



## SANACIJA KOSINE DRENAŽNIM ROVOVIMA I POTPORNIM ZIDOM

Doc.dr.sc. **Maja Prskalo**, dipl.ing.građ.  
Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru  
**Marin Boras**, mr građevine  
Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru

**Sažetak:** U okviru ovoga zadatka, urađena je sanacija kosine drenažnim rovovima i potpornim zidom. Analiza stabilnosti kosine izvedena je u programu Geostudio 2004, a potporna konstrukcija je izračunata ručnim postupkom prema Eurokod-u 7 i u programu GEO 5. Potrebno je bilo izvršiti sanaciju kosine, jer je predviđena izgradnja prometnice na tom dijelu. Riječ je o uvjetno stabilnoj kosini, što znači da su u prirodnom stanju sile koje izazivaju klizanje približno jednake otpornim silama. Dodatni problem koji se javlja jest visoka razina podzemne vode. Nakon analize, napravljeno je rješenje danog problema koje se sastoji iz nekoliko faza.

**Ključne riječi:** klizište, sanacija, drenaža, Geostudio 2004

## SLOPE IMPROVEMENT BY DRAIN DITCHES AND RETAINING WALL

**Abstract:** As part of this task, a slope was improved by drain ditches and retaining wall. Slope stability analysis was performed in the software Geostudio 2004, while the retaining structure was calculated by a manual procedure according to Eurocode 7 and in the software GEO 5. The slope needed to be improved because a road was planned to be constructed in this area. This is a conditionally stable slope, which means that slide-inducing forces are approximately equal to resistance forces in the natural state. An additional problem that occurs is the high groundwater level. The solution of the given problem, consisting of several phases, was made after extensive analysis.

**Key words:** landslide, improvement, drainage, Geostudio 2004

## 1. UVOD

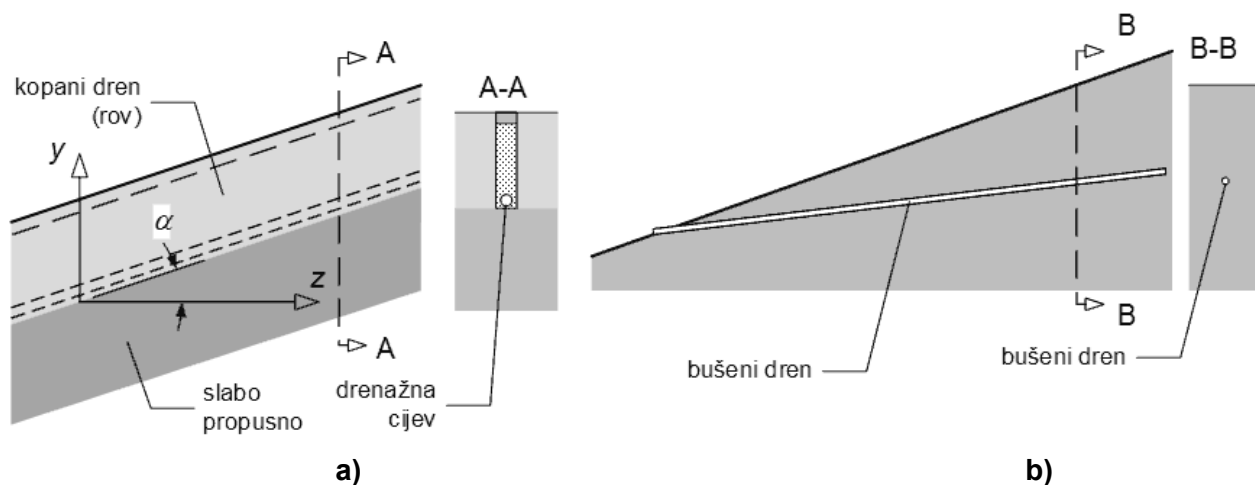
U prvoj fazi stabiliziranja kosine izvodi se snižavanje razine podzemne vode kopanim drenovima. Drenovi se izvode uzduž kosine i to maksimalne dubine koju normalni rovokopač može postići a koja iznosi cca  $\approx 6,0$  m i širine 80 cm.

Druga faza obuhvaća sigurno izvođenje potporne konstrukcije. Budući da je u pitanju uvjetno stabilna kosina, svako zasijecanje može izazvati klizanje terena i ugroziti izvođenje objekata. Izabran je tip tankostijenog, armirano-betonskog zida dužine 80 m. Zid se izvodi u kampadama dužine 6,0 m.

U trećoj fazi izvodi se čavljanje tla, budući da prethodno poduzete mjere nisu osigurale minimalni koeficijent sigurnosti  $F_s=1,5$ . Nakon detaljne analize, izvršeno je armiranje tla iznad potpornog zida i postignut je zadovoljavajući koeficijent sigurnosti.

## 2. POVRŠINSKO I DUBINSKO DRENIRANJE

Jedan od najčešćih uzroka klizanja je utjecaj podzemne vode koja smanjuje efektivna normalna naprezanja, a ova opet svojim smanjenjem smanjuju čvrstoću tla. Mjere koje smanjuju porni tlak u kosini u zoni klizne plohe jedne su od najčešćih i najekonomičnijih mjera sanacije. Među te mjere spada površinsko dreniranje i uređenje kosina, te kopani i bušeni drenovi (Slika 1).



