

# Fizikalne karakteristike kamenog materijala za zemljane radove

---

**Rački, Bruno**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:753353>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-20**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

**Bruno Rački**

**Fizikalne karakteristike kamenog materijala za zemljane radove**

**Završni rad**

**Rijeka, 2019.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI  
Stručni studij Građevinarstvo  
Građevinski materijali**

**Bruno Rački  
0114029013**

**Fizikalne karakteristike kamenog materijala za zemljane radove  
Završni rad**

**Rijeka, srpanj 2019.**

## IZJAVA

Završni rad izradio sam samostalno, u suradnji s mentorom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

---

Bruno Rački

U Rijeci, 02.07.2019.

## **IZJAVA**

Završni rad nastao je kao rezultat rada u okviru projekta Razvoj istraživačke infrastrukture za laboratorije na kampusu Sveučilišta u Rijeci (RC.2.2.06-0001, u nastavku: RISK) koji je financiran iz strukturnih fondova i Kohezijskog fonda EU u sklopu programa 2007.-2013. RC.2.2.06-0001, a temeljem Ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava od 18.04.2014. te svih njegovih priloga, smjernica i ostalih dokumentata izrađenih za potrebu provedbe projekta RISK.

U Rijeci, 02.07.2019.

## ZAHVALA

Zahvaljujem svojoj mentorici doc. dr. sc. Silviji Mrakovčić koja mi je svojim savjetima i uputama pomogla oblikovati ideju pri izradi ovog završnog rada. Također, veliku zahvalu upućujem i firmi „Građevinar d.o.o.“ koja mi je stavila na raspolaganje potrebnu dokumentaciju, firmi „MiTeh d.o.o.“ koja mi je omogućila korištenje kamenog materijala iz kamenoloma te službenicima općine Fužine koji su mi dali opće podatke o općini.

Posebnu zahvalnost želim uputiti svojoj obitelji i prijateljima koji su me podupirali od prvog dana.

Želim zahvaliti i svim djelatnicima Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci koji su mi svojim savjetima i znanjem pomogli steći mnoga znanja vezana uz život i struku, a posebno samom fakultetu koji mi je ustupio svu potrebnu opremu.

Veliko hvala svima!

## **SAŽETAK**

**Naslov rada:** Fizikalne karakteristike kamenog materijala za zemljane radove

**Student:** Bruno Rački

**Mentor:** doc. dr. sc. Silvija Mrakovčić

**Studij:** Preddiplomski stručni studij

**Kolegij:** Građevinski materijali

U ovom završnom radu opisano je gradilište „Vodoopskrba područja Vrelo – općina Fužine“ te dio zemljanih radova koji se izvode i koji će se izvoditi na navedenom području, s posebnim naglaskom na radove s kamenim materijalom. Naglasak je stavljen na norme i propise na kojima se radovi temelje te na opise pojedinih zemljanih radova koji sadržavaju slike, odnosno presjeke profila navedenih radova.

Dani su osnovni podaci o dobavljaču gdje je objašnjen način rada te ustroj kamenoloma, kao i karakteristike kamenog materijala koji se koristi. Uz to, provedena su laboratorijska ispitivanja spomenutog materijala te dana usporedba između specifikacije dobavljača i rezultata laboratorijskih ispitivanja.

**Ključne riječi:** zemljani radovi, kameni materijal, općina Fužine, laboratorijsko ispitivanje, norme, kamenolom

## **ABSTRACT**

**Title:** Physical characteristics of rock material for earthworks

**Student:** Bruno Rački

**Mentor:** assoc.prof. Silvija Mrakovčić, PHD

**Study:** Vocational study of civil engineering

**Course:** Constructional materials

In this final thesis it is described construction site „Vodoposkrba područja vrelo – općina Fužine“ and all earthwork which are executed, and which were executed, with a special emphasis on work with stone material. The emphasis was also placed on standards and regulations on which they are based and on a describing some earthworks which contain pictures and cross sections of those works.

Basic data are given about supplier where it is explained the way of work and the structure of the stonepit, as long as the characteristics of the stone material which was used. Beside that, it was carried out a laboratory testing of said material, and also, it has been made a comparison between the specifications of supplier and the own laboratory testing.

**Key words:** earthwork, stone material, municipality Fužine, laboratory testing, norms, calculation, stonepit



# SADRŽAJ

POPIS SLIKA .....	1
POPIS TABLICA.....	2
POPIS DIJAGRAMA.....	3
1. Uvod.....	4
2. Izvođenje radova .....	5
2.1. Opis lokacije građenja .....	5
2.2. Problematika i prijedlog rješenja.....	7
2.3. Zemljani radovi u kontekstu projekta.....	9
2.3.1. Zemljani radovi ovisno o vrsti ceste.....	10
2.4. Zemljani radovi i tehnologija izvođenja u kontekstu upotrebe kamenog materijala.....	12
2.5. Program kontrole i osiguranja kakvoće materijala .....	21
2.5.1. Iskop materijala .....	22
2.5.2. Kontrola kvalitete temeljnog tla.....	23
2.5.2.1. Kontrola kvalitete geotekstila .....	24
2.5.3. Kontrola kvalitete kamenog materijala za nasipavanje.....	26
2.5.4. Izvedba rova za cjevovode.....	28
3. Općenito o dobavljaču kamenog materijala .....	31
3.1. Opis kamenoloma.....	31
3.2. Proizvodi i ustroj rada kamenoloma.....	32
3.3. Karakteristike kamenog materijala .....	34
4. Laboratorijska ispitivanja kamenog materijala .....	36
4.1. Postupak i rezultati laboratorijskih ispitivanja .....	36
4.1.1. Gustoća i volumenska masa .....	37
4.1.2. Nasipna gustoća u zbijenom stanju.....	41
4.1.3. Apsorpcija vode .....	42
4.1.4. Granulometrijski sastav agregata .....	43
4.1.5. Udio sitnih čestica.....	46
4.1.6. Ekvivalent pijeska .....	46
4.2. Usporedba specifikacija dobavljača i vlastitih laboratorijskih ispitivanja.....	49
5. Zaključak .....	53
6. Literatura .....	54

## POPIS SLIKA

Slika 1: Općina Fužine [1].....	5
Slika 2: Mikrolokacija izvođenja radova .....	6
Slika 3: Prikaz situacije građevine [2] .....	8
Slika 4: Karakteristični poprečni presjek rova – Županijska cesta .....	11
Slika 5: Karakteristični poprečni presjek rova – Nerazvrstana cesta.....	11
Slika 6: Pješčana posteljica na kojoj je postavljena cijev.....	13
Slika 7: Zatrpavanje vodovodne cijevi pijeskom 0 - 4 mm .....	14
Slika 8: Zatrpavanje rova pijeskom.....	15
Slika 9: Ugradnja tamponskog sloja.....	16
Slika 10: Ugradnja tampona u rov .....	17
Slika 11: Mjesto spoja dionica „V-2“ i „V-3“ .....	18
Slika 12: Obnova tucaničkog kolnika kamenim materijalom .....	19
Slika 13: Ugrađeni geotekstil .....	20
Slika 14: Način izvedbe posteljice [6] .....	30
Slika 15: Kamenolom Mrkovac .....	31
Slika 16: Doprema kamena do drobilice.....	33
Slika 17: Uzimanje uzoraka frakcije 0 - 4 mm.....	33
Slika 18: Uzorak nakon što je podignut kalup .....	38
Slika 19: Vaganje materijala pod vodom.....	39
Slika 20: Priprema materijala za prosijavanje .....	44
Slika 21: Punjenje menzure do gornje oznake .....	48
Slika 22: Protresanje menzure pomoću treskalice .....	48

## POPIS TABLICA

Tablica 1: Najmanja širina rova, ovisno o nazivnom promjeru DN [6].....	28
Tablica 2: Najmanja širina rova ovisno o dubini rova [6] .....	29
Tablica 3: Najmanja širina rova za polaganje cijevi [6].....	29
Tablica 4: Karakteristike kamenog materijala iz kamenoloma Mrkovac.....	35
Tablica 5: Izmjerena svojstva kamenog materijala .....	39
Tablica 6: Gustoće i volumenske mase.....	40
Tablica 7: Masa zbijenog materijala .....	41
Tablica 8: Apsorbirana voda, površinska vlažnost, vlažnost.....	42
Tablica 9: Rezultati prosijavanja agregata.....	44
Tablica 10: Rezultati prosijavanja agregata.....	45
Tablica 11: Udio sitnih čestica .....	46
Tablica 12: Ekvivalent pijeska .....	47
Tablica 13: Usporedba gustoća i volumenskih masa.....	50
Tablica 14: Usporedba nasipnih gustoća u zbijenom stanju .....	50
Tablica 15: Usporedba apsorpcija vode.....	51
Tablica 16: Usporedba granulometrijskog sastava agregata .....	51
Tablica 17: Usporedba udjela sitnih čestica .....	52

## POPIS DIJAGRAMA

Dijagram 1: Grafički prikaz prosijavanja agregata.....	45
--	----

## **1. Uvod**

Tema ovog rada je upotreba kamenog materijala različitih frakcija u građevinskom procesu, posebice u kategoriji zemljanih radova. Rad se velikim dijelom veže uz trenutno aktivno gradilište u općini Fužine gdje se gradi novi vodoopskrbni cjevovod.

Zemljani radovi su svi građevinski radovi u tlu ili s tlom, a u ovome slučaju sastavni su dio izgradnje novog vodoopskrbnog cjevovoda te se izvode duž cijele dionice trase. Kamen, odnosno materijal dobiven preradom kamena jedan je od često korištenih materijala u građevinskoj struci. U izgradnji vodoopskrbnog cjevovoda, kameni materijal igra veliku ulogu, a u ovom radu navedena je njegova primjena po pojedinim fazama izgradnje te je detaljno opisana njegova uloga pri zatrpavanju rova s novougrađenom vodovodnom cijevi.

Za navedeno gradilište koristiti će se kameni materijal različitih frakcija, a on će se dobavljati iz kamenoloma „Mrkovac“ u Mrkoplju, proizvođača „MiTeh d.o.o“. Glavni razlog korištenja tog materijala je blizina samog kamenoloma i gradilišta (cca 10 km) što bi trebalo utjecati na troškove. Uz već navedene zemljane radove, rad će sadržavati i tehnički opis te ustroj i postupak pripreme kamenog materijala u kamenolomu. Dio kamenog uzorka odnesen je u Laboratoriju za materijale Građevinskog fakulteta u Rijeci na ispitivanje gdje je provedena analiza istog te su provjereni različiti parametri i karakteristike sukladno zahtjevima gradilišta, što je omogućeno u sklopu projekta „RISK“ prema kojemu je Građevinski fakultet u Rijeci korisnik infrastrukture opreme. Na kraju, provedena je usporedba specifikacija dobavljača te vlastitih laboratorijskih ispitivanja. Za potrebe izrade ovog rada korištena je fotodokumentacija s gradilišta, kao i pojedine stavke troškovnika, za što je izvođač radova („Građevinar d.o.o.“) dao dozvolu.

## 2. Izvođenje radova

### 2.1. Opis lokacije građenja

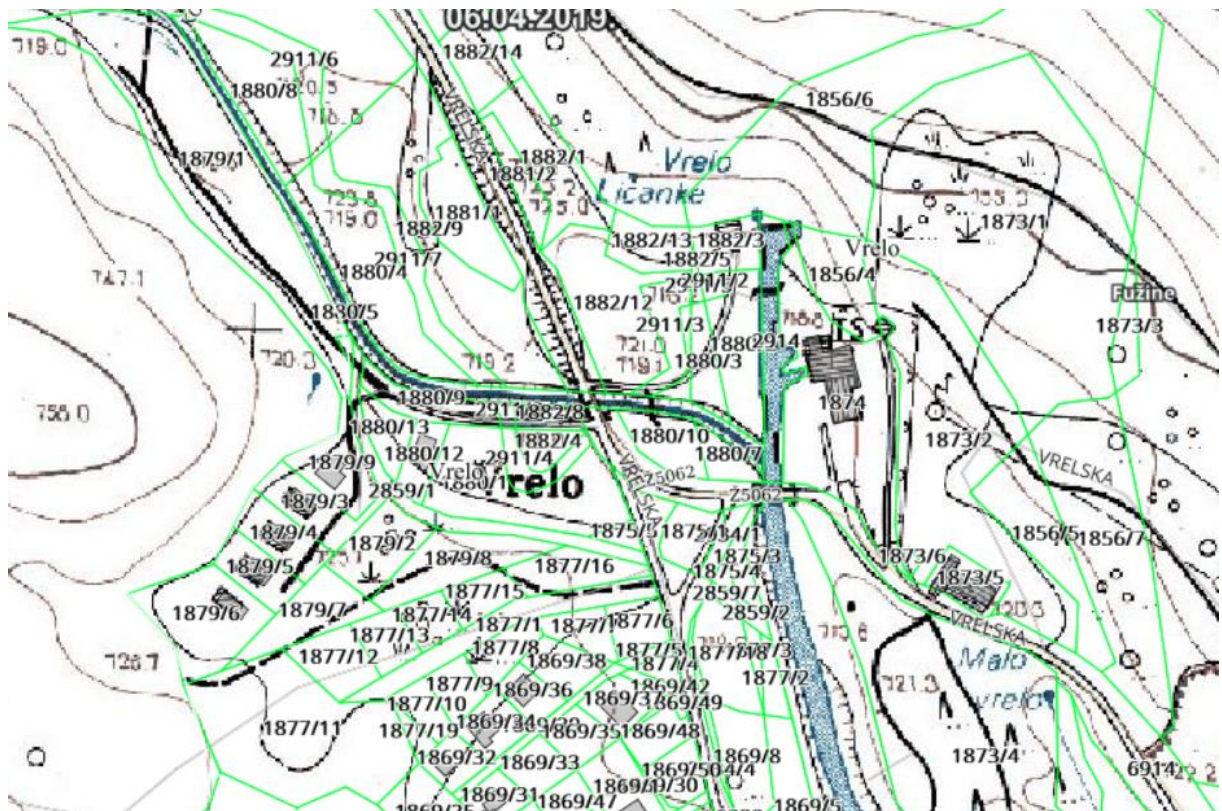
Fužine su općina koja se nalazi u Primorskoj-goranskoj županiji, nedalako od grada Rijeke. Smještene su u regiji Gorski kotar, a riječ je o jednoj od najstarijih općina u Republici Hrvatskoj čije su koordinate središta na 45° 17' 60" sjeverne geografske širine te 14° 43' 12" istočne geografske dužine. Ime su dobile po talijanskoj riječi „fucina“, a naselje se razvilo na staroj Karolinskoj cesti koja povezuje Karlovac i Rijeku. [1]

