetko upotrebljavaju, a koriste se kao privremena zaštita građevinske jame. Debljina im je 8-15 cm, a širine su 2 do 3 puta veće nego debljine. Problem drvenog žmurja je ograničenje visine do 8 metara. Drvene platice ne mogu se zabit u tlo s krupnijim komadima kamena i samaca.



Slika 8. Presjeci žmurja od drvenih dasaka(gore) i detalji ojačanja glave i vrha(dolje)

Armiranobetonsko žmurje odnosno platice zamijenile su čelične u onim zemljama koje su imale jaču industriju cementa od čelika. Prilikom ugradnje između nabijača i platice se postavljaju nastavci za nabijanje. Oni osiguravaju pravilno vođenje platice. Izvedeni su tako da na vrhu imaju nastavak od drveta koji umanjuje buku od udarca bata o nastavak za nabijanje. Armiranobetonske platice namijenjene su samo za izradu trajnih građevina. One imaju prednost pred drugim tipovima jer su manje osjetljive na razne agresivne utjecaje, ako je beton valjano pripremljen i ugrađen.



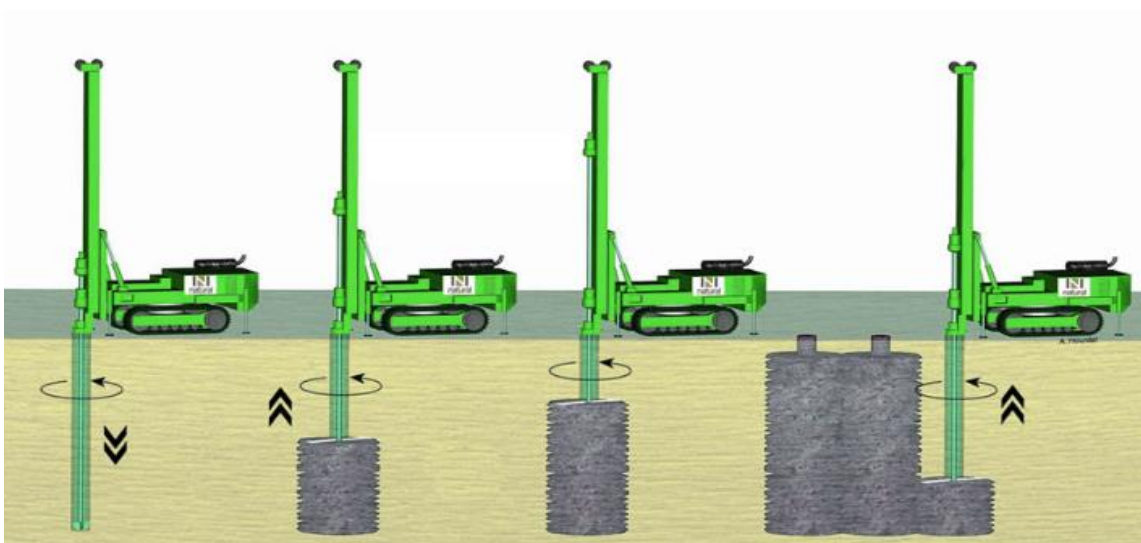
*Slika 9. Posebni nastavci za nabijanje armiranobetonskih platice*

Tehnologija armiranog betona dala je novi doprinos razvoju zagatih stijena. Postoji više mogućnosti izvedbe zagatnih stijena od armiranog betona. Najpoznatija je metoda izrade armiranobetonske dijafragme, neprekinutog, kompaktno izrađenog zida u tlu.



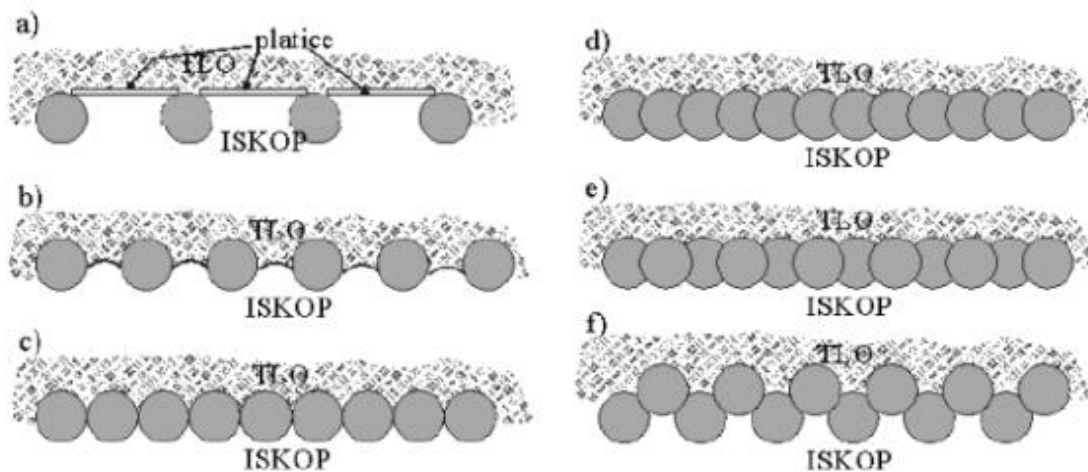
*Slika 10. Armiranobetonska dijafragma*

Novije tehnologije koriste mlazno injektiranje za izradu neprekinutih zavjesa u tlu. U mlazno injektirana tijela armatura se ugrađuje utiskivanjem u svježe ugrađenu smjesu.



*Slika 11. Mlazno injektiranje, izvedba neprekinutih zavjesa u tlu*

U armiranobetonske građevine spadaju i metoda pilot do pilota. Pilote jednog do drugog moguće je izvesti na više načina. Kada zagatna stijena ne štiti prostor od dotoka vode moguće je izvesti građevinu kod koje piloti ne dodiruju jedan drugog. Ako zagatna stijena mora biti vododrživa izvode se dva reda pilota od kojih je jedan zasiečen u drugi.



Slika 12. Načini izvođenja metode pilot do pilota

Sve zagatne stijene moguće je sidriti te na taj način povećati njihovu stabilnost.

## 2.4. Voda u građevinskoj jami i utjecaj na stabilnost

Prostor unutar kojeg se gadi mora se održavati suhim, a kako je to najčešće udubina u tlu iz koje se voda ne može odvesti gravitacijskim putem, potrebno je izvoditi građevinske zahvate za odvodnju vode iz građevinske jame.

Za velike građevinske jame potrebno je izraditi hidrološku analizu projektiranih pljuskova. Temeljem takvih podataka dimenzioniraju se uređaji za zahvat i odvodnju vode dospjele u prostor građenja.

Voda unutar građevinske jame može biti podzemna ili oborinska. Za odvodnju takve vode služe odvodni jarci, drenaže, izgradnja dna građevinske jame u blagim padovima prema određenom mjestu na kojem se nalaze stalni bunari iz kojih se crpi nakupljena voda i odvodi u najbliži recipijent. Za veće količine kiša i stalan dotok podzemne vode potrebno je imati crpnu stanicu koja služi za trajno crpljenje vode iz građevinske jame.



*Slika 13. Voda u građevinskoj jami*

Daleko veći problem u građevnoj jami stvara podzemna voda, te se njoj treba posvetiti posebna pažnja jer može uzrokovati nepovoljne događaje koji uvelike utječu na daljnju gradnju. Zbog toga posebnu pažnju dajemo hidrauličkoj stabilnosti dna građevinske jame. Strujanje vode u jamu kroz tlo može izazvati hidraulički slom tla, pa je potrebno preko strujne mreže provjeriti stvarne gradijente u izlazu vode u jamu i osigurati se od hidrauličkog sloma. Ukoliko postoji razlika potencijala vode u različitim točkama u tlu, voda će teći iz mjesta višeg prema mjestu nižeg visinskog potencijala.

Ukupni potencijal definiran je Bernullijevom jednadžbom, koja prikazuje zbroj triju visina:

$$h = \frac{u}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g} + z$$

gdje je:

$u$  – porni tlak

$\gamma_w$  – zapreminska težina vode

$u/\gamma_w$  – tlačna (piezometarska visina)

$v^2$  – brzina

$g$  – ubrzanje sile teže

$v^2/2g$  – brzinska visina

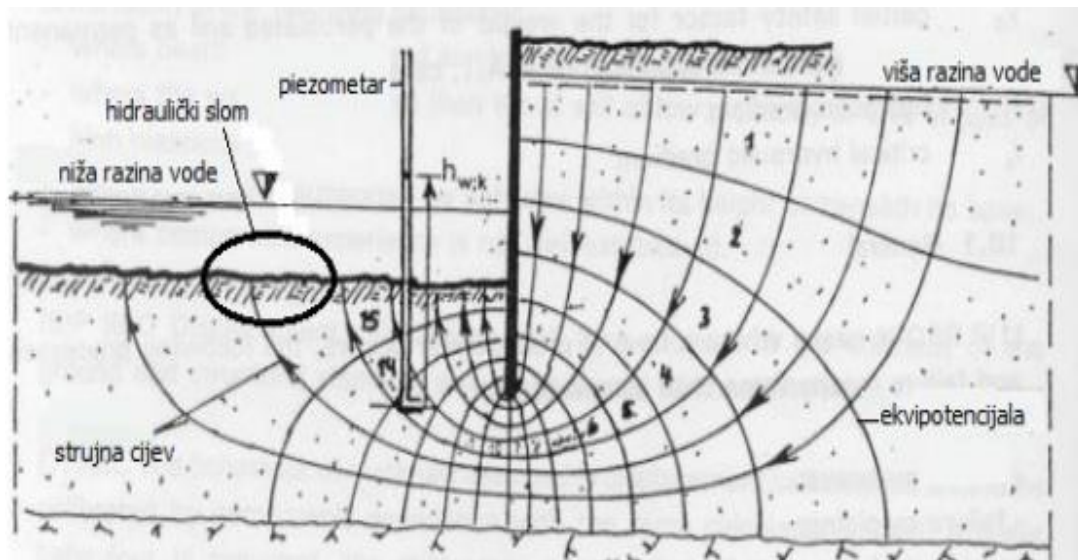
$z$  – geodetska visina

$h$  – hidraulički potencijal

Pošto je brzina kretanja vode u tlu izrazito mala, možemo zanemariti udio kinetičke energije, pa je ukupni potencijal jednak zbroju geodetskog  $H_g$  i piezometarskog potencijala  $H_p$ .

$$\frac{v^2}{2g} \approx 0$$

$$h = \frac{u}{\gamma_w} + z$$



Slika 14. Strujna mreža oko zagatne stijene

Na (Slika 14.) vidljive su ekvipotencijale i strujnice koje se međusobno sijeku pod pravim kutom. Strujnice opisuju smjer tečenja vode, a ekvipotencijale povezuju sve točke koje imaju isti ukupni potencijal. Kada voda struji iz jedne strane na drugu, tlakovi iza stijene se smanjuju a ispred stijene se povećavaju.

Postupak provjere nastupanja hidrauličkog sloma tla sastoji se od određivanja:

Hidrauličkog gradijent:

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

Kritičnog hidrauličkog gradijent:

$$i_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_w}$$

gdje je:

$$\gamma = \rho \cdot g$$

$$\gamma' = \gamma - \gamma_w$$

$\gamma'$  – uronjena jedinična težina tla

$\gamma_w$  – objamska težina vode

$\gamma$  – specifična težina tla

Da bi ocijenili je li nastupio hidraulički slom tla ili ne potrebno je usporediti hidraulički gradijent s kritičnim hidrauličkim gradijentom.

$i < i_{cr}$  – nije nastupi hidraulički slom

$i > i_{cr}$  – nastupio je hidraulički slom

Na pojavu hidrauličkog sloma najosjetljiviji su nekoherentni materijali, osobito zbijeni pijesci.

Na sljedećim slikama možemo vidjeti posljedice hidrauličkog sloma tla koji se dogodio 2007.godine u Kupskoj ulici u Zagrebu. Posljedice su bile katastrofalne. Došlo je do rušenja jednokatnice, nekoliko desetaka metara kolnika, pucanje istočnog djela zaštitne konstrukcije građevinske jame, te prodiranja podzemne vode i erozije okolnog tla. Osim urušavanja objekata, gradilišta, došlo je i do ugrožavanja života stanovnika Kupske ulice te su stanovnici bili privremeno evakuirani iz tog područja.





*Slika 15. Posljedice hidrauličkog sloma tla u Kupskoj ulici*



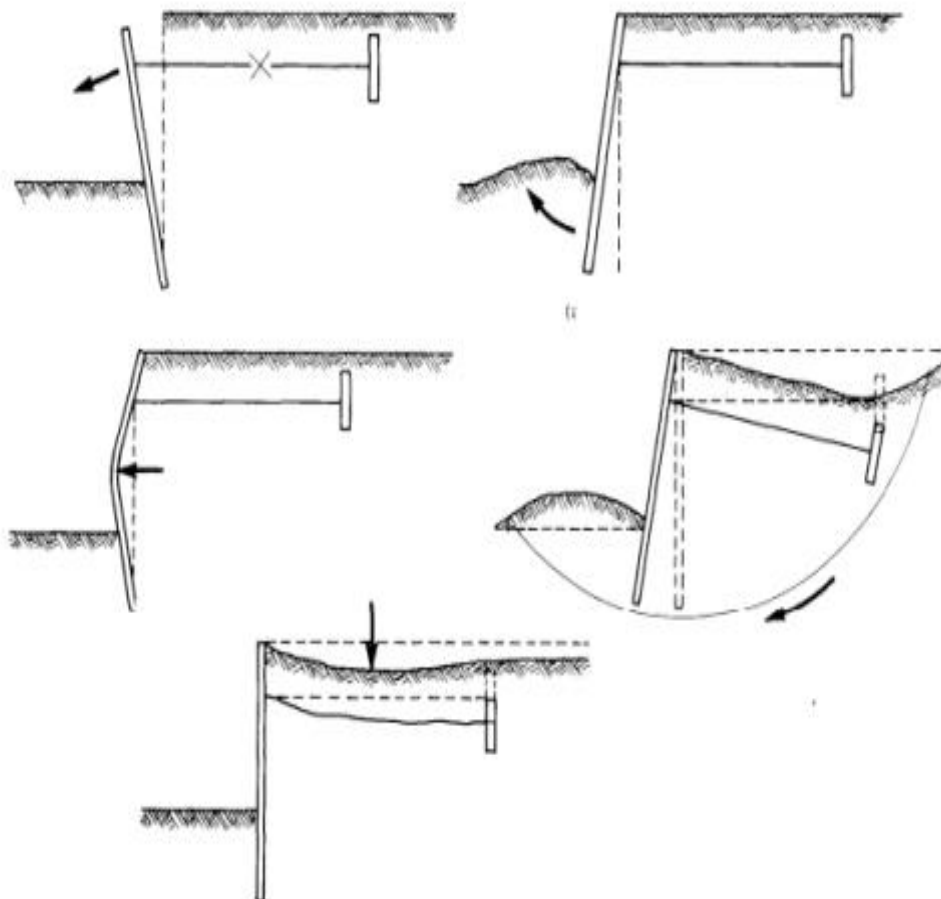
*Slika 16. Urušavanje objekata i građevinske jame*

## 2.5. Dimenzioniranje zagatne stijene

Dimenzioniranje zagatnih stijena provodimo zbog opasnosti od nastanka sloma zaštitne konstrukcije.

Prilikom dimenzioniranja potrebno je razmotriti slučajeve prikazane na (Slika 17.), jer do sloma može doći uslijed:

- pucanja i popuštanja oslonca(zatege) na slobodnom dijelu
- ostvarenja punog pasivnog otpora ispred zabijenog dijela platica
- prekoračenja nosivosti nosača, platica
- globalnog loma tla oko zagatne stijene
- slijeganja tla iza zagatne stijene

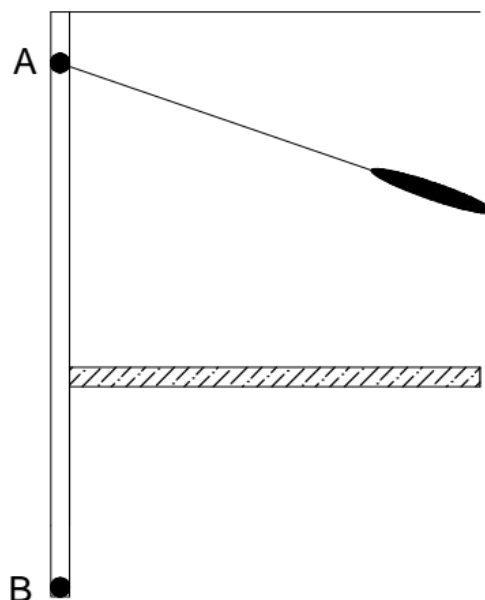


Slika 17. Neke vrste sloma zaštitne konstrukcije

Proračun zagatne stijene možemo provesti na nekoliko načina:

- pojednostavljeno
- bez uzimanja u obzir fleksibilnost/ krutost zagatne konstrukcije
- uz uzimanje u obzir fleksibilnost/krutost zagatne konstrukcije

Zagatne stijene dimenzioniramo s obzirom na maksimalni moment savijanja. Zbog toga je potrebno poznavati način na koji je izvedena zagatna stijena, jer u ovisnosti o tome računamo sumu momenata na točku rotacije. Kod konzolnih stijena to je na dnu stijene, odnosno u točki B, a kod zagatnih stijena pridržanih sidrom, to je u točki pridržanja, odnosno u točki A.



