

# Usklađivanje rada strojeva potrebnih za bušenje tunela i izgradnju ceste

---

Šitum, Barbara

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

*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:123:330286>

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

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



*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**

**Barbara Šitum**

**Split, 2016.god.**

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

**Usklađivanje rada strojeva potrebnih za bušenje  
tunela i izgradnju ceste**

**Završni rad**

**Split, 2016.god.**

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

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ  
GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Barbara Šitum

BROJ INDEKSA: 4097

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

PREDMET: Proizvodnja u građevinarstvu

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

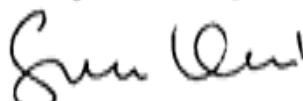
Tema: Usklađivanje rada strojeva potrebnih za bušenje tunela i izgradnju ceste

Opis zadatka:

Zadatak studentice je uskladiti rad odabranih strojeva koji će se koristiti za dio aktivnosti pri iskopu tunela i izgradnji ceste. Za iskop tunela koristit će se TBM (tunnel boring machine), utovarivač, vagoneti kao transporteri, te konusna drobilica za usitnjavanje kamenog materijala, koji će se dalje koristiti kod izgradnje ceste. Za izgradnju ceste koristit će se slijedeći strojevi: asfaltna baza koja se nalazi na samom gradilištu, kamioni za transport kamenog materijala koji se dobije u procesu iskopa tunela, grejder za razastiranje, valjci za nabijanje, te finišer za ugradnju asfalta.

U Splitu, 03.03.2016.god.

Voditeljica Završnog rada:



Snježana Knezić

***Sažetak:***

Potrebno je uskladiti rad odabranih strojeva koji će se koristiti pri iskopu tunela i izgradnji ceste. Za iskop tunela koristit će se TBM (tunnel boring machine), utovarivač, vagoneti kao transporteri te konusna drobilica za usitnjavanje kamenog materijala. Pri izgradnji ceste valjanim asfalt betonom čija se baza nalazi na samom gradilištu koristit će se kamioni za transport kamenog materijala kojeg smo dobili iz procesa kopanja tunela, grejder za razastiranje, valjci za nabijanje te finiše za izgradnju asfaltnih slojeva.

***Ključne riječi:***

Tunel, cesta, TBM, utovarivač, vagoneti, konusna drobilica, asfalt, kamioni, grejder, valjci, finiše

## **Coordination of the work of machines necessary for tunneling and road construction**

***Abstract:***

It is necessary to harmonize operation of selected machines to be used in the digging of tunnels and construction of roads . For digging tunnel will be used TBM (tunnel boring machine), loader, wagons like transporters and cone crusher for crushing stone material. In the construction of the road rolled asphalt concrete whose base is located on the site will use trucks to transport rock material we get from the process of digging a tunnel, grader for spreading, rollers for compaction and finisher for the construction of asphalt layers.

***Keywords:***

Tunnel, road, TBM, loader, wagons, cone crusher, asphalt, trucks, grader, rollers, finisher.

## SADRŽAJ:

1	Uvod.....	3
2.	Zadatak: Iskop tunela.....	4
2.1.	Karakteristike tunela.....	4
3.	Strojevi za iskop tunela.....	5
3.1.	Krtica (TBM).....	5
3.1.1.	Princip rada TBM-a.....	5
3.1.2.	Karakteristike TBM-a.....	6
3.1.3.	Izračun praktično učinka TBM-a.....	7
3.2.	Utovarivač.....	9
3.2.1.	Izračun praktičnog učinka utovarivača.....	11
3.3.	Vagoneti.....	11
3.4.	Drobnica.....	13
4.	Usklađivanje rada strojeva.....	14
4.1.	Usklađivanje rada krtice i utovarivača.....	14
4.2.	Usklađivanje rada utovarivača i vagoneta (sredina tunela).....	14
4.3.	Usklađivanje rada vagoneta i drobnice .....	15
4.4.	Usklađivanje rada utovarivača i vagoneta (kraj tunela).....	16
4.5.	Usklađivanje rada vagoneta i drobnice .....	16
4.6.	Postavljanje sigurnosne ventilacijske cijevi .....	17
5.	Zadatak: Izgradnja ceste.....	18
5.1.	Karakteristike ceste.....	18
6.	Strojevi koje ćemo koristiti za izgradnju ceste.....	18
6.1.	Utovarivač.....	19
6.2.	Transporter-kamion kiper.....	19
6.2.1.	Izračun praktičnog učinka transportera.....	21

6.3. Grejder.....	22
6.3.1. Izračun praktičnog učinka grejdera.....	23
6.4. Valjak.....	23
6.4.1. Izračun praktičnog učinka valjka.....	24
6.5. Vibracijsko sito.....	25
7. Usklađivanje rada strojeva.....	26
7.1. Usklađivanje rada strojeva za 1. tamponski sloj.....	26
7.1.1. Usklađivanje rada transportera s grejderom.....	26
7.1.2. Usklađivanje rada utovarivača s transporterima.....	27
7.1.3. Usklađivanje rada grejdera i valjaka.....	27
7.2. Usklađivanje rada strojeva za 2. tamponski sloj.....	28
7.2.1. Usklađivanje rada transportera s grejderom.....	28
7.2.2. Usklađivanje rada utovarivača s transporterima.....	28
7.2.3. Usklađivanje rada grejdera i valjaka.....	28
8. Asfaltiranje ceste.....	29
8.1. Postrojenje za proizvodnju asfalta.....	29
8.1.1. Izračun praktičnog učinka postrojenja.....	30
8.2. Finišer.....	30
8.2.1. Izračun praktičnog učinka finišera.....	31
8.3. Kamion kiper.....	31
8.4. Valjci za zbijanje.....	31
9. Usklađivanje rada strojeva za asfaltiranje ceste.....	32
9.1. Usklađivanje postrojenja za proizvodnju asfalta i kamiona.....	32
9.2. Izračun broja valjaka za usklađen rad s finišerom.....	32
10. Zaključak.....	33
11. Literatura.....	34

