

# Usklađivanje rada strojeva pri izgradnji podvodnog tunela

---

Čupić, Maja

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

*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:123:911202>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-01**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

# ZAVRŠNI RAD

Maja Čupić

Split, 2024.

## **Usklađivanje rada strojeva pri izgradnji podvodnog tunela**

**Završni rad**

**Split, 2024.**

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

STUDIJ:       STRUČNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVO  
KANDIDAT:   Maja Čupić  
JMBAG:       0083229632  
KATEDRA:    Katedra za organizaciju i ekonomiku građenja  
PREDMET:    Tehnologija građenja

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

Tema: Usklađivanje rada strojeva pri izgradnji podvodnog tunela

Opis zadatka: Potrebno je odabrati i uskladiti rad strojeva za izgradnju podvodnog tunela koji će spajati Kaštel Sućurac sa Splitom, dužine 1,3 km. Osmišljeno je da ga izrađuje fiktivna tvrtka.

U Splitu, 20. travnja 2024.

Mentorica završnog rada:

Doc.dr.sc. Katarina Rogulj

Komentor završnog rada:

Prof. dr. sc. Nikša Jajac

## **Usklađivanje rada strojeva pri izgradnji podvodnog tunela**

### ***Sažetak:***

U zadanom zadatku završnog rada potrebno je uskladiti rad odabranih strojeva za izradu podvodnog tunela dugog 1,3 km koji će povezivati Kaštel Sućurac sa Stinicama u Splitu. Tunel je građen od oblikovanih segmenata koji su izrađeni na gradilištu uz pomoć oplatnih sustava PERI, te transportirani i položeni u more. Prethodno je napravljen duboki iskop u šljunku za polaganje segmenata. Također će se izraditi i pristupna cesta za ulaz i izlaz iz tunela.

### ***Ključne riječi:***

Podvodni tunel, usklađivanje strojeva, transport, zemljani radovi, betonski radovi, oplata, asfaltni radovi

## **Construction of an underwater tunnel**

### ***Summary:***

It is necessary to coordinate the work of the selected machines for the construction of the 1.3 km long underwater tunnel that will connect Kaštel Sućurac with Stinice in Split. The tunnel is built from shaped segments which were made on the construction site with the help of PERI formwork systems, and transported and laid in the sea. Previously, a deep excavation was made in the gravel for laying the segments. An access road will also be built at the entrance to the tunnel.

### ***Keywords:***

Underwater tunnel, coordination of machines, transport, earthworks, concrete works, formwork, asphalt works

## **Sadržaj**

1. UVOD:.....	6
1.1. Tehnički opis .....	6
2. PROCES GRADNJE:.....	7
2.1. Široki iskop .....	7
2.2. Izrada segmenata .....	8
3. PRIKAZ AKTIVNOSTI.....	11
3.1. Aktivnosti i podaktivnosti pripadajućih strojeva.....	11
4. KARAKTERISTIKE MEHANIZACIJE.....	12
5. USKLADIVANJE RADA STROJEVA.....	19
5.1. Široki iskop rova za polaganje betonskih segmenata .....	19
5.2. Betonski segmenti.....	20
6. Izrada pristupne ceste.....	22
6.2. Izrada posteljice .....	24
6.2.1. Utovar i dovoz materijala za izradu posteljice .....	24
6.2.2. Razastiranje i zbijanje materijala za posteljicu .....	25
6.3. Asfaltiranje .....	26
7. ZAKLJUČAK .....	28
8. LITERATURA: .....	29

## **1. UVOD:**

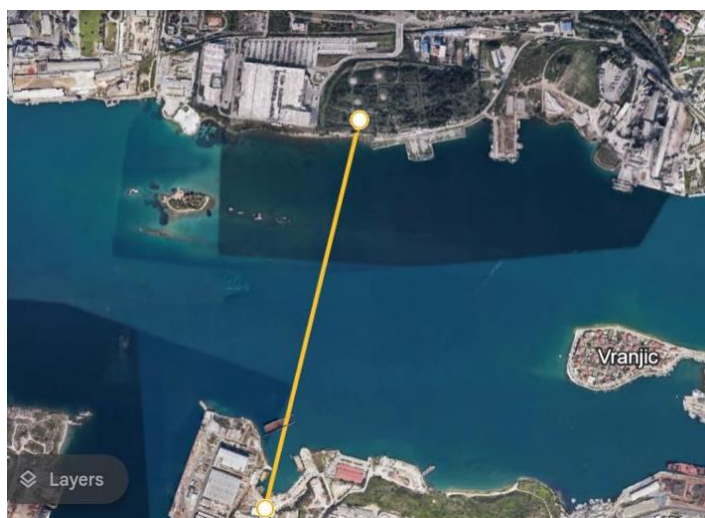
### **1.1. Tehnički opis**

U ovom završnom radu prikazati će se izgradnja podvodnog tunela koji povezuje Kaštel Sućurac sa Splitom u području Sjeverne luke. Tunel je osmišljen da bude dvosmjerni širine 6 m, dužine 1.3 km te visine 5 m.

Izgradnja podvodnih tunela je jako složen proces koji zahtijeva mnogo radnih sati, znanja i profesionalne građevinske opreme. Prvi proces je projektiranje, odabir mjesta gde će se nalaziti tunel te kako će se povezati s obalom. Drugi korak su geološka istraživanja te ispitivanje tla da bi identificirali moguće komplikacije. Sljedeće odabiremo način gradnje. Postoje razni problemi na koje možemo naići pri gradnji te kasnije pri održavanju podvodnog tunela. Posebno se mora paziti na pukotine, djelovanje opterećenja vode i seizmičke aktivnosti na tom području. Pritisak je veći što je veća dubina pa moramo biti posebno pažljivi u proračunu. Također jedan od problema s kojim se možemo susresti je korozija. Morska voda je jako korozivna pa moramo birati materijale otporne na koroziju ili odabrati neke posebne premaze.

