

Usklađivanje rada strojeva pri izvedbi podzemnog tunela za željeznicu i obližnje ceste

Minga, Lucija

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:707252>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-31**

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

Lucija Minga

Split, 2024.

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

**Usklađivanje rada strojeva pri izvedbi podzemnog tunela za željeznicu i obližnje
ceste**

Završni rad

Split, 2024.

STUDIJ: STRUČNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA

KANDIDAT: Lucija Minga

KATEDRA: Katedra za organizaciju i ekonomiku građenja

PREDMET: Tehnologija građenja

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Usklađivanje rada strojeva pri izvedbi podzemnog tunela za željeznicu i obližnje ceste

Opis zadatka: Temeljem raspoložive literature i znanja, studentica će prikazati izbor optimalne tehnologije građenja i usklađenost rada strojeva za izvedbu podzemnog tunela za željeznicu i obližnje ceste.

U Splitu, 8. ožujka 2024.

Voditeljica Završnog rada:

Doc. dr. sc. Katarina Rogulj

Komentor:

Prof. dr. sc. Nikša Jajac

Usklađivanje rada strojeva pri izgradnji podzemnog tunela za željeznicu i obližnje ceste

Sažetak: Cilj ovog završnog rada jest prikazati odabir i usklađenost određenih građevinskih strojeva pri izradi podzemnog tunela za željeznicu dužine 1500 m te ceste dužine 500 m koja se nalazi na gradilištu udaljenom 800 m od tunela, uz održavanje zadovoljavajuće kvalitete i postizanje što veće učinkovitosti strojeva.

Ključne riječi:

Podzemni tunel za željeznicu, cesta, izbor i usklađivanje strojeva

Selection and Coordination of Machinery for Railway Tunnel and Road Construction

Abstract: The aim of this final thesis is to present the selection and coordination of specific construction machinery for the construction of an underground railway tunnel, measuring 1500 meters in length, and the road, that is 800 m away from tunnel, measuring 500 meters in length, while maintaining satisfactory quality and achieving maximum efficiency of the machinery.

Keywords:

Railway tunnel, road, machinery selection and coordination

SADRŽAJ:

1. Uvod	1
1.1. Tehnički opis	1
1.2. Odabir strojeva:	4
1.3. Karakteristike odabranih strojeva:.....	5
2. Usklađivanje rada strojeva	11
2.1 Iskop tunela	11
2.2 Betoniranje tunela.....	13
3. Izgradnja ceste	15
3.1 Zemljani radovi	15
3.2 Izrada posteljice.....	17
3.2.2 Utovar i dovoz materijala za izradu posteljice	18
3.2.3 Razastiranje i zbijanje materijala za izradu posteljice.....	20
3.3 Izrada tamponskog sloja	21
3.3.1 Dovož materijala za izradu tampona.....	21
3.3.2 Razastiranje i zbijanje materijala za izradu tamponskog sloja.....	22
3.4 Asfaltiranje.....	24
3.4.1 Dovož, ugradnja i nabijanje asfalta.....	24
4. Zaključak:	26
5. Literatura:	27

1. Uvod

1.1. Tehnički opis

U ovom završnom radu prikazat će se odabir strojeva te njihovo usklađivanje tijekom gradnje podzemnog tunela za željezničku prugu i ceste koja je 800 m udaljena od tunela. Tunel se gradi za jednokolosiječnu prugu, promet se odvija u jednom smjeru. Prometna traka široka je 3 m te bankine sa svake strane po 1 m. Tunel je dug 1500 m i visok 6,5 m. Površina poprečnog presjeka tunela je 44 m^2 te će se ista koristiti u daljnjem proračunu.

Dvije gradnje se odvijaju paralelno: izgradnja tunela i izgradnja obližnje ceste.

U izgradnji tunela koristit će se tunelska bušilica za probijanje tunela dugog 1500 metara, a za odvoz viška materijala koristit će se utovarivač CAT 966H zapremnine $4,2 \text{ m}^3$ te kamion kiper MAN TGA zapremnine 12 m^3 . Za odvoz viška materijala koristit će se deponij na udaljenosti od 15 km. Dio viška materijala će se dodatno preraditi i iskoristiti za izvedbu posteljice obližnje ceste. Nakon probijanja tunela slijedi betoniranje istoga za što će se koristiti automiješalica Iveco x-way AD360X42BZ zapremnine 9 m^3 te pumpa za beton Cifa magnum MK 24 PB 607 L. Za potrebe betoniranja koristit će se betonara udaljena 10 km.