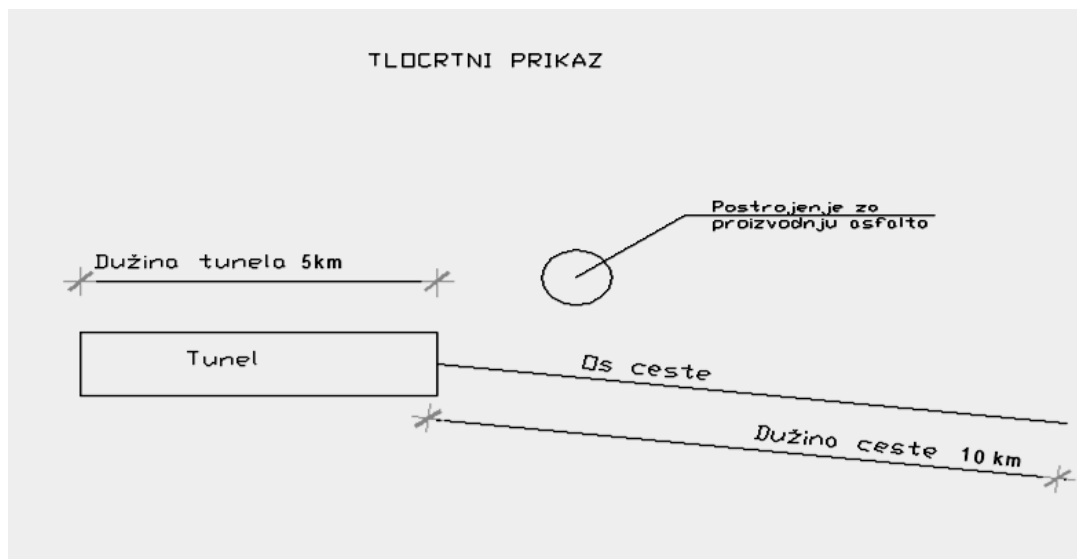
## 1.UVOD

U ovom završnom radu potrebno je uskladiti rad strojeva koji su potrebni pri procesu iskopa tunela i pri izgradnji ceste.

Prvi zadatak je iskopati tunel TBM-om (tunnel boring machin) te uskladiti rad strojeva za utovar i transport materijala koji nastaje kao produkt bušenja do drobilice.

Drugi zadatak je usklađivanje rada strojeva potrebnih za izgradnju ceste kod koje će se iskopani materijal koji je dobiven iz procesa bušenja tunela upotrijebiti za izgradnju posteljice ceste. Nakon utvrđivanja tamponskih slojeva slijedi nam usklađivanje rada strojeva za proces asfaltiranja ceste.

Na slici 1 se vidi tlocrtni prikaz tunela i ceste te postrojenja za proizvodnju valjanog asfalta koje se nalazi na samome gradilištu.



**Slika 1-** Tlocrt gradilišta



## **2. Zadatak: Iskop tunela TBM-om i transport materijala do drobilice**

Treba organizirati iskop kamenog materijala iz tunela TBM-om, utovar tog istog materijala te transport do konusne drobilice koja se nalazi na početku tunela.

Dužina samoga tunela je 5 km. Za transport materijala iz praktičnih razloga koristit ćemo vagonete, a za utovar materijala utovarivač.

Kako bi smo uskladili rad svih strojeva potrebno je odrediti dva trajanja ciklusa za vagonete zbog dužine tunela od 5 km.

Prvo trajanje ciklusa vagoneta odrediti ćemo na sredini tunela, na 2.5 km, a drugo trajanje ciklusa na samom kraju tunela, na dužini od 5 km.

### **2.1. Karakteristike tunela**

Tunel je prema namjeni prometni, odnosno cestovni tunel, a s obzirom na položaj u terenu riječ je o tzv. brdskom (planinskom) tunelu.

Prema broju voznih trakova riječ je o dvotračnom tunelu (dvije trake); po jedna traka za svaki smjer.

Veličina tunelskog profila dana nam je iz veličine TBM stroja s kojim ćemo kopati ovaj tunel i površine je  $33.9 \text{ m}^2$ .

Klasa materijala u kojem kopamo tunel je VI., A kategorije, znači riječ je o punom, jedrom, neispucanom kamenom materijalu. Što se tiče strukture tla imamo guste slojeve, nepropusne i ne osjetljive na smrzavanje.

### 3. STROJEVI KOJI ĆE SE KORISTITI PRI ISKOPU TUNELA

Potrebni strojevi za bušenje tunela su krtica (TBM), utovarivači, transporteri koji su u ovom primjeru vagoneti te drobilica. Na slici 2 vidimo shemu rada strojeva koje je potrebno uskladiti u procesu izgradnje tunela.



Slika 2- Shema strojeva

#### 3.1. KRTICA (TBM)

"TBM (engl. Tunnel boring machine) je oblik složene tehnološke opreme koja obuhvaća otkopne rotacijske strojeve i neke vrste rotacijskih štitova za mehanički iskop tunela u svim vrstama stijena u punom kružnom poprečnom presjeku.

Stroj može biti predviđen za bušenje čvrste stabilne stijene te za bušenje srednje tvrde, tj. relativno meke stijene ili kao rotacijski štit za iskop jako razlomljenih trošnih stijena.

Primjena rotacijskih bušaćih strojeva (TBM) danas je uobičajena kada je opravdana njihova gospodarstvena prihvatljivost. U našem slučaju riječ je o tunelu dužine 5 km i ekonomski je opravdana njegova primjena." [1]

##### 3.1.1. Princip rada TBM-a

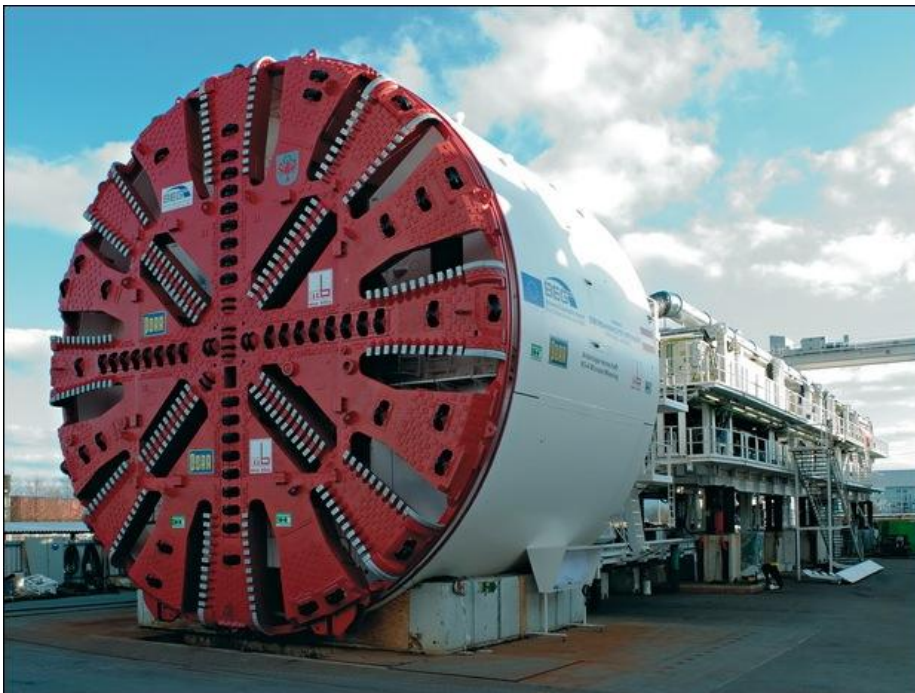
"TBM radi na način da tiska okretnu bušaću glavu na čelo iskopa, a po njoj su raspoređeni određeni alati-rezači. Prevladava uglavnom koncepcija diskrezača. Oni se okreću kao kotači i putuju koncentričnim krugovima po čelu iskopa. Pri tome na

