

# Analiza procesa pridobivanja i oplemenjivanja mineralne sirovine na primjeru površinskog kopa "Tambura"

---

Orbanić, Manuel

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:618946>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-21**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Diplomski studij rudarstva

**ANALIZA PROCESA PRIDOBIVANJA I OPLEMENJIVANJA MINERALNE  
SIROVINE NA PRIMJERU POVRŠINSKOG KOPA “TAMBURA”**

Diplomski rad

Manuel Orbanić

R-254

Zagreb, 2021



KLASA: 602-04/20-01/248  
URBROJ: 251-70-03-20-2  
U Zagrebu, 08.02.2021.

**Manuel Orbanić, student**


## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/20-01/248, UR. BROJ: 251-70-11-20-1 od 09.11.2020. godine priopćujemo temu diplomskog rada koja glasi:

### **ANALIZA PROCESA PRIDOBIVANJA I OPLEMENJIVANJA MINERALNE SIROVINE NA PRIMJERU POVRŠINSKOG KOPA "TAMBURA"**

Za voditelja ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o diplomskom ispitu izv. prof. dr. sc. Ivo Galić, izvanredni profesor Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i komentor Branimir Farkaš, dipl. ing.

**Voditelj**

  
(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Ivo Galić

(titula, ime i prezime)

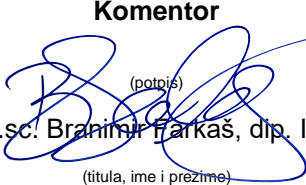
**Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite**

  
(potpis)

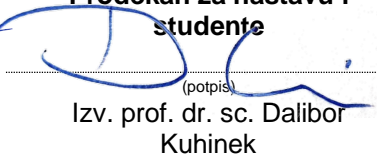
Doc. dr. sc. Dubravko  
Domitrović

(titula, ime i prezime)

**Komentor**

  
(potpis)  
Dr. sc. Branimir Farkaš, dipl. Ing.  
(titula, ime i prezime)

**Prodekan za nastavu i  
studente**

  
(potpis)  
Izv. prof. dr. sc. Dalibor  
Kuhinek  
(titula, ime i prezime)

## **Zahvale**

Zahvaljujem se svojim mentorima, prof. dr. sc. Ivi Galiću te dr. sc. Branimiru Farkašu na korisnim savjetima, uloženom vremenu i pomoći prilikom pisanja Diplomskog rada.

Hvala svim mojim prijateljima: Ivanu, Nini, Danielu, Matiji, Kiketu, Stefanu, Gregyju, Ani, Dinu, Francu, Valentini, Harisu, Matteu, Matku na svim lijepim trenucima i uspomenama koje smo proživjeli zajedno i koje će mi ostati u sjećanju za cijeli život.

Mojim roditeljima i bratu veliko hvala na svojoj pomoći i razumijevanju tijekom svih mojih lijepih, ali i onih manje lijepih trenutaka studiranja.

Na kraju hvala mojoj Ivoni na svojoj ljubavi i podršci koju mi daje kroz sve moje uspone i padove.

ANALIZA PROCESA PRIDOBIVANJA I OPLEMENJIVANJA MINERALNE SIROVINE NA PRIMJERU  
POVRŠINSKOG KOPA "TAMBURA"

Manuel Orbanić

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za rudarstvo i geotehniku  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

U diplomskom radu opisan je razvoj rudarskih radova na eksploatacijskom polju tehničko-građevnog kamena "Tambura" koji se nalazi pokraj grada Vodnjana. Opisano je postojeće i promijenjeno stanje mehanizacije, te je izrađen novi model procesa oplemenjivanja. Uspoređena su tri modela procesa oplemenjivanja te je određena efikasnost svakog modela, potrebna ulaganja, maksimalni kapacitet proizvodnje frakcija, te troškovi. Odabran je optimalan model koji daje maksimalni kapacitet proizvodnje frakcija uz najmanje troškove, te su dane smjernice za unaprjeđenje proizvodnog procesa.

Ključne riječi: eksploatacijsko polje, Tambura, oplemenjivačko postrojenje, model, proizvodnja, potrošnja goriva, efikasnost

Završni rad sadrži: 54 stranica, 33 tablica, 30 slika i 18 reference.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Ivo Galić, izvanredni profesor RGNF

Komentor: Dr. sc. Branimir Farkaš, poslijedoktorand RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Ivo Galić, izvanredni profesor RGNF  
Dr. sc. Mario Klanfar, docent RGNF  
Dr. sc. Vječislav Bohanek, docent RGNF

ANALYSIS OF THE PROCESS OF EXTRACTION AND PROCESSING OF MINERAL RAW MATERIALS  
ON THE EXAMPLE OF THE QUARRY "TAMBURA"

Manuel Orbanic

Thesis completed in: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum engineering  
Department of Mining Engineering and Geotechnics,  
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Abstract

This Master's thesis presents the development of mining activities at an open pit of crushed stone "Tambura", which is located near the town of Vodnjan. The existing and changed state of mechanization is described, and a new model of the mineral processing is made. All three mineral processing models were compared and the efficiency of each model, the required investments, the maximum production capacity of the fractions and the costs were determined. The optimal model that gives the maximum production capacity of fractions at the lowest cost was selected, and guidelines for improving the mineral processing are given.

Keywords: exploitation field, Tambura, mineral processing, model, production, fuel consumption, efficiency

Thesis contains: 54 pages, 33 tables, 30 figures and 18 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,  
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Full Professor Ivo Galić, PhD

Co-supervisor: Branimir Farkaš, post PhD

Reviewers: Full Professor Ivo Galić, PhD  
Assistant Professor Mario Klanfar, PhD  
Assistant Professor Vječislav Bohanek, PhD

Date of defense: February 12. 2021., Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

## SADRŽAJ

1.	UVOD.....	1
2.	OSNOVNE ZNAČAJKE EKSPLOATACIJSKOG POLJA „TAMBURA“ .....	2
2.1.	Zemljopisni položaj .....	2
2.1.	Opći podaci o eksploatacijskom polju „Tambura“ .....	3
2.3.	Hidrografske i klimatske prilike.....	4
2.4.	Geološke-tektonske i hidrogeološke značajke ležišta.....	5
2.5.	Vrsta, količina i kakvoća mineralne sirovine.....	7
2.5.1.	Vrsta mineralne sirovine.....	7
2.5.2.	Količina mineralne sirovine.....	7
2.5.3.	Kakvoća mineralne sirovine .....	9
3.	TEHNOLOGIJA EKSPLOATACIJE MINERALNE SIROVINE.....	11
3.1.	Projektni parametri površinskog kopa „Tambura“ .....	11
3.2.	Tehnološki proces eksploatacije mineralne sirovine .....	12
3.3.	Tehničke karakteristike mehanizacije na površinskom kopu „Tambura“ .....	14
4.	MODELIRANJE PROIZVODNIH PROCESA MINERALNE SIROVINE.....	24
4.1.	Modeli proizvodnog procesa oplemenjivanja mineralne sirovine.....	24
4.1.1.	Model A – postojeće stanje proizvodnog procesa.....	25
4.1.2.	Model B – Postojeće stanje proizvodnog procesa uz maksimalno 50% promjena.....	30
4.1.3.	Model C – Potpuno novi proizvodni model s novom opremom.....	35
4.2.	Proračun efikasnosti proizvodnog procesa .....	42
5.	DISKUSIJA .....	48
5.1.	Analiza efikasnosti modela eksploatacije mineralne sirovine .....	48
6.	ZAKLJUČAK .....	52
7.	LITERATURA.....	53

## POPIS SLIKA

Slika 2-1 Satelitski snimak šireg područja eksploatacijskog polja „Tambura“.....	2
Slika 2-2 Prikaz prostornog odnosa eksploatacijskog polja i prometne infrastrukture, M1:30 000.....	3
Slika 2-3 Površinski kop „Tambura“ .....	4
Slika 2-4 Otvorena etaža površinskog kopa „Tambura“ .....	6
Slika 3-1 Agregat Perin.....	15
Slika 3-2 Pokretna drobilica Pezzoli.....	16
Slika 3-3 Pokretno vibracijsko sito Pezzoli.....	17
Slika 3-4 Zajednički rad čeljusne drobilice i pokretnog vibracijskog sita .....	18
Slika 3-5 Rotacijska drobilica Mashinen Fabrik Liezen .....	19
Slika 3-6 Pokretna separacija INTER COM srl.....	20
Slika 3-7 Mlin Loro-Parasini.....	21
Slika 3-8 Bager na gusjenicama, Hyundai 320 NCL-7A .....	22
Slika 3-9 Utovarivač Liebherr 566 .....	23
Slika 3-10 Kamion Astra.....	23
Slika 4-1 Segregacijska shema postojećeg stanja oplemenjivačkog postrojenja .....	25
Slika 4-2 Postojeći razmještaj mobilnog oplemenjivačkog postrojenja .....	26
Slika 4-3 Udio svake frakcije u ukupnoj količini proizvedenog materijala .....	27
Slika 4-4 Udio svake frakcije u ukupnoj količini proizvedenog materijala.....	29
Slika 4-5 Segregacijska shema postojećeg stanja proizvodnog procesa uz maksimalno 50% promjena.....	30
Slika 4-6 Oplemenjivačko postrojenje spojeno u niz .....	31
Slika 4-7 Udio svake frakcije u ukupnoj količini proizvedenog materijala .....	32
Slika 4-8 Udio svake frakcije u ukupnoj količini proizvedenog materijala .....	34
Slika 4-9 Agregat Doosan DP158LC.....	36
Slika 4-10 Rotacijska drobilica Kleemann MR 110 EVO1 .....	37
Slika 4-11 Pokretno vibracijsko sito Kleemann MS 12Z.....	38
Slika 4-12 Separacijsko postrojenje Kleemann Mobiscreen MS 703 EVO.....	39
Slika 4-13 Rovokopač Liebherr R 954 .....	40



Slika 4-14 Utovarivač Liebherr 576 .....	41
Slika 4-15 Segregacijska shema modela C .....	42
Slika 5-1 Normativ potrošnje goriva za modele.....	51

## POPIS TABLICA

Tablica 2-1 Količina tehničko-građevnog kamena ležišta „Tambura“ .....	8
Tablica 2-2 Analiza iskorištenja ležišta „Tambura“ .....	9
Tablica 2-3 Fizičko-mehanička svojstva.....	10
Tablica 3-1 Ostali tehnički podaci agregata Perin.....	15
Tablica 3-2 Ostali tehnički podaci pokretnog vibracijskog sita Pezzoli .....	16
Tablica 3-3 Ostali tehnički podaci pokretnog vibracijskog sita Pezzoli.....	17
Tablica 3-4 Ostali tehnički podaci rotacijske drobilice, Mashinen Fabrik Liezen.....	18
Tablica 3-5 Ostali tehnički podaci utovarivača .....	19
Tablica 3-6 Ostali tehnički podaci mlina Loro-Parasini .....	20
Tablica 3-7 Ostali tehnički podaci bagera na gusjenicama, Hyundai 320 NCL-7A .....	21
Tablica 3-8 Ostali tehnički podaci utovarivača Liebherr 566 .....	22
Tablica 3-9 Ostali tehnički podaci utovarivača .....	23
Tablica 4-1 Proizvodnja svih frakcija za listopad 2019. godine.....	27
Tablica 4-2 Proizvodnja svih frakcija za studeni 2019. godine.....	28
Tablica 4-3 Potrošnja goriva u listopadu i studenome 2019. godine – model A.....	29
Tablica 4-4 Ukupna potrošnja goriva i normativ potrošnje goriva.....	29
Tablica 4-5 Proizvodnja svih frakcija za listopad 2020. godine.....	32
Tablica 4-6 Proizvodnja svih frakcija za studeni 2020. godine.....	33
Tablica 4-7 Potrošnjom goriva u listopadu i studenome 2020. godine – model B.....	34
Tablica 4-8 Ukupna potrošnja goriva i normativ potrošnje goriva.....	34
Tablica 4-9 Tehnički podaci agregata Doosan DP158LC.....	35
Tablica 4-10 Tehnički podaci rotacijske drobilice Kleemann MR 110 EVO1 .....	36
Tablica 4-11 Tehnički pokretno vibracijsko sito Kleemann MS 12Z.....	37
Tablica 4-12 Tehničke karakteristike Separacijskog postrojenja Kleemann Mobiscreen .....	38
Tablica 4-13 Tehničke karakteristike Rovokopač Liebherr R 954.....	39
Tablica 4-14 Tehnički podaci utovarivača Liebherr L 576.....	40
Tablica 4-15 Proračunate vrijednosti vremena.....	46
Tablica 4-16 Odnos potrošnje goriva i ukupne količine materijala – model C.....	47
Tablica 5-1 Ukupne proizvedene količine za model A, model B i model C.....	48