Smještene su na 730 metara nadmorske visine, a imaju odličnu prometnu povezanost sa okolicom. Nalaze se u blizini Kvarnerskog zaljeva, a karakterizira ih odlična turistička ponuda te bogatsvo voda. U Fužinama se nalaze tri akumulacijska jezera, a ona su: Bajer, Lepenica i Potkoš. Položaj općine omogućuje brzu povezanost sa kontinentalnom i primorskom Hrvatskom preko autoceste te željeznice. Površina općine iznosi 86 km<sup>2</sup>, a sastoji se od 6 manjih mjesta : Belo Selo, Benkovac Fužinski, Fužine, Lič, Slavica i Vrata. [1]



Slika 1: Općina Fužine [1]

Sve navedene osobnosti prepoznate su i od strane posjetilaca i turista te je iskazan interes za daljnje mogućnosti korištenja prostora. Prvenstveno se to iskazuje kao interes za izgradnju vikend objekata. Općina je to implementirala u svoje prostorne planove te je stvorila uvjete za razvitak u tom segmentu. Kako bi se osigurali elementarni standardi u komunalnom smislu, nužno je za ta područja osigurati i priključenost na komunalnu infrastrukturu – voda, struja, prometnice i slično. Projektom kojega ovaj rad prati osigurava se na jednom od tih područja dovođenje komunalne infrastrukture – sanitarno ispravne vode. Prostor kojega projekt obuhvaća odnosi se na područje općine Fužine pod nazivom Vrelo, a mikrolokacija je prikazana na slici 2.



Slika 2: Mikrolokacija izvođenja radova

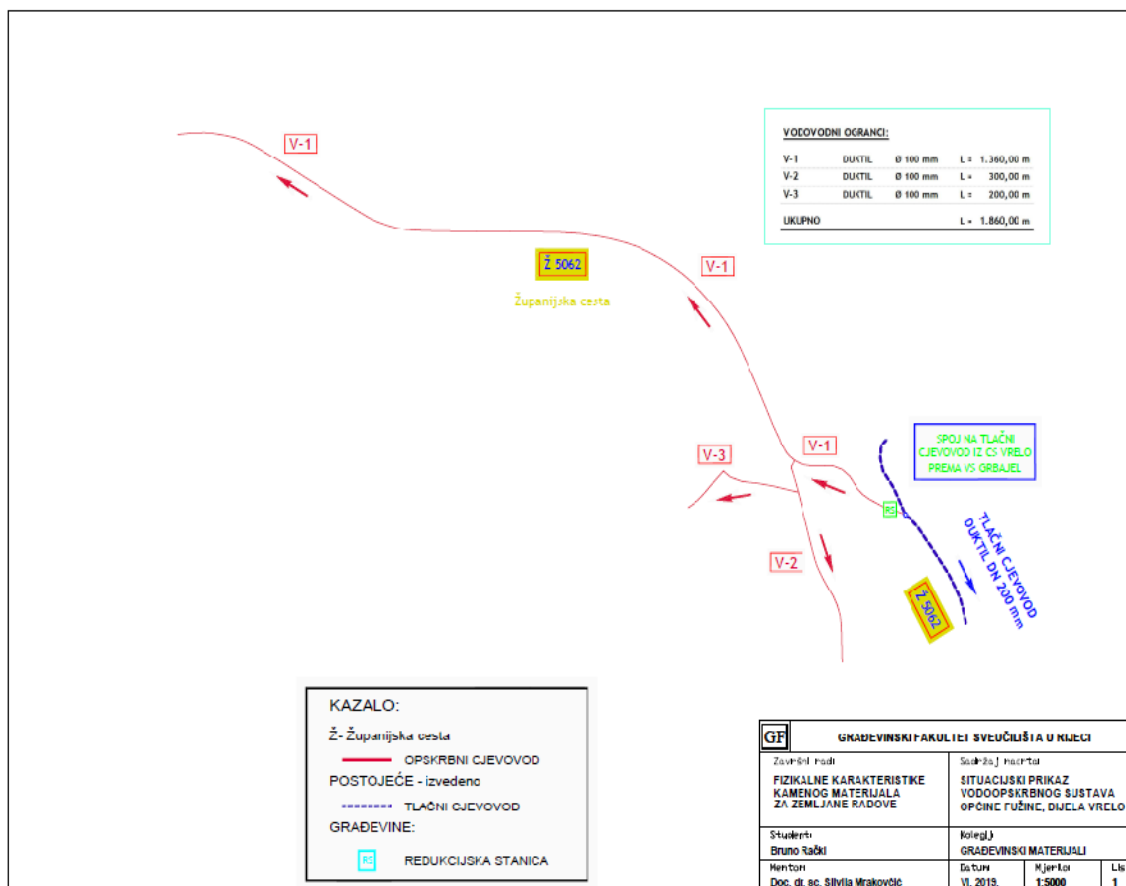
## **2.2. Problematika i prijedlog rješenja**

Područje naselja Vrelo u Općini Fužine vrlo je specifično. Razvija se velikim koracima, pa se stoga grade i mnoge kuće, odnosno vikendice, no većinski dio naselja i dalje nema osiguran sustav opskrbe vodom. Iz navedenog razloga, u dogovoru sa županijom i komunalnim poduzećem, izrađen je projekt „Vodoopskrba područja Vrelo – općina Fužine“. Navedenim projektom napravljeno je najbolje moguće rješenje po pitanju vodoopskrbe, kako je predviđeno lokacijskom dozvolom i idejnim projektom. Na dijelu predmetnog područja postoji stari, poddimenzionirani javni sustav vodoopskrbe koji je zbog velikih gubitaka vode potrebno rekonstruirati, odnosno zamijeniti novime. Preostali, većinski dio područja prvi će put imati izgrađen sustav opskrbe vodom.

Rješenje će se izvesti u dvije faze. U prvoj je fazi novoprojektirana vodoopskrbna mreža priključena na postojeći tlačni dukt cjevovod profila DN 200 mm kojime se voda tlači od vodozahvata „Vrelo“ do vodospreme VS „Grbajel“. Na tlačnom cjevovodu izvedeno je novo zasunsko okno na koje je spojen vodovod, a neposredno pored njega će se izgraditi redukcijaska stanica koja mora reducirati tlak na maksimalno 5 - 6 bara kako bi se predmetno područje uspješno opskrbilo pitkom vodom. U drugoj fazi razvoja vodoopskrbnog sustava ista reducir stanica će reducirati tlak vode pri njenom povratu iz vodospreme. Vodovodni ogranci se izgrađuju od DUKTIL cijevi unutarnjeg profila DN 100 mm, PN 10 bara u ukupnoj dužini od 1.860,00 m. Cijevi se obavezno moraju položiti na pripremljenu pješčanu podlogu debljine 10 cm. [2]

Nova trasa je postavljena na način da što više prati teren s optimalnim brojem odzračnih ventila i muljnih ispusta. Svi elementi vodovodne mreže su predviđeni kao vodonepropusni, pa tako moraju biti i izvedeni. Cjevovod se uglavnom smještao na javno dobro, odnosno u trup ceste kako bi se izbjegli neriješeni imovinsko – pravni odnosi i omogućilo nesmetano izvođenje građevinskih radova. Novoizgrađeni vodoopskrbni cjevovod sastoji se od tri dijela. Prvi i najvažniji dio je „V-1“. On se većinskim dijelom vodi po prometnici Županijske ceste oznake „5062“ (Fužine – Kraljev jarak) do područja Novi Lazi, sve prema Prostornom planu uređenja općine Fužine. Preostala 2 cjevovoda, odnosno ogranka („V-2“ i „V-3“) služe za opskrbu vodom nedavno izgrađenih objekata, a oni se nalaze na nerazvrstanoj cesti (ogranak „V-2“), odnosno nerazvrstanom putu (ogranak „V-3“), što je prikazano na slici 3.





Slika 3: Prikaz situacije građevine [2]

Cjevovod se polagao s minimalnom dubinom nivelete od 1,30 m kako bi se primarno onemogućilo mehaničko oštećenje ili pucanje cijevi uslijed teškog prometnog opterećenja. Uz to, Općina Fužine, kao i ostatak Gorskog kotara ima veoma oštre i hladne zime koje su popraćene niskim temperaturama i velikom količinom oborina, pa je i zbog toga poželjno cijevi ugraditi na što veću dubinu kako ne bi došlo do smrzavanja. Na pojedinim mjestima gdje se nije mogla postići zahtijevana dubina (križanja s prepustima, razni prekopi i sl.) bilo je potrebno napraviti betonsku oblogu cijevi kao dodatni način zaštite. Neovisno radi li se o Županijskoj ili nekoj drugoj cesti, dubina polaganja je svugdje ista (1,30 m), osim ako u projektu nije napisano drugačije. Razlika je samo u zatrpavanju kanalskog rova, gdje se koriste različiti kameni materijali o čemu će više biti rečeno u nastavku.

### **2.3. Zemljani radovi u kontekstu projekta**

Nakon iskolčenja trase, a prije početka iskopa odstranjene su asfaltne i betonske površine, svi rubnjaci s temeljima, pasice ceste te sve zaštitne ograde, zidovi i slične objekti koji su mogli smetati pri iskopima. Na asfaltiranim prometnicama prvo je izvedeno ravno zasijecanje asfalta po rubovima iskopa te je odstranjen asfaltni sloj u minimalnoj širini nužnoj za normalno izvođenje. Također, nakon zatrpavanja i zbijanja rova izvedeno je još jedno ravno zasijecanje radi uspostave dobre veze između nove i stare konstrukcije kolnika.

Iskop se u pravilu vršio strojno korištenjem optimalnih strojeva (bager, freza, kombinirani bager), ovisno o strukturi materijala – kategoriji iskopa. Pored strojnog, također se koristio i ručni iskop, no u pravilu je to bilo vrlo rijetko. Primjenjivao se u slučajevima kada je zbog blizine postojeće infrastrukture postojala opasnost od njenog oštećenja, a to se ručnim iskopom uspješno izbjeglo.

Poslije iskopa u obrađeni rov je najprije postavljena posteljica debljine 10 cm od prirodnog ili drobljenog pijeska veličine 0 - 4 mm na koju su položene cijevi koje su nakon toga istim materijalom zasipane do visine 30 cm iznad tjemena. Zatrpavanje je izvedeno u slojevima od 25 - 30 cm, a zbijanje je izvršeno ručnim nabijačima. Nakon što je uspješno zbijen materijal iznad cijevi, ugrađena je pocinčana traka (gromobran). Ona štiti cjevovod na način da odvodi lutajuće struje čime se cjevovodu produljuje životni vijek. Ujedno služi i za njenu lakšu detekciju u slučaju da dođe do prekopa radi postavljanja nove infrastrukture. Paralelno s pocinčanom trakom, a točno iznad vodovodne cijevi postavljena je PVC signalna/detektibilna traka kao upozorenje prilikom budućih iskopa. Ostatak rova je zatrpavan sitnijim, odnosno probranom materijalom iz iskopa. Materijal je bilo potrebno pažljivo nabijati kako ne bi došlo do puknuća ili oštećenja cijevi. Zbog toga, kod iskopa kanala treba posebno odlagati sitniji i krupniji materijal. Također, materijal je odvajan i po vrsti, posebno kameni materijal koji je korišten kod zatrpavanja rova, a posebno ostali materijal kojega se dio (zemlja) koristilo kod sanacija zelenih površina. Ovisno o kategorijama tla, udio zamjenskog kamenog materijala se mijenja. Poželjno je da se sav krupniji materijal skupa sa asfaltnim zastorom dopremi na deponij iz razloga da ne padne nazad u kanal i ne ošteti cijev, a moguće je izvršiti i kvalitetniju separaciju za daljnju uporabu. U slučaju da u iskopu nema dovoljno kvalitetnog materijala za zatrpavanje kanala, potrebno je dovesti zamjenski kameni materijal odgovarajuće frakcije i karakteristika, sve sukladno zahtjevima projekta i troškovnika.

Prije spuštanja cijevi u kanal potrebno ju je detaljno pregledati. Od iznimne je važnosti da nema nikakvih puknuća te da je njen unutarnji dio čist kako bi i kvaliteta vode bila odgovarajuća te uspješno prošla sva testiranja. Spajanje cijevi, kao i sve druge radnje s njima vršila je ovlaštena osoba te je detaljno pratila upute proizvođača, uz obavezno prisustvo i suglasnost nadzornog inženjera.