njih istodobno djeluje tlačna sila, uslijed čega oštrica rezača djeluje poput klina koji razara stijenu u obliku pločica. TBM obavlja istodobno niz radnih operacija, kao što je iskop stijene, zahvaćanje iskopanog materijala te njegovo premještanje kroz TBM i punjenje transportnih sredstava iza sebe.

TBM obuhvaća nekoliko podsustava: za bušenje, za upiranje i podupiranje, za unutrašnji transport iskopanog materijala, za otprašivanje, za odvodnju, za pogon, za energetiku, za upravljanje itd. Pogonski i energetski podsustav zajedno s dijelom transportnoga podsustava i podsustavom za otprašivanje te ostalom pomoćnom opremom za rad čine pomoćni podsustav TBM-a." [1]

### 3.1.2. Karakteristike TBM-a

Na slici 3 se vidi prikaz TBM-a Herrenknechts kojim će se bušiti tunel.



**Slika 3-**Herrenknecht TBM [2]

U tablici 1 se nalaze osnovne karakteristike TBM-a Herrenknecht, a u tablici 2 imamo prikaz najboljih napredaka Herrenknecht stroja s obzirom na dnevni, tjedni i mjesečni iskop.

Tablica 1. Osnovne karakteristike TBM-a (*Balci, C., 2009*) [2]

Promjer stroja	6.57 m
Broj jednostrukih rezača	26
Broj dvostrukih rezača	6
Max.kontaktni pritisak na disku	267 kN
Snaga rezača	1260 kW

Tablica 2. Najbolji iskopi TBM-a [2]

Najbolji dnevni napredak	19.6 m/dan
Najbolji tjedni napredak	102.4 m/tjedan
Najbolji mjesečni napredak	362.9 m /mjesec

### 3.1.3. Izračun praktičnog učinka TBM-a

(Proračun ćemo provesti uzimajući kao mjerodavni najbolji dnevni napredak TBM-a.)

Učinak rada TBM-a se računa prema izrazu:

$$U_p = \text{najbolji dnevni napredak} * P \text{ (m}^3\text{/dan)} \quad (1)$$

P-površina poprečnog presjeka (m<sup>2</sup>)

-Najbolji dnevni napredak TBM-a je 19,6 (m/dan).

Površinu poprečnog presjeka tunela koju buši TBM računamo prema formuli za površinu kružnice:

$$P = (D^2 \pi) / 4 \text{ (m}^2\text{)} \quad (2)$$

D-promjer TBM-a zadan iz karakteristika stroja

$$D = 6.57 \text{ m}$$

Prema (2):

$$P=33.9 \text{ m}^2$$

Prema izrazu (1)

$$U_p = 19.6 * 33.9 = 664.4 \text{ m}^3/\text{dan}$$

Planski učinak stroja po satu se računa prema izrazu [3]:

$$U_{p(h)} = U_{p(\text{dan})} / T \quad (3)$$

T- Vrijeme rada krtice (h)

$$T = 14 \text{ h (dviije smjene po 7 h)}$$

Stroj radi kontinuirano.

Prema izrazu (3):

$$U_{p(h)} = 664,4 / 14 = 47,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Ukupno vrijeme potrebno za iskop se računa prema izrazu [3]:

$$T_{(\text{iskopa})} = V / U_{p(\text{dnevno})} \text{ (dana)} \quad (4)$$

Volumen ukupnog iskopa materijala računa se prema izrazu:

$$V = P * L \text{ (m}^3\text{)} \quad (5)$$

P-površina poprečnog presjeka iskopa tunela (m<sup>2</sup>)

L-ukupna dužina tunela (m)

Prema izrazu (5):

$$V = 33,9 \text{ m}^2 * 5000 \text{ m} = 169500 \text{ m}^3$$

Prema izrazu (4) za iskop je potrebno:

$$T = 169500 / 664,4 = 255 \text{ dana}$$

### 3.2. Utovarivač

Na slici 4 imamo prikaz utovarivača marke CAT 930M Wheel Loader koji će se koristiti za utovar iskopanog materijala u tunelu.



**Slika 4-** Utovarivač CAT Wheel Loader [4]

U tablici 3 nalaze se karakteristike utovarivača marke CAT sa zadanim koeficijentima rastresitosti materijala, koef. punjenja i zastarjelosti stroja.

Tablica 3. Karakteristike stroja CAT [4]

Snaga	111 kW
Zapremnina žlice	$q=3,5 \text{ m}^3$
Trajanje ciklusa	$T_c=60 \text{ s}$
Koef. rastresitosti materijala	$K_r=0,75$
Koef. punjenja	$K_p=0,72$
Vrijeme čistog rada utovarivača	$t_r=54 \text{ min}$
Koef. zastarjelosti stroja	$K_d=1,0$

Teorijski učinak stroja se računa prema izrazu [3]:

$$U_t = q \cdot (3600 / T_c) \quad (6)$$

$q$ - zapremnina žlice ( $\text{m}^3$ )

$T_c$ - trajanje ciklusa (s)

Planski učinak stroja računa se prema izrazu [3]:

$$U_p^u = U_t \cdot K_p \cdot K_r \cdot K_d \cdot K_v \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (7)$$

$U_t$ - teorijski učinak stroja ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$K_p$ - koef. punjenja

$K_r$ - koef. rastresitosti

$K_d$ -koef. zastarjelosti stroja

$K_v$ -koef. iskorištenosti vremena

$$K_v = t_r / 60 \quad (8)$$

### 3.2.1. Izračun učinka utovarivača:

Prema izrazu (6) teorijski učinak utovarivača iznosi:

$$U_t = q \cdot (3600 / T_c) = 3,5 \cdot (3600 / 60) = 210 \text{ m}^3/\text{h}$$

Prema izrazu (7) planski učinak utovarivača iznosi:

$$U_p = 210 \cdot 0,75 \cdot 0,72 \cdot 1,0 \cdot 54 / 60 = 102,1 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dnevni učinak (planski) utovarivača se dobiva iz izraza [3]:

$$U_{p,dn} = U_p \cdot \text{smjena} = 102,1 \cdot 14 = 1429,4 \text{ m}^3/\text{dan} \quad (9)$$

### 3.3. VAGONETI

Vagoneti će se koristiti za izvoz materijala iz tunela do konusne drobilice iz razloga što se upotreba vagoneta ekonomski isplati.

