

# Geotehnički i okolišni aspekti nalazišta materijala za izgradnju transverzalnog nasipa Odra - Suša

---

Lipovšćak, Jakob

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:647035>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-18**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,  
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

SMJER: GEOTEHNIKA

Jakob Lipovšćak

**GEOTEHNIČKI I OKOLIŠNI ASPEKTI NALAZIŠTA  
MATERIJALA ZA IZGRADNJU  
TRANSVERZALNOG NASIPA ODRA – SUŠA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

SMJER: GEOTEHNIKA

Jakob Lipovšćak

**GEOTEHNIČKI I OKOLIŠNI ASPEKTI NALAZIŠTA  
MATERIJALA ZA IZGRADNJU  
TRANSVERZALNOG NASIPA ODRA – SUŠA**

DIPLOMSKI RAD

Mentor: assoc. prof. dr. sc. Mario Bačić

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING ZAGREB  
DEPARTMENT: GEOTECHNICS

Jakob Lipovšćak

**GEOTECHNICAL AND ENVIRONMENTAL  
ASPECTS OF BORROW SITE FOR  
CONSTRUCTION OF TRANSVERSAL  
EMBANKMENT ODRA – SUŠA**

MASTER THESIS

Supervisor: assoc. prof. dr. sc. Mario Bačić

Zagreb, 2024



Sveučilište u Zagrebu  
Građevinski fakultet



OBRAZAC 3

POTVRDA O POZITIVNOJ OCJENI PISANOG DIJELA DIPLOMSKOG RADA

Student/ica :

Jakob Lipovščak

(Ime i prezime)

0114026667

(JMBAG)

zadovoljio/la je na pisanom dijelu diplomskog rada pod naslovom:

Geotehnički i okolišni aspekti nalazišta materijala za izgradnju transverzalnog nasipa Odra - Suša

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

Geotechnical and environmental aspects of the borrow site for the construction of the Odra - Suša transversal embankment

(Naslov teme diplomskog rada na engleskom jeziku)

i predlaže se provođenje daljnjeg postupka u skladu s Pravilnikom o završnom ispitu i diplomskom radu Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta.

Pisani dio diplomskog rada izrađen je u sklopu znanstvenog projekta: (upisati ako je primjenjivo)

-

(Naziv projekta, šifra projekta, voditelj projekta)

Pisani dio diplomskog rada izrađen je u sklopu stručne prakse na Fakultetu: (upisati ako je primjenjivo)

-

(Ime poslodavca, datum početka i kraja stručne prakse)

Datum:

17.09.2024

Mentor:

izv.prof.dr.sc. Mario Bačić

Potpis mentora:

Komentor:

Građevinski fakultet  
Fra Andrije Kačića-Miošića 26, HR-10000 Zagreb, OIB: 62924153420  
TEL: +385 (0)1 4639 115, FAKS: +385 (0)1 4828 051  
www.grad.unizg.hr



Sveučilište u Zagrebu  
Građevinski fakultet



OBRAZAC 4

IZVJEŠĆE MENTORA O PROVEDENOJ PROVJERI IZVORNOSTI  
PISANOG DIJELA DIPLOMSKOGA RADA

Ime i prezime studenta:	Jakob Lipovšćak
JMBAG:	0114026667
Naslov teme diplomskog rada (HR):	Geotehnički i okolišni aspekti nalazišta materijala za izgradnju transverzalnog nasipa Odra - Suša
Ukupna podudarnost:	13%
Izvori s interneta:	12%
Publikacije:	2%
Studentski radovi:	5%

Ime i prezime mentora:

izv.prof.dr.sc. Mario Bačić

Mišljenje mentora (rad (ne)zadovoljava uvjete izvornosti) s obrazloženjem:

Rad zadovoljava uvjete izvornosti.

Datum: 17.09.2024.

Potpis mentora:



Sveučilište u Zagrebu  
Građevinski fakultet



OBRAZAC 5

## IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja :

Jakob Lipovščak

(Ime i prezime, JMBAG)

student/ica Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta ovim putem izjavljujem da je moj pisani dio završnog ispita pod naslovom:

Geotehnički i okolišni aspekti nalazišta materijala za izgradnju transversalnog nasipa Odra - Suša

(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

izvorni rezultat mogega rada te da se u izradi istoga nisam koristio/la drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Datum:

27.06.2024.

Potpis:



Sveučilište u Zagrebu  
Građevinski fakultet



## OBRAZAC 6

### IZJAVA O ODOBRENJU ZA POHRANU I OBJAVU PISANOG DIJELA ZAVRŠNOG ISPITA

Ja:

Jakob Lipovščak, 47092880976

(Ime i prezime, OIB)

ovom izjavom potvrđujem da sam autor/ica predanog pisanog dijela završnog ispita i da sadržaj predane elektroničke datoteke u potpunosti odgovara sadržaju dovršenog i obranjenog pisanog dijela završnog ispita pod naslovom:

Geotehnički i okolišni aspekti nalazišta materijala za izgradnju transversalnog nasipa Odra - Suša

(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

koji je izrađen na sveučilišnom prijediplomskom studiju Građevinarstvo Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta pod mentorstvom:

assoc.prof.dr.sc. Mario Bačić

(Ime i prezime mentora)

i obranjen dana:

26.09.2024.

(Datum obrane)

Suglasan/suglasna sam da pisani dio završnog ispita bude javno dostupan, te da se trajno pohrani u digitalnom repozitoriju Građevinskog fakulteta, repozitoriju Sveučilišta u Zagrebu te nacionalnom repozitoriju.

Datum:

17.09.2024.

Potpis:

Građevinski fakultet  
Fra Andrije Kačića-Miošića 26, HR-10000 Zagreb, OIB: 62924153420  
TEL.: +385 (0) 1 4639 115, FAKS: +385 (0) 1 4828 051  
www.grad.unizg.hr



## SAŽETAK

Geotehnički i okolišni aspekti nalazišta materijala važan su dio cjelokupnog projekta izgradnje transversalnog nasipa Odra – Suša. Nužno je osigurati dugoročnu stabilnost nalazišta nakon završetka iskopa, održati funkcionalnost lokalnog ekosustava i što je više moguće uklopiti zahvat u okoliš te smanjiti čovjekov utjecaj. U uvodnom dijelu diplomskog rada opisani su faktori koji su utjecali na odabir lokacije predmetnog nalazišta. Pojašnjeni su svi parametri materijala koji su potrebni za određivanje pogodnosti materijala za ugradnju u nasip te opisana terenska ispitivanja, laboratorijski pokusi i njihova analiza. Ukratko su opisani kriteriji i relevantni tehnički uvjeti izvedbe prema kojima se određuje pogodnost materijala za ugradnju. Ekološki aspekti utjecaja zahvata na okoliš opisani su kroz utjecaje na pojedine elemente okoliša kao što su vode, tlo, kakvoća zraka, nastanak otpada itd. Za svaki od navedenih aspekata provedene su detaljne procjene i analize kako bi se utvrdili potencijalni negativni utjecaji te definirale mjere za njihovo ublažavanje ili eliminaciju. Nakon završetka radova, predloženo je uređenje nalazišta koje uključuje vraćanje površinskog sloja humusa, sadnju vegetacije i druge radnje usmjerene na smanjenje ekološkog otiska zahvata. Provedeni su numeričke analize u programu GeoStudio kako bi se utvrdila stabilnost nalazišta u različitim projektnim situacijama te potencijalno odredile dodatne mjere osiguranja i povećanja stabilnosti ukoliko bi to bilo potrebno. Zaključeno je da nalazište tvore visokoplastične i niskoplastične gline, od čega će se visokoplastične gline koristiti za jezgru nasipa, a niskoplastične za tijelo nasipa. Stabilnost nalazišta osigurana je iskopom pod nagibom 1:3 bez potrebe za dodatnim geotehničkim zahvatima.

**Ključne riječi:** geotehnički aspekti, okolišni aspekti, nalazišta materijala, terenska ispitivanja, laboratorijska ispitivanja, nasip Odra – Suša

## ABSTRACT

Geotechnical and environmental aspects of the borrow sites are an important part of the project for the construction of the transversal embankment Odra – Suša. It is necessary to ensure the long-term stability of the site after excavation, maintain the functionality of the local ecosystem, and integrate the project into the environment as much as possible to minimize human impact. The introductory section of the theses describes the factors that influenced the selection of the subject site location. All material parameters needed to determine the suitability of materials for embankment construction are explained, along with descriptions of field investigations, laboratory tests, and their analysis. The criteria and relevant technical execution conditions used to determine the material suitability for embankment construction are briefly described. The aspects of the project's impact on the environment are described through effects on individual environmental elements such as water, soil, air quality, waste generation, etc. Detailed assessments and analyses have been conducted for each of these aspects to identify potential negative impacts and define measures for their mitigation or elimination. After the work is completed, the proposed site rehabilitation includes restoring the topsoil layer, planting vegetation, and other activities aimed at reducing the ecological footprint of the project. Numerical analyses were performed using the GeoStudio computer program to assess the stability of the site in different projected scenarios and to potentially determine additional security and stability enhancement measures if necessary. It was concluded that the site consists of high-plasticity and low-plasticity clays, with the highly plastic clays being used for the core of the embankment and the low-plasticity clays for the body of the embankment. The stability of the site is ensured by excavation at a slope of 1:3 without the need for additional geotechnical measures.

**Keywords:** geotechnical aspects, environmental aspects, material sites, field testing, laboratory testing, Odra – Suša embankment

## POPIS KRATICA

**HRN** – Hrvatska norma

**EN** – Europska norma

**OTU** – Opći tehnički uvjeti

**EC** – Eurokod (Eurocode)

**SPT** – standardni penetracijski test

**ISO** – međunarodna norma (international organisation of standardization)

**ZOG** – zakon o gradnji

**CPT** – test statičke penetracije (cone penetration test)

**EZO** – elaborat zaštite okoliša

**OPUO** – ocjena o potrebi procjene utjecaja na okoliš

**PUO** – procjena utjecaja na okoliš

**OPEM** – ocjena prihvatljivosti za ekološku mrežu

**IGH** – Institut građevinarstva hrvatske

**IP** – indeks plastičnosti

**3D** - trodimenzionalan

**PP3** – projektni pristup 3

**SADRŽAJ**

SAŽETAK.....	i
ABSTRACT.....	ii
POPIS KRATICA .....	iii
SADRŽAJ .....	iv
1. UVOD.....	1
2. NALAZIŠTA MATERIJALA .....	2
3. GEOTEHNIČKI ASPEKTI NALAZIŠTA MATERIJALA .....	4
3.1. Općenito o materijalima za izvedbu nasipa .....	4
3.2. Terenska i laboratorijska ispitivanja materijala .....	7
3.2.1. Terenska ispitivanja .....	9
3.2.2. Laboratorijska ispitivanja .....	12
3.2.3. Analiza rezultata laboratorijskih ispitivanja .....	15
3.3. Bitni parametri za materijale nasipa .....	16
3.3.1. Određivanje granice plastičnosti tla.....	17
3.3.2. Određivanje granice tečenja tla .....	18
3.3.3. Ispitivanje granulometrijskog sastava tla .....	19
3.3.4. Ispitivanje jednoosne tlačne čvrstoće .....	20
3.3.5. Pokus direktnog posmika .....	21
3.3.6. Edometarski pokus.....	22
3.3.7. Određivanje optimalne vlažnosti – Proctor-ov pokus.....	24
3.3.8. Ispitivanje propusnosti uz konstantni pad potencijala .....	25
3.3.9. Ispitivanje propusnosti uz promjenjivi pad potencijala .....	26
3.4. Zahtijevani geotehnički kriteriji za nasipe prema Općim tehničkim uvjetima .....	26
4. OKOLIŠNI ASPEKTI NALAZIŠTA MATERIJALA .....	29
4.1. Zakonska regulativa za evaluaciju utjecaja zahvata na okoliš .....	30
4.2. Potencijalni utjecaji na okoliš.....	30

---

4.2.1. Utjecaj zahvata na vode .....	30
4.2.2. Utjecaj zahvata na tlo .....	31
4.2.3. Utjecaj zahvata na kakvoću zraka.....	31
4.2.4. Utjecaj zahvata na bioraznolikost .....	31
4.2.5. Utjecaj zahvata na kulturnu baštinu .....	31
4.2.6. Utjecaj zahvata na krajobraz .....	31
4.2.7. Utjecaj zahvata na razinu buke .....	32
4.2.8. Utjecaj zahvata na postojeće infrastrukturne sustave .....	32
4.2.9. Utjecaj zahvata na nastanak otpada .....	32
4.3. Uređenje nalazišta nakon završetka radova.....	33
5. NALAZIŠTE MATERIJALA ZA IZGRADNJU NASIPA ODRA-SUŠA .....	34
5.1. Opis lokacije .....	34
5.2. Prikaz provedenih istražnih radova i rezultata .....	36
5.3. Analiza količina materijala za iskop .....	46
5.4. Numeričke analize stabilnosti .....	51
5.4.1. Seizmički koeficijenti .....	52
5.4.2. Karakteristične vrijednosti parametara materijala .....	54
5.4.4. Računalne analize .....	55
5.4.3. Rezultati računalnih analiza .....	55
5.5. Završno uređenje nalazišta .....	60
6. Zaključak.....	62
POPIS LITERATURE:.....	63
POPIS SLIKA .....	66
POPIS TABLICA.....	68

## 1. UVOD

Izgradnja transverzalnog nasipa Odra-Suša planirana je kako bi se spriječile povremene poplave kojima su izložena naseljena područja i poljoprivredna zemljišta uz obale rijeke Save. Geotehnički i okolišni aspekti nalazišta materijala za izgradnju transverzalnog nasipa Odra-Suša predstavljaju važnu temu i zahtijevaju surađivanje više različitih struka te pažljivo planiranje. Od iznimne je važnosti provesti adekvatne istražne radove kako bi se dobili svi parametri potrebni za procjenu prikladnosti materijala za izgradnju nasipa. Projekt izvođenja nasipa Odra-Suša je od velikog značaja za zaštitu prometne, stambene i ostalih infrastruktura u Zagrebačkoj regiji.

Geotehnički aspekti odnose se na proučavanje, istraživanje i bilježenje geoloških karakteristika, svojstava materijala, hidroloških uvjeta i stabilnosti tla. Određivanje podobnosti materijala dostupnih iz nalazišta, donošenje određenih zahtjeva za izvođenje zahvata iskopa i uporabe materijala za izgradnju nasipa. Nakon istražnih radova provedenih sukladno važećim normama te dobivenih parametara tla uspoređuju se sa zahtjevima danim projektom. Ukoliko ne zadovoljavaju uvjete moguće je predložiti izvedbu rješenja sa dostupnim materijalom uz određene prilagodbe odnosno dodatne zahtjeve kako bi se omogućila ugradnja. Nakon završetka radova na iskopu nalazišta potrebno je ponovno provesti geotehničku procjenu stabilnosti stranica iskopa odnosno prema projektnim zahtjevima izvesti određene mjere uređenja stranica iskopa te stranice pokosa kako bi se osigurala dugotrajna sigurnost i stabilnost pozajmišta materijala. Također potrebno je kontinuiranim praćenjem osigurati dugoročnu stabilnost te otkloniti potencijalne rizike koji bi se mogli pojaviti naknadno.

Okolišni aspekti korištenja nalazišta odnose se na procjene utjecaja izgradnje nasipa i korištenja pozajmišta materijala na okoliš, očuvanje biološke raznolikosti. Bitno je provesti analize potencijalnih promjena u hidrološkom režimu, mogućih negativnih posljedica na biljni i životinjski svijet te potencijalnih rizika od onečišćenja voda i tla. Važno je uzeti u obzir potencijalne utjecaje i moguća onečišćenja prilikom izvođenja radova te ih spriječiti ili umanjiti kako ne bi ostavili trajni utjecaj na mjestu nalazišta materijala.

U ovom diplomskom radu pobliže će se istražiti nalazišta materijala za izgradnju nasipa, njihova važnost, načini izvođenja radova, i sve zakonske i podzakonske regulative vezane za provedbu istražnih radova, projektiranje nalazišta, njegovu izvedbu te primjenu mjera sigurnosti nakon završetka radova.

## 2. NALAZIŠTA MATERIJALA

Nalazišta materijala su područja najčešće u blizini izvođenja nasipa sa kojih se vršenjem iskopa koristi i eventualno transportira materijal za izvođenje nasipa na projektnom području. Kvalitetni i adekvatni materijali ključni su za izgradnju stabilnih i sigurnih nasipa koji imaju važnu ulogu u zaštiti od poplava, erozije tla i u oblikovanju okoliša. Mogućnost pronalaska adekvatnih nalazišta materijala od velike je važnosti za uspješnost projekta.

Problematika sa kojom se suočavamo prilikom projektiranja nalazišta materijala je brojna. Ponajprije je potrebno ispitati geotehničke karakteristike tla te utvrditi zadovoljavaju li minimalne parametre prema kriterijima danim projektom. Odgovara li tlo za ugradnju u nasip određuje se provođenjem istražnih radova te ispitivanja u laboratoriju. Važno je uskladiti lokaciju i konačni izgled nakon završetka iskopa sa lokalnom samoupravom i stanovništvom pošto se izvođenjem nalazišta do određene mjere narušava krajolik te postoji povećani rizik od erozije i ispiranja materijala na području izvođenja.

Potrebno je projektirati sukladno pravilima struke način korištenja nalazišta materijala te završnu sanaciju nakon završetka iskopa kako ne bi došlo do potencijalnog urušavanja, erodiranja, pojave klizišta ili sličnih mehanizama prekoračenja geotehničkih graničnih stanja nosivosti.

Okolišni parametri koji su pod utjecajem izvedbe nalazišta su: utjecaj na lokalni ekosustav i promjenu toka voda, nadzemnih i podzemnih, promjenu vegetacije, utjecaj na staništa. Ukoliko se podzemna voda nalazi na maloj dubini postoji eksponencijalno veći rizik od zagađenja prilikom iskopa ukoliko podzemna voda ostane izložena vanjskim utjecajima.

Uz zadovoljenje svih spomenutih parametara potrebno je procijeniti količinu materijala koja će se dobiti iskopom iz nalazišta te jesu li potrebna dodatna nalazišta za izvođenje predmetnog projekta odnosno postoji li mogućnost iskopa potrebnih količina materijala iz nalazišta predviđenog za korištenje.

Prilikom početka radova nalazište je potrebno očistiti od raslinja, drveća, šiblja i sl. također potrebno je ukloniti projektom predviđeni sloj humusa te ga privremeno ili trajno deponirati ovisno o planiranom uređenju pokosa nakon završetka radova.

Prilikom iskopa potrebno je stranice nasipa izvoditi u radnim odnosno kasnije i trajnim nagibima koji će biti prilagođeni naknadnoj uporabi nalazišta.

Na područjima gdje je to moguće, nalazišta se nakon završetka eksploatacije iskorištavaju za sportsko-rekreacijske svrhe, uređenje ribnjaka, prostore za šetnju, šljunčare i sl. Ukoliko nije moguće prenamijeniti nalazište potrebno ga je vizualno uklopiti u okolinu. Primjer funkcionalnog uređenja nalazišta nakon završetka eksploatacije prikazan je na Slici 1.



**Slika 1** Primjer završnog uređenja nalazišta u Maynard-u [1]

Prilikom odabira lokacije nalazišta važno je zadovoljiti nekoliko bitnih parametara: relativna blizina nalazišta materijala i prometna povezanost, mehaničke karakteristike tla za izgradnju nasipa, geotehničku i ekološku stabilnost nakon odvoza materijala. Izgled nalazišta tokom eksploatacije prikazan je na Slici 2.



