Usklađivanje rada strojeva pri izradi tunela i donjeg ustroja ceste

Milan, Duje

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:
University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:325206

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split







SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD

Duje Milan, 4445

Split, 2019.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Usklađivanje rada strojeva pri izradi tunela i donjeg ustroja ceste

Duje Milan, 4445

Split, 2019.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ:	**PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**
KANDIDAT:	**DUJE MILAN**
BROJ INDEKSA:	**4445**
KATEDRA:	**Katedra za organizaciju i ekonomiku građenja**
PREDMET:	**Proizvodnja u građevinarstvu**

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: **Usklađivanje rada strojeva pri izradi tunela i donjeg ustroja ceste**

Opis zadatka: Zadatak studenta je da na temelju raspoloživih podataka i literature uskladi radstrojeva za odabrane aktivnosti pri probijanju tunelske cijevi i ugrađivanju iskopanog materijala u donji ustroj ceste nedaleko od mjesta izgradnje tunela.

U Splitu, 01.03.2019.
Voditeljica Završnog rada:



Sažetak:

Potrebno je uskladiti rad strojeva pri probijanju tunelske cijevi i ugrađivanju iskopanog materijala u donji stroj ceste. Tunel je projektiran u duljini od 10 km u tlu kamenog sastava. Cesta je udaljena 5 km od ulaznog portala u tunel. Koristit će se sljedeći strojevi: TBM za iskop tunela i postavljanje obloge, utovarivač za punjenje vagoneta i kamiona, lokomotiva s vagonetima za odvoz materijala do drobilice, drobilica za usitnjavanje kamenog materijala, kamion-kiper za prijevoz do ceste, dozer za razastiranje i valjak za nabijanje.

Ključne riječi:

Tunel, cesta, TBM, utovarivač, lokomotiva s vagonetima, drobilica, kamion-kiper, dozer, valjak

Harmonization of machines working in tunnel and road bed construction

Abstract:

It is necessary to harmonize the operation of machines used for breakthrough of a tunnel tube and embedding the excavated into the road bed. The designed tunnel is 10 km long and is being made in rock soil. The road is 5 km far from the tunnel entry portal. Following machines will be used: TBM for tunnel breakthrough, loader for loading wagons and trucks, locomotive with wagons for hauling material to the crusher, crusher for reducing size of rock material, tip-truck for transportation to the road, dozer for spreading and roller for compaction.

Keywords:

Tunnel, road, TBM, loader, locomotive with wagons, crusher, tip-truck, dozer, roller

Sadržaj

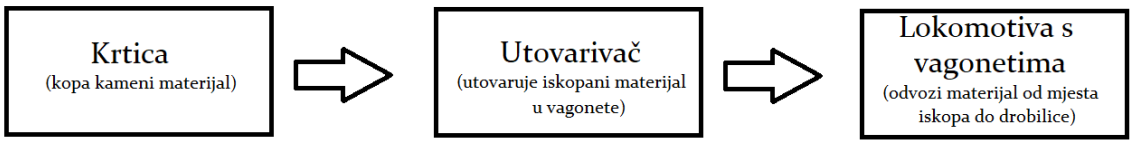
1. Uvod 1
2. Krtica 2
   2.1. Herrenknecht EPBM (Earth Pressure Boring Machine) 5
   2.2. Crossrail TBM (Tunnel Boring Machine) 6
   2.3. Herrenknecht Multi-Mode TBM (Tunnel Boring Machine) 7
   2.4. Odabrana krtica 8
3. Utovarivač 9
4. Vagoneti 10
5. Lokomotiva 11
6. Usklađivanje rada strojeva 1. faze građenja 12
   6.1. Učinak krtice 12
   6.2. Broj utovarivača 12
   6.3. Broj vagoneta 13
7. Drobilica 15
8. Kamion-kiper 17
9. Utovarivač 18
10. Dozer 18
11. Valjak 19
12. Usklađivanje rada strojeva 2. faze građenja 20
   12.1. Broj drobilica 20
   12.2. Broj utovarivača 20
   12.3. Broj kamiona-kipera 20
   12.4. Broj dozera 21
   12.5. Broj valjaka 22
13. Zaključak 23
14. Literatura 24

1. Uvod

Zadatak ovog završnog rada je usklađivanje rada strojeva pri probijanju tunelske cijevi i ugrađivanju iskopanog materijala u donji stroj ceste nedaleko od mjesta izgradnje tunela. Tunel je projektiran u duljini od 10 km u tlu kamenog sastava. Cesta je udaljena 5 km od ulaznog portala u tunel.

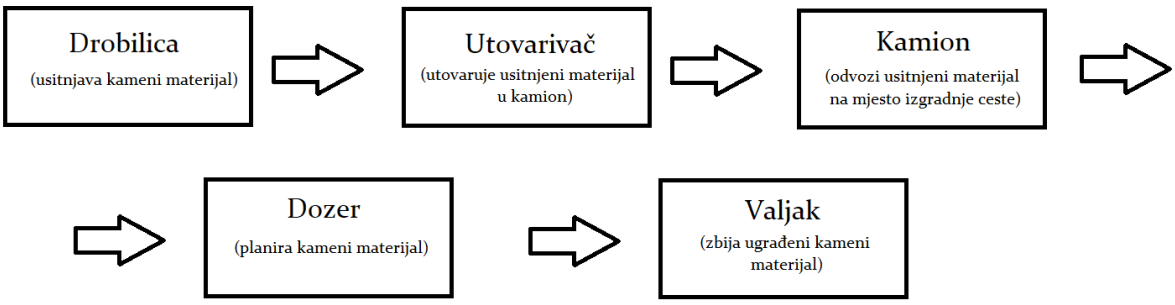
Radovi se mogu podijeliti u dvije faze: probijanje tunela i ugradnja donjeg stroja ceste.