Na slici 5 vidimo prikaz vagoneta koje ćemo koristiti kao transportere materijala iz tunela.



www.alamy.com - ARHNT3

**Slika 5-** Vagoneti [5]



U tablici 4 nalaze se karakteristike vagoneta. Ove vrijednosti se ne odnose konkretno na vagonete sa slike 4 nego su uzete kao proizvoljno određene vrijednosti.

Tablica 4. Karakteristike vagoneta

Snaga	60 kW
Ukupna težina	100 kN
Brzina kretanja	20 km/h
Volumen jednog vagoneta	6 m <sup>3</sup>
Širina kolosjeka	90 cm

Rad (shema) djelovanja vagoneta:

CIKLUS: punjenje/utovar-prijevoz-pražnjenje-povratna vožnja.

Vrijeme ciklusa vagoneta računa se prema formuli [3]:

$$T_c = t_u + t_v + t_i + t_m \quad (10)$$

$t_u$ -vrijeme utovara (s)

$t_i$ -vrijeme istovara (s)

$t_i = 5$  s (uzeta vrijednost za samoistresače po vagonetu)

$t_v$ -vrijeme pune/prazne vožnje

$t_m$ -manervi

### 3.4. DROBILICA

Izabrana je konusna drobilica modela WLCF1000 i ona je prikazana na slici 6.

Na konusnu drobilicu se odnosi da drobi materijal neprekidno, nema praznoga hoda, oblik zrna nakon drobljenja je kubičast te ne zahtijevaju nikakve posebne dodavače materijala.

U tablici 5 nalaze se karakteristike drobilice koja će se koristiti za usitnjavanje materijala u ovom zadatku.



Slika 6 Drobilica WLCF 1000 [6]

Tablica 5-Karakteristik drobilice [6]

Broj okretaja	630 o/min
Promjer konusa	1016 mm
Max. promjer kamena	63 mm
Min. promjer drobljenog kamena	8 mm
Snaga	90-110 kW
Težina stroja	10.8 tona
Učinak stroja	52 m <sup>3</sup> /h

## 4. USKLAĐIVANJE RADA STROJEVA

### 4.1. Usklađivanje rada krtice i utovarivača

Broj utovarivača koji će nam trebati računa se preko izraza [3]:

$$N_{\text{utov.}} = U_{\text{krt.}} / U_{\text{utov.}} \quad (11)$$

$$N_{\text{utov.}} = 47,5 / 102,1 = 0,5 = 1 \text{ utovarivač}$$

Radit ćemo s jednom krticom i jednim utovarivačem.

### 4.2. Usklađivanje rada utovarivača i vagoneta na sredini tunela

U određivanju broja potrebnih vagoneta kao mjerodavna se uzima vrijednost planskog učinka TBM stroja jer bez obzira na to koliki nam učinak imao utovarivač mi imamo vrijednost

$$U_{p_{\text{krtica}}} = 47,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

koju vagoneti imaju na raspolaganje za odvoz.

$$U_{p_{\text{utov.}}} = 102,1 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{(\text{jednog vagoneta})} = 6 \text{ m}^3$$

Vrijeme potrebno da se napuni jedan vagonet:

Utovarivač → 1 vagonet:

$$T_{C1} = V_{\text{vagoneta}} / U_{p_{\text{krtice}}} (\text{s}) \quad (12)$$

$$T_{C1} = 6 / 47,5 = 7,5 \text{ min} = 454,7 \text{ s}$$

Vrijeme ciklusa utovara vagoneta + transport do drobilice i nazad:

$$T_{C2} = 454,7 + ((2 * 2,5) / 20) * 3600 + 240 = 26,6 \text{ min}$$

Broj vagoneta se dobije iz izraza [3]:

$$N_{(\text{vagoneta})} = T_{c2} / T_{c1} \quad (13)$$

$$N_{(\text{vagoneta})} = 26,6 / 7,5 = 4 \text{ vagoneta}$$

Za odvoz materijala sa sredine tunela biti će potrebna 4 vagoneta.

### 4.3. Usklađivanje rada vagoneta i drobilice (sredina tunela)

$$U_{p(\text{drobilice})} = 52 \text{ m}^3/\text{h}$$

S obzirom na 4 potrebna vagoneta koliko smo dobili iz prethodnog proračuna ukupan volumen 4 vagoneta po  $6 \text{ m}^3 = 24 \text{ m}^3$ .

Planski učinak vagoneta se dobije iz sljedećeg izraza [3]:

$$U_{(\text{vagoneta})} = (T / (T_c * 60)) * q * K_p * K_r \text{ (m}^3/\text{h)} \quad (14)$$

Vrijeme ciklusa  $T_c$  na sredini tunela:

$$T_c = t_u + t_v + t_i + t_m = 454,7 + ((2,5 + 2,5) / 20) * 3600 + 4 * 5 + 240 = 1614,7 \text{ s} = 27 \text{ min} \quad (15)$$

Učinak vagoneta prema izrazu (14) je:

$$U_{(\text{vagoneta})} = (3600 / (27 * 60)) * (6 * 4) * 0,75 * 0,72 = 28,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

Broj potrebnih drobilica se dobije iz izraza:

$$N_{(\text{drobilice})} = U_{(\text{vagoneta})} / U_{p(\text{drobilice})} \quad (16)$$

$$N_{(\text{drobilice})} = 28,8 / 52 = 1 \text{ drobilica}$$

#### 4.4. Usklađivanje rada utovarivača i vagoneta na kraju tunela

$$U_{p_{\text{utov.}}} = 102,1 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{(\text{jednog vagoneta})} = 6 \text{ m}^3$$

Vrijeme potrebno da se napuni jedan vagonet:

Utovarivač → 1 vagonet:

$$T_{C1} = V_{\text{vagoneta}} / U_{p_{\text{krtice}}} (\text{s}) \quad (17)$$

$$T_{C1} = 6 / 47,5 = 7,5 \text{ min} = 454,7 \text{ s}$$

Vrijeme ciklusa utovara vagoneta + transport do drobilice i nazad:

$$T_{C2} = 454,7 + ((2 * 5) / 20) * 3600 + 240 = 41,6 \text{ min} \quad (18)$$

Broj vagoneta se dobije iz izraza:

$$N_{(\text{vagoneta})} = T_{C2} / T_{C1} \quad (19)$$

$$N_{(\text{vagoneta})} = 41,6 / 7,5 = 6 \text{ vagoneta}$$

Za transport materijala s kraja tunela potrebno je 6 vagoneta.