Odlučeno je da će se na gradilištu izraditi betonski oblikovani segmenti koji će se transportirati i umetnuti u prethodno izrađen duboki široki iskop. Za nabavku betona koristiti ćemo obližnju betonaru udaljenu 3 km. Izrađeni segmenti će se transportirati brodom do mjesta ugradnje. Za izradu segmenata koristit ćemo posebno izrađeni oplatni sustav PERI. Beton je pogodan materijal jer u njega možemo umiješati dodatke koji poboljšavaju njegove performanse. U našem projektu potrebno je da nam beton bude vodonepropustan, visoke čvrstoće te otporan na koroziju. Također je i povoljniji nego neke druge solucije.

Duboki široki iskop će se raditi uz pomoć plovnog jaružala IBN Battuta. Također ćemo izraditi pristupnu cestu sveukupno dugu 400 m. Za izradu ceste koristiti ćemo kamion kiper MAN 8x4, bager s dubinskom lopatom CATERPILAR 365B L FS i buldožer CATERPILLAR D9 Dozer AEXQ2868-03. Aktivnosti i podaktivnosti te potrebni građevinski strojevi prikazani su tablično na stranici 7.

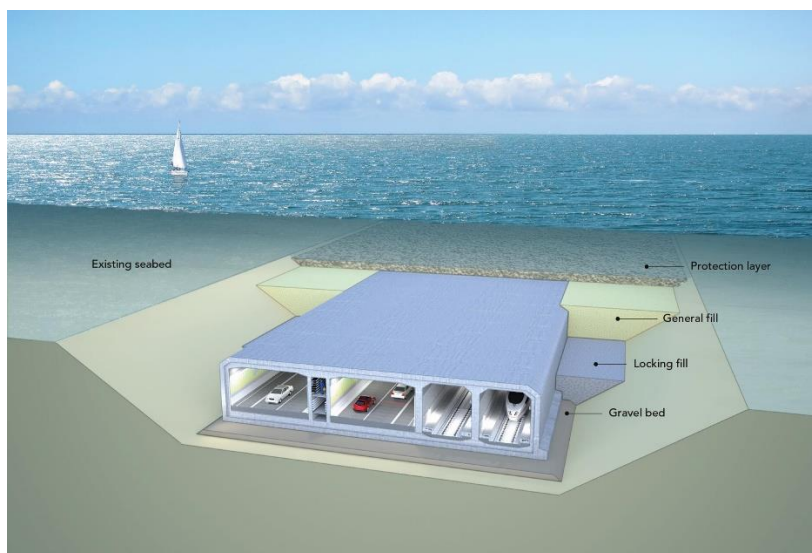


*Slika 1. Položaj tunela [1]*

## 2. PROCES GRADNJE:

### 2.1. Široki iskop

Uz pomoć plovnog jaružala IBN Battuta radit će se duboki široki iskop. Kapacitet stroja je  $8542 \text{ m}^3/\text{h}$ . Za izgradnju tunela pod morem potrebno je napraviti kanal u morskom dnu za smještaj obloge tunela. Ovaj rov je obično širi od samog tunela kako bi se omogućila ugradnja betonske obloge. Kategorija tla je C, III. klasa materijala. Pod materijalom kategorije "C" podrazumijevaju se svi materijali koje nije potrebno minirati, nego se mogu kopati direktno, upotrebom pogodnih građevinskih strojeva (buldozerom, bagerom, ili skreperom). U našem primjeru je tlo klase 3. To su lako zagrabbjive vrste tla, nevezani do slabo povezani pijesak, šljunak i mješavina šljunka i pijeska s do 15% primjese mulja i gline (zrna manja od 0.06 mm) i s najviše 30 % kamenja veličine zrna od preko 63 mm, organske vrste tla s neznatnim sadržajem vode. [2] S obzirom na kategoriju i klasu tla iskop će biti lako izvediv jer ne trebamo dodatne strojeve za miniranje kamenja. Radimo trapezni iskop donje stranice širine 7 m, gornje 9 m te dubine 5,5 m. Volumen iskopa iznosi  $58500 \text{ m}^3$ . Dio iskopanog mulja ćemo iskoristiti za zatrpavanje betonskih segmenata, a višak ćemo transportirati na deponij koristeći kamion kiper.



Slika 2. Primjer širokog iskopa sa betonskim segmentima [3]