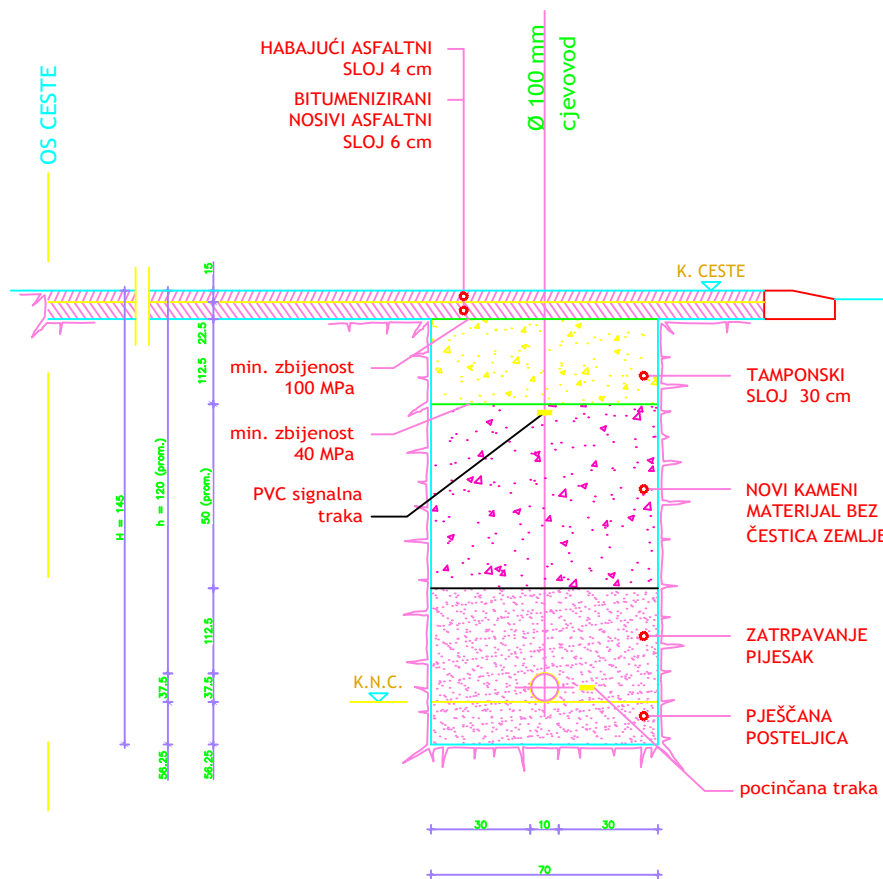
### **2.3.1. Zemljani radovi ovisno o vrsti ceste**

Na području obuhvaćenom projektom nalaze se: Županijska cesta („5062“) te nerazvrstane ceste. Razlika je u tome što se pri zatrpavanju rova te asfaltiranju Županijske ceste izvođač morao voditi prema uputama projekta, ali i „Općim tehničkim uvjetima“ kao i posebnim uvjetima koje kao upravljač ceste izdaje Županijska uprava za ceste (ŽUC Rijeka). dok se kod nerazvrstanih cesta mora postupati na jednak način, osim što posebne uvjete izdaje njihov vlasnik koji je u ovome slučaju Općina Fužine.

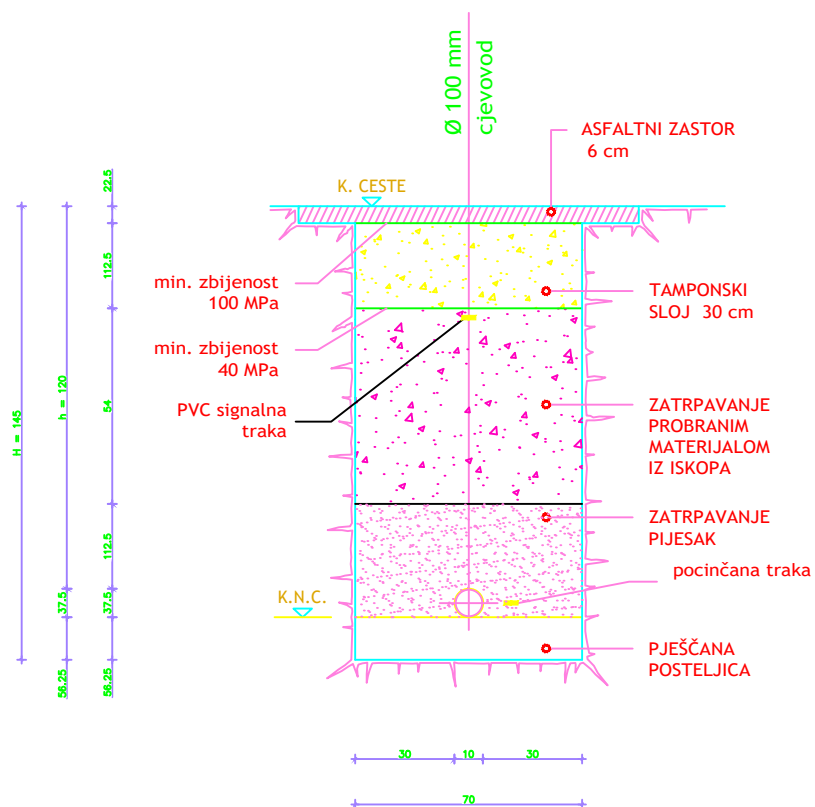
Glavna razlika između navedenih prometnica je u opterećenju koja mogu podnijeti. Županijska cesta je projektirana da može podnijeti velika opterećenja, dok se nerazvrstane ceste koriste isključivo od strane fizičkih osoba koje njima dolaze do svojih parcela, tj. kuća. Iz tog razloga, zatrpavanje kanalskog rova se izvodi na drugačiji način.

Kod Županijske ceste je nakon zatrpavanja cijevi pijeskom 0 - 4 mm u debljini 30 cm i zbijanja postavljen novi zamjenski kameni materijal bez čestica zemlje, a kod nerazvrstane ceste je umjesto njega postavljen probrani materijal iz iskopa. Završni sloj prije postavljanja asfalnog zastora jednak je na obje prometnice. Tampon se postavlja u debljini 30 cm i mora se zbiti na minimalno 100 MN/m<sup>2</sup> kod Županijskih, odnosno 80 MN/m<sup>2</sup> kod nerazvrstanih cesta. Prilikom asfaltiranja, na tampon su postavljeni asfaltni slojevi u širini jednog voznog traka. Kod Županijskih cesta prvi je nosivi asfaltni sloj debljine 6 cm, a na njega se postavlja habajući sloj debljine 4 cm. Prilikom asfaltiranja nerazvrstanih cesta koristi se samo nosivi sloj debljine 6 cm, osim ako u projektu nije drugačije navedeno. Na slici 4 i 5 su prikazani karakteristični poprečni presjeci.

**SLIKA 4 : KARAKTERISTIČNI POPREČNI PRESJEK ROVA - ŽUPANIJSKA CESTA**



**SLIKA 5 : KARAKTERISTIČNI POPREČNI PRESJEK ROVA - NERAZVRSTANA CESTA**



<b>GF</b> GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI			
Završni rad:		Sadržaj nacрта:	
FIZIKALNE KARAKTERISTIKE KAMENOG MATERIJALA ZA ZEMLJANE RADOVE		KARAKTERISTIČNI POPREČNI PRESJECI ROVOVA	
Student:		Kolegij:	
Bruno Rački		GRAĐEVINSKI MATERIJALI	
Mentor:		Datum:	
Doc. dr. sc. Silvija Mrakovčić		VI. 2019.	
		Mjerilo:	List:
		1:20	1

## **2.4. Zemljani radovi i tehnologija izvođenja u kontekstu upotrebe kamenog materijala**

U ovom su poglavlju opisani zemljani radovi za koje je bilo potrebno koristiti zamjenski (novi) kameni materijal. Sve stavke i aktivnosti koje će biti opisane u nastavku poglavlja su preuzete iz troškovnika za radove na vodoopskrbi područja Vrelo. Pri zatrpavanju rova koji spada pod Županijske i lokalne ceste, važno se voditi „Općim tehničkim uvjetima“ te posebnim uvjetima. Njima je definirano da se obavezno mora koristiti zamjenski materijal odgovarajućih specifikacija te da mora biti propisno zbijen. Stavke iz Ugovornog troškovnika kod kojih će se koristiti zamjenski materijal, a spadaju pod zemljane radove su :

- *„Izrada pješčane posteljice cjevovoda. U poziciji je obuhvaćena nabava, dovoz i planiranje pijeska (0 - 4) mm za izvedbu posteljice vodovodne cijevi, prema poprečnom presjeku. Stupnja zbijenosti podtla od  $M_e = 25$  MPa , ugrađuje se po dnu rova, debljine 10 cm. Obračunska širina kao širina rova, debljina pješčane posteljice prema normalnom poprečnom presjeku. Obračun po  $m^3$  ugrađenog pijeska u zbijenom stanju.“ [3]*

### Način izvođenja:

Posteljica je definirana kao „uređeni završni sloj nasipa, u usjeku uređeno sraslo ili zamijenjeno sraslo tlo, određene ravnosti i nagiba, koji svojim fizikalnim i kemijskim svojstvima zadovoljavaju tražene uvjete, tako da mogu bez štetnih posljedica primiti opterećenje kolničke konstrukcije i prometno opterećenje“. [4]

Nakon što su izvršeni svi pripremni te zemljani radovi koju uključuju iskop rova, ugradila se pješčana posteljica. Ona se dopremila na gradilište kamionom kiperom koji ju je istovario na pripremljenu lokaciju, a potom se ugradila kombinirano strojno – ručnim radom. Bager ju je s dubinskom lopatom „ubacio“ u rov, a ručnim radom se ona rasprostila po njemu, pazeći da bude izvedena ravno te jednake debljine duž cijele trase cjevovoda. Poslije toga se izvodilo zbijanje vibronabijačima, sve prema troškovniku i uputama nadzornog inženjera. Pripremljena pješčana posteljica s ugrađenom vodovodnom cijevi prikazana je na slici 6.



Slika 6: Pješčana posteljica na kojoj je postavljena cijev

- „Zasipavanje položenog cjevovoda pijeskom. U poziciji je obuhvaćena nabava, dovoz i planiranje pijeska (0 - 4 mm) do visine 30 cm iznad tjemena cijevi. U stavku uključeno i zasipavanje ugradbenih garnitura. Zatrpanje u zoni cijevi izvoditi u slojevima 15 - 30 cm sa obje strane istovremeno uz nabijanje lakim vibronabijačima do potrebne zbijenosti od  $M_e = 25 \text{ MPa}$ . Zbijanje uz cijev do visine polovice promjera izvoditi ručno u slojevima debljine 15 cm kako bi se postigla zadovoljavajuća zbijenost bez oštećenja cijevi. Pri zatrpavanju, spoj mora ostati vidljiv. Odobrava nadzorni inženjer.“ [3]

#### Način izvođenja:

Nakon što je vodovodna cijev ugrađena na pješčanu posteljicu, krenulo je zatrpavanje rova. Bager s dubinskom lopatom je zahvatio pijesak te ga polagano spuštao u kanal, pazeći da ne ošteti cijev te da ravnopravno raspodijeli navedeni materijal duž trase. Iz razloga da ne dođe do pomicanja ili oštećenja cijevi, prvo su zatrpani dijelovi rova oko nje, u slojevima 15 cm, s lijeve i desne strane, uz propisno ručno zbijanje. Preostalih 15 cm, iznad i pored cijevi, također je zatrpavano pijeskom 0 - 4 mm, no korišteno je ručno zbijanje, a strojno zbijanje samo na dijelovima na kojima ne može oštetiti cijev. Jedini dijelovi rova koji se ne zatrpavaju su spojevi; tek kada geodeta obavi sve potrebne radnje vezane uz snimanje izvedenog stanja te kada je uspješno obavljena tlačna proba, oni se mogu zatrpati, također ručnim radom, sve prema uputama nadzornog inženjera. Na slici 7 prikazano je zatrpavanje rova.



Slika 7: Zatrpavanje vodovodne cijevi pijeskom 0 - 4 mm

- „Dobava, doprema i zatrpavanje ostatka kanalskog rova i građevinskih jama oko vodovodnih okana zamjenskim materijalom – drobljenim kamenim materijalom bez čestica zemlje veličine 0 - 31 mm. Zatrpavanje kanalskog rova kamenim materijalom u skladu s posebnim uvjetima javnopravnog tijela nadležnog za prometnice koje su obuhvaćene ovim zahvatom u prostoru. Zatrpavanje kamenim materijalom provesti u slojevima od 30 cm uz propisno nabijanje za nerazvrstane ceste  $M_s = 80 \text{ MN/m}^2$  ( $S_z = 98 \%$ ), za županijske i državne ceste  $M_s = 100 \text{ MN/m}^2$  ( $S_z = 100 \%$ ), a za nogostupe  $M_s = 50 \text{ MN/m}^2$  ( $S_z = 95 \%$ ). Kontrolu zbijenosti pojedinih slojeva vrši nadzorni inženjer. Obračun po  $\text{m}^3$  ugrađenog materijala u zbijenom stanju.“ [3]



Način izvođenja:

Nakon zatrpavanja pijeskom sljedeći dio rova zatrpavan je zamjenskim kamenim materijalom bez čestica zemlje veličine 0 - 31 mm. Zamjenski kameni materijal prvo je dobavljen te dopremljen na gradilišni deponij, poštujući sve upute projekta te nadzornog inženjera. On je ugrađivan u slojevima od 15 - 30 cm uz propisno zbijanje, ovisno o vrsti ceste. Ugradnja se najčešće radila na način da kombinirka sa gradilišne deponije doveze materijal u korpi do mjesta ugradnje i istovari ga u kanal. Nakon toga, bagerom je vršeno razastiranje po cijeloj površini rova u zadanoj debljini, maksimalno 30 cm. Nadalje je vršeno zbijanje vibro nabijačem ili valjkom ako je širina rova bila dovoljna da se može koristiti valjak. Na navedenom gradilištu te na temelju projektom zadanog poprečnog presjeka debljina ovog sloja iznosi cca 50 cm tako da je nasipavanje i zbijanje bilo potrebno izvesti u dva sloja, a prva faza navedenih radova prikazana je na slici 8.