#### 4.5. Usklađivanje rada vagoneta i drobilice (kraj tunela)

$$U_{p_{\text{drobilice}}} = 52 \text{ m}^3/\text{h}$$

S obzirom na 6 potrebnih vagoneta koliko smo dobili iz prethodnog proračuna ukupan volumen 6 vagoneta po  $6 \text{ m}^3 = 36 \text{ m}^3$ .

Planski učinak vagoneta se dobije iz sljedećeg izraza [3]:

$$U_{(\text{vagoneta})} = (T / (T_{C1} * 60)) * q * K_p * K_r (\text{m}^3/\text{h}) \quad (20)$$

Vrijeme ciklusa  $T_c$  na sredini tunela:

$$T_c = t_u + t_v + t_i + t_m = 454,7 + ((5 + 5) / 20) * 3600 + 6 * 5 + 240 = 2524,7 \text{ s} = 42,1 \text{ min} \quad (21)$$

Prema (20) praktični učinak vagoneta iznosi:

$$U_{p(\text{vagoneta})} = (3600 / (42,1 * 60)) * (6 * 6) * 0,75 * 0,72 = 27,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

Broj potrebnih drobilica se dobije iz izraza:

$$N_{(\text{drobilice})} = U_{(\text{vagoneta})} / U_{p(\text{drobilice})} \quad (22)$$

$$N_{(\text{drobilice})} = 27,7 / 52 = 1 \text{ drobilica}$$

#### 4.6. Postavljanje sigurnosne ventilacijske cijevi

Zbog sigurnosti radnika i opasnosti trovanja opasnim plinovima duž cijelog tunela je potrebno osigurati opskrbu svježega zraka (ventilacija tunela). Za prozračivanje u tunelu potrebno je odabrati ventilacijski sustav s ventilatorom i ostalom opremom. Najčešće se koristi centrifugalni ventilator s lopaticama koji se obično smjesti pri ulazu u tunel, pa se zrak u tunel ubacuje pomoću limenih cjevovoda velikih promjera.

Na slici 7 je prikazano kako je ventilacijska cijev postavljena u tunelu.



Slika 7-Prikaz ventilacijske cijevi u tunelu

## 5. Zadatak: Izgradnja ceste

Nakon što smo iskopali tunel slijedi nam izgradnja ceste.

Cestu ćemo izgraditi u dužini od 10 km, a ovdje ćemo uskladiti potrebne strojeve na trasi od 300 m.

Materijal koji smo dobili kopanjem tunela iskoristit ćemo za izgradnju posteljice ceste.

Taj materijal je najprije potrebno dovesti na drugu stranu tunela, isplanirati grejderom, zatim utvrditi valjcima i asfaltirat cestu.

### 5.1. Karakteristike ceste

Cesta će biti ukupne širine 7 m s dvije trake od kojih će svaka traka biti širine 3 m, a sa strane ceste će se nalaziti bankine širine 1 m. Cesta će se sastojati od dva tamponska sloja od kojih je donji sloj debljine 20 cm s max. veličinom zrna 63 mm, a gornji sloj debljine 10 cm s max. veličinom zrna 31.5 mm.

## 6. Strojevi koje ćemo koristiti za izgradnju ceste

Potrebni strojevi u ovom procesu su utovarivač, transporter, grejder i valjak.

Na slici 8 se nalazi shematski prikaz ovih strojeva.



**Slika 8-** Shema strojeva za izgradnju ceste

## 6.1. UTOVARIVAČ- CAT 930 M Wheel Loader

Koristili smo ga kao prilikom kopanja tunela i njegove karakteristike se nalaze u 3.2.

Iz 3.2.1. slijedi da je praktični učinak ovog utovarivača:

$$U_p = 210 * 0,75 * 0,72 * 1,0 * 54 / 60 = 102.1 \text{ m}^3/\text{h}$$

## 6.2. TRANSPORTER- KAMION KIPER → “ Mercedes actros“ 3244

Na slici 9 je prikazan transporter Mercedes actros 3244 kojeg ćemo koristiti za transport materijala, a u tablici 6 je dat prikaz njegovih karakteristika.



Slika 9- Mercedes actros 3244 [7]



Tablica 6- Karakteristike stroja [7]

q (m <sup>3</sup> )	10
Snaga motora (kW)	309
v (km/h) (brzina pune vožnje)	30
v (km/h) (brzina prazne vožnje)	50
nosivost (kN)	160
Kv (koef.korištenja radnog vremena)	0.75
Kp (koef.punjenja radnog organa)	0.85
Kr (koef.rastresitosti materijala)	0.75

Planski učinak stroja računa se prema izrazu [3]:

$$U_p = (T/T_c) * q * K_r * K_p * K_v \quad (23)$$

Gdje je T<sub>c</sub> vrijeme trajanja ciklusa:

$$T_c = t_u + t_{pun} + t_i + t_{praz} + t_m \text{ (min)} \quad (24)$$

Vremenski period u kojem se promatra rezultat rada stroja:

$$T = 60 \text{ min}$$

Vrijeme potrebno za utovar se dobije iz izraza [3] :

$$t_u = (60 * q * k_p) / U_{p \text{ utovarivača}} \quad (25)$$

Vrijeme vožnje natovarenog kamiona se dobije iz izraza [3]:

$$t_{pun} = (60 * L_t) / v_{pun} \quad (26)$$

Vrijeme vožnje praznog kamiona se dobije iz izraza [3]:

$$t_{praz} = (60 * L_t) / v_{praz} \quad (27)$$

$t_{ist} = 1.2$  (min) vrijeme istovara

$t_{man} = 0.3$  (min) vrijeme predviđeno za manerve

$T = 60$ (min)