Slika 18. Točke na kojima se provjerava uvjet ravnoteže

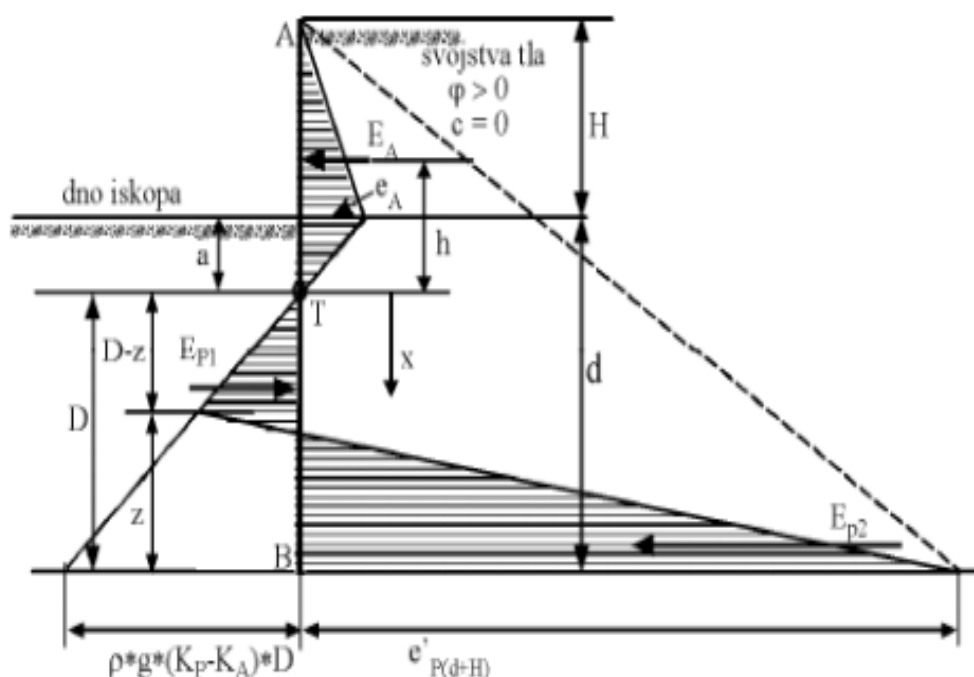
Stabilnost zagatne stijene koja je izvedena kao konzola, ovisi o dubini zabijanja u tlo koja je potrebna da se preuzme veliki moment savijanja konzole, zbog toga je uporaba konzolne zagatne stijene ograničena na male visine.

Kada bih vertikalni iskop velikih dubina štitili konzolnom zagatnom stijenom, to bi bilo ekonomski neisplativo zbog njene duljine, a i tolika dubina nebi mogla preuzeti momente savijanje konzole. Zbog toga vertikalne iskope velikih dubina štitimo zagatnom stijenom pridržanom geotehničkim sidrima. Kod takve zagatne stijene moramo još dodatno izračunati duljinu slobodne i sidrišne dionice. Sidra u takvim konstrukcijama mogu biti aktivna i pasivna. Kod zagatnih stijena sa aktivnim sidrom unosi se početna sila tijekom ugradnje i ona povlači zagatnu stijenu prema sebi pa je tako pridržava. Kod zagatnih stijena sa pasivnim sidrima, sidra ne naprežemo nego sila

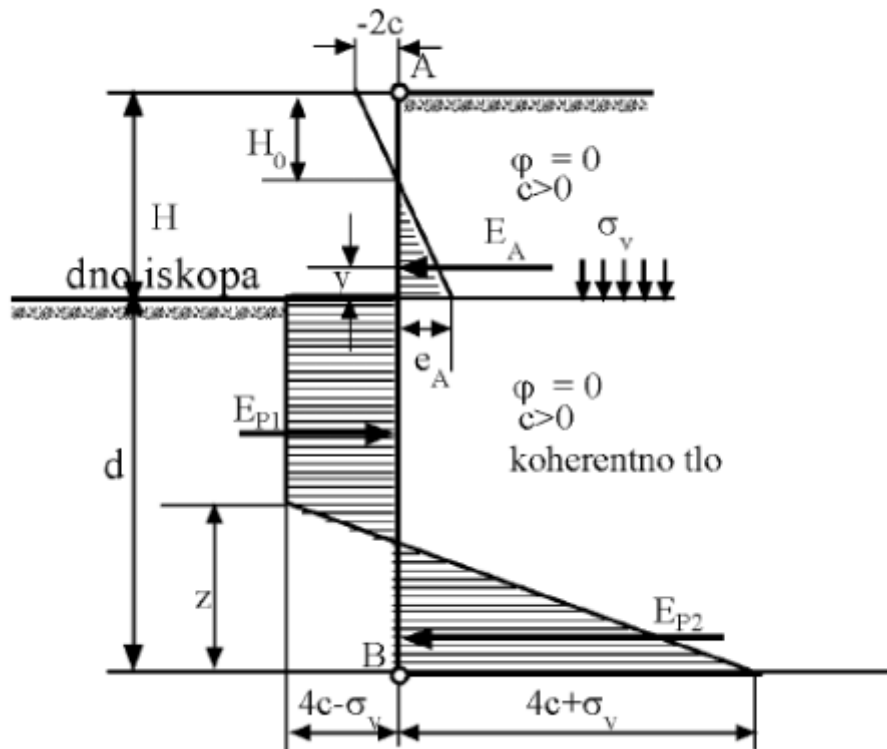
nastaje naknadno kada se konstrukcije počne deformirati i tako ona postaju aktivna jer pridržavaju konstrukciju da se ne deformira.

Već je spomenuto da zagatnu stijenu dimenzioniramo prema najvećem momentu savijanja. Najveći moment savijanja odredi se na mjestu gdje je rezultanta poprečnih sila jednaka nuli.

Momenti savijanja nisu isti za stijene zabijene u koherentnom i nekoherentnom materijalu jer se razlikuje raspodjela tlakova ispred i iza zagatne stijene. Dubina zabijanja kod koherentnih materijala povećava se za 20-30%, a kod nekoherentnih materijala za 30-50%. Na sljedećim slikama možemo vidjeti raspodjelu tlakova na zagatnu stijenu zabijenu u nekoherentan i koherentan materijal.

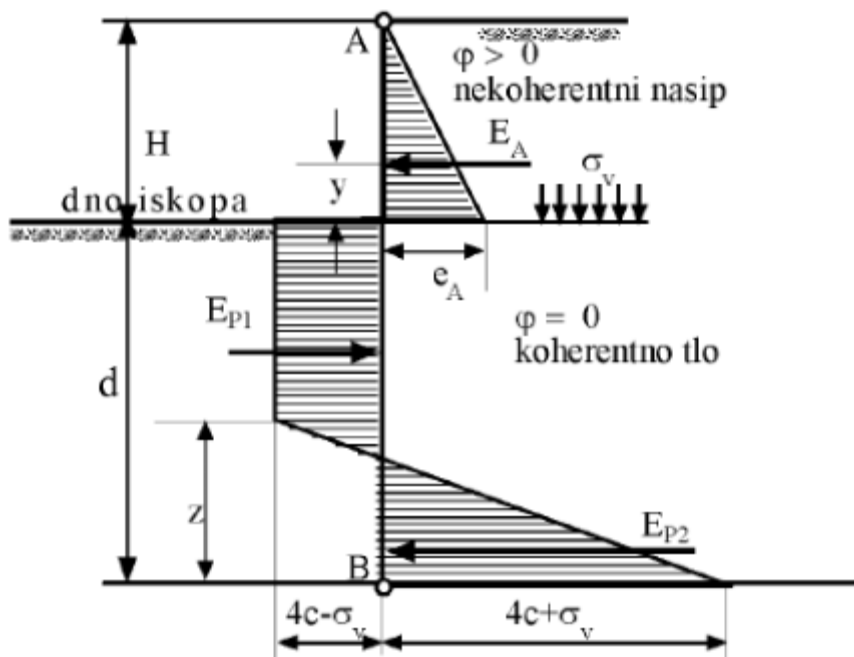


Slika 19. Zagatna stijena u nekoherentnom materijalu: Od slike tlakova s jedne i druge strane dobiju se tzv. neto tlakovi na stijenu. Oni izazivaju savijanje stijene i u odnosu na najveći moment savijanja dimenzionira se zagatna stijena.



Slika 20. Raspodjela pritiska i otpora tla u koherentnom tlu

U slučaju da je žmurje zabijeno u koherentno tlo, a opterećeno nekoherentnim tlom. U tom je slučaju aktivni pritisak do pojave gline važeći za nekoherentno tlo.



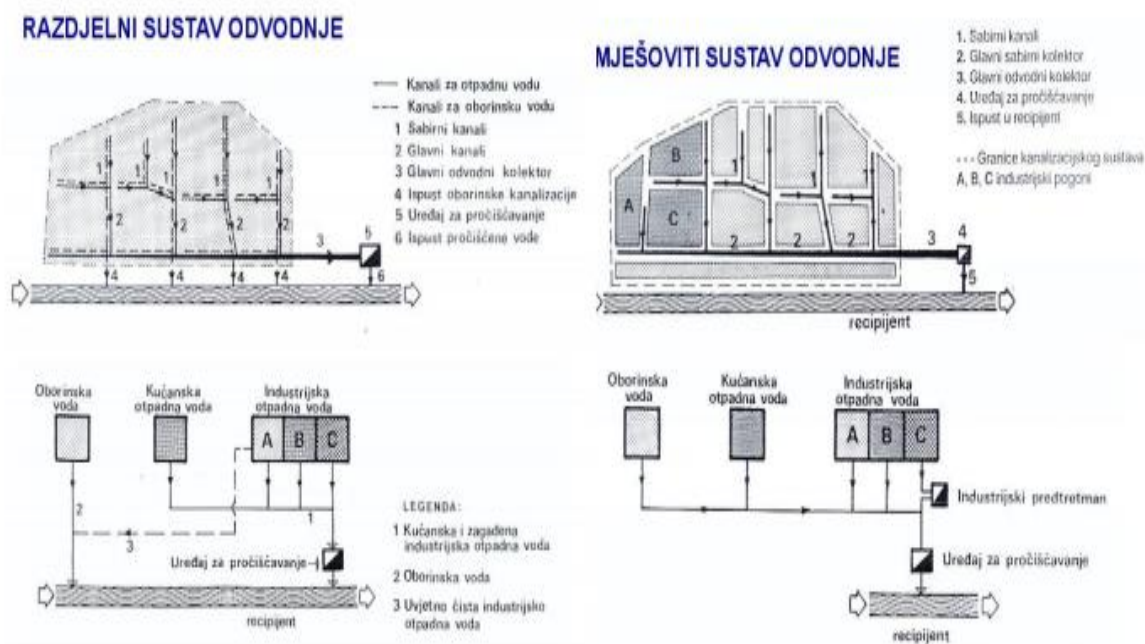
Slika 21. Raspodjela pritiska nekoherentnog tla i otpora koherentnog tla

## 3. O KIŠNIM RASTEREĆENJIMA

### 3.1. Općenito o kanalizacijskom sustavu

Kanalizacijski sustav naselja predstavlja niz građevina čija je svrha odvodnja otpadnih, oborinskih i potencijalno štetnih voda iz čovjekove okoline. Sastoji se od kolektora ili kanalizacijskih kanala i objekata kanalizacijskog sustava. Prema načinu sakupljanja i odvođenja otpadnih voda, sustave možemo podijeliti na mješoviti ili skupni sustav i razdjelni ili separatan sustav odvodnje. Mješoviti sustav sakuplja sve kategorije otpadnih voda i odvodi ih zajedničkim kanalima i kolektorima. Razdjelni sustav odvodnje sakuplja i odvodi različite vrste otpadnih voda posebnim kanalima i kolektorima. Osim ova dva osnovna sustava postoje i nepotpuni razdjelni sustav, polurazdjelni sustav te kombinirani sustav odvodnje.

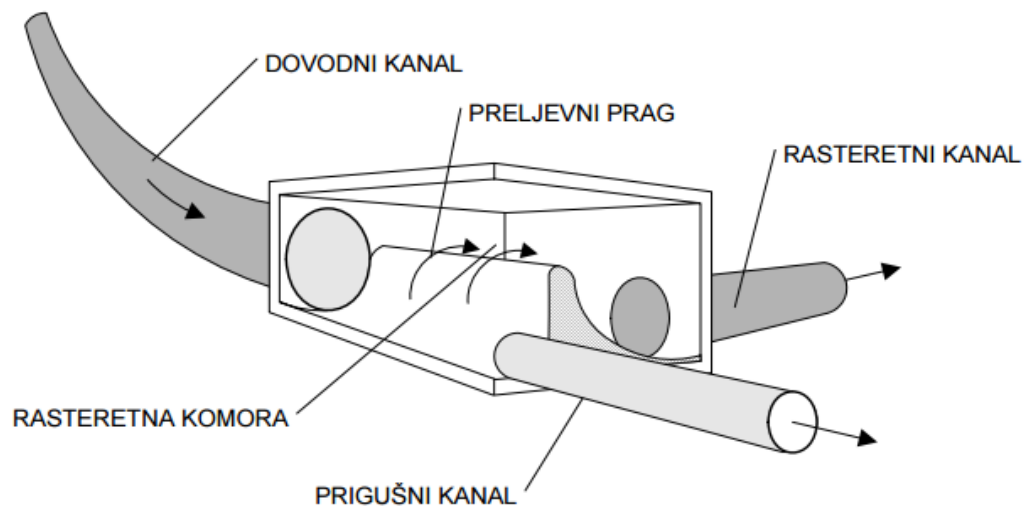
Izbor sustava odvodnje treba temeljiti na budućim uvjetima i zahtjevima, posebno uvjetima zaštite čovjekova društva, ali vodeći računa o trenutnim financijskim mogućnostima za izvedbu sustava.



Slika 22. Prikaz mješovitog i razdjelnog sustava odvodnje

### 3.2. Općenito o kišnim preljevima

Kišni preljevi, odnosno kišna rasterećenja su hidrotehničke građevine u kojima se protoci veći od nekog odabranog kritičnog, odvajaju ili rasterećuju. Služe za ispuštanje dijela vode iz kanalizacijskog sustava u vodne resurse ili pojedine dijelove kanalizacijskog sustava.



Slika 23. Shema rada kišnog preljeva

Uloga rasteretnih građevina može biti:

- hidraulička
- ekološka
- kombinirana hidrauličko- ekološka

Hidraulička uloga odnosi se na ograničavanje veličine protoka u dijelovima kanalizacijskog sustava. Ograničenje se uglavnom primjenjuje iz ekonomskih razloga, da bi se ograničili kapaciteti pojedinih objekata ili dijelova sustava, a time i njihovi izvedbeni i pogonski troškovi.

Ekološka uloga odnosi se na smanjenje količine otpadne tvari koja se ispušta u vodne resurse. Da bi se smanjilo ispuštanje zagađenih voda u prijamnike, u pojedinim razdobljima otjecanja provodi se rasterećenje tako da se najzagađenije vode odvede na uređaj za pročišćavanje, a manje zagađene vode se pomoću rasteretne građevine ispuštaju u prijamnik bez pročišćavanja ili samo uz prethodno mehaničko pročišćavanje.

Kombinirana uloga je najčešći slučaj koji se javlja. Naime, rasterećenje se provodi uglavnom radi ograničavanja smanjenja nizvodnog protoka, to jest zbog ekonomskih

razloga. S druge strane, ona je u skladu s potrebama zaštite vode, to jest ekološkim razlozima. Tako su hidraulički i ekološki elementi zapravo međusobno povezani.

### 3.3. Primjena kišnih rasterećenja

Kišna rasterećenja se danas uglavnom primjenjuju na mješovitoj i oborinskoj kanalizaciji.

U mješovitoj kanalizaciji se u razdobljima oborina protok u kolektorima višestruko povećava (od 5 do 20 pa i više puta), zbog toga je potrebno ograničiti veličinu protoka u sustavu i u dotoku na nove objekte. Ograničavanjem protoka preostali se dio protoka odnosno mješavine oborinskih i otpadni voda izravno ispuštaju u najbliži prijamnik. Pri tome ispušena voda mora zadovoljavati propisana ekološka i druga ograničenja. U skladu s tim rasterećenje se obavlja tek onda kada koncentracija određenih pokazatelja zagađenja (otpadnih tvari) padne ispod razine ograničenja.

Rasterećenje se izvodi neposredno ispred UPOV (uređaja za pročišćavanje otpadnih voda).

