

# Usklađivanje rada strojeva prilikom izrade tunela te reciklaža dobivene stijenske mase ugradnjom u temeljni nasip lukobrana

---

**Bendić, Domagoj**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:983434>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-03**



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

# **ZAVRŠNI RAD**

**Domagoj Bendić**

**Split, 2021**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**Usklađivanje rada strojeva prilikom izrade tunela  
te reciklaža dobivene stijenske mase ugradnjom  
u temeljni nasip lukobrana**

**Završni rad**

**Split, 2021**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ  
GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: **BENDIĆ DOMAGOJ**

MATIČNI BROJ (JMBAG): **0083221270**

KATEDRA: **Katedra za organizaciju i ekonomiku građenja**

PREDMET: **Proizvodnja u građevinarstvu**

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

Tema:

**Usklađivanje rada strojeva prilikom izrade tunela te reciklaža dobivene stijenske mase ugradnjom u temeljni nasip lukobrana**

Opis zadatka:

Student će za odabrane radove prilikom bušenja tunelske cijevi i korištenju iskopanog materijala u izradi temeljnog nasipa šetnice i lukobrana uskladiti rad strojeva prema zadanim parametrima, te raspoloživim podacima. Tijekom izrade zadatka student će koristiti raspoloživu literaturu i druge dostupne izvore na mrežnim stranicama.

U Splitu, 23. ožujka 2021.

Voditeljica Završnog rada:

prof.dr.sc. Snježana Knezić



***Sažetak:***

Cilj ovog završnog rada je uskladiti strojeve za odabrane radove prilikom izrade tunelske cijevi u urbanom području i izrade lukobrana korištenjem materijala dobivenog iskopom. Usklađen je rad krtice za probijanje tunelske cijevi, utovarivača za utovar iskopanog materijala u kamion-kipere koji ih odvoze i iskreću na teglenice. Teglenice zatim odvoze materijal do gradilišta lukobrana gdje se dizalicom vrši istovar materijala, te granulometrijsko definiranje potrebne veličine zrna drobilicom u koju materijal stiže usklađivanjem utovarivača i transportne trake.

***Ključne riječi:***

Tunel, krtica, utovarivač, kamion-kiper, teglenica, lukobran, dizalica, transportna traka, drobilica

**Coordinating operations of machines during the construction of the tunnel and recycling obtained rock mass to be used for embankment of the breakwater**

***Abstract:***

The aim of this final work is to coordinate machines for the selected activities during the construction of the tunnel which is located in the urban area and the construction of the breakwater using the materials obtained by drilling the tunnel. A TBM (Tunnel Boring Machine) for excavation of the tunnel, loaders for loading the excavated material into dumper trucks that take it to the barges. The barges then transport the material to the breakwater construction site where the material is unloaded with a crane. By coordinating the loader and the conveyor belt the material is being transported to the cone crusher in which produces required grain size.

***Keywords:***

Tunnel, tunnel boring machine, loader, dumber truck (tip-truck), barge, breakwater, crane, conveyor belt, crusher

## Sadržaj

<b>1. Uvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Odabir prikladnih strojeva za pojedine faze rada</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1. I faza</b> .....	<b>5</b>
2.1.1 Iskop tunelske cijevi u punom profilu.....	<b>5</b>
2.1.2 Utovar iskopanog materijala u kamion-kiper.....	<b>6</b>
2.1.3 Prijevoz materijala do utovarnog doka.....	<b>7</b>
2.1.4 Izvrtnje materijala iz kamiona u teglenicu.....	<b>8</b>
<b>2.2. II faza</b> .....	<b>9</b>
2.2.1 Prijevoz materijala do gradilišta lukobrana.....	<b>9</b>
2.2.2 Istovar iskopanog materijala dizalicom.....	<b>9</b>
2.2.3 Utovar materijala dobre kvalitete u drobilicu.....	<b>10</b>
2.2.4 Granulometrijska definicija zrna.....	<b>11</b>
<b>3. Uskladjivanje rada odabranih strojeva</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1 Strojevi I. faze</b> .....	<b>13</b>
<b>3.2 Strojevi II. faze</b> .....	<b>15</b>
<b>4. Zaključak</b> .....	<b>17</b>
<b>5. Literatura</b> .....	<b>18</b>

## 1. Uvod

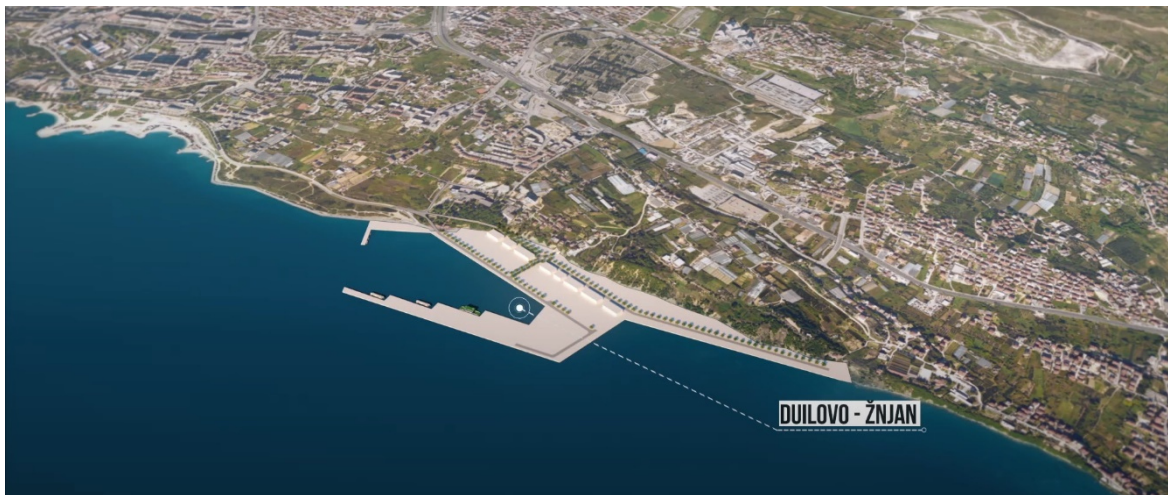
Cilj ovog Završnog rada je uskladiti rad strojeva prilikom izrade fiktivnog tunela (slika 1.1) te reciklaže dobivene stijenske mase ugradnjom u fiktivni nasip lukobrana (slika 1.2). Ideja je preuzeta iz videa „Split 2025“ [5] gdje su predstavljena infrastrukturna rješenja koja se planiraju ostvariti u gradu Splitu. Navedena rješenja za cilj imaju reducirati prometne zastoje u turističkoj sezoni i omogućiti bolju povezanost istočnih dijelova grada Splita.