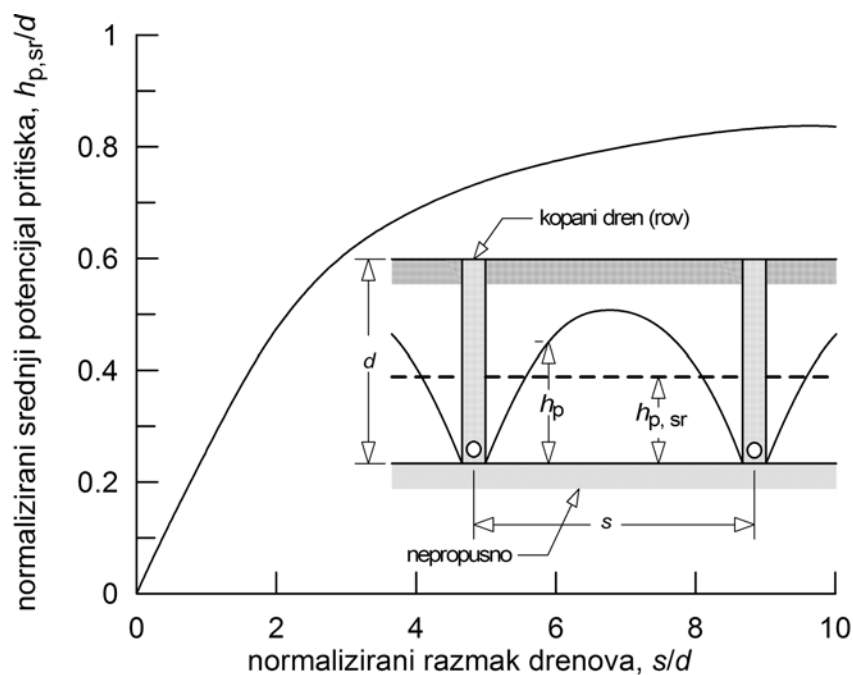
Slika 1. Kopani dren (drenažni rov) - a) i bušeni cjevasti dren (b)

**Kopani drenovi** su rovovi iskopani u kosini te ispunjeni propusnim materijalom koji omogućuje slobodno otjecanje prikupljene vode. Obično se izvode u smjeru niz kosinu na razmacima koji omogućuju zahtijevano prosječno sniženje tlakova podzemne vode. Danas se obično izvode strojno odgovarajućim bagerima u širini koja je određena tehnološkim mogućnostima izvedbe, obično 0.6 do 1 m. Problem je njihova ograničena dubina zbog ograničene dubine iskopa bez odgovarajuće zaštite bokova rova od urušavanja.

Uobičajene dubine rovova su do 5 m. Izrada rovova do većih dubina postaje neekonomična zbog složenog sustava zaštite bokova. Rov se kopa u segmentima (kampadama), a nakon izvedbe segmenta obično se na pripremljeno dno polaže drenažna cijev nakon čega se puni drenažnim materijalom (pijesak ili šljunak). Ponekad se iskopani rov, prije punjenja drenažnim materijalom, oblaže geotekstilom, propusnim materijalom koji sprečava unošenje sitnih čestica u propusnu ispunu drena i njegovo postupno začepljenje. Površinski dio rova se čepi slabo propusnim materijalom, na primjer glinom, kako bi se spriječio nekontrolirani ulazak oborinskih voda u tlo i time polučili suprotni učinci od željenih.



Slika 2. Stabiliziranje kosine kopanim drenovima



Slika 3. Učinkovitost usporednih kopanih drenova izražena preko normalizirane vrijednosti srednjeg piezometarskog potencijala u ovisnosti o relativnom razmaku drenova

### 3.PRIMJENA PROGRAMA SEEP

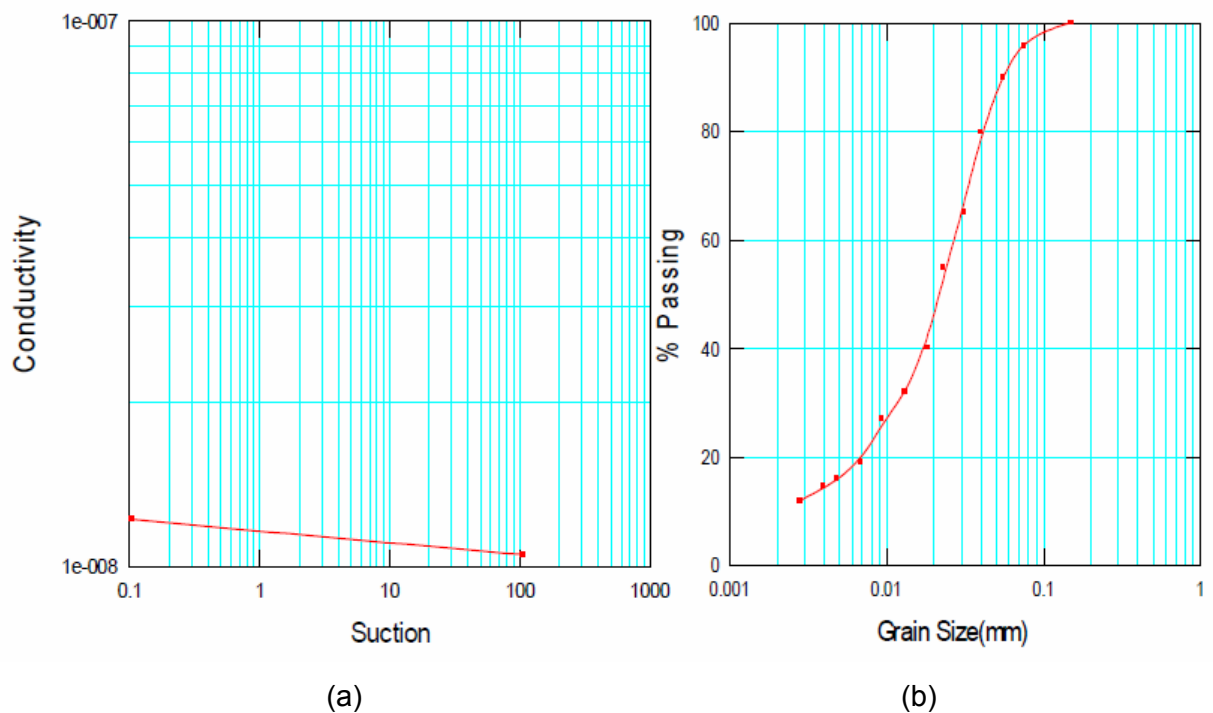
Izrada numeričkog modela protoka vode kroz tlo može biti veoma složena. Prirodno tlo je mnogo više heterogenije i anizotropno, dok su modeli najčešće pojednostavljeni. Općenito, rubni uvjeti se mijenjaju s vremenom i često se ne mogu definirati na samom početku analize područja, ali ponekad stvarni rubni uvjeti mogu biti dio konačnog rješenja. Numeričko modeliranje je vještina koja zahtijeva dosta vremena i iskustva. Posjedovanje softverskih paketa i programa ne čini osobu kvalificiranom za izradu numeričkih modela. Vrijeme i iskustvo su neophodni da bi se razumjele tehnologija i na samom kraju, interpretacija dobivenih rezultata.