Za prvu fazu koristit će se krtica, utovarivač i lokomotiva s vagonetima. Shema rada prikazana je na slici 1.1.



Slika 1.1.: Logički slijed korištenja strojeva za prvu fazu radova

Za drugu fazu koristit će se drobilica kamenog materijala, utovarivač, kamion, dozer i valjak. Shema rada prikazana je na slici 1.2.



Slika 1.2.: Logički slijed korištenja strojeva za drugu fazu radova

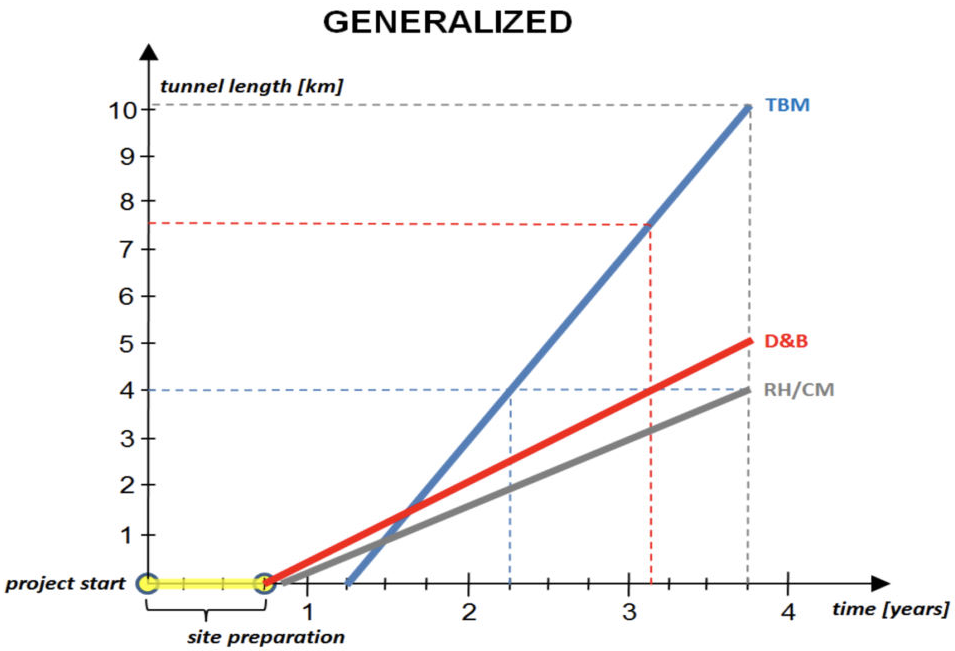
2. Krtica

Tunnel boring machine (TBM) ili popularno zvana 'krtica' je stroj koji se koristi za probijanje tunela okruglog poprečnog presjeka kroz različita tla i stijenske mase. Mogu se koristiti i za mikrotuneliranje. Promjeri tunela za koje se koriste je u interval od jednog metra sve do 17.6 metara (tzv. Bertha proizvedena u Osaki, Japan od strane firme Hitachi Zosen Sakai Works). [3]

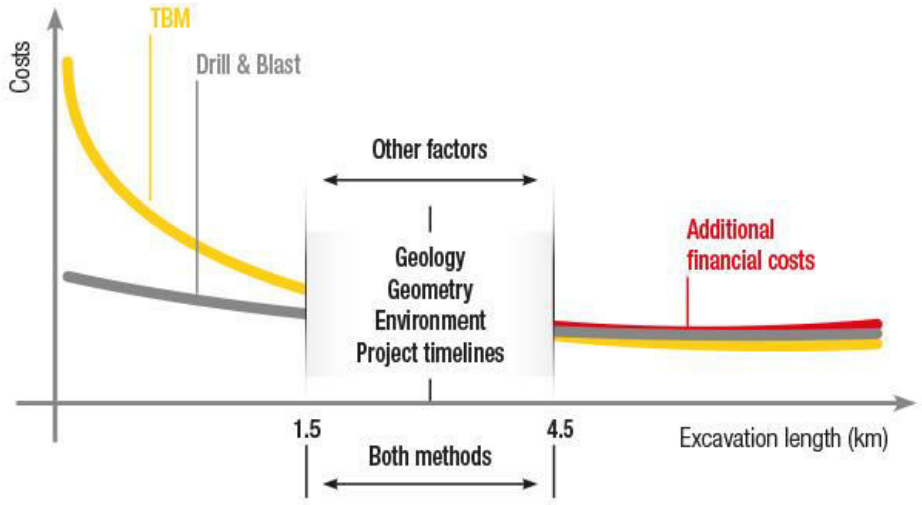
Prednosti 'krtica' u odnosu na konvencionalne metode bušenja i miniranja su:

- **manji poremećaj okolnom sraslom tlu**
- **izrada glatkog i ujednačenog profila kroz cijelu duljinu tunela**
- **manje potrebnih zaposlenika**
- **manji troškovi izrade obloge tunela**
- **veća sigurnost radnika**
- **manje vibracije**
- **brža izgradnja**
- **bolji uvjeti rada (manja buka i bolja ventilacija osigrava bolju atmosefru)**

Krtice su masivni i skupi strojevi za izradu, transport i održavanje, stoga nisu isplative za manje tunele. Iz slike 2.1. i slike 2.2. vidljivo je da je upotreba krtice financijski opravdana za tunele dulje od 4.5km.