Slika 1.1 Ilustracija tunela Gupčeva, izrezak videa „Split 2025“ [5]

Za izgradnju tunela (slika 1.1) potrebno je probiti tunelsku cijev duljine  $L = 1,4$  km. Kako bi bio zadovoljen zahtjev slobodnog profila, te kako bi poprečni presjek omogućio smještaj svih potrebnih uređaja i opreme, za potrebe ovog završnog rada pretpostavljen je poprečni presjek zadovoljen je tunelskom cijevi promjera:  $d = 7,91$  m.

Iz geološke karte Splita može se očitati da je na projektiranom potezu prevladavajući materijal fliš, odnosno lapor. Lapor ili tupina je sedimentna stijena koja se sastoji od kalcita i gline u različitim omjerima. Koristi se kao sirovina za proizvodnju cementa, stoga će se upotrijebiti u izgradnji lukobrana šetnice Duilovo – Žnjan (slika 1.2). Iskopani materijal potrebno je dopremiti morem do gradilišta kako ne bi došlo do zastoja ili oštećenja prometnica u središtu grada. Kvalitetan lapor će se granulometrijski prilagoditi izradi cementa, a ostatak stijenske mase iskoristiti kao temeljni nasip lukobrana.

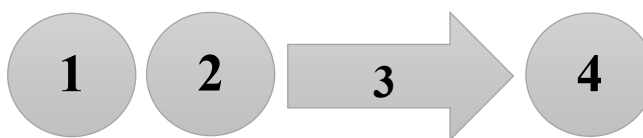


Slika 1.2 Ilustracija šetnice Duilovo-Žnjan, izrezak videa „Split 2025“ [5]

Za potrebe ovog završnog rada odabrane su neke aktivnosti gradilišta koje se dijele na dvije faze radova zbog međusobno neovisnih kompleksnih cjelina.

Popis odabranih aktivnosti I. faze (slika 1.3):

1. Iskop tunelske cijevi u punom profilu
2. Utovar iskopanog materijala u kamion-kiper
3. Prijevoz materijala do utovarnog doka
4. Izvrtnje materijala iz kamiona u teglenicu



Slika 1.3 Tehnološka karta procesa 1.faze

Popis odabranih aktivnosti II. Faze (slika 1.4):

1. Prijevoz materijala do gradilišta lukobrana
2. Istovar iskopanog materijala dizalicom
3. Utovar materijala dobre kvalitete u drobilicu
4. Granulometrijska definicija zrna



