

Usklađivanje rada strojeva prilikom izgradnje ceste i probijanja tunela

Čović, Petar

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

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:123:935921>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**

Repository / Repozitorij:



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



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD

Petar Čović

Split, 2018.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

**Usklađivanje rada strojeva prilikom izgradnje ceste i
probijanja tunela**

Završni rad

Split, 2018.

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

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **STRUČNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**
KANDIDAT: **Petar Čović**
BROJ INDEKSA: **1698**
KATEDRA: **Katedra za organizaciju i ekonomiku građenja**
PREDMET: **Tehnologija građenja**

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

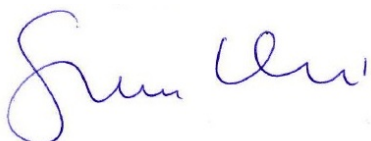
Tema: Izbor i usklađivanje rada strojeva za dio radova izgradnje ceste i probijanje tunela

Opis zadatka: Student će na temelju teorijskog znanja prezentirati hipotetski slučaj izgradnje dijela ceste i tunela, te za odabrane radove odabrati i uskladiti rad strojeva.

U Splitu, 12. ožujka 2018.

Voditeljica Završnog rada:

Prof.dr.sc. Snježana Knezić



Usklađivanje rada strojeva prilikom izgradnje ceste i probijanja tunela

Sažetak:

U ovom završnom radu rješava se zadatak izbora i usklađivanja rada strojeva za dio radova prilikom izgradnje ceste i probijanja tunela. Cilj je postizanje rješenja koje će biti što kvalitetnije i ekonomski prihvatljivije.

Ključne riječi:

Građevinski strojevi, usklađivanje rada strojeva, cesta, tunel

Coordination of the machinery during road construction and tunnel excavation

Abstract:

In this final work the solution of choice and coordination of the machinery, for one part of the construction, during road construction and tunnel excavation have been solving. The goal is to achieve the solution which would be of a high quality and in economic terms very acceptable.

Keywords:

Construction machines, coordinating of the machinery, road, tunnel

SADRŽAJ

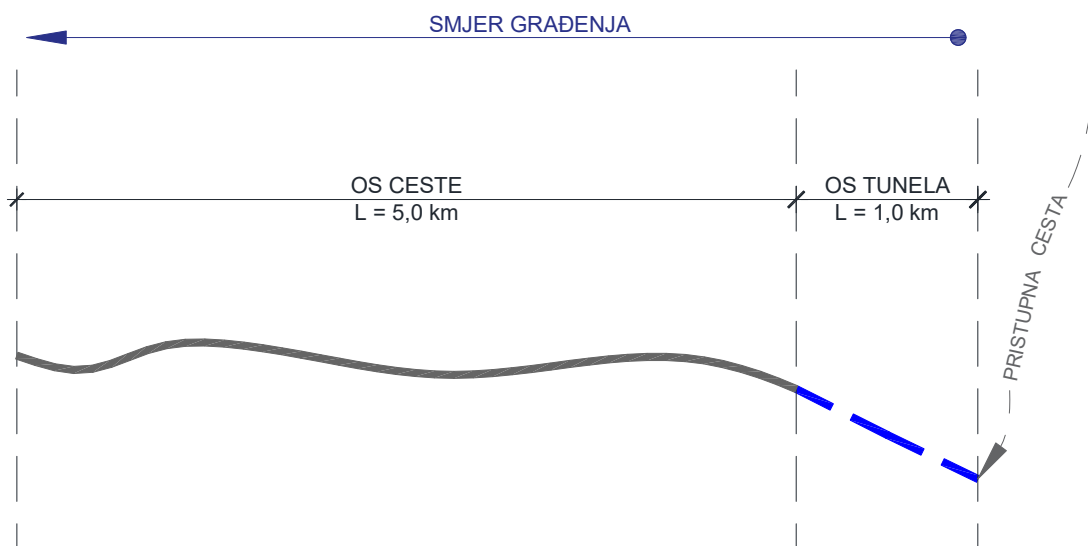
1. UVOD	1
2. TEHNIČKI OPIS RADOVA	2
2.1. PROBIJANJE TUNELA	2
2.1.1. Tehnologija iskopa tunela bušenjem i miniranjem	4
3. OPIS AKTIVNOSTI	8
4. IZBOR I ANALIZA STROJEVA	10
4.1. KARAKTERISTIKE ODABRANIH STROJEVA.....	11
4.1.1. Jaružalo (CAT 330 D L)	11
4.1.2. Kamion kiper (Mercedes Benz Actros 4150 V8)	11
4.1.3. Tunelska bušilica (Sandvik DT922i)	12
4.1.4. Utovarivač (CAT 982M).....	13
4.1.5. Automiješalica (MAN 33.360)	13
4.1.6. Stroj za izvedbu mlaznog betona (Cifa CSS-2)	14
4.1.7. Buldozer (CAT D3K2)	15
4.1.8. Čeljusna drobilica (XKJ PEX).....	15
4.1.9. Grejder (CAT 140K).....	16
4.1.10. Vibrovaljak (SHANTUI SR18-2).....	17
4.1.11. Finišer na gusjenicama (Vögele SUPER 1600-3i).....	17
4.1.12. Valjak na kotačima s gumama (HAMM 90i VT)	18
5. USKLAĐIVANJE RADA STROJEVA	19
5.1. AKTIVNOST: ISKOP TUNELA.....	19
5.2. AKTIVNOST: IZVEDBA PRIMARNE PODGRADE	20
5.3. AKTIVNOST: IZRADA ZASJEKA.....	22
5.3.1. Podaktivnost: Izrada nasipnog dijela zasjeka.....	22
5.3.2. Podaktivnost: Odvoz viška materijala na privremeni deponij	23
5.4. AKTIVNOST: IZRADA POSTELJICE	24
5.4.1. Podaktivnost: Selekcija i drobljenje kamena	24
5.4.2. Podaktivnost: Utovar i dovoz materijala za izradu posteljice.....	25
5.4.3. Podaktivnost: Razastiranje i zbijanje materijala za izradu posteljice	27
5.5. AKTIVNOST: ASFALTIRANJE	28
6. ZAKLJUČAK	30
7. LITERATURA I IZVORI	32

1. UVOD

U ovom završnom radu prikazati će se hipotetski slučaj za kojeg je potrebno uskladiti rad strojeva koji su potrebni prilikom izgradnje ceste i probijanja tunela.

Navedeni radovi počinju iskopom tunela dužine 1,0 km gdje se na vrijeme vrši izvedba primarne podgrade tunela. Nakon probijanja tunela nastavlja se izgradnja ceste u zasjeku dužine 5,0 km. Pristup gradilištu, tj. čelu tunela omogućen je pomoću postojeće lokalne ceste. Na slici 1. prikazan je tlocrt gradilišta sa naznačenim smjerom građenja.

Tvrtka posjeduje sve odabrane strojeve te nije potrebno unajmljivanje istih, već samo njihovo usklađivanje.



Slika 1. Tlocrt gradilišta

2. TEHNIČKI OPIS RADOVA

2.1. PROBIJANJE TUNELA

Potrebno je izgraditi cestovni tunel dužine 1,0 km koji pripada tunelima srednjih dužina. Prema broju voznih trakova riječ je o dvotračnom tunelu, tj. po jedna traka za svaki smjer.