Oborinska voda iz urbanih sredina je dosta zagađena, naročito u početnom razdoblju kiša kada je zagađenje i veće od zagađenja kućanskih otpadnih voda. Zbog toga se danas rasteretne građevine primjenjuju i na kanalizaciji oborinskih voda.

### 3.4. Mjerodavne količine otpadnih voda

Mjerodavne količine otpadnih voda čine količine kućanskih, industrijskih, oborinskih i procijedih voda, izraženih u vremenskoj jedinici, koje je potrebno prikupiti i odvesti sustavom odvodnje. Nužno je poznavati količine voda koja je potrebno odvesti da bi mogli kvalitetno i racionalno dimenzionirati rasteretne građevine.

U mješovitom sustavu kanalizacije razlikujemo sušno i kišno razdoblje. Količinsko (hidrauličko) opterećenje uzrokuje oborinske vode. Zbog uvažavanja činjenice da su oborinske vode manje onečišćene od kućanskih na mješovitim se sustavima izvode preljevne građevine (kišni preljevi), s kojim se u vrijeme jakih kiša rasterećuje kanalski sustav izravnim ispuštanjem razrijeđenih voda u prijamnik.

Razlikujemo sljedeće protoke:

$$Q_{UK} = Q_{OT} + Q_{OB} = Q_P + Q_R$$

$$Q_R = Q_{OT} \cdot (1 + n)$$

$$Q_P = Q_{UK} - Q_R$$



gdje je:

$Q_{UK}$  – ukupni protok koji dolazi na preljev [ $m^3/s$ ]

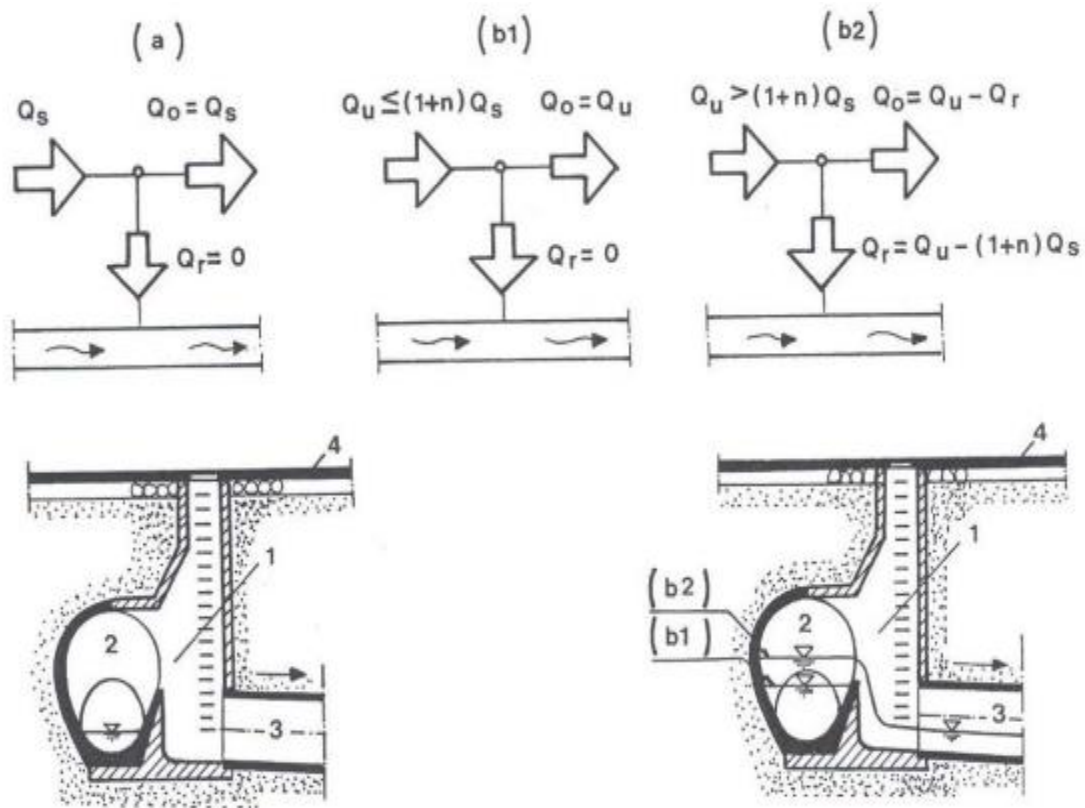
$Q_P$  – preljevni protok koji se izdvaja iz sustava [ $m^3/s$ ]

$Q_R$  – radni protok koji ostaje u sustavu [ $m^3/s$ ]

$Q_{OT}$  – otpadne odnosno komunalne vode [ $m^3/s$ ]

$Q_{OB}$  – oborinske vode [ $m^3/s$ ]

$n$  – koeficijent miješanja oborinskih i otpadnih voda



Slika 24. Načelo rada kišnog preljeva

(a)-sušno razdoblje, (b1) i (b2)-kišno razdoblje

$Q_s$ -protok otpadne vode koji dotječe u sušnom razdoblju

$Q_o$ -protok otpadne vode koji otječe kolektorima

$Q_r$ -protok otpadne vode koji se ispušta u prijamnik

U sušnom razdoblju kolektorom protječu samo kućanske i industrijske otpadne vode, dok se nadolaskom kiše formira mješovito otjecanje, pri čemu kod graničnog razrjeđenja:

$$Q_o = Q_U = (1 + n) \cdot Q_s ,$$

dolazi do rasterećenja razrijeđene otpadne vode.

Ključnu ulogu u definiranju količina ima omjer miješanja oborinske i otpadne vode ( tzv. koeficijent razrjeđenja) koji daje stupanj miješanja otpadnih s oborinskim vodama. Ovaj koeficijent ima sanitarno, ekološko i ekonomsko značenje jer određuje sastav vode koji će se iz sustava ispuštati izravno u prijamnik, ali i ekonomsko jer određuje količinu vode koja će se zadržati u sustavu i odvesti na uređaj za pročišćavanje. Proračunavanju se u ovisnosti o lokalnim prilikama, hidrološkim karakteristikama kanaliziranog područja i samopročišćavajuće sposobnosti prijamnika.

### 3.5. Konstrukcija i oblikovanje kišnih preljeva

Tipovi preljeva:

a) S obzirom na način rada dijelimo ih na:

- kišni preljevi sa statičkom kontrolom rada
- kišni preljevi sa dinamičkom kontrolom rada

Preljevi sa statičkom kontrolom rada su preljevi koji imaju elemente( duljinu i visinu preljevnog praga, dimenzije izlazne cijevi) koji se ne mijenjaju tijekom vremena ili promjenom karakteristika protoka.

Preljevi sa dinamičkom kontrolom su rasteretne građevine novijeg datuma koje imaju ugrađene elemente pomoću kojih se upravlja radom(protokom) rasteretne građevine u skladu s veličinom protoka u kanalizacijskom sustavu i količinom otpadne tvari u mješavini voda.

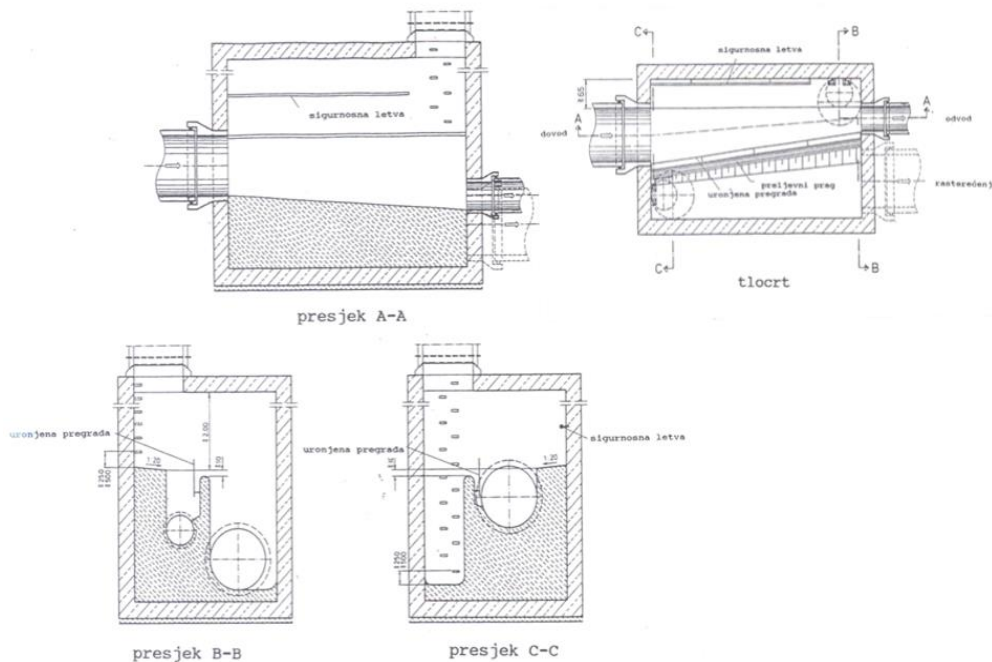
b) S obzirom na položaj preljevnog praga prema smjeru kretanja vode u dotoku na preljevni prag:

- okomiti ili čelni kišni preljev
- bočni preljev

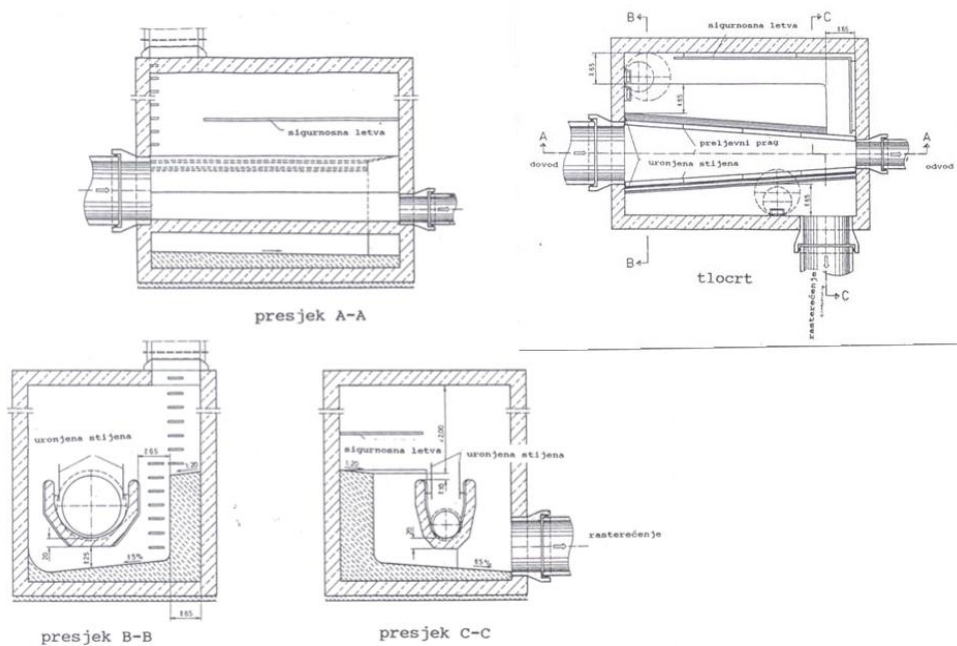
Kod okomitog ili čelnog preljeva, preljevni prag je postavljen poprečno smjeru tečenja vode. Čelni kišni preljev može biti potpun, što znači da je prag postavljen okomito na smjer tečenja, ili nepotpun, kada je postavljen pod nešto većim kutom.

Kod bočnih preljeva, prelivni prag je postavljen paralelno sa smjerom tečenja, i nepotpuni bočni preljev, kog kojeg je prelivni prag postavljen pod kutom.

Rasteretna građevina s bočnim preljevom može biti jednostrana ili dvostrana.



Slika 25. Rasteretna građevina s jednostranim bočnim preljevom



Slika 26. Rasteretna građevina s dvostranim bočnim preljevom

c) Rasteretne građevine s preljevnim pragom u krivini

d) Razdjelni preljev

Kod razdjelnog preljeva, prelijevanje kod nekog protoka ostvaruje se tako da odbačeni mlaz preskače radni kanal za sušno razdoblje i prelijeva se u odteretni kanal preljeva.

e) Rasteretna građevina s otvorom na dnu

f) Rasteretna građevina sa sifonskim preljevom

g) S obzirom na režim tečenja u kanalu, razlikujemo:

- preljev s prigušenjem
- preljev bez prigušenja

Kod preljeva s prigušenjem, voda na početku radnog kanala teče pod tlakom tvoreći tako prigušnicu. Ukoliko nema prigušenja, tada je voda u radnom kanalu sa slobodnim vodnim licem. Svrha prigušenja je dobivanje što ravnomjernijeg otjecanja u kanalizacijskom sustavu kod različitih režima rada preljeva, a to za posljedicu ima podizanje razine vode na preljevu, čime se na manjoj duljini preljevnog praga mogu prelijevati veće količine. Zbog toga su preljevi s prigušenjem racionalniji i pouzdaniji.

h) S obzirom na režim tečenja u preljevnom kanalu, imamo dva slučaja:

- potopljeni preljev
- nepotopljeni preljev

Potopljeni preljev je onaj kod kojeg je razina vode u preljevnom kanalu viša od razine preljevnog praga, a nepotopljeni preljev je onaj kod kojeg je razina vode u preljevnom kanalu niža od razine preljevnog praga.

Da bi se spriječilo otjecanje plivajućih tvari preko preljevnog praga, u prijamnik se postavljaju uronjene pregrade. Pregrade zadržava plivajuće tvari, a po prestanku dotoka oborinskih voda plivajuće tvari otječu putem prigušnice u pravcu uređaja. Da bi učinak pregrade bio dobar, nužno je da je voda koja dolazi u bazen usparena, odnosno da ima mirni tok. Zbog toga ulazni cjevovod mora biti većih dimenzija, odnosno mora biti veći od minimalnog:

$$D_{min} = 0,165 \cdot Q^{0.4}$$

Primjena pojedinog tipa rasterećenja ovisi o: -

- oblik i položaj kanala
- raspoloživi prostor
- položaj prijamnika
- položaj radnog kanala
- visinski odnosi razina vode u kanalu
- režim tečenja u kanalima
- način upravljanja

### **3.6. Materijal za građenje i oblaganje**

Materijali za građenje:

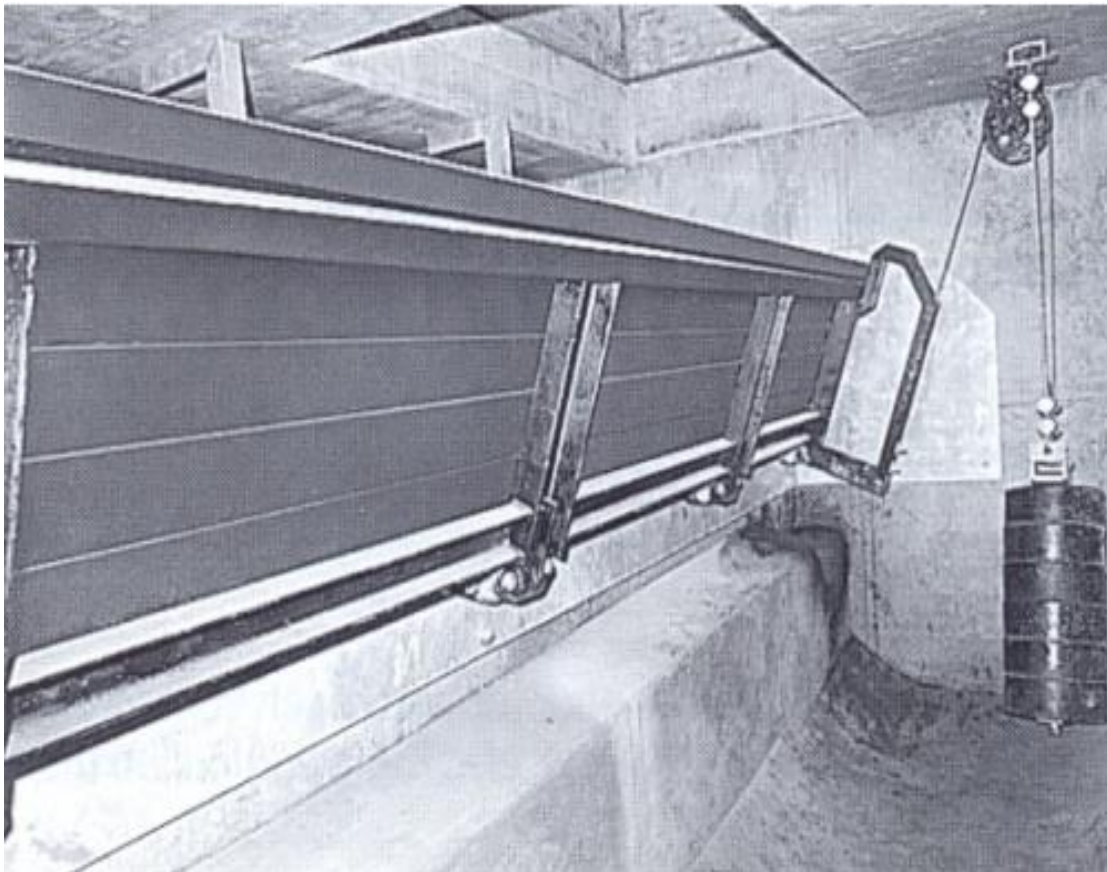
- opeka, koristila se više u prošlosti
- beton
- armirani beton