### 6.2.1. Izračun praktičnog učinka transportera

Vrijeme utovara se dobije iz izraza (25):

$$t_u = (60 * 10 * 0.85) / 102.1 = 5 \text{ min}$$

Vrijeme vožnje natovarenog kamiona se dobije iz izraza (26) u kojoj je  $L_t = 5$  km:

$$t_{pun} = (60 * 5) / 30 = 10 \text{ min}$$

Vrijeme vožnje praznog kamiona se dobije iz izraza (27):

$$t_{praz} = (60 * 5) / 50 = 6 \text{ min}$$

Iz izraza (24) slijedi da je :

$$T_c = 5 + 10 + 1.2 + 6 + 0.3 = 22.5 \text{ min}$$

Planski učinak transportera iz izraza (23) iznosi:

$$U_p = (60 / 22.5) * 10 * 0.75 * 0.85 * 0.75 = 12.75 \text{ m}^3/\text{h}$$

### 6.3. GREJDER- marka Komatsu GD825 A-2



Slika 10- Komatsu GD825 A-2 [8]

Tablica 7- Karakteristike grejdera [8]

Snaga stroja (kW)	209
Širina lopate B (m)	4.878
Visina lopate H (m)	0.85
Radna brzina v (km/h)	15
Brzina grejdera v` (km/h)	30
Učinak grejdera Ut (m <sup>3</sup> /h) (za razastiranje materijala) [9]	300 (m <sup>3</sup> /h)

Grjeder ćemo koristiti za planiranje iskopanog materijala. Na slici 10 se nalazi grejder marke Komatsu, a u tablici 7 se nalaze karakteristike stroja s preuzetim podatkom iz [9] za teorijski učinak grejdera za planiranje kamenog materijala.

### 6.3.1. Izračun praktičnog učinka grejdera

Izraz za izračun planskog učinka grejdera [3] :

$$U_p = U_t * K_v * K_r \quad (28)$$

Koeficijent iskorištenosti vremena  $K_v = 0.70$

Koef. rastresitosti materijala  $K_r = 0.75$

Iz formule (28) i zadanih podataka slijedi da je planski učinak:

$$U_p = 300 * 0,7 * 0,75 = 157,5 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

### 6.4. VALJAK Hamm HD 130



**Slika 11-** valjak Hamm HD 130 [10]

Tablica 8- Karakteristike valjka Hamm [10]

Snaga motora (kW)	95
Radna težina (kN)	142
B-Širina valjanja(cm)	214
C-Potrebna energ. zbijanja (kN/m <sup>3</sup> )	1500
Z-Potrebna vučna sila (kN)	56,80
Radna brzina valjka v (km/h)	3
(m/s)	0.83
Koef. korištenja radnog vremena Kv	0.75
Koef. rastresitosti materijala	0.75

Na slici 11 nalazi se valjak Hamm HD 130 koji će se koristiti za nabijanje tamponskih slojeva posteljice. U tablici 8 nalaze se karakteristika ovoga stroja.

#### 6.4.1. Izračun praktičnog učinka valjka

Praktični učinak valjka se računa prema izrazu [3]:

$$U_p = (B - 0.2) / n * d * K_r * K_v * v \text{ (m}^3\text{/h)} \quad (29)$$

d-debljina sloja nakon zbijanja

d`-debljina sloja prije zbijanja

Debljina sloja nakon zbijanja se dobije iz izraza [3]:

$$d = 0.65 * d' \quad (30)$$

Posteljica koja nam je potrebna za izgradnju ceste ima dva sloja. Prvi tamponski sloj posteljice je debljine 20 cm, a drugi tamponski sloj posteljice je debljine 10 cm. Ova dva podatka su zapravo naša potrebna debljina sloja nakon zbijanja iz čega nam je preko izraza

$$d = 0.65 * d'$$

lako odrediti u kojoj debljini trebamo nasuti materijal.

Debljina sloja  $d'_1$  prije zbijanja za 1.tamponski sloj debljine  $d_1= 20$  cm je:

$$d'_1=d_1/0.65 \quad (31)$$

$$d'_1=20/0.65= 30 \text{ cm}$$

Ovaj podatak nam daje vrijednost debljine sloja koju će biti potrebno nasuti prije zbijanja.

Debljina sloja  $d'_2$  prije zbijanja za 2.tamponski sloj debljine  $d_2= 10$  cm je:

$$d'_2=d_2/0.65 \quad (32)$$

$$d'_2=10/0.65= 16 \text{ cm}$$

n- broj prijelaza valjka

Za potreban broj prijelaza valjaka uzima se da je  $n=4$  (ovo je pretpostavljena vrijednost).

Praktični učinak valjka za 1.tamponski sloj iz izraza (29):

$$Up^{①}=(2,14-0,2)/4*0,2*0,75*0,75*3= 164 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Praktični učinak valjka za 1.tamponski sloj iz izraza (29):

$$Up^{②}=(2,14-0,2)/4*0,1*0,75*0,75*3= 82 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

## 6.5. VIBRACIJSKO SITO

Za donji sloj tamponskog sloja upotrebljava se kamen granulometrijskog sastava 45/63.

Pošto je maksimalna veličina zrna nakon drobljenja za našu drobilicu iz 3.4. 63 mm, materijal za prvi tamponski sloj neće biti potrebno opet vraćati u drobilicu, međutim granulometrijski sastav za 2.tamponski sloj je veličine 31.5/45 mm te će biti potrebno taj sloj materijal još prosijati u vibracijskom situ tako da se dobije veličina zrna do max. 31.5 mm.

## 7. USKLAĐIVANJE RADA STROJEVA

PRORAČUN POTREBNOG MATERIJALA ZA DULJINU RADNE DIONICE OD 300 m

Potrebna količina kamenog materijala se dobije iz formule:

$$V = d \cdot L \cdot \check{s} \quad (\text{m}^3) \quad (33)$$

Iz 6.4.1. smo doznali u kojoj debljini je potrebno nasuti kameni materijal za sloj 1 (20 cm nakon zbijanja) i za sloj 2 (10 cm nakon zbijanja).

$$d_1 = 30 \text{ cm}$$

$$d_2 = 16 \text{ cm}$$

Duljina trase  $L = 300 \text{ m}$ .

š-širina prometnih traka

Širina jedne prometne trake je 3.5 m, a pošto imamo dvije prometne trake

$$\check{s} = 2 \cdot 3.5 = 7 \text{ (m)} \quad (34)$$

Iz formule (33) se dobije potrebna količina materijala za donji sloj ( $V^{(1)}$ ) i za gornji sloj ( $V^{(2)}$ ):

$$V^{(1)} = 0,3 \cdot 300 \cdot 7 = 630 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V^{(2)} = 0,16 \cdot 300 \cdot 7 = 336 \text{ (m}^3\text{)}$$

### 7.1.USKLAĐIVANJE RADA STROJEVA ZA 1.TAMPONSKI SLOJ

#### 7.1.1. Usklađivanje rada transporterera s grejderom

S obzirom na činjenicu da je grejder najskuplji stroj u ovom procesu izgradnje tamponskih slojeva, potrebno je uskladiti strojeve tako da grejder što manje „čeka“.