Slika 2.1.: Usporedba vremena trajanja izgradnje tunale uz pomoć krtice i tradicionalnih metoda [4]



Slika 2.2.: Usporedba troškova izgradnje tunela krticom i tradicionalnim metodama u ovisnosti o duljini tunela [4]

Budući je projektirani tunel duljine 10km, krtica je najbolje i najpovoljnije rješenje izvedbe. Prema karakteristikama projektiranog tunela izbor je sužen na tri krtice. Njihove karakteristike prikazane su tablici 2.1. radi lakše usporedbe.

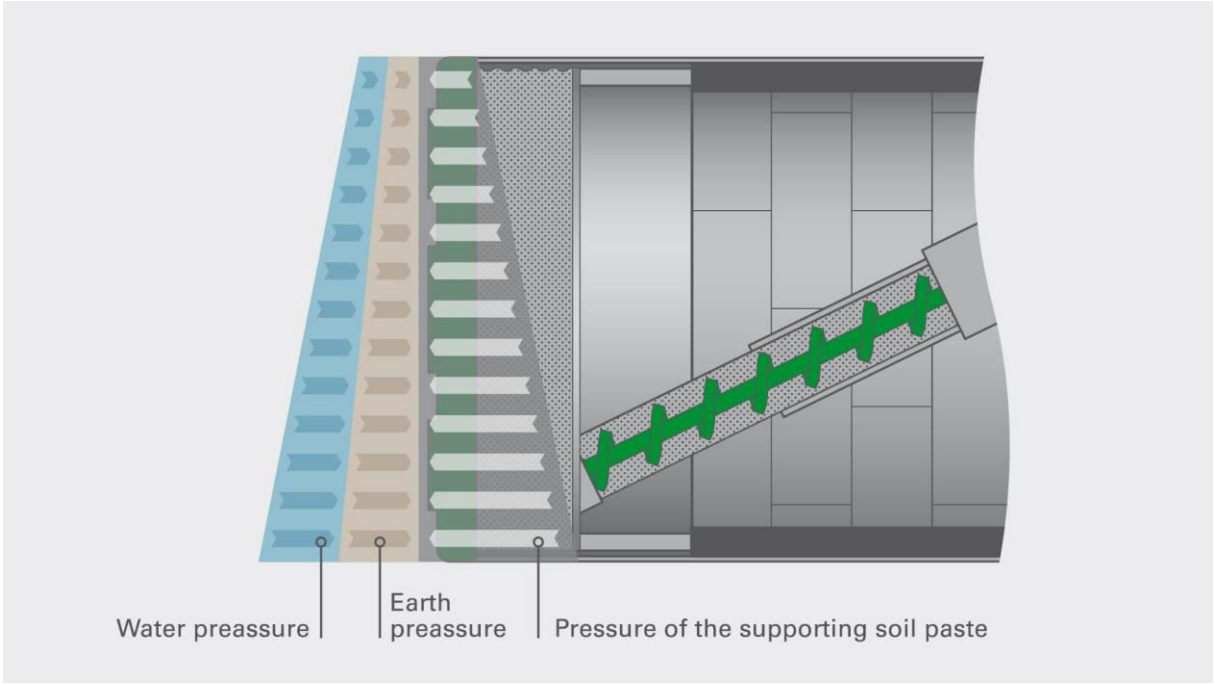
Tablica 2.1.: Usporedba ponuđenih krtica [1,2]

Proizvođač	Tip krtice	Promjer štita (m)	Promjer gotovog tunela (m)	Brzina napretka (m/dan)	Postavljanje obloge tunela
Herrenknecht	EPBM	6.49	5.7	10	DA
Herrenknecht	Multi-Mode TBM	6.49	5.7	6	DA
Crossrail	TBM	7.1	6.4	14.3	DA

Ponuđene su tri krtice: dvije Herrenknechtove i jedna Crossrailova. Herrenknechtove su jednakih promjera, ali različitog tipa, jedna je Earth Pressure Boring Machine (EPBM) , a druga Multi-Mode Tunnel Boring Machine (TBM), dok je Crossrailova običan Tunnel Boring Machine (TBM) malo većeg promjera.