**Slika 2** Prikaz izgleda nalazišta materijala [2]

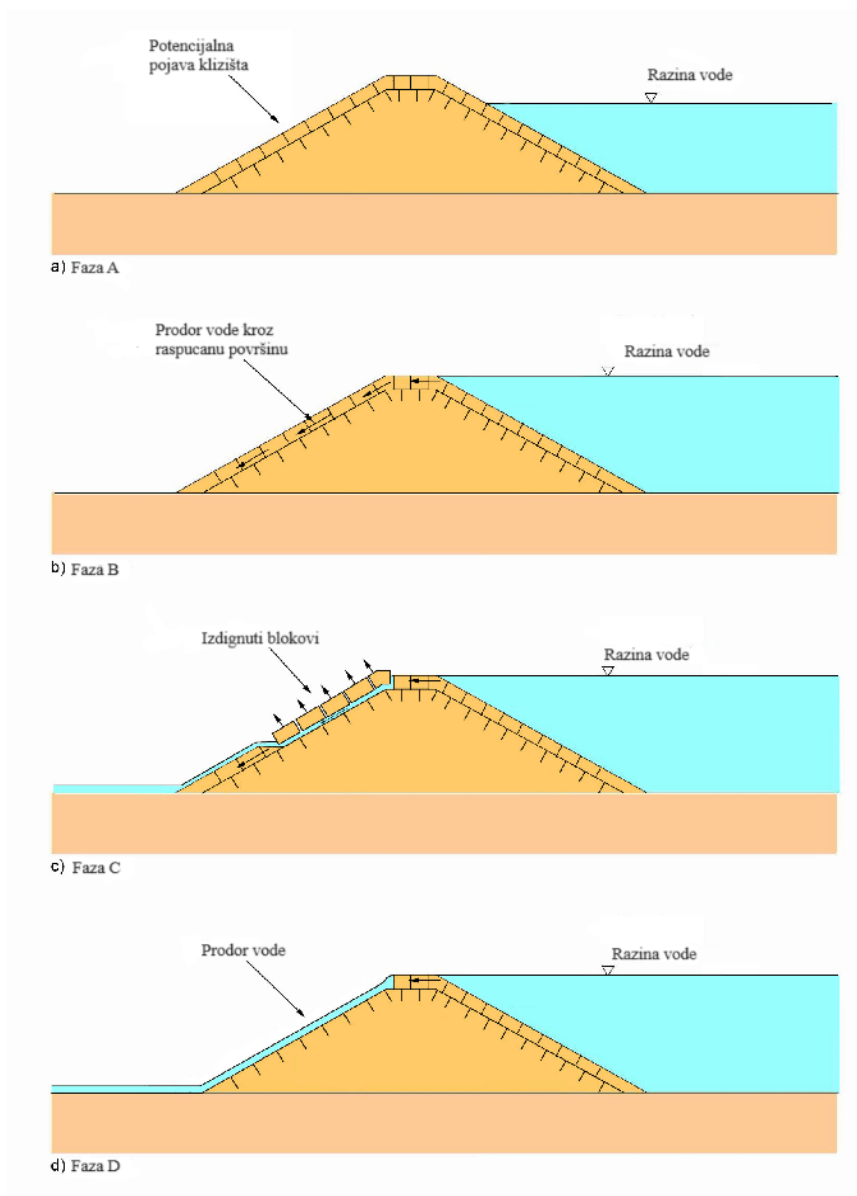


### 3. GEOTEHNIČKI ASPEKTI NALAZIŠTA MATERIJALA

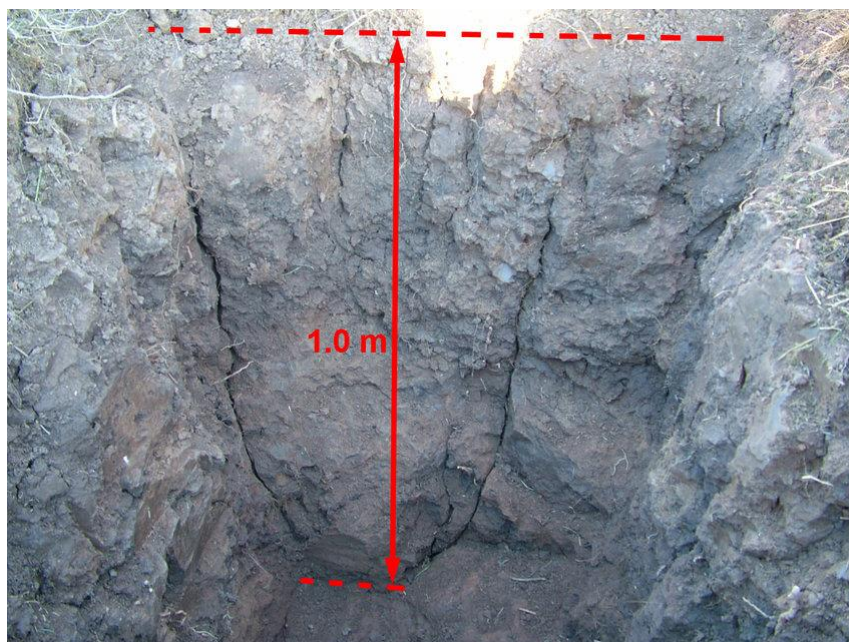
#### 3.1. Općenito o materijalima za izvedbu nasipa

Kod izgradnje nasipa za zaštitu od poplava koristi se široki spektar materijala. Vrlo često upotrebljavaju se materijali dostupni iz lokalnih nalazišta u neposrednoj blizini izvođenja zahvata iako imaju lošija svojstva ili ne zadovoljavaju minimalne zahtjeve. Zbog vrlo visokih cijena projekata u praksi se koriste ti materijali lošijih svojstava uz dodatne mjere osiguranja iz razloga što višestruko smanjuju troškove dovoza materijala, a time i ukupnu cijenu izvođenja projekta. Ovisno o vrsti ugrađenog materijala i njegovim nedostacima prilikom projektiranja uzimaju se u obzir i dodaju adekvatne mjere povećanja odnosno zadovoljavanja zahtjeva funkcionalnosti i stabilnosti.

Najpoželjnija tla za izgradnju nasipa su gline. Gline visoke plastičnosti nisu poželjne s obzirom da se prilikom sušenja stvaraju pukotine koje nepovoljno djeluju na vodonepropusnost i stabilnost nasipa. Uslijed pojavljivanja pukotina može doći do popuštanja nasipa što je prikazano na Slici 3. Pukotine koje se javljaju mogu doseći dubine i od 1 m (Slika 4), što uvelike narušava funkcionalnost te je u slučajevima korištenja takvih materijala nužno primijeniti mjere povećanja stabilnosti tla. Neki od primjera su: kombinacija povoljnijih i nepovoljnijih materijala tako da se materijali boljih hidrauličkih svojstava ugrađuju u jezgru nasipa kako bi nasip zadržao svoju funkcionalnost, postavljanje geosintetičkih mreža po pokosu kako bi se spriječila erozija prilikom prelijevanja preko nasipa odnosno tečenja vode niz nasip (Slika 5), postavljanje geosintetičkih mreža horizontalno u slojeve nasipa kako bi se spriječila potencijalna pojava klizišta (Slika 6), ojačanje strane pokosa izloženog eroziji slaganjem kamenja ili sličnih materijala.



**Slika 3** Popuštanje nasipa uslijed razvijanja pukotina [6]



**Slika 4** Pojava vlačnih pukotina u nasipu [6]



**Slika 5** Postavljanje geosintetika na pokos nasipa [5]



**Slika 6** Ugradnja geosintetika u horizontalnim slojevima [5]

Tla koja sadržavaju visoki postotak pijeska ili šljunka mogu se koristiti ali je pri tome potrebna dodatna ugradnja vodonepropusne pregrade od umjetnih materijala ili gline unutar nasipa. Nekoherentni materijali znatno su podložniji eroziji u usporedbi s koherentnim materijalima. Ipak, zbog nedostatka adekvatnih resursa, potencijalnih negativnih utjecaja na okoliš te visokih troškova transporta velikih količina materijala iz udaljenih područja, često se koriste manje povoljni materijali ili se uvode alternative u obliku umjetnih materijala. Primjer takvog rješenja je korištenje recikliranih guma komprimiranih u bale za upotrebu u formiranju nepropusne jezgre nasipa. Prilikom izvođenja takvih zahvata potrebno je provesti vrlo precizna istraživanja o utjecaju na okoliš, uključujući potencijalnu kontaminaciju, kao i analizu mogućih promjena svojstava materijala tijekom vremena [7].

### **3.2. Terenska i laboratorijska ispitivanja materijala**

Prije početka provođenja istražnih radova potrebno je definirati vrstu, opseg i metodologiju provođenja istražnih radova te izraditi projektni prijedlog istražnih radova. Taj prijedlog temelji se na terenskoj procjeni potrebnih istraživanja i zahtjevima propisanim važećom normom Eurokoda 7 (HRN EN 1997-2).

Nakon preliminarnе odredbe istražnih radova na lokaciji koja je predviđena kao potencijalno nalazište materijala provode se vizualna ispitivanja, eventualne prilagodbe uvjetima na terenu, terenska ispitivanja te prikupljanje uzoraka tla koji će se potom ispitati u laboratoriju. Nakon laboratorijskih ispitivanja slijedi procjena zadovoljavajuće količine i razine detalja dobivenih podataka te izrada geotehničkog elaborata u kojem su sustavno prikazani svi dobiveni rezultati terenskih i laboratorijskih istraživanja.

Ispitivanja koja je potrebno provesti prije početka izvođenja iskopa na lokaciji nalazišta i samog nasipa sastoje se od in-situ istraživanja provedenih na lokaciji potencijalnog nalazišta, uzorkovanja, istražnih jama, istražnih bušotina te laboratorijskih ispitivanja kojima se ustanovljuju preostali parametri tla potrebni za utvrđivanje pogodnosti materijala za korištenje prilikom izgradnje nasipa. Nakon dobivenih parametara, uspoređuju se sa minimalnim tehničkim zahtjevima danim u projektu, pri čemu se projektni kriteriji najčešće preuzimaju iz Općih tehničkih uvjeta (OTU), dokumenta koji predstavlja dobru inženjersku praksu. Na temelju ove usporedbe donosi se zaključak o pogodnosti tla za ugradnju. Ukoliko tlo ima slabija svojstva od minimalno propisanih projektom moguće je, kroz dodatne primijenjene mjere uz suglasnost nadležnih tijela, upotrijebiti dostupan materijal iz nalazišta.

Geotehničkim elaboratom su prikazana provedena ispitivanja na predmetnoj lokaciji, njime je obuhvaćena obrada dobivenih rezultata terenskih i laboratorijskih ispitivanja, interpretirani su rezultati pomoću tablica i grafikona te su svi radovi potkrijepljeni fotodokumentacijom sa terena.

Geotehnički elaborat služi podloga koja se koristi prilikom izrade projekta za izvođenje zahvata. Uzimaju se u obzir dobiveni rezultati te se tehničko rješenje prilagođava stanju na području izvođenja zahvata odnosno kvaliteti i vrsti materijala dostupnog iz nalazišta. Definira se točna trasa nasipa, geometrijske karakteristike, tehnička izvedba, sve prateće građevine i infrastruktura.

Prema Tablici 1 koja služi za kategorizaciju razine važnosti građevine predmetni nasip spada u kategoriju 2 u koju spadaju svi uobičajeni tipovi građevina uključujući nasipe. Ovom normom nisu definirani precizni uvjeti niti ispitivanja koja je potrebno provesti, ali zahtjeva rigoroznije kriterije, provođenje i praćenje istražnih radova pod vodstvom specijaliziranog geotehničara sa zadovoljavajućim iskustvom, a normiranje je prepušteno potrebama. Korištenje razreda nije obavezno pa se mogu koristiti kao smjernice odnosno pomoć prilikom izrade projekta.

**Tablica 1** Geotehnički razredi prema EC 7 [9]

Geotehnička kategorija 1	Uključuje samo male i jednostavne građevine sa zanemarivim rizikom.
Geotehnička kategorija 2	Uključuje uobičajene tipove građevina, plitke i druge temelje, zidove i druge potporne građevine, iskope, <u>nasipe</u> i druge zemljane građevine, koje zahtijevaju kvantificirane geotehničke podatke, ali ne zahtijevaju više od rutinskih postupaka u ispitivanju tla.
Geotehnička kategorija 3	U nju su svrstane sve građevine koje ne pripadaju u prvu i drugu kategoriju.

### 3.2.1. Terenska ispitivanja

Istražni radovi na lokaciji nalazišta za cilj imaju prikupljanje što većeg broja podataka o tlu, uvjetima podzemne vode, geologiji, uslojenosti, geomorfologiji... Terenskim radovima se pomoću opažanja, procjena i praćenja vađenja uzoraka pokušava dobiti što bolja slika o tlu. Prikupljaju se uzorci materijala zadovoljavajuće kvalitete koji će se naknadno koristiti za ispitivanja u laboratoriju i konačno geotehničkih parametara tla. Ovisno o parametrima koje je potrebno odrediti definiraju se istražni radovi koji će se provoditi na terenu. Nakon provedenih terenskih istražnih radova dobiveni uzorci materijala se adekvatno skladište te se transportiraju na daljnja ispitivanja u laboratorij.

Neki od terenskih istraživanja su: istražne jame, istražne bušotine (uzimanje uzoraka tla ili ispitivanja u bušotini), statička ili dinamička penetracija, geofizička ispitivanja (izvode se sa površine terena ili iz bušotine) i mnogi drugi postupci bilježenja deformacija, naprezanja i pornih tlakova.

Istražne jame su relativno malog dosega te se u praksi koriste kako bi se dobili plitki uzorci tla (u pravilu 3-5m dubine), vizualno ispitivanje i određivanje razine podzemne vode. Iz istražnih jama se dobivaju poremećeni ili neporemećeni uzorci tla za daljnja ispitivanja. Primjer iskopa istražne jame prikazan je na slici 7. Istražne jame su jeftin i brz postupak, ali pružaju ograničenu količina informacija. Uzorci tla su najčešće poremećeni što ne odgovara ispitivanju čvrstoće, propusnosti i krutosti. Osim toga ograničene su na relativno malu dubinu.



**Slika 7** Iskop istražne jame [10]

Bušotine su velikog dosega te se koriste za određivanje dubina i rasporeda pojedinih slojeva u tlu, uzimanja poremećenih i neporemećenih uzoraka tla radi laboratorijskog ispitivanja, određivanje razine podzemne vode i deformacija tla.

Tipovi istražnog bušenja su rotacijsko istražno bušenje s kontinuiranim jezgrovanjem, svrdlanje i udarno bušenje. Udarno bušenje je metoda bušenja uz mehaničko nabijanje koja je u praksi rijetko korištena, bušenjem svrdlanjem dobivaju se potpuno poremećeni uzorci koji su pregnećeni (metoda je brza i efikasna u sitnozrnatom tlu dok u krupnozrnatom nije primjenjiva. Kao što je navedeno u OTU; Vodoistražni radovi [11]: moguće je i svrdlanje sa šupljom cijevi i na nju pričvršćenom spiralom. Šuplja cijev svrdla tijekom svrdlanja je na dnu zatvorena, a kad se želi izvaditi uzorak tla, svrdlanje se zaustavlja i otvara se čep cijevi kroz koju se spušta cilindar za vađenje uzoraka. Cilindar se utiskuje u tlo, vadi se uzorak, cijev se ponovno začepi i svrdlanje se nastavlja do sljedećeg položaja za vađenje uzorka tla. Takvim postupkom dobivaju se neporemećeni uzorci tla. U geotehničkoj praksi najčešće korištena metoda je rotacijsko istražno bušenje s kontinuiranim jezgrovanjem. Može se primjenjivati u tlu i u stijeni, a izvodi se tako što se rotacijom i utiskivanjem niza bušaćih alata na početku kojih je postavljena bušaća kruna izrađena od kompozitnih ili dijamantnih materijala te oblika prikladnog tipu tla u kojem se vrše istraživanja.

Tokom bušenja jezgra (uzorak) materijala se vadi te se u komadima dužine 1 m slaže u sanduke u kojima će se transportirati u laboratorij. U sanduke se uzorci slažu po dubini iskopa sa lijeva na desno odozgo prema dolje u pregrade dužine 1 m (Slika 8).



**Slika 8** Primjer izvađene jezgre bušotine [4]

Prilikom provođenja istražnog bušenja gotovo uvijek se provodi SPT (Standard Penetration Test) kao sastavni dio procesa istraživanja tla. Bušotina omogućuje pristup slojevima tla na različitim dubinama. SPT je ispitivanje koje se koristi za procjenu svojstava tla na terenu. To je standardizirani postupak za mjerenje otpora tla na penetraciju, te služi za određivanje nosivosti tla i njegovih inženjerskih karakteristika.

Postupak se izvodi tako da se u bušotinu spusti šuplji metalni alat (uzorkivač), a zatim se koristi standardna masa utega od 63.5 kg koja udara određeni broj puta o nakovanj pričvršćen na uzorkivač. Zabijanje se provodi dok alat ne prodre 46 cm u tlo. Bilježi se broj udaraca utegom potrebnih za prodiranje u svaku trećinu od navedenih 46 cm. Zbrajanjem broja udaraca potrebnih za zabijanje u posljednje dvije trećine (30.6 cm) dobiva se N-SPT vrijednost.

Pomoću korelacija danih od strane raznih autora iz rezultata SPT-a moguće je relativno precizno procijeniti različite parametre tla od kojih su najrelevantniji krutost i čvrstoća.

SPT je jednostavan i široko korišten test u praksi, posebno u istraživanju temeljnog tla i temelja građevina.



### 3.2.2. Laboratorijska ispitivanja

Prema zahtjevima planiranih ispitivanja koja će se provesti u laboratoriju uzimaju se poremećeni ili neporemećeni uzorci tla raznim, ranije navedenim, terenskim istraživanjima. Nakon evaluacije kvalitete i podobnosti uzoraka tla za daljnja ispitivanja može se pristupiti planiranim laboratorijskim testovima.

Kvaliteta uzoraka određuje se smjericama danim iz EC 7 prema kojem je određena podjela na pet kategorija. Za ispitivanje krutosti i čvrstoće potrebno je zadovoljiti najvišu kvalitetu uzorka dok za neka druga ispitivanja moguće koristiti i uzorke niže kvalitete.

Europskom normom HRN EN 1997-2 uzorci su klasificirani u tri klase: A, B i C. Tablicom 2 i 3 prikazana su oba načina podjele na kategorije u međusobnom odnosu i u odnosu sa parametrima koje je iz njih moguće dobiti.

**Tablica 2** Potrebne klase kvalitete uzoraka za laboratorijsko ispitivanje tla i odgovarajuće klase uzorkovanja (prema EN 1997-2) [9]

Svojstvo tla/klasa kvalitete					
Nepromijenjeno veličina vlažnost gustoća, indeks gustoće, vodopropusnost krutost, čvrstoća	svojstvo čestica	*	*	*	*
In situ svojstva koja se mogu utvrditi redosljed slojeva granice slojeva – grubo granice slojeva – fino granice konzistencije, gustoća čestica, sadržaj organske tvari vlažnost gustoća, indeks gustoće, koeficijent pora, vodopropusnost krutost čvrstoća		*	*	*	*
Kategorija uzorkovanja prema EN ISO 22475-1 (primjeri za tlo: A tankostijeni uzorkivač, B – sržna cijev ili SPT, C – bušenje ispiranjem)		A		B	
					C

**Tablica 3** Klasifikacijski parametri prema vrstama tla i potrebna kvaliteta uzorka za određivanje reprezentativnih vrijednosti [9]

parametar	vrsta tla							
	glinovita			prašinstva			pjeskovita, šljunkovita	
	kvaliteta uzorka			kvaliteta uzorka			kvaliteta uzorka	
	neporemećen	poremećen	pregnjen	neporemećen	poremećen	pregnjen	poremećen	pregnjen
geološki opis i klasifikacija	X	X	X	X	X	X	X	X
vlažnost	X	(X)	(X)	X	(X)	(X)	(X)	(X)
gustoća	X	(X)	-	X	(X)	-	-	-
najmanja i najveća gustoća	-	-	-	(X)	(X)	(X)	X	X
granice konzistencije	X	X	X	X	X	X	-	-
granulometrija	X	X	X	X	X	X	X	X
nedrenirana čvrstoća	X	-	-	(X)	-	-	-	-
vodopropusnost	X	-	-	X	(X)	(X)	(X)	(X)
osjetljivost	X	-	-	-	-	-	-	-
X moguće odrediti reprezentativnu vrijednost (X) moguće odrediti, ali vrijednost ne mora biti reprezentativna - nije primjenjivo Napomena: za neke vrste tla i drugi klasifikacijski parametri se određuju (na primjer sadržaj organske tvari, gustoća čvrstih čestica, aktivnost)								

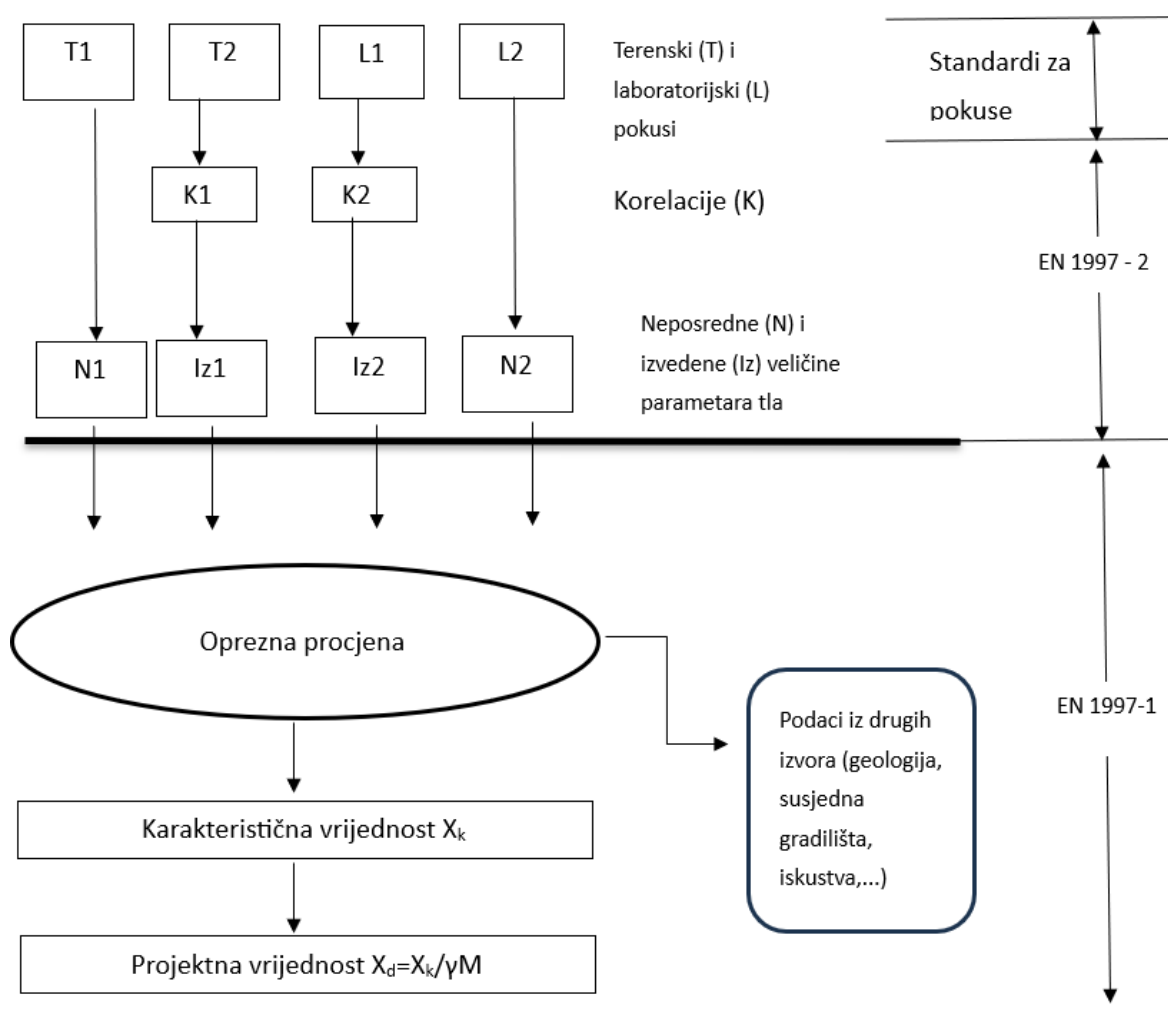
Tablicom 4 prikazana su laboratorijska ispitivanja koja je potrebno provesti da bi se dobili određeni parametri ispitivanog uzorka.