Proračun u SEEP-u je urađen za jedno polje širine 6,8 metara (3+0,8+3) i visine 6 metara (visina drenaže).

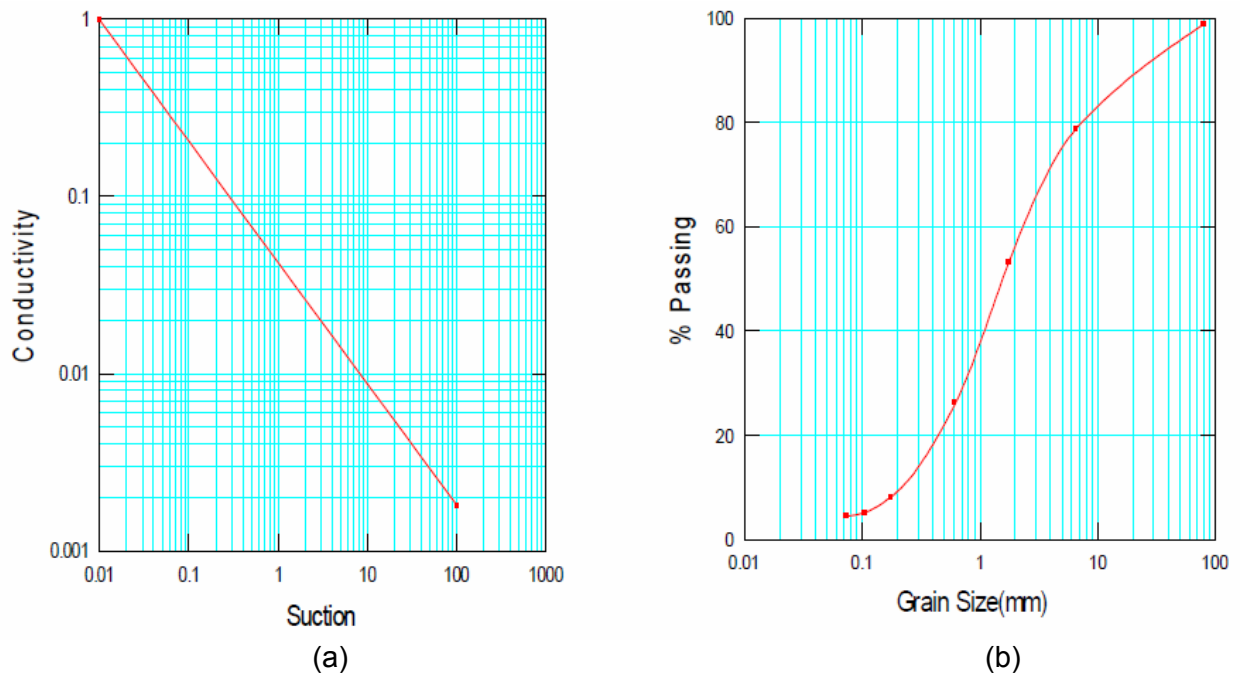
#### 3.1. Definiranje materijala

Materijali su u programu SEEP definirani preko:

- funkcije hidrauličke vodopropusnosti tla (Darcy-ev koeficijent) i negativnog pornog tlaka,
- granulometrijske krivulje.



Slika 4. Ovisnost negativnog pornog tlaka i propusnosti tla za prekonsolidiranu glinu (a) i granulometrijska krivulja (b)



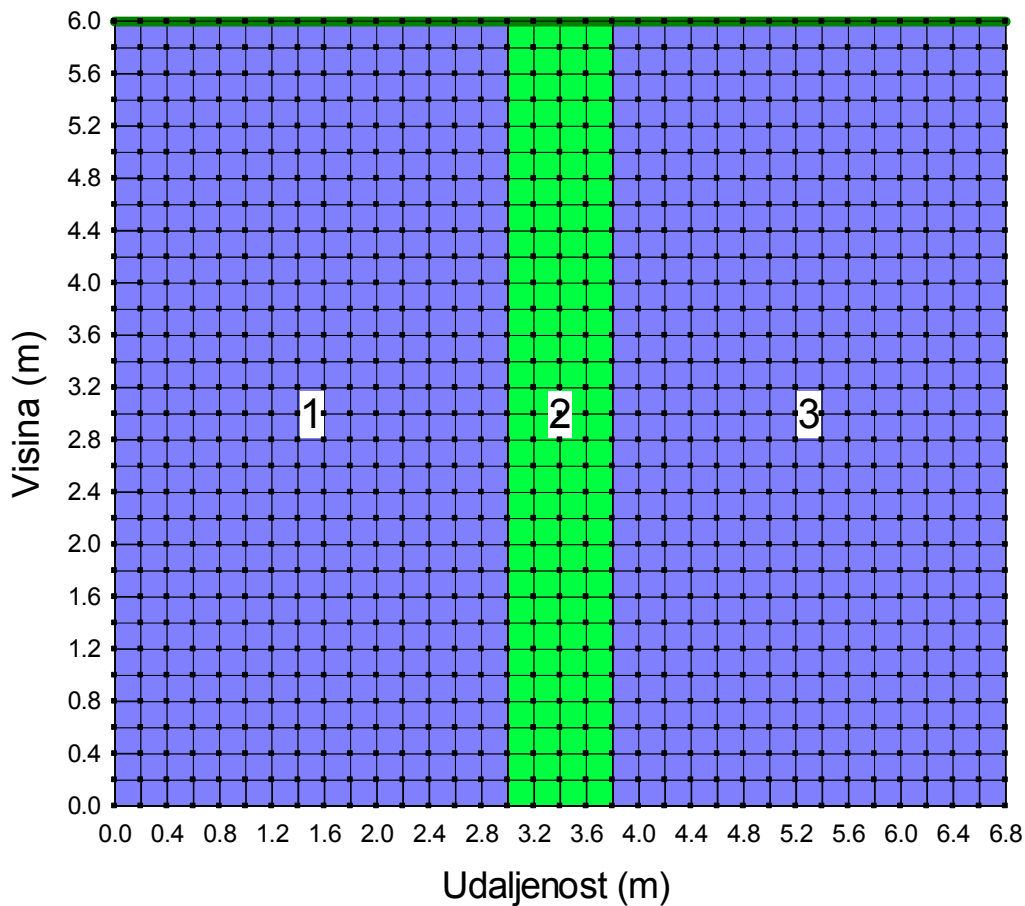
Slika 5. Ovisnost negativnog purnog tlaka i propusnosti tla za drenažni materijal rova (a) i granulometrijska krivulja (b)

### 3.2. Model drenažnog rova

Regije 1 i 3 predstavljaju materijal PREKONSOLIDIRANA GLINA, dok regija 2 predstavlja ŠLJUNAK (slika 6.). Kako se nakon ugradnje drenaže razina vode u presjeku neće spustiti u svim točkama za istu vrijednost, potrebno je odrediti srednju razinu vode što je i učinjeno za svaki presjek pojedinačno.