Slika 1.4 Tehnološka karta procesa 2. faze

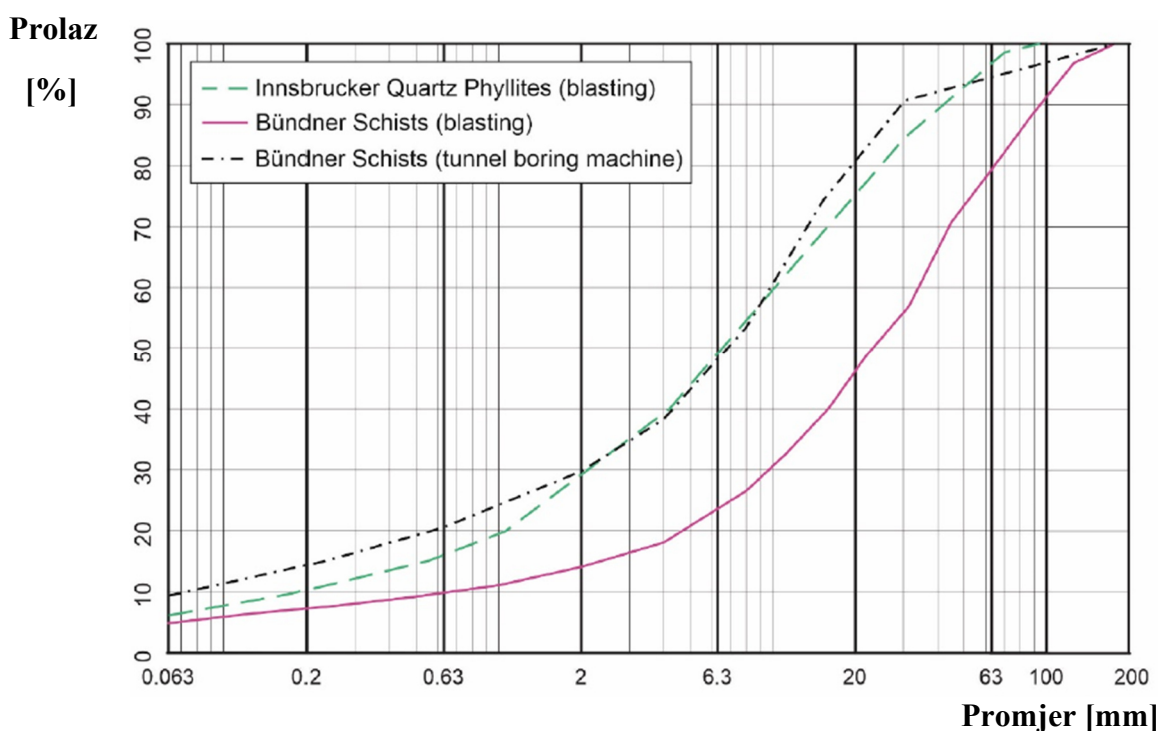


Prije odabira prikladnih strojeva postavljeni su zahtjevi koje moraju zadovoljiti kako bi svi radovi bili izvršeni kako je i projektom planirano.

Iznimno je bitno pravilno izabrati metodu iskapanja podzemnih projekata. Izbor stroja pri iskopu tunela najčešće se svodi na samopokretna bušuća kola (Drill and Blast – D&B, takozvani Jumbo) ili na krtice (Tunnel Boring Machine – TBM). Primjenjivost i razina praktičnosti svake metode iskopa definirana je osnovnim uvjetima poput sastava mase koja se kopa, cijenom izrade i samom lokacijom iskopa. Iako se u priloženom zadatku vrši iskop tunela relativno kratke duljine, te je krtica skuplji izbor u takvom slučaju, s obzirom da se gradilište tunela nalazi u urbanoj sredini i da nisu dopuštene prevelike vibracije i buka ne može se koristiti postupak izrade koji uključuje miniranje.

S obzirom da se vrši ugradba iskopanog materijala bitna je kvaliteta i veličina stijenske mase koja se dobije bušenjem. Ukoliko je pritisak diskova krtice prevelik, dolazi do pukotina koje umanjuju kvalitetu zrna.

Istraživanjima provedenim tijekom izgradnje Brenner Base tunela dobivene su granulometrijske krivulje pri različitim izvođenjima tunelske cijevi (slika 1.5).



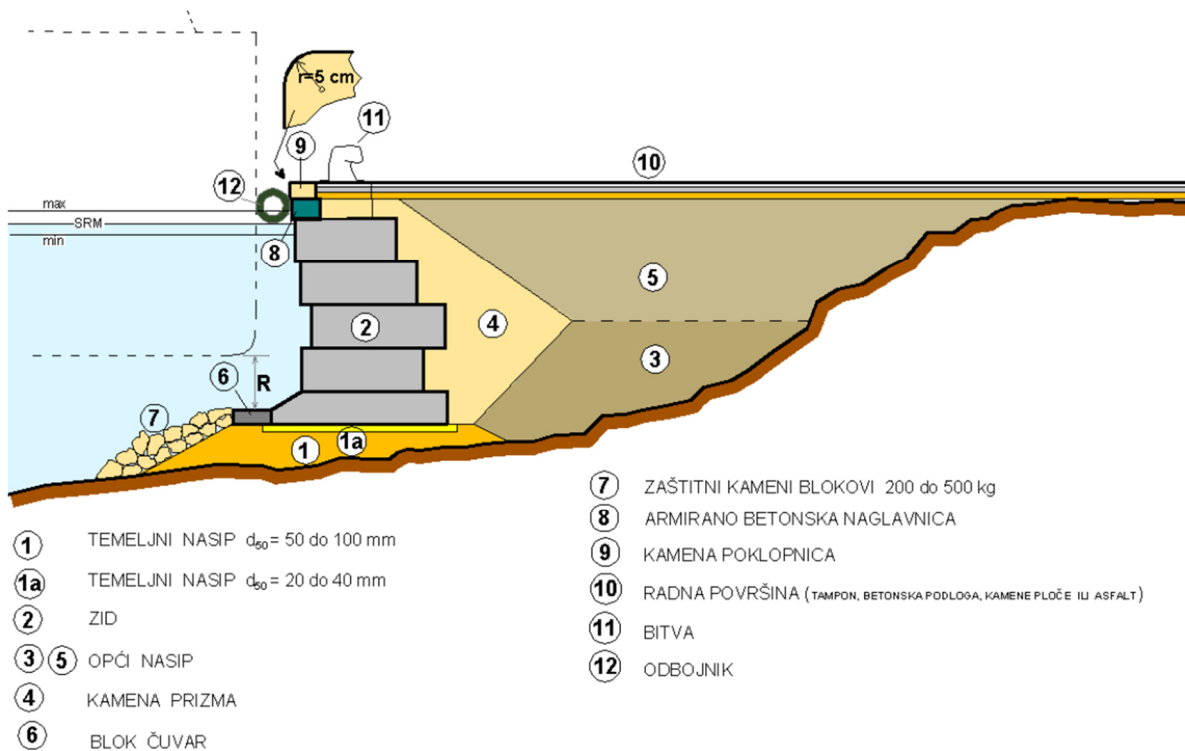
Slika 1.5 Granulometrijske krivulje dobivene miniranjem i krticom [4]

Odnosno određene su vrijednosti iskazane u tablici 1.1 .