Materijali za oblaganje:

- plastične obloge
- klinker pločice
- kamen
- specijalni premazi

Podešavajući metalni dijelovi koji služe za reguliranje preljevnog praga:

- samopodesivi preljevni pragovi
- servo motori
- indikator razine
- stupaljke ili ljestve
- lijevano željezni poklopci



*Slika 27. Primjer samo-regulirajućeg praga izrađenog od drveta*



*Slika 28. Mehaničko upravljanje rasterećenjem*

### **3.7. Dimenzioniranje kišnih preljeva**

Hidraulički proračun kišnog preljeva sastoji se od određivanja:

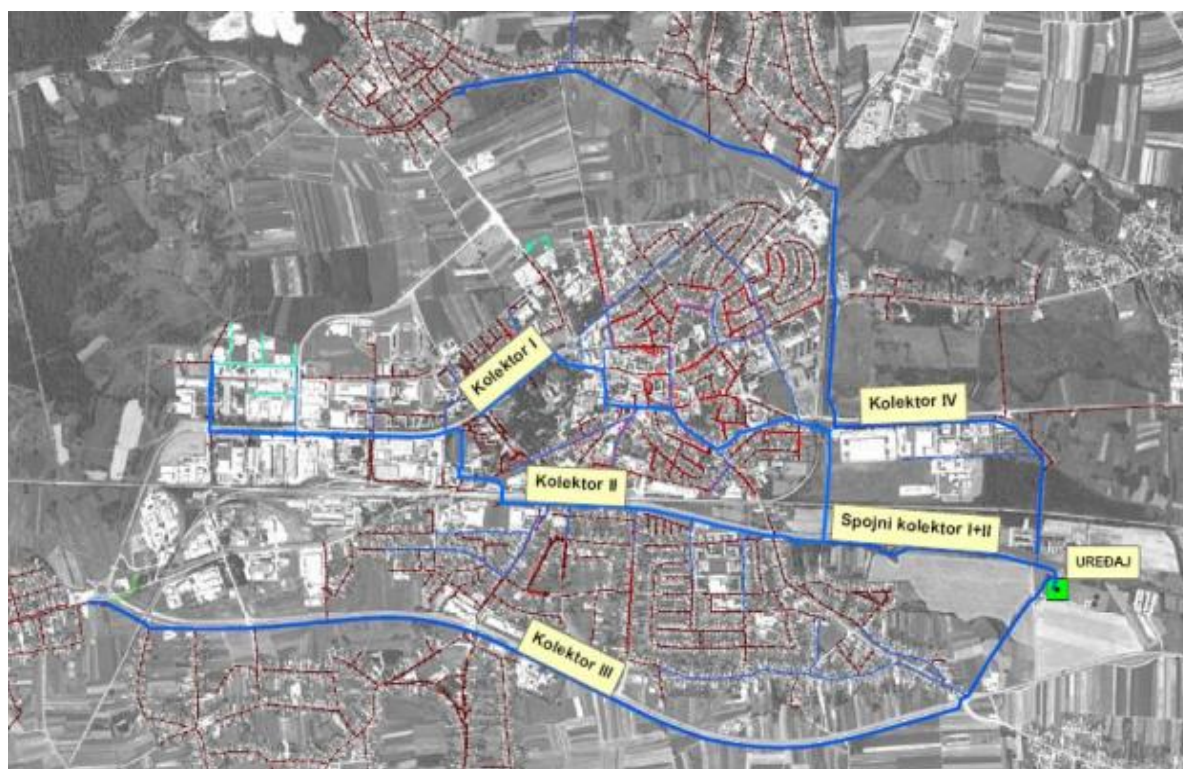
- visine i duljine preljevnog praga
- dimenzija preljevnog i radnog kanala

Osnovni cilj hidrauličkog dimenzioniranja rasteretnih građevina je:

- da prelijevanje započinje tek kada protok postane veći od kritičnog
- da se dotok na izlazu iz rasteretne građevine prema uređaju za pročišćavanje, znatnije ne mijenja s promjenom protoka u dotoku iznad kritičnog protoka rasteretne građevine  $Q_{krit}$ .

## 4. O LOKACIJAMA PREDMETNIH GRADNJA

Sustav odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda s područja aglomeracije Čakovec, sastoji se od sustava odvodnje grada Čakovca koji je izveden je kao mješoviti tip odvodnje otpadnih voda te prigradskih naselja koji pripadaju sustavu odvodnje grada Čakovca i s njim čine cjelinu. Rasterećenje mješovitih voda kišnog razdoblja odvija se putem kišnih preljeva i pripadnih kišnih retencijskih spremnika, a za ispuštanje svih eluenata služi vodotok Trnave. Postojeći sustav čini 206 km kolektora, a osnovu cjelokupnog kanalizacijskog sustava čine četiri glavna odvodna kolektora: kolektor I, kolektor II, kolektor III i kolektor IV, te su na njima izgrađena četiri kišna preljeva.



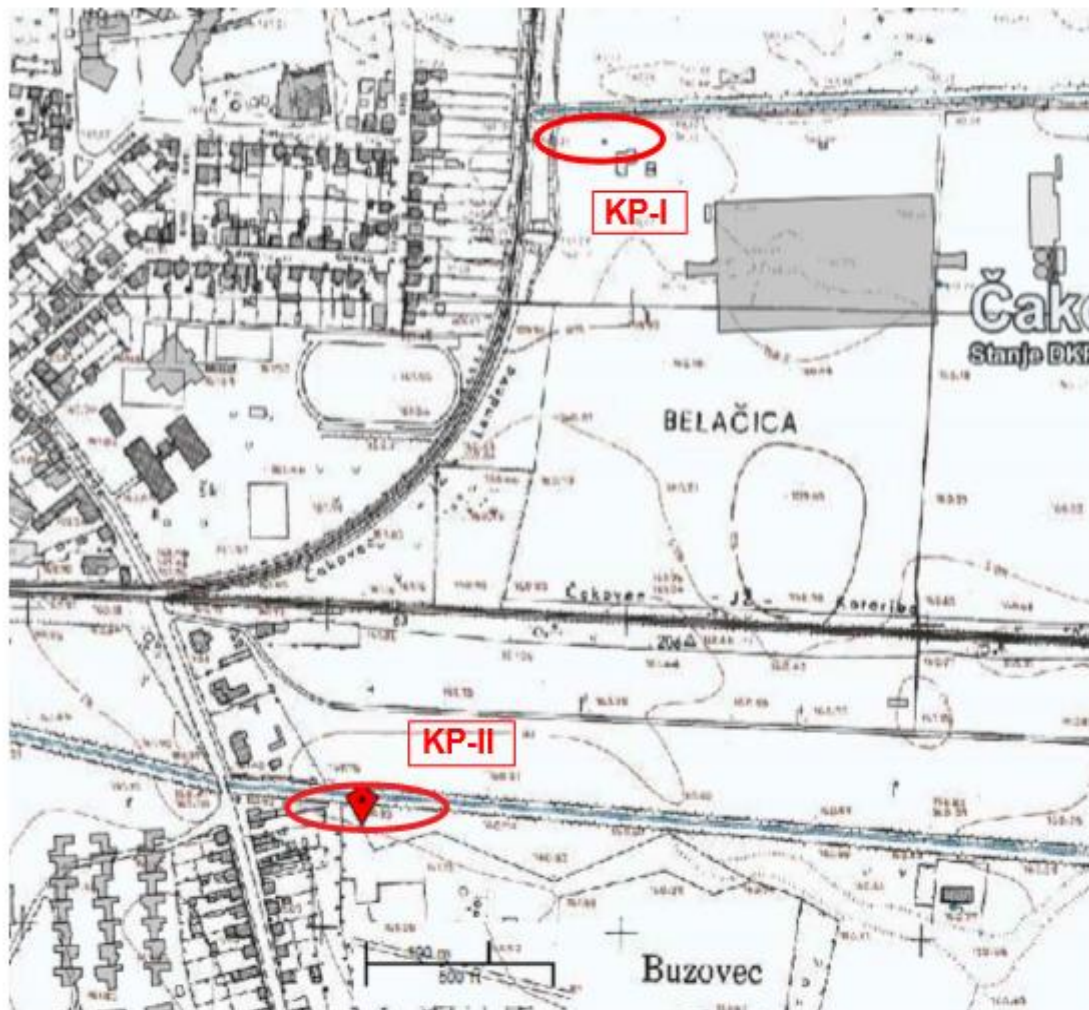
Slika 29. Postojeći sustav odvodnje grada Čakovca

Sam sustav odvodnje grada Čakovca dobro je razvijen, osobito nakon 2004.g. kada su izrađeni kolektor III i kolektor IV. Njihovom izgradnjom omogućen je transport otpadnih voda do uređaja za pročišćavanje. U postojećem stanju sustav odvodnje je funkcionalan, međutim detaljnim pregledom, identificiran je niz problema koji se odnose na UPOV( nedostatan retencijski prostor kod kišnih preljeva KP-I i KP-II, prelijevanje pristiglog suviška kod kišnog preljeva KP-II u Lateralni kanal već kod manjih oborina, te niz drugih nedostataka. Zbog navedenih nedostataka koji su identificirani na sustavu, s ciljem poboljšanja funkcionalnosti cijelog sustava, na sustavu odvodnje grada Čakovca predviđeni su mnogi radovi, a jedni od tih su: „Rekonstrukcija kišnog preljeva na kolektoru I s dogradnjom retencijskog bazena, i „Rekonstrukcija kišnog preljeva na kolektoru II s dogradnjom retencijskog bazena“.



#### 4.1. Geotehnički istražni radovi

Kao podloga projektiranju rade se geotehnički terenski i laboratorijski istražni radovi na predmetnim lokacijama, jer jedna od najvažnijih stvari je kvaliteta podataka kojima se ulazi u proračun. Zbog toga je cilj geotehničkih istražnih radova odrediti vrste i svojstva materijala tla na predmetnoj lokaciji, te na osnovi tih podataka određivanje karakteristika i to najviše koeficijenta vodopropusnosti kako bih se utvrdio način zaštite građevinske jame u smislu snižavanja podzemne vode.



Slika 30. Lokacije kišnih preljeva KP-I, KP-II; i istražih bušotina



*Slika 31. Lokacija kišnog preljeva KP-I*

#### **4.1.1. Terenski istražni radovi**

Na predmetnoj lokaciji izvedeno je bušenje 2 geomehaničke istražne bušotine po lokaciji budućih kišnih preljeva KP-I i KP-II. Bušenje bušotina je izvedeno motornom rotacijskom bušilicom, a ispitivanje tla izvedeno je standardnim penetracijskim pokusom (SPP). Na sljedećim slikama mogu se vidjeti uzorci bušenog tla po svakoj od lokacija.



*Slika 32. Materijal bušotine B1 – KP-I*



*Slika 33. Materijal bušotine B2-KP-II*

Opis sondažnih bušotina B1 i B2:

0,00-1,20 m - Nasuto (mješavina materijala: šljunak, pijesak, prah);

1,20-2,10 m - GM šljunak s primjesama praha;

2,10-9,00 m - GW dobro graduirani šljunak, zbijen, maksimalnih veličina uglatih valutica do 50,0 mm.

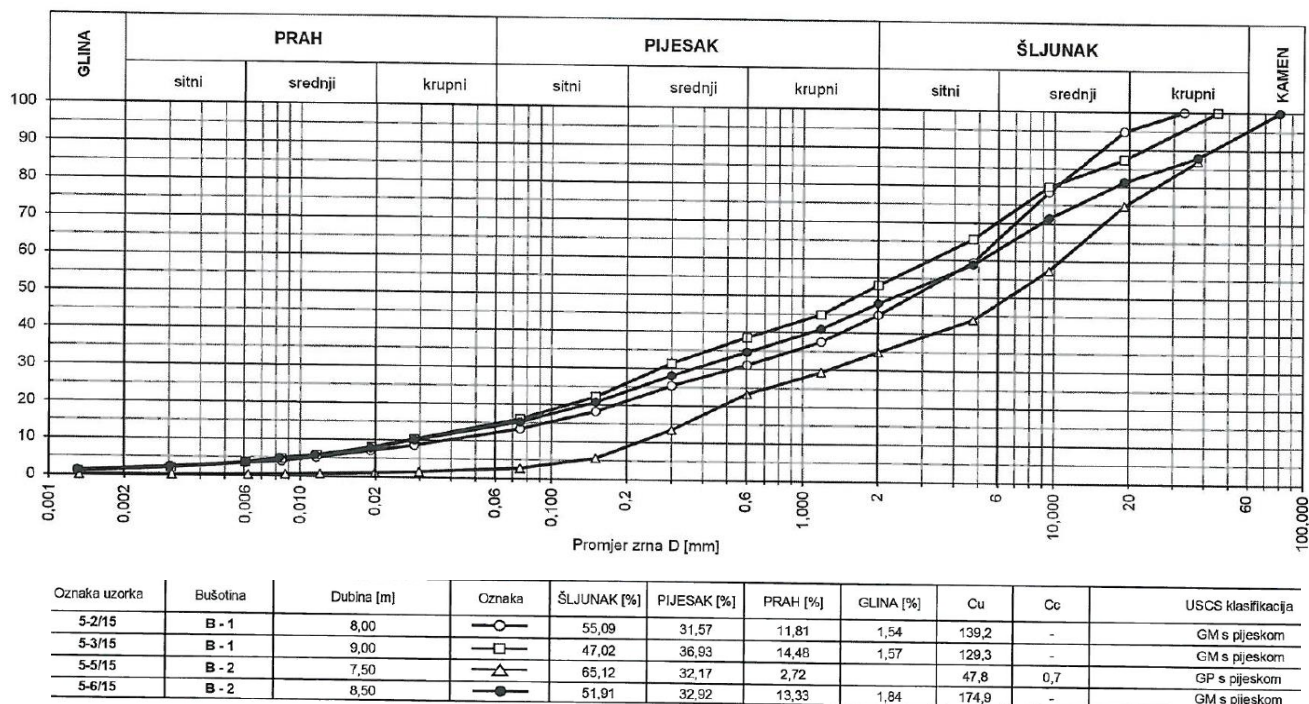
Ustanovljeno je da se kota podzemne vode na lokaciji KP-I, nalazi na 2.1m. ispod kote terena, a na lokaciji KP-II, 2.8.m. ispod kote terena.

Prilikom sondiranja tla iz geomehaničkih istražnih bušotina uzimaju se poremećeni uzorci za laboratorijske analize, odnosno određivanje koeficijenta vodopropusnosti.

#### **4.1.2. Laboratorijska ispitivanja**

Laboratorijska ispitivanja provode se na poremećenim uzorcima koji su uzeti prilikom obavljanja terenskih radova. Na temelju dobivenih podataka o veličini čestica i njihovom udjelu u tlu izrađuje se granulometrijski dijagram koji prikazuje granulometrijski sastav tla. Uz pomoć granulometrijskog dijagrama određuje se promjer efektivnog  $D_{10}$  i promjer dominantnog zrna  $D_{60}$ , te se pomoću tih promjera izračunavaju koeficijent jednoličnosti  $C_u$  i zakrivljenosti  $C_c$  koji služe za ocjenu graduiranosti nekoherentnog materijala.

Dijagram granulometrijskog sastava tla (*Slika 34.*), izrađen za materijal koji je uzet na predmetnoj na lokaciji KP-I i na predmetnoj lokaciji KP-II, možemo vidjeti da je tlo dobro graduirano jer se sastoji od čestica različitih promjera. No, daleko je veća zastupljenost nekoherentnog tla u donosu na koherentno tlo, što možemo vidjeti u tablici koje se nalazi u sklopu (*Slika 34.*).



Slika 34. Granulometrijski sastav tla

#### 4.1.2.1. Koeficijent vodopropusnosti

Određivanje koeficijenta vodopropusnosti jedno je od najčešćih laboratorijskih ispitivanja u geotehnici. Određuje se eksperimentalno (u laboratoriju ili „in situ“), te njegova vrijednost ovisi o osobinama tla (porozitetu, rasporedu pora) i karakteru tekućine (viskoznost, temperatura)

Koeficijent vodopropusnosti za nekoherentni materijal možemo provesti na osnovi granulometrijskog dijagrama pomoću pojednostavljenog Hazenovog empirijskog izraza:

$$k = 1000 \cdot D_{10}^2 [\text{m/dan}]$$

ako se pretvara u jedinicu cm/s, onda je:

$$k = 1,16 \cdot D_{10}^2 [\text{cm/s}]$$

gdje je:

$D_{10}$ -efektivni promjer zrna, odnosno promjer zrna tla od kojeg 10% mase uzorka ima zrna manjeg promjera

Također možemo izračunati pomoću Terzaghijevog izraza:

$$k = \gamma_w \cdot m_v \cdot c_v$$

$$c_v = \frac{T_v \cdot H^2}{t}$$

gdje je,

$m_v$  – koeficijent promjene obujma

$c_v$  – koeficijent konsolidacije

$T_v$  – bezdimenzionalni vremenski koeficijent

U sljedećoj tablici možemo vidjeti koeficijente vodopropusnosti za određenu vrstu tla.