Tablica 5-2 Potrošnja goriva i normativ potrošnje svakog stroja – model A.....	48
Tablica 5-3 Potrošnja goriva i normativ potrošnje svakog stroja – model B.....	49
Tablica 5-4 Potrošnja goriva i normativ potrošnje svakog stroja – model C.....	49
Tablica 5-5 Odnos potrošnje goriva i ukupne količine materijala.....	50

## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
M1:30 000		oznaka mjerila slike ili priloga
N		broj radnih dana u godini
h	(h)	godišnji sati rada
$Q_g$	( $m^3$ )	godišnji kapacitet kopa
$P_s$	( $t/m^3$ )	gustoća u sraslom stanju
$\gamma$	( $t/m^3$ )	obujmna masa
$k_v$	(-)	koeficijent vremenskog iskorištenja
$Q_p$	( $m^3/h$ )	kapacitet postrojenja
$t_c$	(s)	ciklus utovarivača
$l_{tr}$	(m)	duljina transporta
$v_{pu}$	(m/s)	brzina vožnje s punom lopatom
$v_{pr}$	(m/s)	brzina vožnje s praznom lopatom
$t_u$	(s)	vrijeme punjenja i istresanja u sekundama
V	( $m^3$ )	konstruktivna zapremina lopate utovarivača
$k_p$	(-)	koeficijent punjenja
$k_{vm}$	(-)	koeficijent vlažnosti materijala
$k_r$	(-)	koeficijent. Rastresitosti
$k_v$	(-)	koeficijent Iskoristivosti radnog vremena

## 1. UVOD

Tema ovog diplomskog rada je modeliranje tri modela procesa oplemenjivanja tehničko-građevnog kamena na primjeru površinskog kopa „Tambura“. Model A prikazuje postojeće stanje mehanizacije, model B prikazuje postojeće stanje mehanizacije uz maksimalno 50% promjena i model C koji predstavlja potpuno novi proizvodni model ili modificiranje postojećeg modela A u smislu nove opreme. Potrebno je usporediti sva tri proizvodna procesa te odrediti efikasnost svakog modela, potrebna ulaganja, maksimalni kapacitet proizvodnje frakcija, te troškove. Diplomski rad ima svrhu usvajanja kritičkog promišljanja pri planiranju budućih rudarskih radova. Prilikom izrade prikupljeni su dostupni podaci potrebni za analiziranje postojećeg i promijenjenog procesa oplemenjivanja te je izrađen novi model procesa oplemenjivanja. Diplomski rad treba dati odgovor koji model daje maksimalni kapacitet proizvodnje frakcija uz najmanje troškove, odnosno dati smjernice za unaprjeđenje proizvodnog procesa.

## 2. OSNOVNE ZNAČAJKE EKSPLOATACIJSKOG POLJA „TAMBURA“

### 2.1. Zemljopisni položaj

Eksploatacijsko polje tehničko-građevnog kamena „Tambura“ nalazi se u južnom dijelu istarskog poluotoka, a udaljeno je oko 3 km od njegove zapadne obale. Od Pule je udaljeno oko 8 km sjeverozapadno, od mjesta Fažane oko 3 km sjeveroistočno te oko 1 km od mjesta Vodnjan u smjeru zapad-jugozapad (Slika 2-1). Administrativno pripada Općini Fažana u Istarskoj županiji. (Farkaš i dr., 2018)



**Slika 2-1** Satelitski snimak šireg područja eksploatacijskog polja „Tambura“ (Google karte, 2020)

Do eksploatacijskog polja dolazi se pristupnim putem (makadamskom cestom) dužine približno 300 metara s kojim je eksploatacijsko polje spojeno na županijsku asfaltiranu prometnicu - Fažansku cestu (Slika 2-1) koja se spaja na državnu cestu Pula - Vodnjan i dalje na autocestu Istarski ipsilon te županijsku cestu Pula - Fažana - Peroj. (Farkaš i dr., 2018).

## 2.1. Opći podaci o eksploatacijskom polju „Tambura“

Nakon provedenih istražnih radova 1995. godine, izrađen je Elaborat o rezervama tehničko-građevnog kamena, a na površinskom kopu „Tambura“ eksploatacija se izvodi od 1997. godine. Današnje stanje (Slika 2-2) rudarskih radova rezultat je eksploatacije temeljem projektnih rješenja određenim u Glavnom rudarskom projektu eksploatacije tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju „Tambura“. Glavnim rudarskim projektom definirani su osnovni tehnički parametri izvođenja rudarskih radova eksploatacije mineralne sirovine te prostorna ograničenja površinskog kopa unutar kojih će se odvijati pridobivanje tehničko-građevnog kamena (Farkaš i dr., 2018.).



**Slika 2-2** Prikaz prostornog odnosa eksploatacijskog polja i prometne infrastrukture, M1:30 000 (DGU, 2018)

U Glavnom rudarskom projektu (Medančić, 1996) i Pojednostavljenom rudarskom projektu (Zuban, 2014), projektirana je eksploatacija do kote +80 m n.v., a prema Idejnom rudarskom projektu eksploatacija bi se produbila do kote +50 m n.v.

Površinski kop „Tambura“ nepravilnog je peterokutnog oblika (Slika 2-3) površine od 38 988,12 m<sup>2</sup> (3,9 ha), približnih dimenzija 277 x 184 m. Najniža točka kopa iznosi +80 m n.v. (osnovni plato), a najviša točka kopa iznosi 104 m n.v. (Farkaš i dr., 2018.).



**Slika 2-3** Površinski kop „Tambura“

### **2.3. Hidrografske i klimatske prilike**

Hidrogeološke karakteristike su tipično kraške. Ne postoje površinski tokovi ni stalne akumulacije površinske vode. Raspucali i okršeni teren veoma brzo drenira svu oborinsku vodu, koja složenim podzemnim kavernoznim sustavima otječe ka moru. Niti jače oborine, zbog otvorenosti - vodopropusnosti - terena, ne uzrokuju veće smetnje u radu površinskog kopa. (Farkaš i dr., 2018).

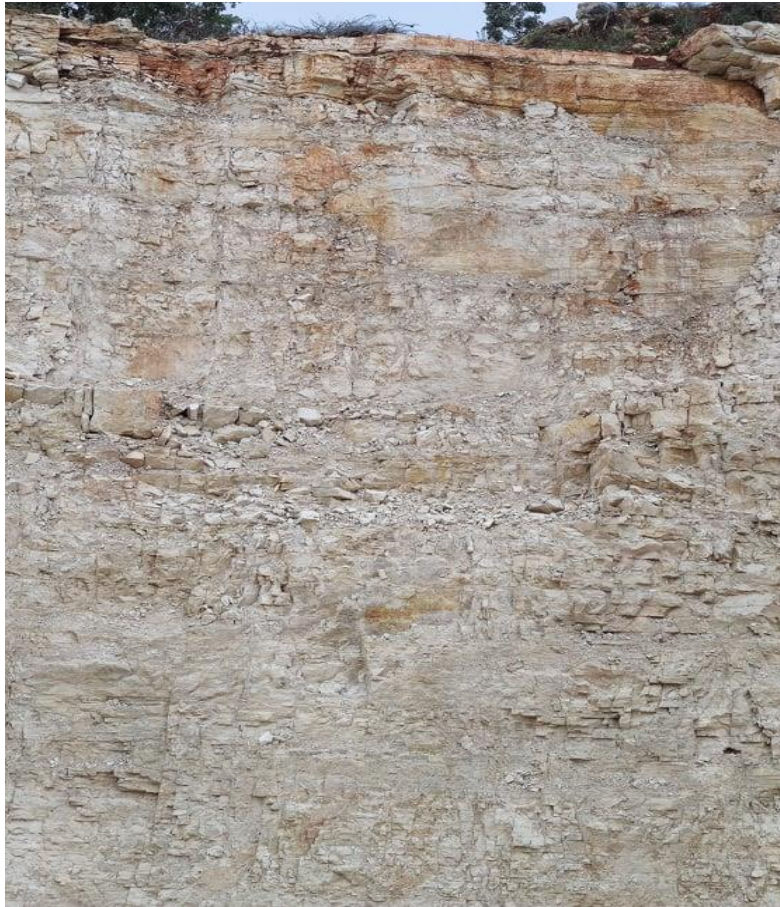
Klima je mediteranskog tipa. Karakteriziraju je kraći hladni zimski i znatno duži topliji, oborinama bogatiji, proljetno-jesenski period. Prosječna srednja godišnja temperatura iznosi 13,5 °C. Najhladniji mjeseci su siječanj i veljača sa prosječnom godišnjom temperaturom od 4,5 do 6 °C dok su najtopliji mjeseci srpanj i kolovoz sa prosječnom temperaturom od 22 do 24 °C. Oborine se pojavljuju, pretežito, u obliku kiša, a godišnje padne od 1 100 do 1 500 mm oborina. Zimi, izuzetno, padne slabiji snijeg koji se kratko zadržava na tlu. Prevladavaju vjetrovi iz smjera sjeveroistok i istok (bura) te vjetar iz jugoistoka (jugo) (Farkaš i dr., 2018).



## 2.4. Geološke-tektonske i hidrogeološke značajke ležišta

Geološka građa šireg prostora je relativno jednostavna. Teren izgrađuju karbonatne naslage donje krede. Donjokredni karbonatni kompleks izgrađuju tankouslojeni, pločasti do bankoviti vapnenci svijetlosive do sive boje. Na nekim lokacijama u širem okruženju pojavljuju se i dolomiti kao leće ili proslojci u moćnim naslagama vapnenaca. Na jednom dijelu terena tanki pokrov terra rosse, kvartarne starosti, prekriva stariju podlogu. Na današnji izgled terena veliki utjecaj imali su dugotrajni procesi okršavanja koji su prodirali do dubine od više desetaka metara. (Matjašić, 2015).

Provedenim geološkim i rudarskim istraživanjima te laboratorijskim ispitivanjima mineraloškopetrografskog sastava uzoraka kamena i ispuha istražnih bušotina, utvrđeno je da najveći dio stijenske mase eksploatacijskog polja izgrađuju vapnenci determinirani kao biomikrit (vekston) i biopelmikrit (peletični pekston), nastali taloženjem različitog karbonatnog detritusa u uvjetima plitkomorske sedimentacije, često u međuplimnoj zoni ili u tek nešto dubljim dijelovima sedimentacijskog bazena, u uvjetima relativno niske energije vode. Slojevite su teksture koju karakterizira izmjena "paketa" izgrađenih od tanko uslojenih do pločastih vapnenaca u kojima debljina slojeva varira od 2 do 5 (10) cm i paketa uslojenih vapnenaca u kojima debljina slojeva varira od 10 do 30 cm. Slojevi debljine 30 do 60 cm su vrlo rijetki. (Slika 2-4) (Matjašić, 2015).