Tablica 1.1 Klasifikacija agregata [4]

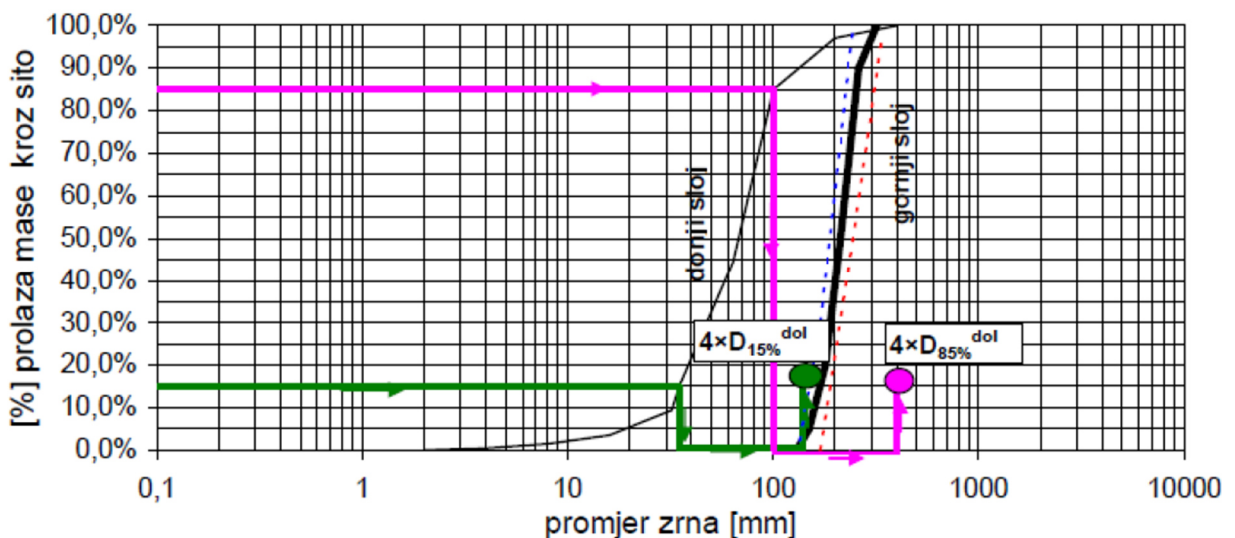
Klasifikacija agregata	Miniranje			Krtica		
Razred [%]	4/8	8/16	16/32	4/8	8/16	16/32
Indeks oblika [%]	68	81	84	66	73	74

Nadalje, uz korištenje dobivenog materijala kao sirovinu za cement, ugradba materijala planirana je i u temeljne nasipe lukobrana. Na primjeru opće sheme lukobrana u ovisnosti o dinamici voda (slika 1.6) vidi se veličina koju materijal temeljnog nasipa mora zadovoljiti.



Slika 1.6 Skica dijelova lukobrana [2]

Odnosno, poopćena granulometrijska krivulja materijala koji se koristi pri izradi lukobrana (slika 1.7) daje egzaktne granice.



Slika 1.7 Granulometrijska krivulja stijenske mase za izradu lukobrana [2]

Usporedbom granulometrijske krivulje dane za bušenje tunelske cijevi krticom (slika 1.5) i granulometrijske krivulje mase za izradu lukobrana (slika 1.7) vidi se da se planirani radovi mogu uskladiti kako je zahtijevano projektom.

## 2. Odabir prikladnih strojeva za pojedine faze rada

### 2.1. I. Faza

#### 2.1.1 Probijanje tunelske cijevi

Krtica je stroj za bušenje tunela u punom profilu. Također se koristi i za mikrotuneliranje. Glava krtice i potrošni materijali mogu se prilagoditi bušenju kroz različite mase, od pjeskovitog tla do tvrdih stijena. Do sada su izvedene krtice za bušenje promjera od 1 do 17,6 metara.

Neke od prednosti u odnosu na konvencionalne metode bušenja i miniranja mogu se navesti kako slijedi:

- Nudi veći stupanj preciznosti i cjelokupan projekt može se završiti u kraćem roku;
- Pogodna je za izradu tunela u područjima s velikim prometom i urbaniziranim područjima;
- Može se prilagoditi za rad u raznim uvjetima;
- Nudi veću strukturnu stabilnost i sigurnost radnog područja;
- Kontinuiran rad iskapanja;
- Izvođenje radova bez značajnih smetnji okolnih slojeva tla;
- Potreban je manji broj zaposlenika.

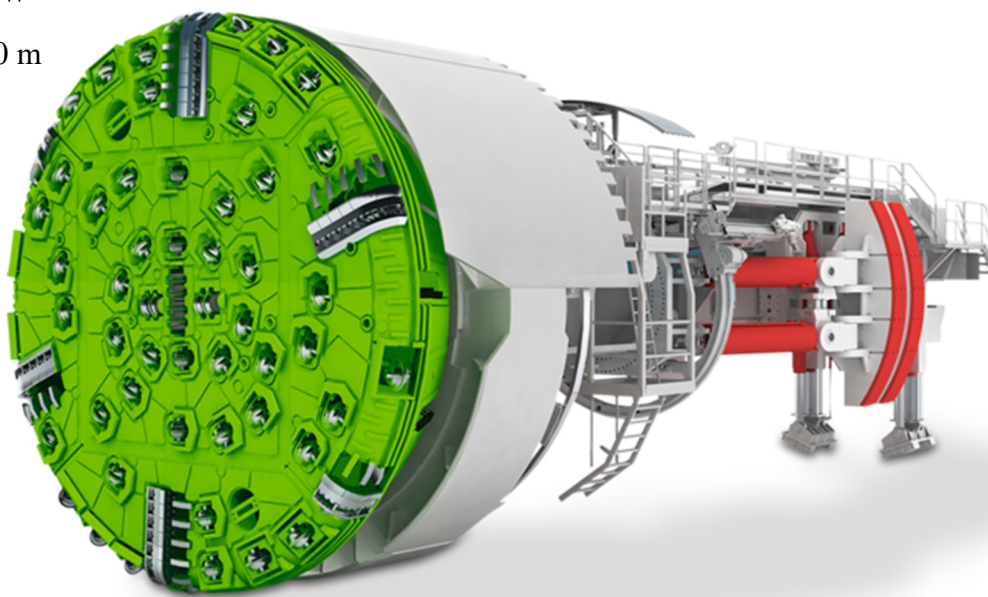
S obzirom na karakteristike tunela Gupčeva, odabrana je krtica: Gripper TBM S-932 (slika 2.1).