2.1. Herrenknecht EPBM (Earth Pressure Boring Machine)

Na izboru su dvije krtice njemačkog proizvođača Herrenknecht, obje jendakog promjera (6.49m), ali različitog principa rada. Jedna od njih je EPBM (Earth Pressure Boring Machine) koja se obično koristi u mekšim tlima (s pritiskom manjim od 7 bara). Ovakve krtice ime su dobile zbog toga što se iskopani material koristi za balansiranje pritiska na čelu tunela. Tlak se održava u glavi rezača kontroliranjem brzine izvlačenja tla kroz Arhimedov vijak i promjenom brzine napretka [3]. Ovakav princip rada prikazan je na slici 2.3. Budući da će se projektirani tunel izvoditi u stijenskoj masi, ova krtica nije pogodna za taj zadatak.



Slika 2.3.: Princip rada EPBM-a [6]

2.2. Crossrail TBM (Tunnel Boring Machine)

Ova krtica (prikazana na slici 2.4.) ima nešto veći promjer od preostale dvije (7.1m u usporedbi s 6.49m). Koristi štit s rezačima koji se rotira i na taj način razara stijensku masu. Usitnjena stijena se dalje transportira kroz otvore u štitu krtice na pokretnu traku i izbacuje iza krtice odakle se dalje transportira drugim strojevima. Istovremeno postavlja tunelsku oblogu u obliku betonskih lučnih segmenata koji tvore prsten. Postavljanje obloge ima i još jednu funkciju, a to je kretanje krtice. Krtica se kreće prema naprijed koristeći hidrauličke preše kojima se odguruje o već ugrađeni prsten tunelske obloge [3]. Pomakne se za duljinu jednog prstena, postavi novi prsten i ciklus se ponavlja.

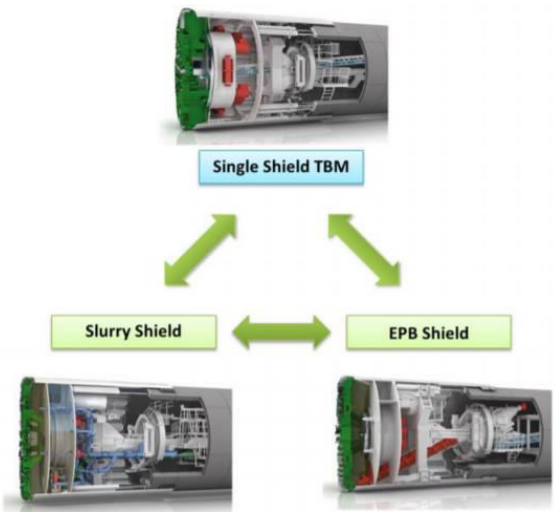


Slika 2.4.: Crossrail TBM (Tunnel Boring Machine) [9]

2.3. Herrenknecht Multi-Mode TBM (Tunnel Boring Machine)

Druga Herrenknechtova krtica koja je dana na odabir je multifunkcionalna Multi-Mode TBM (Tunnel Boring Machine). Budući su krtice izuzetno skupi strojevi prirodno se nameće ideja ponovnog korištenja istih. Nije racionalno koristiti za svaki tunel novu krticu. Iz te potrebe 'recikliranja' krtica rodila se ideja višenamjenske krtice. Ovaj tip krtice može se koristiti u raznim vrstama tla mijenjanjem glave. Relativno jednostavnom izmjenom alata glave krtice može se prilagoditi kopanju kroz mekše tlo ili stijensku masu [7,8]. Tako je ova krtica spoj preostale dvije koje su na izboru.





Slike 2.5. (lijevo) [7] i 2.6. (desno) [8]: Princip rada Multi-Mode TBM-ova

2.4. Odabrana krtica

Herrenknechtov EPBM je isključen iz odabira jer nije prikladan za vrstu tla u kojem će se izvoditi projektirani tunel. Ostaju dvije krtice za odabir: Crossrail TBM i Herrenknecht Multi-Mode TBM. Crossrail ima nešto veći promjer, ali više nego dvostruko veću brzinu probijanja tunela u odnosu na Herrenknechtov model. Budući da ćemo skratiti vrijeme građenja više nego upola, veći troškovi zemljanih i betonskih radova (zbog većeg promjera) bit će opravdani manjom cijenom radnika i strojeva, te je odabran Crossrail TBM.

3. Utovarivač

Iskopani materijal potrebno je utovariti u vagonete da se može dalje transportirati van tunela. Za ovaj zadatak odabran je utovarivač CAT 903D, prikazan na slici 3.1., tehničkih karakteristika prikazanim u tablici 3.1.

Tablica 3.1.: karakteristike utovarivača CAT 903D [12]

Snaga	31 kW
Zapremnina žlice	0.6 m^3
Trajanje ciklusa	0.55 min
Koeficijent rastresitosti	0.7
Koeficijent punjenja	0.8
Koeficijent iskorištenja radnog vremena	0.9



Slika 3.1.: Utovarivač CAT 903D [12]