Slika 8: Zatrpavanje rova pijeskom



- „Skidanje postojećeg tamponskog sloja ( $d=30$  cm) ostatka prometnog traka državne ili Županijske ceste debljine te izrada novoga tamponskog sloja zamjenskim materijalom - drobljenim kamenim materijalom 0 - 31 mm. Radove izvesti kamenim materijalom u skladu s posebnim uvjetima javnopravnog tijela nadležnog za prometnice koje su obuhvaćene ovim zahvatom u prostoru. Propisano nabijanje za Županijske i državne ceste  $M_s= 100$  MN/m<sup>2</sup> ( $S_z = 100\%$ ). Iskopano tlo odmah odvesti na gradsko odlagalište. U cijenu uključiti naknadu za odlaganje. Sve radove treba uključiti u jediničnu cijenu (kao obilježavanje širine raskopavanja, utovar, i potrebni prijevoz i sl.). Stavka uključuje sve potrebne radove, strojeve i materijal. Obračun po m<sup>2</sup> stvarno obavljenih radova.“ [3]

#### Način izvođenja:

Kada je dio ceste na kojemu se nalazi rov uspješno zatrpan, krenulo je razbijanje asfaltnog zastora duž cijele trase, širine jednakoj postojećoj prometnoj traci. Asfaltni zastor je prvo pažljivo zasijecan kružnom pilom na polovici prometnice, a nakon toga je raskopavan bagerom. Preostalo je još iskopati postojeći tamponski sloj debljine 30 cm. Navedena aktivnost je izvedena bagerom i dozerom, a materijal je zatim kamionom kiperom dopremljen na deponij. Ugradnja zamjenskog sloja je vršena strojno, kao i njegovo zbijanje za koje je korišten valjak. Novi, zamjenski kameni materijal svojom zbijenošću mora odgovarati specifikaciji navedenoj u troškovniku ( $M_s=100$ MN/m<sup>2</sup>), a zbijenost prije asfaltnih radova provjera nadzorni inženjer. Na slici 9 je prikazana ugradnja tamponskog sloja.



Slika 9: Ugradnja tamponskog sloja

- „Dobava, doprema i ugradnja u rov tamponskog sloja ( $d=30\text{ cm}$ ) drobljenim kamenim materijalom  $0 - 31\text{ mm}$  kao završne podloge za asfaltni zastor. Radove izvesti kamenim materijalom u skladu s posebnim uvjetima javnopravnog tijela nadležnog za prometnice koje su obuhvaćene ovim zahvatom u prostoru. Propisano nabijanje za županijske i državne ceste  $M_s=100\text{ MN/m}^2$  ( $S_z=100\%$ ). Stavka uključuje sve potrebne radove, strojeve i materijal. Obračun po  $\text{m}^3$  ugrađenog materijala u zbijenom stanju.“ [3]

Način izvođenja :

Kao zadnji sloj pri zatrpavanju rova ostao je tamponski sloj, veličine kamenog materijala  $0 - 31\text{ mm}$ . On se ugrađivao i zbijao ručno, na pripremljenu podlogu od zamjenskog kamenog materijala na koju je postavljena detektibilna traka. Pri izvođenju radova paženo je da se tamponski sloj nasipa ugradi u zadanoj debljini te da se ne ošteti detektibilna traka. Postupak ugradnje je jednostavan; nakon dobave, kamion kiper je dopremio navedeni materijal te ga direktno istresao u rov. Bager ga je zatim rasprostirao duž rova po cijeloj trasi, a zbijanje je vršeno u slojevima od  $15 - 30\text{ cm}$ . Završni sloj (koji je u ravnini s postojećom trasom) završno se zbio valjcima, a na slici 10 prikazan je ugrađen tampon u rov.



Slika 10: Ugradnja tampona u rov

- „Održavanje cestovne površine drobljenim kamenim materijalom (zrna veličine 0 – 8 mm) za vrijeme izvođenja radova. Tijekom izvođenja radova moguće je onečišćenje zraka česticama prašine te je potrebno preventivno poljevati raskopanu cestovnu površinu na kojima se kreću vozila kako bi se smanjila emisija prašine. Također je potrebno ograničiti brzinu kretanja vozila na gradilištu. Odobrava nadzorni inženjer.“ [3]

Način izvođenja:

Prilikom iskopa, zbog specifičnog položaja novopostavljane trase, ljudima je bilo potrebno omogućiti nesmetani prolaz vozila. Trasa se naime „granala“ na jednome mjestu, dionica „V-3“ se spaja sa dionicom „V-2“, pa je u toj situaciji spoj bilo potrebno riješiti što je brže moguće, po mogućnosti u jednome danu. Navedeni spoj se nalazi na nerazvrstanoj cesti, pa se njegovo nasipavanje izvelo prema dobivenom poprečnom presjeku, izuzev toga što je na sloj tampona dodan drobljeni kameni materijal veličine 0 - 8 mm radi lakšeg te neometanog prometa vozila. On se ugrađivao i razastirao ručno, a zbijao se vibronabijačem. Navedena dionica je svakodnevno zalijevana kako se ne bi stvorila prašina, a postavljen je i znak za ograničenje brzine, kao i drugi znakovi upozorenja s ciljem osiguranja nesmetanog i sigurnog prolaza vozila, na način kako je prikazano na slici 11.



Slika 11: Mjesto spoja dionica „V-2“ i „V-3“



- "Obnova tucaničkog (makadamskog) kolnika drobljenim kamenim materijalom 0 - 63 mm u sloju debljine 30 cm sa nabijanjem do potrebne zbijenosti te zasipavanje gornjeg završnog sloja debljine 10 cm kamenom sitneži veličine 0 - 8 mm uz propisano nabijanje za makadamske kolnike  $M_s=80 \text{ MN/m}^2$ . Obračun po  $\text{m}^2$  obnovljenog makadamskog kolnika." [3]

Način izvođenja:

Temeljem stavaka troškovnika, usvojeno je da će se dionice „V-1“ i „V-2“ asfaltirati, dok će dionica „V-3“ kao nerazvrstana cesta koju koriste samo vlasnici parcela na tom području za završni sloj imati drobljeni kameni materijal veličine čestica 0 - 63 mm. Njega je bilo potrebno dobiti, a onda kamionom kiperom dopremiti na lokaciju te istresti. Bager je kameni materijal rasprostirao duž cijele duljine dionice, a zbijao se valjkom. Kod velikih dužina rasprostiranje makadama može se vršiti grederima. Naposljetku, bilo je potrebno i ugraditi sitni kameni materijal veličine 0 - 8 mm na propisno zbijen tamponski sloj. On je ugrađivan strojno, u debljini 10-ak cm te je zbijan do potrebne zbijenosti, pazeći da se teren dobro isplanira, kao što je prikazano na slici 12.



Slika 12: Obnova tucaničkog kolnika kamenim materijalom

- *"Izrada sanacije dna iskopa zamjenskim slojem debljine 30 cm od zbijenog lomljenog kamena, na mjestu gdje se zadire u loše tlo. Stavka obuhvaća iskop lošeg tla, utovar i odvoz na gradsko odlagalište (u cijenu uključiti naknadu za odlaganje), te nabava, dovoz i ugradnja drobljenog kamenog materijala (zrna veličine 31,5 - 63 mm). Prije ugradnje lomljenog kamena potrebno je ugraditi geotekstil mase 200 g/m<sup>2</sup>, na pripremljenu podlogu. Obračunava se po m<sup>3</sup> stvarno ugrađenog drobljenog kamenog materijala."* [3]

Način izvođenja:

Navedena stavka odnosi na dijelove dionica na koje se ne može direktno ugraditi pješčana posteljica jer bi zbog lošeg tla ona propala u isto. U dnu kanala, prvo je potrebno iskopati dodatnih 30 cm da se navedeno loše tlo ukloni. Najčešće se radi o blatu ili mulju kojega je potrebno sanirati prije ugradnje posteljice. Osnovna zadaća geotekstila je odvojiti dvije vrste materijala s ciljem da se spriječi njihovo međusobno miješanje. Geotekstil se na gradilišnu deponiju isporučuje u rolama, a sve do njegove upotrebe, odnosno ugradnje preporuča ga se prekriti kako bi se zaštitili od vlage. Ugradnja se vrši ručno. Role geotekstila se razmotaju, odrežu na komade potrebne duljine te se pažljivo polažu na što ravniju površinu. Potrebno ga je i dobro zategnuti da ne bi došlo do nabora. Na postavljeni geotekstil se ugrađuje zamjenski kameni materijal, a na njega pješčana posteljica. Na slici 13 prikazana je ugradnja geotekstila kod odvodnih cijevi s obzirom da se geotekstil još uvijek nije koristio u projektu kojega prati ovaj rad.



Slika 13: Ugrađeni geotekstil

## **2.5. Program kontrole i osiguranja kakvoće materijala**

Program kontrole i osiguranja kakvoće za ovaj projekt izrađen je u skladu sa Zakonom o prostornom uređenju i gradnji. Navedenim zakonom su definirane obaveze izvođača, investitora, projektanta, revidenta i nadzornog inženjera, odnosno svih sudionika gradnje. Cilj izvođača je što brže i kvalitetnije te uz što manje troškove postići optimalne rezultate, no uz to mora poštovati razne propise i norme. Iz tog razloga, skupa sa nadzornim inženjerom mora provoditi stalnu kontrolu nad ugrađenom opremom i materijalima, a za svako eventualno odstupanje od projekta, nužno je prvo dobiti suglasnost od nadzornog inženjera, projektanta i investitora.

Prema tome, materijali, građevinski proizvodi te preostala oprema i njihova ugradnja moraju biti u skladu sa zahtjevima hrvatskih normi (HRN EN), tehničkim propisima i drugim zahtjevima koje su navedene u projektnoj dokumentaciji. U slučaju da nije navedena niti jedna HRN EN, izvođač je obavezan držati se odgovarajuće i trenutno važeće europske norme (EN). U sklopu zemljanih radova, program kontrole i osiguranja kakvoće odnosi se na:

- iskop materijala (iskop humusa)

- uređenje temeljnog tla (polaqanjem geotekstila)

- nasipavanja (nasipavanje s nabijanjem u uskom, nasipavanje bez nabijanja u uskom, deponiranje)

- izvedbu rova za cjevovode (širina rova, stabilnost rova, dno rova, odvodnjavanje, zona oko cijevi i razupiranje, izvedba posteljice)

### **2.5.1. Iskop materijala**

Iskop je „odstranjivanje dijela sraslog tla u kojemu je predviđena gradnja nasipa, prometnice ili temelja neke građevine, odnosno iskop u pozajmištu materijala“. [4] On podrazumijeva sve vrste većih zemljanih radova (npr. usjeci, rovovi i sl.) kao i iskope za temelje objekata. Iskop materijala u ovome projektu obuhvaća sljedeće vrste radova:

Iskop humusa : Humus podrazumijeva zemljani materijal u tankom površinskom sloju koji sadrži korijenje, travu te preostale organske tvari koje se ne mogu ugrađivati u rov kanala. Morao se odstraniti s površina na kojima će se nalaziti buduća trasa cjevovoda, kao i odvesti na deponij. Rad se izvodio strojno, ako je bilo potrebno i ručno. Izbor mehanizacije ovisi o izvođaču (buldozer, grejder, skrejper). Zahtjevalo se da od prosječne debljine iskopa odstupanja ne smiju biti veća od 5 cm, a rad se morao obaviti u skladu s projektom, važećim propisima, Općim tehničkim uvjetima i uputama nadzornog inženjera. U slučaju da se humusni sloj i tlo pogodno za zatrpavanje rova ne može odrediti standardnim načinom (vizualnim pogledom), debljina humusnog sloja određuje se na temelju laboratorijskih ispitivanja u kojima se u uzorku promatra sadržaj organskih tvari, sve prema HRN U. B1. 024. Drugi propisi i norme vezane uz iskop ne postoje, a obračun se vrši po m<sup>3</sup> stvarno iskopanog humusa u sraslom stanju. [4]

### **2.5.2. Kontrola kvalitete temeljnog tla**

*Uređenje temeljnog tla* obuhvaća sve vrste radova (nasipavanje, razastiranje, vlaženje ili sušenje te zbijanje materijala) koji se moraju obaviti kako bi temeljno tlo moglo bez ikakvih poteškoća preuzeti opterećenja od nasipa, kolničke konstrukcije i prometnog opterećenja te uspješno osiguralo hidrauličku stabilnost. Tlo se mora urediti prema uputama projekta, propisima, programom kontrole i osiguranja kvalitete (PKOK), uputama nadzornog inženjera te Općim tehničkim uvjetima. U radove uređenja se može krenuti tek kada je uklonjen humus te svo korijenje koje bi moglo smetati pri uređenju. Tlo je prvo potrebno dovesti u stanje vlažnosti u kojemu će se potrošiti manje energije pri zbijanju. Optimalna vlažnost se postiže kontrolom prirodne vlažnosti tla, a po potrebi njegovim sušenjem, odnosno vlaženjem. Kada materijal postigne optimalnu vlažnost po Proctorovom postupku (postupak kojime se ispituje zbijenost tla pod određenim uvjetima radi određivanja odnosa između udjela vlage i gustoće suhoga materijala, norma HRN U.B1.038), odnosno od njega odstupa najviše 3 %, dopušteno je krenuti u zbijanje. Poželjno bi bilo da se temeljno tlo zbije odmah nakon uklanjanja humusa, a prije zbijanja potrebno je površinu tla izravnati. Način zbijanja kao i mehanizaciju odabire izvođač, ovisno o vrsti tla. Propisno zbijeno temeljno tlo ne smije biti izloženo atmosferskim utjecajima, zimskim uvjetima ili prometnom opterećenju.