Materijal	Šljunak	Pijesak	Sitan pjeskovit prah i smjese	Glina
k(cm/s)	$10^{-2}-10^{-1}$	$10^{-1}-10^{-3}$	$10^{-3}-10^{-7}$	$<10^{-7}$

*Tablica 1. Koeficijenti vodopropusnosti za razne vrste tla*

Na temelju granulometrijskog dijagrama izračunati su koeficijenti vodopropusnosti za građevinsku jamu budućeg KP-I, te iznosi  $1,04 \cdot 10^{-5}$  cm/s, te za građevinsku jamu budućeg KP-II, te iznosi  $4,64 \cdot 10^{-4}$  cm/s. Razlog ovolikog koeficijenta vodopropusnosti je sastav samog tla jer je poznata činjenica da su nekoherentna tla daleko veće propusnosti. U proračunu će biti prikazani način izračuna koeficijenta vodopropusnosti na temelju granulometrijskog dijagrama.

Analizom dobivenih podataka iz laboratorija te još nekih provedenih istraživanja, za izračun geostatičkog proračuna usvojeni su sljedeći parametri:

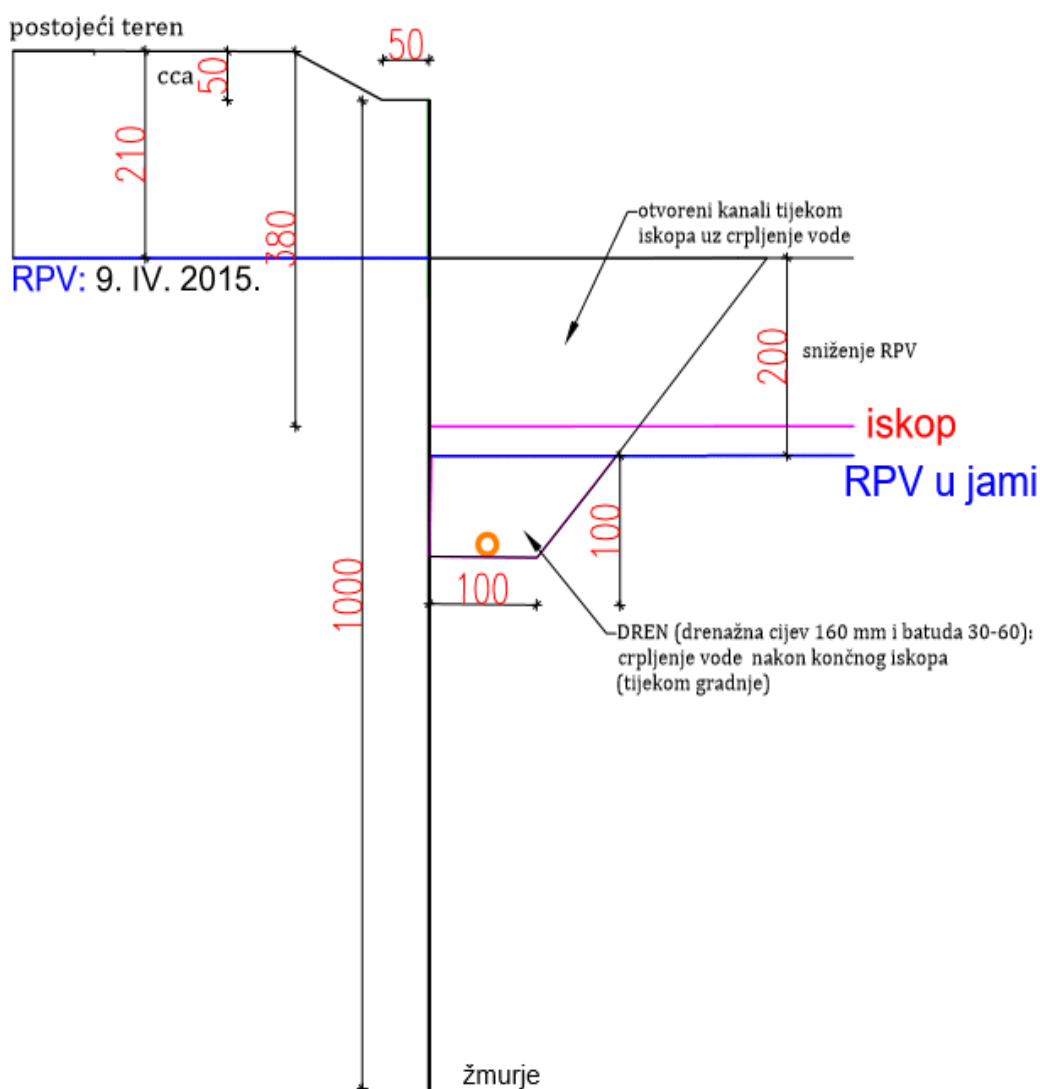
$$\gamma=19.0 \text{ kN/m}^3, c=0 \text{ kN/m}^2 \text{ i } \phi=33-35^\circ$$

## 5. TEHNIČKE ANALIZE PREDMETNIH ZAHVATA

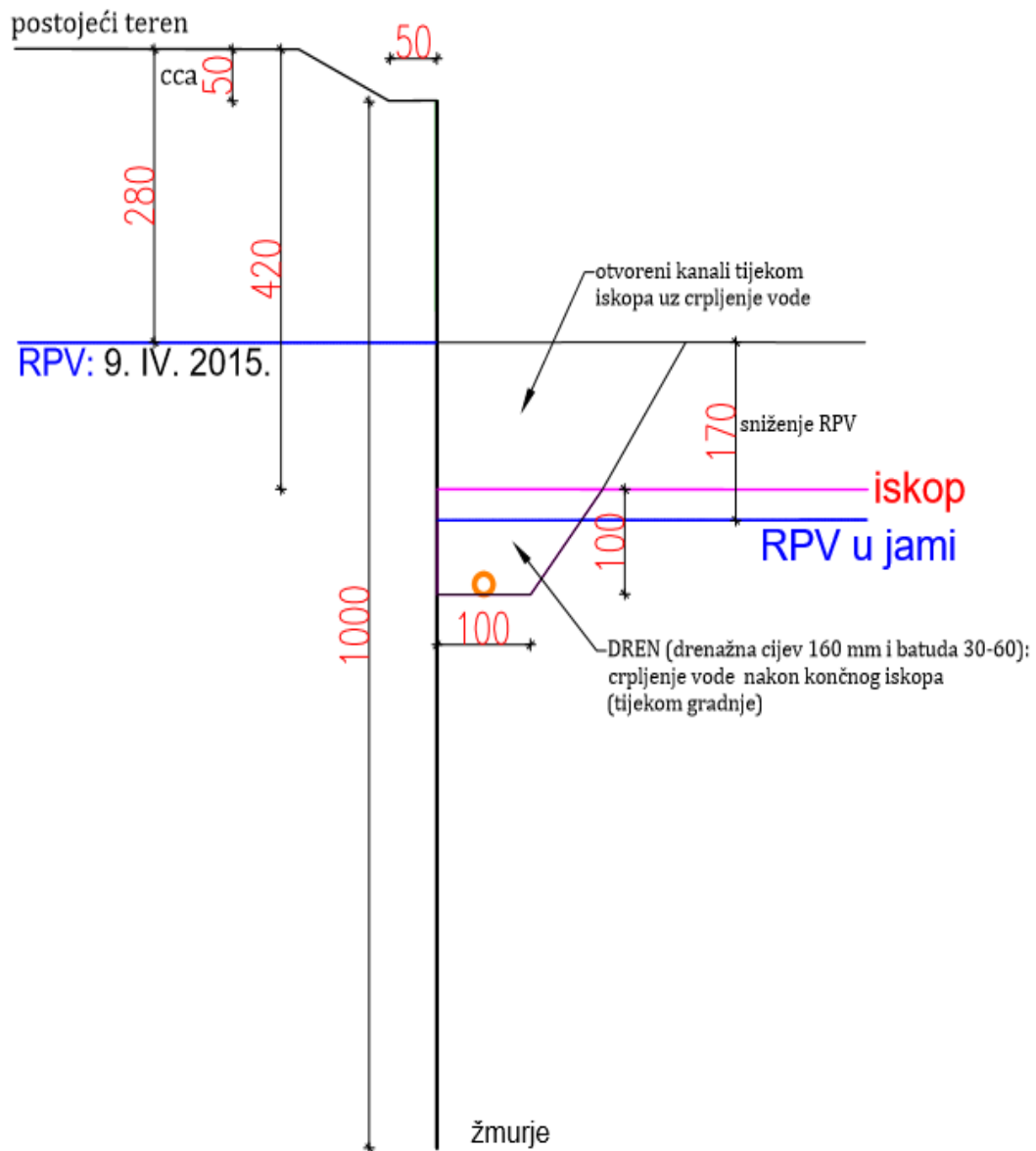
### 5.1. Problematika

Kao što je već navedeno, u sklopu odvodnje grada Čakovca, potrebno je izraditi 2 kišna preljeva na kolektorima I i II. Za njihovu izgradnju potrebno je zaštititi građevinsku jamu, odnosno provesti bočnu zaštitu i sniziti razinu podzemne vode.

U građevinskoj jami budućeg KP-I razina podzemne vode izmjerena je 2,1 m ispod kote terena. Kota temeljenja građevine je 1,8 m ispod razine podzemne vode, a u građevinskoj jami budućeg KP-II razina podzemne vode izmjerena je 2,8 m ispod kote terena. Kota temeljenja građevine je cca 1,4 m ispod razine podzemne vode. Zbog toga je potrebno sniziti razinu podzemne vode da bi se radovi izveli u „suhom“, i to u građevinskoj jami KP-1 0,2 m ispod kote iskopa, te u građevinskoj jami KP-II 0,3 m ispod kote iskopa.



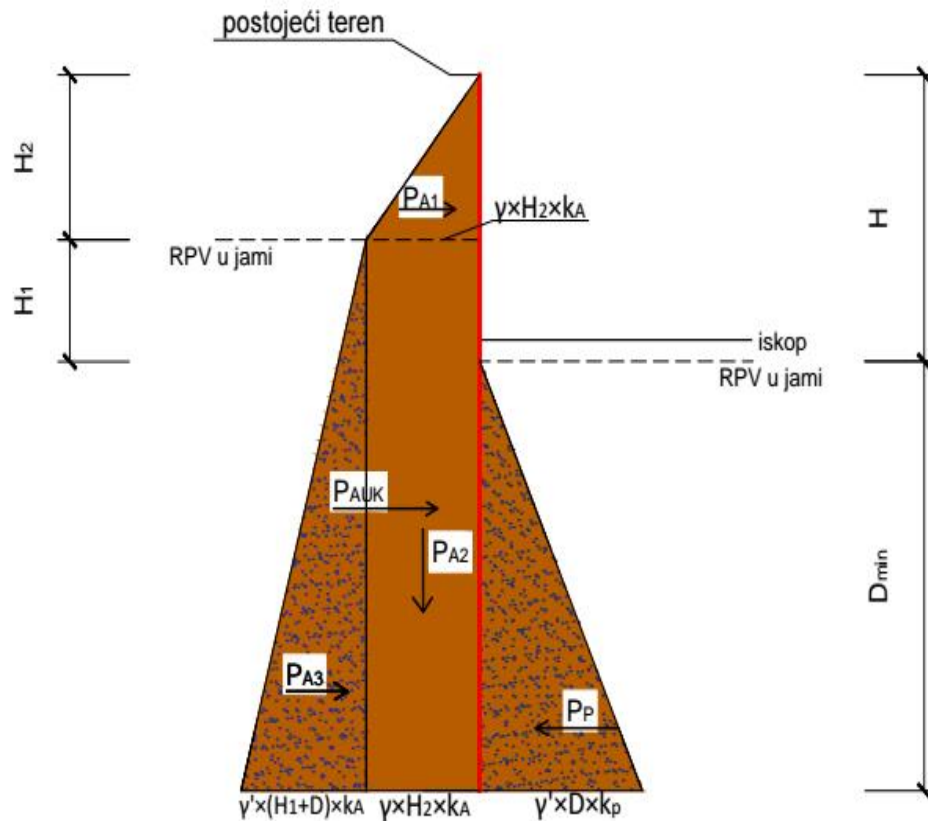
Slika 35. Bočna zaštita građevinske jame; Snižavanje RPV u jami; drenažni sustav; u KP-I



Slika 36. Bočna zaštita građevinske jame; Snižavanje RPV u jami; drenažni sustav; u KP-II



## 5.2. Izračun minimalne dubine zabijanja žmurja



Slika 37. Raspodjela tlakova na zagatnu stijenu

### 5.2.1. U građevinskoj jami KP-I

Poznati podaci:

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma' = 9 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi = 35^\circ$$

$$H_1 = 1,7 \text{ m}$$

$$H_2 = 2,3 \text{ m}$$

$$D = 6 \text{ m}$$

**Koeficijent aktivnog tlaka i pasivnog otpora**

$$k_A = \tan^2\left(45^\circ - \frac{35^\circ}{2}\right)$$

$$k_A = 0,27$$

$$k_P = \tan^2\left(45^\circ + \frac{35^\circ}{2}\right)$$

$$k_P = 3,69$$

**Aktivne sile**

$$P_{A1} = \frac{\gamma \times H_2^2}{2} \times k_A$$

$$P_{A1} = \frac{19 \times (2,3)^2}{2} \times 0,27$$

$$P_{A1} = 13,56 \text{ kN/m'}$$

$$P_{A2} = \gamma \times H_2 \times (H_1 + D) \times k_A$$

$$P_{A2} = 19 \times 2,3 \times 7,7 \times 0,27$$

$$P_{A2} = 90,85 \text{ kN/m'}$$

$$P_{A3} = \frac{\gamma' \times (H_1 + D)^2}{2} \times k_A$$

$$P_{A3} = \frac{9 \times 7,7^2}{2} \times 0,27$$

$$P_{A3} = 72,03 \text{ kN/m'}$$

$$P_{AUK} = P_{A1} + P_{A2} + P_{A3}$$

$$P_{AUK} = 13,56 + 90,85 + 72,03$$

$$P_{AUK} = 176,44 \text{ kN/m'}$$

**Pasivne sile**

$$P_p = \frac{\gamma' \times D}{2} \times k_p$$

$$P_p = \frac{9 \times 6^2}{2} \times 3,69$$

$$P_p = 597,78 \text{ kN/m'}$$

**Težište aktivnih sila**

$$X_T = \frac{X_1 \times A_1 + X_2 \times A_2 + X_3 \times A_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$X_T = \frac{\frac{2}{3} \times \gamma \times H_2 \times k_A \times P_{A1} + \frac{\gamma \times H_2 \times k_A}{2} \times P_{A2} + (\gamma \times H_2 \times k_A + \frac{2}{3} \gamma' (H_1 + D) \times k_A) P_{A3}}{P_{A1} + P_{A2} + P_{A3}}$$

$$X_T = \frac{13,56 \times 7,86 + 90,85 \times 5,9 + 72,03 \times 28,32}{13,56 + 90,85 + 72,03}$$

$$X_T = 15,2 \text{ m}$$

$$Y_T = \frac{Y_1 \times A_1 + Y_2 \times A_2 + Y_3 \times A_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$Y_T = \frac{(D + H_1 + \frac{2}{3} H_2) \times P_{A1} + \left(\frac{D+H_1}{2}\right) \times P_{A2} + \frac{2}{3} (D + H_1) \times P_{A3}}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$Y_T = \frac{9,23 \times 13,56 + 3,85 \times 90,85 + 5,13 \times 72,03}{13,56 + 90,85 + 72,03}$$

$$Y_T = 4,79 \text{ m}$$

$$M_A = M_P$$

$$P_{AUK} \times y_T = P_P \times \frac{D_{min}}{3} / P_P$$

$$D_{min} = \frac{3 \times P_{AUK} \times y_T}{P_P}$$

$$D_{min} = \frac{3 \times 176.44 \times 4.55}{597.78}$$

$$D_{min} = 4.2 \text{ m}$$

### 5.2.2. U građevinskoj jami KP-II

Poznati podaci:

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma' = 9 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi = 35^\circ$$

$$H_1 = 2 \text{ m}$$

$$H_2 = 1.6 \text{ m}$$

$$D = 6.4 \text{ m}$$

#### Koeficijent aktivnog tlaka i pasivnog otpora

$$k_A = \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{35^\circ}{2} \right)$$

$$k_A = 0.27$$

$$k_P = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{35^\circ}{2} \right)$$

$$k_P = 3.69$$

**Aktivne sile**

$$P_{A1} = \frac{\gamma \times H_2^2}{2} \times k_A$$

$$P_{A1} = \frac{19 \times (1,6)^2}{2} \times 0,27$$

$$P_{A1} = 6,56 \text{ kN/m'}$$

$$P_{A2} = \gamma \times H_2 \times (H_1 + D) \times k_A$$

$$P_{A2} = 19 \times 1,6 \times 8,4 \times 0,27$$

$$P_{A2} = 68,95 \text{ kN/m'}$$

$$P_{A3} = \frac{\gamma' \times (H_1 + D)^2}{2} \times k_A$$

$$P_{A3} = \frac{9 \times 8,4^2}{2} \times 0,27$$

$$P_{A3} = 85,73 \text{ kN/m'}$$

$$P_{AUK} = P_{A1} + P_{A2} + P_{A3}$$

$$P_{AUK} = 6,56 + 68,95 + 85,73$$

$$P_{AUK} = 161,24 \text{ kN/m'}$$

**Pasivne sile**

$$P_P = \frac{\gamma' \times D}{2} \times k_P$$

$$P_P = \frac{9 \times 6,4^2}{2} \times 3,69$$

$$P_P = 680,14 \text{ kN/m'}$$

**Težište aktivnih sila**

$$X_T = \frac{X_1 \times A_1 + X_2 \times A_2 + X_3 \times A_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$X_T = \frac{\frac{2}{3} \times \gamma \times H_2 \times k_A \times P_{A1} + \frac{\gamma \times H_2 \times k_A}{2} \times P_{A2} + (\gamma \times H_2 \times k_A + \frac{2}{3} \gamma' (H_1 + D) \times k_A) P_{A3}}{P_{A1} + P_{A2} + P_{A3}}$$

$$X_T = \frac{5,47 \times 6,56 + 4,1 \times 68,95 + 21,81 \times 85,73}{6,56 + 68,95 + 85,73}$$

$$X_T = 13,57 \text{ m}$$

$$Y_T = \frac{Y_1 \times A_1 + Y_2 \times A_2 + Y_3 \times A_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$Y_T = \frac{(D + H_1 + \frac{2}{3} H_2) \times P_{A1} + \left(\frac{D+H_1}{2}\right) \times P_{A2} + \frac{2}{3} (D + H_1) \times P_{A3}}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$Y_T = \frac{9,47 \times 6,56 + 4,2 \times 68,95 + 5,6 \times 85,73}{6,56 + 68,95 + 85,73}$$

$$Y_T = 5,16 \text{ m}$$

$$M_A = M_P$$

$$P_{AUK} \times Y_T = P_P \times \frac{D_{\min}}{3} / P_P$$

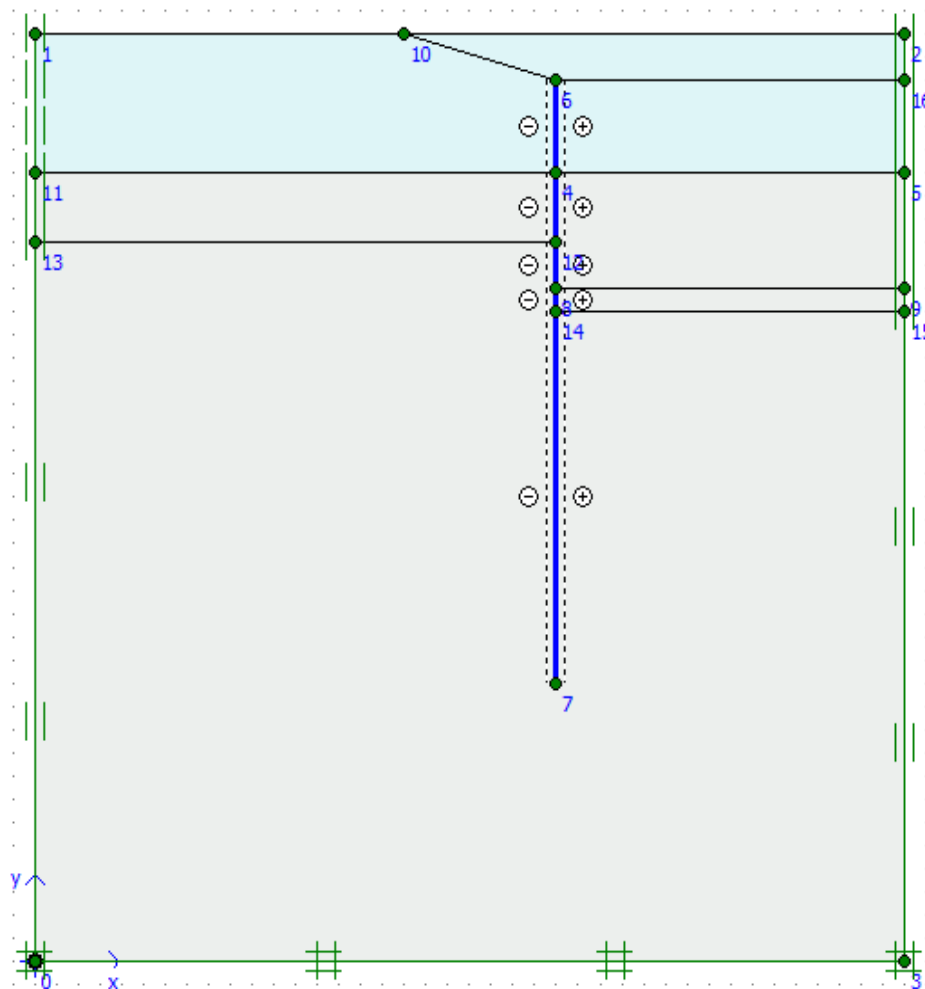
$$D_{\min} = \frac{3 \times P_{AUK} \times Y_T}{P_P}$$

$$D_{\min} = \frac{3 \times 161,24 \times 5,16}{680,14}$$

$$D_{\min} = 3,67 \text{ m}$$

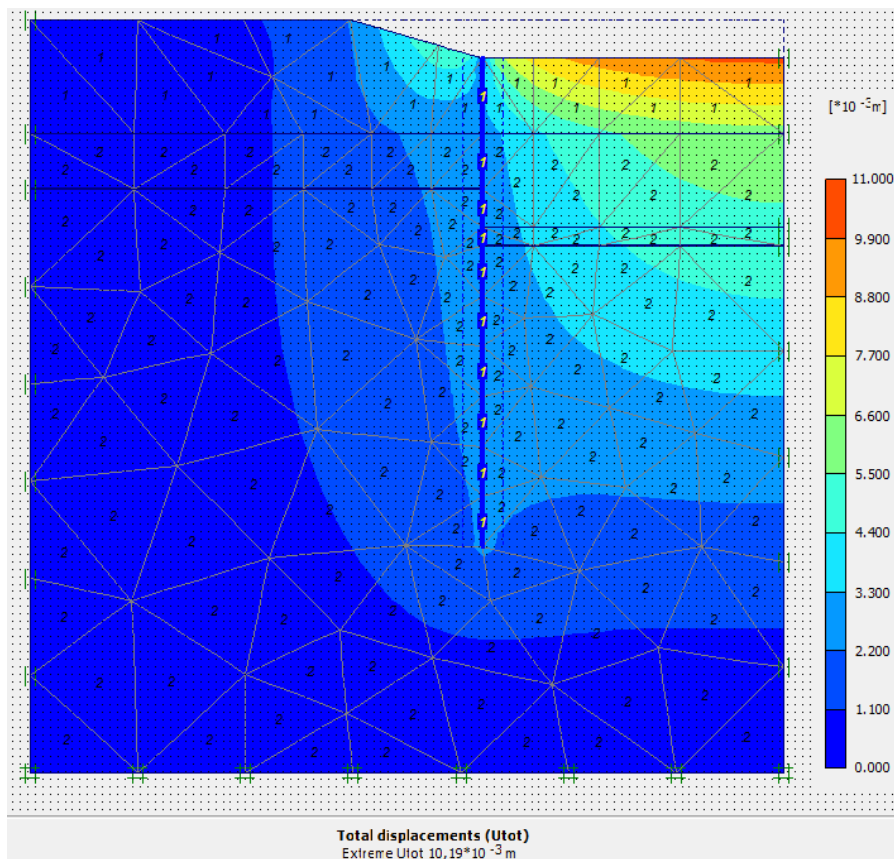
### 5.3. Proračun stabilnosti bokova građevinske jame

U današnje vrijeme nezamislivo je ručno izračunavanje sila, momenata, deformacija okolnog tla, te crtanja dijagrama bez softverskih paketa koji nam to uvelike olakšavaju, te nam pružaju uvid u neke buduće situacije. Za proračun pomaka, unutarnjih sila, momenata, deformacija žmurja korišten je softverski paket „Plaxis“.

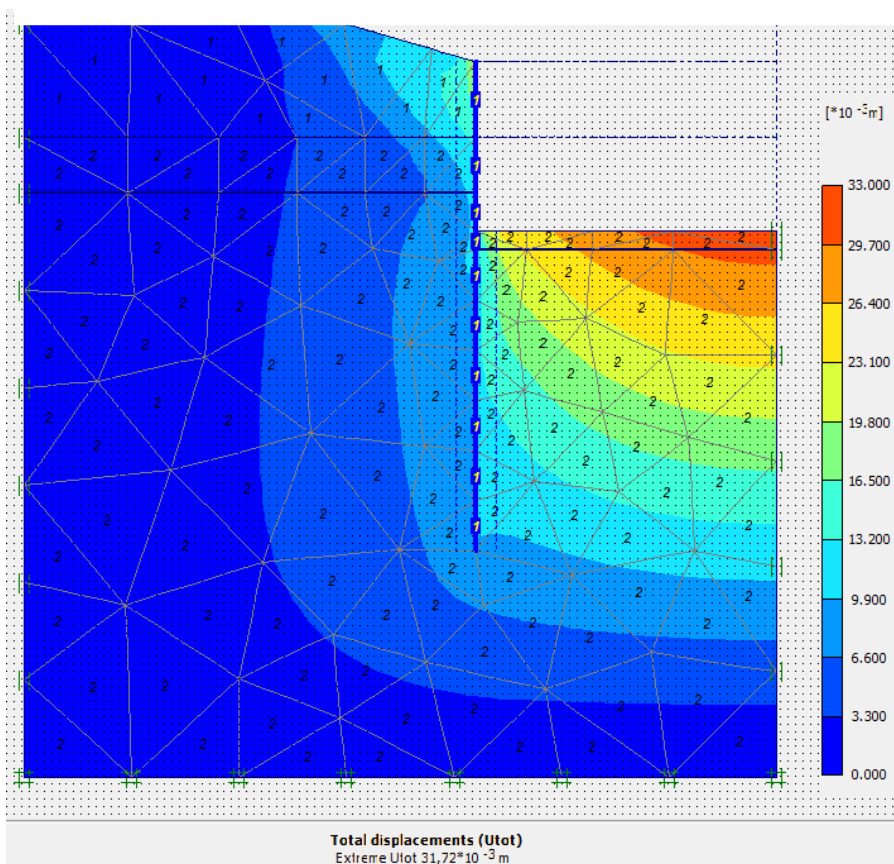


Slika 38. Model proračuna

Prednost računalnih programa je što nam pružaju grafički uvid u deformacije tla oko zabijenog žmurja. Na taj način možemo predvidjeti neke nepovoljne situacije kao što je gubitak stabilnosti okolnog tla, što može nepovoljno djelovati na građevinu. U našem slučaju možemo vidjeti deformacije tla oko zabijenog žmurja u stanju nakon manjeg iskopa i ugradnje žmurja, te u stanju nakon konačnog iskopa. Na sljedećim slikama možemo vidjeti da se deformacija uvelike povećavaju s dubinom iskopa i da su najveće upravo na dnu građevinske jame.



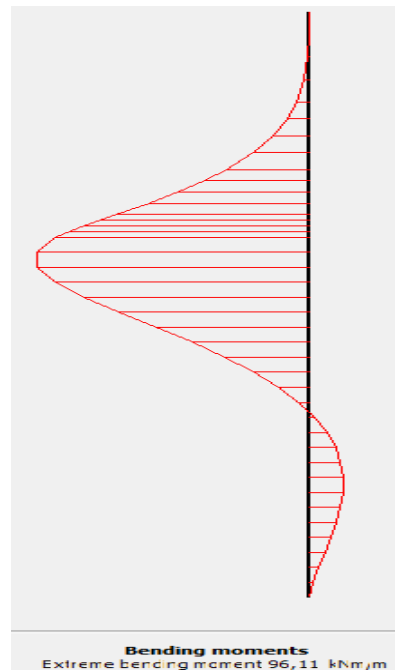
Slika 39. Deformacije nakon manjeg iskopa i ugradnje žmurja



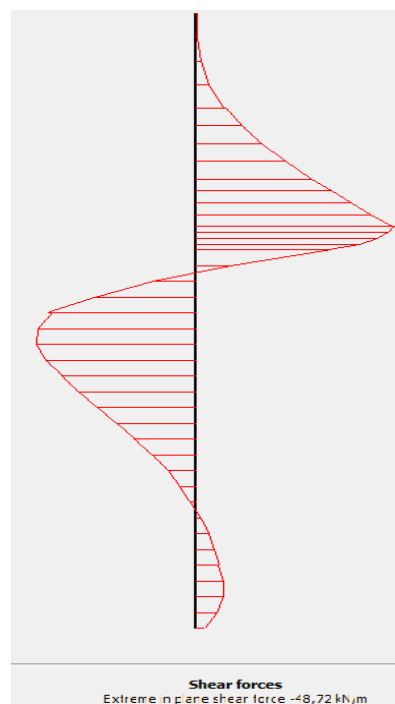
Slika 40. Pomaci nakon konačnog iskopa



Programskim paketom „Plaxis“ izračunata je vrijednost maksimalnog momenta savijanja žmurja nakon konačnog iskopa građevinske jame, te njegova vrijednosti iznosi  $M_{\max}=94$  kNm/m, što i prikazuje ( *Slika 41.*), kao i vrijednost maksimalne poprečne sile ( *Slika 42.*), nakon dovršetka iskopa građevne jame koja iznosi  $Q_{\max}=47$  kN/m.



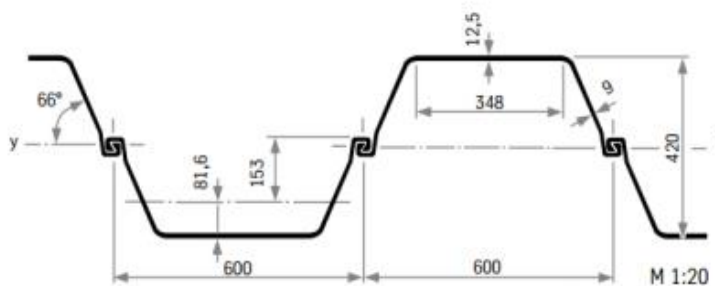
*Slika 41. Maksimalni moment savijanja u žmurju nakon konačnog iskopa*



*Slika 42. Maksimalna poprečna sila u žmurju nakon konačnog iskopa*

**LARSEN 605**

	Einheit	je m Wand	Einzelbohle	Doppelbohle	Dreifachbohle	
<b>Elastisches Widerstandsmoment<sup>1)</sup></b>	$W_y$	cm <sup>3</sup>	<b>2020</b>	520	2420	2790
	$W_z$	cm <sup>3</sup>	–	1420	–	–
<b>Plastisches Widerstandsmoment<sup>2)</sup></b>	$W_y$	cm <sup>3</sup>	2340	–	–	–
<b>Eigenlast</b>		kg/m	<b>139,2</b>	83,5	167,0	250,5
Querschnittsfläche		cm <sup>2</sup>	177,3	106,4	212,8	319,2
Umfang <sup>2)</sup>		cm	290	200	374	548
Beschichtungsfläche <sup>3)</sup>		m <sup>2</sup> /m	2,90	1,88	3,62	5,36
Statisches Moment	$S_y$	cm <sup>3</sup>	1170	–	–	–
<b>Flächenträgheitsmoment</b>	$I_y$	cm <sup>4</sup>	<b>42420</b>	7910	50900	70510
	$I_z$	cm <sup>4</sup>	–	45350	–	–
Trägheitsradius	$i_y$	cm	15,47	8,62	15,47	14,86



Slika 43. Karakteristike žmurja Larssen 605

Moment inercije

$$I_y = 42420 \text{ cm}^4$$

Momente otpora

$$W_y = 2020 \text{ cm}^3$$

Površina presjeka žmurja

$$A_z = 177 \text{ cm}^2$$

Krutost na izvijanje

$$EI = 8,9 \times 10^4 \text{ kNm}^2$$

Aksijalna krutost

$$EA = 37,17 \times 10^5 \text{ kN}$$

Kontrola normalnih naprezanja:

$$\sigma_{dop} = 160 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_y} = \frac{94}{0,00202} = 47 \text{ MPa} < \sigma_{dop}$$

Kontrola posmičnih naprezanja:

$$\tau_{dop} = 90 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = \frac{T_{max}}{A_z} = \frac{47}{00177} = 2,7 \text{ MPa} < \tau_{dop}$$

Kontrolom normalnih i posmičnih naprezanja, čelično žmurje tipa Larssen 605 zadovoljava za zaštitu građevinske jame.