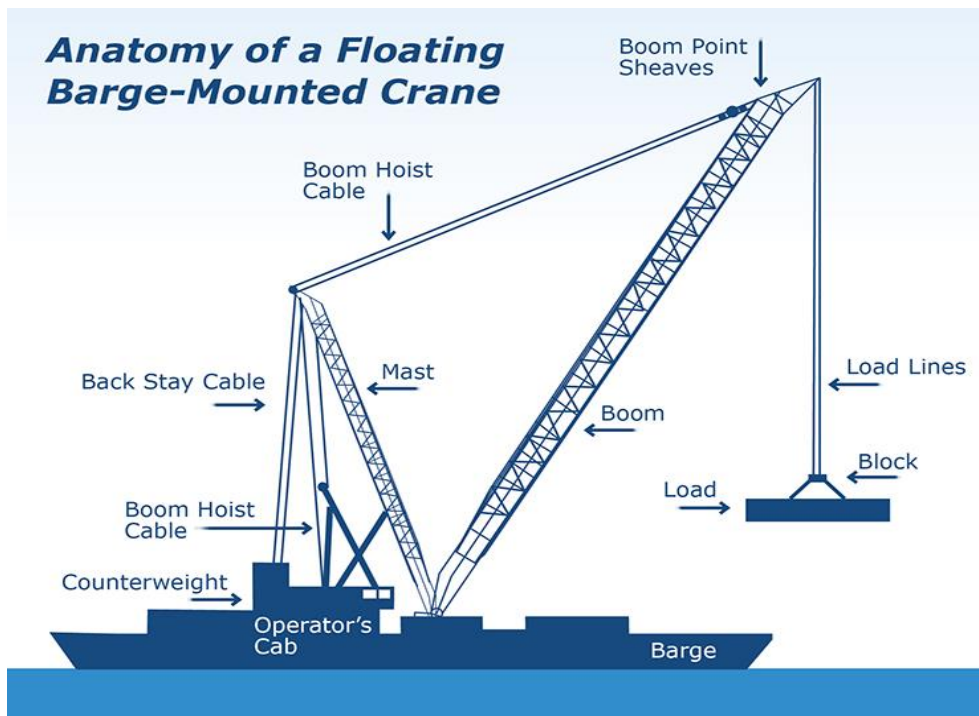
## **2.2. Izrada segmenata**

Betonski segmenti dizajnirani su da se nakon izrade mogu spojiti u poseban uzorak kako bi se stvorila kontinuirana vodonepropusna barijera koja može izdržati pritisak tla. Radimo ih po zadanoj veličini nakon što smo provjerili sve važne faktore područja kao što su utjecaj valova, morsko dno, morski tlak i mnoge druge. Većinom se dizajniraju u nekome programu u koji možemo unijeti sve važne podatke za proračun. Beton ćemo nabaviti iz obližnje betonare udaljene 3 km te ćemo za to koristiti automiješalicu, a beton će se ulijevati u oplatu korištenjem pumpe za beton. Segmenti se izvedu pomoću posebnih oplatnih sustava PERI. Izradit ćemo 26 segmenata dužine 50 m. Odabrali smo otvoreni monolitni način gradnje u kojemu se podnožje, zidovi i strop betoniraju odjednom. Zbog minimalne količine fuga postiže se visoka nepropusnost čitavog poprečnog presjeka tunela. PERI oplatni sustavi pružaju izgradnju, održavanje i obnavljanje svojih projekata te su zato i najpopularniji posebno za zahtjevne projekte poput izrade tunela. Prednosti korištenja ove oplata su efikasnost i ušteda vremena zbog brze montaže i demontaže, kvaliteta i preciznost izvedbe te mogućnost izvedbe različite geometrije projekta. PERI oplata u tunelogradnji koriste VARIOKIT inženjerski modularni sistem. Neke od komponenata oplatnih sustava su: oplata za zidove (TRIO, MAXIMO), oplata za stropove (MULTIFLEX, SKYDECK) te oplatne sustave za specijalne primjene (RUNDFLEX – koristi se za kružne i zakrivljene betonske zidove). Primjer izrade podvodnog tunela u segmentima korištenjem PERI oplata je prometna veza Oeresund koja povezuje Dansku i Švedsku.

Za transport segmenata koristiti ćemo plovnu dizalicu Marjanka tvrtke Brodosplit. Plovna dizalica ima mogućnost transporta, polaganja i podizanja tereta do težine od 100 tona. Ima pogon od dva elektromotora koji omogućuju podizanje i premještanje tereta te zbog malog gaza ima sposobnost raditi u većini uvala na Jadranu. Dizalica se sastoji od grane, vitla i zatega. Grana je dugi produžetak koji služi za dohvat i podizanje tereta. Vitlo je uređaj koji namotava lance omogućujući podizanje i spuštanje tereta, a kuke služe za pričvršćivanje tereta. Plovna dizalica također mora imati i dobre stabilizacijske sustave (sidra) da se ne bi prevrнула pri spuštanju i dizanju tereta.



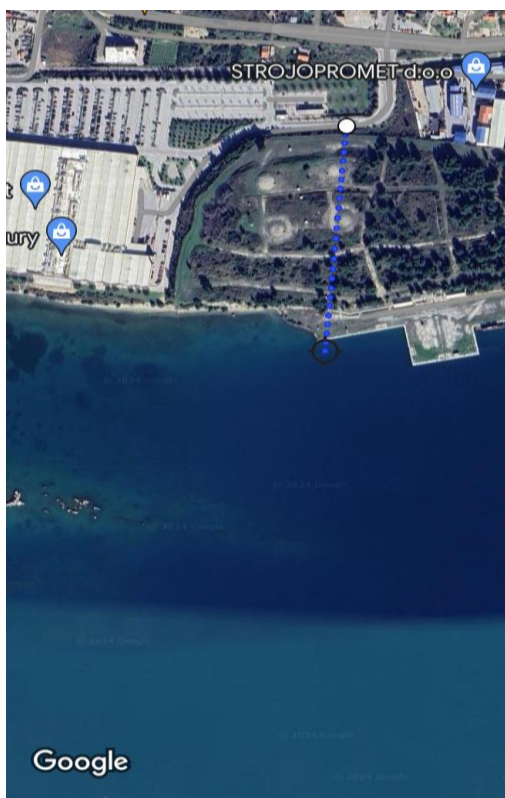
Slika 3. Primjer PERI oplate u izgradnji betonskih segmenata za podvodni tunel Oeresund [4]



Slika 4. Opis rada plovne dizalice[5]