Kontrola kvalitete temeljnog tla i njegove zbijenosti provodi se prema slijedećim normama :

Uzimanje uzoraka tla prema HRN U.B1.010/79

Određivanje vlažnosti uzoraka tla prema HRN U.B1.012/79

Određivanje specifične težine tla prema HRN U.B1.014/68

Određivanje zapreminske težine tla prema HRN U.B1.016/68

Određivanje granulometrijskog sastava prema HRN U.B1.018/80

Određivanje granica konzistencije tla, Aterbergove granice prema HRN U.B1.020/80

Određivanje sadržaja sagorljivih i organskih materija tla prema HRN U.B1.024/68

Određivanje optimalnog sadržaja vode prema HRN U.B1.038/68

Određivanje modula stižljivosti metodom kružne ploče prema HRN U.B1.046/68

Određivanje sadržaja karbonata tla prema HRN U.B1.026 [5]



### **2.5.2.1. Kontrola kvalitete geotekstila**

*Uređenje temeljnog tla polaganjem geotekstila* koristi se pri uređenju slabo nosivog ili previše vlažnog temeljnog tla, odnosno posteljice s ciljem da se omogući uspješno preuzimanje opterećenja. Rad uključuje pripremu i sanaciju temeljnog tla na koje se polaže geotekstil, dobavu i dopremu geotekstila na gradilište, njegovo skladištenje, ugradnju, razastiranje i spajanje. Izvođač je pri nabavi dužan pribaviti tehničke karakteristike i specifikacije materijala s navedenim područjima primjene i uputama o načinu spajanja. Geotekstil se može upotrijebiti i u slučaju kada se ne mogu postići zahtjevi traženi u Općim tehničkim uvjetima. Primarna funkcija mu je odvojiti materijale različitog granulometrijskog sastava na dijelovima trase koje su zadane u projektu, a potvrđuje ih nadzorni inženjer. Navedenim odvajanjem sprječava se gubitak krupnozrnatog materijala koji bi se utisnuo u sitnozrnati, zbijanje se obavlja lakše te je krajnji rezultat kvalitetniji, a u dugoročnom pogledu se sprječava smrzavanje temeljnih slojeva njihovom izolacijom. Prema Općim tehničkim uvjetima Hrvatskih cesta, geotekstil ima četiri primarne funkcije ; razdvajanje, pojačanje, filtriranje i dreniranje. Razdvajanjem se sprječava miješanje slojeva, pojačavanjem se učvršćuje zbijenost i poboljšava njena nosivost, a filtriranjem i dreniranjem se omogućava pravilno odvođenje vode s tla.

Geotekstil, kao i preostale materijale u ugradnji potrebno je prvo provjeriti na određena svojstva. Navedena svojstva provjeravaju se *mehaničkim* i *hidrauličkim* ispitivanjima.

*Mehanička ispitivanja* se provode iz razloga da se vidi može li materijal izdržati dinamička i statička naprezanja, a provjere koje se koriste su:

- a) Ispitivanje statičkim probijanjem - simuliranje opterećenja geotekstila pri zbijanju grubog zrnatog materijala.
- b) Vlačno ispitivanje – postupak kojime se određuje najveća vlačna sila te najveće naprezanje, a dobivene vrijednosti su mjerodavne značajke materijala.
- c) Ispitivanje dinamičkim probijanjima – simuliranje zatrpavanje geotekstila materijalom za izradu nasipa.
- d) Dinamičko ispitivanje proboja piramidom - simuliranje različitih opterećenja na geotekstil.

*Hidraulička ispitivanja* provodi organizacija za kontrolu kvalitete, a ono se obavlja na po jednom reprezentativnom uzorku koji se predviđa za primjenu. Odluku o primjeni donosi nadzorni inženjer. Hidraulička svojstva geotekstila koja se ispituju su:

- Vodopropusnost – postupak u kojemu se okomito na ravninu geotekstila i u njegovoj ravnini pod različitim opterećenjima ispituje njegova otpornost na vodu.
- Djelotvorna veličina otvora – određivanje efektivne veličine otvora mokrim sijanjem propisanog tla, sve prema normi HR EN ISO 12956

Preostale norme koje se koriste pri ispitivanju osnovnih svojstva geotekstila su :

- DIN 53363    Određivanje čvrstoće na paranje
- DIN 53853    Određivanje mase
- DIN 53855    Određivanje debljine
- DIN 53857    Određivanje vlačne čvrstoće
- DIN 53858    Određivanje Grab vlačne čvrstoće
- DIN 54307E    CBR pokus [4]

### **2.5.3. Kontrola kvalitete kamenog materijala za nasipavanje**

Nasipavanje rova se izvodilo u nekoliko faza, koristeći različitu mehanizaciju te različite materijale. Rad je morao biti obavljen u skladu s projektom, propisima, programom kontrole i osiguranja kakvoće (PKOK), projektom organizacije građenja (POG), zahtjevima nadzornog inženjera i Općim tehničkim uvjetima. U projektu izgradnje novog vodoopskrbnog cjevovoda u općini Fužine, nasipavanje obuhvaća sljedeće vrste radova: nasipavanje s nabijanjem u uskom, nasipavanje bez nabijanja u uskom i deponiranje.

*a) Nasipavanje s nabijanjem u uskom* izvodi se od kamenih materijala različitih frakcija. Na pripremljeno temeljno tlo ugrađuje se materijal zadan u projektu, sve prema poprečnom presjeku. Razastire se vodoravno u uzdužnom smjeru kombinirano strojno - ručnim radom. Izvođač je potreban osigurati materijal tražene kvalitete koje potom provjerava nadzorni inženjer. S nasipavanjem novoga sloj može se početi tek kada je stari propisno zbijen te kada je tražena zbijenost potvrđena ispitivanjem. Izvođač je obvezan o svome trošku kontinuirano vršiti ispitivanja i kontrolu kvalitete materijala te rezultate predavati nadzornom inženjeru. U navedenu svrhu, izvođač će angažirati ovlaštenu organizaciju putem koje će održavati laboratorij na gradilištu te vršiti sva ispitivanja i kontrole. Norme po kojima se obavlja kontrola kvalitete kamenog materijala su:

- HRN EN 1097-5:2008      Određivanje sadržaja vode sušenjem u ventilirajućem sušioniku
- HRN EN 933-1:2012      Određivanje granulometrijskog sastava – metoda sijanja
- HRN EN 933-1:2012      Određivanje udjela sitnih čestica (granulometrijski sastav)
- HRN U.B1.016              Određivanje stupnja zbijenosti ( $S_z$  u odnosu na standardni Proctor)
- HRN U.B1.046              Određivanje modula stišljivosti  $M_s$  [5]

*b) Nasipavanje bez nabijanja u uskom* se koristi pri izradi nasipa i zasipa na otvorenim prostorima manjih dimenzija. Izvodi se na način da se prvo pripremi temeljno tlo, a na njega se postavlja materijal koji se onda obrađuje, odnosno rasprostire. Za razliku od nasipavanja s nabijanjem u širokom prostoru, nasipavanje bez nabijanja se sastoji samo od zbijanja pod utjecajem prolaza mehanizacije, bez sistematskog nabijanja po slojevima. Rad se izvodi u suhome, a po potrebi se mogu poduzeti radovi osiguranja pokusa iskopa (razupiranje) te crpljenje vode. Norme koje se koriste pri ovoj vrsti radova su :

- HRN EN 1097-5:2008      Određivanje sadržaja vode sušenjem u ventilirajućem sušioniku
- HRN EN 933-1:2012      Određivanje granulometrijskog sastava – metoda sijanja
- HRN EN 933-1:2012      Određivanje udjela sitnih čestica (granulometrijski sastav) [5]

c) *Deponiranje* materijala je također vrlo važna stavka zemljanih radova. Materijal se na gradilište doprema kamionom kiperom, a privremeno se odlaže na odlagališta koja su određena projektom ili od strane nadzornog inženjera. Odlagališta su prostor za odlaganje materijala prije njegove ugradnje, kao i mjesto gdje se odlaže humus te višak materijala iz iskopa. Prostor buduće deponije mora se prvo rasčistiti sječom vegetacije do tla te njegovim grubim poravnanjem. Odlagalište mora imati definiran i uređen prilazni put, kao i određenu zbijenost završnog sloja radi lakšeg i nesmetanog prolaska teretnih vozila. Pri završetku radova, potrebno je izvršiti završno oblikovanje deponije s ciljem da se ona što bolje i prirodnije uklopi u okolinu. Posebni zahtjevi kvalitete nisu propisani, potrebnu zbijenost procijenjuje i definira sam izvođač, a obračun se vrši po m<sup>3</sup> izgrađenog i uređenog odlagališta. Propisi i norme za ovu vrstu radova nisu definirani.

#### 2.5.4. Izvedba rova za cjevovode

Prilikom izgradnje vodoopskornog cjevovoda, izvedba rova u koji će se položiti vodovodna cijev sastavni je dio projekta. Rov se izvodi za to prikladnom mehanizacijom, a ovisno o vrsti ceste na koju se izgrađuje, mijenjaju mu se specifikacije te poprečni presjek. Rov ima slijedeće karakteristike : *širina, stabilnost, dno, odvodnjavanje, zona oko cijevi i razupiranje, izvedba posteljice*

*Širina rova* je propisana normom EN 1610, a mora biti jednaka ili veća od vrijednosti prikazanih u tablicama br 1., 2. i 3. , izuzev u sljedećim slučajevima :

- a) kad osoblje nikad ne ulazi u rov, npr. kod automatizirane tehnike polaganja;
- b) kad osoblje nikad ne ulazi u prostor između cjevovoda i stjenke rova;
- c) na uskim mjestima i kod nepredviđenih situacija. [6]

**Tablica 1: Najmanja širina rova, ovisno o nazivnom promjeru DN [6]**

Promjer cijevi	Najmanja širina rova (OD + x) [m]		
	razuprti rov	nerazuprti rov	
		$\beta > 60^\circ$	$\beta \leq 60^\circ$
DN $\leq$ 225	OD + 0,40 m		OD + 0,40 m
255 < DN $\leq$ 350	OD + 0,50 m		
350 < DN $\leq$ 700	OD + 0,70 m		
700 < DN $\leq$ 1200	OD + 0,85 m		
DN > 1200	OD + 1,00 m		
x/2 ... minimalni radni prostor između cijevi i zida rova odnosno razupore OD ... vanjski promjer cijevi u metrima			

**Tablica 2: Najmanja širina rova ovisno o dubini rova [6]**

Dubina rova d [m]	Najmanja širina rova b [m]
$d < 1,00$ m	nije zadana
$1,00 \text{ m} \leq d \leq 1,75$ m	0,80 m
$1,75 \text{ m} < d \leq 4,00$ m	0,90 m
$d > 4,00$ m	1,00 m

**Tablica 3: Najmanja širina rova za polaganje cijevi [6]**

Dubina rova d [m]	Najmanja širina rova b [m]		
	Promjer cijevi		
	do DN 200	od DN 200 do DN 350	od DN 350 do DN 700
$d \leq 1,75$	min. 0,50 m	OD + 0,40 m	OD + 0,50 m
		min. 0,50 m	
$1,75 < d \leq 4,00$	min. 0,70 m	OD + 0,50 m	OD + 0,60 m
$d > 4,00$	min. 0,90 m	OD + 0,60 m	OD + 0,70 m
		min. 0,90 m	

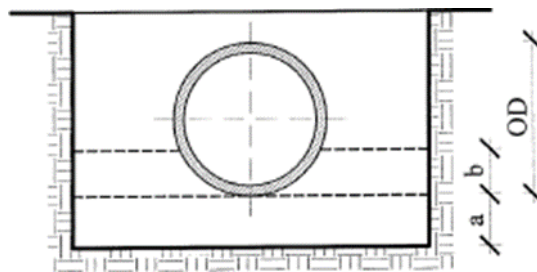
*Stabilnost rova* postiže se razupiranjem ili skošenjem bokova rova, odnosno drugim prikladnim postupcima poput njegovog dodatnog osiguranja. Skidanje razupora treba obaviti u skladu sa statičkim proračunom, tako da se cjevovod ne ošteti niti da se promijeni njegov položaj te da se spriječi odronjavanje materijala. Posebne norme i propisi nisu propisani. [6]

*Dno rova* mora imati nagib koji odgovara zahtjevu projekta te također ugrađen materijal propisan projektom. Dno rova mora biti prilagođeno kako se ne bi oštetila cijev, a obavezno je postići određenu kvalitetu nosivosti kako bi moglo podnijeti daljnja prometna i kolnička opterećenja. U slučaju smrzavanja može biti potrebno štititi dno rova, tako da zamrznuti slojevi ne ostaju ispod cjevovoda ili oko cjevovoda.

*Odvodnjavanje rova* važna je stavka njegovog uređenja. Nakon što se vodovodna cijev uspješno ugradila, nju je potrebno održati suhom, što znači spriječiti njen doticaj sa oborinskim ili izvorskim vodama. Poželjno je isti dan zatrpati rov barem do određene visine, što zbog sigurnosti na radu, a što zbog osiguranja da u slučaju većih oborina ili poplava ne dođe do ispiranja finog materijala na koji je položena cijev, odnosno kojime je cijev zatrpana u visini 30 cm.