Model krtice: Gripper TBM S-932, proizvođač: Herrenknecht AG [10]

Promjer: 7,910 mm

Snaga: 3,500 kW

Duljina: 16,630 m



Slika 2.1 Herrenknecht AG, Gripper TBM [10]

## 2.1.2 Utovar iskopanog materijala

Materijal kojeg krtica ostavi za sobom potrebno je utovariti u kamion-kipere kako bi isti bio otpremljen s gradilišta iskopa. Za ovu vrstu radova odabran je utovarivač: Volvo L35G (tablica 2.1, slika 2.2).

Tablica 2.1 Karakteristike utovarivača Volvo L35G [11]

<b>Model utovarivača:</b>	
<b>Volvo L35G</b>	
<b>Karakteristike:</b>	
Motor	D 3.3H
Snaga	55,4 kW
Zapremnina žlice	1,2 m <sup>3</sup>
Nosivost	6,100 kg
Standardna brzina	20 km/h
Vrijeme trajanja ciklusa	50 s
Koeficijent punjenja	0,8
Koeficijent rastresitosti	0,85
Koeficijent iskorištenja radnog vremena	0,9



Slika 2.2 Utovarivač Volvo L35G [11]

## 2.1.3 Prijevoz materijala do utovarnog doka

Prijevoz materijala od lokacije iskopa do utovarnog doka na Obali kneza Domagoja, trajektne luke u Splitu, vršit će kamion-kiper. Odabran je: Volvo FMX 460 8X4 (tablica 2.2, slika 2.3).

Tablica 2.2 Karakteristike kamion-kipera Volvo FMX 460 8X4 [12]

<b>Model kamion kipera:</b>	
<b>Volvo FMX 460 8X4</b>	
<b>Karakteristike:</b>	
Motor	D13K, Euro 6
Snaga	460 hp
Zapremnina	25 m <sup>3</sup>
Brzina praznog vozila	50 km/h
Brzina vozila napunjenog teretom	30 km/h
Koeficijent punjenja	0,9
Koeficijent rastresitosti	0,8



Slika 2.3 Kamion kiper Volvo FMX 460 8X4 [13]

## 2.1.4 Izvrtanje materijala iz kamiona u teglenicu

S obzirom na lokaciju izvođenja radova, rasuti materijal stijenske mase ne prevozi se gradskim ulicama. Za prijevoz materijala do Duilova koristiti će se teglenicu (maonu) s vlastitim pogonom. Odabrana je teglenica već korištena na Mediteranu: Schottel 104' (tablica 2.3, slika 2.4).

Tablica 2.3 Karakteristike teglenice Schottel 104' [14]

<b>Model teglenice:</b>	
<b>Schottel 104'</b>	
<b>Karakteristike:</b>	
Snaga	250 hp
Zapremnina	250 m <sup>3</sup>
Ukupna duljina	31,72 m
Brzina prazne teglenice	20 km/h
Brzina teglenice napunjene teretom	10 km/h
Koeficijent punjenja	0,9
Koeficijent rastresitosti	0,8



Slika 2.4 Teglenica Schottel 104' [14]

## 2.2. II. Faza

## 2.2.1 Prijevoz materijala do gradilišta lukobrana

Nakon što se teglenica napuni materijalom u završnom dijelu I. faze gradnje potrebno ga je dopremiti do Duilova gdje će se materijal sortirati i ovisno o kvaliteti dalje koristiti. Model i sve karakteristike odabrane teglenice navedeni su u 2.1.4, stranica 6.

## 2.2.2 Istovar iskopanog materijala dizalicom

Istovar se vrši dizalicom s karakterističnom hidraulički pogonjenom posudom (kiblom) za rasute materijale. Odabrana je dizalica koja zadovoljava kriterije prijenosa agregata bez značajnog oštećenja istog, dizalica: E-Crane 1500B (tablica 2.4, slika 2.5).

Tablica 2.4 Karakteristike dizalice E-Crane 1500B [15]

<b>Model dizalice:</b>	
<b>E-Crane 1500B</b>	
<b>Karakteristike:</b>	
Snaga	225 kW
Zapremnina	4,2 m <sup>3</sup>
Maksimalan domet kрана	26,4 m
Maksimalna nosivost	16,5 t
Vrijeme trajanja ciklusa*	75 s
Koeficijent punjenja	0,9
Koeficijent iskorištenja radnog vremena	0,85

*\*srednja vrijednost koju čine pokreti kрана i vrijeme prihvaćanja i otpuštanja tereta*



Slika 2.5 Dizalica: E-Crane 1500B [16]

## 2.2.3 Utovar materijala dobre kvalitete u drobilicu

Utovar kvalitetnog materijala u drobilicu izvodi se utovarivačem u dodavač koji zatim dozira materijal kako ne bi došlo do preopterećenja korištenog tipa drobilice. Iako se prethodno u Završnom radu definirao utovarivač, u tom sektoru rada su postojala ograničenja manevarskim prostorom stoga se za ovaj dio definira novi stroj. Utovarivač mora zadovoljiti zapremninom žlice (odnosno učinkom) i maksimalnom visinom istovara. Kako nisu pronađene egzaktne vrijednosti visine istovara, za proračun je odabran: Hyundai HL955A (tablica 2.5, slika 2.6).