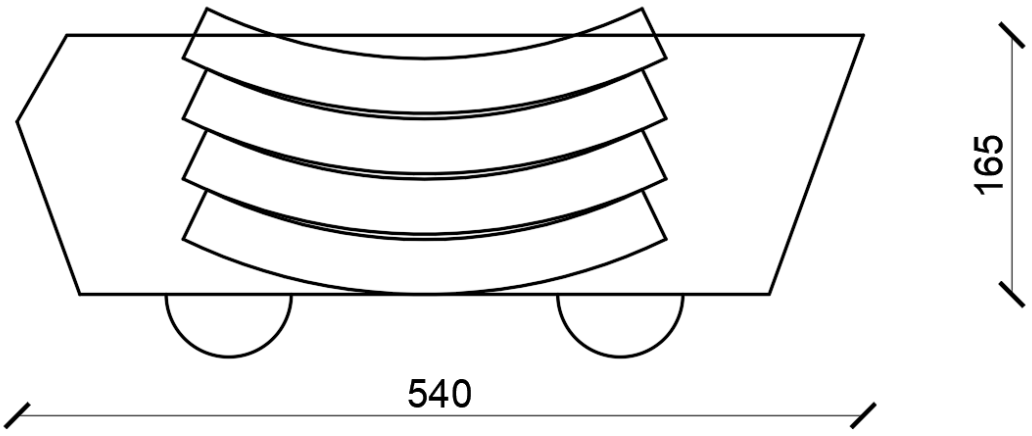
4. Vagoneti

Za transport iskopanog materijala od krtice do ulaza u tunel koristit će se vagoneti. Vagoneti će imati i još jednu zadaću, a to je dopremanje betonskih segmenata prstena do krtice. Odabrani su Siton YDC6-9 vagoneti s karakteristikama prikazanim u tablici 4.1.

Tablica 4.1.: karakteristike vagoneta Siton YDC6-9 [10]

Kapacitet	**6 m^3**
Duljina	**5.4 m**
Širina	**1.75 m**
Visina	**1.65 m**
Nosivost	**15 T**
Masa	**6.38 T**

Na slici 4.1. pokazano je da je moguće smjestiti 4 betonska segmenta u odabrani vagonet. Međutim, potrebna su samo 3 betonska segmenta po satu, ovakav razmještaj najvjerojatnije neće biti potreban.



Slika 4.1.: Grafički prikaz smještanja betonskih segmenata u vagonete

5. Lokomotiva

Za pokretanje vagoneta po tračnicama koristit će se lokomotiva makedonskog proizvođača 'Fidko', prikazana na slici 5.1. s karakteristikama prikazanim u tablici 5.1.

Tablica 5.1.: Karakteristike Fidko električne lokomotive [11]

Maksimalna brzina	25 km/h
Snaga	2x24 kW
Tip motora	električni
Masa	15 T
Sila vuče	55 000 kN
Duljina	4.35 m
Širina	0.95 m
Visina	1.45 m



Slika 5.1.: Fidko električna lokomotiva [11]

6. Usklađivanje rada strojeva 1. faze građenja

6.1. Učinak krtice

Nakon što su odabrani svi strojevi može se izračunati njihov planski učinak i uskladiti broj vagoneta i utovarivača s radom krtice.

Učinak krtice lako se može izračunati kao volumen iskopanog valjka zemlje u jednom danu. Volumen valjka jednak je umnošku površine baze i visine valjka. Površina baze bit će jednaka površini štita krtice, a visina valjka prijeđeni put krtice u jednom danu.

$A=(D^2*\pi)/4$ (1)

$A=(7.1^2*\pi)/4$

$A=39.57m^2$

$Q=A*14.3m/dan= 565.85\ m^3/dan = 23.58\ m^3/h$ (2)

Betonski prstenovi širine su 1.45 m, a dnevna brzina napretka oko 14.3 m što znači da je dnevno potrebno izraditi 10 prstenova koji se sastoje od 7 betonskih lučnih segmenata duljine luka (7.1* π/7=3.18m). Dnevno je potrebno 70 betonskih segmenata dopremiti do krtice.

6.2. Broj utovarivača

Potreban broj utovarivača dobije se iz omjera planskih učinaka krtice i utovarivača:

$N_{uto.}=U_{p,krt.}/U_{p,uto.}$ (3)

Učinak utovarivača računa se prema formuli:

$U_{p,uto.}=q*(3600/Tc)*K_p*K_r*K_v$ (4)

$U_{p,uto.}=0.6m^3*(3600s/33s)*0.8*0.7*0.9= 32.99\ m^3/h$

Prema (3):

$N_{uto.}= 23.58/32.99\approx 1$

6.3. Broj vagoneta

Za proračun će se koristiti srednja vrijednost udaljenosti koju trebaju prevaliti vagoneti, dakle sa sredine tunela do portala (10km/2=5km). Jedan ciklus koji obavljaju vagoneti sastoji se od utovara iskopanog, vožnje do portala, istovara iskopanog materijala, utovara betonskih segmenata, vožnje natrag do sredine tunela i istovara betonskih segmenata.

$$T_c=T_{u1}+T_v+T_{i1}+T_{u2}+T_v+T_{i2} \quad (5)$$

Uz pretpostavku da će lokomotiva voziti jednakom brzinom u oba smjera:

$$T_c=T_{u1}+T_{i1}+T_{u2}+T_{i2}+2T_v \quad (6)$$

- **Uzet će se srednja brzina kretanja lokomotive od 10 km/h u oba smjera**
- **Učinak utovarivača jednak je 32.99 m^3/h**
- **Učinak krtice je 23.58 m^3/h**
- **Zapremnina jednog vagoneta je 6 m^3**
- **Pretpostavka je da će zbog dugog trajanja vožnje ciklus biti veći od 1 sata, pa će se uzeti da je broj potrebnih betonskih segmenata jednak 4**