*Zona oko cijevi i razupiranje* definira način izvedbe rada oko cijevi, kao i razupiranje rova duž trase. Materijal prije ugradnje treba biti provjeren od strane nadzornog inženjera kako bi se utvrdilo da odgovara zahtjevima projekta. Sve preostali radovi u rovu poput ugradnje razupora, debljine određenih slojeva te zbijanja oko cijevi moraju se odraditi prema uputama iz projekta te nadzornog inženjera, a odabiru se s obzirom na : svojstva tla, veličinu cijevi te cijevni materijal i debljinu stijenke cijevi. Širina posteljice mora biti jednaka širini rova, a cijev se zasipava istim materijalom u najmanjoj debljini od 20 cm.

*Izvedba posteljice* obavezna je pri izgradnji vodoopskrbnog sustava. Posteljica mora biti frakcije 0 - 4 ili 0 - 8 mm, a postavlja se duž cijele trase cjevovoda, izuzev mjesta gdje se nalaze hidranti, muljni ispusti i odzračni ventili, širine jednako širini rova, osim ako nije projektom nije drugačije navedeno. Pri njenj ugradnji treba paziti na debljinu slojeva. Osim ako nije drugačije navedeno, debljina donjeg sloja posteljice (ispod vodovodne cijevi) prema normi EN 1610 iznosi 10 cm kod normalnih uvjeta tla, a 15 cm kod stijene ili tvrdog tla. Debljina gornjeg sloja posteljice (oko vodovodne cijevi) ovisi o njenom promjeru, a jedan od načina izvedbe posteljice prikazan je na slici 14.



Slika 14: Način izvedbe posteljice [6]

### 3. Općenito o dobavljaču kamenog materijala

#### 3.1. Opis kamenoloma

Izvođač radova „Građevinar d.o.o.“ sav potrebni zamjenski kameni materijal nabavlja iz kamenoloma Mrkovac, prvenstveno iz razloga blizine kamenoloma gradilištu. Kamenolom „Mrkovac“ nalazi se na području općine Mrkopalj, ispod istoimenog brda, a do njega se dolazi cestom koja vodi kroz Lučice. Vlasnik kamenoloma je firma „MiTeh d.o.o.“, a s radom je započeo 2005. godine. Prema dobivenim podacima, trenutno je na samom kamenolomu zaposleno četrnaest ljudi, a sveukupno njih četrdeset i sedam, uključujući i vozače, automehaničare te sve preostale djelatnike koji ne rade striktno na kamenolomu, ali su direktno povezani s njime. Samo postrojenje kamenoloma sastoji se od građevinskog dijela na kojemu se eksploatira i skladišti građevinski kamen te laboratorijskog dijela u kojemu se provode potrebna ispitivanja.

U građevinskom postrojenju, rad se odvija u dvije kategorije. U prvoj kategoriji, kamen se nakon miniranja vadi u blokovima i kao takav se prodaje i koristi za izradu obaloutvrda (Rip-rap). Prostali materijal nakon miniranja koristi se za nasipavanja uglavnom šumskih puteva. Druga kategorija je više vezana uz samu niskogradnju, kao i osiguranje kamenog materijala frakcija za pripravu betona, no ona je produkt dalje proizvodnje – mljevenja kamena.



Slika 15: Kamenolom Mrkovac



### **3.2. *Proizvodi i ustroj rada kamenoloma***

Sama struktura i ustroj rada kamenoloma organizirani su tako da se većina kamenog materijala proizvodi za drugu kategoriju, a to znači da se veliki kameni blokovi razbijaju te potom siju na određene frakcije koje su u tome trenutku potrebne. Kamenolom trenutno proizvodi pet vrsta drobljenih dolomitnih agregata koji su podijeljeni na frakcije od 0 - 4 mm, 4 - 8 mm, 8 - 16 mm, 16 - 22 mm te 16 - 32 mm, sve prema normi EN 12620 : 2002 + A1 : 2008 (HRN EN 12620 : 2008). Postupak rada nije složen. Eksplozivom se razbije stijena i načne nova fronta rada, a kamen se hidrauličnim čekićima razbija u manje blokove. Na spomenutoj lokaciji, miniranje se vrši sa 6000 – 8000 kg eksploziva, ovisno o vrsti stijene i potrebnim količinama kamenih materijala. Nakon što je kamen uspješno izvađen iz stijenske mase, on se bagerom utovaruje na damper koji ga odvozi na drobilicu. Drobljenje ima dvije vrste, primarnu i sekundarnu. U primarnoj fazi drobilica ima dvije zadaće; prva je ukloniti sav humus, mahovinu ili zemlju sa kamena iz razloga kako bi bio čist te se nesmetano koristio u daljnjim građevinskim procesima. Druga zadaća je njegovo drobljenje na manje dijelove, točnije na veličinu od 0 - 61,5 mm, a navedena radnja se u kamenolomu vrši jednom od najsuvremenijih udarno - rotacijskih drobilica LT 1110. Nakon što se kamen uspješno zdrobio na manje dijelove, kreće se u njegovo sekundarno drobljenje na konusnim mlinovima. Procesi primarnog i sekundarnog drobljenja su u potpunosti digitalizirani. Ovlaštena osoba preko računala drobljeni kamen raspoređuje u kategorije, što znači da se on nakon drobljenja pokretnim trakama razvrstava i šalje prema deponiju prosijanih veličina zrna određenih frakcija. Svaka od pokretnih traka mora sadržavati sito za prosijavanje, pa u slučaju kada je kameni agregat prevelik za određenu frakciju, on se drugom pokretnom trakom vraća na ponovni proces drobljenja. Cijeli proces je kontroliran i certificiran sa dva sustava certifikacije, EN ISO 9001:2000 i IGH CERT, a na slikama 16 i 17 su prikazani radovi na kamenolomu te uzimanje kamenog uzorka.



Slika 16: Doprema kamena do drobilice



Slika 17: Uzimanje uzoraka frakcije 0 - 4 mm

### **3.3. Karakteristike kamenog materijala**

Zamjenski kameni materijal koji se ugrađuje u rov mora imati određene karakteristike. Pri kupovini, kao i ugradnji materijala, izvođač dobiva specifikaciju od dobavljača te sustavno provodi testiranja koja su određena projektom. Namjena agregata je za izradu betona za primjenu u zgradama, cestama i drugim građevinskim radovima, kao i njegovo korištenje kao „sirovog“ kamenog materijala. Usklađena norma po kojoj se odvija proizvodnja je : EN 12620 : 2002 + A1 : 2008 (HRN EN 12620 : 2008). Prijavljeno tijelo je br. 2477, Institut IGH d.d., Janka Rakuše 1, Zagreb, a certifikat o sukladnosti kontrole tvorničke proizvodnje je br. 2477 - CPR - 2267. Navedenim certifikatom se potvrđuje da su primijenjene sve odredbe koje se odnose na ocjenjivanje i provjeru stalnosti svojstava, u skladu sa sustavom za ocjenu i provjeru stabilnosti svojstava (2+) te da kontrola tvorničke proizvodnje ispunjava sve propisane zahtjeve.

Karakteristike kamenog materijala koje je dostavio dobavljač navedene su u tablici 4.

**Tablica 4: Karakteristike kamenog materijala iz kamenoloma Mrkovac**

BROJ IZJAVE O SVOJSTVIMA		0008001	0008003	
VRSTA PROIZVODA	drobljeni dolomitni agregat Mrkovac	0/4mm	8/16 mm	
BITNE ZNAČAJKE	<b>SVOJSTVA</b> u skladu s EN 12620:2002 + A1:2008			
Oblik zrna, veličina i gustoća	Frakcija agregata d/D	<b>0/4</b>	<b>8/16</b>	
	Granulometrijski sastav	<b>G<sub>F</sub> 85; CP</b>	<b>G<sub>c</sub> 85/20</b>	
	Oblik zrna krupnog agregata – Indeks oblika	<b>NPD</b>	<b>S/15</b>	
	Gustoća agregata (Mg/m <sup>3</sup> )	$\rho_a$	<b>2,84</b>	<b>2,85</b>
		$\rho_{rd}$	<b>2,80</b>	<b>2,81</b>
		$\rho_{ssd}$	<b>2,82</b>	<b>2,82</b>
	Upijanje vode (%)	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	
Nasipna gustoća (Mg/m <sup>3</sup> )	<b>1,55</b>	<b>1,40</b>		
Čistoća	Sadržaj sitnih čestica	<b>f<sub>10</sub></b>	<b>f<sub>1,5</sub></b>	
	Kvaliteta sitnih čestica SE <sub>4</sub> (%)	<b>76</b>	<b>NPD</b>	
Otpornost na drobljenje/lomljenje	Otpornost na drobljenje krupnog agregata	<b>NPD</b>	<b>LA<sub>30</sub></b>	
Sastav/sadržaj	Kloridi	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	
	Sulfati topivi u kiselinu	<b>AS<sub>0,2</sub></b>	<b>AS<sub>0,2</sub></b>	
	Ukupni sumpor (%)	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	
	Sastojci koji povećavaju brzinu vezanja i očvršćivanja betona – sadržaj humusa	<b>nema</b>	<b>NPD</b>	
	Petrografski opis	<b>dolomit</b>		
Opasne tvari	Opuštanje opasnih tvari	<b>prirodni kamen – nema otpuštanja opasnih tvari</b>		
Postojanost na smrzavanje/odmrzavanje	Otpornost krupnog agregata na smrzavanje i odmrzavanje	<b>NPD</b>	<b>MS<sub>18</sub></b>	

## 4. Laboratorijska ispitivanja kamenog materijala

### 4.1. Postupak i rezultati laboratorijskih ispitivanja

Za potrebe laboratorijskog ispitivanja, iz kamenoloma Mrkovac su preuzete dvije frakcije kamenog materijala, jedna veličine 0 - 4 mm, a druga 8 - 16 mm. Ispitivanja su se provodila u prostorijama Građevinskog fakulteta u Rijeci, a upotrijebljeni kameni materijal je testiran na: *udio sitnih čestica, gustoća i volumensku masu, nasipnu gustoću u zbijenom stanju, apsorpciju, ekvivalent pijeska te granulometrijski sastav*. U nastavku poglavlja, svaki od navedenih postupaka je objašnjen te potkrijepljen odgovarajućim fotografijama, a rezultati ispitivanja su prikazani u tablicama. Važno je napomenuti da su se laboratorijska ispitivanja provodila u dva navrata, odnosno dva dana. U prvome danu, dio materijala se namočio te je pušten u vodi dvadeset i četiri sata sata, a dio materijala se stavio sušiti na temperaturi od 110 °C.

#### **4.1.1. Gustoća i volumenska masa**

Gustoća i volumenska masa određeni su na krupnom i na sitnom agregatu (pijesak). Prvo ispitivanje je provedeno na sitnome agregatu, a materijali koji su se pri ispitivanju koristili su: pijesak (0 - 4 mm), piknometar, lopatica, vaga, kalup krnjeg stošca i željezna šipka. Pijesak frakcije 0 - 4 mm se prvoga dana ispitivanja isprao na situ 0,063 mm i namočio te je tako potopljen u vodi pušten da odstoji dvadeset i četiri sata. Drugi dan ispitivanja, prvo je napunjen piknometar vodom do naznačene razine te je potom izvagan. Nakon što se radnja uspješno izvršila, mala količina vode se odlila iz piknometra. Također, izlivena je sva voda koja se nalazila u posudi s pijeskom kako bi se on nesmetano mogao prebaciti u piknometar. Pijesak je zatim pažljivo lopaticom ubacivan u piknometar, pritom pazeći da se ne rastrese nego da cjelokupna masa završi u piknometru. Piknometar je potom lagano rotiran i protresen, osiguravajući time da se odstrani sav uhvaćeni zrak. Nakon što je uspješno odstranjen zrak, piknometar je ponovno napunjen vodom do označene razine, obrisan te izvagan. Njegova masa u ovome slučaju je zbroj masa piknometra te pijeska i vode koji se nalaze u njemu. Potom je pijesak izvađen iz piknometra i izvagan dok je još vlažan. Uzorak pijeska se poslije toga prenio u posebnu posudu, rasprostrio duž nje te je sušen dok se nije ocijenilo da je zasićen i površinski suh. Kada je osušen, ubačen je u netom postavljeni kalup oblika krnjeg stošca koji je položen na način da mu je baza postavljena na podlogu. Kalup je zatim napunjen do vrha te lagano nabijen sa dvadeset i pet udaraca šipkom. Kalup se zatim pažljivo podigao, a rezultat (ne)ispravnosti pokusa je odmah vidljiv; ukoliko se pijesak u potpunosti rastresao, znači da je bio presušen, a ukoliko je zadržao oblik stošca, znači pak da i dalje ima previše vlažnosti te je potrebno dodatno sušenje. Idealni rezultat je između navedenih rješenja. Sljedeći korak je vaganje zasićenog površinsko suhog pijeska. On je izvagan na zraku, a zatim dodatno osušen do stalne mase i kao takav se vagao još jednom.