Tablica 2.5 Karakteristike utovarivača Hyundai HL955A [17]

<b>Model utovarivača:</b>	
<b>Hyundai HL955A</b>	
<b>Karakteristike:</b>	
Motor	Cummins B6.7
Snaga	149 kW
Zapremnina žlice	2,8 m <sup>3</sup>
Nosivost	15 800 kg
Standardna brzina	40 km/h
Vrijeme trajanja ciklusa	45 s
Koeficijent punjenja	0,8
Koeficijent rastresitosti	0,85
Koeficijent iskorištenja radnog vremena	0,9



Slika 2.6 Utovarivač Hyundai HL955A [17]



## 2.2.4 Granulometrijska definicija zrna

Za daljnje usitnjavanje materijala, kako bi se dobilo finiji kubičast materijal, koristi se kružna drobilica i dodavač u vidu transportne trake. Nadalje su prikazani karakteristični strojevi koji reprezentiraju takvu vrstu radova i služe proračunu ovog Završnog rada, no mogu se izmijeniti i prilagoditi po potrebi. Odabrana je: Hopper TR 38/28 (tablica 2.6, slika 2.7).

Tablica 2.6 Karakteristike transportne trake Hopper TR 38/28 [18,19]

<b>Model transportne trake:</b>	
<b>Hopper TR 38/28</b>	
<b>Karakteristike:</b>	
Nagib	11°
Dimenzije spremnika: - širina - duljina	2990 cm
	4010 cm
Graničnik – dozator	hidraulična vrata
Širina transportne trake	400 mm
Standardna brzina	prilagodljivo potrebama
Maksimalni kapacitet	450 t/h
Koeficijent rastresitosti	0,85
Koeficijent nagiba	0,9
Koeficijent iskorištenja radnog vremena	0,95



Slika 2.7 Transportna traka Hopper TR 38/28 [18]

S obzirom na ulazne parametre stijenske mase, te potrebne konačne granulometrijske dimenzije, odabrana je drobilica: Great Wall CZS66D (tablica 2.7, slika 2.8) .

Tablica 2.7 Karakteristike drobilice Great Wall CZS66D [20]

<b>Model transportne trake:</b>	
<b>Great Wall CZS66D</b>	
<b>Karakteristike:</b>	
Maksimalno ulazno zrno	60 mm
Veličina obrađenog zrna: - min. - max.	5 mm
	13 mm
Snaga	220 kW
Vlastita težina	52 t
Način rada	fino mljevenje
Kapacitet	209 t/h

Kapacitet je izražen u tonama po satu, kako bi se isti učinak dobio u mjernoj jedinici ostalih strojeva potrebno je učinak u t/h podijeliti s gustoćom stijenske mase koja iznosi:

$$\rho = 2850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$



Slika 2.8 Drobilica Great Wall CZS66D [20]

### 3. Usklađivanje rada odabranih strojeva

#### 3.1 Strojevi I faze

Ukupan volumen iskopanog materijala aproksimira se preko volumena modela valjka s bazom promjera rova krtice pomnoženog s dnevnim napretkom  $L_d$ . Predviđen rad krtice je 18,2 metra po danu.

$$A = \frac{d^2 * \pi}{4}; L_d = 18,2 \text{ m};$$

$$U_{p\_krtica\_dnevni} = A * L_d = \frac{d^2 * \pi}{4} * L_d = \frac{7,91^2 * \pi}{4} * 18,2 = 894,36 \frac{\text{m}^3}{\text{dan}}.$$

Odnosno u radnoj smjeni od 8 sati,

$$U_{p\_krtica} = \frac{U_{p\_krtica\_dnevni}}{8} = \frac{894,36}{8} = 111,795 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}.$$

Kako se krtica definira kao glavni stroj I. faze temeljem cijene i mogućnosti izvedbe:

$$N_{krtica} = 1.$$

Za utovar materijala kojeg krtica ostavlja za sobom odabran je utovarivač:

$$\begin{aligned} U_{p\_utovarivač} &= U_{t\_utovarivač} * K_p * K_v * K_r = \left( T * \frac{q}{T_c} \right) * K_p * K_v * K_r \\ &= \left( 3600 * \frac{1,2}{50} \right) * 0,8 * 0,9 * 0,85 = 52,88 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \end{aligned}$$

$$N_{utovarivač} = \frac{U_{p\_krtica}}{U_{p\_utovarivač}} = \frac{111,795}{52,88} = 2,11 \sim 2.$$

U narednom ciklusu faze kamioni odvoze materijal na dok Obale kneza Domagoja, odnosno na udaljenost od 950m uz dodanu vrijednost duljine tunela za koju uzimamo srednju vrijednost ukupne projektirane duljine tunela:

$$s = 950 + \frac{1400}{2} = 1650 \text{ m} = 1,65 \text{ km} .$$

$$T_c = t_{\text{utovara}} + t_{\text{vožnje(praznog i punog)}} + t_{\text{istovara}} + t_{\text{manevra}}$$

$$T_c = \frac{q}{U_{p_{\text{utovarivač}}}} + \left( \frac{s}{v_{\text{praznog}}} + \frac{s}{v_{\text{punog}}} \right) + t_{\text{istovara}} + t_{\text{manevra}}$$

$$T_c = \frac{25}{52,88} * 60 + \left( \frac{1,65}{50} + \frac{1,65}{30} \right) * 60 + 2 + 3 = 38,65 \text{ min}$$

$$U_{p_{\text{kamion kiper}}} = U_{t_{\text{kamion kiper}}} * K_p * K_r = \left( T * \frac{q}{T_c} \right) * K_p * K_r$$

$$= \left( 60 * \frac{25}{38,65} \right) * 0,9 * 0,8 = 27,94 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$N_{\text{kamion kiper}} = \frac{2 * U_{p_{\text{utovarivač}}}}{U_{p_{\text{kamion kiper}}}} = \frac{2 * 52,88}{27,94} = 3,79 \sim 4 .$$