Vrijeme utovara zemljanog materijala T_{u1} jednako je:

$$T_{u1}= V_{vag.}/U_{uto.} \quad (7)$$

$$T_{u1}= 6\ m^3/32.99\ m^3/h$$

$$T_{u1}= 0.18\ h= 10.91\ min$$

Vrijeme istovara betonskih segmenata će se uzeti 1 min po komadu, dakle T_{i1}=4min

Vrijeme vožnje T_v jednako je:

$$T_v= s/v \quad (8)$$

$$T_v= (5\ km)/(10\ km/h)= 0.5\ h= 30\ min$$

Vrijeme istovara zemljanog materijala će se uzeti T_{i2}=2min

Vrijeme utovara betonskih segmenata će se uzeti 1 min po 1 komadu, dakle T_{u2}= 4 min

Vrijeme ciklusa lokomotive prema (6):

$$T_c = 10.91+2+4+4+2*30$$

$$T_c = 80.91 \text{ min}$$

Broj potrebnih vagoneta jednak je:

$$N_{vag.} = T_c/(V_{vag.}/U_{uto.}) \quad (9)$$

$$N_{vag.} = 80.91/10.91$$

$$N_{vag.} = 8$$

7. Drobilica

Kameni materijal koji se dobije bušenjem stijenske mase probijanjem tunela će se upotrijebiti kao donji stroj ceste udaljene 10 km od ulaza u tunel. Za tu svrhu potrebno je daljnje usitnjavanje materijala kojeg krtica iskopa. Odabrana je čeljusna drobilica SBM model PE500x700 (slika 7.1.) s karakteristikama prikazanim u Tablici 7.1. Princip rada čeljusne drobilice prikazan je na slici 7.2.

Tablica 7.1.: Karakteristike drobilice SBM PE500x700 [15]

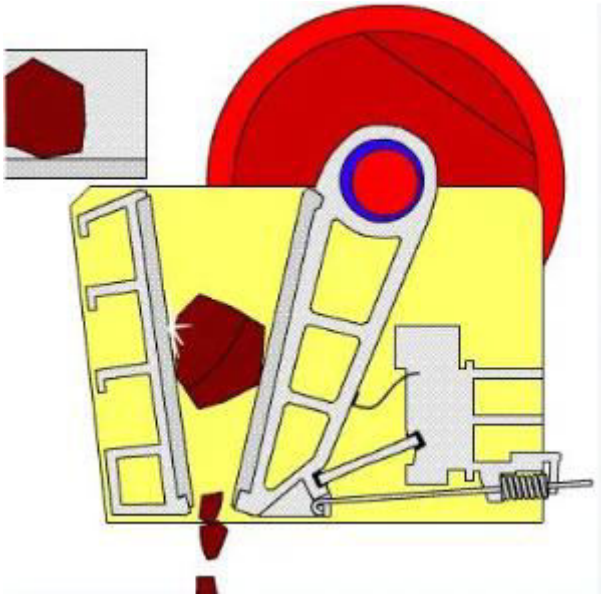
Broj okretaja	275 r/min
Snaga	55 kW
Min. promjer kamena	8 mm
Max. promjer kamena	63 mm
Masa	10.1 T
Učinak	100 T/h

Učinak drobilice iskazan je u T/h, a svih ostalih strojeva u m^3/h. Gustoća kamenog materijala je 2 850 kg/m^3, odnosno 2.85 T/m^3. Učinak u m^3/h dobije se dijeljenjem zadanog učinka u tonama gustoćom.

U = (100T/h)/(2.85 T/m^3)= 35.09 m^3/h



Slika 7.1.: Čeljusna drobilica SBM PE500x700 [15]



Slika 7.2.: Princip rada odabrane čeljusne drobilice [16]

8. Kamion-kiper

Za transport kamenog materijala od drobilice do mjesta ugradnje u trup ceste koristit će se kamion-kiper. Odabrani model je Mercedes-Benz 3340 Axor 6x4, prikazan na slici 8.1., s karakteristikama prikazanim u tablici 8.1.

Tablica 8.1.: Karakteristike odabranog kamiona [17]

Zapremnina	**20 m^3**
Snaga	**295 kW**
Brzina punog vozila	**30 km/h**
Brzina praznog vozila	**60 km/h**
Koeficijent punjenja	**0.85**
Koeficijent rastresitosti	**0.7**



Slika 8.1.: Mercedes-Benz 3340 Axor 6x4 [17]

9. Utovarivač

Za punjenje kamiona-kipera koristit će se utovarivač. Odabran je isti model kakav se koristio i za punjenje vagoneta kamenim materijalom iz tunela, dakle CAT 903D sa svim karakteristikama već navedenim prethodno u tekstu.

10. Dozer

Za razastiranje i planiranje kamenog materijala koristit će se dozer. Odabran je dozer CAT D3K2, prikazan na slici 10.1., s karakteristikama prikazanim u tablici 10.1.:

Tablica 10.1.: Karakteristike odabranog dozera CAT D3K2 [18]

Snaga	59.7 kW
Najveća brzina	9 km/h
Širina noža	2400 mm
Visina noža	875 mm
Kapacitet noža	1.58 m^3



Slika 10.1.: Dozer CAT D3K2 [18]

11. Valjak

Za zbijanje i ravnanje materijala koristit će se valjak. Odabrani model je vibracijski valjak CAT CCS7, prikazan na slici 11.1., s karakteristikama prikazanim u tablici 11.1.