### 3.3. Snižena razina podzemne vode

Nakon što se dobila vrijednost srednjih visina po presjecima u programu MS Excel formirana je nova linija razine podzemne vode, koja prolazi ispod temelja zida. Snižavanje razine podzemne vode povoljno utječe zbog povećanja koeficijenta sigurnosti, ali zbog izgradnje drenažnih rovova, poboljšavaju se karakteristike tla kosine. Kako je kosina u poprečnom smjeru duga oko 80 metara, postoji 12 drenažnih rovova širine 0,8 metara što čini ukupnu širinu od skoro 9,6 m ili bolje rečeno 12 % materijala ima znatno povoljnije karakteristike za ove uvjete stabilnosti kosine. Drenažna ispuna ima karakteristike  $c=0\text{kPa}$  i kut unutrašnjeg trenja  $\Phi \approx 40^\circ$  što nam daje za pravo povećati kut unutrašnjeg trenja prekonsolidirane gline za  $1-2^\circ$  prilikom ponovnog modeliranja kosine u GEOSLOPU, što je i učinjeno. Drenažni rovovi su izgrađeni na cijeloj kosini (iznad i ispod zasjeka prometnice), čime smo postigli snižavanje razine podzemne vode, zaštitu donjeg ustroja prometnice i poprilično umanjili rizik od mogućnosti smrzavanja vode pod kolnikom.



Slika 6. Model jednog polja drenažnog rova u program SEEP

#### 4. ANALIZA STABILNOSTI KOSINE U GEOSTUDIO 2004 (SLOPE/W)

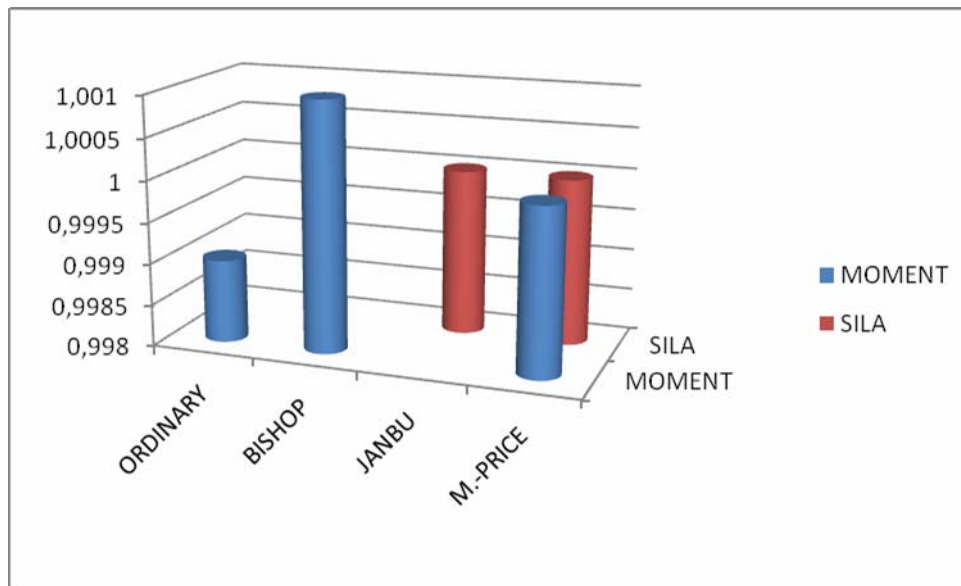
Profil tla kosine sastoji se iz dva sloja:

- 1. Prekonsolidirana glina s parametrima:  $\Phi = 20^\circ$ ,  $c = 7,5\text{kPa}$ ,  $\gamma = 17,0\text{ kN/m}^3$
- 2. Lapor (geološki supstrat) s parametrima:  $\Phi = 35^\circ$ ,  $c = 30,0\text{kPa}$ ,  $\gamma = 20,0\text{ kN/m}^3$

U tlu djeluje također i podzemna voda, koja se jasno može vidjeti na modelu kosine (slika 7). U Tablici 1. date su vrijednosti koeficijenta sigurnosti za zadanu kosinu.

$c = 7.5$	$\Phi = 20$	MOMENT	SILA
	ORDINARY	0,999	-
	BISHOP	1,001	-
	JANBU	-	1,000
	MORGENSTERN - PRICE	1,000	1,000

a)