**Slika 2-4** Otvorena etaža površinskog kopa "Tambura"

Vapnenci su uglavnom svjetlije sivosmeđe do žućkastosmeđe boje, mjestimično s dispergiranom glinovitom tvari. Međusobno se razlikuju po stupnju kompakcije veziva, veličini čestica karbonatnog detritusa, udjelu ljuštura i krhotina ljuštura fosila te dispergiranošću glinovite komponente. Ravnog su do plitko školjkastog loma i finohrapave, a mjestimično i brašnate površine prijeloma. Pojedini slojevi sadrže dispergiranu organsku tvar, ponegdje izlučenu i po površini sloja, zbog čega su nešto tamnije sive boje. Duž pojedinih diskontinuiteta uočena je i prisutnost dendritičnog psilomelana. Međuslojni diskontinuiteti najčešće su zijeva <5 mm i ispunjeni su zaglinjenim prahom. Ponegdje, unutar debljih slojeva, uočena je trakasta tekstura karakterizirana izmjenom traka različitih širina (mm do cm) izgrađenih od sitnozrnatijeg (tamnije sivosmeđe boje) i krupnozrnatijeg (svjetlije smeđe boje) vapnenca. (Matjašić, 2015).

Površina terena prekrivena je tankim slojem zemlje crvenice (terra rosse) ispod koje se nalazi površinska trošna zona stijene debljine do 50 cm koju čine fragmenti vapnenca pomiješani s

humificiranom crvenicom. Utjecaj površinske karstifikacije nije značajnije izražen, prvenstveno zbog odsustva značajnije tektonike i subhorizontalnog položaja slojeva. Opće značajke ležišta su: horizontalan do subhorizontalan položaj slojeva te odsutnost značajnijeg utjecaja tektonike. Subhorizontalnim slojevima je zbog blagog nagiba (oko 5°) vrlo teško odrediti položaj u prostoru (Slika 2-4). Disperzija rezultata mjerenja položaja slojeva ukazuje na njihovo blago valovito povijanje. Na slojnim plohama su vidljivi tragovi utiskivanja u obliku nepravilnih ispupčenja i udubljena. Zbog horizontalanog do subhorizontalanog položaja slojeva i odsutnosti značajnije tektonike, moguće je iste slojeve pratiti u istočnom i zapadnom dijelu površinskog kopa unutar eksploatacijskog polja. (Matjašić, 2015).

Tektonski odnosi u ležištu odraz su regionalnih zbivanja u geološkoj prošlosti, ali isti nisu imali značajniji utjecaj na istraživano područje u smislu jače tektonske poremećenosti, tako da je ono tektonski gotovo neporemećeno ili tek neznatno poremećeno, što se ogleda u subhorizontalnom položaju slojeva, odsutnošću značajnijih rasjeda i relativno slaboj raspucanosti stijenske mase (Matjašić, 2015).

## **2.5. Vrsta, količina i kakvoća mineralne sirovine**

### **2.5.1. Vrsta mineralne sirovine**

Na površinskom kopu "Tambura" eksploatiraju se vapnenci kao tehničko-građevni kamen. Mineralna sirovina upotrebljava se za različite svrhe ovisno o frakcijama. Može se koristiti u različitim granulacijama, za proizvodnju građevnog materijala, proizvodnju asfaltne mase, proizvodnju betona itd.

### **2.5.2. Količina mineralne sirovine**

U sklopu Elaborata o rezervama tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju "Tambura" – peta obnova, proračunate su rezerve tehničko-građevnog kamena (Tablica 2-1) metodom paralelnih presjeka.

**Tablica 2-1** Količina tehničko-građevnog kamena ležišta "Tambura" (Farkaš i dr. 2020)

Kategorija	A	B	C <sub>1</sub>	Ukupno
Obujam tehničko-građevnog kamena proračunat metodom paralelnih presjeka iznad završne kosine (m <sup>3</sup> )	28 852	768 284	27 568	824 704
Obujam tehničko-građevnog kamena proračunat metodom paralelnih presjeka ispod završne kosine (m <sup>3</sup> )	0	345 619	82 664	428 283
Popravni koeficijent	0,95	0,95	0,95	0,95
Utvrđene bilančne rezerve (m <sup>3</sup> )	27 409	729 870	26 190	783 469
Utvrđene izvanbilančne rezerve (m <sup>3</sup> )	0	328 338	78 530	406 869
Eksploatacijski gubitak (%)	2	2	2	2
Eksploatacijski gubitak (m <sup>3</sup> )	548	14 579	524	15 669
Eksploatacijske rezerve (m <sup>3</sup> )	26 861	715 272	25 666	767 800

Godišnje se planira eksploatacija 50 000 m<sup>3</sup> stijenske mase, a prema projektnom rješenju završnih kontura površinskog kopa (Farkaš et al., 2020) otkopat će se ukupno 668 269 m<sup>3</sup> stijenske mase u čvrstom stanju, stoga proizlazi da će vijek trajanja površinskog kopa biti oko 12,5 godina.

Elaboratom o rezervama tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju "Tambura" obnova proračuna rezervi (Farkaš et al., 2020) utvrđen je obujam tehničko-građevnog kamena iznad završne kosine u iznosu od 824 704 m<sup>3</sup> bez popravnih koeficijenata (Tablica 2-1). Idejnim projektnim rješenjem biti će otkopano ukupno 668 228 m<sup>3</sup> stijenske mase (bez popravnih koeficijenata) iznad završnih kosina. Usporedbom vrijednosti iz Elaborata o rezervama i Idejnog rudarskog projekta uočava se razlika u količinama koje će biti otkopane i onima koje su potvrđene u iznosu od 156 476 m<sup>3</sup> što predstavlja razliku od 23,42% (Tablica 2-2) (Farkaš i dr., 2018).

**Tablica 2-2** Analiza iskorištenja ležišta "Tambura" (Farkaš i dr., 2018, Pavelić i dr., 2020)

Naziv dokumenta	Obujam stijene iznad kosina (m <sup>3</sup> )	Obujam stijene ispod kosina (m <sup>3</sup> )	Ukupno (m <sup>3</sup> )
Elaborat o rezervama 2020	824 704	428 283	1 252 987
Idejni rudarski projekt	668 228	582 836	1 251 064
Razlika	156 476	154 553	923
	-23,42%	26,52%	-0,07%

Razlika u količinama nastala je uslijed geometrizacije površinskog kopa tj. uslijed odabranih projektnih parametara završnih kontura kopa koji osiguravaju stabilnost stijenske mase. Dodatno ograničenje je i smanjenje granica površinskog kopa što je utjecalo na smanjenje količine stijenske mase koju je moguće eksploatirati (Pavelić i dr., 2020).

### 2.5.3. Kakvoća mineralne sirovine

Kakvoća tehničko-građevnog kamena određena je ispitivanjem fizičko-mehaničkih svojstava ( Tablica 2-3), kemijskog sastava te mineraloško-petrografskog sastava uzoraka stijene te ispuha istražnih bušotina. Laboratorijskim ispitivanjima utvrđeno je da je uzorak stijene vrlo svjetlosive do bijele boje (N 8 - N 9, 5 YR 8/1 prema Rock-color Chart-u). Lom je oštar, nepravilan do plitko školjkast, a površine ploha preloma su neravne i sitno hrapave. Tekstura je homogena. Struktura je zrnata djelomično kristalasta. Pod povećalom vidljivi su sitni peleti i biodetritus, brojne pore i djelomično kristalasto vezivo. Tvrdoća po Mohsu je približno 3. S razrijeđenom otopinom HCl kamen reagira burno.

Kemijska analiza je pokazala da uzorak sadrži 54,72 % CaO i 0,50 % MgO, odnosno 96,42 % kalcita i 2,29 % minerala dolomita. Prema tom podatku kamen pripada čistim vapnencima (CSS d.o.o., 2010).

**Tablica 2-3** Fizičko-mehanička svojstva (CSS d.o.o., 2010)

Obujmna masa		2,310-2,366	t/m <sup>3</sup>
Gustoća		2,690	t/m <sup>3</sup>
Tlačna Čvrstoća:			
	u suhom stanju	82,4-90,0	MPa
	u vodom zasićenom stanju	69,4-87,0	MPa
	nakon smrzavanja	42,5-82,0	MPa
Otpornost na habanje brušenjem		29,0-30,9	cm <sup>3</sup> /50cm <sup>3</sup>
Poroznost		10,7-14,13	vol. %
Upijanje vode		4,6-5,47	mas. %
Otpornost na smrzavanje		1,2-3,22	mas. %

Određivanjem kakvoće tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju "Tambura" utvrđeno je da kamena sirovina zadovoljava uvjete za proizvodnju:

- Drobljenog kamenog granulata za izradu betona koji nije izložen utjecaju smrzavanja i vlažne sredine,
- Miniranog i drobljenog kamenog materijala za izradu nasipa i posteljica na cestama,
- Drobljenog i neklasiranog kamena za izgradnju i održavanje gospodarskih cesta,
- Drobljenog pijeska za zidanje i žbukanje (CSS d.o.o., 2010).

### 3. TEHNOLOGIJA EKSPLOATACIJE MINERALNE SIROVINE

Pridobivanje tehničko-građevnog kamena unutar eksploatacijskog polja "Tambura" odvija se unazad nekoliko godina te se na lokalno tržište prodaje frakcija ovisno o potrebama tržišta. Tako se na lokalno tržište plasiraju standardne graditeljske frakcije, neklasirani građevni materijal tj. minirani stijenski materijal.

#### 3.1. Projektni parametri površinskog kopa „Tambura“

Na površinskom kopu "Tambura" razmatrano je nekoliko projektnih rješenja završnih kontura i projektnih parametara površinskog kopa s ciljem racionalne eksploatacije utvrđenih rezervi tehničko-građevnog kamena no samo se jedno projektno rješenje pokazalo kao optimalno te je isto prikazano u nastavku:

- maksimalna visina etaže (he) ..... 20 m
- minimalna širina radne etaže (Br) ..... 23 m (za utovar-transport mehanizacije)
- minimalna širina završne etaže (B) ..... 5 m
- kut nagiba završne i radne etažne kosine ( $\alpha_e$ ) .....  $\leq 70^\circ$
- kut nagiba završne kosine ( $\alpha_z$ ).....  $\leq 61^\circ$  (Farkaš et al., 2018).

S obzirom da je površinski kop "Tambura" već duže u radu usvajaju se proračunati parametri miniranja koji su potvrđeni dugogodišnjom praksom te zadovoljavaju potrebe za količinom tehničko-građevnog kamena u jednom miniranju. Usvojeni parametri miniranja imaju manji utjecaj na okoliš u odnosu na miniranje u maksimalnom iznosu etaže s obzirom na to da se miniranje izvodi na maksimalno 10 metara visine radne etaže. Usvojeni parametri miniranja mogu se promijeniti ukoliko se ustanovi potreba, ali uz izvršenje proračuna opremanja minskih bušotina i opažanja utjecaja miniranja na okoliš.

Sukladno iznesenom usvajaju su sljedeći parametri miniranja i ograničenja prilikom miniranja:

- maksimalna veličina miniranih komada ( $l_{max}$ ) ..... 500 mm

- maksimalna visina etaže koja se minira (he-mini) ..... 10 m
- kut nagiba minske bušotine ( $\alpha$ ) ..... 70°
- dužine bušotine (lb) ..... 11,3 m
- razmak između bušotina (a) ..... 3,0 m
- razmak između redova bušotina (b) ..... 3,2 m
- linija najmanjeg otpora (izbojnica) (W) ..... 3,0 m
- promjer bušotina (db) ..... 76 mm
- dužine probušnja (lp) ..... 0,5 m
- dužina čepa bušotine (lč) ..... 2,2 m
- maksimalna količina eksploziva po bušotini (Q) ..... 36 kg
- vrsta eksploziva ..... granulirani ili praškasti.