**Tablica 4** Laboratorijski pokusi za određivanje geotehničkih parametara [9]

geotehnički parametar	vrsta tla					
	šljunak	pijesak	prašina	normalno konsolidirana glina	pre-konsolidirana glina	treset i organska glina
edometerski modul ( $E_{oed}$ ) i indeks stišljivosti ( $C_c$ )	(OED) (TX)	(OED) (TX)	(OED) (TX)	(OED) (TX)	(OED) (TX)	(OED) (TX)
Youngov modul ( $E$ ) i modul posmika ( $G$ )	TX	TX	TX	TX	TX	TX
efektivni parametri čvrstoće ( $c'$ , $\phi'$ )	TX SB	TX SB	TX SB	TX SB	TX SB	TX SB
rezidualni parametri čvrstoće ( $c'_R$ , $\phi'_R$ )	RS (SB)	RS (SB)	RS (SB)	RS (SB)	RS (SB)	RS (SB)
nedrenirana čvrstoća ( $c_u$ )	-	-	TX DSS SIT	TX DSS (SB) SIT	TX DSS (SB) SIT	TX DSS (SB) SIT
gustoća ( $\rho$ )	BDD	BDD	BDD	BDD	BDD	BDD
koeficijent konsolidacije ( $c_v$ )	-	-	OED TX	OED TX	OED TX	OED TX
vodonepropusnost ( $k$ )	TXCH PSA	TXCH PSA	PTC TXCH (PTF)	TXCH (PTF) (OED)	TXCH (PTF) (OED)	TXCH (PTF) (OED)
- nije primjenjivo () samo djelomično primjenjivo Kratice laboratorijskih pokusa BDD određivanje gustoće DSS direktno jednostavno smicanje OED edometerski pokus PTF pokus vodonepropusnosti sa stalnim padom potencijala RS rotacijsko (kružno) smicanje SB direktno smicanje SIT pokus s padajućim stošcem (obično samo u preliminarnoj fazi) PSA iz granulometričkog dijagrama TX troosni pokus TXCH pokus s konstantnim padom potencijala u troosnoj ćeliji						

### 3.2.3. Analiza rezultata laboratorijskih ispitivanja

Da bi se odredili geotehnički parametri i stanje tla na nalazištu nakon provedenih laboratorijskih testova potrebno je analizirati dobivene rezultate i zatim odabrati karakteristične vrijednosti parametara materijala slijedeći smjernice prikazane na Slici 9. Također potrebno je povezati i interpretirati rezultate dobivene terenskim i laboratorijskim ispitivanjima. Veliki dio prethodno navedenih koraka temelji se na iskustvu te je vrlo važno da su testovi, a pogotovo interpretacija rezultata provedena od strane inženjera sa adekvatnim iskustvom.



Slika 9 Prikaz procesa dobivanja karakterističnih vrijednosti parametara materijala [3]

Konačno nakon evaluacije, pregleda i sortiranja rezultata priprema se geotehničko izvješće. Sukladno njemu daju se preporuke prema kojima se izvodi projekt. Uz dobivene rezultate potrebno je priložiti prateće fotografije, grafove, nacрте, pozicije i sve prateće dokumente koji su od iznimne važnosti za procjenu kvalitete tla iz nalazišta te lokalnih uvjeta.

Važno je u geotehničkom izvješću pružiti i osvrt sa mišljenjem o tlu koje je dostupno u nalazištu, njegovoj adekvatnosti za ugradnju, preporukama prilikom ugradnje ili zahtjevima dodatnih geotehničkih ojačanja. Također potrebno je napomenuti i predložiti dodatne radove koji bi bili potrebni za dobivanje preciznijih podataka ukoliko neki od podataka ne pružaju potpunu sliku o materijalu iz nalazišta.

Izvještaj o istražnim radovima, uključujući geotehnička istraživanja, služi kao temelj za razvoj glavnog projekta. Izvještaj se izrađuje u sklopu dobivanja rezultata iz laboratorija, a izrađuje ga tijelo koje je vršilo ispitivanja. Izrađuje se na temelju članka 87. iz Tehničkog propisa za građevinske konstrukcije [13]. Mora sadržavati opis zadatka i planiranih radova, popis primijenjenih propisa i standarda, geotehničke karakteristike ispitivanog tla i stručno mišljenje odnosno zaključak. Uobičajeno je da izvještaj o istraživanjima nije obavezan za dobivanje građevinske dozvole, osim ako posebni propisi ne nalažu drugačije. U slučaju građevina podložnih reviziji prema Zakonu o gradnji (ZOG) u vezi s mehaničkom otpornošću i stabilnosti, ovlašteni revident pregledava izvještaj o istražnim radovima zajedno s drugim dijelovima glavnog projekta koji su temeljeni na tom izvještaju.

### **3.3. Bitni parametri za materijale nasipa**

Krutost i čvrstoća tla koje se ugrađuje važni su parametri zbog zadovoljavanja stabilnosti samog nasipa. Pomoću njih određuje se vrijednost opterećenja koje je tlo sposobno podnijeti prije pojave deformacija odnosno popuštanja. Prilikom gradnje nasipa materijali za ugradnju moraju zadovoljavati određenu krutost i čvrstoću koje se povećavaju sa zbijenošću materijala. Iz tog razloga je nasuti materijal potrebno zbijati u slojevima kako bi se postigle što veće vrijednosti. Uz krutost i čvrstoću neophodan parametar prilikom izgradnje nasipa je vodopropusnost. Vodopropusnost omogućava kontrolu količine vode koja prolazi kroz nasip, razinu erozije i cjelokupnu stabilnost nasipa. Materijali slabije propusnosti ugrađuju se u jezgru nasipa dok se u tijelo nasipa ugrađuju materijali veće propusnosti. Koeficijent propusnosti se dobiva pomoću nekoliko izravnih ili neizravnih metoda poput granulometrijskog sastava tla, troosnog pokusa, CPT-a i dr.

### 3.3.1. Određivanje granice plastičnosti tla

Granica plastičnosti se određuje jednostavnim postupkom koji uključuje valjanje materijala meke konzistencije u valjčice promjera 3 mm (Slika 10). Najprije se materijal valja u kuglice koje je, ukoliko ostavljaju vlažan otisak na staklu, potrebno dodatno sušiti. Zatim se uzorci valjaju u valjčice te se prati njihovo ponašanje, dodavanjem vode ili sušenjem mora se postići pojava pukotina na površini valjčica ali ne smije doći do njihovog pucanja. Kad se postignu traženi zahtjevi valjčici se važu, stavljaju na sušenje te se mjeri njihova vlažnost pri pojavi opisanih pukotina. Dobivena vlažnost uzorka predstavlja granicu plastičnosti određenog materijala.



**Slika 10** Valjčici za ispitivanje granice plastičnosti [5]

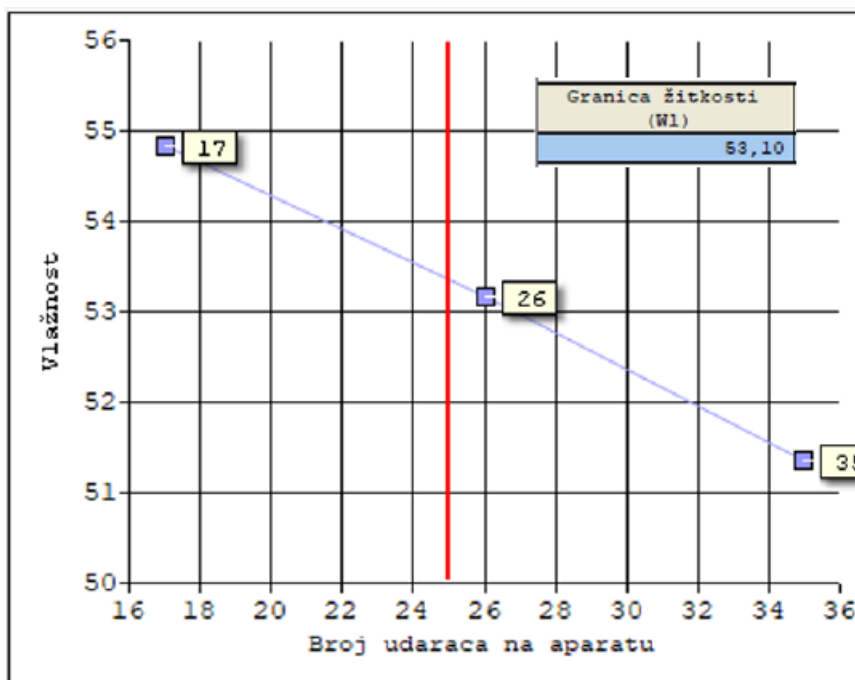
### 3.3.2. Određivanje granice tečenja tla

Granica tečenja tla se određuje pomoću Casagrandeovog uređaja (Slika 11). Uređaj se sastoji od fiksnog dijela u koji pokretna metalna zdjelica udara sa visine od 1 cm brzinom od 2 udarca u minuti. U zdjelicu uređaja se ugrađuje uzorak te se u njemu radi procjep standardiziranim nožem. Uređaj se zatim pali i prati spajanje procjepa dok se ne spoji u duljini od 12 mm. Bilježi se broj udaraca koji je potreban za postizanje spajanja u traženoj duljini.



**Slika 11** Casagrandeov uređaj [5]

Postupak se ponavlja na tri uzorka tla sa različitom vlažnosti, ali pritom broj udaraca ne smije biti manji od 10 i veći od 40. Dobivanjem rezultata za sva tri uzorka mjeri se njihova vlažnost (%) te broj udaraca. Kada se dobije krivulja ovisnosti vlažnosti o broju udaraca (Slika 12), iz grafikona se iščitava vrijednost vlažnosti ( $w_L$ ) pri 25 udaraca koja predstavlja granicu tečenja materijala.



Slika 12 Krivulja granice tečenja [5]

Indeks plastičnosti dobiva se kao razlika dvaju dobivenih parametara granice plastičnosti i granice tečenja. On predstavlja raspon vlažnosti pri kojem se određeni materijal ponaša plastično i izražava se u postocima.

$$I_p = W_L - W_p \quad (\%)$$

### 3.3.3. Ispitivanje granulometrijskog sastava tla

Ispitivanjem granulometrijskog sastava tla dobivamo mase pojedine frakcije materijala prikazane u odnosu na ukupnu masu uzorka (%).

Metodom sijanja se korištenjem standardiziranih sita prosijava materijal te se mjeri količina materijala koja je ostala na svakom pojedinom situ. Može se izvoditi kao suhi ili mokri postupak ovisno o zahtjevima materijala.

Metodom areometriranja se u standardiziranim vremenskim periodima mjeri taloženje materijala te se iz očitavanja uronjenog areometra dobiva udio pojedine frakcije.

Ubacivanjem dobivenih rezultata u grafikon odnosa postotka pojedine frakcije i promjera zrna u logaritamskom mjerilu dobivamo granulometrijsku krivulju koja služi za klasifikaciju materijala.

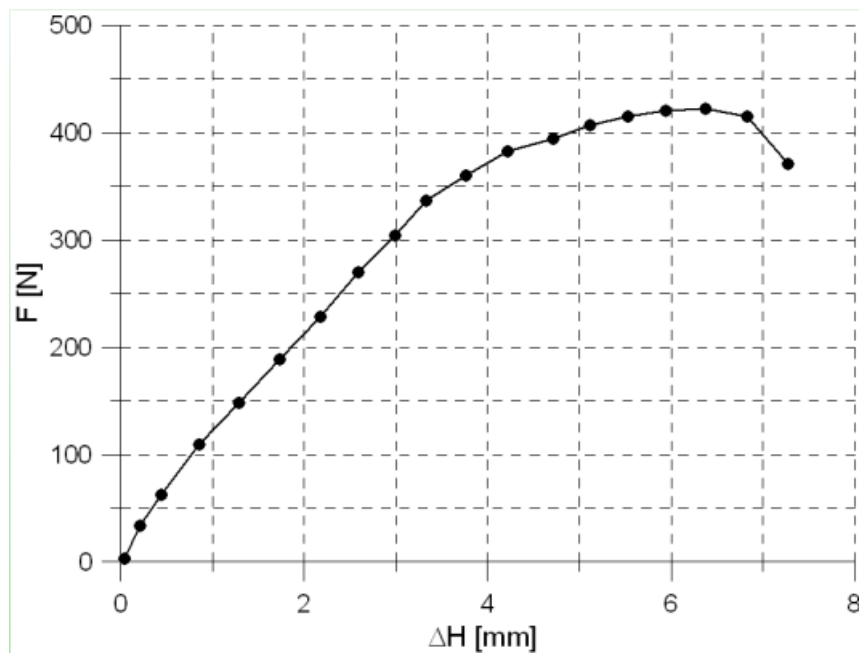


### 3.3.4. Ispitivanje jednoosne tlačne čvrstoće

Pokusom jednoosne tlačne čvrstoće dobiva se vrijednost tlačne čvrstoće materijala. Mjerenjem deformacija prilikom pokusa moguće je odrediti veličinu Youngovog modula elastičnosti „E“ koji se koristi kao mjerilo krutosti određenog tla. Neporemećeni uzorak tla se postavlja u uređaj za ispitivanje jednoosne čvrstoće tla te se sila kontinuirano povećava dok ne dođe do sloma uzorka. Bilježi se vršna sila pri kojoj je došlo do sloma uzorka, kut sloma uzorka u odnosu na njegovu os i deformacije koje su se javljale prije sloma u ovisnosti o nanesenom opterećenju (Slika 13). Rezultati pokusa su prikazani grafikonom odnosa nanesene sile i deformacija uzorka (Slika 14).



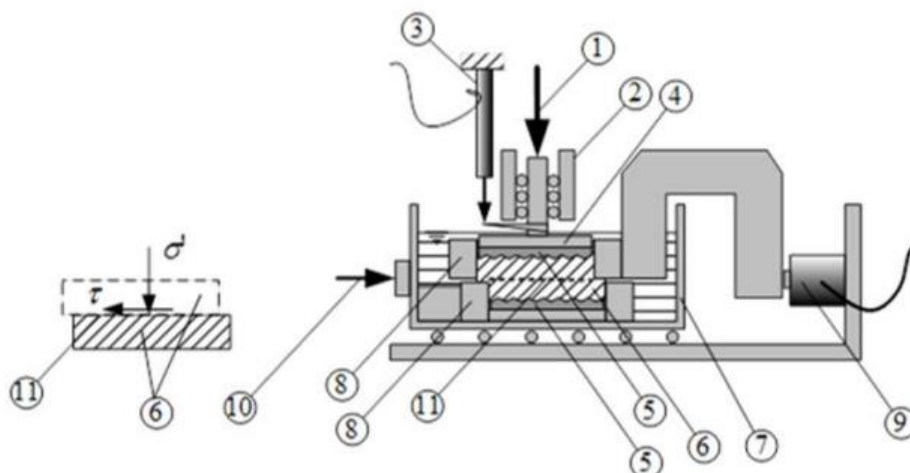
**Slika 13** Ispitivanje jednoosne čvrstoće [15]



Slika 14 Naponsko deformacijska krivulja [15]

### 3.3.5. Pokus direktnog posmika

Ispitivanje čvrstoće se najjednostavnijim i najčešćim postupkom provodi u dreniranim uvjetima u uređaju za izravno smicanje. U tom pokusu u kojem se uzorak tla ispituje uređajem za direktan posmik (Slika 15). Najprije se nanosi vertikalno opterećenje na uzorak te se provodi proces konsolidacije. Tek kad je konsolidacija završena nanosi se horizontalno opterećenje. Horizontalno se opterećenje nanosi u inkrementima određenim pomoću dobivenih vrijednosti vremena konsolidacije iz prvog dijela pokusa kako bi odredili najmanju brzinu smicanja. Brzina smicanja važna je kako bi se osiguralo da se višak tlaka vode u uzorku praktički zadrži na nuli tijekom smicanja. U tom će slučaju efektivna naprežanja u uzorku biti jednaka nametnutim ukupnim naprežanjima [14].

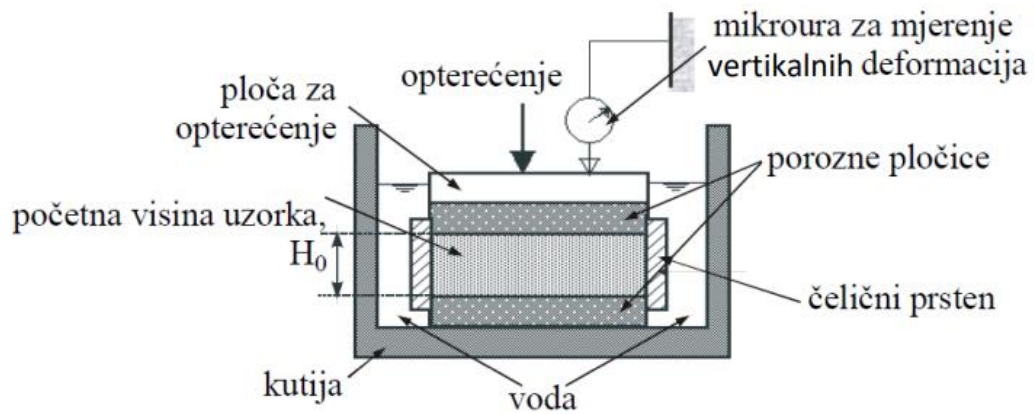


(1-uređaj za nametanje vertikalne sile  $V$ , 2-vodilice uređaja za vertikalno opterećenje koje sprječavaju naginjanje gornje ploče, 3-mjerilo vertikalnog pomaka gornje ploče, 4-gornja ploča, 5-nazubljene šupljikave kamene ploče, 6-uzorak tla, 7-pomična posuda na ležajevima, 8-gornji (nepomični) i donji (pomični) okvir za uzorak potopljen u vodi, 9-mjerilo horizontalne sile  $H$ , 10-uređaj za nametanje jednoliko rastućeg horizontalnog pomaka, 11-ploha na kojoj se pretpostavlja da će doći do posmičnog sloma uzorka tla)

**Slika 15** Uređaj za direktno smicanje [14]

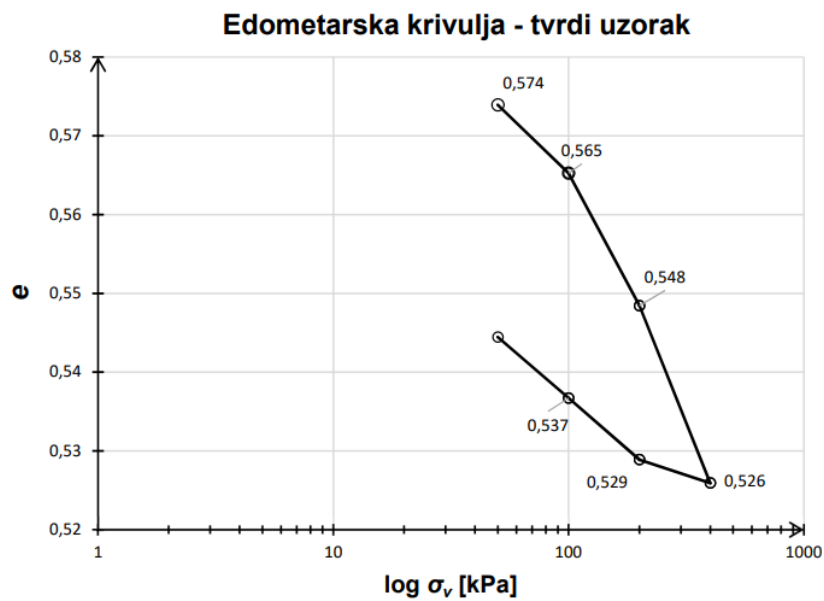
### 3.3.6. Edometarski pokus

Edometarskim pokusom se dobiva jednoosna tlačna čvrstoća tla i određuju konsolidacijska svojstva materijala. Najčešće se koriste neporemećeni uzorci tla, koji se ugrađuju u kalup cilindričnog oblika te se sa gornje i donje strane uzorka postavlja porozni poklopci koji omogućuju dreniranje uzorka (Slika 16). Uzorci se opterećuju u inkrementima, vertikalnim opterećenjem. Svaki inkrement se uvećava za vrijednost prethodnog. Rasterećenje se provodi u najmanje dva inkrementa te se bilježe vertikalni pomaci pri opterećenju i rasterećenju uzorka.