Broj kamiona za usklađeni rad s grejderom se dobije iz izraza:

$$N_{\text{kamiona}} = \frac{U_{\text{grejdera}}}{U_{\text{transportera}}} \quad (35)$$

$$N_{\text{grejdera}} = 157,5 / 12,75 = 12,5 \rightarrow \text{potrebno 13 kamiona}$$

Broj potrebnih tura kamiona dobije se iz izraza [3]:

$$n_{\text{tura}} = V^{\text{①}} / (N_k * q_k) \quad (36)$$

gdje je

$V^{\text{①}}$ -ukupni volumen materijala kojeg je potrebno dovesti za 1.tamponski sloj ( $m^3$ )

$N_k$ - broj kamiona

$q_k$ - volumen kamiona ( $m^3$ )

Iz izraza (36) se dobije:

$$n_{\text{tura}} = 630 / (13 * 10) = 4,8 \rightarrow 5 \text{ tura kamiona za 1.tamponski sloj}$$

Kamioni prevoze materijal na novu dionicu (sljedeću) od 300 m, grejder planira tu dionicu dok valjci utvrđuju prethodno dionicu tako da grejder i kamioni ne čekaju.

### 7.1.2. Usklađivanje rada utovarivača s transporterima

Potreban broj utovarivača za sinkroniziran rad s grejderom i transporterima dobije se iz izraza [3]:

$$N_{\text{utovarivača}} = N_k * U_{p\text{transportera}} / U_{p\text{utovarivača}} \quad (37)$$

Iz formule (37) slijedi:

$$N_{\text{utovarivača}} = 13 * 12,75 / 102,1 = 1,6 \rightarrow \text{potrebno 2 utovarivača}$$

### 7.1.3. Usklađivanje rada grejdera i valjaka

$$N_{\text{valjaka}} = U_{p\text{grejder}} / U_{p\text{valjka}}^{\text{①}} \quad (38)$$

$$N_{\text{valjaka}} = 157,5 / 164 = 0,96 \rightarrow 1 \text{ valjaka potreban}$$



## 7.2. USKLAĐIVANJE RADA STROJEVA ZA 2.TAMPONSKI SLOJ

### 7.2.1. Usklađivanje rada transportera s grejderom

Broj kamiona za usklađeni rad s grejderom:

$$N_{\text{kamiona}} = U_{\text{p}}^{\text{grejdera}} / U_{\text{p}}^{\text{transportera}} \quad (39)$$

$$N_{\text{grejdera}} = 157,5 / 12,75 = 12,5 \rightarrow \text{potrebno 13 kamiona}$$

Broj potrebnih tura kamiona dobije se iz izraza [3]:

$$n_{\text{tura}} = V^{(2)} / (N_{\text{k}} * q_{\text{k}}) \quad (40)$$

gdje je

$V^{(2)}$ -ukupni volumen materijala kojeg je potrebno dovesti za 2.tamponski sloj ( $\text{m}^3$ )

$N_{\text{k}}$ - broj kamiona

$q_{\text{k}}$ - volumen kamiona ( $\text{m}^3$ )

Iz formule (40):

$$n_{\text{tura}} = 336 / (13 * 10) = 2,6 \rightarrow 3 \text{ ture kamiona za 2.tamponski sloj}$$

Kamioni prevoze materijal na novu dionicu (sljedeću) od 300 m, grejder planira tu dionicu dok valjci utvrđuju prethodno dionicu tako da grejder i kamioni ne čekaju.

### 7.2.2. Usklađivanje rada utovarivača s transporterima

Potreban broj utovarivača za sinkroniziran rad s grejderom i transporterima dobije se iz izraza [3]:

$$N_{\text{utovarivača}} = N_{\text{k}} * U_{\text{p}}^{\text{transportera}} / U_{\text{p}}^{\text{utovarivača}} \quad (41)$$

$$N_{\text{utovarivača}} = 13 * 12,75 / 102,1 = 1,6 \rightarrow \text{potrebno 2 utovarivača}$$

### 7.2.3. Usklađivanje rada grejdera i valjaka

Potreban broj valjaka se dobije iz formule:

$$N_{\text{valjaka}} = U_{\text{p}}^{\text{grejder}} / U_{\text{p}}^{\text{valjaka}} \quad (42)$$

$$N_{\text{valjaka}} = 157,5 / 82 = 1,92 \rightarrow 2 \text{ valjka su potrebna za utvrđivanje 2.tamponskog sloja}$$

## 8. Asfaltiranje ceste

Za asfaltiranje ćemo koristiti valjani asfalt beton čije se spravljanje i miješanje odvija u asfaltnoj bazi koja se nalazi na samome gradilištu.

Ugradnja se odvija sa obaveznim valjanjem asfaltnih slojeva.

### 8.1. Postrojenje za proizvodnju asfalta-Asfaltnabaza " WIBAU " WSO-120



Slika 12-Postrojenje za proizvodnju asfalta

Tablica 9- Karakteristike postrojenja za proizvodnju asfalta

Snaga motora	210 kW
Kapacitet mješalice – q (kg)	1000
Teorijski učinak – Ut (t/h)	160
Koef.korištenja radnog vremena-kv	0.75
kp=ko=kr	1.0

Postrojenje za proizvodnju valjane asfaltne baze nalazi se na samome gradilištu, a slika 12 nam daje prikaz tog postrojenja.

U tablici 9 se nalaze karakteristike ovog postrojenja sa zadanim teorijskim učinkom i vrijednostima koeficijenta.

### 8.1.1. Izračun praktičnog učinka postrojenja

Praktični učinak postrojenja izračunat ćemo prema izrazu [3]:

$$U_p = U_t * k_r * k_p * k_v(t/h) \quad (43)$$

$$U_p = 160 * 0.75 * 1 = 120 (t/h) = 50 \text{ m}^3/h$$

### 8.2. Finišer -" VOGELE" SUPER 1600



Slika 13-Finišer-" VOGELE" SUPER 1600 [11]

Tablica 10- Karakteristike finišera

Snaga motora (kW)	84
Širina rada (m)	3.5
Max. brzina rada (m/min)	18
Teorijski učinak – $U_t$ (t/h)	400
Koef.korištenja radnog vremena- $K_v$	0.75
Koef.punjenjaradnogorgana- $K_p$	0.40
Koef. rastresitosti materijala- $K_r$	0.90

Za razastiranje asfaltne baze koristit će se finišer marke VOGELE koji je prikazan na slici 13, a u tablici 10 su pokazane karakteristike ovoga stroja.