### 3.2. Tehnološki proces eksploatacije mineralne sirovine

Tehnologija izvođenja rudarskih radova je proces koji se sastoji od više međuvisnih cjelina, a svaka cjelina zasebno predstavlja osnovu za analizu kako bi se postigla optimalna eksploatacija mineralne sirovine. Tehnološki proces dobivanja i oplemenjivanja tehničko-građevnog kamena sastoji se od sljedećih međuvisnih faza:

- izrada pristupnih puteva,
- bušenje i miniranje stijene,
- proguravanje odminirane stijene,
- razbijanje velikih komada stijene,
- utovar odminirane stijene,
- transport odminirane stijene,
- sitnjenja i klasiranja odminirane stijene,
- utovar klasiranog tehničko-građevnog kamena u kamione.

- Bušenje i miniranje stijene

Tehničko-građevni kamen pridobiva se bušenjem i miniranjem stijenskog masiva, prema alpskoj metodi eksploatacije. To znači da će se koristiti radna kosina za gravitacijski transport



s viših etaža na osnovni plato na kojem će se izvoditi utovar i transport, uz prethodno usitnjavanje krupnih komada stijene. Odminirana stijena se transportira do mobilnog oplemenjivačkog postrojenja gdje se usitnjava i klasira na frakcije tehničko-građevnog kamena te se utovara i odvozi od strane kupaca.

- Preguravanje odminirane stijene

Nakon miniranja na etažnim ravninama ostaje dio minirane stijenske mase koji nije miniranjem odbačen na nižu etažu. Zaostali dio stijenske mase na etažama pregurava se na niže etaže ili se direktno utovaruje u kamione. U slučaju da etažna ravnina nije dovoljne širine (minimalno 12 metra) potrebno je izvršiti preguravanje stijenske mase na niže etaže za što se koristi bager.

- Razbijanje velikih komada stijene

Izvangabaritni komadi se usitnjavaju bagerom s hidrauličkim čekićem montiranim na radnom elementu stroja. Usitnjavanje se izvodi na samom radilištu odnosno osnovnom platou.

- Utovar odminirane stijene

Za utovar odminiranog stijenskog materijala koristiti će se utovarivač. Utovarivač se pored radova na utovaru i transportu miniranog stijenskog materijala može dodatno angažirati na različitim pomoćnim poslovima, kao što je prebacivanje jalovinske otkrivke, uređenje puteva internog transporta i sl.

- Transport odminirane stijene

Odminirani stijenski materijal odvozi se utovarivačem do prihvatnog bunkera mobilnog oplemenjivačkog postrojenja s time da je prosječna dužina transporta utovarivačem oko 150 metara. Uz utovarivač moguće je koristiti i kamion, s prihvatnim bunkerom od 20 m<sup>3</sup>, za transport miniranog stijenskog materijala ukoliko prosječna dužina transporta od čela radilišta

do lokacije na kojoj će se nalaziti pokretno oplemenjivačko postrojenje za preradu (oplemenjivanje) tehničko-građevnog kamena iznosi više od 150 m.

- Sitnjenja i klasiranja odminirane stijene

Unutar površinskog kopa smješteno je mobilno oplemenjivačko postrojenje za preradu (oplemenjivanje) tehničko-građevnog kamena na kojem se oplemenjuje (drobi) minirani stijenski materijal te se dobivaju komercijalne frakcije tehničko-građevnog kamena. Postrojenje je u osnovi tehnički i tehnološki veoma jednostavno te omogućava brzu i fleksibilnu promjenu režima rada u proizvodnji koja je u svim svojim fazama lako prilagodljiva zahtjevima tržišta, kako u smislu kapaciteta, tako i u smislu proizvodnje različitih asortimana frakcija kamenog agregata. Postrojenje se sastoji od nekoliko zasebnih strojnih jedinica, međusobno povezanih u jednu cjelinu.

- Utovar klasiranog tehničko-građevnog kamena u kamione

Za utovar klasiranog tehničko-građevnog kamena u kamione koristi se utovarivač obujma utovarne lopate od 4 m<sup>3</sup>.

### **3.3. Tehničke karakteristike mehanizacije na površinskom kopu „Tambura“**

#### **Agregat Perin**

Diesel električni agregat Perin 6000 (Slika 3-1) služi za proizvodnju električne energije, pogon strojeva, uređaja i upravljačkih sustava u liniji tehnološke prerade miniranog materijala kao i za noćnu rasvjetu. Proizveden je 2007 godine. Ostali tehnički podaci prikazani su u priloženoj tablici (

**Tablica 3-1)**

**Tablica 3-1** Ostali tehnički podaci agregata Perin (Perin group, 2007)

Karakteristika	Opis
Dužina	4,82 m
Širina	1,85 m
Visina	2,45 m
Voltaža	400 V
Frekvencija	50 Hz
Snaga motora	400 kW
Težina	4900 Kg



**Slika 3-1** Agregat Perin

### **Pokretna čeljusna drobilica Pezzoli**

Pokretna čeljusna drobilica Pezzoli (Slika 3-2) proizvedena je 2008. godine te je pokretana diesel agregatom. Služi za usitnjavanje (drobljenje) miniranog kamena. Pogon je na gusjenicama, te se sastoji od usipnog koša s dvije transportne trake. S jednom transportnom

trakom izlazi frakcija 150/60 mm, a frakcija -60 mm transportira se drugom transportnom trakom u usipni koš vibracijskog sita Pezzoli. Zajednički rad pokretne drobilice i pokretnog vibracijskog sita prikazan je na slici 3- 4. Ostali tehnički podaci prikazani su u priloženoj tablici (

Tablica 3-2)(Pezzoli, 2008).

**Tablica 3-2** Ostali tehnički podaci pokretnog vibracijskog sita Pezzoli (Pezzoli, 2008)

Karakteristika	Opis
Tip	FSM 217
Ulazna frakcija	do 600 mm
Izlazne frakcije	-60 i 150/60 mm
Kapacitet	50 m <sup>3</sup> /h
Snaga motora	170 kW
Dužina transportnih traka	5 m
Širina transportnih traka	0,65 m



**Slika 3-2** Pokretna drobilica Pezzoli

### **Pokretno vibracijsko sito Pezzoli**

Pokretno vibracijsko sito Pezzoli (Slika 3-3) proizvedeno je 2008. godine te je pokretano diesel agregatom. Služi za klasiranje (separaciju) materijala iz drobilice. Pogon je na gusenicama, te se sastoji se od usipnog koša s dvije transportne trake koje su upravljane ručicama. S jednom transportnom trakom izlazi frakcija -32 mm, a s drugom frakcija 60/32 mm. Ostali tehnički podaci prikazani su u priloženoj tablici (Tablica 3-3) (Pezzoli, 2008).

**Tablica 3-3** Ostali tehnički podaci pokretnog vibracijskog sita Pezzoli (Pezzoli, 2008)

Karakteristika	Opis
Tip	SGS 218
Ulazna frakcija	0-60 mm
Izlazne frakcije	-32 i 60/32 mm
Kapacitet	60 m <sup>3</sup> /h
Snaga motora	52 kW
Masa	38 t
Dužina transportnih traka	6 m
Širina transportnih traka	0,5 m



**Slika 3-3** Pokretno vibracijsko sito Pezzoli



**Slika 3-4** Zajednički rad čeljusne drobilice i pokretnog vibracijskog sita

### **Rotacijska drobilica Mashinen Fabrik Liezen**

Rotacijska drobilica Mashinen Fabrik Liezen (Slika 3-5) koja služi za usitnjavanje kamenog materijala -150 mm. Sastoji se od rotacionog mlina, usipnog koša i jedne transportne trake. Napajanje je iz zasebnog ormara putem dizel agregata. Stop tipkalo izvedeno je na upravljačkom ormariću. Ostali tehnički podaci prikazani su u priloženoj tablici (Tablica 3-4).

**Tablica 3-4** Ostali tehnički podaci rotacijske drobilice, Mashinen Fabrik Liezen

Karakteristika	Opis
Proizvođač	Mashinen Fabrik Liezen
Obujam usipnog koša	6 m <sup>3</sup>
Broj čekića	8x4
Kapacitet	40-60 m <sup>3</sup>
Snaga el. Motora	80 kW
Frakcija	-60 mm



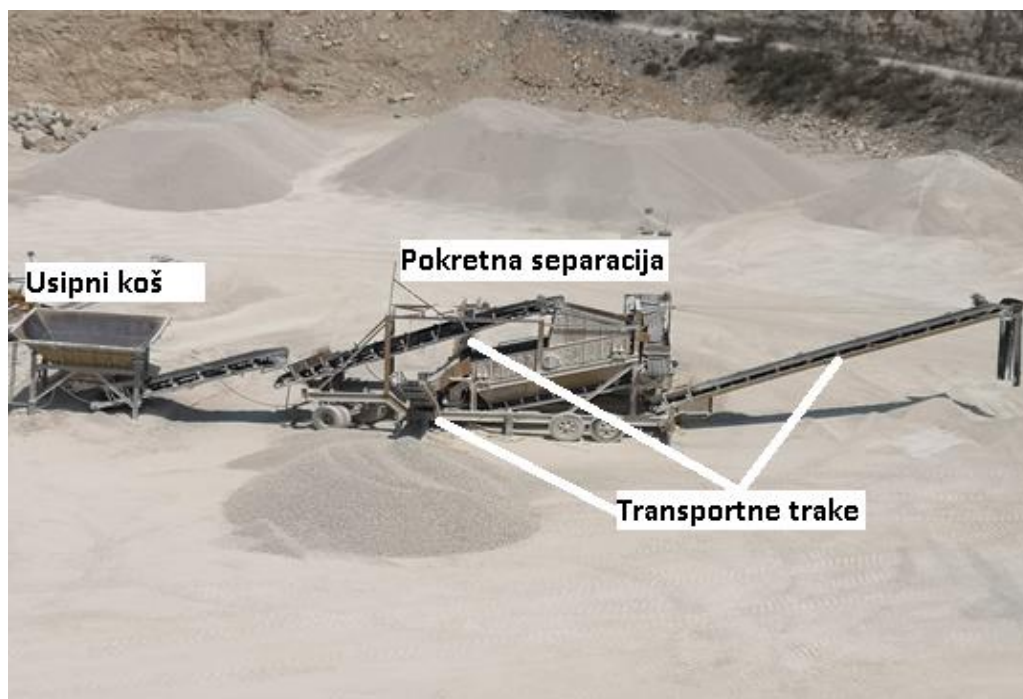
**Slika 3-5** Rotacijska drobilica Mashinen Fabrik Liezen

### **Pokretna separacija INTER COM srl**

Pokretna separacija INTER COM srl (Slika 3-6) služi za odvajanje materijala (mljeveni kamen različite granulacije). Proizvedena je 2006. godine te sadrži tipkalo za isključivanje u slučaju hitnosti. Napajanje je izvedeno putem agregata. Ostali tehnički podaci prikazani su u priloženoj tablici (Tablica 3-5)

**Tablica 3-5** Ostali tehnički podaci utovarivača

Karakteristika	Opis
Tip	I.VMV
Obujam usipnog koša	20 m <sup>3</sup>
Ulazna frakcija	-32 mm
Izlazne frakcije	-4, 8/4, 16/8, 32/16 mm
Kapacitet	45 m <sup>3</sup> /h
Snaga motora	32 kW



Slika 3-6 Pokretna separacija INTER COM srl

### Mlin Loro-Parasini

Mlin sa izlaznom trakom Loro Parasini (Slika 3-7) služi za proizvodnju frakcija -4 mm i -16 mm. Sadrži 2 stop tipkala (zaseban mlin, zasebna traka) te je napajanje izvedeno putem agregata. Ostali tehnički podaci prikazani su u priloženoj tablici (Tablica 3-6).

Tablica 3-6 Ostali tehnički podaci mlina Loro-Parasini

Karakteristika	Opis
Tip	M86
Dimenzije otvora mlina	605x600
Broj čekića	4x4
Okretaji	800-1000
Kapacitet	24-72 t/h
Snaga el. Motora	45 kW
Masa	4800 Kg
Frakcija	-4, -16 mm





**Slika 3-7** Mlin Loro-Parasini

### **Bager Hyundai 320 NLC 7a**

Bager na gusjenicama, Hyundai 320 NCL-7A (Slika 3-8), služi za utovar u koš pokretne drobilice i usitnjavanje velikih komada kamena sa hidrauličnim čekićem. Pogonjen je diesel hidrauličkim motorom „Cumminis“ C 8.3 – C. Opremljen je sa hidrauličnim čekićem, lopatom za utovar odminiranog materijala i lopatom za zemljane radove. Ostali tehnički podaci prikazani su u priloženoj tablici (Tablica 3-7).