Stijenska masa u kojoj se tunel izvodi pripada II. tunelskoj kategoriji, što prema opisu spada u dobre stijenske mase kod kojih je moguće napredovanje u dužini od 4 m, a primarnu podgradu potrebno je dovršiti 20 m od čela iskopa [1].

Prema navedenoj klasifikaciji stijenske mase, po težini građenja navedeni tunel spada u tunele lake za građenje (u čvrstim stijenama bez potiska).

Izgradnja tunela obuhvaća relativno mali broj vrsta građevinskih radova. Tehnologija građenja tunela obuhvaća slijedeće tri osnovne grupe podzemnih radova [2]:

- Iskop tunela (radovi na iskopu profila tunela – zemljani radovi) prikazan na slici 2.,
- Primarna podgrada tunela (radovi na podgrađivanju iskopanog profila tunela),
- Sekundarna obloga tunela (radovi na izvedbi stalne obloge podgrađenog profila tunela).

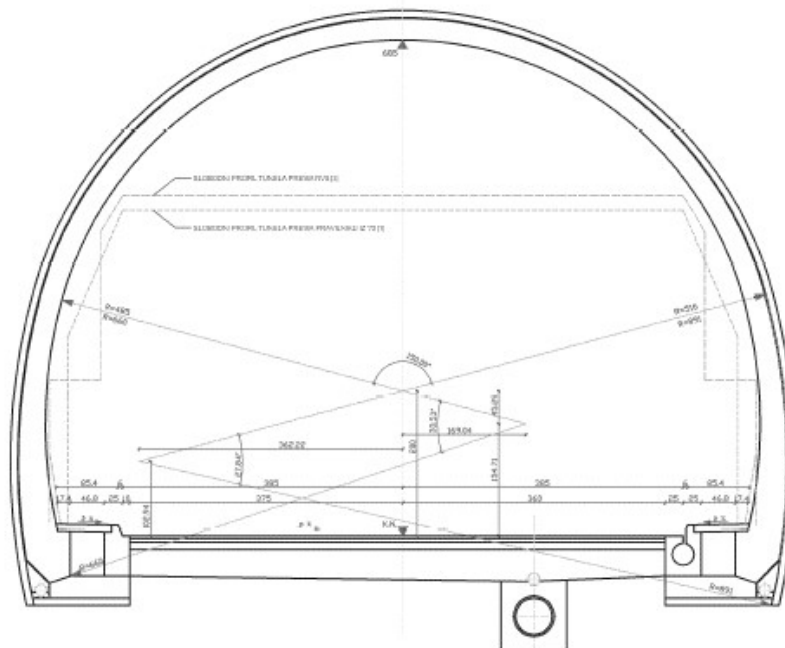
Obzirom da primarna podloga daje konačnu stabilnost tunela, radovi na sekundarnoj betonskoj oblozi ne predstavljaju ključnu aktivnost kod građenja tunela. Iz tog se razloga **radovi iskopa tunela s podgrađivanjem iskopanog profila smatraju ključnom aktivnosti kod izvedbe tunela.**



Slika 2. Radovi na iskopu tunela [2]

Karakteristični poprečni presjek tunela kojeg je potrebno izgraditi prikazan je na slici 3. Prometne trake širine su po 3,0 m, a bankine po 1,0 m. Prema tome ukupna širina profila iznosi 8,0 m uvećana za veličinu tunelske konstrukcije.

Površina iskopa tunelske cijevi izračunata je pomoću računalnog programa te približno iznosi **70 m²**, pa će se kao takva koristiti u daljnjem proračunu usklađivanja strojeva.

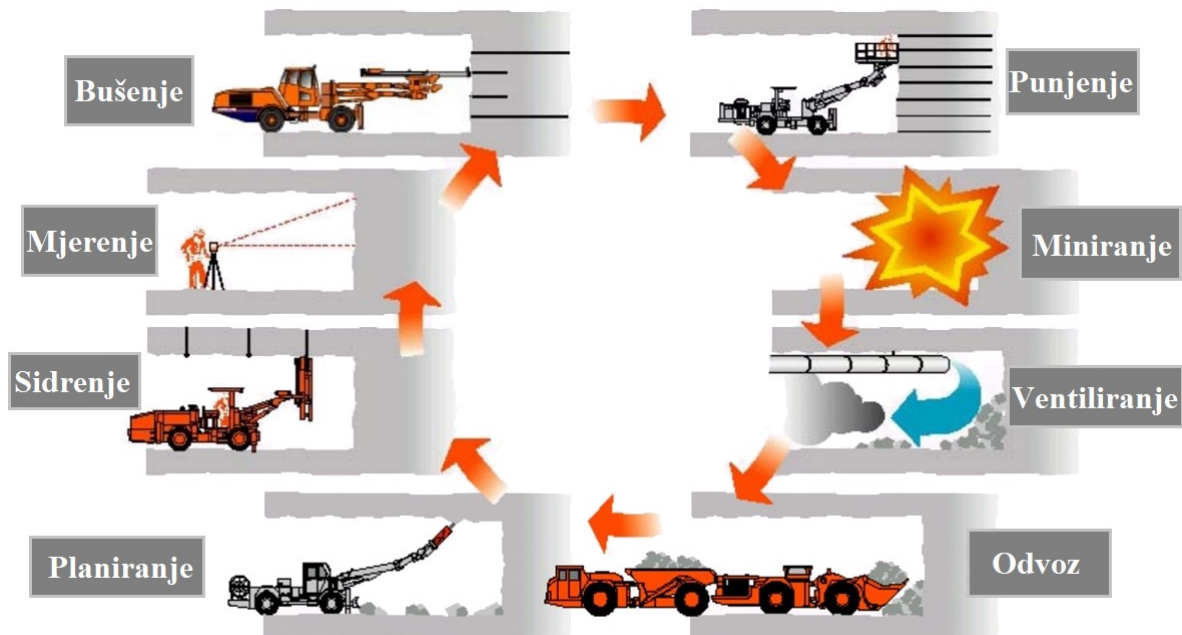


Slika 3. Karakteristični poprečni presjek tunelske cijevi [3]

2.1.1. Tehnologija iskopa tunela bušenjem i miniranjem

Za izgradnju tunela odabrana je tehnologija iskopa tunela bušenjem i miniranjem („drill and blast technique“) prikazana na slici 4. Navedena tehnologija podrazumijeva razaranje stijenske mase, odnosno drobljenje pomoću pritiska, topline i akustičnih valova koji nastaju aktiviranjem postavljenog eksploziva unutar stijenske mase [2].

Tehnološki proces iskopa tunela bušenjem i miniranjem odvija se ciklički. Prema karakteristikama odabrane tehnologije, u jednoj radnoj smjeni nastoje se u potpunosti odraditi dva ciklusa izboja (svaki dužine po 4,0 m). Prema tome, moguće dnevno napredovanje bušenja i izbijanja stijenske mase iznosi 8 m po danu.



Slika 4. Tehnologija iskopa tunela bušenjem i miniranjem [4]

2.1.2. Izvedba primarne podgrade

Stijensku masu oko izbijenog profila tunela nužno je stabilizirati efikasnom primjenom primarnog podgradnog sklopa [2].