#### 5.4. Ugradnja žmurja

Žmurje Larssen 605 debljina je do 1cm i međusobno se povezuje spojnicima. Dubina uporabe im je i do 20 m. Primjenjuje se u svim granama građevinarstva, za obavljanje građevinskih radova u otežanim uvjetima, koji podrazumijevaju dubine iskopa preko 5m, snižavanje razine podzemne vode, rješavanje problema stabilnosti kosina, i sl.



*Slika 44. Način spajanja žmurja*



*Slika 45. Postavljanje žmurja kontinuirano, jedan panel do drugog*

Sve platice se ugrađuju tako da se zabijaju u tlo. Važno je da se postavljaju jedna uz drugu ,kontinuirano, jedan panel do drugog tako da ostanu kontinuirano međusobno brtveni. Prilikom postavke žmurja važno je paziti na poziciju i na vertikalnost svakog pojedinog elementa. Zabijanje se izvodi u dvije faze. U prvoj fazi do pola pa u drugoj do projektirane dubine. Nakon vađenja materijala tj. iskopa unutar rova važno je razuprijeti žmurje. Za zabijanje se koriste nabijači. Prvi nabijači pokretani su ljudskom snagom, podizanjem rukama i padanjem. Kasnije je korišten tronožac s koloturuom, što je olakšalo dizanje i omogućilo uporabu težih nabijača. Sljedeći je korak bio nabijač pokretan parnim strojem. Danas se koriste vibronabijači.



*Slika 46. Ugradnja žmurja vibronabijačem*

## 5.5. Proračun dotoka podzemne vode u građevinsku jamu kolektora I

Na osnovi geotehničkog elaborata izgrađenog 2015.godine, te na osnovi dodatnog ispitivanja, dosadašnjih ispitivanja na obližnjim lokacija i izgradnjom građevina slične problematike došli smo do podataka koji su nam potrebni za daljnji proračun.

Najprije određujemo fiktivnu brzinu tečenja kroz porozni materijal prema Darcyjevoj formuli:

$$v = k \times i,$$

koja govori da je efektivna(stvarna) brzina tečenja kroz porozni materijal veća od fiktivne, jer tok vode ne postoji kroz čitavi presjek, nego samo kroz pore tla, a i tok vode je krivolinijski a ne pravolinijski.

Za proračun fiktivne brzine potrebne su nam vrijednosti:

$i$  – hidraulički gradijent, dan preko izraza

$$i = \frac{\Delta h}{L},$$

gdje je:

$\Delta h$  – razlika razine vode na ulazu i izlazu promatranog područja

$L$  – duljina puta vode kroz tlo

$k$  – koeficijent vodopropusnosti tla

Podaci koji su nam poznati:

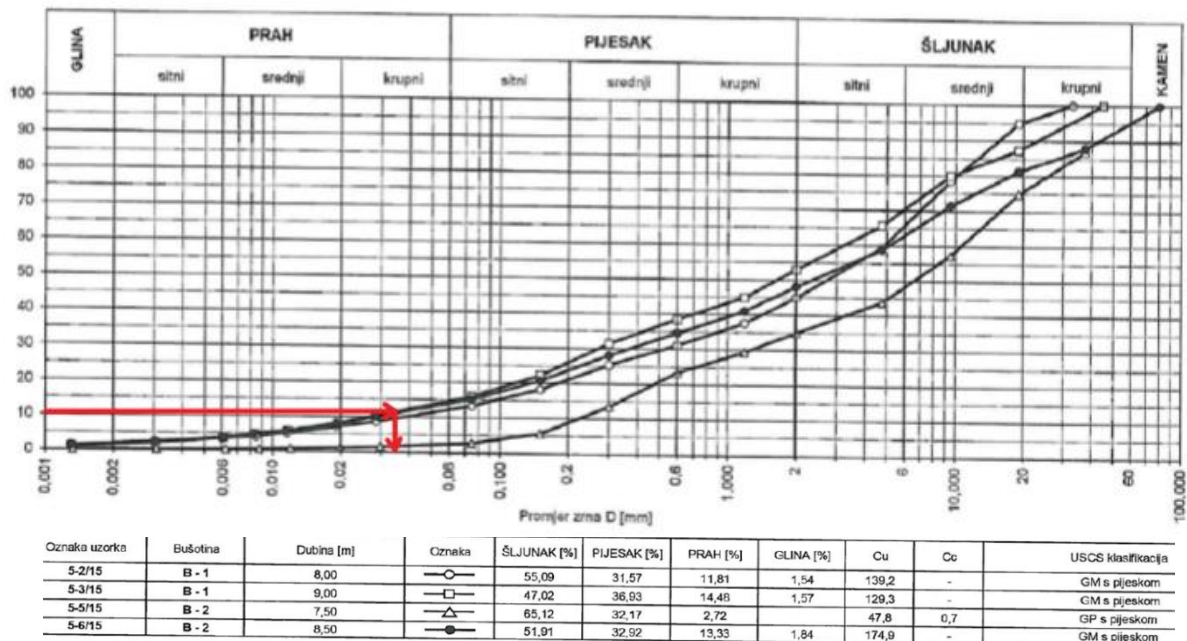
$$A=800 \text{ m}^2$$

$$\Delta h=2,0 \text{ m}$$

$$L=14,80 \text{ m}$$

Koeficijent vodopropusnosti odredili smo na osnovi granulometrijskog dijagrama uz uporabu pojednostavljenog empirijskog izraza:

$$k = 1,16 \times D_{10}^2 [\text{cm/s}]$$



Slika 47. Određivanje efektivnog promjera zrna

Iz dijagram očitamo da je  $D_{10}=0,03\text{mm}$ , te na osnovi toga podataka izračunamo koeficijent vodopropusnosti materijala.

$$k = 1,16 \times (0,003)^2$$

$$k = 1,04 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$$

$$k = 1,04 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

Hidraulički gradijent

$$i = \frac{\Delta h}{L} = \frac{2,0}{14,80} = 0,1351$$

Brzina procjeđivanja vode  $v = k \times i$

$$v = 1,04 \times 10^{-6} \times 0,1351 = 1,41 \times 10^{-7} \text{ m/s}$$

Količina dotoka vode u jamu  $Q = v \times A$

$$Q = 1,41 \times 10^{-7} \times 800 = 1,13 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 0,11 \text{ litara/sekundi}$$

Procjena dotoka vode iz dna građevinske jame kolektora I, iznosi  $Q=2$  litara/sekundi, ali treba planirati da će biti i cijedenja vode kroz žmurje pa se procjenjuje protok od 5 litara/sekundi.

Provjera hidrauličkog sloma tla:

$$\gamma' = \gamma - \gamma_w = 19 - 10 = 9 \text{ kN/m}^3$$

$$i_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{9}{10} = 0,9$$

$0,1315 < 0,9$  – nije nastupio hidraulički slom tla

## 5.6. Proračun dotoka podzemne vode u građevinsku jamu kolektora II

Podaci koji su nam poznati:

$$A=1400 \text{ m}^2$$

$$\Delta h=1,7\text{m}$$

$$L=13,70 \text{ m}$$

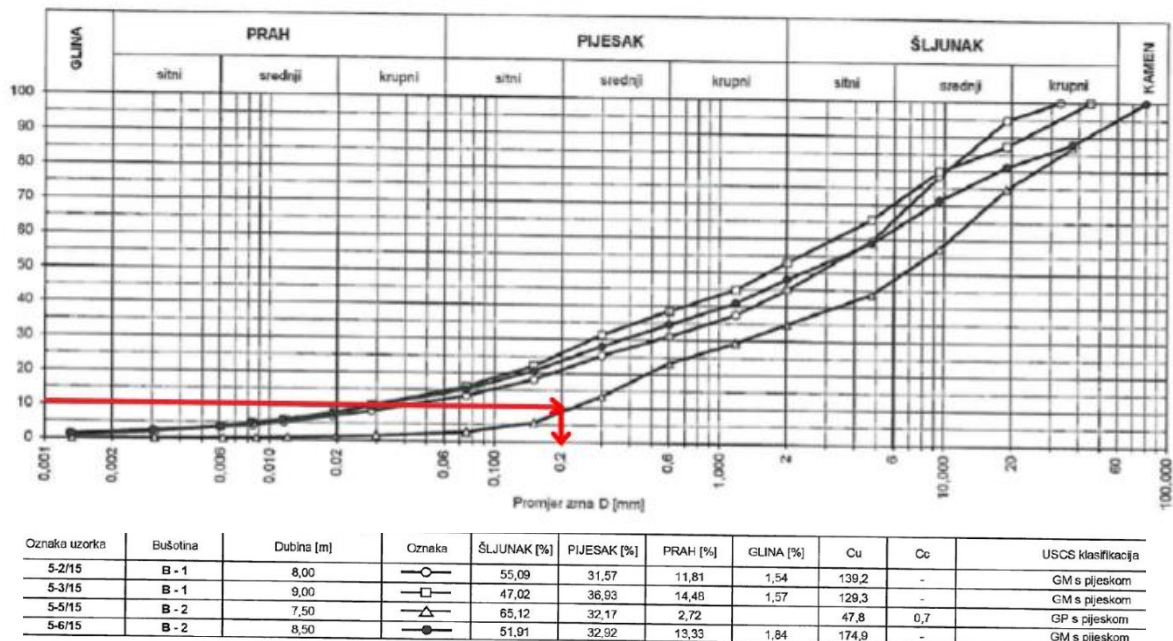
Najprije određujemo fiktivnu brzinu tečenja kroz porozni materijal, prema formuli:

$$v = k \times i$$

Za proračun nam je potreba vrijednost koeficijenta vodopropusnosti kojeg određujemo na način kao i u prethodnom slučaju na osnovi granulometrijskog dijagrama uz uporabu pojednostavljenog empirijskog izraza:

$$k = 1,16 \times D_{10}^2 \text{ [cm/s]}$$





Slika 48. Određivanje efektivnog promjera zrna

Iz dijagram očitamo da je  $D_{10}=0,2\text{mm}$ , te na osnovi toga podataka izračunamo koeficijent vodopropusnosti materijala.

$$k = 1,16 \times (0,02)^2$$

$$k = 4,64 \times 10^{-4} \text{cm/s}$$

$$k = 4,64 \times 10^{-5} \text{m/s}$$

Hidraulički gradijent

$$i = \frac{\Delta h}{L} = \frac{1,7}{13,7} = 0,1241$$

Brzina procjeđivanja vode  $v = k \times i$

$$v = 4,64 \times 10^{-5} \times 0,1241 = 5,75 \times 10^{-6} \text{m/s}$$

Količina dotoka vode u jamu  $Q = v \times A$

$$Q = 5,75 \times 10^{-6} \times 1400 = 0,0081 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 8,1 \text{ litara/sekundi}$$

Provjera hidrauličkog sloma tla

$$\gamma' = \gamma - \gamma_w = 19 - 10 = 9 \text{ kn/m}^3$$

$$i_{\text{cr}} = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{9}{10} = 0,9$$

$0,1241 < 0,9$  – nije nastupio hidraulički slom tla

## 6. TEHNIČKO RJEŠENJE ZAŠTITE GRAĐEVINSKIH JAMA

Kao što je spomenuto prostor unutar kojeg se gradi mora biti suh i to u cijelom periodu izvođenja podzemnih etaža. Za obje građevinske jame budućih KP-I i KP-II odabrano je isto tehničko rješenje zaštite. Izračunati protoci dolaska podzemne vode u građevinsku jamu budućih KP-I i KP-II, iznose 0,11 litara/sekundi za KP-I i 8,1 litara/sekundi za KP-II. S obzirom da je još uzeto u obzir cijedeenje vode kroz žmurje, ujedno se očekuju i veće količine voda. Zbog toga dolazi do problema sakupljanja podzemne vode osobito u građevinskoj jami KP-II, te potrebe odvodnja te iste vode iz građevne jame.



*Slika 49. Voda u građevinskoj jami KP-II*

Rješenju sakupljanja vode pristupilo se na način da se tijekom iskopa građevne jame paralelno crpi voda u odvodni kanal sa muljnim crpkama u otvorenom kanalu u obodu građevne jame, te nakon izgradnje druge AB ploče između podrumске i prizemne etaže, te podizanju hidroizolacije, može se pristupiti gašenju crpki, odnosno podizanju vode na prirodnu razinu.



*Slika 50. Crpljenje vode crpkama*



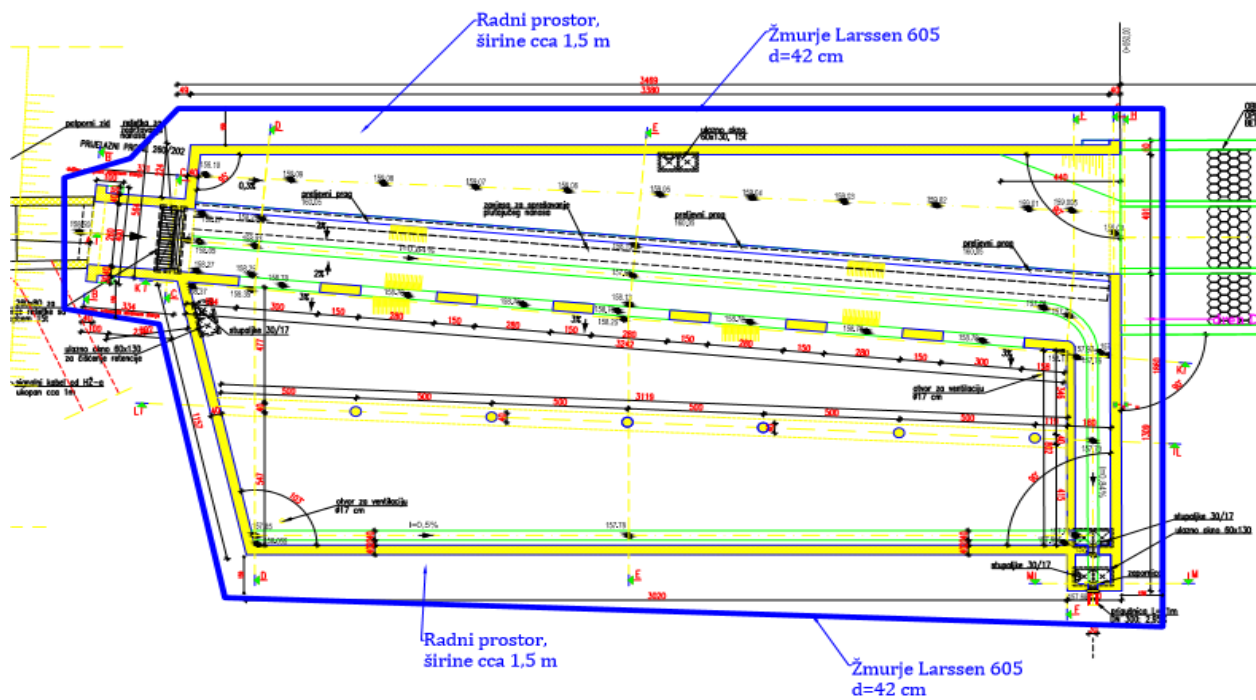
*Slika 51. Odvođenje vode u odvodni kanal*

Izvedeno je i kopanje rovova za drenove oko cijelog područja građevne jame na dubini od 100 cm. U rovove se polaže drenažna cijev promjera 160 mm i rov se zatvara batudom 30-60 mm.