**Slika 16** Ugrađeni uzorak u edometar [18]

Bilježenjem rezultata dobiva se konsolidacijska krivulja slijeganja u vremenu i edometarska krivulja slijeganja koja prikazuje ovisnost koeficijenta pora o vertikalnom naprezanju (Slika 17).

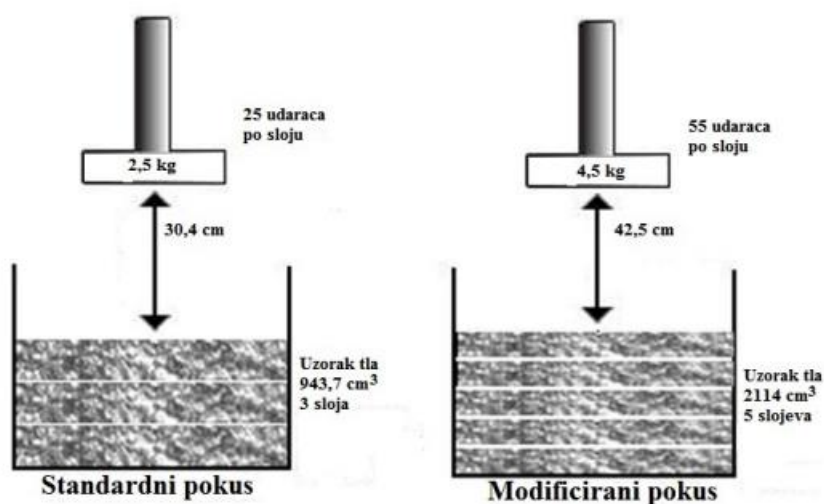


**Slika 17** Edometarska krivulja [19]

### 3.3.7. Određivanje optimalne vlažnosti – Proctor-ov pokus

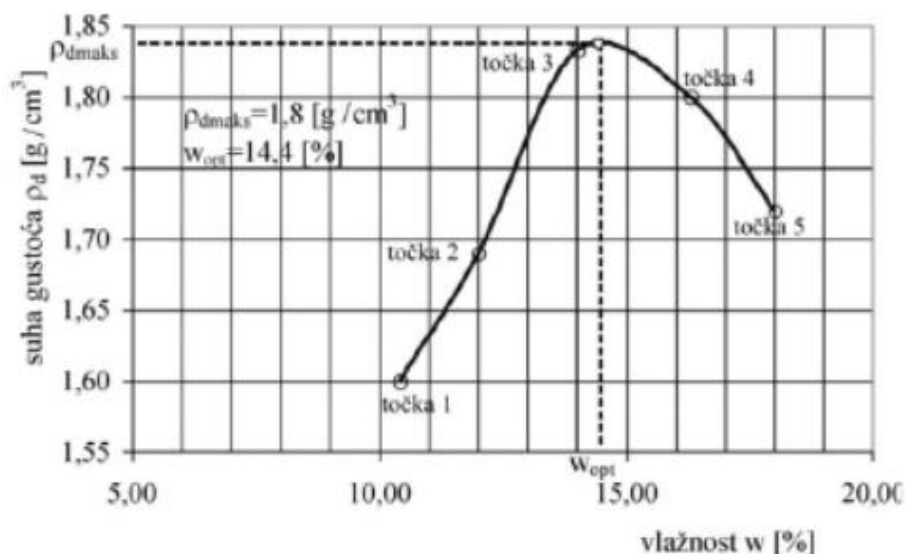
Energija potrebna za zbijanje materijala se mijenja ovisno o njegovoj vlažnosti. Optimalna vlažnost je ona pri kojoj uz određenu energiju zbijanja postizemo najveću moguću zbijenost odnosno suhu gustoću ispitivanog uzorka.

Optimalna vlažnost se ispituje Proctor-ovim pokusom (Slika 18). Postoje dva tipa a to su standardni i modificirani koji se razlikuju u visini pada utega, težinom utega i broju slojeva u kojem se materijal zbijaju. Materijal se zbijaju u standardnom kalupu, materijalom je potrebno potpuno ispuniti kalup, a ostatak materijala se uklanja nožem.



**Slika 18** Standardni i modificirani Proctor-ov pokus [16]

Uzorci materijala se pripremaju sa različitim vlažnostima kako bi se dobile točke na grafu postignute suhe gustoće i vlažnosti (Slika 19). Povezivanjem dobivenih točaka dobiva se krivulja zbijanja tla. U vršnoj točki krivulje očitava se maksimalna suha gustoća koja se dobiva optimalna vlažnost  $w_{opt}$  (%) pri zbijanju zadanom energijom. To je vlažnost pri kojoj bi se trebalo zbijati svaki sloj prilikom gradnje nasipa.



Slika 19 Krivulja ovisnosti suhe gustoće o vlažnosti pri zbijanju [17]

### 3.3.8. Ispitivanje propusnosti uz konstantni pad potencijala

Ispitivanje propusnosti se provodi kako bi se odredila sposobnosti materijala da propušta vodu. Kao rezultat ispitivanja dobivamo koeficijent propusnosti ( $k$ [m/s ili cm/s]) koji predstavlja brzinu propuštanja vode ispitivanog materijala.

Za ispitivanje visoko propusnih tala koji se sastoje primjerice od šljunka ili pijeska koristi se metoda ispitivanja uz konstantni pad potencijala.

Odabrani uzorak odgovarajuće kvalitete ugrađuje se pod vodom u cilindrični permeametar. Preljevni spremnik se podiže na određenu visinu kako bi se ostvario traženi hidraulički gradijent. Voda se konstantno dovodi na uzorak dok je sa druge strane omogućen slobodan izlaz. Tokom izvođenja pokusa mjeri se i bilježi količina vode koja prolazi kroz uzorak u određenom vremenskom periodu. Rezultati pokusa i izračun koeficijenta propusnosti provodi se preko sljedeće formule:

$$k = \frac{Q * L}{A * \Delta H}$$

$Q$  – protok vode kroz uzorak [ $\text{cm}^3/\text{s}$ ]

$L$  – duljina uzorka [cm]

$A$  – površina poprečnog presjeka uzorka [ $\text{cm}^2$ ]

$\Delta H$  – razlika visine između ulaza i izlaza vode [cm]

### 3.3.9. Ispitivanje propusnosti uz promjenjivi pad potencijala

Za ispitivanje slabo propusnih tala poput gline koristi se metoda ispitivanja uz promjenjivi pad potencijala. Ispitivanje se provodi pomoću permeametra. Postupak ugradnje je isti kao u ispitivanju sa konstantnim padom potencijala. U dovodnu cijev permeametra se ulijeva voda na određenu visinu što predstavlja početni hidraulički potencijal. Tijekom ispitivanja prolaskom vode kroz uzorak hidraulički gradijent polako opada te se razina vode u dovodnoj cijevi permeametra spušta. Tokom ispitivanja mjeri se određeno vrijeme i bilježi se protok vode kroz uzorak uspoređivanjem razlike u visini vodenog stupca u dovodnoj cijevi. Konačno nakon dobivenih rezultata koeficijent propusnosti se dobiva iz sljedeće formule:

$$k = \frac{2.3 * a * L}{A * (t_2 - t_1)} * \log\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

a – površina dovodne cijevi [cm<sup>2</sup>]

L – duljina uzorka [cm]

A – površina poprečnog presjeka uzorka [cm<sup>2</sup>]

t<sub>1</sub> i t<sub>2</sub> – vrijeme mjerenja na početku i kraju ispitivanja

h<sub>1</sub> i h<sub>2</sub> – visina vode u dovodnoj cijevi na početku i kraju ispitivanja

### 3.4. Zahtijevani geotehnički kriteriji za nasipe prema Općim tehničkim uvjetima

Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu je skup uvjeta izvedbe i smjernica vezanih za građenje, rekonstrukciju i dugoročno održavanje građevina koje su dio vodnog gospodarstva. Trenutno propisano izdanje OTU-a iz 2022.g.,a izradili su ih zajedničkom suradnjom Centar građevinskog fakulteta d.o.o., Institut IGH d.d. i Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Općim tehničkim uvjeti ne propisuju mjerodavne zakone niti su podzakonski akt. U svojim zahtjevima se referiraju ili pozivaju na propisane zakone, podzakonske akte i trenutno važeće norme u Republici Hrvatskoj. Primjena OTU je obavezna kada su oni ugovoreni kao dio tehničke dokumentacije.

U većini slučajeva investitori zahtijevaju izvođenje radova prema OTU pošto su se kroz praksu pokazali kao pouzdani. Oni ne isključuju mjerodavne zakone i regulative propisane od strane Republike Hrvatske. (npr. Zakon o gradnji, Zakon o prostornom uređenju, itd.). OTU zajedno sa spomenutim zakonima i odredbama čine cjelinu, ukoliko neki dio projekta nije definiran OTU koristi se mjerodavna smjernica iz trenutno važećeg zakonika. Ukoliko se propisi iz prije spomenutih cjelina preklapaju mjerodavna je ona koja propisuje strože uvjete.

Kriterije prema kojima se određuje zadovoljavanje dobivenih parametara tla daju OTU-i koji su izrađeni prema preporukama i zahtjevima trenutno važećih zakonskih normi i propisa.

Investitor u suglasnosti sa stručnjacima donosi odluku o uporabi materijala za izradu nasipa te se uvjetuje ugradnja na temelju zadovoljavajućih parametara dobivenih geotehničkim elaboratom. Ukoliko nisu zadovoljeni minimalni parametri primjenom dodatnih mjera uzimajući u obzir ekonomske i izvedbene olakotne okolnosti prilikom korištenja materijala dostupnog u neposrednoj blizini izvođenja zahvata.

U nastavku tablicama 5 i 6 su prikazana ispitivanja i prateći zahtjevi koje je potrebno provesti i zadovoljiti prema Općim tehničkim uvjetima (OTU - poglavlje 2, točka 2-10.1, tablica 2-10.1-1) vezano za radove u vodnom gospodarstvu, Hrvatske vode, Zagreb, 2022. Važeći su prikazani kriteriji za ugradnju zemljanih materijala predmetne kategorije C u koju spadaju svi materijali koji se mogu direktno kopati upotrebom prikladnih strojeva, a to su: sitnozrnata (koherentna) tla, krupnozrnata (nekoherentna) tla, mješovita tla (mješavina dva prethodno navedena) [8].



**Tablica 5** Prethodna ispitivanja materijala za izradu nasipa od zemljanih materijala [8]

Tehničko svojstvo	Ispitna norma	Uvjeti kvalitete
Sadržaj vode	HRN EN ISO 17892-1	Ispituje se
Koeficijent nejednolikosti "U" (granulometrijski sastav)	HRN EN ISO 17892-4	$D_{60}/d_{10} \geq 9$
Udio sitnih čestica	HRN EN ISO 17892-4	< 50%
<sup>1</sup> Udio organskih tvari	HRN U.B1.024/68	< 6%
Suha prostorna masa	HRN EN 13286-2 (standardni Proctor)	$\geq 1,5 \text{ Mg/m}^3$ za nasipe visine do 3,0 m
		$> 1,55 \text{ Mg/m}^3$ za nasipe više od 3,0 m
Optimalan sadržaj vode, $w_{\text{opt}}$	HRN EN 13286-2 (standardni Proctor)	< 25%
Granica tečenja, $w_L$	HRN EN ISO 1789-12	< 65%
Indeks plastičnosti, $I_p$	HRN EN ISO 1789-12	< 30%
Bubrenje nakon 4 dana potapanja u vodi	HRN EN 13286-47	< 4%

Napomena 1): ukoliko zemljani materijal sadrži 6 do 10% organskih tvari, njegovu pogodnost za ugradnju treba dokazati detaljnim laboratorijskim ispitivanjima.

Za izradu krune nasipa od zemljanih materijala mogu se upotrijebiti gline niske do visoke plastičnosti, prahovi, glinoviti pijesci i slični materijali osjetljivi na prisutnost vode. U sljedećoj tablici prikazani su ispitivanja i prateći zahtjevi koje je potrebno provesti i zadovoljiti prema OTU.

**Tablica 6** prethodna ispitivanja zemljanog materijala za izradu krune nasipa [8]

Tehničko svojstvo	Ispitna norma	Uvjeti kvalitete
Sadržaj vode	HRN EN ISO 17892-1	Ispituje se
Koeficijent nejednolikosti "U" (granulometrijski sastav)	HRN EN ISO 17892-4	$D_{60}/d_{10} \geq 9$
Suha prostorna masa	HRN EN ISO 13286-2 (standardni Proctor)	$> 1,65 \text{ Mg/m}^3$
Optimalan sadržaj vode, $w_{\text{opt}}$	HRN EN ISO 13286-2 (standardni Proctor)	$\leq 25\%$
<sup>1</sup> Udio organskih tvari	HRN U.B1.024/68	< 6%
Granica tečenja, $w_L$	HRN EN ISO 1789-12	< 40%
Indeks plastičnosti, $I_p$	HRN EN ISO 1789-12	< 20%
Bubrenje nakon 4 dana potapanja u vodi	HRN EN 13286-47	< 3%
Kalifornijski indeks nosivosti, CBR	HRN EN 13286-47	$> 3\%$

#### 4. OKOLIŠNI ASPEKTI NALAZIŠTA MATERIJALA

Vrlo često se okolišnim utjecajima nalazišta materijala posvećuje puno manje pažnje nego utjecaju izvedbe samog nasipa odnosno predmetnog projekta. Najčešće za nalazišta nije izrađen poseban elaborat zaštite okoliša nego je dodan kao dio glavnog EZO-a koji se izrađuje za sami zahvat nasipa. To ne smije umanjiti važnost te potencijalne negativne utjecaje na okoliš neadekvatno projektiranih odnosno izvedenih nalazišta.

Korištenje nalazišta materijala uključuje uklanjanje vegetacije, da bi se došlo do materijala potrebnog za izvođenje projekta. Najčešće se nalaze u blizini izvođenja zahvata zbog pogodnosti. Kao što navodi Claudio Tavares [20] na mjestima gdje je uklonjena vegetacija i površinski slojevi događaju se značajne promjene u režimu voda, kao što je smanjena razina infiltracije vode u tlo, povećana erozija, ispiranje... U ekstremnim slučajevima zabilježeno je značajno ispiranje materijala i pojava popratnih negativnih utjecaja.

Prilikom procjene ekološkog utjecaja zahvata na okoliš potrebno je temeljito ispitati i prikupiti podatke o lokaciji zahvata poput [21]:

- Klimatološke značajke
- Geološki utjecaj i seizmološke značajke
- Pedološke značajke
- Hidrološke značajke i vodna tijela u blizini zahvata
- Bioraznolikost
- Kulturno povijesna baština okoliša zahvata
- Krajobraz

Navedene faktore potrebno je ispitati prije izvođenja samog zahvata, zatim je potrebno procijeniti moguće utjecaje tijekom i nakon izgradnje objekta te propisati mjere kojih se potrebno pridržavati tokom izvođenja radova i nakon završetka.

#### **4.1. Zakonska regulativa za evaluaciju utjecaja zahvata na okoliš**

Prilikom ocjene utjecaja zahvata na okoliš dva ključna dokumenta su Elaborat zaštite okoliša i Studija utjecaja na okoliš.

Elaborat zaštite okoliša je dokument kojim se procjenjuje utjecaj zahvata na okoliš, životinjski i biljni svijet te lokalno stanovništvo. Cilj prilikom izrade elaborata je što preciznije procijeniti utjecaje koji mogu potencijalno nastati izvođenjem predmetnog zahvata.

Izrada Elaborata zaštite okoliša ovisi o vrsti i veličini planiranog projekta. Primjeri zahvata za koje je zakonski obavezna izrada propisani su Uredbom o procjeni utjecaja zahvata na okoliš [23]. Na temelju EZO se od strane nadležnog tijela provodi Postupak ocjene o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš (OPUO). Za određene projekte kao primjerice Elektrane i energane snage veće od 100 MWel, Vjetroelektrane snage veće od 20 MWel, Nuklearne elektrane, itd., Uredbom o procjeni utjecaja zahvata na okoliš [23] je zahtijevana Procjena utjecaja zahvata na okoliš (PUO). Za projekte koji ne spadaju u kategorije kojima je direktno zahtjevan PUO provodi se OPUO. Ukoliko nadležno tijelo procijeni da je za određeni zahvat potrebno propisuje obvezu izrade Procjene utjecaja na okoliš. U sklopu procjene utjecaja na okoliš izrađuje se Studija utjecaja na okoliš prema kojoj se procjenjuje utjecaj zahvata, propisuju mjere i zajedno sa zahtjevom za procjenu prilaže nadležnom tijelu odnosno Ministarstvu gospodarstva i održivog razvoja. Nakon procjene nadležno tijelo daje Ocjenu prihvatljivosti za ekološku mrežu (OPEM), prema kojoj se očituju o prihvatljivosti odnosno neprihvatljivosti zahvata.

#### **4.2. Potencijalni utjecaji na okoliš**

Potencijalni utjecaji na okoliš su podijeljeni na utjecaje tokom korištenja od mehanizacije, ljudi..., i na utjecaje samog zahvata nakon završetka izgradnje i konačne obrade nalazišta.

##### **4.2.1. Utjecaj zahvata na vode**

Ukoliko se u blizini nalazišta materijala nalaze vodni tokovi, podzemne vode ili drugim vodnim tijelima postoji rizik od onečišćenja odnosno ometanja prirodnih tokova vode.

Zbog prisutnosti mehanizacije i radnika postoji rizik da zbog ne pridržavanja propisa o organizaciji gradilišta i nepravilnom rukovanju strojeva dođe do zagađenja poput curenja maziva, ulja, nafte i sl. Procijenjeni rizik je najčešće sveden na umjereni, povremeni utjecaj.

Na podzemne vode, ukoliko postoji vodonosnik u blizini zahvata, procjenjuju se jednaki potencijalni rizici kao i za površinske te se pridržavanjem pravila struke oni svode na minimum odnosno nisu značajni.

#### **4.2.2. Utjecaj zahvata na tlo**

Tokom izvođenja radova pristupni putevi i radni okrug teške mehanizacije svodi se na minimum te se nakon završetka radova tlo rahli kako bi vegetacija što prije narasla i vratila se u prvobitno stanje. Na mjestu samog zahvata prema projektu predviđa se završna obrada nalazišta te se pretpostavlja da će pravilnom izvedbom nalazište urediti nakon radova kako bi se što više uklopilo u okolni teren.

#### **4.2.3. Utjecaj zahvata na kakvoću zraka**

Tokom izvođenja radova moguće je zagađenje zraka tokom zemljanih radova zbog pojave sitnih čestica materijala te mogućeg raznošenja po okolnom području. Osim pojave prašine moguće je i zagađenje ispušnim plinovima od mehanizacije. Ovi utjecaji su privremeni te se najčešće ocjenjuju kao umjerenog rizika. Nakon završetka izvedbe radova se najčešće ne očekuje zagađenje zraka prouzrokovano izvedenim zahvatom.

#### **4.2.4. Utjecaj zahvata na bioraznolikost**

Tijekom ispitivanja ovog utjecaja važno je ocijeniti staništa pojedinih životinjskih vrsta te koliko će sami zahvat utjecati i u kojoj količini na lokalna staništa. Također nužno je procijeniti pojavu potencijalnih endemskih vrsta odnosno koliko su raširene vrste čija će se staništa potencijalno narušiti zahvatom.

#### **4.2.5. Utjecaj zahvata na kulturnu baštinu**

Utjecaj zahvata potrebno je procijeniti i uskladiti sa prostornim planom nadležne općine na čijem području se izvodi te postoje li nekakve posebne odredbe ili kulturna dobra koja bi bila pod utjecajem.

#### **4.2.6. Utjecaj zahvata na krajobraz**

Potrebno je procijeniti u kojoj će mjeri zahvat utjecati na izgled i postojeću strukturu lokalnog krajolika. Sječom raslinja i drveća, krčenjem zemljišta i privremenih i dugoročnih posljedica.

#### **4.2.7. Utjecaj zahvata na razinu buke**

Procjenjuje se hoće li razina buke koja će biti uzrokovana radovima biti veća od maksimalne dopuštene u naseljenim ili nenaseljenim mjestima te ukoliko je očekivana buka veća izdaju se posebne dozvole za razinu buke i vremenske periode koji se odobravaju ovisno o važnosti projekta.

#### **4.2.8. Utjecaj zahvata na postojeće infrastrukturne sustave**

Procjenjuje se hoće li tokom radova doći do potencijalnih oštećenja ili preopterećenja prilaznih puteva i postojeće infrastrukture. Također procjenjuje se hoće li zahvat negativno utjecati na infrastrukturu nakon završetka izvođenja.