**Tablica 3-7** Ostali tehnički podaci bagera na gusjenicama, Hyundai 320 NCL-7A (Hydraulic excavator, 2006)

Karakteristika	Opis
Tip	Hyundai 320 NCL-7A
Obujam utovarne lopate	1,5 m <sup>3</sup>
Maksimalna dužina	10,98 m
Širina	3,29 m
Visina	3,38 m
Kapacitet	118 m <sup>3</sup> /h
Snaga motora	193 kW
Masa	32 t



**Slika 3-8** Bager na gusjenicama, Hyundai 320 NCL-7A

### **Utovarivač Liebherr 566**

Utovarivač Liebherr (Slika 3-9) služi za utovar rastresitog materijala (zemlja, pijesak, kamen..), utovar gotovog proizvoda u kamione kupaca, deponiranje gotovih proizvoda na točno određeno mjesto, uklanjanje materijala ispod gumenih transportera. Ostali tehnički podaci utovarivača prikazani su u priloženoj tablici (Tablica 3-8).

**Tablica 3-8** Ostali tehnički podaci utovarivača Liebherr 566 (Liebher, n.d.)

Karakteristika	Opis
Tip	L-566
Obujam utovarne lopate	4 m <sup>3</sup>
Godina proizvodnje	2009
Snaga motora	190 kW



**Slika 3-9** Utovarivač Liebherr 566

### **Kamion Astra**

Kamion Astra (Slika 3-10) služi za transport i istovar materijala. Ostali tehnički podaci prikazani su u priloženoj tablici (Tablica 3-9)

**Tablica 3-9** Ostali tehnički podaci utovarivača

Karakteristika	Opis
Tip	HD 84.38
Obujam sanduka	20 m <sup>3</sup>
Snaga motora	280 kW



**Slika 3-10** Kamion Astra

## **4. MODELIRANJE PROIZVODNIH PROCESA MINERALNE SIROVINE**

### **4.1. Modeli proizvodnog procesa oplemenjivanja mineralne sirovine**

Proizvodni proces oplemenjivanja mineralne sirovine na primjeru površinskog kopa „Tambura“ razmatrati će se kroz tri modela:

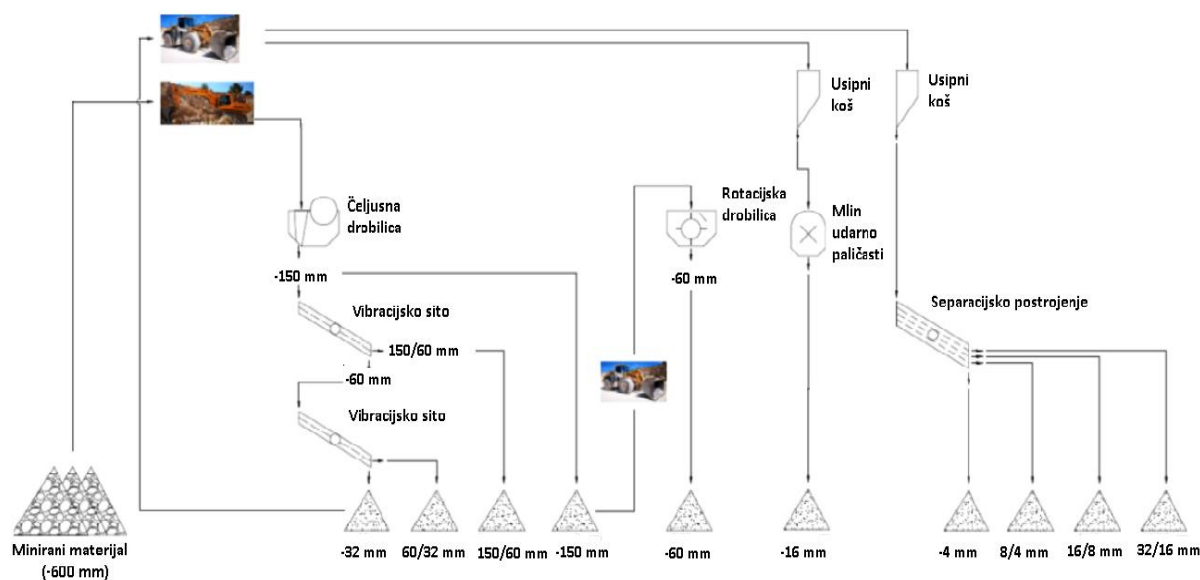
- Model A: postojeće stanje proizvodnog procesa,
- Model B: postojeće stanje proizvodnog procesa uz maksimalno 50% promjena bilo na mehanizaciji ili oplemenjivačkom postrojenju ili reorganizaciji postojećeg proizvodnog procesa i
- Model C: potpuno novi proizvodni model s novom opremom i mehanizacijom.

Za svaki od proizvodnih procesa (modela) potrebno je odrediti efikasnost proizvodnog procesa, potrebna ulaganja, maksimalni kapacitet proizvodnje frakcija te troškove i na kraju usporediti sva tri proizvodna procesa međusobno te odrediti optimalan proizvodni proces oplemenjivanja mineralne sirovine.

Postojeće stanje proizvodnog procesa (Model A) bilo je u pogonu do rujna 2020. godine, kada se odlučilo modificirati oplemenjivačko postrojenje tako što se isti optimizirao tj. napravljena je modifikacija postojećeg Modela A te je dobiven Model B. Model C, predstavlja potpuno novi model sa novim strojevima sličnih karakteristika kao i postojeća mehanizacija kako bi se mogao usporediti sa prethodna dva modela te vidjeti efikasnost odnosno isplativost potrebnih ulaganja. Na površinskom kopu „Tambura“ stvaraju se jako male zalihe proizvedenih frakcija, odnosno sve što se proizvede se i proda. Dakle za usporedbu proizvodnje postojećeg stanja mehanizacije te modificiranog stanja mehanizacije, uzima se količina prodanog materijala, koja je približno jednaka proizvedenoj količini, po pojedinim frakcijama te ukupna proizvedena količina materijala.

#### 4.1.1. Model A – postojeće stanje proizvodnog procesa

Postojeći razmještaj mobilnog oplemenjivačkog postrojenja za preradu tehničko-građevnog kamena na kojem se oplemenjuje minirani stijenski materijal te se dobivaju različite frakcije tehničko-građevnog kamena prikazan je segregacijskom shemom (Slika 4-1) te na priloženoj slici (Slika 4-2).



Slika 4-1 Segregacijska shema postojećeg stanja oplemenjivačkog postrojenja

Minirani stijenski materijal (-600 mm) utovara se direktno sa deponije, pomoću bagera na gusjenicama, u usipni koš čeljusne drobilice (pokretna drobilica Pezzoli) koja daje frakciju -150 mm. Pokretna čeljusna drobilica (Pezzoli) sadrži vibracijsko sito, na kojem se separira dio frakcije -150 mm, te dvije izlazne trake. Na jednoj traci izlazi frakcija 150/60 mm, a materijal -60 mm, koji izlazi na drugoj traci, separira se na pokretnom vibracijskom situ Pezzoli. Pokretno vibracijsko sito (Pezzoli) također sadrži dvije izlazne trake, na jednoj izlazi frakcija -32 mm, a na drugoj 60/32 mm. Nakon toga dobivena frakcija -150 mm se utovarivačem transportira u usipni koš rotacijske drobilice (Mashinen Fabrik Liezen) iz koje izlazi frakcija -60 mm. Materijal frakcije -32 mm se također, pomoću utovarivača, transportira u usipni koš udarnopaličastog mlina (Mlin Loro-Parasini) te u usipni koš pokretne separacije (INTER COM srl.). Iz mlina izlazi frakcija -16 mm, a pokretna separacija (INTER COM srl.) separira materijal na

frakcije -4, 8/4, 16/8 i 32/16. Frakcije koje se smatraju gotovim proizvodom te se ujedno time i plasiraju na tržište su: -4, 8/4, --16, 16/8, 32/16, -60, 60/32 mm, a ponekad ukoliko ima potražnje na tržištu plasiraju se frakcije: -32, -150 te 150/60 mm.



Slika 4-2 Postojeći razmještaj mobilnog oplemenjivačkog postrojenja

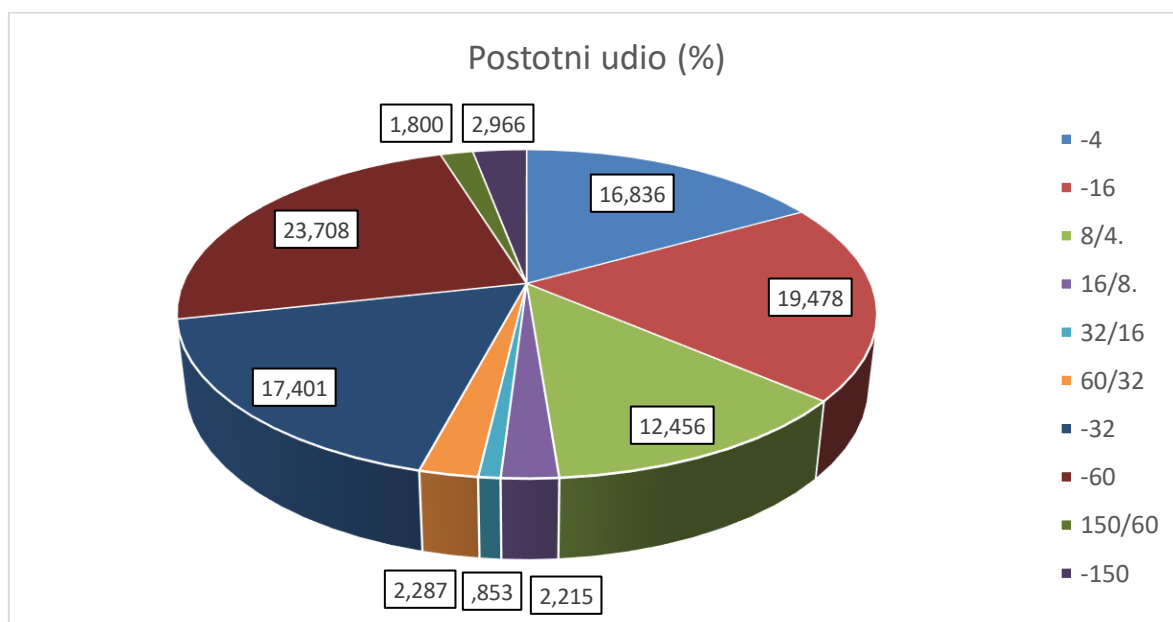
- **Proizvodnja**

Količina proizvedenog materijala po frakcijama, postotni udio svake frakcije te ukupna količina proizvedenog materijala za mjeseci u kojima je oplemenjivačko postrojenje bilo u ovakvom rasporedu prikazuju se sljedećim tablicama.

Tablica 4-1 prikazuje nabrojane parametre za listopad 2019. godine, a Tablica 4-2 za studeni 2019. godine. Ispod svake tablice grafikonom je prikazan postotni udio svake frakcije u ukupnoj količini proizvedenog materijala.