Slika 18: Uzorak nakon što je podignut kalup

Drugo ispitivanje se provodilo na agregatu veličine zrna 8 - 16 mm, a materijali koji su se koristili su: agregat veličine zrna 8 - 16 mm, mrežasta košara, vaga i krpa. Prvoga dana ispitivanja, agregat je nekoliko puta ispran iz razloga da se odstrane prašinate čestice i gline, a potom je potopljen u vodu te je takav pušten da odstoji dvadeset i četiri sata. Agregat je zatim ocijeđen kroz mrežastu košaru te je izvedeno vaganje pod vodom te vaganje na zraku. Kada se agregat izvagao prvi puta, obrisan je krpom da se odstrani vidljivi sloj vode. Tako osušen, površinski suh agregat ponovno je vagan, prvo na zraku, pa onda ponovno pod vodom. Postupak vaganja pod vodom izveden je pažljivo, na način da se mrežasta košara prvo tarira pod vodom. Nakon toga, u nju je ubačen agregat te se ona izvagala. Agregat se potom prebacio u posebnu posudu te je osušen do stalne mase. Rezultati testiranja pijeska i agregata prikazani su u tablicama 5 i 6, a samo vaganje pod vodom na slici 19.





Slika 19: Vaganje materijala pod vodom

**Tablica 5: Izmjerena svojstva kamenog materijala**

SVOJSTVO			MATERIJAL	
			krupni agregat	pijesak
masa vlažnog materijala	$m_{wv}$	g	1232	614,6
masa materijala zasićenog površinski suhog	- vaganog na zraku	$m_z$	g	1194,5
	- vaganog pod vodom	$m_{zw}$	g	646,45
masa suhog materijala	$m_d$	g	1183,4	530,6
masa piknometra ispunjenog vodom	$m_{Bw}$	g	-	963,1
masa materijala + piknometra + vode	$m$	g	-	1315,2
masa materijala u rastresitom stanju	$m_r$	g	-	-
masa materijala u zbijenom stanju	$m_n$	g	8074	1817,2
volumen posude	$V_g$	cm <sup>3</sup>	5000	1000



**Tablica 6: Gustoće i volumenske mase**

SVOJSTVO		FORMULE	jedinica	MATERIJAL			
				KRUPNI AGREGAT	FORMULE	PIJESAK	
gustoća		$\rho_0$	$\frac{m_d \cdot \rho_w}{m_d - m_{zW}}$	g/cm <sup>3</sup>	2,20	$\frac{m_d \cdot \rho_w}{m_{bw} - m + m_d}$	2,97
volumenska masa	suhog materijala	$\rho_{z(d)}$	$\frac{m_d \cdot \rho_w}{m_z - m_{zW}}$	g/cm <sup>3</sup>	2,16	$\frac{m_d \cdot \rho_w}{m_{bw} - m + m_z}$	2,73
	zasićenog površinski suhog	$\rho_{z(ZPS)}$	$\frac{m_z \cdot \rho_w}{m_z - m_{zW}}$	g/cm <sup>3</sup>	2,18	$\frac{m_z \cdot \rho_w}{m_{bw} - m + m_z}$	2,81
nasipna gustoća	rastresita	$\rho_r$	$\frac{m_r}{V_g}$	g/cm <sup>3</sup>			
	zbijena	$\rho_n$	$\frac{m_n}{V_g}$	g/cm <sup>3</sup>	1,61		1,82

#### **4.1.2. Nasipna gustoća u zbijenom stanju**

Nasipna gustoća je ispitivanje koje se također vršilo u dva dana, a koristile su se dvije frakcije, jedna od 0 - 4 mm, a druga od 4 - 16 mm, sve prema normi HRN EN 1097-3:2004. Prvoga dana, materijal je prosijan na određene frakcije te je takav ostavljen sušiti se na temperaturi od 110 °C do stalne mase. Drugi dan ispitivanja, pijesak i kameni agregat koji su propisno osušeni prebačeni su u manje posude različitih volumena; pijesak u posudu volumena 1000 cm<sup>3</sup>, a kameni agregat u posudu volumena 5000 cm<sup>3</sup>. Prije prebacivanja pijeska i agregata, posude su se tarirale kako ne bi došlo do pogreške prilikom vaganja. Pijesak i kameni agregat su istim postupkom prebačeni u posude, pomoću lopatice, a navedena radnja je izvedena na način da se prvo napunilo 1/3 posude i onda se nabilo s dvadeset i pet udaraca šipkom za nabijanje tako da šipka prodre do dna posude. Potom je ubačeno još materijala, do visine koja je pokrivala 2/3 ispunjenosti posude i ponovno se nabilo šipkom, ovoga puta do visine prethodnog sloja materijala. Nakon toga posude su se prepunile agregatom te su još jednom nabijene sa šipkom da se materijal stabilizira. Preostali višak materijala je uklonjen ravnjačom na način da se hrpa na vrhu prerezala, odnosno podijelila po zamišljenom promjeru posude, a agregat je zatim gurnut od polovice izvan posude. Preostalo je još odrediti masu zbijenog uzorka vaganjem na vagi koja je tarirana. Rezultati su prikazani u tablici 7.

**Tablica 7: Masa zbijenog materijala**

SVOJSTVO			MATERIJAL	
			krupni agregat	pijesak
masa materijala u zbijenom stanju	$m_n$	g	8074	1817,2

### **4.1.3. Apsorpcija vode**

Provedeno je ispitivanje apsorpcije agregata, prema normi HRN EN 1097-6:2013, a u tablici 8 su prikazane dobivene vrijednosti apsorbirane vode, površinske i ukupne vlažnosti materijala.

**Tablica 8: Apsorbirana voda, površinska vlažnost, vlažnost**

SVOJSTVO		FORMULE	MATERIJAL	
			KRUPNI AGREGAT	PIJESAK
APSORBIRANA VODA $A_w$	(% m)	$\frac{m_z - m_d}{m_d} \cdot 100$	0,94	3,03
	(% vol.)	$\frac{(m_z - m_d) \cdot \rho_0}{m_d \cdot \rho_w} \cdot 100$	2,06	9,01
POVRŠINSKA VLAŽNOST $A_s$	(% m)	$\frac{m_{wv} - m_z}{m_d} \cdot 100$	3,17	12,8
	(% vol.)	$\frac{(m_{wv} - m_z) \cdot \rho_0}{m_d \cdot \rho_w} \cdot 100$	6,97	38,01
VLAŽNOST $W$	(% m)	$\frac{m_{wv} - m_d}{m_d} \cdot 100$	4,11	15,83
	(% vol.)	$\frac{(m_{wv} - m_d) \cdot \rho_0}{m_d \cdot \rho_w} \cdot 100$	9,03	47,02

#### **4.1.4. Granulometrijski sastav agregata**

Ispitivanje granulometrijskog sastava agregata provedeno je na uzorcima frakcija 0 - 4 mm i 8 - 16 mm koji su potpuno suhi, a materijali koji su korišteni su: sijačica, garnitura sita, nepropusna posuda koja se postavlja ispod najdonjeg sita, poklopac za najgornje sito, metalna tacna, razdjelnik, vaga i četke. U prvome dijelu ispitivanja, smanjena je masa ispitnih uzoraka, sukladno normi HRN EN 932-2. Smanjivanje uzoraka provedeno je preko razdjelnika, spravom koja smanjuje uzorak agregata na količinu testnog uzorka. Radnja je izvedena na način da se svaki uzorak pomalo sipao kroz razdjelnik, pazeći da se rasprostire jednoliko, duž cijele širine razdjelnika. Razdjelnik odvaja kameni materijal u dvije manje posude, a od toga se jedna odstranila, a kameni agregat iz druge posude se koristio prvo za vaganje materijala, a potom za njegovo daljnje korištenje u sljedećim dijelovima ispitivanjima. U drugome dijelu ispitivanja, set sita otvora veličine od 0,125 mm do 16 mm se posložio od vrha do dna, na način da su gore sita s većim otvorom, a zatim se usuo materijal u najgornje sito. Sita je zatim bilo potrebno prebaciti na uređaj za sijanje, staviti poklopac na najgornje sito te uključiti uređaj i pustiti ga da sije određeno vrijeme, ovisno o broju sita koje se koristi. Kada je sijanje završilo, uklonio se poklopac, uzeto je najgornje sito te je lagano protreseno, provjeravajući i osiguravajući time da je postupak dobro izveden, odnosno da su svi materijali manjih frakcija prošli kroz navedeno sito. Sljedeći korak je vaganje ostataka na situ, krenuvši od najvećeg do najmanjeg te zapisivanje rezultata. Postupak određivanja granulometrijskog sastava agregata je jednak za bilo koju frakciju, jedino se mijenjaju veličina i broj sita, ovisno o frakciji koja se koristi. Rezultati prosijavanja agregata frakcije 0 - 4 mm su prikazani u tablici 9, a rezultati prosijanog agregata frakcije 8 - 16 mm u tablici 10. „Slaganje“ sita prema veličini prikazano je na slici 20.



Slika 20: Priprema materijala za prosijavanje

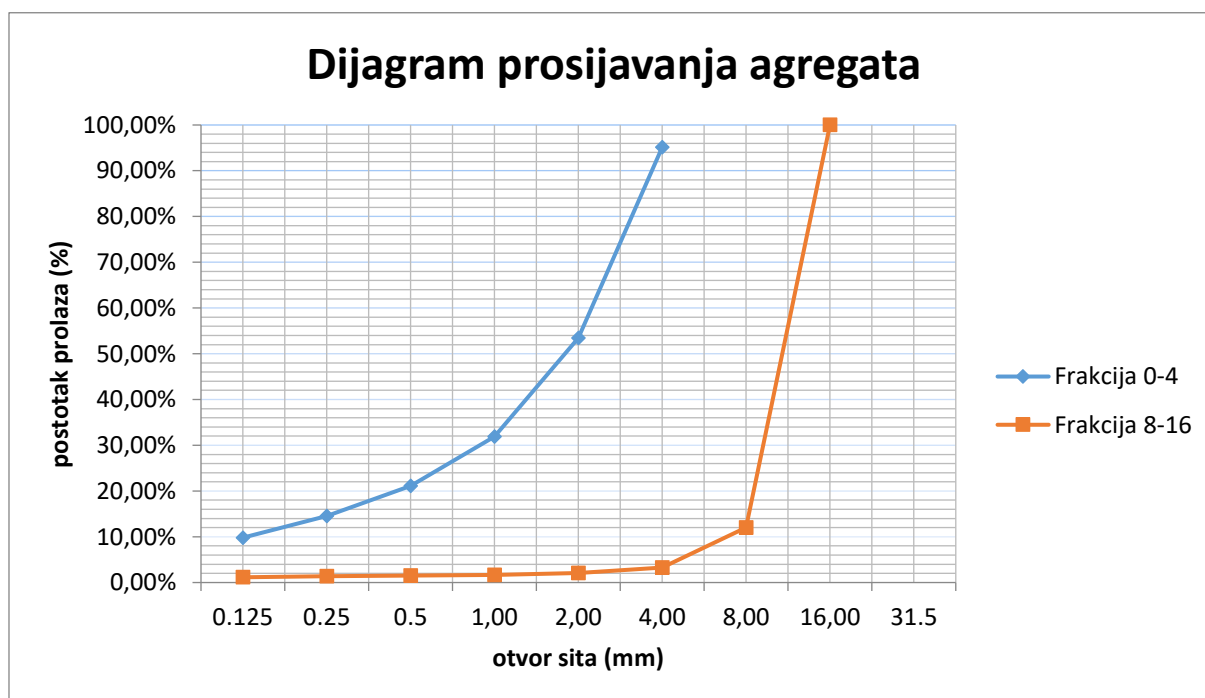
**Tablica 9: Rezultati prosijavanja agregata**

<b>Frakcija (mm): 0 - 4</b>			
<b>Masa, <math>M_1</math> (g): 294,70</b>			
Otvor sita $d$ (mm)	Ostatak na situ $R_i$ (g)	Ostatak na situ (% ukupne mase) $100 \times \frac{R_i}{M_1}$	Kumulativni postotak prolaza (% ukupne mase) $100 - \sum \left( 100 \times \frac{R_i}{M_1} \right)$
31.5	-	-	
16	-	-	
8	-	-	
4	14,3	4,85	95,15
2	122,9	41,70	53,45
1	63,6	21,58	31,87
0.5	31,8	10,79	21,08
0.25	19,2	6,52	14,56
0.125	14,0	4,75	9,81
Dno ( $P$ )	28,9	9,81	0
<b>Zbroj</b>	294,70		

**Tablica 10: Rezultati prosijavanja agregata**

Frakcija (mm): 8 – 16			
Masa, $M_1$ (g): 2738,80			
Otvor sita $d$ (mm)	Ostatak na situ $R_i$ (g)	Ostatak na situ (% ukupne mase) $100 \times \frac{R_i}{M_1}$	Kumulativni postotak prolaza (% ukupne mase) $100 - \sum \left( 100 \times \frac{R_i}{M_1} \right)$
31.5	-		
16	0	0	100
8	2409,8	87,99	12,01
4	239,1	8,73	3,28
2	33,0	1,20	2,08
1	10,6	0,39	1,69
0.5	4,3	0,16	1,53
0.25	4,1	0,15	1,38
0.125	6,3	0,23	1,15
Dno (P)	31,6	1,15	0
<b>Zbroj</b>	2738,80		

**Dijagram 1: Grafički prikaz prosijavanja agregata**



#### **4.1.5. Udio sitnih čestica**

Udio sitnih čestica u agregatu je ispitivano na pijesku frakcije 0 - 2 mm, prema normi HRN EN 933-1:2012, a oprema koja je korištena je: metalna tacna, sita, kist, električno puhalo, lopatice. Prosijani uzorak za ispitivanje je prvo smanjen razdjelnikom na dva poduzorka, od čega se prvi poduzorak koristio za određivanje vlažnosti i sadržaja sitnih čestica, a drugi za određivanje vrijednosti ekvivalenta pijeska. Prvi poduzorak je zatim smanjen na dva uzorka na ispitivanje, na prvi koji je osušen do stalne mase te na drugi, koji se prvo potpuno suh izvagao, a potom je ispiran na situ veličine 0,0063 mm sve dok voda koja je prolazila kroz sito nije bila bistra. Ostatak sa sita osušen je do stalne mase te je poslije izvagan. Rezultati ispitivanja su prikazani u tablici 11.