Tablica 11.1.: Karakteristike valjka CAT CCS7 [19]

Snaga	**75 kW**
Najveća brzina	**11 km/h**
Širina bubnja	**2134 mm**
Efetkivna širina zbijanja	**1700 mm**
Frekvencija vibriranja	**42 Hz**
Dubina zbijanja	**40 cm**



Slika 11.1.: Valjak CAT CCS7 [19]

12. Usklađivanje rada strojeva 2. faze građenja

12.1. Broj drobilica

Planski učinak krtice izračunat je u poglavlju 3.5., te je jednak $U_{krt.}$= 23.58 m^3/h. Učinak drobilice je izračunat u poglavlju 8., te iznosi $U_{drob.}$= 35.09 m^3/h. Potreban broj drobilica dobije se dijeljenjem planskih učinaka krtice i drobilice:

$$N_{drob.} = U_{p,krt.}/U_{p,drob.} \quad (10)$$

$N_{drob.}$= 23.58/35.09= 0.67≈ 1

12.2. Broj utovarivača

U 2. fazi građenja koristit će se isti utovarivač kao i u 1. fazi, tako da je potreban broj već izračunat u poglavlju 7.1. i iznosi:

$N_{uto.}$= 1

12.3. Broj kamiona-kipera

Potreban broj kamiona-kipera izračunava se dijeljenjem planskog učinka krtice planskim učinkom kamiona-kipera koji se računa po formuli:

$$U_{p,kip.} = q*60/T_c*K_p*K_r*K_v \quad (11)$$

gdje je T_c trajanje ciklusa kipera i sastoji se od utovara, putovanja do mjesta ugradnje, istovara, povratnog putovanja, te vremena potrebnog za manevre na gradilištu:

$$T_c = T_u+T_o+T_i+T_p+T_m \quad (12)$$

Vrijeme utovara jednako je:

$$T_u = q/U_{uto.} \quad (13)$$

T_u= (20 m^3)/(32.99 m^3/h)*(60 min/h)= 36.37 min

Vrijeme odvoza i povratka može se zamijeniti dvostrukim vremenom putovanja srednje brzine između praznog i punog vozila:

$v_{sr.} = (v_{pu} + v_{pr})/2$ (14)

$v_{sr.} = (30+60)/2 = 45$ km/h $= 0.75$ km/min

Prema (8) vrijeme putovanja jednako je:

$T_{put.} = T_o = T_p = (0.75 \text{ km/min}) * (5 \text{ km}) = 3.75$ min

$2T_{put.} = 2 * 3.75 \text{ min} = 7.5$ min

Vrijeme istovara i manevra na gradilištu će se procijeniti paušalno i iznose:

$T_i = 1$ min, $T_m = 2$min, ciklus kipera dobije se prema (12):

$T_c = 36.37 + 7.5 + 1 + 2 = 46.87$ min

Potrebni koeficijenti su iskazani u tablici 4.1., te se može izračunati planski učinak kipera koristeći (11):

$U_{p,kip.} = (20 \text{ m}^3 * 60 \text{ min})/(46.87\text{min}) * 0.8 * 0.7 * 0.9 = 12.90 \text{ m}^3/\text{h}$

Broj potrebnih kamiona-kipera dobije se dijeljenjem planskog učinka krtice i kipera:

$N_{kip.} = U_{p.krt.}/U_{p.kip.}$ (15)

$N_{kip.} = 23.58 \text{ m}^3/\text{h}/12.90 \text{ m}^3/\text{h} = 1.83 \approx 2$

12.4. Broj dozera

Dozer će kontinuirano razastirati kameni materijal koji kamioni-kiperi istovare na gradilište. Stoga nije potrebno računati vrijeme trajanja ciklusa, nego će se njegov planski učinak izračunati kao volumen materijala kojeg razastre u jednom satu pomnožen s određenim korekcijskim koeficijentima. Volumen materijala što ga razastre dozer bit će jednak volumenu kvadra kojem je jedna ploha omeđena širinom noža (tablica 11.1.) i debljinom sloja kojeg razastire (20 cm), a treća dimenzija jednaka je duljini puta kojeg dozer prijeđe unutar jednog sata.