Osnovu primarnog podgradnog sklopa prvenstveno čini sloj mlaznog betona koji zajedno sa sidrima odgovarajućeg rasporeda onemogućava popuštanje stijene pretvarajući je u samonosivi luk. Mlazni beton nanosi se na površinu stijene strojnim nabacivanjem pod pritiskom, odnosno njegova ugradnja obavlja se bez oplata. Izgled završene primarne podgrade prikazan je na slici 5.

Ugradnju elemenata primarne podgrade nužno je izvoditi takvim slijedom i na takav način da ne dođe do ispadanja i popuštanja stijenske mase ispred i oko iskopa tunela. Osim iskopanog profila tunelske cijevi i radno čelo iskopa također mora biti osigurano u skladu s projektom.



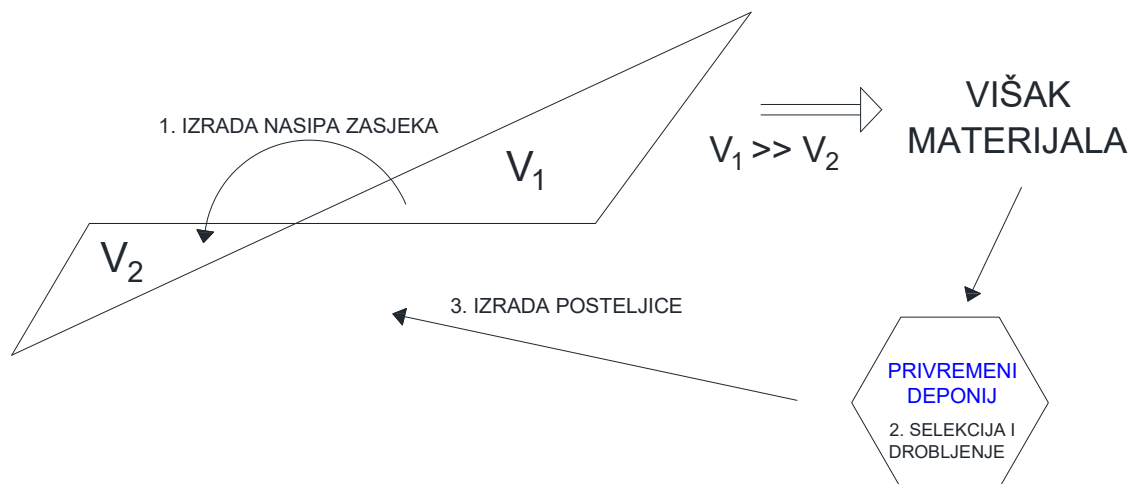
Slika 5. Primarna podgrada tunela [5]

2.2. IZGRADNJA CESTE

Potrebno je izgraditi dionicu ceste u zasjeku (zasjek je kombinacija usjeka i nasipa) dužine 5,0 km. Izgradnja ceste u našem zadatku obuhvaća izradu donjeg (zemljani radovi) i gornjeg (kolnička konstrukcija) ustroja ceste.

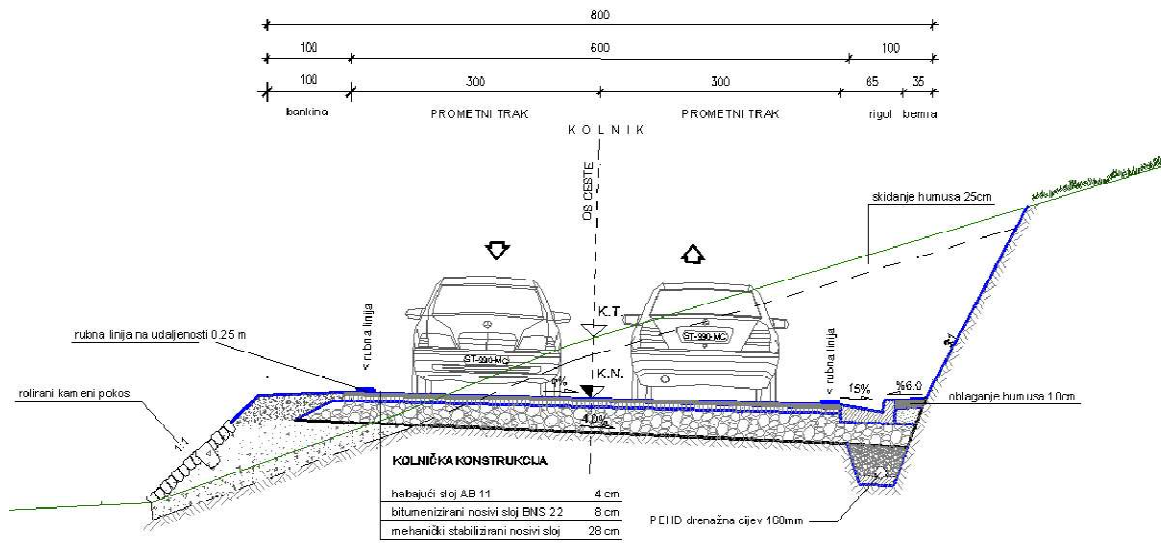
Materijal u kojem se vrši iskop usječnog dijela zasjeka je miješani (mješavina čvrste stijene i zemlje), što je razumljivo zbog blizine tunela. Zbog takvog materijala, za iskop usjeka potrebno je koristiti kombinaciju iskopa miniranjem i iskop jaružalom.

S obzirom da je volumen iskopanog materijala iz usjeka veći od volumena potrebnog za izradu nasipa i posteljice, materijal koji se dobije kopanjem usjeka zasjeka ponajprije će se iskoristiti za izradu nasipa zasjeka (rasporedom masa), a zatim za izradu posteljice ceste pa je ostatak materijala nakon izrade nasipa potrebno odvesti na privremeni deponij gdje se vrši selektiranje i drobljenje istoga. Na slici 6. shematski je prikazan tok radova za izgradnju ceste.