**Tablica 11: Udio sitnih čestica**

<b>UZORAK</b>	<b>masa potpuno suhog ag. <math>M_1</math> (g)</b>	<b>masa potpuno suhog ag. <math>M_2</math> (g)</b>	<b>udio sitnih čestica</b> $f = 100 - \frac{M_2 \cdot (100 + w)}{M_1}$
<b>2</b>	309,9	264,8	11,93g = 4,51%

#### **4.1.6. Ekvivalent pijeska**

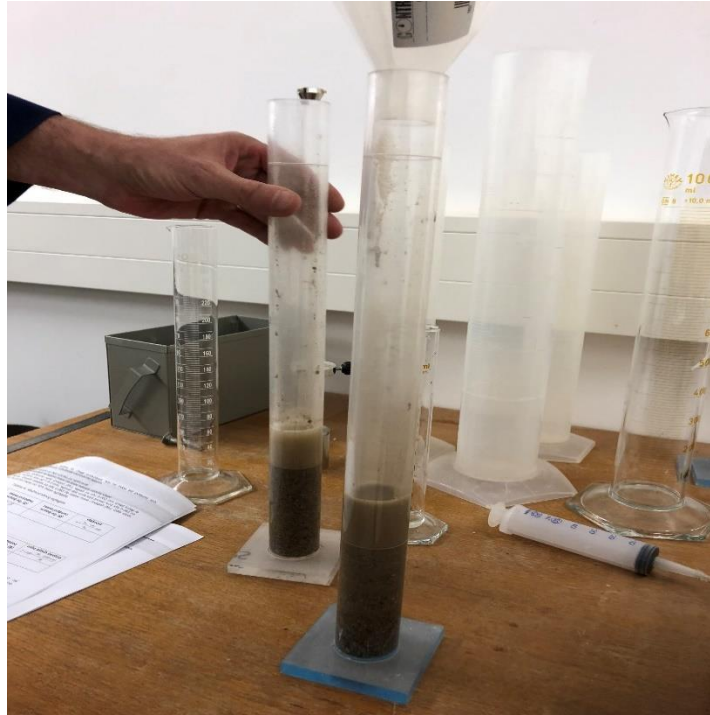
Određivanje ekvivalenta pijeska je ispitivano na pijesku frakcije 0 -2 mm, prema normi HRN EN 933-8:2015, a oprema koja se koristila je: razdjelnik, kist, otopina za određivanje ekvivalenta pijeska, destilirana voda, plastična boca s cijevčicom, menzure i treskalica. Drugi poduzorak je također smanjen na dva uzorka za ispitivanje. Nakon toga, razrijeđeno je 125 ml koncentrirane otopine kalcijevog klorida, glicerina i formaldehida s 5 ml destilirane vode te je potom pripremljena tekućina ulivena u dvije plastične menzure do njihovih donjih oznaka. Pripremljeni pijesak je kroz lijevak unesen u menzure, a one su se nekoliko puta protresle kako bi se oslobodio zrak. Menzure je potom bilo potrebno pustiti da miruju petnaest minuta, a nakon isteka vremena one su se začepile, uglavile u držač treskalice te protresale trideset sekundi. Menzure su se zatim izvađene iz držača, postavljene u uspravan položaj te se ispirane

pripremljenom otopinom pomoću cijevčice, pritom pazeći da sav materijal uđe natrag u menzuru. Isti postupak je ponovljen i sa stijenkama menzure. Kada su sve prethodne radnje uspješno izvršene, menzura je pripremljenom otopinom napunjena do njene gornje oznake te je takva puštena da odstoji dvadeset minuta. Poslije isteka vremena, preostalo je još izmjeriti dvije visine; visinu „h<sub>1</sub>“ koja predstavlja ukupnu visinu materijala te visinu „h<sub>2</sub>“ koja označava visinu pijeska. Mjerenje je također obavljeno i s drugom menzурom te su potom uspoređeni rezultati. Postupak određivanja ekvivalenta pijeska prikazan je na slikama 21 i 22, a rezultati ispitivanja u tablici 12.

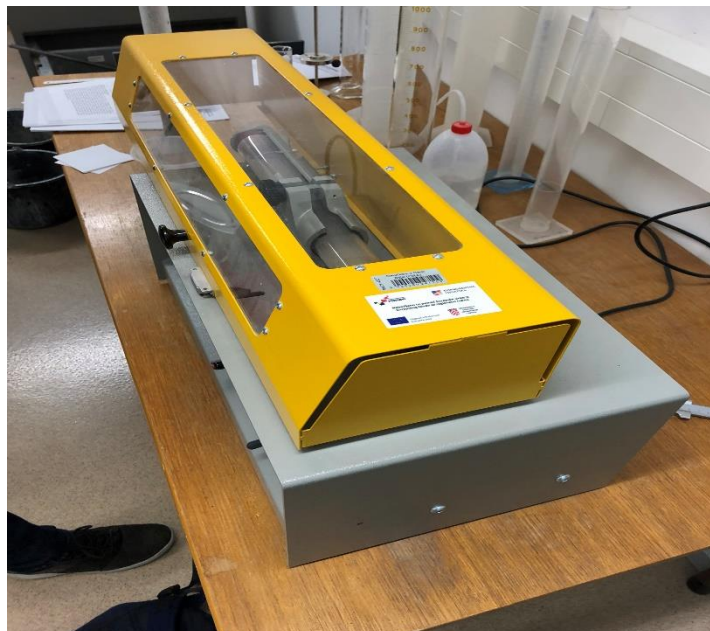
**Tablica 12: Ekvivalent pijeska**

<b>UZORAK</b>	<b>visina pijeska i mulja h<sub>1</sub> (mm)</b>	<b>visina pijeska h<sub>2</sub> (mm)</b>	<b>udio sitnih čestica</b> $SE = \frac{h_2}{h_1} \cdot 100 (\%)$
<b>1</b>	150	85	56,67
<b>2</b>	149	84	56,38
<b>ukupno</b> $SE (10) = \frac{SE_1 + SE_2}{2}$			
<b>56,53</b>			





Slika 21: Punjenje menzure do gornje oznake



Slika 22: Protresanje menzure pomoću treskalice

#### **4.2. Usporedba specifikacija dobavljača i vlastitih laboratorijskih ispitivanja**

U ovoj cjelini uspoređeni su rezultati deklariranih svojstava iz firme „MiTeh d.o.o.“ s dobivenim rezultatima provedenim na laboratorijskim ispitivanjima, referirajući se na frakcije 0 - 4 mm te 8 - 16 mm. Usporedba rezultata ispitivanja prikazana je tablično, gdje su u jednome redu prikazana svojstva materijala firme „MiTeh d.o.o.“, a u drugome rezultati vlastitih laboratorijskih ispitivanja.

Usporedba rezultata prikazana je na idući način:

- *Tablica 13: Usporedba gustoća i volumenskih masa*
- *Tablica 14: Usporedba nasipnih gustoća u zbijenom stanju*
- *Tablica 15: Usporedba apsorpcija vode*
- *Tablica 16: Usporedba granulometrijskog sastav agregata*
- *Tablica 17: Usporedba udia sitnih čestica*

**Tablica 13: Usporedba gustoća i volumenskih masa**

<b>Frakcija</b>	<b>0 – 4 mm</b>	<b>8 – 16 mm</b>
<b>Gustoća - MiTeh svojstva</b>	2,84	2,85
<b>Gustoća- Laboratorijska ispitivanja</b>	2,97 g/cm <sup>3</sup>	2,20 g/cm <sup>3</sup>
<b>Volumenska masa suhog materijala – MiTeh svojstva</b>	2,80 g/cm <sup>3</sup>	2,81 g/cm <sup>3</sup>
<b>Volumenska masa suhog materijala – laboratorijska ispitivanja</b>	2,73 g/cm <sup>3</sup>	2,16 g/cm <sup>3</sup>
<b>Volumenska masa zasićenog površinski suhog materijala – Miteh svojstva</b>	2,82 g/cm <sup>3</sup>	2,82 g/cm <sup>3</sup>
<b>Volumenska masa zasićenog površinski suhog materijala – laboratorijska ispitivanja</b>	2,81 g/cm <sup>3</sup>	2,18 g/cm <sup>3</sup>

**Tablica 14: Usporedba nasipnih gustoća u zbijenom stanju**

<b>Frakcija</b>	<b>0 – 4 mm</b>	<b>8 – 16 mm</b>
<b>MiTeh svojstva</b>	1,55 g/cm <sup>3</sup>	1,40 g/cm <sup>3</sup>
<b>Laboratorijska ispitivanja</b>	1,82 g/cm <sup>3</sup>	1,61 g/cm <sup>3</sup>

**Tablica 15: Usporedba apsorpcija vode**

<b>Frakcija</b>	<b>0 – 4 mm</b>	<b>8 – 16 mm</b>
<b>MiTeH svojstva</b>	0,5%	0,5%
<b>Laboratorijska ispitivanja</b>	3,03%	0,94%

**Tablica 16: Usporedba granulometrijskog sastava agregata**

<b>Frakcija (mm): 0 - 4</b>			<b>Frakcija (mm): 8 - 16</b>		
<b>Otvor sita d (mm)</b>	<b>Kumulativni postotak prolaza (% ukupne mase)</b> <b>MiTeH svojstva</b>	<b>Kumulativni postotak prolaza (% ukupne mase)</b> <b>Laboratorijska ispitivanja</b>	<b>Otvor sita d (mm)</b>	<b>Kumulativni postotak prolaza (% ukupne mase)</b> <b>MiTeH svojstva</b>	<b>Kumulativni postotak prolaza (% ukupne mase)</b> <b>Laboratorijska ispitivanja</b>
31.5			31.5	100%	100%
16			16	99%	100%
8			8	9%	12,01%
4	75%	95,15%	4	1%	3,28%
2	37%	53,45%	2	0%	2,08%
1	18%	31,87%	1	0%	1,69%
0.5	12%	21,08%	0.5	0%	1,53%
0.25	10%	14,56%	0.25	0%	1,38%
0.125	7%	9,81%	0.125	0%	1,15%
Dno (P)	0%	0%	Dno (P)	0%	0%

**Tablica 17: Usporedba udjela sitnih čestica**

<b>Frakcija</b>	<b>0 – 4 mm</b>
<b>MiTeh svojstva</b>	5,0%
<b>Laboratorijska ispitivanja</b>	4,51%

## 5. Zaključak

Ovim radom analizirao sam fizikalne karakteristike kamenog materijala u građevinskom procesu, počevši od njegove pripreme u kamenolomu, pa sve do završnog postupka s njim - njegove ugradnje u sklopu izvođenja zemljanih radova. Svaki kameni materijal nabavljen od ovlaštenog prodavača ima određene karakteristike, a u slučaju izgradnje vodoopskrbnog cjevovoda gdje se koriste kameni agregati različitih veličina, od iznimne je važnosti da te karakteristike odgovaraju zahtjevima projekta, primarno iz razloga kako se ne bi oštetila vodovodna cijev. Laboratorijskim ispitivanjima provedenim u prostorijama Građevinskog fakulteta u Rijeci, dobiveni su rezultati koji se ne razlikuju u velikoj mjeri od specifikacija koje je dala firma „MiTeh d.o.o“ te kao takvi zadovoljavaju sve specifikacije i norme koje su propisane projektom. Uz laboratorijska ispitivanja, u radu su detaljno objašnjeni sami postupci, odnosno način izvođenja zemljanih radova u kojima se koristi zamjenski kameni materijal, kao i samo izvedba rova te deponiranje.

Važno je naglasiti da sama proizvodnja kamenog agregata potražuje puno troškova i vremena, kao i veliku pažnju pri samoj proizvodnji, pogotovo pri miniranju agregata gdje lako može doći do nezgoda. Sama nabava navedenog materijala također predstavlja veliki trošak izvođaču, no zbog osiguranja kvalitete te same garancije obavljenih radova primoran je koristiti materijal koji je propisan projektom, štativši time sebe, kao i investitora osiguravajući mu određenu kvalitetu.

Na kraju ovog rada želio bih napomenuti da je upotreba kamenog materijala bila sveprisutna prilikom izgradnje vodoopskrbnog cjevovoda, a pritom su se koristile mnoge frakcije, sve uz suglasnost i provjeru nadzornog inženjera. Radi se o vrlo kompleksnom građevinskom procesu gdje se koristilo i gdje se i dalje koriste velike količine kamenog materijala, stoga je bilo iznimno važno na vrijeme osigurati njegovu dopremu kako bi se rov što prije mogao zatrpati te napraviti podloga za asfaltni zastor.

## 6. Literatura

- [1] Općina Fužine, <http://www.fuzine.hr/>, pristup 15.05.2019.
- [2] Vodoopskrba područja Vrelo – Općina Fužine, IGH, br. 77506042.
- [3] Ugovorni troškovnik gradilišta „Vodoopskrba područja Vrelo – Općina Fužine“, IGH, br. 77506042.
- [4] Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu - knjiga 2, Hrvatske vode, Zagreb, 2012.
- [5] Opći tehnički uvjeti za radove na cestama – knjiga 2, Hrvatske ceste, Zagreb, 2001.
- [6] Europski standard 1610, Europski komitet za standardizaciju, Bruxelles, 1998.
- [7] Interna skripta kolegija Građevinski materijali, Građevinski fakultet Rijeka, 2019. godina.