Druga gradnja odvija se na obližnjem gradilištu gdje se izvodi cesta duga 500 metara. Cesta je dvotračna sa širinom prometnog traka 3,0 m. Prije samog asfaltiranja ceste izvodit će se zemljani radovi – skidanje humusnog sloja buldozerom, odvoz viška materijala utovarivačem i kamionom kiperom do deponija udaljenog 15 km. Nakon skidanja humusa za izradu posteljice koristit će se dio viška materijala s prvog gradilišta udaljenog 800 m, a za izradu tampona koristit će se materijal iz kamenoloma udaljenog 5 km. Od strojeva koristit će se kamion kiper za dovoz materijala, mlin sa šipkama za preradu viška materijala iz iskopa tunela kako bi se dobio materijal za posteljicu, vibro valjak Bomag BW 120 AD-5 i buldozer CAT D9 za razastiranje i nabijanje materijala. Za dovoz asfalta iz postrojenja za proizvodnju asfaltnih mješavina kapaciteta 120 t/h te udaljenosti od 35 km, koristit će se kamion kiper, a za ugradnju i nabijanje asfaltnog sloja finišer na gusjenicama i valjak na kotačima s gumama. Nadalje su u tablici 1 prikazani odabrani strojevi za pojedine aktivnosti i podaktivnosti za izgradnju podzemnog željezničkog tunela i pristupne ceste. [1]

Tablica 1. Prikaz aktivnosti

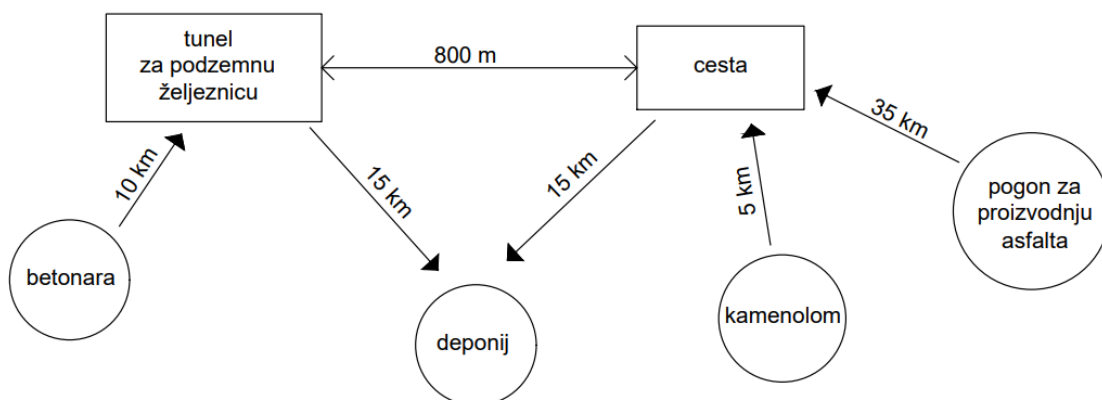
	AKTIVNOSTI	PODAKTIVNOSTI	VRSTA STROJA
izgradnja tunela	1. iskop tunela	bušenje tunela	tunelska bušilica
		utovar i odvoz materijala	utovarivač, kamion kiper
	2. betoniranje tunela	dovoz betona	automiješalica
		ugradnja betona	stroj za izvedbu mlaznog betona
Izgradnja ceste	1. zemljani radovi	skidanje humusa 20cm	buldozer
		utovar i odvoz materijala	kamion kiper, utovarivač
	2. izrada posteljice	prerada materijala	mlin sa šipkama
		dovoz materijala s prvog na drugo gradilište	kamion kiper
		razastiranje materijala za izradu posteljice	grejder
		zbijanje materijala za izradu posteljice	vibrovaljak
	3. izrada tampona	dovoz materijala za izradu tampona	kamion kiper, utovarivač
		razastiranje materijala za izradu tampona	grejder
		zbijanje materijala za izradu tampona	vibrovaljak
	4. asfaltiranje	dovoz asfalta	kamion kiper
		ugradnja asfaltnog sloja	finišer na gusjenicama
		nabijanje asfaltnog sloja	valjak na kotačima s gumama



Slika 1. Primjer probijanja tunela [2]



Slika 2. Primjer probijanja tunela [3]



Slika 3. Shematski prikaz udaljenosti gradilišta i postrojenja

1.2.Odabir strojeva:

Dolje prikazani strojevi odabrani su za iskop tunela te za izradu pristupne ceste s obzirom na aktivnosti koje će se provoditi u daljnjem proračunu.

1. Tunelska krtica
2. Utovarivač
3. Kamion kiper
4. Automiješalica
5. Stroj za izvedbu mlaznog betona
6. Buldozer
7. Mlin sa šipkama
8. Vibrovaljak
9. Grejder
10. Finišer na gusjenicama
11. Valjak na kotačima s gumama

1.3. Karakteristike odabranih strojeva:

U ovom poglavlju prikazat će se karakteristike i izgled odabranih strojeva.