Slika 6. Tok radova za izgradnju ceste

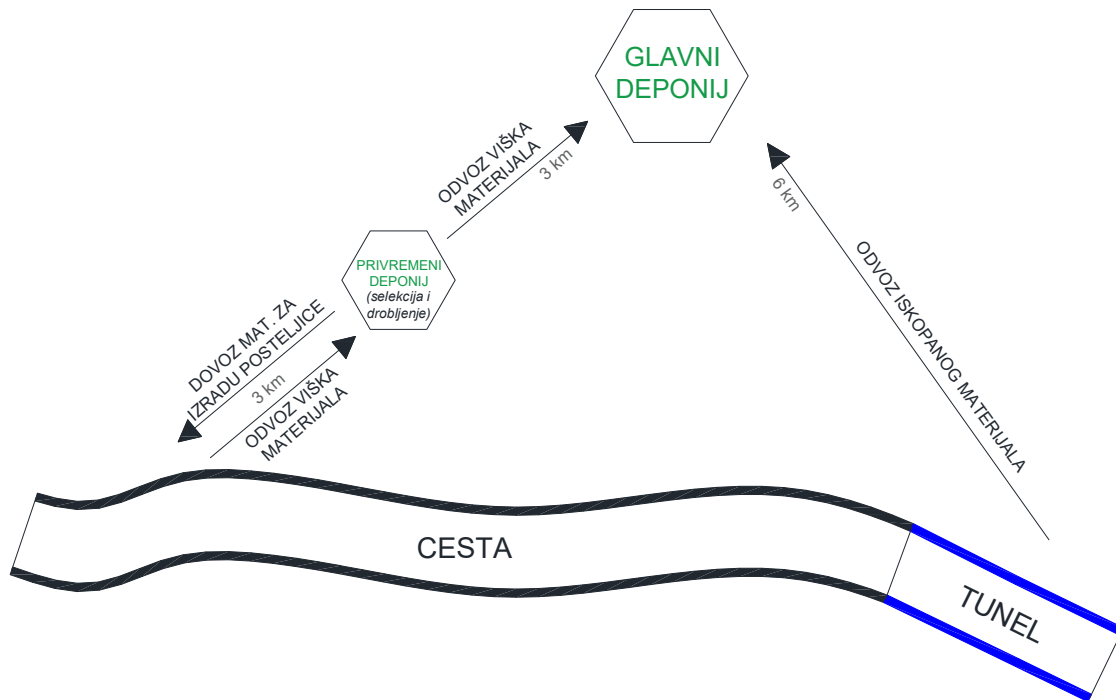
Cesta je dvotračna sa širinom prometnog traka 3,0 m, a ostale dimenzije elemenata ceste vidljive su iz karakterističnog poprečnog presjeka ceste (slika 7.):



Slika 7. Karakteristični poprečni presjek ceste [6]

3. OPIS AKTIVNOSTI

Tema završnog rada je usklađivanje strojeva za izgradnju ceste i probijanje tunela, pa je u tom smislu potrebno prikazati slijed aktivnosti. Na slici 8. prikazan je shematski prikaz mjesta odvijanja radova, a u tablici 1. prikazane su aktivnosti sa odgovarajućim podaktivnostima.



Slika 8. Shematski prikaz mjesta odvijanja radova

Tablica 1. Prikaz aktivnosti, njihovih podaktivnosti te odgovarajućih strojeva

	AKTIVNOSTI	PODAKTIVNOSTI	VRSTA STROJA
PROBIJANJE TUNELA	1. Iskop tunela	Bušenje i miniranje	Tunelska bušilica (eng. <i>Jumbodril</i>)
		Utovar i odvoz materijala	Utovarivač, Kamion kiper
	2. Izvedba primarne podgrade	Dovoz betona	Automiješalica
		Ugradnja betona	Stroj za izvedbu mlaznog betona
IZGRADNJA CESTE	3. Izrada zasjeka	Iskop usječnog dijela zasjeka	Jaružalo, Samopokretna bušilica
		Izrada nasipnog dijela zasjeka materijalom iz usjeka	Buldozer, Vibrovaljak
		Odvoz viška materijala	Utovarivač, Kamion kiper
	4. Izrada posteljice	Selekcija i drobljenje kamena	Čeljusna drobilica, Utovarivač
		Utovar i dovoz materijala za izradu posteljice	Utovarivač, Kamion kiper
		Razastiranje materijala za izradu posteljice	Grejder
		Zbijanje materijala za izradu posteljice	Vibrovaljak
	5. Asfaltiranje	Dovoz asfalta	Kamion kiper
		Ugradnja asflatnog sloja	Finišer na gusjenicama
		Nabijanje asflatnog sloja	Valjak na kotačima s gumama

4. IZBOR I ANALIZA STROJEVA

Strojevi potrebni za aktivnosti pri probijanju tunela i izgradnji ceste (prikazani u tablici 2) odabrani su sukladno analizi aktivnosti i podaktivnosti iz poglavlja 3, te su detaljno obrađeni uz prikaz njihovih karakteristika.

Tablica 2. Prikaz potrebnih strojeva

1. Jaružalo
2. Kamion kiper
3. Tunelska bušilica (<i>eng. Jumbodril</i>)
4. Utovarivač
5. Automiješalica
6. Stroj za izvedbu mlaznog betona
7. Buldozer
8. Čeljusna drobilica
9. Grejder
10. Vibrovaljak
11. Finišer na gusjenicama
12. Valjak na kotačima s gumama

Potreban broj odabranih strojeva izračunat je u sljedećem poglavlju gdje se vrši njihovo usklađivanje.

4.1. KARAKTERISTIKE ODABRANIH STROJEVA

U daljnjim podnaslovima prikazane su karakteristike odabranih strojeva.

4.1.1. Jaružalo (CAT 330 D L)

- Volumen lopate: 2,6 m³
- Snaga: 201,3 kW
- Radna težina: 36151 kg
- Maksimalna dubina kopanja: 7485 mm
- Maksimalni doseg na razini tla: 11714 mm



Slika 9. Jaružalo s dubinskom lopatom [7]

4.1.2. Kamion kiper (Mercedes Benz Actros 4150 V8)

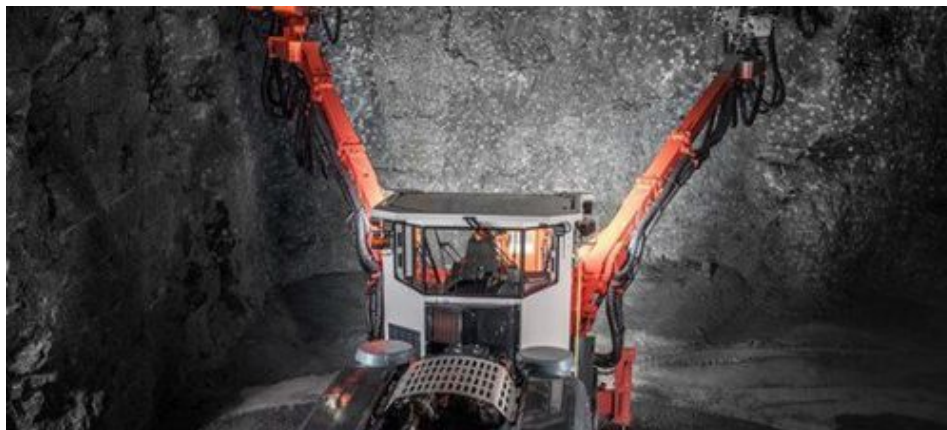
- Volumen koša: 16,0 m³
- Snaga: 370 kW
- Najveća dopuštena masa: 40 t
- Broj osovina: 4



Slika 10. Kamion kiper [8]

4.1.3. Tunelska bušilica (Sandvik DT922i)

- Raspon površine bušenja: 12 – 125 m²
- Očekivano napredovanje bušenja i izbijanja: 8 m/dan = 1 m/h



Slika 11. Tunelska bušilica [9]

4.1.4. Utovarivač (CAT 982M)

- Zapremnina lopate: 2,5 m³
- Spremnik za gorivo: 116,5 gal
- Snaga: 110 kW



Slika 12. Utovarivač [10]

4.1.5. Automiješalica (MAN 33.360)

- Kapacitet: 9 m³
- Snaga: 265 kW
- Max brzina pun: 40 km/h
- Max brzina prazan 60 km/h
- Kapacitet istovara: 5 min/m³ = 12 m³/h



Slika 13. Automiješalica [11]