Teglenica je otvorenog tipa, te se materijal iz kamion kiperera iskrece direktno na nju.

$$s = 6,2 \text{ km}$$

$$T_c = t_{\text{utovara}} + t_{\text{vožnje(prazne i pune)}} + t_{\text{istovara}} + t_{\text{manevra}}$$

$$T_c = \frac{q}{U_{p_{\text{kamion kiper}}}} + \left( \frac{s}{v_{\text{prazne}}} + \frac{s}{v_{\text{pune}}} \right) + \frac{q}{U_{p_{\text{dizalica}}}} + t_{\text{manevra}}$$

$$T_c = \frac{250}{27,94} * 60 + \left( \frac{6,2}{20} + \frac{6,2}{10} \right) * 60 + \frac{250}{154,22} * 60 + 5 = 694,93 \text{ min}$$

$$U_{p_{\text{teglence}}} = U_{t_{\text{teglence}}} * K_p * K_r = \left( T * \frac{q}{T_c} \right) * K_p * K_r$$

$$= \left( 60 * \frac{250}{694,93} \right) * 0,9 * 0,8 = 15,54 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$N_{\text{teglence}} = \frac{4 * U_{p_{\text{kamion kiper}}}}{U_{p_{\text{teglence}}}} = \frac{4 * 27,94}{15,54} = 7,19 \sim 7 .$$

### 3.2 Strojevi II faze

U I. fazi definiran je potreban broj teglenica. Kako procesi izgradnje tunela Gupčeva i prerade kamena za izgradnju šetnice Duilovo-Žnjan nisu usko vezani, dizalicu II. faze prilagoditi će se za već određene parametre teglenica I. faze. Materijal se deponira na gradilištu šetnice i strojeve druge faze prilagođava se novom glavnom stroju, odnosno drobilici.

Istovar se vrši dizalicom prikladno opremljenom za rasute materijale do 300 mm:

$$U_{p\_dizalice} = U_{t\_dizalice} * K_p * K_v * K_r = \left( T * \frac{q}{T_c} \right) * K_p * K_v$$

$$= \left( 3600 * \frac{4,2}{75} \right) * 0,9 * 0,85 = 154,22 \frac{m^3}{h}$$

$$N_{dizalica} = \frac{7 * U_{p\_tegljenice}}{U_{p\_dizalice}} = \frac{7 * 15,54}{154,22} = 0,71 \sim 1.$$

Ukupna količina materijala dobivena iskopom tunela iznosi:

$$Q_{uk} = A * L_{uk} = \frac{d^2 * \pi}{4} * L_{uk} = \frac{7,91^2 * \pi}{4} * 1400 = 68\,797,22 \text{ m}^3.$$

Za izradu cementa koristiti će se samo najkvalitetnije i geološki „najčišće“ dijelove stijenske mase. U proces granulometrijskog definiranja uključit će se udio zrna iznad 20 mm, a s obzirom na odabranu drobilicu manji od 50 mm. Taj udio je približno 14,5 %, očitao iz zadane granulometrijske krivulje krtice prikazane na slici 1.5, što iznosi

$$Q_{cemente\ sirovine} \approx 10\,000 \text{ m}^3.$$

Izabrana drobilica, u kataloškim vrijednostima ima zadan učinak u t/h, te je potrebno odrediti isti u mjernoj jedinici prilagođenoj ostalim strojevima, vrijedi:

$$U_{p\_drobilica} = 209\,000 \frac{kg}{h} / 2850 \frac{kg}{m^3} = 73,33 \frac{m^3}{h}.$$

Transportnu traku prilagođava se drobilici uz što manje praznog hoda, ali i bez mogućnosti preopterećenja. Uz zadane karakteristike trake, potrebno je odrediti brzinu.

Brzina se odredi iz mogućeg kapaciteta transportne trake, prilagođenog planskom učinku drobilice:

$$Q_{transportne\ trake} = F * v = 0,09 * B^2 * v = 0,09 * 0,4^2 * v$$

$$U_{p\_transportne\ trake} = T * Q_{t.t.} * K_r * K_n * K_v$$

$$U_{p\_transportne\ trake} = U_{p\_drobilica} = 73,33 \frac{m^3}{h}$$

$$73,33 \frac{m^3}{h} = 0,0204 \frac{m^3}{s} = 3600 * 0,09 * 0,4^2 * v * 0,85 * 0,9 * 0,95$$

$$v = \frac{0,0204}{3600 * 0,09 * 0,4^2 * 0,85 * 0,9 * 0,95} = 0,0005415 \frac{m}{s}.$$

S obzirom na karakteristike utovarivača dane tablicom 2.5, slijedi:

$$\begin{aligned} U_{p\_utovarivač\_2} &= U_{t\_utovarivač\_2} * K_p * K_v * K_r = \left( T * \frac{q}{T_c} \right) * K_p * K_v * K_r \\ &= \left( 3600 * \frac{2,8}{45} \right) * 0,8 * 0,9 * 0,85 = 137,09 \frac{m^3}{h} \end{aligned}$$

Utovar spremnika transportne trake prilagodi se njezinom učinku, odnosno učinku drobilice.

$$N_{utovarivač\_2} = \frac{U_{p\_transportna\ traka}}{U_{p\_utovarivač\_2}} = \frac{U_{p\_drobilica}}{U_{p\_utovarivač\_2}} = \frac{73,33}{137,09} = 0,54 \sim 1.$$

Kako transportna traka i drobilica rade u paru:

$$N_{transportna\ traka} = N_{drobilica} = 1.$$

#### 4. Zaključak

Za usklađen i što optimalniji rad, u već navedenim fazama i njihovim procesima, proračunom su dobiveni sljedeći podaci.