1. Tunelska krtica Robbins Single Shield TBM

-promjer rotirajuće glave: 7 m

-brzina: 12 km/h

-planski učinak: 19,8 m³/dan



Slika 4. Tunelska krtica [4]

2. Utovarivač CAT 966H

-snaga: 195 kW

-zapremnina 4,8 m³

-brzina: 26,8 km/h



Slika 5. Utovarivač [5]

3. Kamion kiper Volvo FMX 460 10X4

-zapremnina 33 m³

-brzina vožnje punog kamiona: 35 km/h

-brzina vožnje praznog kamiona: 60 km/h

-vrijeme trajanja istovara: 1 min

-udaljenost gradilišta i deponija: 15 km



Slika 6. Kamion kiper [6]

4. Automiješalica Iveco x-way AD360X42BZ OFF

-zapremnina bubnja: 9 m³

-srednja brzina automiješalice: 40 km/h

- rezervno vrijeme: 5 min



Slika 7. Automiješalica [7]

5. Pumpa za beton Cifa magnum MK 24 PB 607 L

-teorijski učinak: 61 m³/h

-promjer cijevi: 100 mm



Slika 8. Pumpa za beton [8]

6. Buldozer CAT D9

-širina prednje oštrice: 4,35 m

-masa: 49,99 t

-brzina unaprijed: 11 km/h

-brzina unatrag: 13,6 km/h



Slika 9. Bulldozer [9]

7. Mlin MR1500*3000

- snaga: 90 kW
- učinak: 15 m³/h
- težina: 22.5 t



Slika 10. Mlin sa šipkama [10]

8. Vibrovaljak Bomag BW 120 AD-5

- snaga: 24,3 kW
- težina: 2700 kg
- širina valjka: 1,272 m
- broj okretaja pri maksimalnom momentu: 2500 rpm
- brzina putovanja: 10 km/h



Slika 11. Vibrovaljak [11]

9. Grejder Cat 140H

-brzina putovanja: 41 km/h

-Transportna širina 2,5 m

-Snaga motora: 153 kW



Slika 12, Grejder [12]

10. Finišer na gusjenicama: Vögele SUPER 1600-3i

-brzina ugradnja: 600 tona/h

-širina asfaltiranja: 7,5 m

-snaga: 116 kW



Slika 13. Finišer na gusjenicama [13]

11. Valjak na kotačima s gumama: CW16 s opcijom 11 kotača

-brzina vožnje: 0-19 km/h

-snaga:75 kW

-širina nabijanja: 2103 mm



Slika 14. Valjak na kotačima s gumama [14]

2. Usklađivanje rada strojeva

Usklađivanje rada odabranih strojeva za 2 gradilišta na kojima se radi 5 dana u tjednu po 8 sati dnevno.

2.1 Iskop tunela

Za iskop tunela potrebno je uskladiti rad tunelske bušilice, utovarivača i kamion kipera.

$$Q = 44 * 1500 = 66000 \text{ m}^3$$

Potrebni podaci:

- K_r – koeficijent rastresitosti tla: 0,87
- K_v – koeficijent iskorištenosti radnog vremena: 0,90
- K_d – koeficijent zastarjelosti: 1,0
- d – udaljenost od gradilišta do deponija: 15 km

Tunelska krtica:

Proračun:

- Planski učinak: $19,8 \text{ m}^3/\text{dan} = 19,8 / 8 \text{ h} = 2,475 \text{ m}^3/\text{h}$
- Količina koja se iskopa u danu: $U_p = 2,475 * 44 \text{ m}^2 = 108,9 \text{ m}^3/\text{h}$
- Vrijeme potrebno za iskop tunela:
 $T = Q / U_p = 66000 / 108,9 = 606,06 \text{ sati} = 606,06 / 8 = 75,75 \text{ dana} \sim 76 \text{ dana}$

Utovarivač:

- q – zapremnina lopate utovarivača: $4,8 \text{ m}^3$
- T_p – vrijeme potrebno za punjenje lopate: 40 s
- T_{pr} – vrijeme potrebno za prijenos: 20 s
- T_i – vrijeme potrebno za istovar: 10 s
- T_{pov} – vrijeme potrebno za povratak: 15 s
- T_o – gubitak vremena zbog promjene smjera: 10 s

Proračun:

- Ciklus: $T_c = t_p + t_{pr} + t_i + t_{pov} + t_o = 40 + 20 + 10 + 15 + 10 = 95 \text{ s}$
- Teorijski učinak: $U_t = \frac{3600 \cdot q}{T_c} = \frac{3600 \cdot 4,8}{95} = 181,895 \text{ m}^3/\text{h}$
- Planski učinak: $U_p = U_t \cdot k_r \cdot k_v \cdot k_d = 181,895 \cdot 0,87 \cdot 0,9 \cdot 1 = 142,424 \text{ m}^3/\text{h}$
- Vrijeme potrebno za utovar materijala:
 $T = Q_{\text{viška materijala}} / U_p = (66000 - 600) / (142,424 \cdot 8) = 57,4 \text{ dana} \sim 55 \text{ dana}$

Kamion kiper:

- q – volumen koša: 33 m^3
- brzina vožnje punog kamiona: 35 km/h
- brzina vožnje praznog kamiona: 60 km/h
- vrijeme trajanja istovara: 1 min

Proračun:

- $T_u = \frac{q}{U_p \text{ (utovarivač)}} = \frac{33}{142,424} = 0,23 \text{ h} = 13,8 \text{ min}$
- $T_{\text{(puna+prazna vožnja)}} = \frac{d}{v_{\text{pun}}} + \frac{d}{v_{\text{prazan}}} = \frac{15}{35} + \frac{15}{60} = 0,68 \text{ h} = 40,8 \text{ min}$
- Ciklus: $T_c = 13,8 + 40,8 + 1 = 55,6 \text{ min} = 3336 \text{ s}$
- Planski učinak: $U_p = 3600 \cdot q \cdot K_d / T_c = 3600 \cdot 33 \cdot 1,0 / 3336 = 35,61 \text{ m}^3/\text{h}$
- Vrijeme potrebno za odvoz materijala:
 $T = Q_{\text{viška materijala}} / U_p = (66000 - 600) / (35,61 \cdot 4 \cdot 8) = 57,4 \sim 58 \text{ dana}$

Usklađivanje rada strojeva:

$$N_{\text{utovarivača}} = \frac{U_p \text{ (jumbo)}}{U_p \text{ (utovarivač)}} = \frac{108,9}{142,424} = 0,76 \sim 1 \text{ utovarivač}$$

S obzirom da je potreban samo jedan utovarivač, možemo uskladiti kiperu prema:

$$N_{\text{kipera}} = \frac{T_c}{T_u} = \frac{55,6}{13,8} = 4,03 \sim 4 \text{ kipera}$$

Potrebno je:

- 1 tunnelska krtica
- 1 utovarivač
- 4 kamion kipera

2.2 Betoniranje tunela

Za betoniranje tunela uskladit će se rad automiješalice i pumpe za beton. Učinak betonare udaljene 10 km od gradilišta je 50 m³/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: 10 km
- Učinak betonare: 50 m³/h

Automiješalica:

- q – volumen automiješalice: 9 m³
- srednja brzina automiješalice: 40 km/h
- rezervno vrijeme: 5 min
- vrijeme zadržavanja: 5 min
- vrijeme manevriranja: 5 min

Proračun:

- T_(utovar) = q_(automiješalica) / U_(betonara) = 9 / 50 = 0,18 h = 10,8 min
- T_(vožnja) = L / v_{sred} = 10 / 40 = 0,25 h = 15 min
- T_(istovar) = q_(automiješalica) / U_(crpka) = 9 / 61 = 0,148 h = 8,88 min

- Ciklus: $T_c = T_u + T_v + T_i + T_z + T_{rez} + T_m$

$$T_c = 10,8 + 15 + 8,88 + 5 + 5 + 5 = 49,68 \text{ min} = 2980,8 \text{ s}$$

- Teorijski učinak: $U_t = 3600 \cdot q / T_c = 3600 \cdot 9 / 2980,8 = 10,87 \text{ m}^3/\text{h}$
- Planski učinak: $U_p = U_t \cdot K_p \cdot K_v \cdot K_d = 10,87 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 6,96 \text{ m}^3/\text{h}$

Stroj za izvedbu mlaznog betona:

Proračun:

- Teorijski učinak: $U_t = 61 \text{ m}^3/\text{h}$
- Planski učinak: $U_p = U_t \cdot K_v = 61 \cdot 0,8 = 48,8 \text{ m}^3/\text{h}$

Usklađivanje rada strojeva:

$$N_{\text{automiješalica}} = U_{p,\text{crpka}} / U_{p,\text{automiješalica}} = 48,8 / 6,96 = 7,01 \sim 7 \text{ automiješalica}$$

Potrebno je:

- 7 automiješalica
- 1 stroj za izvedbu mlaznog betona

3. Izgradnja ceste

3.1 Zemljani radovi

Usklađivanje rada buldozera za skidanje humusnog sloja dubine 20 cm te kamion kipera i utovarivača za utovar i odvoz viška materijala.

Potrebni podaci:

- K_r – koeficijent rastresitosti tla (odabrano 0,87)
- K_v – koeficijent iskorištenosti radnog vremena (odabrano 0,90)
- K_d – koeficijent zastarjelosti (odabrano 1,0)
- d – udaljenost gradilišta od privremenog deponija (15,0 km)

$$Q = 500 * 6 * 0,2 = 600 \text{ m}^3$$

Buldozer

- q – volumen lopate buldozera ($13,6 \text{ m}^3$)
- T_i – vrijeme potrebno za istovar (45 s)
- T_u – vrijeme potrebno za istovar (35 s)
- T_{pov} – vrijeme potrebno za povratak (20 s)
- T_o – gubitak vremena zbog promjene smjera (5 s)

Proračun:

- Ciklus: $T_c = 45 + 35 + 20 + 5 = 105 \text{ s}$
- Teorijski učinak: $U_t = 3600 * q / T_c = 3600 * 13,6 / 105 = 466,28 \text{ m}^3/\text{h}$
- Planski učinak: $U_p = U_t * K_r * K_v * K_d = 466,28 * 0,87 * 0,9 * 1 = 365,1 \text{ m}^3/\text{h}$
- Vrijeme potrebno za skidanje humusnog sloja:

$$T = Q / U_p = 600 / 365,1 = 1,64 \text{ h} \sim 2 \text{ sata}$$

Utovarivač:

- q – zapremnina lopate utovarivača: $4,8 \text{ m}^3$
- T_p – vrijeme potrebno za punjenje lopate: 40 s
- T_{pr} – vrijeme potrebno za prijenos: 20 s
- T_i – vrijeme potrebno za istovar: 10 s
- T_{pov} – vrijeme potrebno za povratak: 15 s
- T_o – gubitak vremena zbog promjene smjera: 10 s

Proračun:

- Ciklus: $T_c = t_p + t_{pr} + t_i + t_{pov} + t_o = 40 + 20 + 10 + 15 + 10 = 95 \text{ s}$
- Teorijski učinak: $U_t = \frac{3600 \cdot q}{T_c} = \frac{3600 \cdot 4,8}{95} = 181,895 \text{ m}^3/\text{h}$
- Planski učinak: $U_p = U_t \cdot k_r \cdot k_v \cdot k_d = 181,895 \cdot 0,87 \cdot 0,9 \cdot 1 = 142,424 \text{ m}^3/\text{h}$
- Vrijeme potrebno za utovar humusnog sloja:

$$T = Q / U_p = 600 / (142,424 \cdot 3) = 1,4 \text{ h} \sim 2 \text{ sata}$$

Broj potrebnih utovarivača:

$$N_{\text{potrebnih utovarivača}} = U_{p,\text{bulldozer}} / U_{p,\text{utovarivač}} = 365,1 / 142,424 = 2,56 \sim 3 \text{ utovarivača}$$

Kamion kiper:

- q – volumen koša: 33 m^3
- brzina vožnje punog kamiona: 35 km/h
- brzina vožnje praznog kamiona: 60 km/h
- vrijeme trajanja istovara: 1 min

Proračun:

- $T_u = \frac{q}{U_p (\text{utovarivač})} = \frac{33}{142,424} = 0,23 \text{ h} = 13,8 \text{ min}$
- $T_{(\text{puna+prazna vožnja})} = \frac{d}{v_{\text{pun}}} + \frac{d}{v_{\text{prazan}}} = \frac{15}{35} + \frac{15}{60} = 0,68 \text{ h} = 40,8 \text{ min}$
- Ciklus: $T_c = 13,8 + 40,8 + 1 = 55,6 \text{ min} = 3336 \text{ s}$
- Planski učinak: $U_p = 3600 * q * K_d / T_c = 3600 * 33 * 1,0 / 3336 = 35,61 \text{ m}^3/\text{h}$
- Vrijeme potrebno za odvoz humusnog sloja:
 $T = Q / U_p = 600 / (35,61 * 12) = 1,4 \text{ h} \sim 2 \text{ sata}$

Usklađivanje rada strojeva:

$$N = U_{p,\text{utovarivač}} / U_{p,\text{kiper}} = (142,424 * 3) / 35,61 = 12 \text{ kamion kiper}$$

Potrebno je:

- 1 buldozer
- 3 utovarivača
- 12 kamion kiper

3.2 Izrada posteljice

3.2.1. Prerada materijala

Za izradu posteljice potreban je mlin da bi preradili višak materijala tijekom bušenja tunela do željene frakcije za posteljicu. Mlin je postavljen na prvom gradilištu gdje se izvodi iskop tunela.

$$Q = 500 * 0,20 * 6 = 600 \text{ m}^3$$

Mlin sa šipkama:

-planski učinak: $U_p = 15 \text{ m}^3/\text{h}$

Proračun:

$$T = Q / U_p = 600 / 15 = 40 \text{ h} = 5 \text{ dana}$$

3.2.2 Utovar i dovoz materijala za izradu posteljice

Nadalje će se provesti usklađivanje rada utovarivača i kamion kiperera za dovoz materijala za posteljicu s prvog gradilišta.

Utovarivač:

- q – zapremnina lopate utovarivača: $4,8 \text{ m}^3$
- T_p – vrijeme potrebno za punjenje lopate: 40 s
- T_{pr} – vrijeme potrebno za prijenos: 20 s
- T_i – vrijeme potrebno za istovar: 10 s
- T_{pov} – vrijeme potrebno za povratak: 15 s
- T_o – gubitak vremena zbog promjene smjera: 10 s

Proračun:

- Ciklus: $T_c = t_p + t_{pr} + t_i + t_{pov} + t_o = 40 + 20 + 10 + 15 + 10 = 95 \text{ s}$
- Teorijski učinak: $U_t = \frac{3600 \cdot q}{T_c} = \frac{3600 \cdot 4,8}{95} = 181,895 \text{ m}^3/\text{h}$
- Planski učinak: $U_p = U_t \cdot k_r \cdot k_v \cdot k_d = 181,895 \cdot 0,87 \cdot 0,9 \cdot 1 = 142,424 \text{ m}^3/\text{h}$
- Vrijeme potrebno za utovar materijala za posteljicu:

$$T = Q / U_p = 600 / 142,424 = 4,2 \text{ h} \sim 5 \text{ sati}$$

Kamion kiper:

- q – volumen koša: 33 m^3
- brzina vožnje punog kamiona: 35 km/h
- brzina vožnje praznog kamiona: 60 km/h
- vrijeme trajanja istovara: 1 min

Proračun:

- $T_u = \frac{q}{U_p \text{ (utovarivač)}} = \frac{33}{142,424} = 0,23 \text{ h} = 13,8 \text{ min}$
- $T_{\text{(puna+prazna vožnja)}} = \frac{d}{v_{\text{pun}}} + \frac{d}{v_{\text{prazan}}} = \frac{0,8}{35} + \frac{0,8}{60} = 0,04 \text{ h} = 3 \text{ min}$
- Ciklus: $T_c = 13,8 + 3 + 1 = 17,8 \text{ min} = 1068 \text{ s}$
- Planski učinak: $U_p = 3600 * q * K_d / T_c = 3600 * 33 * 1,0 / 1068 = 111,2 \text{ m}^3/\text{h}$
- Vrijeme potrebno za odvoz materijala do drugog gradilišta:
 $T = Q / (U_p * 2) = 600 / (111,2 * 2) = 2,7 \text{ h} \sim 3 \text{ sata}$

Usklađivanje rada strojeva:

$$N = U_{p,\text{utovarivač}} / U_{p,\text{kiper}} = 142,424 / 111,2 = 1,3 \sim 2 \text{ kamion kiper}$$

Potrebno je:

- 2 kamion kiper
- 1 utovarivač

3.2.3 Razastiranje i zbijanje materijala za izradu posteljice

U ovom poglavlju uskladit će se rad grejdera i vibrovaljka. Posteljica debljine 20 cm se razastire u širinu od 6 m i duljinu od 500 m.

$$Q_{\text{posteljica}} = 0,2 * 6 * 500 = 600 \text{ m}^3$$

Grejder

- brzina kretanja: 5 km/h
- broj prijelaza: $n = 3$
- radna širina noža $l_r = 4,5 \text{ m}$
- širina preklopa radnih površina: $l_p = 0,25 \text{ m}$
- duljina kretanja: $L = 500 \text{ m}$

- Teorijski učinak:

$$U_t = \frac{v(l_r - l_p)d * 1000}{n} = \frac{5(4,5 - 0,25) * 0,2 * 1000}{3} = 1416,67 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Planski učinak:

$$U_p = U_t * K_v = 1416,67 * 0,9 = 1275 \text{ m}^3/\text{h}$$

Vibrovaljak

- brzina kretanja valjka: $10 \text{ km/h} = 10\,000 \text{ m/h}$
- širina valjka: $b = 1,272 \text{ m}$
- broj prijelaza: $n = 4$
- debljina nasutog sloja: $d = 20 \text{ cm}$

Proračun:

- teorijski učinak: $U_t = v * d * b / n = 10000 * 0,2 * 1,272 / 4 = 809 \text{ m}^3/\text{h}$
- planski učinak: $U_p = U_t * K_v = 809 * 0,9 = 728,1 \text{ m}^3/\text{h}$

Usklađivanje rada strojeva:

$$N_{\text{valjak}} = U_{p,\text{grejder}} / U_{p,\text{valjak}} = 1275 / 728,1 = 1,75 \sim 2 \text{ vibrovaljka}$$

Potrebna su:

- 1 grejder
- 2 vibrovaljka

3.3 Izrada tamponskog sloja

3.3.1 Dovož materijala za izradu tampona

U ovoj aktivnosti uskladit će se rad utovarivača i kamion kiperu za dovoz materijala na gradilište iz kamenoloma udaljenog 5 km.

$$Q = 500 * 0,3 * 6 = 900 \text{ m}^3$$

Utovarivač:

- q – zapremnina lopate utovarivača: $4,8 \text{ m}^3$
- T_p – vrijeme potrebno za punjenje lopate: 40 s
- T_{pr} – vrijeme potrebno za prijenos: 20 s
- T_i – vrijeme potrebno za istovar: 10 s
- T_{pov} – vrijeme potrebno za povratak: 15 s
- T_o – gubitak vremena zbog promjene smjera: 10 s

Proračun:

- Ciklus: $T_c = t_p + t_{pr} + t_i + t_{pov} + t_o = 40 + 20 + 10 + 15 + 10 = 95 \text{ s}$
- Teorijski učinak: $U_t = \frac{3600 * q}{T_c} = \frac{3600 * 4,8}{95} = 181,895 \text{ m}^3/\text{h}$
- Planski učinak: $U_p = U_t * k_r * k_v * k_d = 181,895 * 0,87 * 0,9 * 1 = 142,424 \text{ m}^3/\text{h}$
- Vrijeme potrebno za utovar materijala za tampon:

$$T = Q / U_p = 900 / 142,424 = 6,3 \text{ h} \sim 7 \text{ sati}$$

Kamion kiper:

- q – volumen koša: 33 m^3
- brzina vožnje punog kamiona: 35 km/h
- brzina vožnje praznog kamiona: 60 km/h
- vrijeme trajanja istovara: 1 min

Proračun:

- $T_u = \frac{q}{U_p (\text{utovarivač})} = \frac{33}{142,424} = 0,23 \text{ h} = 13,8 \text{ min}$
- $T_{(\text{puna+prazna vožnja})} = \frac{d}{v_{\text{pun}}} + \frac{d}{v_{\text{prazan}}} = \frac{5}{35} + \frac{5}{60} = 0,23 \text{ h} = 13,8 \text{ min}$
- Ciklus: $T_c = 13,8 + 13,8 + 1 = 28,6 \text{ min} = 1716 \text{ s}$
- Planski učinak: $U_p = 3600 * q * K_d / T_c = 3600 * 33 * 1,0 / 1716 = 69,2 \text{ m}^3/\text{h}$
- Vrijeme potrebno za odvoz materijala do gradilišta:
 $T = Q / (U_p * 5) = 900 / (69,2 * 2) = 6,5 \text{ h} \sim 7 \text{ sati}$

Usklađivanje rada strojeva:

$$N = U_{p, \text{utovarivač}} / U_{p, \text{kiper}} = 142,424 / 69,2 = 2,06 \sim 2 \text{ kamion kiper}$$

Potrebno je:

- 2 kamion kiper
- 1 utovarivač

3.3.2 Razastiranje i zbijanje materijala za izradu tamponskog sloja

U ovom poglavlju uskladit će se rad grejdera i vibrovaljka. Tampon debljine 30 cm se razastire u širinu od 6 m i duljinu od 500 m .

$$Q_{\text{posteljica}} = 0,3 * 6 * 500 = 900 \text{ m}^3$$

Grejder

- brzina kretanja: 5 km/h
- broj prijelaza: $n = 3$
- širina noža: $l_r = 4,5$ m
- duljina kretanja: $L = 500$ m

- Teorijski učinak:

$$U_t = \frac{v(l_r - l_p)d * 1000}{n} = \frac{5(4,5 - 0,25) * 0,3 * 1000}{3} = 2125 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Planski učinak:

$$U_p = U_t * K_v = 2125 * 0,9 = 1912,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Vibrovaljak

- brzina kretanja valjka: 10 km/h = 10 000 m/h
- širina valjka: $b = 1,272$ m
- broj prijelaza: $n = 4$
- debljina nasutog sloja: $d = 30$ cm

Proračun:

- teorijski učinak: $U_t = v * d * b / n = 10000 * 0,3 * 1,272 / 4 = 954 \text{ m}^3/\text{h}$
- planski učinak: $U_p = U_t * K_v = 954 * 0,9 = 858,6 \text{ m}^3/\text{h}$

Usklađivanje rada strojeva:

$$N_{\text{valjak}} = U_{p,\text{grejder}} / U_{p,\text{valjak}} = 1912,5 / 858,6 = 2,23 \sim 3 \text{ vibrovaljka}$$

Potrebna su:

- 1 grejder
- 3 vibrovaljka

3.4 Asfaltiranje

3.4.1 Dovoz, ugradnja i nabijanje asfalta

U daljnjim aktivnostima uskladit će se rad finišera na gusjenicama, kamion kiper za dovoz asfalta te valjka na kotačima s gumama.

Potrebni podaci:

- K_v – koeficijent iskorištenosti radnog vremena: $k_v = 0,9$
- K_d – koeficijent zastarjelosti: $k_d = 1,0$

Finišer na gusjenicama

- teorijski učinak: $U_t = 600 \text{ t/h}$
- širina asfaltiranja: $\check{s} = 6 \text{ m}$
- debljina asfaltiranja: $d = 12 \text{ cm}$
- duljina asfaltiranja: 500 m
- $Q = 500 * 6 * 0,12 = 360 \text{ m}^3/\text{h}$

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: 33 m^3
- brzina vožnje punog kamiona: 35 km/h
- brzina vožnje praznog kamiona: 60 km/h
- vrijeme trajanja istovara: 1 min

Proračun:

- $T_u = \frac{q}{U_p \text{ (utovarivač)}} = \frac{33}{142,424} = 0,23 \text{ h} = 13,8 \text{ min}$
- $T_{(\text{puna+prazna vožnja})} = \frac{d}{v_{\text{pun}}} + \frac{d}{v_{\text{prazan}}} = \frac{35}{35} + \frac{35}{60} = 1,58 \text{ h} = 94,8 \text{ min}$

- Ciklus: $T_c = 13,8 + 94,8 + 1 = 109,6 \text{ min} = 6576 \text{ s}$
- Planski učinak: $U_p = 3600 * q * K_d / T_c = 3600 * 33 * 1,0 / 6576 = 18,07 \text{ m}^3/\text{h}$