4.1.6. Stroj za izvedbu mlaznog betona (Cifa CSS-2)

- Beton pumpa: 30 m³/h
- Visina rada (zglobna ruka): do 15 m



Slika 14. Stroj za izvedbu mlaznog betona [12]

4.1.7. Buldozer (CAT D3K2)

- Volumen lopate: 2,3 m³
- Dimenzije noža: 3380 x 850 mm
- Snaga: 92 kW



Slika 15. Buldozer [13]

4.1.8. Čeljusna drobilica (XKJ PEX)

- Snaga motora: 75 kW
- Učinkovitost drobilice: 60 – 300 m³/h
- Broj okretaja: 150 o/min
- Maksimalni otvor čeljusti: 1000 mm
- Minimalni otvor čeljusti: 350 mm



Slika 16. Čeljusna drobilica [14]

4.1.9. Grejder (CAT 140K)

- Snaga: 127 kW
- Maksimalna brzina: 46 km/h
- Širina noža: 3,7 m
- Maksimalno okretanje noža: 90°



Slika 17. Grejder [15]

4.1.10. Vibrovaljak (SHANTUI SR18-2)

- Snaga: 110 kW
- Težina: 18t
- Radna širina: 2140 mm
- Radna brzina: 3,2 km/h



Slika 18. Vibrovaljak [16]

4.1.11. Finišer na gusjenicama (Vögele SUPER 1600-3i)

- Snaga: 116 kW
- Maksimalna širina asfaltiranja: 7,5 m
- Maksimalna brzina ugradnje: 600 t/h



Slika 19. Finišer na gusjenicama [17]

4.1.12. Valjak na kotačima s gumama (HAMM 90i VT)

- Max radna brzina: 6 km/h
- Težina: 9060 kg
- Radna širina: 1680 mm



Slika 20. Valjak na kotačima s gumama [18]

5. USKLADIVANJE RADA STROJEVA

Kako bi se projekt mogao izvršiti potrebno je uskladiti rad strojeva. Proračun usklađivanja izvršen je tako da su strojevi tijekom radnog vremena maksimalno iskorišteni u svrhu osiguranja minimalnog praznog hoda između aktivnosti [19].

5.1. AKTIVNOST: ISKOP TUNELA

U ovoj aktivnosti potrebno je uskladiti rad tunelske bušilice, utovarivača i kamion kipera.

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 do deponija na koju se odvozi iskopani materijal (6,0 km)

Tunelska bušilica

- Planski učinak: 1 (m'/h)
- Količina koja se iskopa po danu: $U_p = 1 \cdot 70 \text{ m}^2 = 70 \text{ (m}^3/\text{h)}$

Utovarivač

- q – zapremnina lopate utovarivača (2,5 m³)
- T_i – vrijeme potrebno za punjenje lopate (30 s)
- T_g – vrijeme potrebno za guranje (30 s)
- T_{pov} – vrijeme potrebno za povratak (15 s)
- T_o – gubitak vremena zbog promjene smjera (5 s)

Proračun:

- Ciklus: $T_c = 30 + 30 + 15 + 5 = 80 \text{ (s)}$
- Teorijski učinak: $U_t = 3600 \cdot q / T_c = 3600 \cdot 2,5 / 80 = 112,5 \text{ (m}^3/\text{h)}$
- Planski učinak: $U_p = U_t \cdot K_r \cdot K_v \cdot K_d = 112,5 \cdot 0,87 \cdot 0,90 \cdot 1,0 = 88,09 \text{ (m}^3/\text{h)}$
- Ukupan broj utovarivača: $U_{p, \text{bušilica}} / U_{p, \text{utovarivač}} = 70 / 88,09 = 1 \text{ utovarivač}$

Kamion kiper

- q – volumen koša (16 m^3)
- brzina vožnje punog kamiona (30 km/h)
- brzina vožnje praznog kamiona (45 km/h)

Proračun ciklusa:

- $T_{\text{(utovar)}} = q/U_p = 16/88,09 = 655 \text{ (s)}$
- $T_{\text{(puna+prazna vožnja)}} = d/v_{\text{pun}} + d/v_{\text{pra}} = 6/30 + 6/45 = 0,333 \text{ (h)} = 1200 \text{ (s)}$
- $T_{\text{(istovar+manevar)}} = 200 \text{ (s)}$
- Ciklus: $T_c = 655 + 1200 + 200 = 2055 \text{ (s)}$

Proračun planskog učinka:

- Planski učinak: $U_p = 3600 \cdot q \cdot K_d / T_c = 3600 \cdot 16 \cdot 1,0 / 2055 = 28,03 \text{ (m}^3/\text{h)}$

Broj potrebnih kamiona:

- $N_{\text{potrebnih kamiona}} = \text{ciklus kamiona} / \text{vrijeme utovara} = 2055 / 655 = 3 \text{ kamiona}$

Zaključak: Potrebna su 3 kamion kiper, 1 utovarivač i 1 tunelska bušilica.

5.2. AKTIVNOST: IZVEDBA PRIMARNE PODGRADE

U ovoj aktivnosti potrebno je uskladiti rad automiješalice i stroja za izvedbu mlaznog betona.

Svježi beton utovara se u automiješalicu u obližnjoj betonari. Učinak betonare je $40 \text{ m}^3/\text{h}$, a od gradilišta je udaljena 20 km .

Potrebni podaci:

- K_v – koeficijent iskorištenosti radnog vremena (odabrano $0,90$)
- K_p – koeficijent punjenja (odabrano $0,80$)
- K_d – koeficijent zastarjelosti (odabrano $1,0$)
- L – udaljenost betonare do gradilišta (20 km)
- Učinak betonare ($40 \text{ m}^3/\text{h}$)

Automiješalica

- q – volumen automiješalice (9 m^3)
- brzina vožnje pune automiješalice (40 km/h)
- brzina vožnje prazne automiješalice (60 km/h)

Proračun ciklusa:

- $T_{(\text{utovar})} = q_{\text{automj}}/U_{\text{betonara}} = 9/40 = 0,23 \text{ (h)} = 810 \text{ (s)}$
- $T_{(\text{puna+prazna vožnja})} = d/v_{\text{pun}} + d/v_{\text{pra}} = 20/40 + 20/60 = 0,833 \text{ (h)} = 3000 \text{ (s)}$
- $T_{(\text{istovar})} = q_{\text{automj}}/U_{\text{crpka}} = 9/30 = 0,3 \text{ (h)} = 1080 \text{ (s)}$
- $T_{(\text{manevar na betonari})} = 90 \text{ (s)}$
- $T_{(\text{manevar na gradilištu})} = 90 \text{ (s)}$
- Ciklus: $T_c = 810 + 3000 + 1080 + 90 + 90 = 5070 \text{ (s)}$

Proračun učinaka:

- Teorijski učinak: $U_t = 3600 \cdot q/T_c = 3600 \cdot 9/5070 = 6,39 \text{ (m}^3/\text{h)}$
- Planski učinak: $U_p = U_t \cdot K_p \cdot K_v \cdot K_d = 6,39 \cdot 0,80 \cdot 0,90 \cdot 1,0 = 4,60 \text{ (m}^3/\text{h)}$

Stroj za izvedbu mlaznog betona

- Teorijski učinak: $U_t = 30 \text{ (m}^3/\text{h)}$
- Planski učinak: $U_p = U_t \cdot K_v = 30 \cdot 0,90 = 27 \text{ (m}^3/\text{h)}$

Broj automiješalica za usklađen rad sa strojem za izvedbu mlaznog betona:

- $N_{\text{automiješalica}} = U_{p,\text{crpka}}/U_{p,\text{automiješalica}} = 27/4,60 = 6 \text{ automiješalica}$

Zaključak: Potrebno je 6 automiješalica i 1 stroj za izvedbu mlaznog betona.