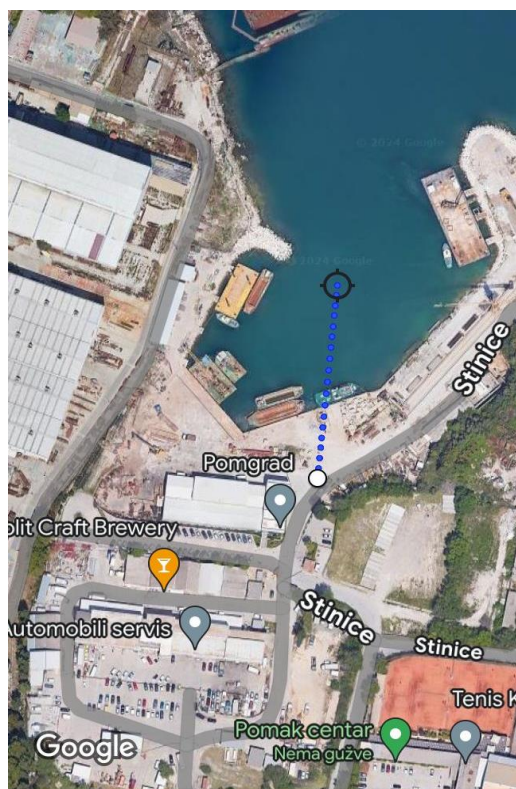
### 2.3. Izrada pristupne ceste za ulaz u tunel i izlaz iz tunela

Pristupna cesta u području Kaštel Sućurca će biti duga 300 m, a u području Splita 100 m. Biti će duža u Kaštelima zbog spajanja s obližnjom postojećom cestom. Cesta će biti dvotračna. Prva faza je izrada posteljice, potrebno je ukloniti stabla i potpuno očistiti gradilište te ćemo ukloniti humusni sloj u debljini od 20 cm. Nakon utovarivanja šljunka utovarivačem dovozimo ga na mjesto gradnje kamionom kiperom te ćemo koristiti buldozer za razastiranje i vibrovaljak za nabijanje materijala. Nakon izrade posteljice dovozimo asfalt koji će se postavljati po pravilniku u dva sloja. Za ugradnju i zbijanje slojeva asfalta koristit ćemo asfaltni finišer na kotačima.



300 m

Slika 1. Pristupna cesta Kaštel Sućurac



100 m

Slika 2. Pristupna cesta Split

### 3. PRIKAZ AKTIVNOSTI

#### 3.1. Aktivnosti i podaktivnosti pripadajućih strojeva

U tablici su prikazani radovi u fazama te korišteni strojevi za pojedine aktivnosti i podaktivnosti.

	AKTIVNOSTI	PODAKTIVNOSTI	VRSTA STROJA
izgradnja tunela	1. široki iskop	Široki iskop za polaganje segmenata	Plovno jaružalo
		utovar i odvoz materijala	Plovno jaružalo
	2. izrada betonskih segmenata	dovoz betona	automiješalica
		Izrada betonskih segmenata	Oplatni sustav PERI
	3. transport i polaganje betonskih segmenata		Plovna dizalica
izgradnja ceste	3. zemljani radovi	skidanje humusa 20cm	buldozer
		utovar i odvoz materijala	kamion kiper, utovarivač
	4. izrada posteljice	dovoz materijala za izradu posteljice	Kamion kiper, utovarivač
		razastiranje materijala za izradu posteljice	grejder
		zbijanje materijala za izradu posteljice	vibrovaljak
	5. asfaltiranje	dovoz asfalta	kamion kiper
		ugradnja asfaltnog sloja	finišer na kotačima
		nabijanje asfaltnog sloja	vibrovaljak



## 4. KARAKTERISTIKE MEHANIZACIJE

Plovna dizalica Marjanka

- Mogućnost okretanja grane: 360°
- Nosivost pontona: 200 t
- Maksimalna visina dizanja: 25 m



Slika 7. Plovna dizalica Marjanka [10]

Plovno jaružalo IBN Battuta

- duljina 138,5 m
- dubina kopanja 35 m
- dnevni učinak =  $205\,000\text{ m}^3 / \text{dan} = 8542\text{ m}^3/\text{h}$



Slika 8. Plovno jaružalo IBN Battuta [2]

Kamion kiper Caterpillar 797B

- Zapremnina  $q = 267 \text{ m}^3$
- Brzina punog kiperera  $v_1 = 35 \text{ km/h}$
- Brzina praznog kiperera  $v_2 = 50 \text{ km/h}$
- Vrijeme istovara  $T_i = 30 \text{ s}$



Slika 9. Kamion kiper Caterpillar 797B [8]

Utovarivač Caterpillar 950H

- q – zapremnina lopate utovarivača = 4 m<sup>3</sup>
- T<sub>p</sub>- vrijeme potrebno za punjenje lopate = 40s
- T<sub>pr</sub>- vrijeme potrebno za prijenos = 15s
- T<sub>i</sub>- vrijeme potrebno za istovar = 15s
- T<sub>pov</sub>- vrijeme potrebno za povratak = 20s
- T<sub>o</sub>- gubitak vremena zbog promjene smjera = 7s



*Slika 10. Utovarivač Caterpillar 950H [8]*

Vibrovaljak Bomag BW 138 AC-5

- Brzina kretanja valjka = 10 km/h
- Širina valjka = 1,38 m
- Broj prijelaza n = 3
- Debljina nasutog sloja d = 15 cm



*Slika 11. Vibrovaljak Bomag BW 138 AC-5 [8]*



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

Finišer na kotačima VOGELE SUPER 1603 – 3i

- Brzina ugradnje : 600 tona/h
- Radna širina: max 7 m
- Motor: cummins
- Snaga: 116 kW/20000