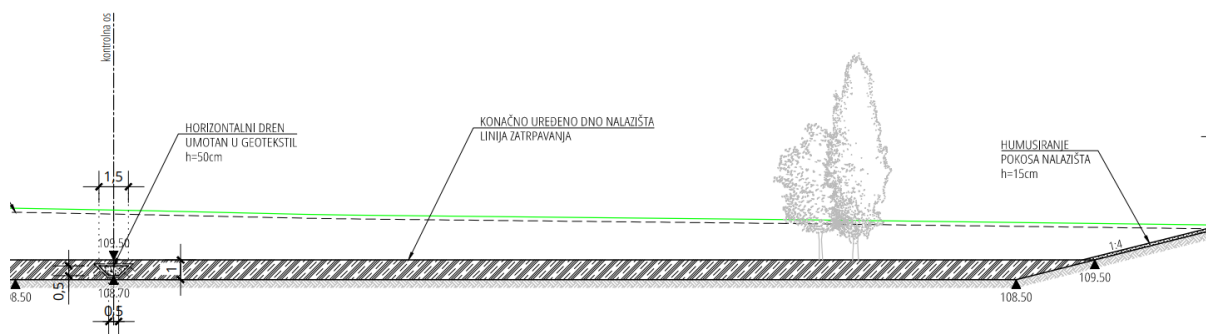
#### **4.2.9. Utjecaj zahvata na nastanak otpada**

Radi se procjena količine i vrste otpada koji će se pojaviti tijekom izvođenja radova. Provodi se podjela po vrsti otpada te razini opasnosti i utjecaja na okoliš. Nakon procjene vrsta otpada izriču se mjere prema kojima se svim otpadom mora gospodariti sukladno propisima, a ukoliko postoji procjena o veličinama znatno većih od standardnih obuhvaćenim propisima mogu se izreći posebni zahtjevi vezani za predmetni projekt.

Nakon detaljne procjene i uzimanja u obzir svih prethodno navedenih parametara potrebno je dati određene mjere kojima će se ublažiti odnosno maksimalno smanjiti potencijalni utjecaj zahvata na okoliš. Daju se zahtjevi za izvođenje te posebna ograničenja vezana za svaku stavku prethodno obrađenih rizika od utjecaja na okoliš. Sve mjere i procjene prihvatljivih količina i razina utjecaja na okoliš izvode se prema trenutno važećim zakonima o onečišćenju i utjecaju na okoliš. Nakon završetka izvođenja zahvata potrebno je sustavno pratiti stanje na terenu te bilježiti sve promjene ili odstupanja od predviđenih vrijednosti. Ukoliko se zabilježe različite vrijednosti od očekivanih potrebno je poduzeti adekvatne mjere kako bi se spriječili odnosno smanjili daljnji negativni utjecaji.

### 4.3. Uređenje nalazišta nakon završetka radova

Nalazište je nakon završetka korištenja potrebno što bolje uklopiti u okolni teren te ponovnim zatravnjenjem pokušati smanjiti utjecaj zahvata. Provodi se vraćanje sloja humusa, sadnja trave, bilja ili drveća prema zahtjevima elaborata zaštite okoliša. U slučajevima u kojima je to moguće iskorištena nalazišta se prenamjenjuju za razne uporabe poput rekreacije, uređenje ribnjaka formiranje parkova i sl. Primjer uređenja nalazišta nakon završetka eksploatacije prikazan je na Slici 20.



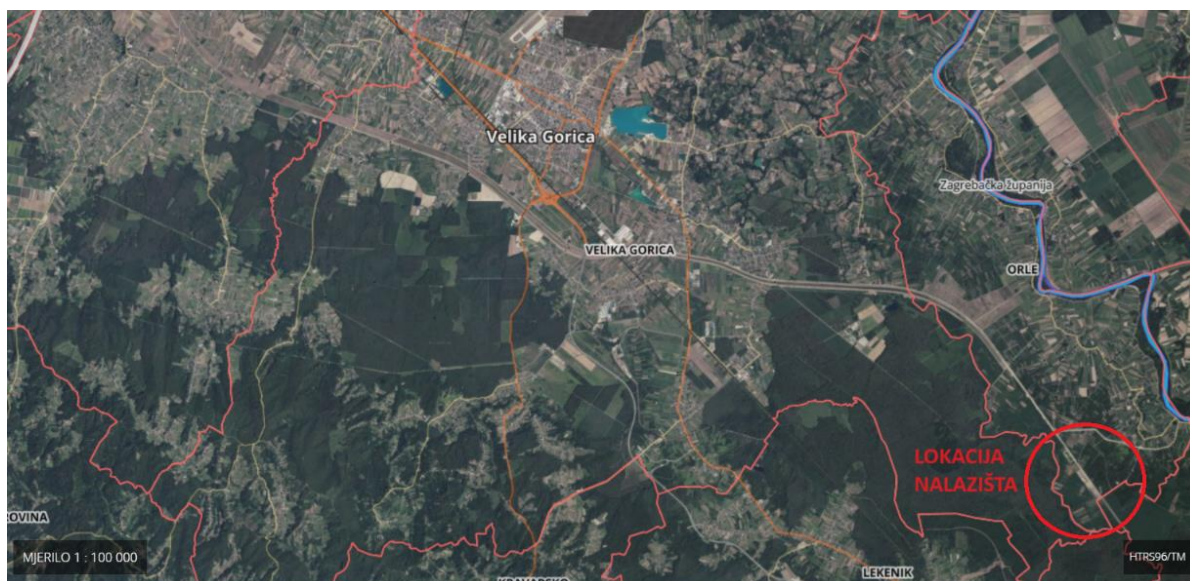
**Slika 20** Primjer plana uređenja nalazišta [22]

## 5. NALAZIŠTE MATERIJALA ZA IZGRADNJU NASIPA ODRA-SUŠA

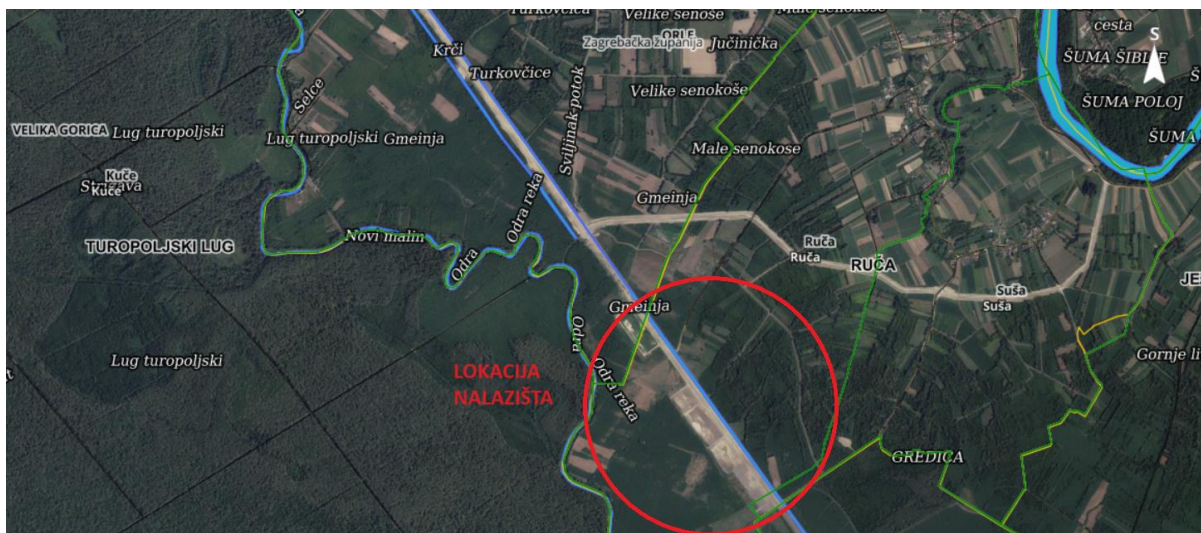
### 5.1. Opis lokacije

Za izgradnju nasipa Odra-Suša je korišten materijal sa lokalnog područja zahvata. Radi se o otkupljenom području koje je u vlasništvu Hrvatskih voda te je predviđeno za nastavak kanala Odra. Neposredna blizina nalazišta materijala izvođenju zahvata dodatno je omogućilo isplativost zahvata, smanjujući duljinu prijevoza materijala, izgradnju pristupnih cesta i cjelokupnog troška.

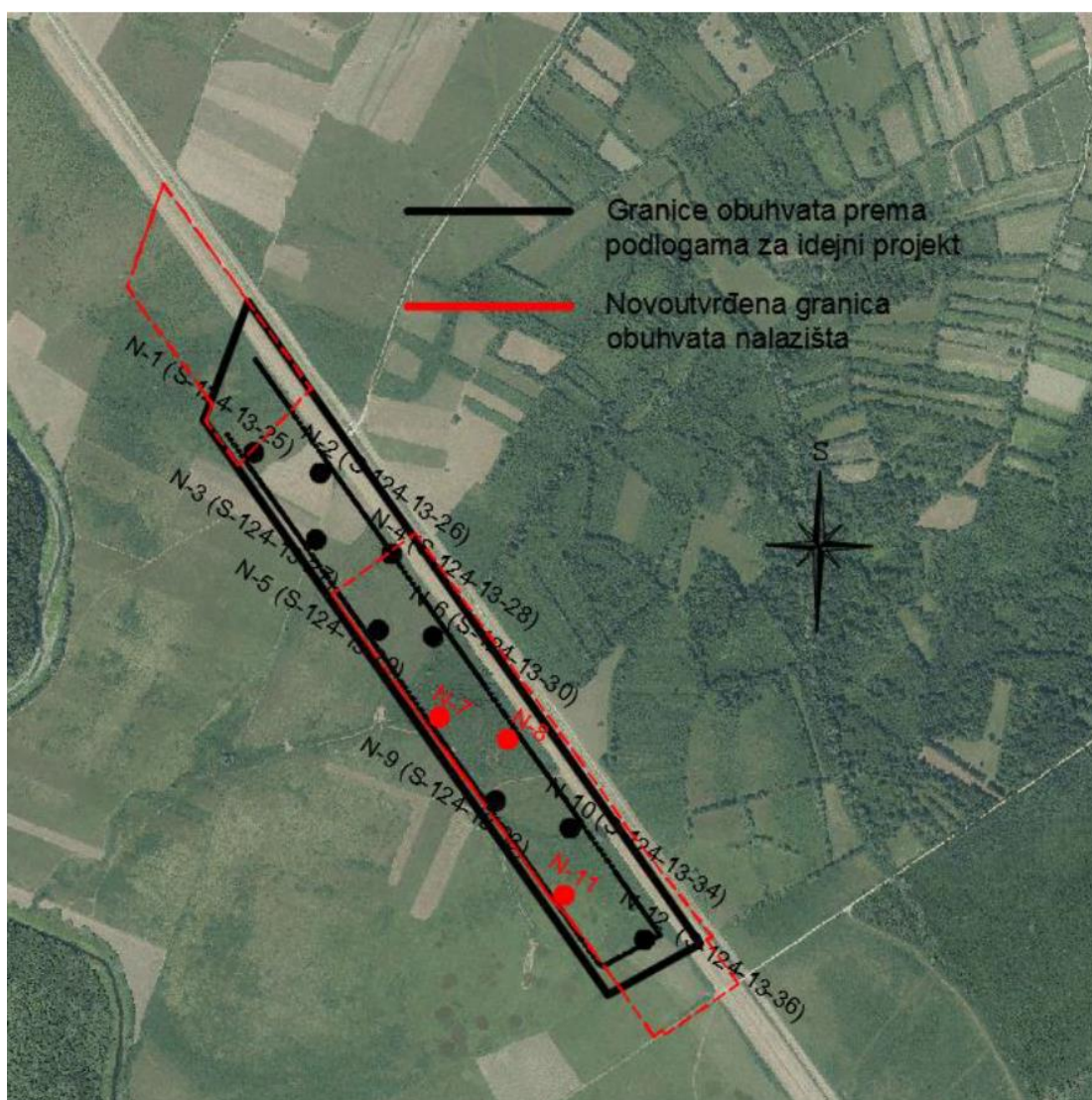
Označena lokacija nalazišta na prostornom planu prikazana je na slikama 21 i 22. Mikrolokacija nalazišta i pozicija istražnih jama prikazana je na slici 23. Zahvat se izvodi u katastarskim općinama Ruča i Veleševac, koje se nalaze u Zagrebačkoj županiji. Sveukupna površina nalazišta 266 593 m<sup>2</sup> [4].



Slika 21 Lokacija nalazišta materijala



Slika 22 Lokacija nalazišta u mjerilu 1:25 000



Slika 23 Mikrolokacija nalazišta izmijenjena u skladu sa izvedbenim projektom [3]



Za potrebe predmetnog projekta bilo je potrebno osigurati dodatne količine materijala. Potrebni materijal je predviđeno dobiti iz nalazišta materijala predviđenog projektom u skladu sa važećim zakonima te sukladno poglavlju „12 Geotehnički radovi“ iz OTU-a. Definiranjem zona iskopa, granica nalazišta, nagiba pokosa i dubine iskopa procijenjeno je da se iz odabranog nalazišta može dobiti 184 214 m<sup>3</sup> visokoplastične gline koja je nepogodna za ugradnju te će se ugrađivati u jezgru nasipa i 99 256 m<sup>3</sup> niskoplastične gline povoljnih svojstava od koje se izvodi tijelo nasipa. Zbog mogućih različitih rasporeda slojeva materijala postoji mogućnost odstupanja predviđenih količina te se u tom slučaju definirana mjesta dozvoljenog produbljenja odnosno proširenja nalazišta.

Područje nalazišta podijeljeno je na 3 zone (1, 2 i 3) na temelju istražnih radova i potrebnih količina materijala za izradu nasipa. Iskop se vrši u širokom iskopu s nagibima pokosa 1:3, do najveće dubine od 2.4 m u zoni 1. U zoni 2 i 3 najveće dubine iskopa iznose 2.33 i 2.58 m, prema odgovarajućim nacrtima [24]. Za potrebe izvođenja projekta izrađen je dodatni geotehnički elaborat od strane Centra Građevinskog Fakulteta d.o.o.[4]. Ovim elaboratom obuhvaćeni su istražni radovi za nasip i za nalazište materijala. Prilikom izrade geotehničkog elaborata provedeni su istražni radovi koji su navedeni u nastavku.

## 5.2. Prikaz provedenih istražnih radova i rezultata

Prilikom određivanja adekvatnosti zemljanih materijala za korištenje prilikom izgradnje nasipa potrebno je prethodno ispitati sve materijale iz nalazišta. Za potrebe ovog zahvata izrađen je geotehnički elaborat te su provedeni sljedeći istražni radovi:

- postavljanje lokacije bušotina
- geodetsko snimanje bušotina
- istražno bušenje
- klasifikacija jezgre
- uzorkovanje poremećenih i neporemećenih uzoraka
- SPT ispitivanje
- ispitivanje džepnim penetrometrom
- praćenje razine podzemne vode
- iskop istražnih jama
- kontinuirani geološki nadzor istražnih radova
- laboratorijsko ispitivanje uzoraka tla
- izrada geotehničkog elaborata na temelju dobivenih i ispitanih parametara

Za potrebe predmetnog zahvata proveden je iskop 9 istražnih jama na lokaciji nalazišta [3]. Jame su izvedene dubine 3,0 do 3,4 m. Lokacija istražnih jama je prikazana na Slici 23.

Na uzorcima dobivenih iz 9 istražnih jama, provedena je klasifikacija materijala te uzimanje malih poremećenih uzoraka za klasifikacijska ispitivanja i velikih poremećenih uzoraka (cca 30-40 kg) za standardni Proctorov pokus.

Prema istražnim radovima dobiveni su sljedeći rezultati [24]:

Na reprezentativnim poremećenim i neporemećenim uzorcima tla izvršena su sljedeća ispitivanja: određivanje sadržaja prirodne vode (vlažnosti), određivanje ukupne gustoće mase (zapreminska težina), određivanje gustoće mase čestica (specifična težina), određivanje granica konzistentnih stanja (Atterbergove granice), granulometrijska analiza, određivanje sadržaja organske materije, jednoosno tlačno ispitivanje s praćenjem deformacija, konsolidirano ispitivanje izravnim posmikom, edometarsko ispitivanje stišljivosti, ispitivanje zbijenosti (standardni Proctor) i određivanje koeficijenta propusnosti (hidrauličke provodljivosti) uz promjenjiv hidraulički gradijent u edometru.

U skladu s provedenim istražnim radovima utvrđeno je da se tlo na predmetnoj lokaciji sastoji od sljedećih grupa materijala razvrstanih po dubini pojavljivanja: glina visoke plastičnosti, glina niske do srednje plastičnosti i pijesak.

**Glina visoke plastičnosti, CH** – glina je visoke plastičnosti, smeđe do žutosmeđe boje u gornjem dijelu terena, s dubinom prelazi i sivosmeđu i sivu boju. Mjestimice sadrži kongrecije željeznih oksida i sitne vapnenačke kongrecije. Ove gline su registrirane u svim istražnim jamama, najpliće do 1.2 m u jami N-12, a najdublje >3.0 m u jami N-3. Temeljem laboratorijskih ispitivanja dobivene su vrijednosti prirodne vlažnosti  $w_0=30-98\%$  (prosječna vrijednost 47%), granice tečenja  $w_L=51-165\%$  (prosječna vrijednost 88%), indeksa plastičnosti  $IP=31-92\%$  (prosj. 56%).

**Glina niske do srednje plastičnosti, CL, CI** – ispod gline visoke plastičnosti nalazi se glina niske do srednje plastičnosti, vrlo malo i visoke plastičnosti, mjestimice pjeskovita pri dnu. Registrirana je u svim jamama, izuzev jame N-3, s tim da je registrirana najpliće na dubini 1.2 m u jami N-12, a najdublje na 2.4 m u jami N-1. S iskopom se završilo u ovim glinama, izuzev u jamama N-5, N-6 i N-9 gdje je ispod njih registriran pijesak. Temeljem laboratorijskih ispitivanja dobivene su vrijednosti prirodne vlažnosti  $w_0=25-35\%$  (prosječna vrijednost 30%), granice tečenja  $w_L=26-56\%$  (prosječna vrijednost 39%), indeksa plastičnosti  $IP=6.5-28\%$  (prosječna vrijednost 18%).

**Pijesak, SC** – pijesak je sitan, zaglinjen, sivosmeđe boje. Registriran je samo u jamama N-5, N-6 i N-10, najpliće na 2.3 m u jami N-5, a najdublje na 3.1 m u jami N-6. U navedenim jamama se s iskopom završilo u pijesku. Temeljem laboratorijskih ispitivanja dobiven je granulometrijski sastav tla, pri čemu ono sadrži 0-0.5% šljunka, 72-75% pijeska, 21-22% praha i 4-7% gline.

Osim navedenih materija, u jami N-5 je od dubine 2.5 m do dna iskopa registriran pjeskoviti šljunak, dok je u jami N-3 od dubine 2.5 m do dna iskopa registrirana organska glina i treset crne boje.

Tablica 7 Slojevi materijala dobiveni iz istražnih jama [24]

GRUPA MATERIJALA	VRSTA MATERIJALA	OZNAKA MATERIJALA	OPIS MATERIJALA
1	HUMUS	-	Humus je površinski sloj debljine cca 30 cm
2	GLINA VISOKE PLASTIČNOSTI	CH	Glina je visoke plastičnosti, smeđe do žutosmeđe boje u gornjem dijelu terena, sa dubinom prelazi i sivosmeđu i sivu boju. Mjestimice sadrži konkrecije željeznih oksida i sitne vapnenačke konkrecije. Ove gline su registrirane u svim istražnim jamama, najpliće do 1.2 m u jami N-12, a najdublje >3.0 m u jami N-3 LABORATORIJSKA ISPITIVANJA $w_0=30-98\%$ (prosj. 47%), $w_L=51-165\%$ (prosj. 88%), $I_p=31-92\%$ (prosj. 56%) NAPOMENA: u jami N-3 je od dubine 2.5 m do dna iskopa registrirana organska glina i treset crne boje
3	GLINA NISKE DO SREDNJE PLASTIČNOSTI	CL,CI	Ispod gline visoke plastičnosti nalazi se glina niske do srednje plastičnosti, vrlo malo i visoke plastičnosti, mjestimice pjeskovita pri dnu. Registrirana je u svim jamama, izuzev jame N-3, s tim da je registrirana najpliće na dubini 1.2 m u jami N-12, a najdublje na 2.4 m u jami N-1. S iskopom se završilo u ovim glinama, izuzev u jamam N-5, N-6 i N-9 gdje je ispod njih registriran pijesak. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA $w_0=25-35\%$ (prosj. 30%), $w_L=26-56\%$ (prosj. 39%), $I_p=6,5-28\%$ (prosj. 18%)
4	PIJESAK	SC	Pijesak je sitan, zaglinjen, sivosmeđe boje. Registriran je samo u jamama N-5, N-6 i N-10, najpliće na 2.3 m u jami N-5, a najdublje na 3.1 m u jami N-6. U navedenim jamam se s iskopom završilo u pijesku. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA granulometrijski sastav - G = 0 – 0,5% - S = 72 – 75% - M = 21 – 22% - C = 4 – 7% NAPOMENA: u jami N-5 je od dubine 2.5 m do dna iskopa registriran pjeskoviti šljunak.