5.3. AKTIVNOST: IZRADA ZASJEKA

U proračun se ulazi s pretpostavkom da je usječni dio zasjeka već iskopan, pa je materijalom iz usječnog dijela potrebno izraditi nasip, a višak materijala odvesti na privremeni deponij.

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 (3,0 km)

5.3.1. Podaktivnost: Izrada nasipnog dijela zasjeka

U ovoj podaktivnosti potrebno je uskladiti rad buldozera i vibrovaljka.

Buldozer

- q – volumen lopate buldozera ($2,3 \text{ m}^3$)
- T_i – vrijeme potrebno za istovar (40 s)
- T_u – vrijeme potrebno za istovar (30 s)
- T_{pov} – vrijeme potrebno za povratak (15 s)
- T_o – gubitak vremena zbog promjene smjera (5 s)

Proračun:

- Ciklus: $T_c = 40 + 30 + 15 + 5 = 90 \text{ (s)}$
- Teorijski učinak: $U_t = 3600 * q / T_c = 3600 * 2,3 / 90 = 92 \text{ (m}^3/\text{h)}$
- Planski učinak: $U_p = U_t * K_r * K_v * K_d = 92 * 0,87 * 0,90 * 1,0 = 72,04 \text{ (m}^3/\text{h)}$

Vibrovaljak

- Brzina kretanja valjka $v = 3,2 \text{ km/h} = 3200 \text{ m/h}$
- Prosječna debljina sloja nasipa $d = 30 \text{ cm}$
- Korisna širina valjka $b = 2,14 \text{ m}$
- Broj prijelaza $n = 10$

Proračun:

- Teorijski učinak: $U_t = v \cdot d \cdot b / n = 3200 \cdot 0,3 \cdot 2,14 / 10 = 205,44 \text{ (m}^3/\text{h)}$
- Planski učinak: $U_p = U_t \cdot K_v = 205,44 \cdot 0,9 = 184,90 \text{ (m}^3/\text{h)}$

Broj potrebnih vibrovaljaka:

- $N_{\text{valjak}} = U_{p,\text{buldozer}} / U_{p,\text{valjak}} = 72,04 / 184,90 = 1 \text{ vibrovaljak}$

Zaključak: Potreban je 1 buldozer i 1 vibrovaljak.

5.3.2. Podaktivnost: Odvoz viška materijala na privremeni deponij

U ovoj podaktivnosti potrebno je uskladiti rad utovarivača i kamiona kiperu.

Utovarivač

- q – zapremnina lopate utovarivača ($2,5 \text{ m}^3$)
- T_i – vrijeme potrebno za punjenje lopate (30 s)
- T_g – vrijeme potrebno za guranje (30 s)
- T_{pov} – vrijeme potrebno za povratak (15 s)
- T_o – gubitak vremena zbog promjene smjera (5 s)

Proračun:

- Ciklus: $T_c = 30 + 30 + 15 + 5 = 80 \text{ (s)}$
- Teorijski učinak: $U_t = 3600 \cdot q / T_c = 3600 \cdot 2,5 / 80 = 112,5 \text{ (m}^3/\text{h)}$
- Planski učinak: $U_p = U_t \cdot K_r \cdot K_v \cdot K_d = 112,5 \cdot 0,87 \cdot 0,90 \cdot 1,0 = 88,09 \text{ (m}^3/\text{h)}$

Kamion kiper

- q – volumen koša (16 m^3)
- brzina vožnje punog kamiona (30 km/h)
- brzina vožnje praznog kamiona (45 km/h)

Proračun ciklusa:

- $T_{(\text{utovar})} = q/U_p = 16/88,09 = 655 \text{ (s)}$
- $T_{(\text{puna+prazna vožnja})} = d/v_{\text{pun}} + d/v_{\text{pra}} = 6/30 + 6/45 = 0,333 \text{ (h)} = 1200 \text{ (s)}$
- $T_{(\text{istovar+manevar})} = 200 \text{ (s)}$
- Ciklus: $T_c = 655 + 1200 + 200 = 2055 \text{ (s)}$

Proračun planskog učinka:

- Planski učinak: $U_p = 3600 \cdot q \cdot K_d / T_c = 3600 \cdot 16 \cdot 1,0 / 2055 = 28,03 \text{ (m}^3/\text{h)}$

Broj potrebnih kamiona:

- $N_{\text{potrebnih kamiona}} = U_{p,\text{utovarivač}} / U_{p,\text{kamion}} = 88,09/28,03 = 3 \text{ kamiona}$

Zaključak: Potreban je 1 utovarivač i 3 kamion kiperi.

5.4. AKTIVNOST: IZRADA POSTELJICE

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 (3,0 km)

5.4.1. Podaktivnost: Selekcija i drobljenje kamena

U ovoj podaktivnosti potrebno je uskladiti rad čeljusne drobilice i utovarivača.

Čeljusna drobilica

- n = broj obrtaja = 150 o/min = 9000 o/h
- b = širina čeljusti = 650 mm
- s = hod pokretne čeljusti = 650 mm
- d = max otvor čeljusti ($e+s$) = 1000 mm

- $e = \text{min otvor čeljusti} = 350 \text{ mm}$
- $\rho = \text{specifična gustoća stijene} = 2600 \text{ kg/m}^3$
- $\alpha = \text{kut naklona između čeljusti} = 38^\circ$

Proračun planskog učinka:

- $U_p = (0,03 \cdot K_r \cdot K_v \cdot K_d \cdot n \cdot b \cdot s \cdot (d+e) \cdot \rho) / \text{tg} \alpha \text{ (t/h)}$
- $U_p = (0,03 \cdot 0,87 \cdot 0,90 \cdot 1,0 \cdot 9000 \cdot 650 \cdot 650 \cdot (1000+350) \cdot 2,6 \cdot 10^{-6}) / 0,78 =$
 $= 401943 \text{ (kg/h)} = 402 \text{ (t/h)} \approx 240 \text{ (m}^3\text{/h)}$

Utovarivač

- q – zapremnina lopate utovarivača ($2,5 \text{ m}^3$)
- T_i – vrijeme potrebno za punjenje lopate (30 s)
- T_g – vrijeme potrebno za guranje (30 s)
- T_{pov} – vrijeme potrebno za povratak (15 s)
- T_o – gubitak vremena zbog promjene smjera (5 s)

Proračun:

- Ciklus: $T_c = 30 + 30 + 15 + 5 = 80 \text{ (s)}$
- Teorijski učinak: $U_t = 3600 \cdot q / T_c = 3600 \cdot 2,5 / 80 = 112,5 \text{ (m}^3\text{/h)}$
- Planski učinak: $U_p = U_t \cdot K_r \cdot K_v \cdot K_d = 112,5 \cdot 0,87 \cdot 0,90 \cdot 1,0 = 88,09 \text{ (m}^3\text{/h)}$
- Ukupan broj utovarivača: $U_{p,\text{drobilica}} / U_{p,\text{utovarivač}} = 240 / 88,09 = 3 \text{ utovarivača}$

Zaključak: Potrebna je 1 čeljusna drobilica i 3 utovarivača.