Slika 12. Finišer na kotačima VOGELE SUPER 1603 - 3i [8]

Kamion kiper MAN 8x4

- Najveća dozvoljena težina: 31000 kg
- Težina praznog vozila: 14500 kg
- Nosivost vozila: 16,5 t
- Dužina vozila: 8612 mm
- Širina vozila: 2550 mm
- Dužina sanduka: 5500 mm
- Brzina punog kamiona: 35 km/h
- Brzina praznog kamiona: 50 km/h



Slika 13. Kamion kiper MAN 8x4 [9]



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

**Buldožer D9 Dozer AEXQ2868-03**

- širina noža: 4648 mm
- visina noža: 1934 mm
- kapacitet lopate = 13.6 m<sup>3</sup>



*Slika 14. Buldožer D9 AEXQ2868-03 [10]*

**Bager s dubinskom lopatom Caterpillar 365B L FS**

- Zapremnina lopate: 4 m<sup>3</sup>
- Težina: 73340 kg



*Slika 15. Bager s dubinskom lopatom Caterpillar 365B L FS [11]*

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

Automiješalica Iveco x-way AD360X42BZ OFF

- zapremnina bubnja: 9 m<sup>3</sup>
- srednja brzina automiješalice: 40 km/h
- rezervno vrijeme: 5 min



*Slika 16. Automiješalica Iveco x-way AD360X42BZ OFF [12]*

Pumpa za beton SERMAC twinstar BS6C07-73-54

- Teorijski učinak: 73 m<sup>3</sup>/h
- Promjer cijevi d: 125 mm



*Slika 17. Pumpa za beton SERMAC twinstar BS6C07-73-54 [13]*

### Oplatni sustavi PERI

Varijanta s nosačima za taktno naguravanje

- dužine taktova min. oko 10 m do maks. 24 m
- svijetla visina oko 3 m do oko 10 m
- svijetla širina maks. oko 20 m
- broj taktova min. 50 taktova



Slika 18. Oplatni sustavi PERI [4]

## 5. USKLADIVANJE RADA STROJEVA

### 5.1. Široki iskop rova za polaganje betonskih segmenata

Za široki iskop potrebno je uskladiti rad plovnog jaružala i kamiona kiperera

Odabrano je da se izvodi široki iskop u dubini od 5 m i dužini od 1,3 km.

$K_r$  – koeficijent rastresitosti tla (odabrano 1,25)

$K_p$  – koeficijent punjenja lopate (odabrano 0,75)

$K_v$  – koeficijent iskorištenosti radnog vremena (odabrano 0,85 tj. čistog rada po satu je 51 min)

$K_z$  – kut zaokreta (odabrano 0,98)

$K_d$  – koeficijent zastarjelosti (1,0)

Volumen iskopa  $V = 58500 \text{ m}^3$

Plovno jaružalo

Planski učinak  $U_p = 8542 \text{ m}^3/\text{h}$

#### Kamion kiper

$q$  – volumen koša =  $267 \text{ m}^3$

brzina vožnje punog kiperera =  $35 \text{ km/h}$

brzina vožnje praznog kiperera =  $50 \text{ km/h}$

vrijeme trajanja istovara =  $30 \text{ s}$

#### **Proračun:**

- $T_u = \frac{q}{U_p \text{ (plovno jaružalo)}} = \frac{267}{8542} = 0,03 \text{ h} = 1,88 \text{ min}$
- $T_{(\text{puna+prazna vožnja})} = \frac{d}{v_{\text{pun}}} + \frac{d}{v_{\text{prazan}}} = \frac{12}{35} + \frac{12}{50} = 0,583 \text{ h} = 34,97 \text{ min}$
- Ciklus:  $T_c = 1,88 + 34,97 + 0,5 = 37,35 \text{ min} = 2241 \text{ s}$
- Planski učinak:  $U_p = 3600 * q * K_d / T_c = 3600 * 16,5 * 1,0 / 2241 = 26,50 \text{ m}^3/\text{h}$
- Npotrebnih kamiona =  $T_c / T_{(\text{utovar})} = 2241 / 112,8 = 19,86 \approx 20 \text{ kamiona}$
- Vrijeme potrebno za prijevoz materijala:  $T = V(\text{iskop}) / U_p \text{ (kipera)} = 58500 / 26,50 = 2207,55 \text{ (sati)} \approx 91 \text{ radni dan}$

#### **Za iskop potrebno je:**

- 1 plovno jaružalo
- 20 kamiona kiperera

## 5.2. Betonski segmenti

Za betoniranje tunela potrebno je uskladiti rad automiješalice. Učinak betonare udaljene 3 km od gradilišta je  $80 \text{ m}^3/\text{h}$ . Prijevoz svježeg betona od betonare do gradilišta vrši se automiješalicom.

Potrebni podaci:

$K_v$  – koeficijent iskorištenosti radnog vremena: 0,8

$K_p$  – koeficijent punjenja: 0,8

$K_d$  – koeficijent zastarjelosti: 1,0

$L$  – udaljenost betonare do gradilišta: 3 km

Učinak betonare:  $80 \text{ m}^3/\text{h}$

### Automiješalica:

$q$  – volumen automiješalice:  $9 \text{ m}^3$

srednja brzina automiješalice:  $40 \text{ km/h}$

rezervno vrijeme: 5 min

vrijeme zadržavanja: 5 min

vrijeme manevriranja: 5 min

### **Proračun:**

- $T_{(\text{utovar})} = q_{(\text{automiješalica})} / U_{(\text{betonara})} = 9 / 80 = 0,113 \text{ h} = 6,75 \text{ min}$
- $T_{(\text{vožnja})} = L / v_{\text{sred}} = 3 / 40 = 0,075 \text{ h} = 4,5 \text{ min}$
- $T_{(\text{istovar})} = 5 \text{ min}$
- Ciklus:  $T_c = T_u + T_v + T_i + T_z + T_{\text{rez}} + T_m$   
 $T_c = 6,75 + 4,5 + 5 + 5 + 5 + 5 = 26,25 \text{ min} = 1575 \text{ s}$
- Teorijski učinak:  $U_t = 3600 * q / T_c = 3600 * 9 / 1575 = 20,57 \text{ m}^3/\text{h}$
- Planski učinak:  $U_p = U_t * K_p * K_v * K_d = 20,57 * 0,8 * 0,8 * 1,0 = 13,17 \text{ m}^3/\text{h}$
- Vrijeme potrebno za izradu:  $T = V(\text{beton}) / U_p (\text{automiješalice}) = 17251 / 13,17 = 1309,87$   
(sati)  $\approx 54$  radnih dana

### Pumpa za beton:

#### **Proračun:**

- Teorijski učinak:  $U_t = 73 \text{ m}^3/\text{h}$
- Planski učinak:  $U_p = U_t * K_v = 73 * 0,8 = 58,4 \text{ m}^3/\text{h}$

**Usklađivanje rada strojeva:**

$$N_{\text{automiješalica}} = U_{p,\text{crpka}} / U_{p,\text{automiješalica}} = 58,4 / 13,17 = 4,43 \sim 5 \text{ automiješalica}$$

**Potrebno je:**

- 5 automiješalica
- 1 pumpa za beton

Nakon dovoza betona automiješalicom koristimo crpku za beton kojom isti ulijevamo u oplatu sa spremnom armaturom. Oplata vibrira da se beton zbijе te segmente ostavljamo na njegovanje 27 dana. Nakon 27 dana segmenti su spremni za transport do mjesta ugradnje i samu ugradnju. Transport i ugradnja se vrše plovnom dizalicom „Marjanka“.

## 6. Izrada pristupne ceste

### 6.1. Zemljani radovi

Potrebno je uskladiti rad utovarivača, kamiona kiperu i buldozera za skidanje humusnog sloja u debljini od 20 cm.

Podatci:

$K_r$ - koeficijent rastresitosti tla = 0,87

$K_v$ - koeficijent iskorištenosti radnog vremena = 0,9

$K_d$ - koeficijent zastarjelosti = 1,0

d- udaljenost gradilišta od deponija = 12 km

#### Utovarivač:

Q – zapremnina lopate utovarivača = 4 m<sup>3</sup>

$T_p$ - vrijeme potrebno za punjenje lopate = 40s

$T_{pr}$ - vrijeme potrebno za prijenos = 15s

$T_i$ - vrijeme potrebno za istovar = 15s

$T_{pov}$ - vrijeme potrebno za povratak = 20s

$T_o$ - gubitak vremena zbog promjene smjera = 7s

#### **Proračun:**

- Ciklus:  $T_c = t_p + t_{pr} + t_i + t_{pov} + t_o = 40 + 15 + 15 + 20 + 7 = 97s$
- Teorijski učinak:  $U_t = \frac{3600 \cdot q}{T_c} = \frac{3600 \cdot 4}{97} = 148,454 \text{ m}^3/h$
- Planski učinak:  $U_p = U_t \cdot k_r \cdot k_v \cdot k_d = 148,454 \cdot 0,87 \cdot 0,9 \cdot 1 = 116,239 \text{ m}^3/h$

#### Buldozer:

q- volumen lopate buldozera = 13,6 m<sup>3</sup>

$T_i$ - vrijeme potrebno za istovar = 35s

$T_u$ - vrijeme potrebno za utovar = 40s

$T_{pov}$ - vrijeme potrebno za povratak = 50s

$T_o$  – gubitak vremena zbog promjene smjera = 5s

#### **Proračun:**

- Ciklus:  $T_c = t_i + t_u + t_{pov} + t_o = 35 + 40 + 50 + 5 = 130s$
- Teorijski učinak:  $U_t = \frac{3600 \cdot q}{T_c} = \frac{3600 \cdot 13,6}{130} = 376,62 \text{ m}^3/h$
- Planski učinak:  $U_p = U_t \cdot k_r \cdot k_v \cdot k_d = 376,62 \cdot 0,87 \cdot 0,9 \cdot 1 = 294,89 \text{ m}^3/h$

**Broj potrebnih utovarivača:**

-  $N_{\text{potr}} = U_p (\text{buldozer}) / U_p (\text{utovarivač}) = 294,89 / 116,239 = 2,54 \approx 3$  utovarivač

**Kamion kiper**

q – volumen koša = 16,5 m<sup>3</sup>

brzina vožnje punog kiperera = 35 km/h

brzina vožnje praznog kiperera = 50 km/h

vrijeme trajanja istovara = 30s

**Proračun:**

-  $T_u = \frac{q}{U_p (\text{utovarivač})} = \frac{16,5}{116,239} = 0,142 \text{ h} = 8,52 \text{ min}$

-  $T_{(\text{puna+prazna vožnja})} = \frac{d}{v_{\text{pun}}} + \frac{d}{v_{\text{prazan}}} = \frac{12}{35} + \frac{12}{50} = 0,583 \text{ h} = 34,97 \text{ min}$

- Ciklus:  $T_c = 8,52 + 34,97 + 0,5 = 43,99 \text{ min} = 2639,49 \text{ s}$

- Planski učinak:  $U_p = 3600 * q * K_d / T_c = 3600 * 16,5 * 1,0 / 2639,49 = 22,50 \text{ m}^3/\text{h}$