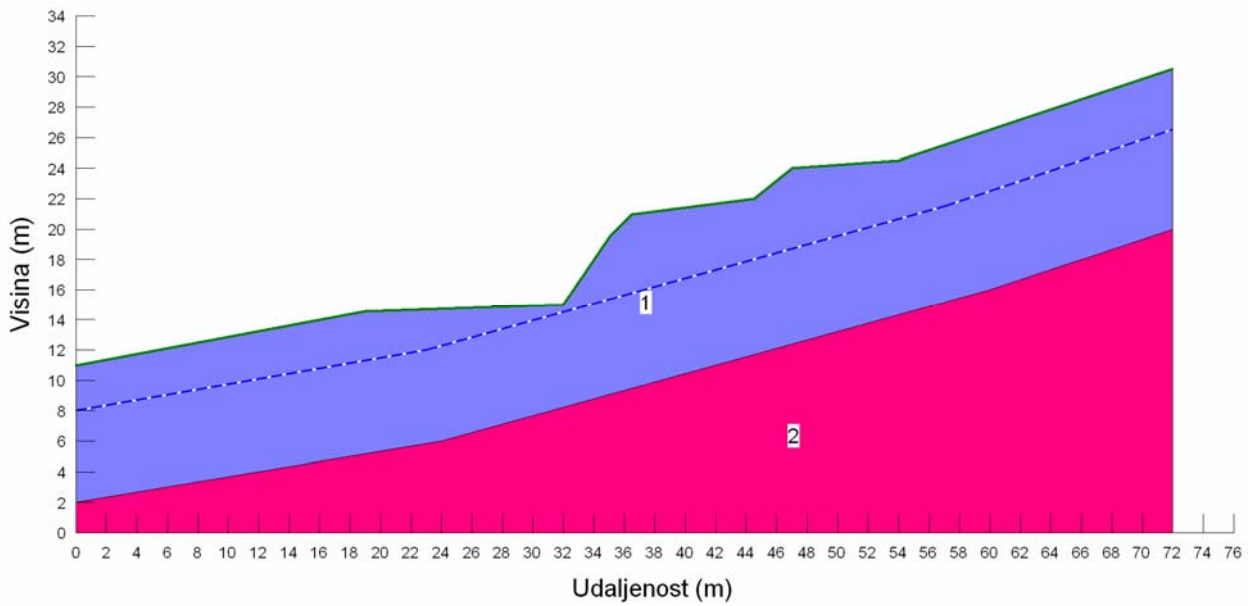
b)

Tablica 2. Koeficijent sigurnosti za uvjetnu stabilnost za:  $c=7.5$  kPa,  $\Phi=20$  (a) i grafički prikaz (b)

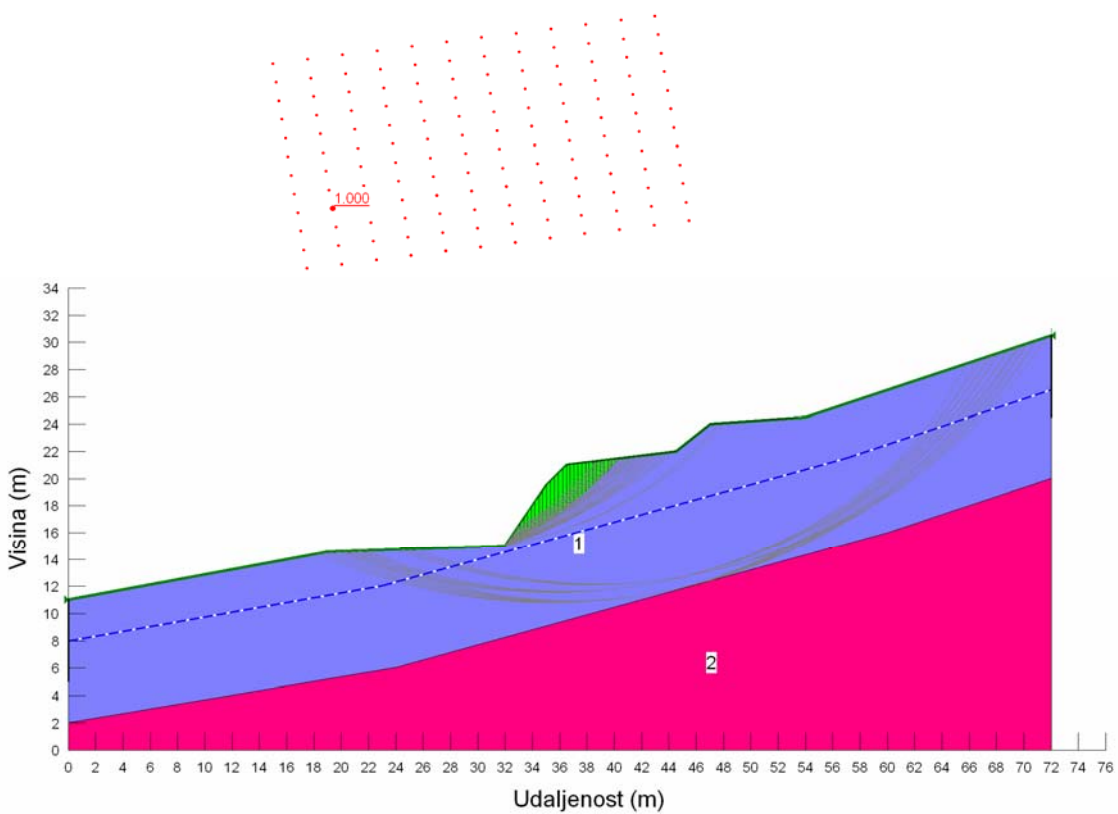
Za mjerodavnu metodu usvojena je metoda Morgenstern-Price, jer ima mogućnost zadavanja proizvoljnog oblika klizne površine. Za ovu kombinaciju parametara čvrstoće tla dobivena je kritična klizna ploha s koeficijentom sigurnosti  $F_s=1,00$  (slika 7). Analiza je izvršena za 60 kritičnih kliznih površina (slika 8.) što će poslužiti za specificiranje oblika jedne klizne površine (Fully specified slip surface).

Na slici 9. izvršen je zasjek kosine i izveden je potporni zid za stabilizaciju kosine, dok je na slici 10. prikazana specificirana klizna površina (Fully specified slip surface), pri čemu je postignut veći koeficijent sigurnosti  $F_s=1,287$ , što je i dalje manje od minimalnog faktora sigurnosti  $F_s=1,5$ .

Kako se pristupilo izgradnji drenažnih rovova, slika 11. prikazana je linija dna drenažnih rovova gdje se mogu vidjeti presjeci 1-6. Izgrađeno je 12 rovova sa razmakom osi od 6,8m. Dobivena je nova snižena razina podzemne vode (RPV) i novi koeficijent sigurnosti  $F_s=1,374$  (slika 12.). Nakon uporabe sidara (slika 13.) postignut je zadovoljavajući faktor sigurnosti od  $F_s=1,621$ .