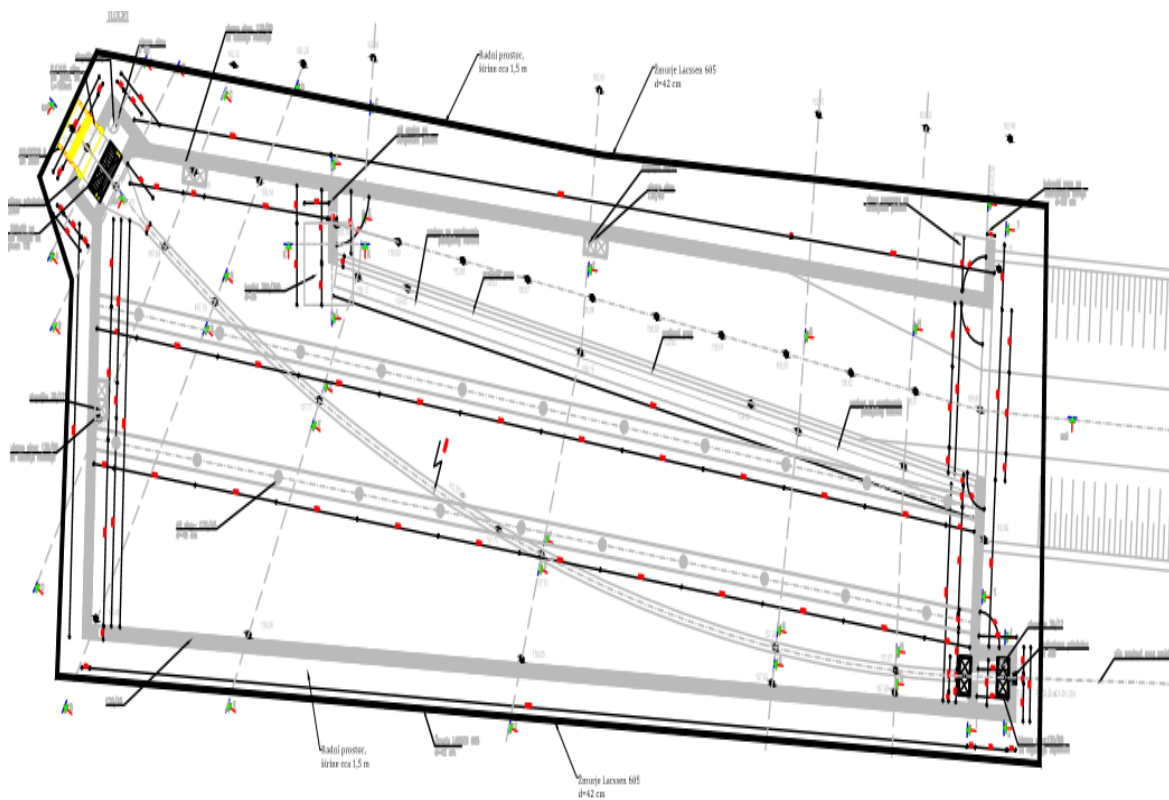


*Slika 52. Zatvaranje rova batudom*

Izgrađena su i 2 zdenca od betonskih cijevi u koje voda iz drenova u padu dolazi do njih te se crpkama crpi u odvodni kanal.



Slika 53. Tlocrti položaj zaštite građevinske jame u KP-I



Slika 54. Tlocrti položaj zaštite građevinske jame u KP-II

## 7. ZAKLJUČAK

Danas se sve više javlja potreba za izgradnjom građevina u dubinu i visinu, a sve manje u širinu. Gradnja građevina u dubinu jedan je od razloga zbog kojeg dolazi do potrebe zaštite iskopa. U takvim okolnostima često se nailazi na niz nepovoljnih situacija kao što su visoka razina podzemne vode, tla visoke koherentnosti tj. propusnosti, tla manje čvrstoće i slični problemi. Zahvaljujući današnjem razvoju tehnologije sve te probleme moguće je riješiti. Od svih navedenih problema najgorim se može smatrati visoka razina podzemne vode, zahvaljujući raznim građevinskim zahvatima omogućeno je smanjenje stupnja saturacije tla odnosno pornog tlaka, te omogućeno izvođenje radova u „suhom“. U odnosu na te i slične probleme odabiremo najadekvatniju metodu zaštite građevne jame.

U nekoherentnim materijalima nije moguće izvesti iskop uspravnih stjenki bez podgrađivanja. Ne koherentno tlo nema nikakvu vlačnu čvrstoću i može stabilno stajati samo uz odgovarajući pokos koji je ovisan u kutu unutrašnjeg trenja i o visini kosine.

Također prilikom dimenzioniranja i izgradnje kanalizacijskih sustava i objekata treba pristupiti s velikom odgovornošću, i radove izvoditi s najsuvremenijom tehnologijom kako bih se rizik za zdravlje ljudi i okoliša sveo na minimum.

Za zaštitu iskopa obje građevinske jame predviđena je privremena zaštita čeličnim žmurjem visine 10m. Prvobitno je predviđena zaštita iskopa čeličnim žmurjem tipa Larssen 703K, ali s obzirom da je na raspolaganju bilo žmurje tipa Larssen 605 koje ima bolje karakteristike od projektiranih, odabrano je žmurje tip Larssen 605 za zaštitu građevinskih jama kišnih preljeva.

Sasvim je opravdana zaštita građevinskih jama čeličnim žmurjem, jer se nizom računskih analiza pokazalo da ono zadovoljavaju za zaštitu građevinskih jama, ali i zadovoljava u pogledu ekonomičnosti i brzine postavljanja.

Kako bih se radovi izveli što kvalitetnije potrebna je stalna nazočnost projektanta jer često dolazi do potrebe da se neka projektna rješenja mijenjaju, odnosno prilagođavaju situaciji na terenu. Stalna nazočnost projektanta i sposobna radna snaga jedina su garancija da će kompletni radovi biti izvedeni svrsishodno.

U Varaždinu,

---

## 8. POPIS LITERATURE

1. Soldo, B.: *Geotehnički elaborat za potrebe bočne zaštite građevinske jame i sniženja podzemne vode-KP-I, KP-II, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva Božo Soldo, Varaždin 2015.*
2. Soldo, B.: *Izvedbeni projekt zaštite građevinske jame- KP-I, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva Božo Soldo, Varaždin, 2015.*
3. Soldo, B.: *Izvedbeni projekt zaštite građevinske jame- KP-II, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva Božo Soldo, Varaždin, 2015.*
4. Margeta, J.: *Odvodnja naselja Dio 2, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu, Split 2012.*
5. Noveiler, E.: *Mehanika tla i temeljenje građevina., Školska knjiga, Zagreb, 1979.*
6. Kvasnička, P., Domitrović, D.: *Mehanika tla-interna skripta, Rudarsko geološki naftni fakultet, Zagreb 2007.*
7. Roje – Bonacci, T.: *Potporne građevne i građevne jame, Građevinsko arhitektonski fakultet u Splitu, Split, 2005.*
8. Jović, S.: *Uvod u Mehaniku tla, Tehničko veleučilište u Zagrebu, Zagreb 2006.*
9. Škacan, B.: *Suvremene metode u geotehnici; Zagreb 2007.*



## 9. POPIS SLIKA

Slika 1. Građevinska jama; <http://rovinj.hr/rovinj/informacije/projekti/6/28>

Slika 2. Suhozid; Roje –Bonacci, T; Potporne građevne i građevne jame, Građevinsko arhitektonski fakultet u Splitu, Split, 2005

Slika 3. Berlinski zid od drvenih platica; Roje –Bonacci, T; Potporne građevne i građevne jame, Građevinsko arhitektonski fakultet u Splitu, Split, 2005

Slika 4. Postupak izvedbe čavlanog tla; Roje –Bonacci, T; Potporne građevne i građevne jame, Građevinsko arhitektonski fakultet u Splitu, Split, 2005.

Slika 5. Čavlando tlo: <http://www.gradimo.hr/clanak/zastita-gradevnih-jama-zidom-od-mlaznog-betona-i-stapnih-sidara/40185>

Slika 6. Profili zagatnih stijena Koesch (a), Larssen (b), Peine (c) Roje –Bonacci, T; Potporne građevne i građevne jame, Građevinsko arhitektonski fakultet u Splitu, Split, 2005

Slika 7. Zagatna stijena od čeličnog žmurja Roje –Bonacci, T; Potporne građevne i građevne jame, Građevinsko arhitektonski fakultet u Splitu, Split, 2005

Slika 8. Presjeci žmurja od drvenih dasaka(gore) i detalji ojačanja glave i vrha(dolje); Roje –Bonacci, T; Potporne građevne i građevne jame, Građevinsko arhitektonski fakultet u Splitu, Split, 2005.

Slika 9. Posebni nastavci za nabijanje armiranobetonskih; Roje –Bonacci, T; Potporne građevne i građevne jame, Građevinsko arhitektonski fakultet u Splitu, Split, 2005.

Slika 10. Armiranobetonska dijafragma; Roje –Bonacci, T; Potporne građevne i građevne jame, Građevinsko arhitektonski fakultet u Splitu, Split, 2005.

Slika 11. Mlazno injektiranje, izvedba neprekinutih zavjesa u tlu; <https://repositorij.gfos.hr/islandora/object/gfos%3A335/datastream/PDF/view>

Slika 12. Načini izvođenja metode pilot do pilota; <https://repositorij.gfos.hr/islandora/object/gfos%3A335/datastream/PDF/view>

Slika 13. Voda u građevinskoj jami; <http://gradiscacak.com/obaranje-nivoa-podzemnih-voda-sa-odrzavanjem-i-obezbedivanjem-gradevinskih-jama/>

Slika 14. Strujna mreža oko zagatne stijene; <https://repositorij.gfos.hr/islandora/object/gfos%3A335/datastream/PDF/view>

Slika 15. Posljedice hidrauličkog sloma tla u Kupskoj ulici; [http://cdn-static.rtl-hrvatska.hr/image/thumbnaill4ca1db8f27ce0ea957896d0fd3746fe\\_view\\_article\\_new.jpg?v=20](http://cdn-static.rtl-hrvatska.hr/image/thumbnaill4ca1db8f27ce0ea957896d0fd3746fe_view_article_new.jpg?v=20)

Slika 16. Urušavanje objekata i građevinske jame; [http://cdn-static.rtl-hrvatska.hr/image/thumbnail4ca1db8f27ce0ea957896d0fdf3746fe\\_view\\_article\\_new.jpg?v=20](http://cdn-static.rtl-hrvatska.hr/image/thumbnail4ca1db8f27ce0ea957896d0fdf3746fe_view_article_new.jpg?v=20)

Slika 17. Neke vrste sloma zaštitne konstrukcije; Roje –Bonacci, T; Potporne građevne i građevne jame, Građevinsko arhitektonski fakultet u Splitu, Split, 2005.

Slika 18. Točke na kojima se provjerava uvjet ravnoteže;

Slika 19. Zagatna stijena u nekoherentnom materijalu; Od slike tlakova s jedne i druge strane dobiju se tzv. neto tlakovi na stijenu. Oni izazivaju savijanje stijene i u odnosu na najveći moment savijanja dimenzionira se zagatna stijena; Roje –Bonacci, T; Potporne građevne i građevne jame, Građevinsko arhitektonski fakultet u Splitu, Split, 2005.

Slika 20. Raspodjela pritiska i otpora tla u koherentnom tlu; Roje –Bonacci, T; Potporne građevne i građevne jame, Građevinsko arhitektonski fakultet u Splitu, Split, 2005

Slika 21. Raspodjela pritiska nekoherentnog nasipa i otpora koherentog tla; Roje –Bonacci, T; Potporne građevne i građevne jame, Građevinsko arhitektonski fakultet u Splitu, Split, 2005

Slika 22. Prikaz mješovitog i razdjelnog sustava odvodnje; Jure Margeta; Dio 2: Odvodnja naselja, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu, Split 2012.

Slika 23. Shema rada kišnog preljeva; Jure Margeta; Dio 2: Odvodnja naselja, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu, Split 2012.

Slika 24. Načelo rada kišnog preljeva; Dio 2: Odvodnja naselja, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu, Split 2012

Slika 25. Rasteretna građevina s jednostranim bočnim preljevom; Dio 2: Odvodnja naselja, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu, Split 2012

Slika 26. Rasteretna građevina s dvostranim bočnim preljevom; Dio 2: Odvodnja naselja, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu, Split 2012

Slika 27. Primjer samo-regulirajućeg praga izrađenog od drveta; <http://www.grad.hr/nastava/hidrotehnika/gf/odvodnja/predavanja/ODVODNJA%207.pdf>

Slika 28. Mehaničko upravljanje rasterećenjem; <http://www.grad.hr/nastava/hidrotehnika/gf/odvodnja/predavanja/ODVODNJA%207.pdf>

Slika 29. Postojeći sustav odvodnje grada Čakovca; [http://medjimurska-zupanija.hr/wp-content/uploads/2011/12/2\\_tekst\\_SUO\\_sazetak\\_Cakovec.pdf](http://medjimurska-zupanija.hr/wp-content/uploads/2011/12/2_tekst_SUO_sazetak_Cakovec.pdf)

Slika 30. Lokacije kišnih preljeva KP-I, KP-II. I istražih bušotina; B. Soldo: Geotehnički elaborat za potrebe bočne zaštite građevinske jame i sniženja podzemne vode-KP-I, KP-II, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva Božo Soldo, Varaždin 2015.

*Slika 31. Lokacija kišnog preljeva KP-I; B. Soldo: Geotehnički elaborat za potrebe bočne zaštite građevinske jame i sniženja podzemne vode-KP-I, KP-II, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva Božo Soldo, Varaždin 2015.*

*Slika 32. Materijal bušotine B1 – KP-I; B. Soldo: Geotehnički elaborat za potrebe bočne zaštite građevinske jame i sniženja podzemne vode-KP-I, KP-II, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva Božo Soldo, Varaždin 2015.*

*Slika 33. Materijal bušotine B2-KP-II; B. Soldo: Geotehnički elaborat za potrebe bočne zaštite građevinske jame i sniženja podzemne vode-KP-I, KP-II, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva Božo Soldo, Varaždin 2015.*

*Slika 34. Granulometrijski sastav tla; B. Soldo: Geotehnički elaborat za potrebe bočne zaštite građevinske jame i sniženja podzemne vode-KP-I, KP-II, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva Božo Soldo, Varaždin 2015.*

*Slika 35. Bočna zaštita građevinske jame; Snižavanje RPV; drenažni sustav; u KP-I; B. Soldo: Geotehnički elaborat za potrebe bočne zaštite građevinske jame i sniženja podzemne vode-KP-I, KP-II, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva Božo Soldo, Varaždin 2015.*

*Slika 36. Bočna zaštita građevinske jame; Snižavanje RPV u jami; drenažni sustav; u KP-II; B. Soldo: Geotehnički elaborat za potrebe bočne zaštite građevinske jame i sniženja podzemne vode-KP-I, KP-II, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva Božo Soldo, Varaždin 2015.*

*Slika 37. Raspodjela tlakova na zagatnu stijenu*

*Slika 38. Model proračuna; B. Soldo: Izvedbeni projekt zaštite građevinske jame- KP-I, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva Božo Soldo, Varaždin, 2015.*

*Slika 39. Deformacije nakon manjeg iskopa i ugradnje žmurja; B. Soldo: Izvedbeni projekt zaštite građevinske jame- KP-I, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva Božo Soldo, Varaždin, 2015.*

*Slika 40. Pomaci nakon konačnog iskopa; Izvedbeni projekt zaštite građevinske jame- KP-I, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva Božo Soldo, Varaždin, 2015.*

*Slika 41. Maksimalni moment savijanja u žmurju nakon konačnog iskopa; Izvedbeni projekt zaštite građevinske jame- KP-I, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva Božo Soldo, Varaždin, 2015.*

*Slika 42. Maksimalna poprečna sila u žmurju nakon konačnog iskopa; Izvedbeni projekt zaštite građevinske jame- KP-I, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva Božo Soldo, Varaždin, 2015.*

*Slika 43. Karakteristike žmurja Larssen 605; <http://www.eviz.hr/Page/talpe-celicne-platice-zmurje-55>*

*Slika 44. Način spajanja žmurja*

*Slika 45. Postavljanje žmurja kontinuirano, jedan panel do drugog*

*Slika 46. Ugradnja žmurja vibronabijačem;*

*Slika 47. Određivanje efektivnog promjera zrna; B. Soldo: Geotehnički elaborat za potrebe bočne zaštite građevinske jame i sniženja podzemne vode-KP-I, KP-II, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva Božo Soldo, Varaždin 2015.*

*Slika 48. Određivanje efektivnog promjera zrna; B. Soldo: Geotehnički elaborat za potrebe bočne zaštite građevinske jame i sniženja podzemne vode-KP-I, KP-II, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva Božo Soldo, Varaždin 2015.*

*Slika 49. Voda u građevinskoj jami KP-II;*

*Slika 50. Crpljenje vode crpkama;*

*Slika 51. Odvođenje vode u odvodni kanal;*

*Slika 52. Zatvaranje rova batudom;*

*Slika 53. Tlocrti položaj zaštite građevinske jame u KP-I*

*Slika 54. Tlocrti položaj zaštite građevinske jame u KP-II*

## **POPIS TABLICA**

*Tablica 1. Koeficijenti vodopropusnosti za razne vrste tla*

## **10. POPIS PRILOGA**

- P1** TLOCTNI POLOŽAJ DRENOVA I SPOJNIH OKNA U KP-I
- P2** TLOCTNI POLOŽAJ DRENOVA I SPOJNIH OKNA U KP-II
- P3** DETALJ ZDENCA-vertikalna okna za crpljenje vode



IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Melaniya Andreić (*ime i prezime*) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Primjeri zaštite građevinske jame ispod razine podzemne vode (*upisati naslov*) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(*upisati ime i prezime*)

Melaniya Andreić  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Melaniya Andreić (*ime i prezime*) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Primjeri zaštite građevinske jame ispod razine podzemne vode (*upisati naslov*) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(*upisati ime i prezime*)

Melaniya Andreić  
(vlastoručni potpis)