**Tablica 4-1** Proizvodnja svih frakcija za listopad 2019. godine

<b>Razdoblje od 1.10.2019. do 31.10.2019.</b>		
<b>Frakcija</b>	<b>Količina (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Udio (%)</b>
-4	451,35	16,84
-16	522,19	19,48
8/4	333,95	12,46
16/8	59,38	2,21
32/16	22,87	0,85
60/32	61,3	2,29
-32	466,51	17,40
-60	635,59	23,71
150/60	48,27	1,80
-150	79,52	2,97
<b>Ukupno</b>	<b>2 680,93</b>	<b>100,00</b>

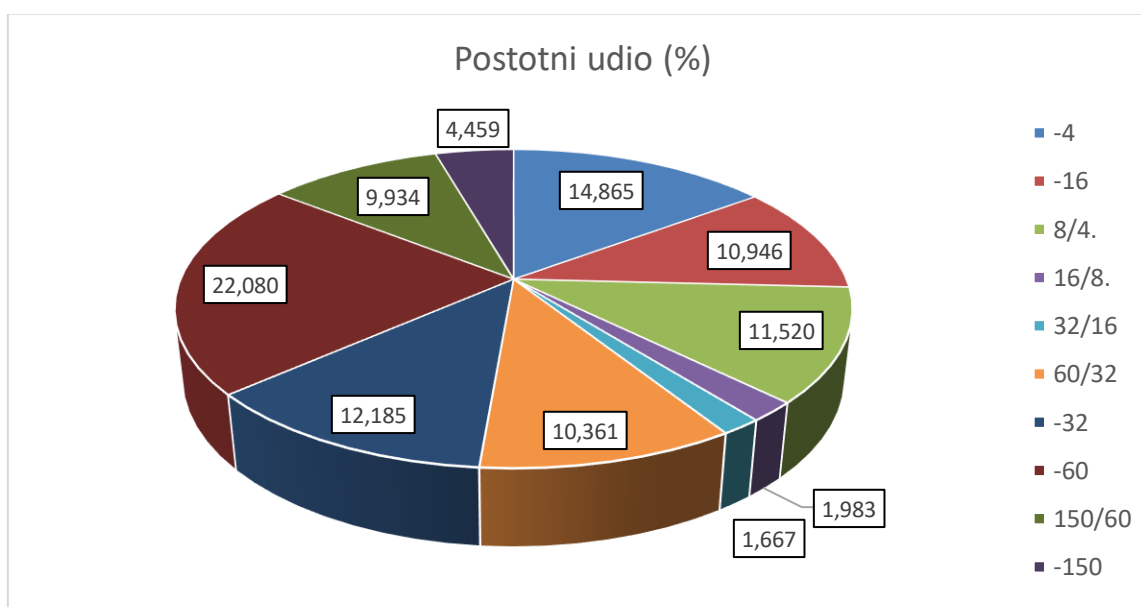


**Slika 4-3** Udio svake frakcije u ukupnoj količini proizvedenog materijala

U listopadu 2019. godine, ukupna količina proizvedene mineralne sirovine je 2680,93 m<sup>3</sup>, a najviše se proizvelo frakcije -60 mm i to 635,59 m<sup>3</sup>, odnosno 23,71% ukupne količine proizvedenog materijala. Najmanje se proizvelo frakcije 32/16 mm i to 22,87 m<sup>3</sup>, odnosno 0,85% ukupne količine proizvedenog materijala.

**Tablica 4-2** Proizvodnja svih frakcija za studeni 2019. godine

<b>Razdoblje od 1.11.2019. do 30.11.2019.</b>		
<b>Naziv artikla</b>	<b>Količina (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Udio (%)</b>
-4	374,46	14,86
-16	275,75	10,95
8/4	290,21	11,52
16/8	49,96	1,98
32/16	41,99	1,67
60/32	261,01	10,36
-32	306,96	12,19
-60	556,22	22,08
150/60	250,25	9,93
-150	112,34	4,46
<b>Ukupno</b>	<b>2 519,15</b>	<b>100,00</b>





**Slika 4-4** Udio svake frakcije u ukupnoj količini proizvedenog materijala

U studenom 2019. godine, ukupna količina proizvedene mineralne sirovine je 2519,15 m<sup>3</sup>, a najviše se proizvelo frakcije -60 mm i to 556,22 m<sup>3</sup>, odnosno 22,08% ukupne količine proizvedenog materijala. Najmanje se proizvelo frakcije 32/16 mm i to 41,99 m<sup>3</sup>, odnosno 1,67% ukupne količine proizvedenog materijala.

- Potrošnja goriva

Tablica 4-3 prikazuje potrošnju goriva pojedinih strojeva, a Tablica 4-4 prikazuje ukupnu potrošnju goriva te normativ potrošnje goriva za mjesec u kojima je oplemenjivačko postrojenje bilo u modelu A. Ostali strojevi ne troše gorivo jer im je napajanje izvedeno putem agregata (Agregat Perin).

**Tablica 4-3** Potrošnja goriva u listopadu i studenome 2019. godine – model A

Model	Mjesec	Utovarivač Liebherr L-566 (l)	Bager Hyundai R320NLC 7A (l)	Agregat Perin (l)	Ukupna potrošnja goriva (l)
A	Listopad 2019. god	1 650	2 700	3 530	7 880
	Studen 2019. god	1 530	2 500	3 520	7 550

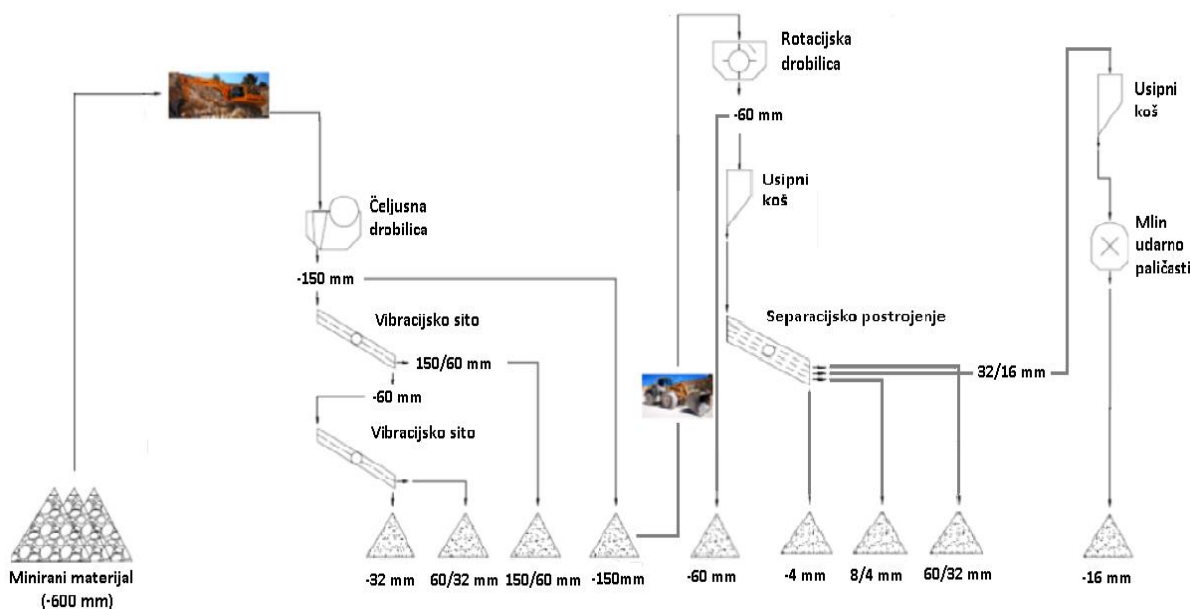
**Tablica 4-4** Ukupna potrošnja goriva i normativ potrošnje goriva

Model	Mjesec	Ukupna potrošnja goriva (l)	Ukupna količina materijala (m3)	Normativ potrošnje goriva (l/m <sup>3</sup> )
A	Listopad 2019. god	7 880	2 680,93	2,94
	Studen 2019. god	7 550	2 519,15	3,00

Ukupna potrošnja goriva u listopadu 2019. godine bila je 7880 l, a u studenom 2019. godine 7550 l. Normativ potrošnje goriva dobije se tako da se ukupna potrošnja goriva podijeli sa ukupnom proizvedenom količinom mineralne sirovine za pojedini mjesec. Normativ potrošnje goriva za listopad 2019. godine iznosi 2,94 l/m<sup>3</sup>, a za studeni 2019. godine 3,00 l/m<sup>3</sup>.

#### 4.1.2. Model B - Postojeće stanje proizvodnog procesa uz maksimalno 50% promjena

Promjena u odnosu na postojeće stanje mehanizacije, napravljena je spajanjem rotacijske drobilice (Mashinen Fabrik Liezen), pokretne separacije (INTER COM srl.) te mlina (Mlin Loro-Parasini) u jedan niz. Prije su radili svaki zasebno te je utovarivač morao usipati materijal u tri zasebna usipna koša, a sada je, kada su spojeni u cjelinu, dovoljno da utovarivač transportira i izravno usipa materijal u usipni koš rotacijske drobilice (Mashinen Fabrik Liezen).



Slika 4-5 Segregacijska shema postojećeg stanja proizvodnog procesa uz maksimalno 50% promjena

Prema segregacijskoj shemi (Slika 4-5) minirani stijenski materijal (-600 mm) se direktno sa deponije materijala, pomoću bager na gusjenicama, utovaruje u koš čeljusne drobilice (pokretna drobilica Pezzoli) te se daljnji proces odvija kao i u modelu A bez dodatnog rada utovarivača. Oplemenjivačko postrojenje prema modelu B vidi se na priloženoj slici (Slika 4-6).



Slika 4-6 Oplemenjivačko postrojenje spojeno u niz

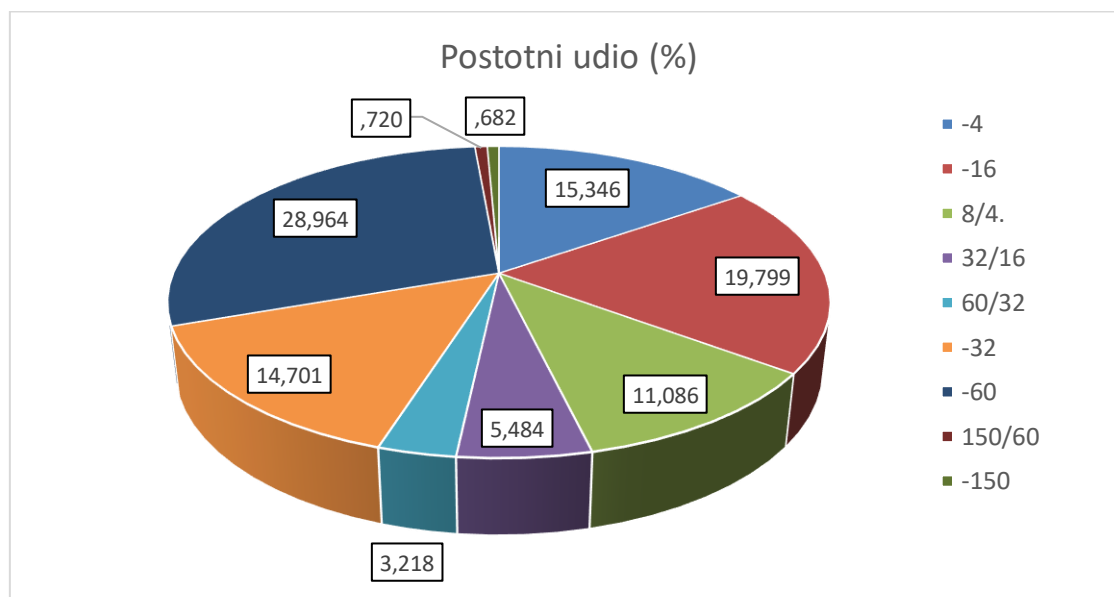
- Produkcija

Sljedeće tablice prikazuju količinu proizvedenog materijala po frakcijama u metrima kubnim, postotni udio svake frakcije, te također prikazuju ukupnu količinu proizvedenog materijala, za listopad 2020. godine (

Tablica 4-5) i studeni 2020. godine (Tablica 4-6), odnosno jedina dva mjeseca u kojima je oplemenjivačko postrojenje u ovakvom rasporedu. Ispod svake tablice grafikonom je prikazan postotni udio svake frakcije u ukupnoj količini proizvedenog materijala.