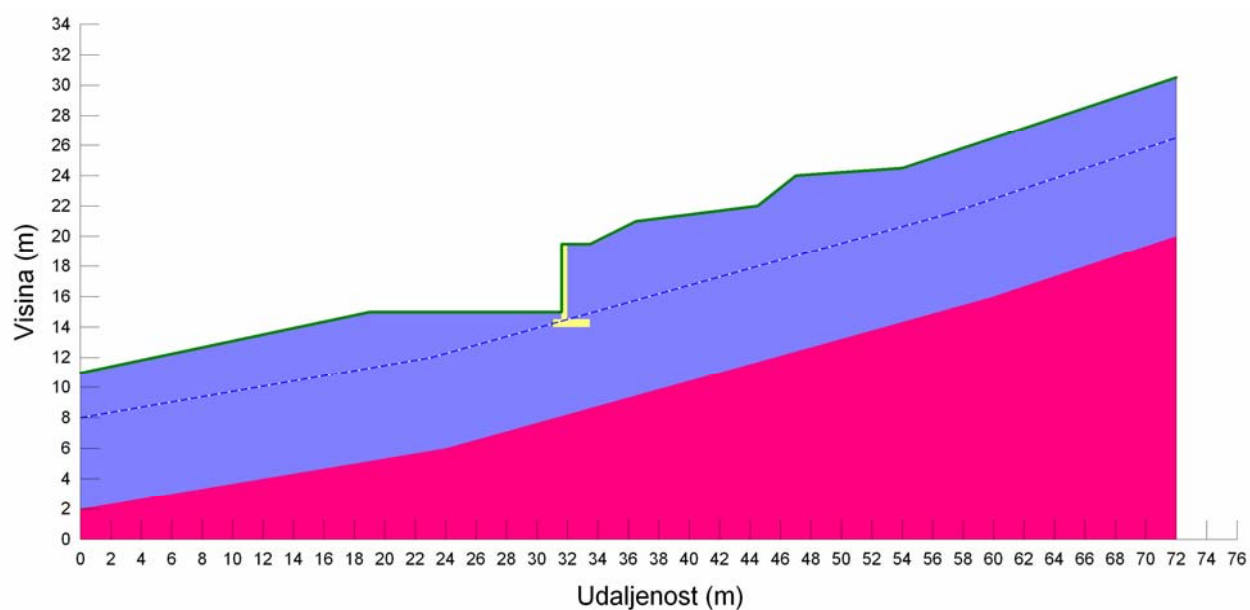


Slika 7. Model kosine

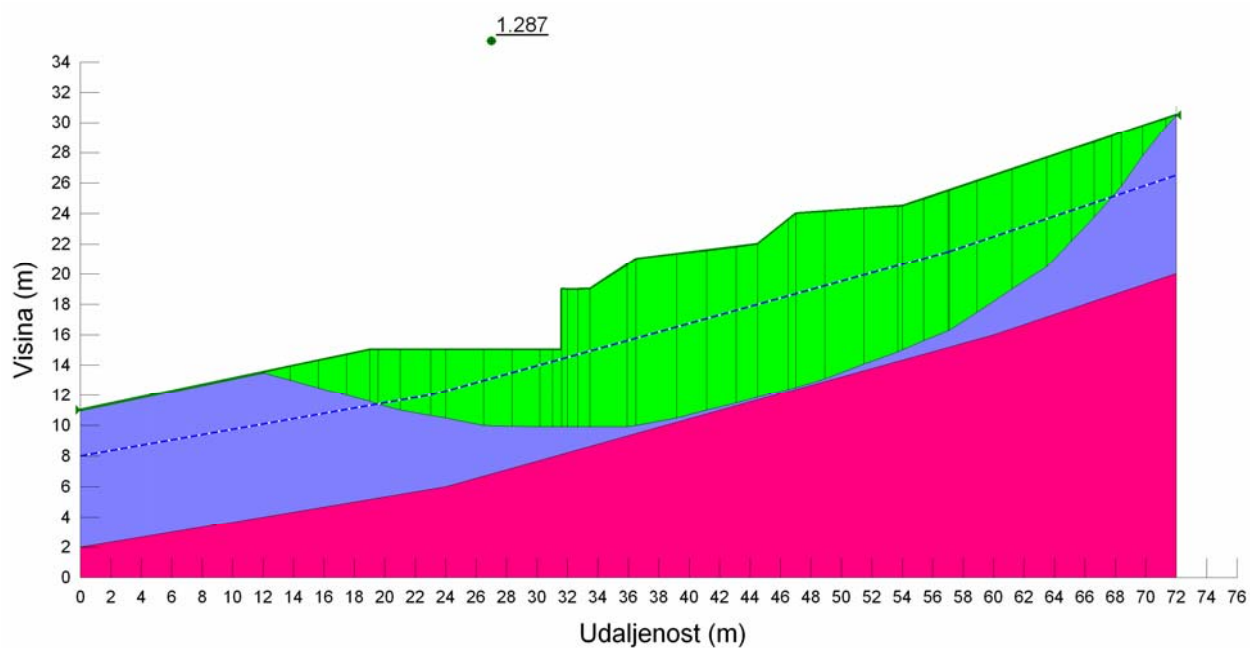


Slika 8. Grid and radius – 60 kritičnih kliznih površina

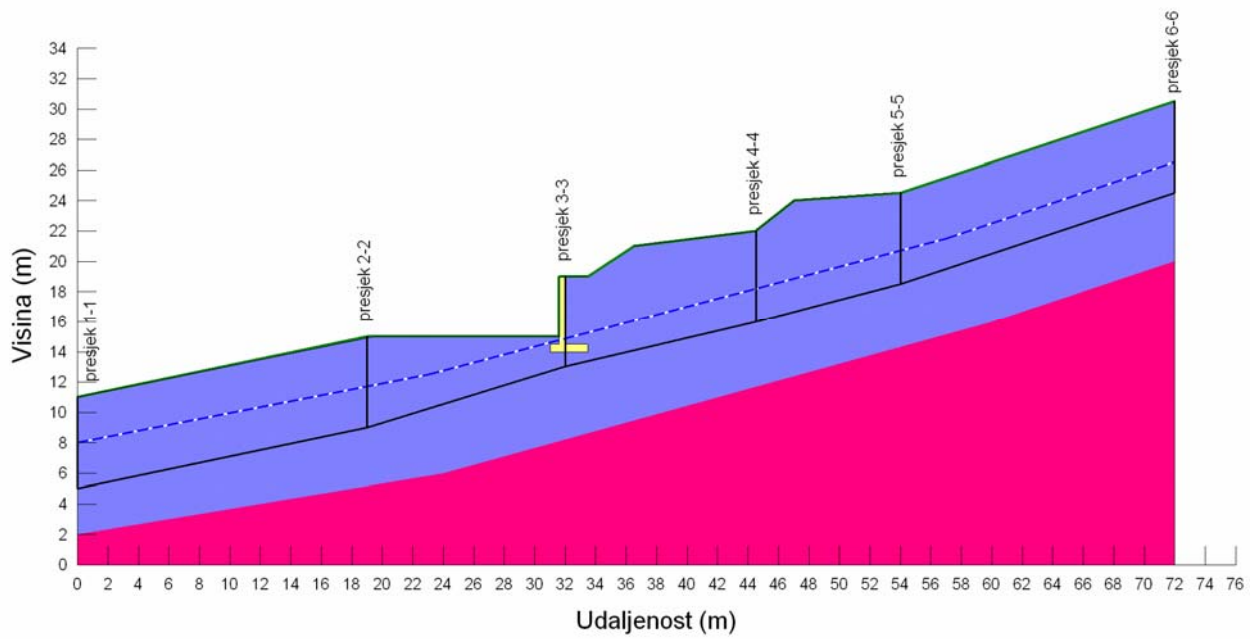