5.4.2. Podaktivnost: Utovar i dovoz materijala za izradu posteljice

U ovoj podaktivnosti potrebno je uskladiti rad utovarivača i kamion kiperu.

Utovarivač

- q – zapremnina lopate utovarivača ($2,5 \text{ m}^3$)
- T_i – vrijeme potrebno za punjenje lopate (30 s)
- T_g – vrijeme potrebno za guranje (30 s)
- T_{pov} – vrijeme potrebno za povratak (15 s)

- T_o – gubitak vremena zbog promjene smjera (5 s)

Proračun:

- Ciklus: $T_c = 30 + 30 + 15 + 5 = 80$ (s)
- Teorijski učinak: $U_t = 3600 * q / T_c = 3600 * 2,5 / 80 = 112,5$ (m³/h)
- Planski učinak: $U_p = U_t * K_r * K_v * K_d = 112,5 * 0,87 * 0,90 * 1,0 = 88,09$ (m³/h)

Kamion kiper

- q – volumen koša (16 m³)
- brzina vožnje punog kamiona (30 km/h)
- brzina vožnje praznog kamiona (45 km/h)

Proračun ciklusa:

- $T_{(utovar)} = q / U_p = 16 / 88,09 = 655$ (s)
- $T_{(puna+prazna\ vožnja)} = d / v_{pun} + d / v_{pra} = 6 / 30 + 6 / 45 = 0,333$ (h) = 1200 (s)
- $T_{(istovar+manevar)} = 200$ (s)
- Ciklus: $T_c = 655 + 1200 + 200 = 2055$ (s)

Proračun planskog učinka:

- Planski učinak: $U_p = 3600 * q * K_d / T_c = 3600 * 16 * 1,0 / 2055 = 28,03$ (m³/h)

Broj potrebnih kamiona:

- $N_{potrebnih\ kamiona} = U_{p,utovarivač} / U_{p,kamion} = 88,09 / 28,03 = 3$ kamiona

Zaključak: Potreban je 1 utovarivač i 3 kamion kiper.

5.4.3. Podaktivnost: Razastiranje i zbijanje materijala za izradu posteljice

U ovoj podaktivnosti potrebno je uskladiti rad grejdera i vibrovaljka.

Potrebno je razastrijeti kameni materijal dobiven drobljenjem, te tako dobivenu posteljicu debljine 20 cm izvaljati u širini od 8 m i dužini od 5 km.

$$Q_{\text{posteljica}} = 5000 * 0,2 * 8 = 8000 \text{ m}^3$$

Grejder

- Brzina kretanja grejdera $v = 3 \text{ km/h}$
- Broj prijelaza $n = 4$
- Duljina kretanja $L = 5 \text{ km}$

Proračun:

- Vrijeme trajanja: $T = (n * L * K_v) / v = (4 * 5 * 0,9) / 3 = 6 \text{ (h)}$
- Planski učinak: $U_p = Q / T = 8000 / 6 = 1333 \text{ (m}^3/\text{h)}$

Vibrovaljak

- Brzina kretanja valjka $v = 3,2 \text{ km/h} = 3200 \text{ m/h}$
- Debljina nasutog sloja $d = 20 \text{ cm}$
- Korisna širina valjka $b = 2,14 \text{ m}$
- Broj prijelaza $n = 4$

Proračun:

- Teorijski učinak: $U_t = v * d * b / n = 3200 * 0,2 * 2,14 / 4 = 342,4 \text{ (m}^3/\text{h)}$
- Planski učinak: $U_p = U_t * K_v = 342,4 * 0,9 = 308,16 \text{ (m}^3/\text{h)}$

Broj potrebnih vibrovaljaka:

- $N_{\text{valjak}} = U_{p,\text{grejder}} / U_{p,\text{valjak}} = 1333 / 308,16 = 4 \text{ vibrovaljka}$

Zaključak: Potreban je 1 grejder i 4 vibrovaljka.

5.5. AKTIVNOST: ASFALTIRANJE

U ovoj aktivnosti potrebno je uskladiti rad finišera na gusjenicama, kamion kiperi i valjka na kotačima s gumama.

Potrebni podaci:

- K_v – koeficijent iskorištenosti radnog vremena (odabrano 0,90)
- K_d – koeficijent zastarjelosti (odabrano 1,0)

Finišer na gusjenicama

- Teorijski učinak $U_t = 500$ t/h (preuzeto iz karakteristika stroja)
- Radna širina $\check{s} = 6$ m
- Debljina asfaltiranja $d = 12$ cm = 0,12 m

Proračun planskog učinka:

- Planski učinak: $U_p = U_t * K_v * \check{s} * d = 500 * 0,90 * 6 * 0,12 = 324$ (t/h) ≈ 130 (m³/h)

Kamion kiper

- q – volumen koša (16 m³)
- brzina vožnje punog kamiona (30 km/h)
- brzina vožnje praznog kamiona (45 km/h)

Proračun ciklusa:

- $T_{(utovar)} = q/U_p = 16/88,09 = 655$ (s)
- $T_{(puna+prazna\ vožnja)} = d/v_{pun} + d/v_{pra} = 6/30 + 6/45 = 0,333$ (h) = 1200 (s)
- $T_{(istovar+manevar)} = 200$ (s)
- Ciklus: $T_c = 655 + 1200 + 200 = 2055$ (s)

Proračun planskog učinka:

- Planski učinak: $U_p = 3600 * q * K_d / T_c = 3600 * 16 * 1,0 / 2055 = 28,03$ (m³/h)

Broj potrebnih kamiona:

- $N_{potrebnih\ kamiona} = U_{p,finišer} / U_{p,kamion} = 130/28,03 = 5$ kamiona

Valjak na kotačima s gumama

- Brzina kretanja valjka $v = 5 \text{ km/h} = 5000 \text{ m/h}$
- Debljina asfaltnog sloja $d = 12 \text{ cm}$
- Korisna širina valjka $b = 1,68 \text{ m}$
- Broj prijelaza $n = 5$

Proračun:

- Teorijski učinak: $U_t = v \cdot d \cdot b / n = 5000 \cdot 0,12 \cdot 1,68 / 5 = 201,6 \text{ (m}^3/\text{h)}$
- Planski učinak: $U_p = U_t \cdot K_v = 201,6 \cdot 0,9 = 181,44 \text{ (m}^3/\text{h)}$

Broj potrebnih valjaka:

- $N_{\text{valjak}} = U_{p,\text{finišer}} / U_{p,\text{valjak}} = 130 / 181,44 = 1 \text{ valjak}$