$s = v * t$ (16)

$s = (3 \text{ km/h}) * 1\text{h} = 3\text{km}$

$V = B*s$ (17)

$V = (2.4\ m - 0.2\ m)*0.2\ m*3\ 000\ m = 1320\ m^3$

$U_{t,doz.} = 1320\ m^3/h$

$U_{p.doz.} = U_{t,doz.}*k_v*k_p*k_r$ (18)

$U_{p.doz.} = 1320*0.7*0.8*0.9 = 665.28\ m^3/h$

Potreban broj dozera izračunava se dijeljenjem planskog učinka krtice planskim učinkom dozera:

$N_{doz.} = U_{p,krt.}/U_{p,doz.}$ (19)

$N_{doz.} = (23.58\ m^3/h)/(665.28\ m^3/h) = 0.04 \approx 1$

12.5. Broj valjaka

Broj valjaka određuje se dijeljenjem planskih učinaka dozera i valjaka. Prvo je potrebno izračunati planski učinak valjka:

$U_{p,valj.} = (B-0.2)/n*K_v*v,$ (20)

gdje je B-širina zbijanja, a n-broj prijelaza valjka

Širina zbijanja je poznata iz tablice 12.1., te iznosi 1.7 metara, broj prijelaza će se uzeti n= 6, a brzina valjanja v= 4km/h. Dakle, prema (18):

$U_{p,valj.} = (1.7\ m - 0.2\ m)/6*0.9*4*1000/60 = 15\ m^2/h$

Dobiveni učinak je u m^2/h, a potreban je u m^3/h radi usklađivanja s krticom, te ga treba pomnožiti debljinom valjanog sloja koja iznosi d= 20 cm:

$U_{p,valj.} = 15 m^2/h*0.2m = 3\ m^3/h$

Broj potrebnih valjaka na kraju je jednak:

$N_{valj.} = U_{p,krt.}/U_{p,valj.}$ (21)

$N_{valj.} = 23.58/3 = 7.86 \approx 8$

13. Zaključak

Za prvu fazu radova koja se sastoji od bušenja tunela dugog 10 km u stijenskoj masi kao glavni stroj je odabrana Crossrailova krtica promjera 7.1 m. Kao daleko najveći i najskuplji stroj, krtica je bila polazište za proračun preostalih potrebnih strojeva. Proračunom je dobiven sljedeći broj strojeva:

- **1 krtica**
- **1 utovarivač**
- **1 lokomotiva**
- **8 vagoneta**

Za drugu fazu radova potreban broj strojeva se isto usklađivao s radom krtice jer drobilica kamenog materijala radi brže od krtice i ima nešto praznog hoda. Druga opcija bi bila da je drobilica sporija, te se materijal gomila na depo ispred tunela. U tom slučaju strojevi bi se usklađivali s obzirom na drobilicu. Proračunom je dobiven sljedeći broj strojeva:

- **1 drobilica**
- **1 utovarivač**
- **2 kamiona-kipera**
- **1 dozer**
- **8 valjaka**

Korištenje ove kombinacije strojeva osigurava kontinuiran rad bez zastoja koji bi uzrokovali dodatni trošak, te izvedbu tunela u zadanom roku.

14. Literatura

1. https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/tunnel-boring-machine (22.04.2019)

2. https://tunnellingjournal.com/first-crossrail-tbm-breaks-ground/ (22.04.2019)

3. https://en.wikipedia.org/wiki/Tunnel_boring_machine (13.05.2019)

4. http://bestsupportunderground.com/tbm-drill-and-blast/?lang=en (13.05.2019)

5. https://www.therobbinscompany.com/about/advancements/tbms-in-mining/ (13.05.2019)

6. https://www.herrenknecht.com/en/products/productdetail/epb-shield/ (13.05.2019)

7. https://www.herrenknecht.com/en/products/productdetail/multi-mode-tbm/ (13.05.2019)

8. https://www.tucss.org.sg/images/document/hulme2014_paper2.pdf (22.05.2019)

9. https://archaeology.crossrail.co.uk/exhibits/tunnelling-giants-ada-phyllis/ (22.05.2019)

10. http://www.siton-china.com/bottom-dumping-wagon.html (22.05.2019)

11. https://www.alibaba.com/product-detail/Mining-Locomotives_234717591.html (22.05.2019)

12. https://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/wheel-loaders/compact-wheel-loaders/146024228411.html (19.06.2019)

13. https://www.scribd.com/doc/86228559/Tablice-Koeficijenata-unlocked (19.06.2019)

14.https://rudar.rgn.hr/~mklanfar/nids_mklanfar/TEHNOLOGIJA%20NEMETALA/Koeficijenti%20materijala%20i%20strojeva.pdf (18.06.2019)

15.https://www.sbmchina.com/product/pe_jaw_crusher.html?a=s2&campaign=1341491640&keyword=%2Bvsi%20%2Bimpact%20%2Bcrusher&dev=c&ad=261703828049&gclid=CjwKCAjwmZbpBRAGEiwADrmVXh9ztIVUXKI1YbF_yERfYEUYnkg7T5NWGyoGF92696baw-yD3WwTIBoC0ooQAvD_BwE#image_4 (10.07.2019)

16. https://whitelai.en.made-in-china.com/product/zKHEilnjJYRb/China-Rock-Stone-Jaw-Cone-Impact-VSI-Crusher-for-Basalt-Granite-Limstone-River-Stone.html (10.07.2019)

17. https://www.tradus.com/sr/transport/kamioni/kiper-kamioni/mercedes-benz/mercedes-benz-3340-axor-6x4-20-m3-stahl-19-stck-am-lager-2014-3950480 (12.07.2019)

18. https://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/dozers/small-dozers/4036913104119642.html (12.07.2019)

19. https://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/compactors/tandem-vibratory-rollers/1000027460.html (12.07.2019)

20.https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/ucinakgradevinskihstrojeva.pdf (14.07.2019)