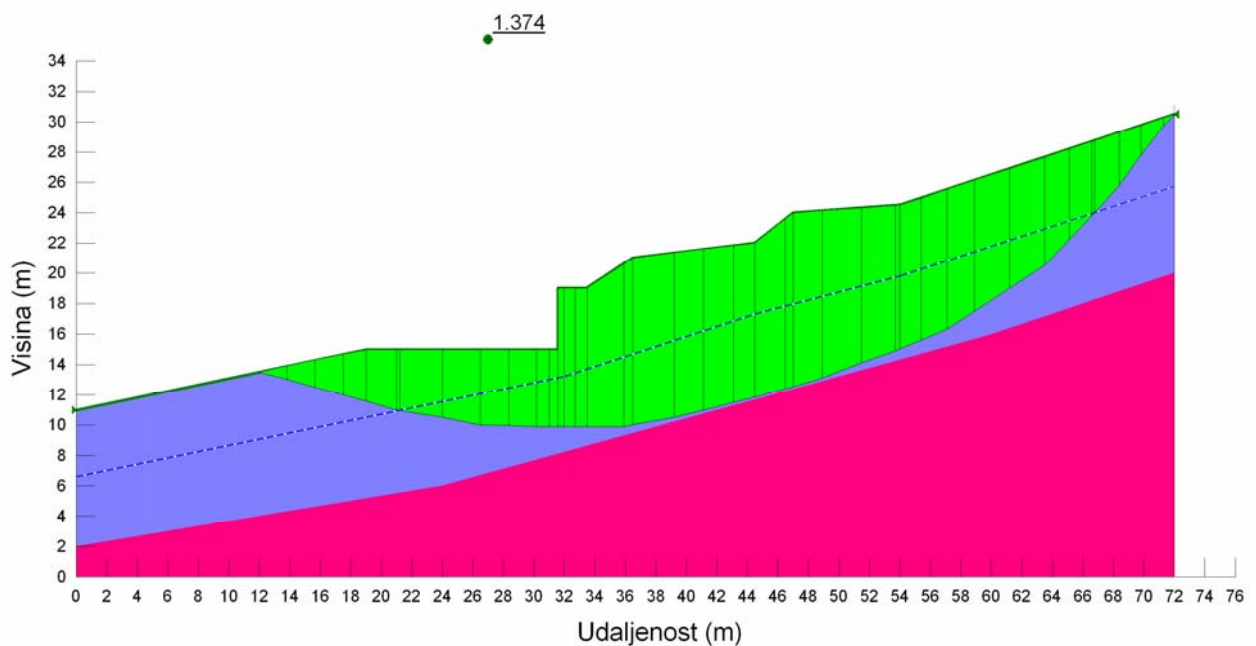
Slika 9. Izvedba potpornog zida



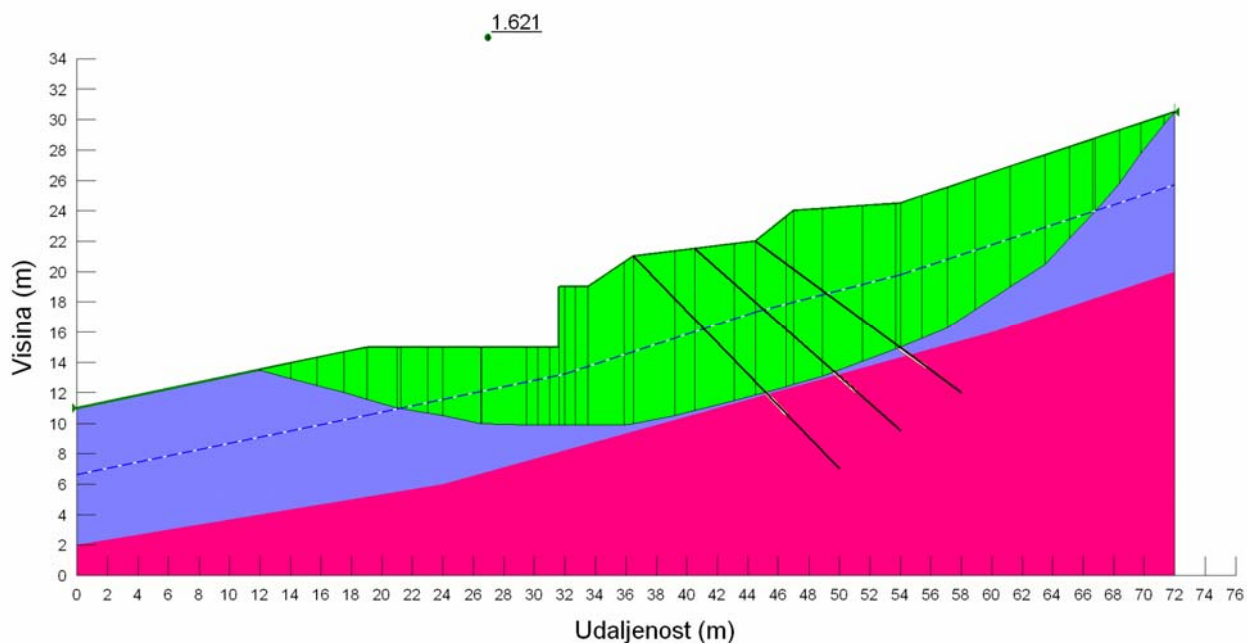
Slika 10. Fully specified – specificirana klizna površina