**Tablica 4-5** Proizvodnja svih frakcija za listopad 2020. godine.

<b>Razdoblje od 1.10.2020. do 31.10.2020.</b>		
<b>Frakcija</b>	<b>Količina (m3)</b>	<b>Udio (%)</b>
-4	402,8	15,35
-16	519,69	19,80
8/4	291	11,09
32/16	143,94	5,48
60/32	84,48	3,22
-32	385,87	14,70
-60	760,26	28,96
150/60	18,89	0,72
-150	17,9	0,68
<b>Ukupno</b>	<b>2 624,83</b>	<b>100,00</b>



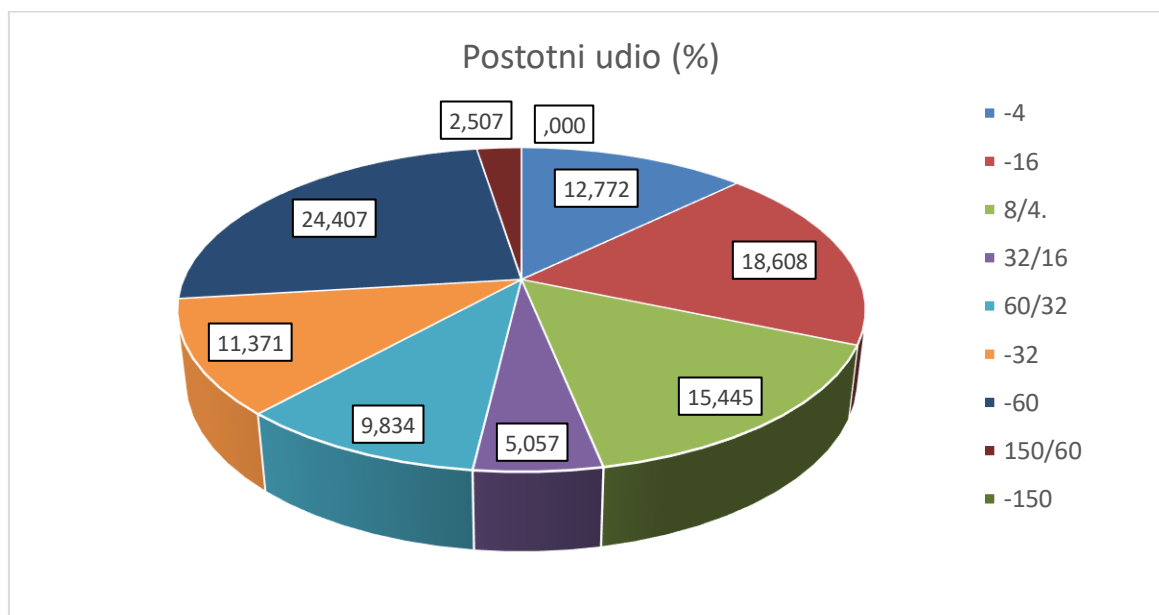
**Slika 4-7** Udio svake frakcije u ukupnoj količini proizvedenog materijala

U listopadu 2020. godine, prvom mjesecu u kojem je oplemenjivačko postrojenje u modificiranom rasporedu, ukupna količina proizvedene mineralne sirovine je 2624,83 m<sup>3</sup>, a

najviše se proizvelo frakcije -60 mm i to 760,26 m<sup>3</sup>, odnosno 28,96% ukupne količine proizvedenog materijala. Najmanje se proizvelo frakcije -150 mm i to 17,9 m<sup>3</sup>, odnosno 0,68% ukupne količine proizvedenog materijala. Više se ne proizvodi frakcija 16/8 mm zbog male potražnje na tržištu.

**Tablica 4-6** Proizvodnja svih frakcija za studeni 2020. godine

<b>Razdoblje od 1.11.2020. do 30.11.2020.</b>		
<b>Frakcija</b>	<b>Količina (m3)</b>	<b>Udio (%)</b>
-4	358,48	12,77
-16	522,28	18,61
8/4	433,5	15,44
32/16	141,95	5,06
60/32	276,01	9,83
-32	319,16	11,37
-60	685,05	24,41
150/60	70,36	2,51
-150	0	0,00
<b>Ukupno</b>	<b>2 806,79</b>	<b>100,00</b>



**Slika 4-8** Udio svake frakcije u ukupnoj količini proizvedenog materijala

U studenom 2020. godine, ukupna količina proizvedene mineralne sirovine je 2806,79 m<sup>3</sup>, a najviše se proizvelo frakcije -60 mm i to 685,05 m<sup>3</sup>, odnosno 24,41% ukupne količine proizvedenog materijala. Najmanje se proizvelo frakcije 150/60 mm i to 70,36 m<sup>3</sup>, odnosno 2,51% ukupne količine proizvedenog materijala, dok se frakcija -150 uopće nije proizvodila.

- Potrošnja goriva

Tablica 4-7 prikazuje potrošnju goriva pojedinih strojeva, a Tablica 4-8 prikazuje ukupnu potrošnju goriva te normativ potrošnje goriva za mjesec u kojima je oplemenjivačko postrojenje bilo modelu B. Ostali strojevi ne troše gorivo jer im je napajanje izvedeno putem agregata (Agregat Perin).

**Tablica 4-7** Potrošnjom goriva u listopadu i studenome 2020. godine – model B

Model	Mjesec	Utovarivač Liebherr L- 566 (L)	Bager Hyundai R320NLC 7A (L)	Agregat Perin (L)	Ukupna potrošnja goriva (L)
B	Listopad 2020. god.	1 250	2 450	3 350	7 050
	Studeneni 2020. god	1 350	2 800	3 500	7 650

**Tablica 4-8** Ukupna potrošnja goriva i normativ potrošnje goriva

Model	Mjesec	Ukupna potrošnja goriva (l)	Ukupna količina materijala (m <sup>3</sup> )	Normativ potrošnje goriva (l/m <sup>3</sup> )
B	Listopad 2020. god.	7 050	2 624,83	2,69
	Studeneni 2020. god.	7 650	2 806,79	2,73

Ukupna potrošnja goriva u listopadu 2020. godine bila je 7050 l, a u studenom 2020. godine 7650 l. Normativ potrošnje goriva za listopad 2020. godine iznosi 2,69 l/m<sup>3</sup>, a za studeni 2020. godine 2,73 l/m<sup>3</sup>.

#### 4.1.3. Model C - Potpuno novi proizvodni model s novom opremom

Trenutno se maksimalno godišnje eksploatira oko 30 000 m<sup>3</sup> svih frakcija mineralne sirovine. Prema Idejnom rudarskom projektu planira se godišnja eksploatacija od 50 000 m<sup>3</sup>. Znači potrebno je unaprijediti oplemenjivačko postrojenje sa novim strojevima. U nastavku su prikazani primjeri novih strojeva sa sličnim ili malo boljim karakteristikama. Također prikazana je i nova segregacijska shema sa novim strojevima u cilju poboljšanja proizvodnje mineralne sirovine na eksploatacijskom polju „Tambura“.

#### Agregat Doosan DP158LC

Diesel električni agregat Doosan DP158LC (

Slika 4-9) služio bi za napajanje nove rotacijske drobilice (Kleemann MR 110 EVO1), novog pokretnog vibracijskog sita (Kleemann MS 12 Z), novog separacijskog postrojenja (Kleemann Mobiscreen MS 703 EVO) te postojećeg mlina (Loro-Parasini). Proizveden je 2020. godine. Ostali tehnički podaci prikazani su u priloženoj tablici (Tablica 4-9).

**Tablica 4-9** Tehnički podaci agregata Doosan DP158LC

Karakteristika	Opis
Tip	Doosan DP158LC
Voltaža	400 V
Frekvencija	50 Hz
Snaga motora	375 kW (510 ks)
Masa	4930 Kg
Cijena	254 671 Kn (33 759 €)



**Slika 4-9** Agregat Doosan DP158LC (Doosan group, 2020)

### **Rotacijska drobilica Kleemann MR 110 EVO1**

Rotacijska drobilica Kleemann MR 110 EVO1 (Slika 4-10) mobilna je drobilica na gusjenicama. Sastoji se od glavne trake, jalovinske trake te jednoetažnog sita sa povratnom trakom. Može usitnjavati i veličinu materijala od 900 mm, a izlazna frakcija je -60 mm. Ostali tehnički podaci prikazani su u priloženoj tablici (Tablica 4-10).

**Tablica 4-10** Tehnički podaci rotacijske drobilice Kleemann MR 110 EVO1

Karakteristika	Opis
Tip	MR 110 EVO1
Ulazni otvor	1 100 x 800 mm
Kapacitet	Do 250 t/h
Širina	3 000 mm bez sita
Visina	3 600 mm
Dužina	17 340 mm bez sita
Snaga	243 kW
Cijena	1 553.900 Kn (205 173 €)





**Slika 4-10** Rotacijska drobilica Kleemann MR 110 EVO1 (AT Mineral, 2011)

### **Pokretno vibracijsko sito Kleemann MS 12 Z**

Pokretno vibracijsko sito Kleemann MS 12 Z (Slika 4-11) proizvedena je 2016. godine. Stroj može biti jalovinski i sekundarni. Pokretano je na gusjenicama, sastoji se od usipnog koša i dvije transportne trake. Ulazna frakcija je -60 mm, a izlazne frakcije su -32 i 60/32 mm. Ostali tehnički podaci prikazani su u priloženoj tablici (Tablica 4-11).

**Tablica 4-11** Tehnički pokretno vibracijsko sito Kleemann MS 12 Z

Karakteristika	Opis
Tip	MS 12 Z
Transportna dužina	9850 mm
Transportna širina	2600 mm
Transportna visina	3250 mm
Snaga	75 kW
Kapacitet	Do 200 t / h
Masa	15 500 kg
Cijena	708 750 Kn (94 500 €)



**Slika 4-11** Pokretno vibracijsko sito Kleemann MS 12Z (Kleemann, n.d.)

### **Separacijsko postrojenje Kleemann Mobiscreen MS 703 EVO**

Separacijsko postrojenje Kleemann Mobiscreen MS 703 EVO (Slika 4-12) proizvedeno je 2019. godine. Služilo bi za odvajanje materijala (mljeveni kamen različite granulacije). Maksimalna veličina ulaznog materijala je 100x160 mm, a izlazne frakcije su -4, 8/4, 16/8 32/16 mm. Ostale tehničke karakteristike prikazane su u priloženoj tablici (Tablica 4-12).

**Tablica 4-12** Tehničke karakteristike Separacijskog postrojenja Kleemann Mobiscreen

Karakteristika	Opis
Tip	MS 703 EVO
Obujam usipnog koša	7 m <sup>3</sup>
Maksimalni ulaz	100 x 160 mm
Snaga	73 kW
Masa	32 000 kg
Kapacitet	Do 350 t / h
Cijena	1 087 500 kn (145 000 €)



**Slika 4-12** Separacijsko postrojenje Kleemann Mobiscreen MS 703 EVO (Kleemann, nd.)

### **Bager Liebherr R 954**

Bager na gusjenicama, Liebherr R 954 (

Slika 4-13) služio bi za utovar u koš pokretne rotacijske drobilice i usitnjavanje velikih komada kamena sa hidrauličnim čekićem. Proizveden je 2017. godine. Ostale tehničke karakteristike prikazane su u priloženoj tablici (Tablica 4-13).

**Tablica 4-13** Tehničke karakteristike Rovokopač Liebherr R 954

Karakteristika	Opis
Tip	R-954
Obujam utovarne lopate	2,5 m <sup>3</sup>
Širina gusjenica	600 mm
Kapacitet	193 m <sup>3</sup> /h
Snaga motora	240 kW
Masa	56 600 kg
Cijena	1 159 861 Kn (153 750 €)



**Slika 4-13** Rovokopač Liebherr R 954 (Liebherr, n.d.)

### **Utovarivač Liebherr L 576**

Utovarivač Liebherr L 576 (

Slika 4-14) za utovar rastresitog materijala (zemlja, pijesak, kamen..), utovar gotovog proizvoda u kamione kupaca, deponiranje gotovih proizvoda na točno određeno mjesto, uklanjanje materijala ispod gumenih transportera. Proizveden je 2015. godine. Ostali tehnički podaci utovarivača prikazani su u priloženoj tablici (Tablica 4-14).