Broj potrebnih kamiona:

$$N_{\text{kamiona}} = U_{p,\text{finišer}} / U_{p,\text{kamion}} = 170 / 18,07 = 9,4 \sim 10 \text{ kamion kipera}$$

Valjak na kotačima s gumama

- brzina kretanja valjka: 4 km/h
- debljina asfaltnog sloja: $d = 12 \text{ cm}$
- korisna širina valjka: 2,1 m
- broj prijelaza: $n = 4$

Proračun:

- Teorijski učinak: $U_t = v * d * b / n = 4000 * 0,12 * 2,1 / 4 = 252 \text{ m}^3/\text{h}$
- Planski učinak: $U_p = U_t * k_v = 252 * 0,9 = 226,8 \text{ m}^3/\text{h}$

Broj potrebnih valjaka:

$$N_{\text{valjak}} = U_{p,\text{finišer}} / U_{p,\text{valjak}} = 170 / 226,8 = 0,75 \sim 1 \text{ valjak}$$

Potrebno je:

- 1 finišer na gusjenicama
- 10 kamion kipera
- 1 valjak na kotačima s gumama

4. Zaključak:

U ovom završnom radu prikazano je usklađivanje rada strojeva pri izradi podzemnog željezničkog tunela i obližnje ceste. Prva faza radova započinje iskopom podzemnog tunela dugog 1500 m tunelskom bušilicom Sandvik DT923i. Iskop tunela trajao je 76 dana, a za usklađen rad tunelske bušilice s utovarivačem i kamion kiperom, korišten je 1 utovarivač i 4 kamion kiperera koji su odvozili višak iskopanog materijala na deponij udaljen 15 km. Nakon iskopa tunela slijedilo je betoniranje za koje je korištena automiješalica Iveco x-way AD360X42BZ OFF koja je dovozila svježi beton iz betonare udaljene 10 km od samog gradilišta. Tijekom betoniranja korišten je 1 stroj za izvedbu mlaznog betona i 7 automiješalica.

U drugom dijelu gradnje vrši se izrada ceste duge 500 m, a udaljene 800 m od prvog gradilišta. Za skidanje humusnog sloja koristio se buldozer CAT D9, a paralelno s njim 3 utovarivača i 12 kamion kiperera za odvoz viška materijala do deponija. Za utovar i dovoz materijala za izradu posteljice koristio se 1 utovarivač i 2 kamion kiperera, a prethodno se koristio mlin za preradu viška materijala stvorenog tijekom iskopa tunela. Za razastiranje i zbijanje posteljice se koristio 1 grejder i 2 vibrovaljka. Nakon posteljice slijedio je tamponski sloj, za čiji dovoz je korišteno 2 kamion kiperera i 1 utovarivač. Za razastiranje i zbijanje tamponskog sloja se koristio 1 grejder i 3 vibrovaljka. Posljednja aktivnost je bila asfaltiranje ceste. 10 kamion kiperera je bilo potrebno za dovoz asfalta, a za samo asfaltiranje je bio potreban 1 finišer na gusjenicama i 1 valjak na kotačima s gumama.

Odabrani strojevi i njihova koordinacija pokazali su se ključnima za uspješan završetak radova. Projekt zahtjeva pažljivu analizu da bi bila osigurana učinkovitost i sigurnost radova, što je ključno za dugoročnu održivost izgrađenog objekta.

5. Literatura:

1. https://bib.irb.hr/datoteka/618027.MustapicMikulicSaric_Projektiranje_cestovnih_i_zeljeznickih_tunela.pdf
2. <https://www.robbinstbm.com/products/tunnel-boring-machines/crossover-machines/>
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Tunnel_boring_machine#/media/File:A_d%C3%A9li_pajzs_a_keresztez%C5%91kamar%C3%A1ban.jpg
4. <https://www.robbinstbm.com/products/tunnel-boring-machines/double-shield/>
5. <https://www.lectura-specs.hr/hr/model/gradevinski-strojevi/utovarivaci-na-kotacima-caterpillar/966h-1030906#techSpecs>
6. <https://www.basworld.com/hr/vehicles/used/kamion-kiper-volvo-fmx-2014-10x4-euro-6-70209033>
7. <https://benussi.hr/vozila/iveco-x-way-ad360x42bz-off-9mc-liebherr-mjesalica-za-beton>
8. <https://machineryline.hr/-/prodaja/pumpe-za-beton/Mercedes-Benz/Actros-3244--23121912142034471300>
9. https://www.teknoxgroup.com/fileadmin/user_upload/D9.pdf
10. <https://www.foruimining.com/product/rod-mill/>
11. <https://www.lectura-specs.hr/hr/model/gradevinski-strojevi/valjci-tandem-vibracijski-valjci-bomag/bw-120-ad-5-1153747>
12. <https://www.lectura-specs.hr/hr/model/gradevinski-strojevi/grejderi-caterpillar/140h-13782>
13. <http://www.rotech.hr/finiseri-gusjenice.html>
14. https://www.teknoxgroup.com/fileadmin/user_upload/CW16_cro.pdf