Prema Tablici 7 materijali nalazišta su podijeljeni u grupe od 1-4, u Tablici 8 su prikazane zastupljenosti pojedinog materijala po dubinama za sve bušotine.

**Tablica 8** Dubine slojeva materijala dobivenih iz istražnih jama [24]

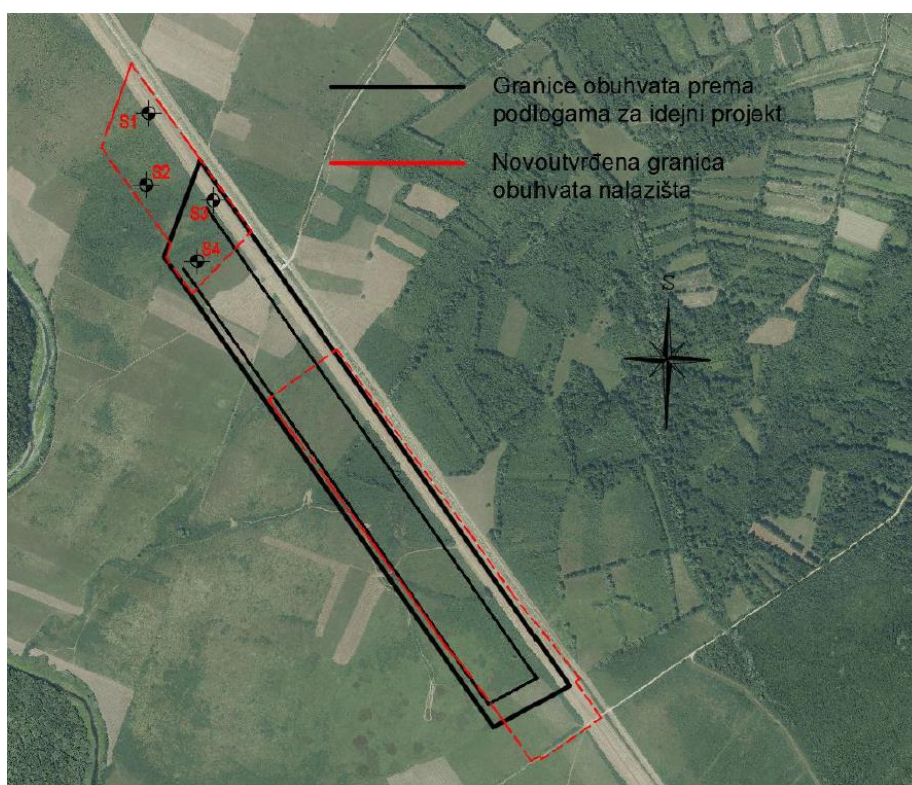
OZNAKA JAME	GRUPA MATERIJALA 1 interval od - do (m)	GRUPA MATERIJALA 2 interval od - do (m)	GRUPA MATERIJALA 3 interval od - do (m)	GRUPA MATERIJALA 4 interval od - do (m)
N-1(S-124-13-25)	0.0 - 0.3	0.3 - 2.4	2.4 - 3.0	-
N-2(S-124-13-26)	0.0 - 0.3	0.3 - 1.8	1.8 - 3.0	-
N-3(S-124-13-27)	0.0 - 0.3	0.3 - 3.0	-	-
N-4(S-124-13-28)	0.0 - 0.3	0.3 - 2.2	2.2 - 3.0 (dno iskopa)	-
N-5(S-124-13-29)	0.0 - 0.3	0.3 - 1.8	1.8 - 2.3	2.3 - 3.0 (dno iskopa)
N-6(S-124-13-30)	0.0 - 0.3	0.3 - 2.2	2.2 - 3.1	3.1 - 3.4 (dno iskopa)
N-9(S-124-13-33)	0.0 - 0.3	0.3 - 1.7	1.7 - 3.2	-
N-10(S-124-13-34)	0.0 - 0.3	0.3 - 1.8	1.8 - 2.5	2.5-3.0 - (dno iskopa)
N-12(S-124-13-36)	0.0 - 0.3	0.3 - 1.2	1.2 - 3.0 (dno iskopa)	-

Naknadnom promjenom granica obuhvata nalazišta, istražne jame N-1, N-2 i N-3 nalaze se izvan područja nalazišta materijala. U sklopu izvedbenog projekta pristupilo se izradi geotehničkog elaborata za navedeni projekt. Provedeni su dodatni terenski istražni radovi koji su se sastojali od istražnih bušotina na 4 pozicije. Bušotine su izvedene s kontinuiranim jezgrovanjem, identifikacijom, opisom jezgre i mjerenja razine podzemne vode. Istražne bušotine izvodile su se do dubine od 5 m. Pozicije bušotina u situaciji na terenu i označene koordinatama prikazane su na Slici 24 i Tablici 9.

Dodatni istražni radovi provedeni su od strane Građevinskog Fakulteta u Zagrebu te je za njih izrađen dodatni geotehnički elaborat pod nazivom: „Dodatni geotehnički istražni radovi i izvedbeni projekt eksploatacije nalazišta materijala za izradu glavnog projekta izgradnje transversalnog nasipa od OK Odra do savskog nasipa kod sela Suša, 7 km“ ,GEL-12/2018, Centar Građevinskog Fakulteta d.o.o., Sveti Duh 129, 10000 Zagreb, Studeni 2018.

**Tablica 9** Pozicije, datum i dubina ispitivanja bušotina

Oznaka bušotine	Koordinate pozicije ispitivanja			Dubina ispitivanja (m)
	E	N	Z	
S1	481070.10	5054111.70	97.43	5.0
S2	481064.23	5053949.90	97.00	5.0
S3	481215.86	56053914.9	97.18	5.0
S4	481179.43	5053777.85	97.33	5.0



**Slika 24** Lokacija provedenih istražnih bušotina [24]

U laboratoriju su provedena ispitivanja:

- određivanje granulometrijskog sastava tla
- određivanje dijagrama plastičnosti
- određivanje granice konzistencije
- edometarski pokus
- izravni posmik

U nastavku su tablično prikazani rezultati dodatnih istražnih radova:

**Tablica 10** Rezultati dodatnih istražnih radova [24]

SONDA	DUBINA	w <sub>0</sub>	w <sub>L</sub>	w <sub>p</sub>	I <sub>p</sub>	I <sub>c</sub>	Granulometrijski sastav			SIMBOL
							63-2mm	2-0,063mm	<0,063mm	
							%	%	%	
<b>S1</b>	1,00-1,30	20,83	43,20	20,49	22,71	0,95	1,07	6,75	92,18	<b>CL</b>
	3,70-4,00	15,63					45,53	35,98	20,49	<b>GC</b>
<b>S2</b>	1,40-1,70	34,95	80,72	39,33	41,39	1,11	0,23	2,29	97,48	<b>MH</b>
	2,70-3,00	20,99	29,65	18,71	9,94	0,87	0,28	36,95	62,77	<b>CL</b>
	4,00-4,30	43,46	119,17	42,15	77,02	0,98	0,00	2,13	97,87	<b>CH</b>
<b>S3</b>	1,70-2,00	37,23	73,49	26,99	46,50	0,78	0,24	3,09	96,67	<b>CH</b>
	4,70-5,00	29,32	38,80	23,01	15,79	0,60	0,53	4,68	94,79	<b>CL</b>
<b>S4</b>	1,70-2,00	17,97	51,33	24,53	26,80	1,25	1,64	14,00	84,36	<b>CH</b>
	2,70-3,00	17,32	27,37	20,13	7,24	1,39	0,70	37,36	61,94	<b>CL</b>
	4,70-5,00	25,37	50,19	27,98	22,22	1,12	0,03	2,88	97,09	<b>CH</b>

**Tablica 11** Uslojenost na području dodatnih istražnih radova [24]

OZNAKA JAME	MH-prah visoke plastičnosti interval od – do (m)	CL – glina niske plastičnosti interval od – do (m)	CH – glina visoke plastičnosti interval od – do (m)	GC – glinoviti šljunak interval od – do (m)
S1	-	0,0 – 2,4	-	2,4 – 5,0
S2	0,0 – 1,8	1,8 – 3,3	3,3 – 5,0	-
S3	-	2,0 – 5,0	0,0 – 2,0	-
S4	-	2,0 – 3,3	0,0 – 2,0 3,3 – 5,0	0,3 – 2,2

Provedenim dodatnim istražnim radovima dobiveni su sljedeći rezultati koji su preuzeti iz geotehničkog elaborata izrađenog za potrebe dodatnih istražnih radova [4]:

Na području oko bušotine S1 do dubine cca 2.5 m nalazi se glina niske plastičnosti, teško gnječivog konzistentnog stanja, smeđe do tamno smeđe boje, s udjelom šljunka cca 1%, pijeska cca 7% i koherentnih čestica cca 92%. Nastavlja se, do dubine istražne bušotine od 5 m, sloj glinovitog šljunka, slabo graduiranog, rahlog do srednje zbijenog, smeđe boje, s udjelom šljunka cca 44%, pijeska cca 36% i koherentnih čestica cca 20%.

Na području oko bušotina S2 i S4 do dubine cca 2 m nalazi se sloj koherentnog materijala čvrstog konzistentnog stanja, smeđe do tamno smeđe boje. Oko bušotine S2 se nalazi prah visoke plastičnosti, s udjelom pijeska cca 2%, koherentnih čestica cca 98% te zanemarivim udjelom šljunka, a oko bušotine S4 se nalazi glina visoke plastičnosti, s udjelom šljunka do 2%, pijeska cca 14% i koherentnih čestica cca 84%. Nastavlja se, do dubine cca 3.5 m sloj gline niske plastičnosti, teško gnječivog do čvrstog konzistentnog stanja, žutosmeđe boje, s udjelom šljunka do 1%, pijeska cca 37% i koherentnih čestica od 62 do 63%. Do dubine istražne bušotine, 5 m, nastavlja se sloj gline visoke plastičnosti, teško gnječivog do čvrstog konzistentnog stanja, sive boje, s udjelom pijeska od 2 do 3%, koherentnih čestica 97 do 98% te zanemarivim udjelom šljunka.

Na području oko bušotine S3 do dubine cca 2 m nalazi se glina visoke plastičnosti, teško gnječivog do polučvrstog konzistentnog stanja, smeđe boje, s udjelom pijeska cca 3%, koherentnih čestica cca 97% te zanemarivim udjelom šljunka. Nastavlja se, do dubine istražne bušotine od 5 m, sloj gline niske plastičnosti, lako do teško gnječivog konzistentnog stanja, sivosmeđe do smeđe boje, s udjelom pijeska cca 5%, koherentnih čestica cca 95% te zanemarivim udjelom šljunka.

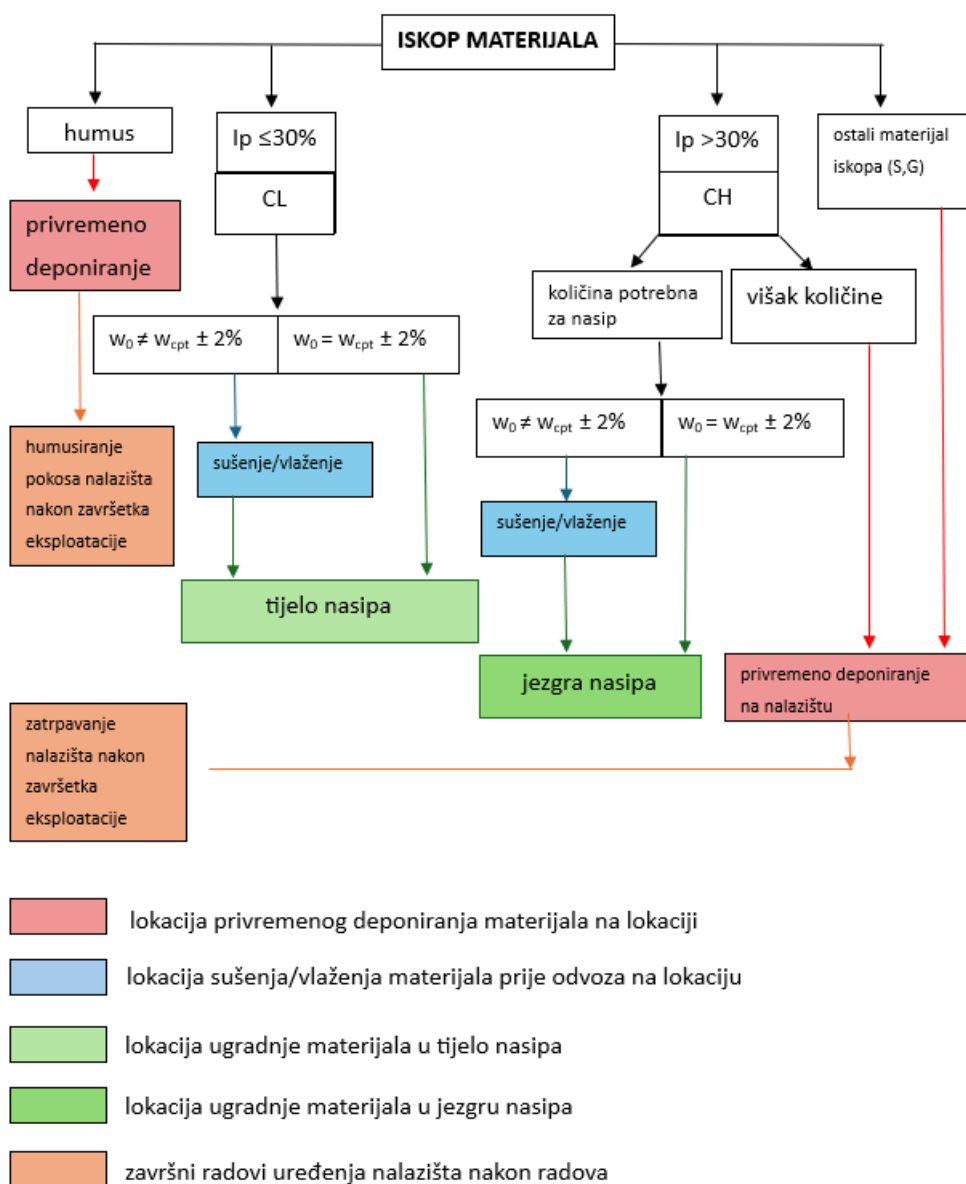


Laboratorijskim ispitivanjima na uzorcima tla sa nalazišta materijala, na cijelom području, vrijednost kohezije u gornjem sloju gline visoke plastičnosti je 9 kPa, kuta unutarnjeg trenja 19°, a modula stišljivosti 6 MPa. U glini visoke plastičnosti dobivena je kohezija od 12 kPa, kut unutarnjeg trenja 21°, a modul stišljivosti 3.5 MPa. U sloju praha visoke plastičnosti kohezija iznosi 11 kPa, kut unutarnjeg trenja 19°, a modul stišljivosti 7 MPa.

U srednjem sloju, na području bušotina S2 i S4, laboratorijskim ispitivanjima na uzorcima gline niske plastičnosti, dobivena je vrijednost kohezije 8 kPa, kuta unutarnjeg trenja 31°, a modula stišljivosti 3 MPa. U zadnjem sloju, na istom području, vrijednost kohezije je 9 kPa, kuta unutarnjeg trenja 19°, a modula stišljivosti 2.5 MPa.

Provođenjem istražnih radova duž trase na kojoj se izvodi predmetni nasip te na lokaciji nalazišta materijala rezultati istraživanja ukazuju na prisutnost glinenih tala u tijelu postojećeg nasipa i u gornjem dijelu terena na navedenoj lokaciji. Prema kriteriju indeksa plastičnosti definiranom u Općim tehničkim uvjetima (OTU) za radove u vodogradnji utvrđeno je da ova glinena tla nisu prikladna za ugradnju.

Nakon analize rezultata ispitivanja geotehničkih svojstava tla dobivenih iz nalazišta materijala te uzimanja u obzir ekonomskih faktora je odlučeno da će se prilikom projektiranja i izvođenja za izgradnju nasipa ipak koristiti materijal iz predmetnog nalazišta uz uvjet primjene dodatnih mjera osiguranja stabilnosti. Projektom je dozvoljena uporaba materijala sa  $IP > 30\%$  za ugradnju u jezgru nasipa, u vanjske slojeve kojima se oblaže i zaštićuje nepovoljni materijal jezgre ugrađuje se glina pogodna za ugradnju sa  $IP < 30\%$  uz dodatno ojačanje zone uz površinu geomrežama kako bi se spriječilo nastajanje plitkih kliznih ploha na stranicama nasipa. U nastavku u Slici 25 je prikazana procedura postupanja sa materijalima iz nalazišta.



Slika 25 Procedura postupanja s pojedinim materijalima [24]

Istraživanju i procjeni utjecaja nasipa, cjelokupnog zahvata te promjene vodotoka posvećeno je puno veća količina vremena i resursa za razliku od istraživanja utjecaja nalazišta na lokalni i regionalni ekosustav. U predmetnom projektu izvedbe nasipa Odra-Suša izrađen je Elaborat zaštite okoliša od strane IGH [25] (zavod za hidrotehniku i ekologiju) dok za istraživanje utjecaja nalazišta materijala nije proveden zaseban elaborat.

Unatoč na prvi pogled manjoj orijentiranosti na utjecaje nalazišta ne smije se zanemariti potencijalni negativan utjecaj nepravilno pozicioniranih i zaštićenih nalazišta nakon završetka korištenja na lokalni ekosustav.

### 5.3. Analiza količina materijala za iskop

Kao podloga za dobivanje dostupnih količina materijala iz predviđenih gabarita nalazišta formiran je 3D model (prikazan na slikama 26, 27 i 28) pomoću kojeg su dobivene ukupne količine niskoplastične i visokoplastične gline. Za formiranje 3D modela i izračunavanje dostupnih količina iz nalazišta korištena je 3D značajka računalnog programa AutoCad koja omogućava rad u trodimenzionalnom prostoru.

**Tablica 12** Tablica količina iskopa po zonama

Materijal	Zona 1 [m <sup>3</sup> ]	Zona 2 [m <sup>3</sup> ]	Zona 3 [m <sup>3</sup> ]	Ukupno [m <sup>3</sup> ]	Potrebno [m <sup>3</sup> ]
CH	57 698	39 573	113 487	210 758	150 370
CL	29 065	7 972	72 707	109 744	95 238

Dostupne količine materijala iz nalazišta prema geometriji i dubinama iskopa iznose ukupno 210 758 m<sup>3</sup> visokoplastične gline nepovoljnijeg materijala koji će se ugrađivati u jezgru nasipa i oko 109 744 m<sup>3</sup> niskoplastične gline pogodnog materijala od kojeg će se izraditi tijelo nasipa. Zbog nemogućnosti preciznog predviđanja rasporeda slojeva tla moguće je da će prilikom iskopa doći do odstupanja količina pojedinih materijala pa je u tu svrhu predviđeno eventualno dodatno proširenje iskopa ukoliko bude potrebno pribaviti dodatne količine materijala.

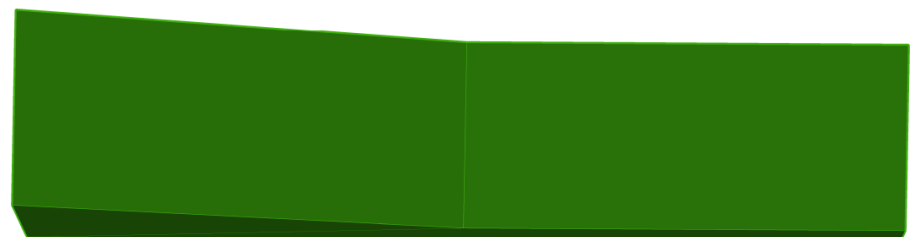
Ukupne potrebne količine dobivene iz projekta izgradnje transversalnog nasipa od oteretnog kanala Odra do savskog nasipa kod sela Suša su 150 370 m<sup>3</sup> visokoplastične gline i 95 238 m<sup>3</sup> niskoplastične gline što je 60 388 m<sup>3</sup> više od potrebnih količina visokoplastične gline i 14 508 m<sup>3</sup> više od potrebne niskoplastične gline. Višak iskopanog materijala se prema projektu vraća naknadno u nalazište. Dubine i pozicija eventualnog proširenja iskopa u slučaju nedovoljnih količina niskoplastične gline predviđene su projektom.