### 8.2.1. Izračun praktičnog učinka finišera

Praktični učinak finišera izračunat ćemo prema izrazu [3]:

$$U_p = U_t * k_r * k_p * k_v \text{ (t/h)} \quad (44)$$

$$U_p = 400 * 0,90 * 0,40 * 0,75 = 108 \text{ (t/h)}$$

$$U_p = 45 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

### 8.3. Kamion kiper-“ Mercedes actros“ 3244

Koristit ćemo se istim transporterom kao u 6.2.s planskim učinkom iz izraza (23):

$$U_p = (60/22.5) * 10 * 0.75 * 0.85 * 0.75 = 12.75 \text{ m}^3\text{/h}$$

### 8.4. Valjci za zbijanje - Hamm HD 130

Koristit ćemo iste valjke kao u 6.4. s planskim učinkom prema izrazu [3]:

$$U_p = (B - 0.2) / n * d * k_r * k_v * v \text{ (m}^3\text{/h)} \quad (45)$$

d-debljina sloja nakon zbijanja

d`-debljina sloja prije zbijanja

Iz [3] dobije se izraza za debljinu sloja nakon zbijanja:

$$d = 0.65 * d' \quad (46)$$

Iz izraza (46) proizlazi nam debljina sloja prije zbijanja:

$$d' = d / 0,65 = 15 / 0,65 = 23 \text{ cm} \quad (47)$$

Za potreban broj prijelaza uzima se da je n=4 prijelaza (pretpostavljena vrijednost).

Iz izraza (45) se izračuna praktični učinak valjka:

$$U_p = (2.14 - 0.2) / 4 * 0,23 * 0,75 * 0,75 * 3 = 188 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

## 9. Usklađivanje rada strojeva za asfaltiranje ceste

### 9.1. Usklađivanje postrojenja za proizvodnju asfalta i kamiona

Potreban broj kamiona dobit ćemo iz izraza:

$$N_{\text{kamiona}} = U_p^{\text{asf.b}} / U_p^{\text{k}} \quad (48)$$

$$N = 50 / 12.75 = 3.9 \Rightarrow 4 \text{ kamiona}$$

Vrijeme potrebno za utovar se dobije iz izraza [3]:

$$t_{\text{utovara}} = Q / (4 * U_p^{\text{kam}}) \quad (49)$$

Q-potrebna količina asfalta

$$Q = L * \check{s} * d \quad (50)$$

L-duljina trase (m) = 300m

š- ukupna širina ceste = 7 m

d- potrebna debljina asfalta prije zbijanja = 23 cm

Iz formule (50) slijedi da je potrebna količina asfalta:

$$Q = 300 * 7 * 0.23 = 483 \text{ m}^3$$

Iz izraza (49) vrijeme potrebno za utovar je:

$$t_{\text{utovara}} = 483 / (4 * 12.75) = 9.5 \text{ h}$$

Br.tura kamiona se dobije iz izraza [3]:

$$n_T = Q / (n_K * V_k) = 483 / (4 * 10) = 12.1 \rightarrow 12 \text{ tura} \quad (51)$$

### 9.2. Izračun broja valjaka za usklađeni rad s finišerom

$$N_{\text{valjaka}} = U_p^{\text{finišera}} / U_p^{\text{valjka}} \quad (52)$$

$$N_{\text{valjaka}} = 45 / 188 = 0.24 \rightarrow 1 \text{ valjak potreban}$$

## **10. Zaključak**

Prilikom bušenja tunela za usklađen rad s TBM-om koji je glavni stroj u ovom procesu i s obzirom na kojeg se trebaju uskladiti ostali strojevi, prikazanim proračunom je dobiveno da je za sinkronizirani rad strojeva potreban 1 utovarivač, 1 drobilica, 4 vagoneta za sredinu tunela i 6 vagoneta za proračun na kraju tunela.

Za izgradnje ceste, u ovom procesu u kojem su se strojevi usklađivali prema grejderu, potrebno je 13 kamiona, 2 utovarivača, 1 valjak za 1. tamponski sloj te 2 valjka za drugi tamponski sloj.

Što se tiče asfaltiranja ceste proračun je porođen tako da smo uskladili finiše s obzirom na postrojenje za asfaltnu bazu iz čega smo dobili da su potrebna 4 kamiona, 1 valjak i 1 finiše.

S obzirom da je pretpostavka bila jedini kriterij za usklađivanje strojeva, analizom troškova rada strojeva bi trebalo provjeriti da li je bolje da grejder ipak malo čeka, a da se uzme manji broj kamiona.

## Literatura:

- [1] <http://documents.tips/documents/gradevinska-mehanizacija.html>
- [2] <http://www.ctta.org/FileUpload/ita/2009/papers/O-05/O-05-08.pdf>
- [3] Eduard Slunjski, STROJEVI U GRAĐEVINARSTVU, HDGI, 1995.
- [4] [http://www.cat.com/en\\_US/products/new/equipment/wheel-loaders/small-wheel-loaders/1000001280.html](http://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/wheel-loaders/small-wheel-loaders/1000001280.html)
- [5] <http://www.alamy.com>
- [6] <http://www.devineindustries.in/cone-crusher-spare-parts.htm>
- [7] <http://www.mascus.hr/transport/rabljeni-kiper-kamioni/mercedes-benz-actros-3244-k-big-axle-3-pedals-3-seiten-euro-5/lxdnmcpc.html>
- [8] <http://www.tradeearthmovers.com.au/spec/detail/graders/motor-graders/komatsu/gd825a2/26819>
- [9] <http://www.gfos.unios.hr/portal/images/stories/studij/strucni/tehnologija-i-strojevi-za-gradjenje/tehstr2.pdf>
- [10] [https://www.google.hr/search?q=vibro+valjak+Hamm+HD+130&espv=2&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiE9KDo1f3MAhWFAxoKHc\\_aDggQ\\_AUIBjgB#imgsrc=vhTt1IG2PHnvDM%3A](https://www.google.hr/search?q=vibro+valjak+Hamm+HD+130&espv=2&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiE9KDo1f3MAhWFAxoKHc_aDggQ_AUIBjgB#imgsrc=vhTt1IG2PHnvDM%3A)
- [11] <http://autoline.hr/-/prodaja/rabljene/asfaltne-finiseri-gusjenicari/VOEGELE-Super-1600-2-Ergoplus--14073012085242685300>