**Usklađivanje rada strojeva:**

$N = U_p (\text{utovarivač}) / U_p (\text{kiper}) = 116,239 / 22,5 = 5,17 \approx 5$  kamiona kiperera

**Potrebno je:**

- 1 buldozer
- 3 utovarivača
- 5 kamiona kiperera



## 6.2. Izrada posteljice

### 6.2.1. Utovar i dovoz materijala za izradu posteljice

Potrebno je uskladiti rad utovarivača i kamiona kiperera

#### Utovarivač:

- q – zapremnina lopate utovarivača = 4 m<sup>3</sup>
- T<sub>p</sub>- vrijeme potrebno za punjenje lopate = 40s
- T<sub>pr</sub>- vrijeme potrebno za prijenos = 15s
- T<sub>i</sub>- vrijeme potrebno za istovar = 15s
- T<sub>pov</sub>- vrijeme potrebno za povratak = 20s
- T<sub>o</sub>- gubitak vremena zbog promjene smjera = 7s

#### **Proračun:**

- Ciklus: T<sub>c</sub> = t<sub>p</sub> + t<sub>pr</sub> + t<sub>i</sub> + t<sub>pov</sub> + t<sub>o</sub> = 40 + 15 + 15 + 20 + 7 = 97s
- Teorijski učinak:  $U_t = \frac{3600 \cdot q}{T_c} = \frac{3600 \cdot 4}{97} = 148,454 \text{ m}^3/\text{h}$
- Planski učinak:  $U_p = U_t \cdot k_r \cdot k_v \cdot k_d = 148,454 \cdot 0,87 \cdot 0,9 \cdot 1 = 116,239 \text{ m}^3/\text{h}$

#### Kamion kiper

- q – volumen koša = 16,5 m<sup>3</sup>
- brzina vožnje punog kiperera = 35 km/h
- brzina vožnje praznog kiperera = 50 km/h
- vrijeme trajanja istovara = 30s

#### **Proračun:**

- $T_u = \frac{q}{U_p \text{ (utovarivač)}} = \frac{16,5}{116,239} = 0,142 \text{ h} = 8,52 \text{ min}$
- $T_{\text{(puna+prazna vožnja)}} = \frac{d}{v_{\text{pun}}} + \frac{d}{v_{\text{prazan}}} = \frac{12}{35} + \frac{12}{50} = 0,583 \text{ h} = 34,97 \text{ min}$
- Ciklus: T<sub>c</sub> = 8,52 + 34,97 + 0,5 = 43,99 min = 2639,49 s
- Planski učinak:  $U_p = 3600 \cdot q \cdot K_d / T_c = 3600 \cdot 16,5 \cdot 1,0 / 2639,49 = 22,50 \text{ m}^3/\text{h}$

#### **Usklađivanje rada strojeva:**

$$N = U_p \text{ (utovarivač)} / U_p \text{ (kiper)} = 116,239 / 22,5 = 5,17 \approx 5 \text{ kamiona kiperera}$$

#### Potrebno je:

- 1 utovarivač
- 5 kamiona kiperera

### 6.2.2. Razastiranje i zbijanje materijala za posteljicu

Potrebno je uskladiti rad buldozera i valjka. Posteljica je debljine 15 cm i razastire se u dužinu od 400 m i u širinu od 6 m.

$$Q_{\text{posteljica}} = 0,15 * 6 * 500 = 450\text{m}^3$$

#### Grejder:

brzina kretanja: 8 km/h

broj prijelaza:  $n = 6$

širina noža:  $l_r = 3,7$  m

širina preklopa:  $l_p = 0,25$  m

duljina kretanja:  $L = 400$  m

Teorijski učinak:

$$U_t = \frac{v(l_r - l_p)d * 1000}{n} = \frac{8(3,7 - 0,25) * 0,15 * 1000}{6} = 690 \text{ m}^3/\text{h}$$

Planski učinak:

$$U_p = U_t * K_v = 690 * 0,9 = 621\text{m}^3/\text{h}$$

#### Vibrovaljak:

Brzina kretanja valjka = 10 km/h

Širina valjka = 1,38 m

Broj prijelaza  $n = 3$

Debljina nasutog sloja  $d = 15$  cm

#### **Proračun:**

- Teorijski učinak:  $U_t = v * d * b / n = 10000 * 0,15 * 1,38 / 4 = 517,5 \text{ m}^3/\text{h}$
- Planski učinak:  $U_p = U_t * K_v = 517,5 * 0,9 = 465,75 \text{ m}^3/\text{h}$

#### **Usklađivanje rada strojeva:**

$$N_{\text{valjak}} = U_{p,\text{grejder}} / U_{p,\text{valjak}} = 621/465,75 = 1,33 \approx 2 \text{ valjaka}$$

#### Potrebno je:

- 1 grejder
- 2 valjka

### 6.3. Asfaltiranje

Potrebno je uskladiti rad finišera na kotačima, kamion kiperera i vibrovaljka.