Prikaz trodimenzionalnih modela slojeva materijala u nalazištu:

Visokoplastična glina



Niskoplastična glina



**Slika 26** 3D prikaz slojeva iskopa nalazišta u zoni 1

Visokoplastična glina



Niskoplastična glina



**Slika 27** 3D prikaz slojeva iskopa nalazišta u zoni 2

Visokoplastična glina



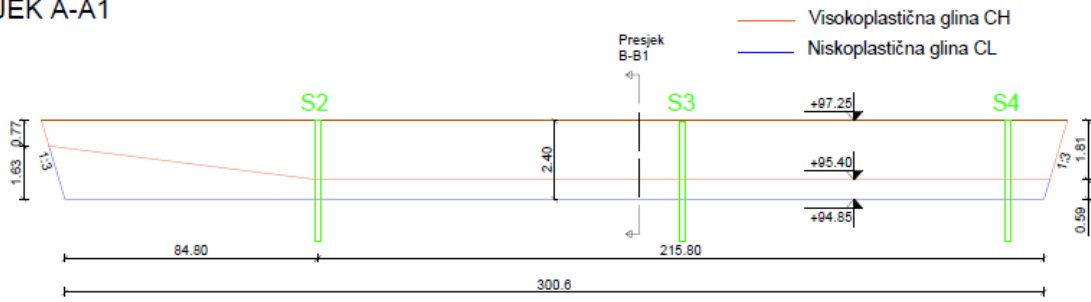
Niskoplastična glina



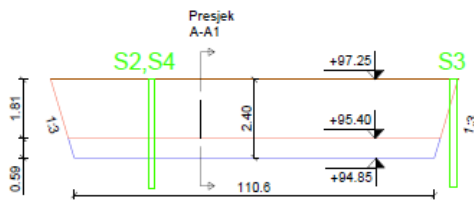
**Slika 28** 3D prikaz slojeva iskopa nalazišta u zoni 3

Zona 1

PRESJEK A-A1



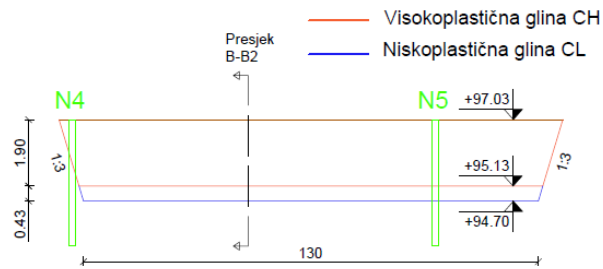
PRESJEK B-B1



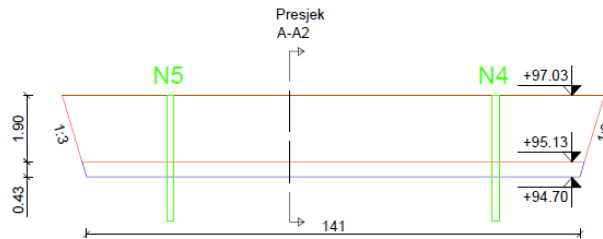
Slika 29 Uzdužni i poprečni presjek iskopa u zoni 1

## Zona 2

### PRESJEK A-A2



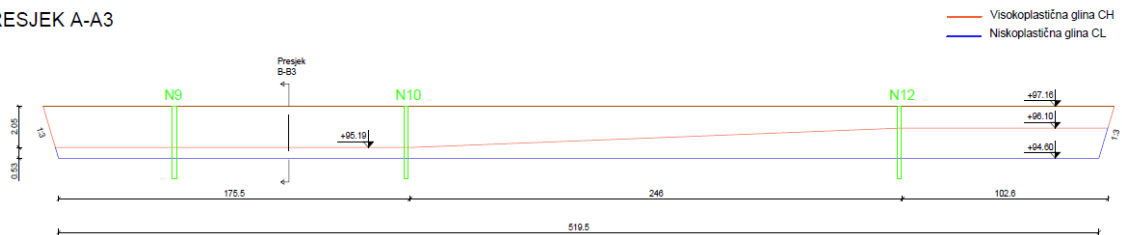
### PRESJEK B-B2



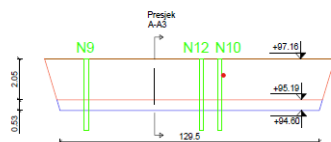
**Slika 30** Uzdužni i poprečni presjek iskopa u zoni 2

## Zona 3

### PRESJEK A-A3



### PRESJEK B-B3



**Slika 31** Uzdužni i poprečni presjek iskopa u zoni 3

**NAPOMENA:** U 3D modelima, uzdužnim i poprečnim presjecima su zbog preglednosti i horizontalne udaljenosti umanjene i ucrtane u mjerilu 1:10.

#### 5.4. Numeričke analize stabilnosti

Kako bi se analizirala stabilnost nalazišta tokom i nakon završetka iskopa kreiran je model predmetnog nalazišta u računalnom programu GeoStudio. Proveden je niz analiza stabilnosti različitih proračunskih situacija kako bi se kroz model procijenila stabilnost cjelokupnog zahvata nalazišta. Stabilnost se procjenjuje na temelju Faktora sigurnosti kritične klizne plohe. Ukoliko je proračunom dobiveni Faktor sigurnosti veći od 1 smatra se da je predloženi model stabilan te da nije potrebno provoditi dodatne mjere.

Prilikom proračuna stabilnosti i provođenja navedenih analiza nalazišta materijala korišten je proračunski pristup 3 iz Eurokoda 7. Prema proračunskom pristupu 3 parcijalni koeficijenti unose se na ulazu u proračunski model, analiza nosivosti se ograničava na jedan proračun odnosno granično stanje.

U računalni program GeoStudio su unesene karakteristične vrijednosti (navedene u nastavku), koje su zatim faktorizirane koeficijentima za PP3. Karakteristične vrijednosti parametara materijala dobivene su iz geotehničkog elaborata te su uzete srednje vrijednosti za pojedine slojeve dobivene iz različitih bušotina. Prilikom analize stabilnosti postavljeno je dodatno opterećenje na vrhu pokosa u iznosu od 25 kPa, koje simulira mehanizaciju tijekom eksploatacije nalazišta. Stabilnost pokosa analizirana je u različitim proračunskim situacijama navedenim u tablici 13.

**Tablica 13** Proračunske situacije za provjeru stabilnosti [24]

Stanje	Proračunska situacija	
Tijekom iskopa	Statička + promet	Bez podzemne vode
		Razina podzemne vode na 95.5 m.n.m., uz crpljenje vode iz jame
Nakon završetka radova eksploatacije	Statička + promet	Razina podzemne vode na 95.5 m.n.m., bez crpljenja
		Razina podzemne vode do vrha pokosa, bez crpljenja
	Dinamička (95 god. PP)	Razina podzemne vode na 95.5 m.n.m., bez crpljenja



### 5.4.1. Seizmički koeficijenti

Proračunsku horizontalnu akceleraciju tla dobiva se iz seizmičke karte Hrvatske. Uzet je u obzir povratni period od 95 godina koji je predviđen projektom za proračunsku situaciju.



**Slika 32** Karta potresnog područja lokacije nalazišta [26]

Odabir odgovarajuće klase tla provodi se prema preporučenim tablicama iz Eurokoda 8 [27]. Prema Tablici 14 tlo promatranog područja spada u kategoriju D.

**Tablica 14** Kategorije tla prema EC 8 [27]

EC 8 Tip tla	Litološka obilježja presjeka	Parametri		
		$V_{s,30}$ (m/s)	$N_{SPT}$ (br.udaraca/30 cm)	$C_u$ (kPa)
<b>A</b>	Stijena ili stjenovita masa, uključujući manje od 5 m trošnog materijala na površini	< 800	-	-
<b>B</b>	Naslage gusto zbijenog pijeska, šljunka ili čvrstih glina, debele najmanje nekoliko desetaka mehaničkih karakteristika sa dubinom	360-800	> 50	> 250
<b>C</b>	Debele naslage rahlo zbijenih do srednje zbijenih pijesaka, šljunaka i polučvrstih glina, debljine od nekoliko desetaka do nekoliko stotina metara	180-360	15-50	70-250
<b>D</b>	Naslage vrlo rahlo do srednje zbijenih tala (sa ponekim lako gnječivim koherentnim slojem, ili gnječivog koherentnog tla	< 180	< 15	< 70
<b>E</b>	Tip E sastoji se od površinski aluvijalnog sloja sa $V_{s,30}$ vrijednostima klase C ili D i debljine koja se kreće od 5 do 20 metara, sa $V_{s,30} > 800$ m/s	-	-	-
<b>S<sub>1</sub></b>	Naslage koje se sastoje od najmanje 10 m debelih slojeva lakognječive gline / praha sa indeksom plastičnosti ( $PI > 40$ ) i visokim sadržajem vode	<100	-	10-20
<b>S<sub>2</sub></b>	Naslage tala sklonih likvefakciji, glina osjetljivih na poremećaje, ili druge kategorije tla koje nisu uključene u kategorije A-E	-	-	-

**Tablica 15** Vrijednosti parametara elastičnog spektra odziva EC 8 [27]

Tip tla	S	T <sub>B</sub> (s)	T <sub>C</sub> (s)	T <sub>D</sub> (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,2	0,6	2,0
D	1,35	0,2	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

Prema tablici 15 za predmetno tlo kategorije D parametar S je vrijednosti 1,35 , koeficijent ponašanja tla uzet je  $r = 2$ .

$$\alpha = a_{hg} / g = 0,067$$

$$S = 1,35$$

$$r = 2$$

$$k_h = \alpha S/r = 0,067 * 1,35 / 2 = 0,045675$$

$$k_v = 0,33 k_h = 0,33 * 0,045675 = 0,01507275$$

Dobivene vrijednosti horizontalnog i vertikalnog seizmičkog koeficijenta koriste se za daljnje proračune u programu GeoStudio.

#### 5.4.2. Karakteristične vrijednosti parametara materijala

Karakteristične vrijednosti parametara materijala zbog jednostavnijeg proračuna dobivene su kao srednje vrijednosti rezultata ispitivanja uzoraka iz bušotina.

Visokoplastična glina CH

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

$$c = 12 \text{ kPa}$$

$$\phi = 21^\circ$$

$$c_u = 90 \text{ kPa}$$

Niskoplastična glina CL

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

$$c = 9 \text{ kPa}$$

$$\phi = 19^\circ$$

$$c_u = 75 \text{ kPa}$$

Nedrenirana čvrstoća je izračunata pomoću sljedećeg izraza:

$$C_u = 0,5 \times q_u$$

$q_u$  – jednoosna tlačna čvrstoća

#### 5.4.4. Računalne analize

Računalne analize provedene u računalnom programu GeoStudio 2018 (GEO-SLOPE International Ltd., Calgary, Alberta, Canada) metodom granične ravnoteže proračunavaju stabilnost modela tla. Tlo je podijeljeno na prethodno određene klizne plohe. Svaka od kliznih ploha je podijeljena na lamele u kojima se na osnovici proračunava veličina efektivne posmične čvrstoće i efektivnog posmičnog naprezanja. Ukupan zbroj vrijednosti na svim lamelama daje ukupnu posmičnu čvrstoću ( $\tau_f$ ) i ukupno posmično naprezanje duž cijele klizne plohe ( $\tau$ ).

Stabilnost predefiniраниh kliznih ploha izražava se preko faktora sigurnosti ( $F_s$ ):

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau}$$

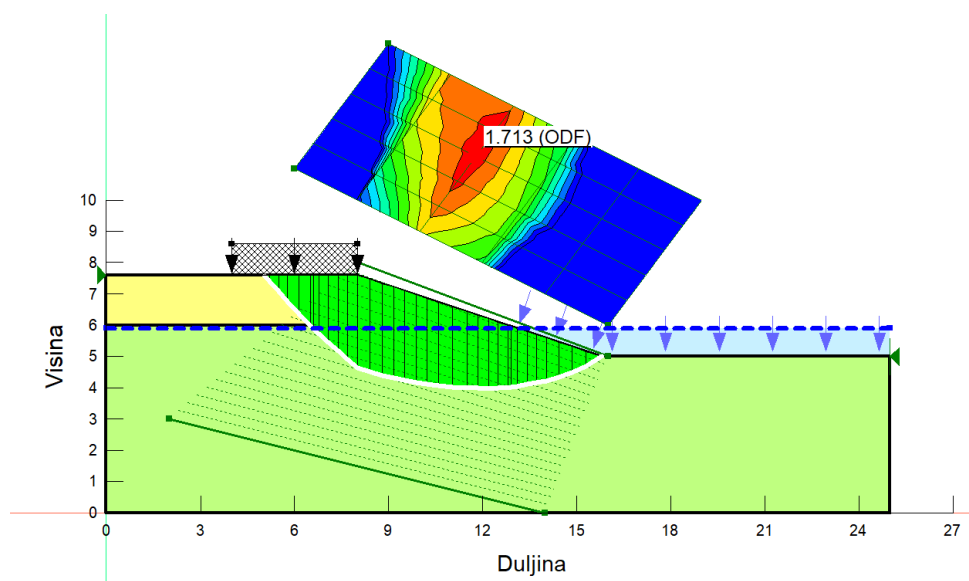
Klizna ploha sa najmanjim faktorom sigurnosti predstavlja kritičnu kliznu plohu te predstavlja relevantan rezultat (ne)zadovoljavanja stabilnosti. Pri čemu je faktor  $F_s < 1$  ocijenjen kao nestabilno stanje dok je  $F_s > 1$  ocijenjen kao stabilno stanje modela.

Svi proračuni potrebni za određivanje stabilnosti predmetnog nalazišta materijala provedeni su modulom **SLOPE/W** računalnog programa GeoStudio.

#### 5.4.3. Rezultati računalnih analiza

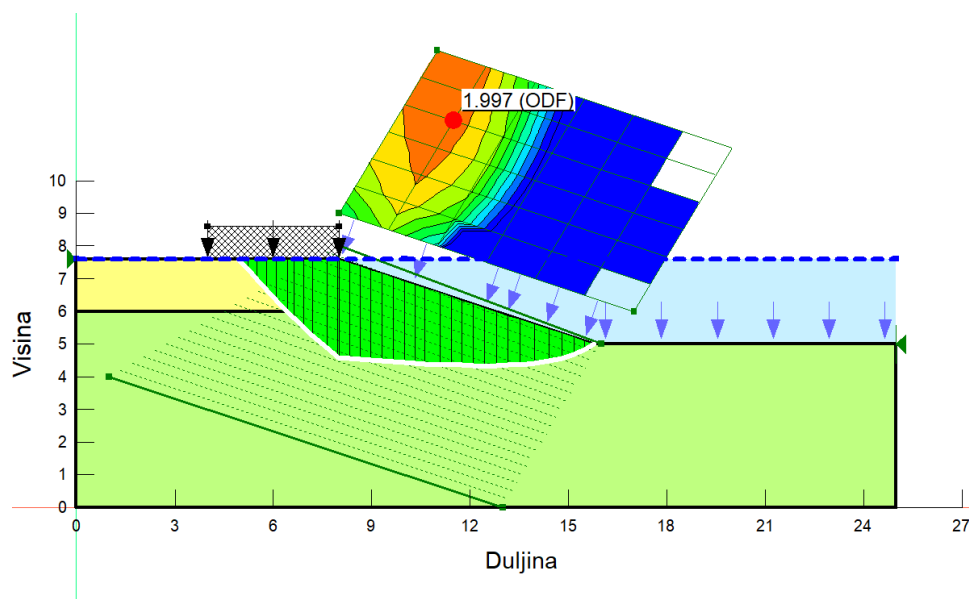
Prilikom određivanja kritičnih kliznih ploha korištene su metode „Entry and exit“ i „Grid and radius“. Kod prikaza rezultata navedeni su rezultati one metode kojom je za određenu proračunsku situaciju dobiven niži faktor sigurnosti. Faktori sigurnosti kritičnih kliznih ploha za sve proračunske prikazani su u Tablici 16.

1. Proračunska situacija ( statička + promet, razina podzemne vode 95,5 m.n.v. bez crpljenja)



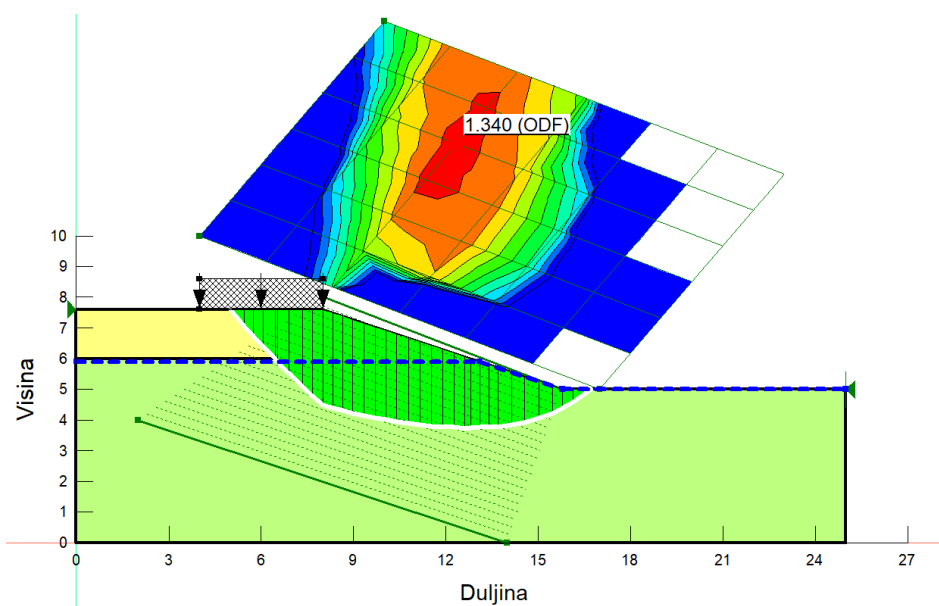
**Slika 33** Faktor sigurnosti 1. proračunska situacija

2. Proračunska situacija ( statička + promet, razina podzemne vode 97,2 m.n.v. bez crpljenja)



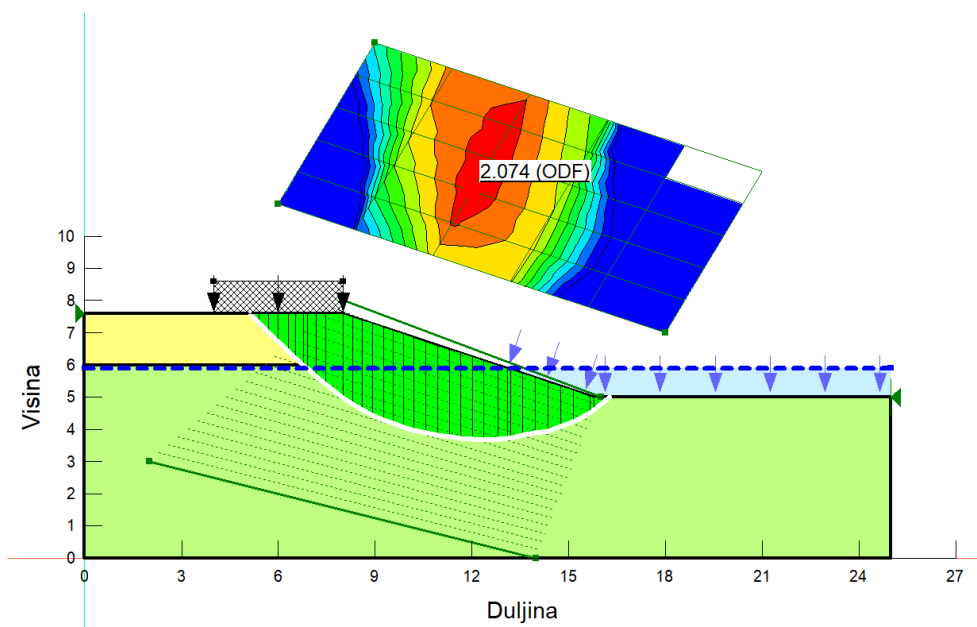
**Slika 34** Faktor sigurnosti 2. proračunska situacija

3. Proračunska situacija (statička + promet, razina podzemne vode 94,6 m.n.v.)



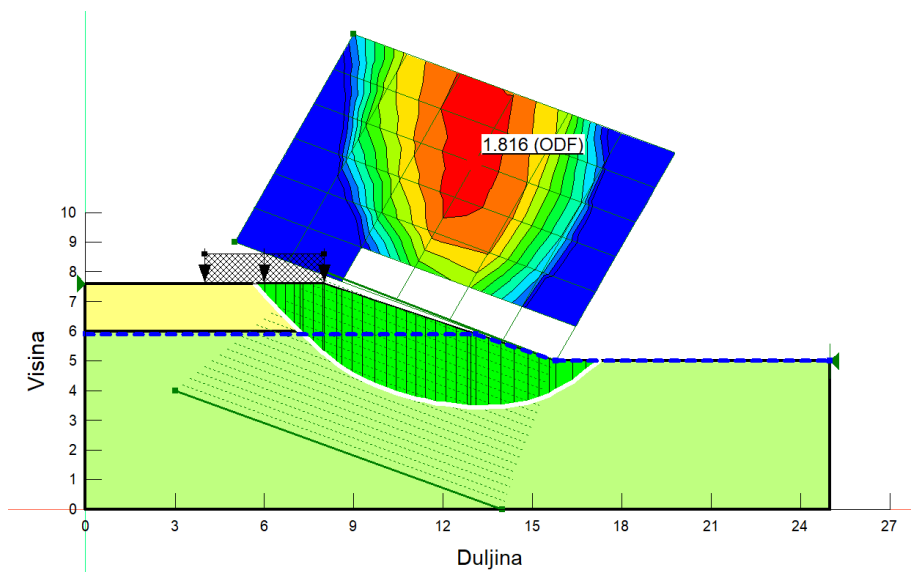
Slika 35 Faktor sigurnosti 3. proračunska situacija