U prvoj fazi radova u kojoj se za glavnu radnju promatra bušenje tunelske cijevi, temeljem izvedbe i cijene, kao glavni stroj odabrana je krtica po čijem se učinku proračuna i uskladi ostale strojeve. Preporučeni broj zahtijevanih strojeva prve faze rada:

- 1 krtica;
- 2 utovarivača;
- 4 kamion-kipera;
- 7 teglenica.

Iako se broj teglenica može reducirati promjenom modela, dubina tjesnaca Bračkog kanala ne dozvoljava veće dimenzije teglenice koje bi proporcionalno povećale i brodski gaz.

U drugoj fazi radova istovarna dizalica se uskladi s teglenicama iz prve faze, odnosno s radom krtice. Ostali strojevi su učinkom prilagođeni drobilici za koju nije zahtijevano usklađivanje s krticom jer su radovi prerade stijenske mase neovisni o iskopu. Preporučeni broj strojeva druge faze rada:

- 1 dizalica;
- 1 utovarivač;
- 1 transportna traka;
- 1 drobilica.

Ovim proračunom omogućen je optimalan rad, uz što manje praznog hoda i dodatnih troškova prilikom realizacije navedenih projekata.

## 5. Literatura

- [1] Nastavni materijali kolegija *Proizvodnja u građevinarstvu*  
- predavanja: prof.dr.sc. Snježana Knezić  
- vježbe: Martina Milat
- [2] Nastavni materijali kolegija *Luke i pomorske građevine*, doc.dr.sc. Veljko Srzić
- [3] Roje-Bonacci T. *Zemljani radovi*; Nakladnik: Sveučilište u Splitu; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Matice hrvatske 15, Split. Split, 2012.
- [4] Voit K., Kuschel E.; *Rock Material Recycling in Tunnel Engineering.*; Institute of Applied Geology, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Peter Jordan-Street 82, 1190 Vienna, Austria; 15. travnja 2020.
- [5] *Split 2025.*; 29. travnja 2017.; <https://www.youtube.com/watch?v=Bwx3j7Et6OQ> ; (zadnji pristup: 26.6.2021.)
- [6] *Lapor*; 26. veljače 2021.; <https://hr.wikipedia.org/wiki/Lapor> ; (zadnji pristup: 26.6.2021.)
- [7] Dream Civil; *Tunnel Boring Machine | 2 Types of Tunnel Boring Machine | Advantages & Disadvantages of Tunnel Boring Machine - Hard Rock & Soft Ground TBM* ; 8. travnja 2020.; <https://dreamcivil.com/tunnel-boring-machine/> ; (zadnji pristup: 26.6.2021.)
- [8] Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa, NN 110/01, str. 4066-4086, Zagreb, 2001.
- [9] Mega project Brenner Base Tunnel: first milestone achieved with Herrenknecht tunnel boring machine - Herrenknecht AG;  
<https://www.herrenknecht.com/en/newsroom/pressreleasedetail/mega-project-brenner-base-tunnel-first-milestone-achieved-with-herrenknecht-tunnel-boring-machine/>; (zadnji pristup: 26.6.2021.)
- [10] Gripper TBM - Herrenknecht AG;  
<https://www.herrenknecht.com/en/products/productdetail/gripper-tbm/> ; (zadnji pristup: 26.6.2021.)



- [11] L35G | Wheel Loaders | Overview; <https://www.volvoce.com/europe/en/products/wheel-loaders/l35g/> ; (zadnji pristup: 26.6.2021.)
- [12] For sale at BAS Trucks: Volvo FMX 460 New Tipper Truck ; <https://www.bastrucks.com/vehicles/new/truck-tipper-volvo-fmx-new-8x4-70100480> ; (zadnji pristup: 26.6.2021.)
- [13] Volvo FMX 8x4 Tipper OB; <https://www.volvotrucks.in/en-in/trucks/truck/mining-construction-haulage/volvo-fmx-8x4-ob.html> ; (zadnji pristup: 26.6.2021.)
- [14] 104' Self Propelled Split Hopper Barge - Capacity 250 m3; <https://horizonship.com/ship/104-self-propelled-split-hopper-barge-capacity-250-m3/> ; (zadnji pristup: 26.6.2021.)
- [15] E-CRANE.COM ; <https://www.e-crane.com/wp-content/uploads/2012/03/11264B-PD-E-Mulzer-Crushed-Stone-2.pdf> ; (zadnji pristup: 26.6.2021.)
- [16] Mulzer Crushed Stone – E-Crane; <https://www.e-crane.com/case-studies/mulzer-crushed-stone/> ; (zadnji pristup: 26.6.2021.)
- [17] Hyundai HL955A Wheel Loader; <https://www.hyundai-ce.eu/en/products/loaders/wheel-loaders/hl955a> ; (zadnji pristup: 26.6.2021.)
- [18] TR 38/28 Hopper with Conveyor Belt; <https://vantrier.com/en/Listings/tr-38-28-hopper-with-conveyor-belt/> ; (zadnji pristup: 26.6.2021.)
- [19] <https://vantrier.com/wp-content/uploads/2019/07/TR-38-28.pdf> ; (zadnji pristup: 26.6.2021.)
- [20] CZS High-efficient Cone Crusher, ore cone crusher, CZS cone crusher, limestone cone crusher, cone crusher china ; <http://www.greatwallcrusher.com/products/CZS-High-Efficient-Cone-Crusher.html> ; (zadnji pristup: 26.6.2021.)