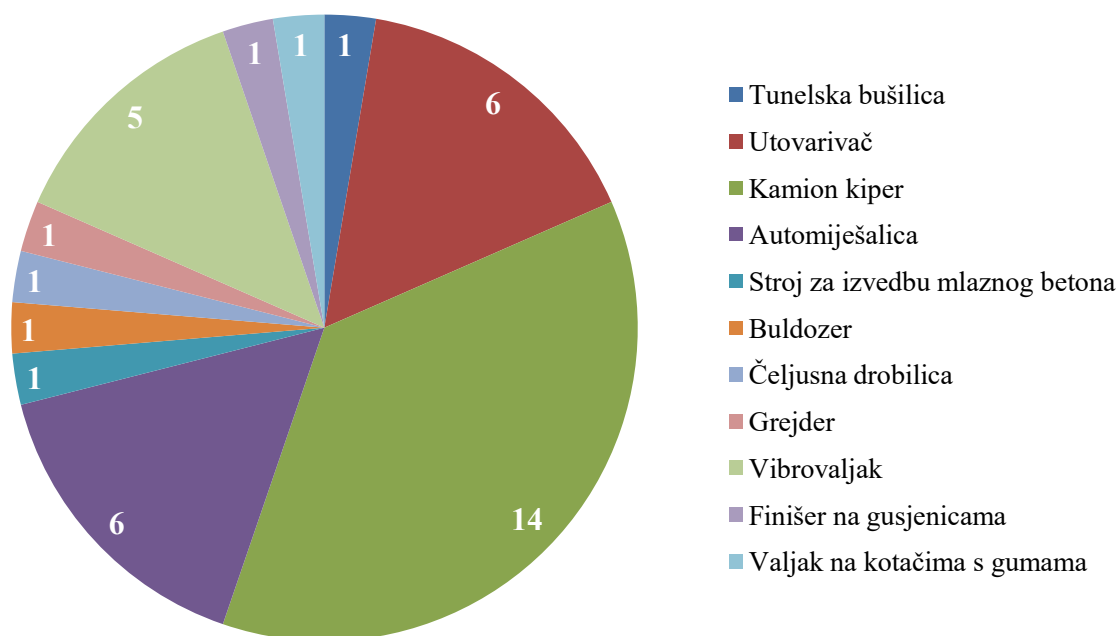
Zaključak: Potrebno je 5 kamion kipera, 1 valjak na kotačima s gumama i 1 finišer.

6. ZAKLJUČAK

U radu je prikazano usklađivanje rada strojeva prilikom izgradnje ceste dužine 5,0 km uz probijanje tunela dužine 1,0 km.

Nakon proračuna usklađivanja, dobiven je ukupan broj strojeva prikazan u dijagramu 1. Iz dijagrama je vidljivo da je najviše korišten stroj kamion kiper, a odabrana tvrtka raspolaže svim odabranim strojevima.

Dijagram 1. Prikaz ukupnog broja strojeva



Radovi započinju probijanjem tunela gdje se vrši iskop istoga te izvedba primarne podgrade. Za navedene aktivnosti potrebna je 1 tunelska bušilica, 3 kamion kiper i 1 utovarivač. Nakon proboja tunela, pristupa se izgradnji ceste uz pretpostavku da je usječni dio zasječka već iskopan, pa je materijalom iz usječnog dijela potrebno izraditi nasip, a višak materijala odvesti na privremeni deponij. Za izradu nasipa potreban je 1 buldozer i 1 vibrovaljak, a za odvoz viška materijala potreban je 1 utovarivač i 3 kamion kiper. Na privremenom deponiju obavlja se selekcija i drobljenje kamena za koje je potrebna 1 čeljusna drobilica i 3 utovarivača za utovar u drobilicu. Nakon drobljenja kamenog materijala, isti je potrebno

dovesti na gradilište za izradu posteljice ceste. Za utovar i dovoz potreban je 1 utovarivač i 3 kamion kiperi, a za izradu posteljice 1 grejder i 4 vibrovaljka. Nakon izrađene posteljice, vrši se asfaltiranje prometnih trakova. Asfalt se dovozi kamion kiperima koji se razastire finišeom, a nakon razastiranja nabijanje asfaltnog sloja radi se valjkom na kotačima s gumama. Za asfaltiranje je potrebno 5 kamion kiperi, 1 finišeer i 1 valjak.

Prikaz svih djelatnosti, radova sa strojevima i opisom posla su usklađeni te je izvođač spreman kako bi se prebacio na konačnu realizaciju projekta sa kvalitetno projektiranom tehnologijom građenja.

7. LITERATURA I IZVORI

- [1] B. Stojković, *Stabilizacija podzemnih iskopa u tunelogradnji*, Zagreb 1991., 6.
- [2] https://bib.irb.hr/datoteka/618029.Mustapic_Ivan_Gradjenje_cestovnih_tunela.pdf
(zadnji pristup: srpanj 2018.)
- [3] https://bib.irb.hr/datoteka/618027.MustapicMikulicSaric_Projektiranje_cestovnih_i_ze_ljeznickih_tunela.pdf (zadnji pristup: srpanj 2018.)
- [4] <http://www.railsystem.net/drill-and-blast-method/> (zadnji pristup: srpanj 2018.)
- [5] http://gf.sum.ba/arhiva/maslenica_rok_1.htm (zadnji pristup: srpanj 2018.)
- [6] D. Cvitanić, *Ceste – zapisi s predavanja*, Split 2015., 94.
- [7] <https://www.sjhallplant.com/excavators/id-2008-cat-330dl-4351>
(zadnji pristup: srpanj 2018.)
- [8] <https://www.njuskalo.hr/kamioni-kiperi/mercedes-benz-actros-4150-v8-kiper-8-4-511-oglas-2160458> (zadnji pristup: srpanj 2018.)
- [9] <http://www.directindustry.com/prod/sandvik-mining-rock-technology/product-40142-1944629.html> (zadnji pristup: srpanj 2018.)
- [10] https://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/wheel-loaders/medium-wheel-loaders/1000029215.html (zadnji pristup: srpanj 2018.)
- [11] <http://man-centre.com/info/special-vehicles-man/special-tgs/124-concrete-mixer-truck-tgs-33360-6x4-bb.html> (zadnji pristup: srpanj 2018.)
- [12] <https://www.njuskalo.hr/gradevinska-mehanizacija/cifa-spritz-system-css-2-oglas-795668> (zadnji pristup: srpanj 2018.)
- [13] https://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/dozers/small-dozers/1000001453.html (zadnji pristup: srpanj 2018.)
- [14] <http://hr.ballmillxkj.com/crushing-equipment/stone-crusher/jaw-crusher.html>
(zadnji pristup: srpanj 2018.)
- [15] <https://autoline.hr/-/prodaja/grejderi/CATERPILLAR-140K-2-Units--17102017231838238300> (zadnji pristup: srpanj 2018.)
- [16] <https://www.dsts.ru/katalog/tehnika/gruntovye-katki/shantui-sr18.html>
(zadnji pristup: srpanj 2018.)
- [17] <http://www.rotech.hr/finiseri-gusjenice.html> (zadnji pristup: srpanj 2018.)
- [18] <http://www.rotech.hr/120/novi-valjak-za-asfalt-hamm-hd-90i-vt-isporucen-u-ceste-dd-bjelovar.html> (zadnji pristup: srpanj 2018.)
- [19] E. Slunjski, *Strojevi u građevinarstvu*, Zagreb 1995.