4. Proračunska situacija, (dinamička (95 god,PP), drenirani uvjeti, razina podzemne vode 95,2 m.n.v.)



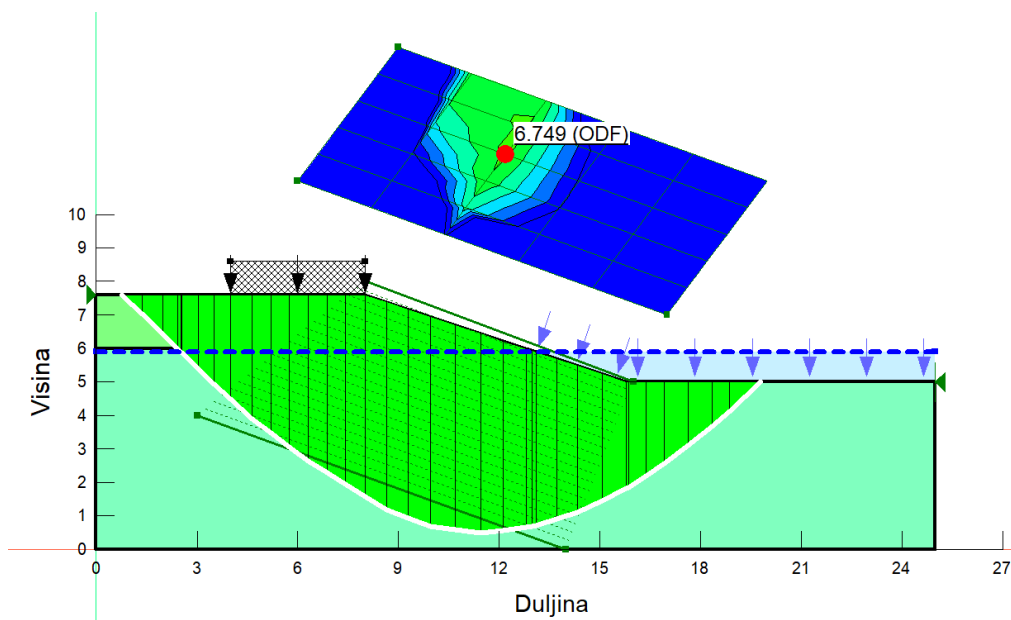
Slika 36 Faktor sigurnosti 4. proračunska situacija

5. Proračunska situacija (dinamička (95 god,PP), drenirani uvjeti, razina podzemne vode 94,6 m.n.v.)



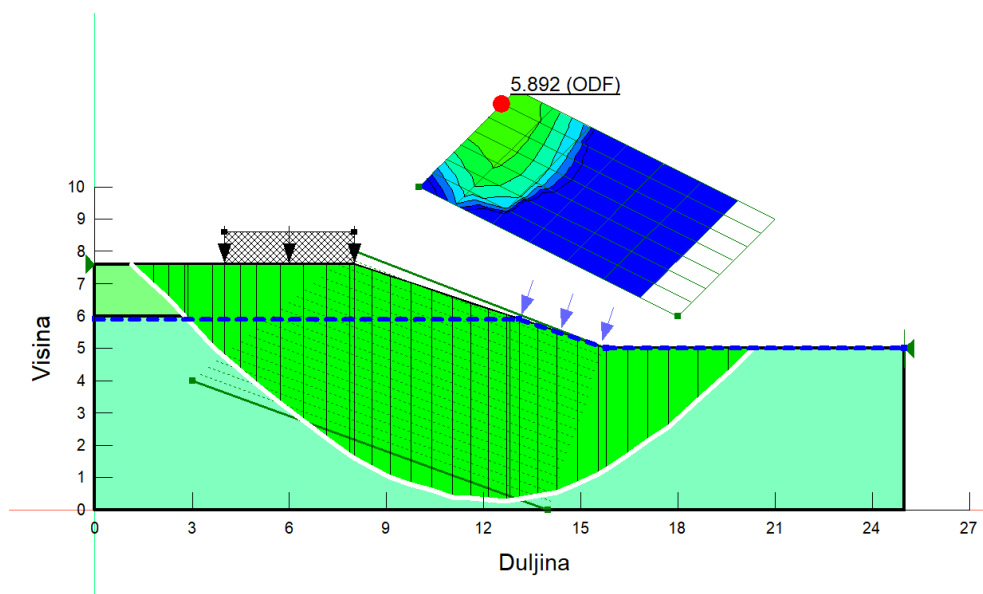
Slika 37 Faktor sigurnosti 5. proračunska situacija

6. Proračunska situacija (dinamička (95 god,PP), nedrenirani uvjeti, razina podzemne vode 95,5 m.n.v. bez crpljenja)



Slika 38 Faktor sigurnosti 6. proračunska situacija

7. Proračunska situacija (dinamička (95 god,PP), nedrenirani uvjeti, razina podzemne vode 94,6 m.n.v.)



**Slika 39** Faktor sigurnosti 7. proračunska situacija

Numeričkim analizama su dobivene vrijednosti faktora sigurnosti za sve kritične klizne plohe zadane projektnim situacijama čime se karakterizira globalna stabilnost pokosa za svaku pojedinu situaciju. Svi rezultati dobiveni računalnim proračunima navedeni su u tablici 16.

Prilikom proračuna u obzir su uzete samo proračunske situacije nakon završetka iskopa pošto se one smatraju kritičnijima u odnosu na one tokom iskopa.

**Tablica 16** Rezultati računalnih analiza stabilnosti

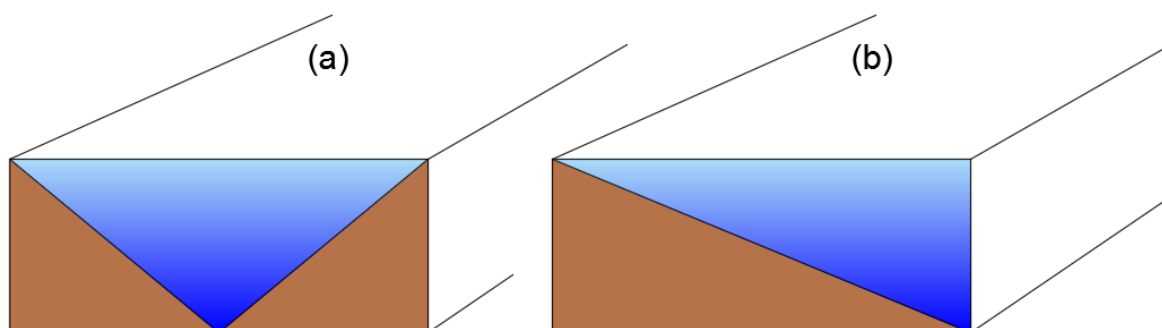
Projektna situacija	Faktor sigurnosti
statička + promet, razina podzemne vode 95,5 m.n.v. bez crpljenja	1,713
statička + promet, razina podzemne vode 97,2 m.n.v. bez crpljenja	1,997
statička + promet, razina podzemne vode 94,6 m.n.v. bez crpljenja	1,340
dinamička (95 god,PP), drenirani uvjeti razina podzemne vode 95,2 m.n.v.	2,074
dinamička (95 god,PP), drenirani uvjeti, razina podzemne vode 94,6 m.n.v.	1,816
dinamička (95 god,PP), nedrenirani uvjeti razina podzemne vode 95,5 m.n.v. bez crpljenja	6,749
dinamička (95 god,PP), nedrenirani uvjeti razina podzemne vode 94,6 m.n.v.	5,892



Prema dobivenim faktorima sigurnosti zaključeno je da su proračunski modeli u svim projektnim situacijama stabilni te da nisu potrebna dodatna geotehnička ojačanja odnosno zahvati.

### 5.5. Završno uređenje nalazišta

Nalazište se nakon završetka iskopa odnosno njegove eksploatacije uređuje zatrpavanjem, poravnanjem i oblikovanjem pokosa. Zbog osiguranja sigurnosti te zahtjeva uklapanja nalazišta u okoliš potrebno je izvršiti njegovu sanaciju, prema zahtjevima iz projekta i njemu sukladnim važećim zakonima. Nakon završetka iskopa nisu definirani posebni uvjeti za uređenje, ali je traženo da završno uređenje bude sukladno projektu ravno oblikovana ploha na kojoj će se moći vršiti košnja i uređenje hortikulture. Nužno je uklapanje u krajolik, sprječavanje negativnog utjecaja susjedna zemljišta i građevine. U nastavu nekoliko fotografija uređenog nalazišta nakon završetka radova. Stranice pokosa su ponovno obložene humusom te se površine zatrpavaju. Nagib stranica izveden je u nagibu 1:3. Za zatrpavanje su se koristili viškovi neupotrebljivog materijala (pijesak, prah, šljunak) i ostatkom visokoplastične gline koju je bilo potrebno iskopati da bi se došlo do slojeva povoljne niskoplastične gline.



Slika 40 Način vraćanja materijala u nalazište [24]



**Slika 41** Izgled završnog uređenja nalazišta [24]

## 6. Zaključak

Analiza geotehničkih i okolišnih parametara, određivanje adekvatnih mjera prema dobivenim rezultatima odnosno načina izvođenja nalazišta od iznimne je važnosti za uspješnost samog projekta nasipa.

Kroz ovaj rad istraženi su, zabilježeni, sustavno predstavljeni i strukturirani svi aspekti utjecaja samog zahvata nalazišta na područje izvođenja, lokalno stanovništvo i ekosustav. Opisana su sva ispitivanja i pokusi provedeni na lokaciji zahvata te zabilježeni i interpretirani njihovi rezultati. Koristeći se dobivenim rezultatima svojstava materijala nalazišta ispitana je stabilnost predloženog oblika iskopa, provjerena potreba za dodatnim geotehničkim ojačanjima, i provjerena dugoročna održivost zahvata nakon završetka eksploatacije.

Za proračune same stabilnosti korišten je računalni program GeoStudio. Dobiveni rezultati prikazani su i protumačeni u radu. Rezultati koji su dobiveni u svim proračunskim situacijama zadovoljavaju zahtjeve sigurnosti odnosno imaju faktor sigurnosti veći od 1. Time je potvrđen prijedlog rješenja izvođenja završnog izgleda i oblika nalazišta.

Ovim radom je pobliže objašnjen i prikazan cijeli tok planiranja i provođenja istražnih radova, odabir i provođenje laboratorijskih ispitivanja, korištenje dobivenih vrijednosti za proračune stabilnosti i konačno interpretaciju rezultata i davanje stručnog mišljenja oko prihvatljivosti rješenja. Također prikazan je postupak i pristup provjeri utjecaja zahvata na okoliš te način primjene odnosno propisivanja određenih mjera ili ograničenja na temelju trenutno važećih normi i propisa.

Ovaj diplomski rad će olakšati razumijevanje i slijed postupaka prilikom projektiranja i eksploatacije nalazišta zemljanih materijala.

**POPIS LITERATURE:**

- [1] Sharky, B., Summerlin, P., (2011) *A guide for adaptive reuse of borrow sites in Jefferson, Orleans, Plaquemine's, and St. Bernard Parish*. Associate ASLA Louisiana State University Robert Reich School of Landscape Architecture.
- [2] Slavik, I., (2014) *Examples of alternative methods in intensification of desludging sites*. Slovak University of Technology in Bratislava.
- [3] Geokon-Zagreb d.d., E-124-13-01, (2015.) „*Geotehnički istražni radovi za izgradnju transverznog nasipa od oteretnog kanala Odra do savskog nasipa kod sela Suša*“, Zagreb.
- [4] Centar Građevinskog fakulteta d.o.o., GEL-12/2018 (2018) *Dodatni geotehnički istražni radovi i izvedbeni projekt eksploatacije nalazišta materijala za izradu glavnog projekta izgradnje transverznog nasipa od OK Odra do savskog nasipa kod sela Suša, 7 km*. Zagreb.
- [5] Kovačić, I. (2020), *Nasip za obranu od poplava*, Diplomski rad, Sveučilište Sjever u Varaždinu.
- [6] Dyer, M., Utili, S., Sentenac, P., Zielinski, M., (2008) *Influence of the weather changes on the desiccation fissuring propagation and stability of flood embankments*. Geotechnics in maritime engineering Gdansk, Poland.
- [7] Bo, M., Yarde, A., *Use of waste tyre bales to construct a flood embankment*. Waste and Resource Management 159(2):57-64
- [8] Hrvatske Vode, (2022) 2. *Poglavlje Zemljani radovi*. Opći tehnički uvjeti za rad u vodnom gospodarstvu.
- [9] EN 1997-2:2012 EUROKOD 7, *Geotehničko projektiranje – 2.5. Projektiranje prema eurokodu 7*
- [10] Earth Environmental & Geotechnical Ltd, (2023), *What are trial pits used for?*, dostupno na: <https://www.earthenvironmental.co.uk/what-are-trial-pits-used-for/>, [pristupljeno 06. travnja, 2024.]
- [11] Centar Građevinskog fakulteta d.o.o. (2022.), 19. *poglavlje: Vodoistražni radovi, Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu*.

- 
- [12] Szavits-Nossan, A. (2012.), *Temeljenje, Određivanje proračunskog modela tla 2*, Građevinski fakultet sveučilišta u Zagrebu.
- [13] Narodne novine (2017), *Tehnički propis za građevinske konstrukcije*, na temelju Zakona o gradnji („Narodne novine“, br. 17/2017 i 153/13), Vlada Republike Hrvatske.
- [14] Szavits-Nossan, V. (2014), *1. Slom tla*, Posmična čvrstoća tla, Građevinski fakultet sveučilišta u Zagrebu.
- [15] Sokolić, I., (2012), *Primijenjena mehanika tla: 1. Predavanje*, Građevinski fakultet sveučilišta u Zagrebu.
- [16] Lvovska, T., Lytvynenko, T., Kariuk, A., (2018), *Soil Compaction Methods Development*, International Journal of Engineering & Technology.
- [17] Silaj J., (2016), *Obrana od poplava*, str. 24. Stručni rad, Sisak
- [18] Roje-Bonacci, T., (2007), *Mehanika tla u građevinarstvu*, Sveučilište u Splitu, Građevinsko-Arhitektonski fakultet.
- [19] Gavez, B., (2018), *Određivanje deformabilnosti tla u edometru*, str.26 Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet.
- [20] Almeida, H.A., Tavares Jr, C., Eskinazi-Saint'Anna, E. M., Figueiredo, Y. A., Leite., M.G.P., (2021) *Changes in the hydro-sedimentary balance: Impacts of the use of a borrow pit in a low-order stream*, National Center for Biotechnology Information.
- [21] Marković, E.B., Ostojić, B.B., Ptiček, A., Varga, Ž., Žigman, V.H., (2015), *Elaborat zaštite okoliša u postupku ocjene o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš*, Institut IGH, d.d.
- [22] Kaić, M., Grget, G., (2022), *Glavni projekt nalazišta materijala za izgradnju desnoobalnog nasipa rijeke Kupe od Brodaraca do Pivovare*, Geokon-Zagreb d.d.
- [23] Narodne novine (2014), *Uredba o procjeni utjecaja zahvata na okoliš*, na temelju Zakona o zaštiti okoliša („Narodne novine“, br. 80/2013 i 153/2013), Vlada Republike Hrvatske.
- [24] Geokon-Zagreb d.d., Zagreb; *„Transverzalni nasip od oteretnog kanala Odra do savskog nasipa kod sela Suše“*, E-066-17-01 (2018)

- 
- [25] INSTITUT IGH d.d., 5400-00024/14 (2015), *Elaborat zaštite okoliša u postupku ocjene o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš*, za Transverzalni nasip od oteretnog kanala Odra do savskog nasipa kod sela Suša.
- [26] Karte potresnih područja Republike Hrvatske [Internet], <raspoloživo na: <http://seizkarta.gfz.hr/hazmap/> [25.06.2024.]
- [27] EN 1998-1:2020 EUROKOD 8, *Zemljani uvjeti i seizmička aktivnost, 3. Određivanje seizmičkih zahtjeva, 3.2. Tipovi tla*

## POPIS SLIKA

<b>Slika 1</b> Primjer završnog uređenja nalazišta u Maynard-u [1] .....	3
<b>Slika 2</b> Prikaz izgleda nalazišta materijala [2].....	3
<b>Slika 3</b> Popuštanje nasipa uslijed razvijanja pukotina [6] .....	5
<b>Slika 4</b> Pojava vlačnih pukotina u nasipu [6] .....	6
<b>Slika 5</b> Postavljanje geosintetika na pokos nasipa [5] .....	6
<b>Slika 6</b> Ugradnja geosintetika u horizontalnim slojevima [5].....	7
<b>Slika 7</b> Iskop istražne jame [10].....	10
<b>Slika 8</b> Primjer izvađene jezgre bušotine [4].....	11
<b>Slika 9</b> Prikaz procesa dobivanja karakterističnih vrijednosti parametara materijala [3] .....	15
<b>Slika 10</b> Valjčići za ispitivanje granice plastičnosti [5] .....	17
<b>Slika 11</b> Casagrandeov uređaj [5] .....	18
<b>Slika 12</b> Krivulja granice tečenja [5] .....	19
<b>Slika 13</b> Ispitivanje jednoosne čvrstoće [15].....	20
<b>Slika 14</b> Naponsko deformacijska krivulja [15] .....	21
<b>Slika 15</b> Uređaj za direktno smicanje [14] .....	22
<b>Slika 16</b> Ugrađeni uzorak u edometar [18] .....	23
<b>Slika 17</b> Edometarska krivulja [19].....	23
<b>Slika 18</b> Standardni i modificirani Proctor-ov pokus [16] .....	24
<b>Slika 19</b> Krivulja ovisnosti suhe gustoće o vlažnosti pri zbijanju [17] .....	25
<b>Slika 20</b> Primjer plana uređenja nalazišta [22] .....	33
<b>Slika 21</b> Lokacija nalazišta materijala .....	34
<b>Slika 22</b> Lokacija nalazišta u mjerilu 1:25 000.....	35
<b>Slika 23</b> Mikrolokacija nalazišta izmijenjena u skladu sa izvedbenim projektom [3] .....	35
<b>Slika 24</b> Lokacija provedenih istražnih bušotina [24].....	41
<b>Slika 25</b> Procedura postupanja s pojedinim materijalima [24].....	45
<b>Slika 26</b> 3D prikaz slojeva iskopa nalazišta u zoni 1 .....	47
<b>Slika 27</b> 3D prikaz slojeva iskopa nalazišta u zoni 2 .....	48
<b>Slika 28</b> 3D prikaz slojeva iskopa nalazišta u zoni 3 .....	48
<b>Slika 29</b> Uzdužni i poprečni presjek iskopa u zoni 1.....	49
<b>Slika 30</b> Uzdužni i poprečni presjek iskopa u zoni 2.....	50
<b>Slika 31</b> Uzdužni i poprečni presjek iskopa u zoni 3.....	50
<b>Slika 32</b> Karta potresnog područja lokacije nalazišta [26] .....	52
<b>Slika 33</b> Faktor sigurnosti 1. proračunska situacija .....	56

---

<b>Slika 34</b> Faktor sigurnosti 2. proračunska situacija .....	56
<b>Slika 35</b> Faktor sigurnosti 3. proračunska situacija .....	57
<b>Slika 36</b> Faktor sigurnosti 4. proračunska situacija .....	57
<b>Slika 37</b> Faktor sigurnosti 5. proračunska situacija .....	58
<b>Slika 38</b> Faktor sigurnosti 6. proračunska situacija .....	58
<b>Slika 39</b> Faktor sigurnosti 7. proračunska situacija .....	59
<b>Slika 40</b> Način vraćanja materijala u nalazište [24] .....	60
<b>Slika 41</b> Izgled završnog uređenja nalazišta [24].....	61



---

**POPIS TABLICA**

<b>Tablica 1</b> Geotehnički razredi prema EC 7 [9] .....	8
<b>Tablica 2</b> Potrebne klase kvalitete uzoraka za laboratorijsko ispitivanje tla i odgovarajuće klase uzorkovanja (prema EN 1997-2) [9] .....	12
<b>Tablica 3</b> Klasifikacijski parametri prema vrstama tla i potrebna kvaliteta uzorka za određivanje reprezentativnih vrijednosti [9] .....	13
<b>Tablica 4</b> Laboratorijski pokusi za određivanje geotehničkih parametara [9] .....	14
<b>Tablica 5</b> Prethodna ispitivanja materijala za izradu nasipa od zemljanih materijala [8] .....	28
<b>Tablica 6</b> prethodna ispitivanja zemljanog materijala za izradu krune nasipa [8] .....	28
<b>Tablica 7</b> Slojevi materijala dobiveni iz istražnih jama [24] .....	39
<b>Tablica 8</b> Dubine slojeva materijala dobivenih iz istražnih jama [24] .....	40
<b>Tablica 9</b> Pozicije, datum i dubina ispitivanja bušotina .....	41
<b>Tablica 10</b> Rezultati dodatnih istražnih radova [24] .....	42
<b>Tablica 11</b> Uslojenost na području dodatnih istražnih radova [24] .....	43
<b>Tablica 12</b> Tablica količina iskopa po zonama .....	46
<b>Tablica 13</b> Proračunske situacije za provjeru stabilnosti [24] .....	51
<b>Tablica 14</b> Kategorije tla prema EC 8 [27] .....	53
<b>Tablica 15</b> Vrijednosti parametara elastičnog spektra odziva EC 8 [27] .....	54
<b>Tablica 16</b> Rezultati računalnih analiza stabilnosti .....	59