#### Finišer na gumama:

Teorijski učinak:  $U_t = 600 \text{ t/h}$

širina asfaltiranja:  $\check{s} = 6 \text{ m}$

debljina asfaltiranja:  $d = 12 \text{ cm}$

duljina asfaltiranja:  $400 \text{ m}$

-  $Q = 400 * 6 * 0,12 = 288 \text{ m}^3/\text{h}$

Proračun:

- planski učinak:  $U_p = U_t * k_v * \check{s} * d = 600 * 0,9 * 6 * 0,12 = 388,8 \text{ t/h} = 170 \text{ m}^3/\text{h}$

#### Kamion kiper

$q$  – volumen koša =  $16,5 \text{ m}^3$

brzina vožnje punog kiperera =  $35 \text{ km/h}$

brzina vožnje praznog kiperera =  $50 \text{ km/h}$

vrijeme trajanja istovara =  $30 \text{ s}$

Proračun:

-  $T_u = \frac{q}{U_p \text{ (utovarivač)}} = \frac{16,5}{116,239} = 0,142 \text{ h} = 8,52 \text{ min}$

-  $T_{(\text{puna+prazna vožnja})} = \frac{d}{v_{\text{pun}}} + \frac{d}{v_{\text{prazan}}} = \frac{12}{35} + \frac{12}{50} = 0,583 \text{ h} = 34,97 \text{ min}$

- Ciklus:  $T_c = 8,52 + 34,97 + 0,5 = 43,99 \text{ min} = 2639,49 \text{ s}$

- Planski učinak:  $U_p = 3600 * q * K_d / T_c = 3600 * 16,5 * 1,0 / 2639,49 = 22,50 \text{ m}^3/\text{h}$

#### Usklađivanje rada strojeva:

Broj potrebnih kamiona:

$$N_{\text{kamiona}} = U_{p,\text{finišer}} / U_{p,\text{kamion}} = 170 / 22,50 = 7,56 \sim 8 \text{ kamion kiperera}$$

**Valjak**

brzina kretanja valjka: 10 km/h

debljina asfaltnog sloja:  $d = 12 \text{ cm}$

korisna širina valjka: 1,38 m

broj prijelaza:  $n = 4$

Proračun:

- Teorijski učinak:  $U_t = v * d * b / n = 10000 * 0,12 * 2,1 / 4 = 630 \text{ m}^3/\text{h}$
- Planski učinak:  $U_p = U_t * k_v = 630 * 0,9 = 567 \text{ m}^3/\text{h}$

Broj potrebnih valjaka:

- $N_{\text{valjak}} = U_{p,\text{finašer}} / U_{p,\text{valjak}} = 170 / 567 = 0,30 \sim 1 \text{ valjak}$

**Potrebno je:**

- 1 finašer na kotačima
- 8 kamion kipera
- 1 valjak

## **7. ZAKLJUČAK**

Projekt izrade podvodnog tunela koji povezuje Kaštel Sućurac sa Stinicama u Splitu će donijeti značajne prednosti za rasterećenje prometa. Zahtijeva vrlo precizno planiranje, odabir visokokvalitetnih materijala za izradu samog tunela i visokokvalificirane inženjere i radnike. Tunel je dizajniran kao dvosmjerni s dimenzijama širine 6 m, dužine 1,3 km i visine 5 m.

Radove započinjemo izradom širokog iskopa u koji će se položiti betonski segmenti. Za široki iskop nam je bilo potrebno 1 plovno jaružalo i 20 kamiona kiperera. Dio iskopanog materijala ćemo koristiti za zatrpavanje samih segmenata, ostatak se odvozi na deponij. Strojevi rade usklađeno da bi izbjegli zaostatke te nam je za sami iskop bio potreban 91 radni dan. Pri izradi betonskih segmenata koristili smo 5 automiješalica, 1 pumpu za beton i PERI oplatne sustave. PERI oplatni sustavi pokazali su se kao najbolje rješenje za ovaj projekt zbog brze i precizne montaže te osiguranja visoke kvalitete proizvoda. Gotovi betonski segmenti će se transportirati i postavljati pomoću plovne dizalice Marjanka koja omogućuje precizno i sigurno polaganje segmenata. Nakon što smo položili same segmente koristiti ćemo materijal iz širokog iskopa za njihovo zatrpavanje.

Sljedeće će se izraditi pristupna cesta na izlazu i ulazu u podvodni tunel, njezina sveukupna duljina iznosi 400 m. Započinjemo sa zemljanim radovima. Za skidanje humusnog sloja u debljini od 20 cm koristili smo 1 buldozer, 3 utovarivača i 5 kamiona kiperera. Nakon pripreme terena izrađuje se posteljica. Za utovar i dovoz materijala bio nam je potreban 1 utovarivač i 5 kamion kiperera. Za razastiranje i zbijanje materijala za posteljicu koristili smo 1 grejder i 2 valjka. Zatim nam slijedi asfaltiranje same ceste za koje nam je bilo potrebno 8 kamion kiperera, 1 finišer na kotačima i 1 vibrovaljak.

## 8. LITERATURA:

1. <https://www.google.hr/maps/place/21212,+Ka%C5%A1tel+Su%C4%87urac>
2. <https://pdfcoffee.com/kategorije-tla-za-iskope-pdf-free.html>
3. <https://www.kucastil.rs/arhitektura/arhitektonsko-cudo>
4. <https://www.peri.com.hr/kompetentnost/tehnologija-oplata-u-tunelogradnji.html>
5. <https://www.newnybridge.com/floating-crane-101heavy-lifting>
6. <https://www.brodosplit.hr/hr/nasi-proizvodi/plovne-dizalice/>
7. <https://tehnika.lzmk.hr/jaruzalo/>
8. [Heavy machinery and equipment specifications & technical details | LECTURA Specs \(lectura-specs.com\)](https://www.lecturaspecs.com/)
9. <https://kamionikiperi.blogspot.com/2012/02/kamioni-kiperi-man-10x4.html>
10. <https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/CM20200807-cbc8d-74cd9>
11. <https://en.machinerypark.com/mining-excavators/caterpillar-365b-l-fs-used-pwzy9767fq>
12. <https://benussi.hr/vozila/iveco-x-way-ad360x42bz-off-9mc-liebherr-mjesalica-za-beton>
13. <https://apt-tehnika.com/gradbenistvo/hr/program/sermac-pumpe-za-beton>