Slika 11. Dno drenažnih rovova

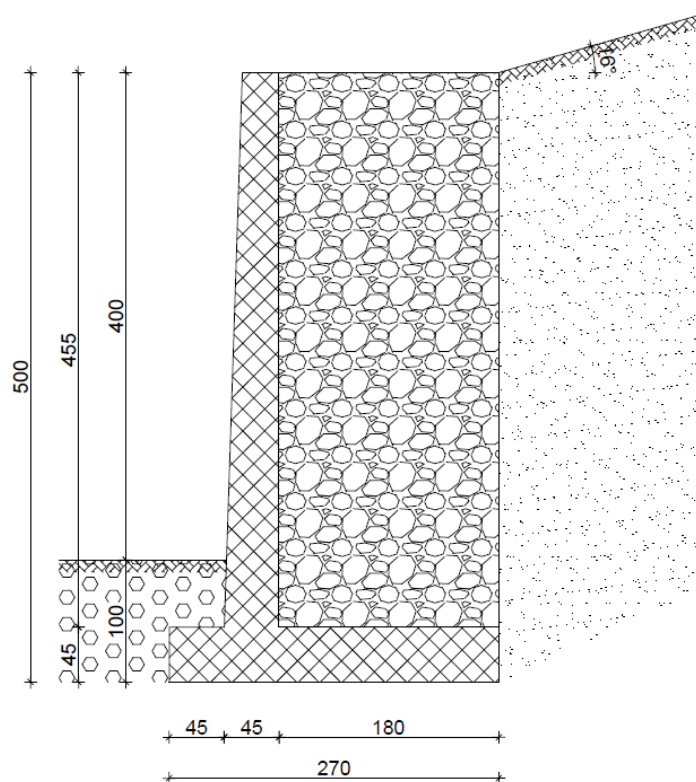


Slika 12. Nova snižena razina podzemne vode



Slika 13. Stabilizacija tla

## 5. PRORAČUN POTPORNOG ZIDA PO EC 7 (PP1)



Slika 14. Dimenzije AB potpornog zida



Zadane dimenzije AB potporne konstrukcije zadovoljavaju uvjete stabilnosti i nosivosti tla za zadano opterećenje.

KOMBINACIJA 1: A1+M1+R1; KOMBINACIJA 2: A2+M2+R1

Tablica 3. Analiza proračuna prema Eurokod-u 7

g.s.n. STR/GEO		U(%)	Fs
prevrtanje	K1	39,99	2,50
	K2	50,19	1,99
nosivost tla	K1	68,90	
	K2	86,19	
klizanje	K1	52,54	1,90
	K2	96,14	1,04

Konstrukcija ne zadovoljava ako je  $U > 100 \%$ . Mjerodavan je najstroži uvjet (najveći U (%)). Iz proračuna je očigledno da potporni zid zadovoljava sve tražene uvjete, tj. stabilan je i na klizanje i prevrtanje, a nosivost tla je također zadovoljavajuća.

## 6. ZAKLJUČAK

Za izradu prijedloga mjera za sanaciju klizišta nužno je prikupiti i analizirati inženjerskogeološke, hidrogeološke i geotehničke podatke istraživanja kako slijedi:

- odrediti raspored slojeva s njihovim fizičko – mehaničkim svojstvima;
- odrediti dubinu klizne plohe i konturu kliznog tijela;
- odrediti piezometarsku razinu vode na raznim točkama kliznog tijela;
- odrediti u pokrenutoj zoni, a osobito duž plohe sloma, smjer, intenzitet i brzinu pomaka.

Programski zadatak za ovakav tip problema trebao bi se sastojati od sljedećih faza:

1. Snižavanje RPV izvedbom drenažnih rovova
2. Izvođenje zasjeka kosine
3. Dimenzioniranje potpornog zida
4. Proračun armature potpornog zida
5. Izrada potpornog zida
6. Postavljanje čeličnih šipki za dodatnu stabilizaciju terena
7. Predmjer radova

Snižavanjem razine podzemne vode i promjenom smjera filtracijskih sila od onih prirodnih uzduž padine prema drenovima, smanjuju se porni tlakovi i povećavaju efektivna naprezanja ( $\sigma'$ ) na plohi sloma.

Nakon izvedbe drenažnih rovova i potpornog zida, postignut je koeficijent sigurnosti  $F_s=1,287$ . Dimenzioniranje zida izvršeno je po Eurokod-u 7 (PP1;K1,K2) i ustanovljeno je da je siguran na prevrtanje i klizanje. U zadnjoj se fazi izvodi sidrenje iznad potpornog zida, a postignut je i zadovoljavajući koeficijent sigurnosti  $F_s=1,621$ .

Armiranje tla se ne može izvesti u nožici kosine zbog velikih dinamičkih utjecaja od prometnog opterećenja.



O uspjehu sanacije odrona ili klizišta može se govoriti tek nakon provedenog sustava opažanja (monitoringa), odnosno geodetskog mjerenja pomaka stabiliziranih točaka po profilima u periodu vremena od najmanje dvije hidrološke godine.

## LITERATURA

1. E. Nonveiller, *Mehanika tla, Temeljenje građevina*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
2. A.N. Savich, *Geotehničko inženjerstvo*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
3. Tanja Roje-Bonacci, *Potporne građevine i građevne jame*, Građevinsko arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split, 2005
4. M. Selimović, *Mehanika tla i temeljenje I i II dio*, Građevinski fakultet Mostar
5. Maja Prskalo, *Zbirka riješenih zadataka iz mehanike tla s primjenom EC 7*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, Mostar, 2011.

Korišteni software-i :  
Geostudio 2004