**Tablica 4-14** Tehnički podaci utovarivača Liebherr L 576

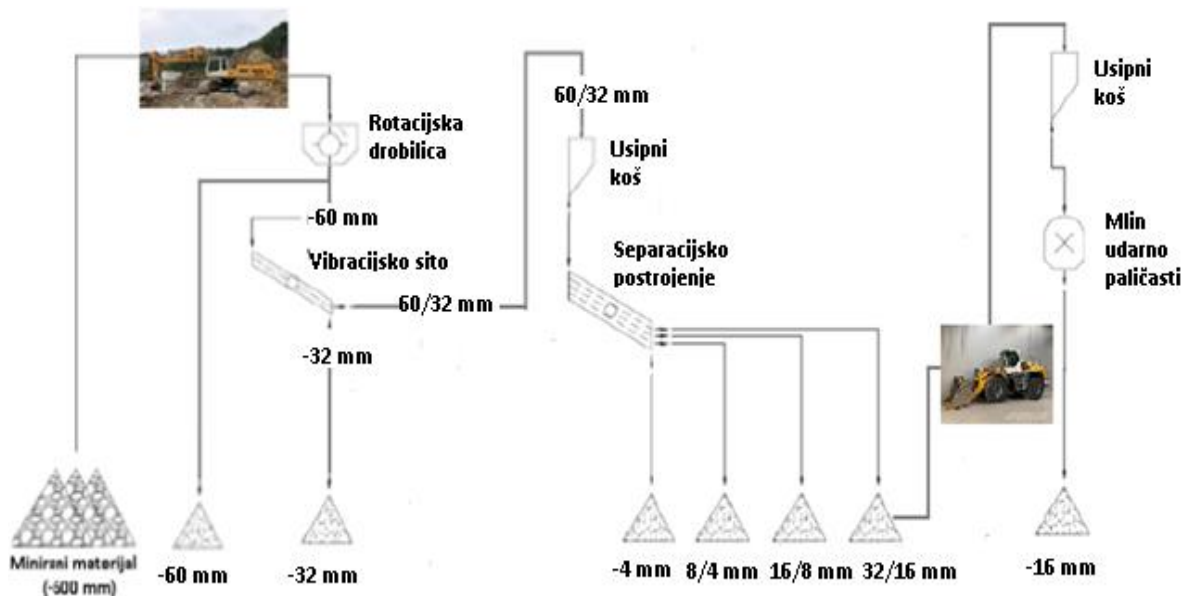
Karakteristika	Opis
Tip	L-576
Obujam utovarne lopate	5 m <sup>3</sup>
Snaga motora	205 kW
Najveća brzina	40 km/h
Masa	28 500 Kg
Cijena	802 352 Kn (106 359 €)



**Slika 4-14** Utovarivač Liebherr 576 (Liebherr, n.d.)

### **Segregacijska shema modela C**

Traženi su strojevi koji su relativno novi (proizvedeni u zadnjih 5 godina), koji imaju karakteristike potrebne za unaprjeđenje trenutnog postrojenja na površinskom kopu „Tambura“, a cijena koštanja kupnje novih strojeva iznosila bi 5 449 673 kn. S tim novim strojevima izrađena je nova segregacijska shema (Slika 4-15).



Slika 4-15 Segregacijska shema modela C

Minirani stijenski materijal (-600 mm) se utovara izravno s deponije materijala, pomoću bagera na gusjenicama (Liebherr R 954), u koš rotacijske drobilice (Kleemann MR 110 EVO1) koja daje frakciju -60 mm. Dobivena frakcija dalje se transportnom trakom prenosi do pokretnog vibracijskog sita (Kleemann MS 12 Z). Vibracijsko sito (Kleemann MS 12 Z) sadrži dvije transportne trake, na jednoj izlazi frakcija -32 mm kao gotovi proizvod, a s drugom trakom frakcija 60/32 mm, transportira se u usipni koš pokretnog separacijskog postrojenja (Kleemann Mobiscreen MS 703 EVO). Separacijsko postrojenje (Kleemann Mobiscreen MS 703 EVO) daje gotove frakcije -4, 8/4, 16/8 i 32/16 mm koje izlaze van iz postrojenja. Nakon toga utovarivačem (Liebherr L 576) se dobivena frakcija 32/16 mm transportira i utovaruje u usipni koš udarno-paličastog mlina (Mlin Loro-Parasini) koji daje frakciju -16 mm. Utovarivač utovara frakcije samo u usipni koš mlina tako da mu je kao i kod modela B, manji transportni put nego što je bio kod modela A.

#### 4.2. Proračun efikasnosti proizvodnog procesa

Proračun efektivnih radnih sati je teorijski proračun temeljem kojega će se proračunati potrebno vrijeme rada nove mehanizacije. Proračun za model A i model B nije rađen obzirom da se koriste realni podaci prikupljeni tijekom rada površinskog kopa. Proračun za model C

napravljen je temeljem podataka proizvođača svakog stroja kako bi se temeljem ukupnih sati rada svakog stroja moglo odrediti koliko svaki stroj teoretski troši nafte.

Prema novom Idejnom rudarskom projektu planira se godišnja eksploatacija od 50 000 m<sup>3</sup>. U modelu C rotacijska drobilica, pokretno vibracijsko sito i separacijsko postrojenje spojeni su u niz tako da se mogu izračunati efektivni radni sati cijelog niza, a ne svakog stroja posebno. Kapacitet rotacijske drobilice uzima se kao kapacitet cijelog niza jer je rotacijska drobilica prvi stroj u nizu. Prilikom proračuna efektivnih radnih sati rotacijske drobilice uzima se obujmna masa materijala jer po segregacijskoj shemi modela C, nema više čeljusne drobilice odnosno rotacijska drobilica je primarna drobilica.

Efektivni radni sati dobiju se tako da se godišnji radni sati podijele sa brojem radnih dana u godini. Radnici na površinskom kopu „Tambura“ ne rade vikendom te imaju pravo na dva kolektivna godišnja odmora (jedan u zimi, drugi u ljeto) u trajanju od dva tjedna. Dolazi se do broja od 241 radnih dana u godini.

➤ Bager Liebherr R 954

$$h = \frac{Q_g \cdot \gamma}{Q_p} \cdot k_v = \frac{50000 \cdot 2,4}{318,45} \cdot 2 = 753,65 \text{ h} \quad (4-1)$$

$$h_{ef} = \frac{h}{N} = \frac{753,65}{241} = 3,13 \text{ h} \quad (4-2)$$

$Q_g = 50\,000 \text{ m}^3$  - godišnji kapacitet kopa

$\gamma = 2,4 \text{ t/m}^3$  – obujmna masa

$k_v = 2,0$  - koeficijent utroška vremena (dvostruke radne operacije)

$Q_p = 193 \text{ m}^3/\text{h} = 318,45 \text{ t/h}$  - kapacitet bagera

$N = 241$  dana – broj radnih dana u godini

➤ Oplemenjivačko postrojenje

-Rotacijska drobilica Kleemann MR 110 EVO1

-Pokretno vibracijsko sito Kleemann MS 12Z

-Separacijsko postrojenje Kleemann Mobiscreen MS 703 EVO

$$h = \frac{Q_g \cdot \gamma}{Q_p} \cdot k_v = \frac{50000 \cdot 2,4}{150} \cdot 1 = 800 \text{ h} \quad (4-3)$$

$$h_{ef} = \frac{h}{N} = \frac{800}{241} = 3,32 \text{ h} \quad (4-4)$$

$Q_g = 50\,000 \text{ m}^3$  - godišnji kapacitet kopa

$\gamma = 2,4 \text{ t/m}^3$  – obujmna masa

$k_v = 1$  - koeficijent utroška vremena

$Q_p = 150 \text{ t/h}$  kapacitet postrojenja

$N = 241$  dana – broj radnih dana u godini

➤ Mlin Loro-Parasini

$$h = \frac{Q_g \cdot P_s}{Q_p} \cdot k_v = \frac{50000 \cdot 1,65}{70} \cdot 1 = 1178,57 \text{ h} \quad (4-5)$$

$$h_{ef} = \frac{h}{N} = \frac{1178,57}{241} = 4,89 \approx 5 \text{ h} \quad (4-6)$$

$Q_g = 50\,000 \text{ m}^3$  - godišnji kapacitet kopa

$P_s = 1,65 \text{ t/m}^3$  - gustoća u rastresitom stanju

$k_v = 1$  - koeficijent utroška vremena

$Q_p = 24-72 \text{ t/h}$  kapacitet postrojenja

$N = 241$  dana – broj radnih dana u godini

➤ Utovarivač Liebherr 576

Ciklus utovarivača (transport do mlina)

$$t_c = t_u + \frac{l_{tr}}{v_{pu}} + \frac{l_{tr}}{v_{pr}} = 39 + \frac{100}{4} + \frac{100}{8} = 76,5 \text{ s} \quad (4-7)$$

$l_{tr} = 100 \text{ m}$  - duljina transporta

$v_{pu} = 4 \text{ m/s}$  - brzina vožnje s punom lopatom (do 5 m/s)

$v_{pr} = 8 \text{ m/s}$  - brzina vožnje s praznom lopatom (do 9 m/s)

$t_u = 39 \text{ s}$  - vrijeme punjenja i istresanja u sekundama (ciklus za utovar)



Satni kapacitet utovarivača (transport do oplemenjivačkog postrojenja)

$$Q_{s1} = \frac{3600 \cdot V \cdot k_p \cdot k_{vm}}{t_c} = \frac{3600 \cdot 5 \cdot 0,8 \cdot 0,93}{76,5} = 175,06 \text{ m}^3/\text{h} \quad (4-8)$$

$V = 5 \text{ m}^3$  - konstruktivni obujam lopate utovarivača

$k_p = 0,8$  - koeficijent punjenja

$k_{vm} = 0,93$  koeficijent vlažnosti materijala

Godišnji sati rada na utovaru i transportu do oplemenjivačkog postrojenja

$$h_1 = \frac{Q_g \cdot k_r}{Q_{s1}} \cdot k_v = \frac{50000 \cdot 1,4}{175,06} \cdot 1 = 399,86 \text{ h} \quad (4-9)$$

$Q_g = 50\,000 \text{ m}^3$  - godišnji kapacitet kopa

$k_r = 1,4$  - koef. rastresitosti

$k_v = 1$  - koef. Iskoristivosti radnog vremena

Satni kapacitet utovarača (utovar gotovih proizvoda)

$$Q_{s2} = \frac{60 \cdot V \cdot k_p \cdot k_{vm}}{t_u} = \frac{60 \cdot 5 \cdot 0,8 \cdot 0,93}{0,65} = 343,38 \text{ m}^3/\text{h} \quad (4-10)$$

$t_u = 0,65 \text{ min}$  - ciklus utovarača u minutama (ciklus za utovar)

Godišnji sati rada na utovaru gotovih proizvoda

$$h_2 = \frac{Q_g \cdot k_r}{Q_{s2}} \cdot k_v = \frac{50000 \cdot 1,4}{343,38} \cdot 1 = 203,86 \text{ h} \quad (4-11)$$

Ukupni godišnji sati rada utovarača

$$h_{ut} = h_1 + h_2 + h_3 = 399,86 + 203,86 + 50 = 653,72 \text{ h} \quad (4-12)$$

$h_3$  - godišnji sati utrošeni na održavanju transportnih i pristupnih puteva te ostalih manipulativnih prostora (30-50 h)

$$h_{ef} = \frac{h}{N} = \frac{653,72}{241} = 2,71 \approx 3 \text{ h} \quad (4-13)$$

Tablica 4-15 prikazuje proračunate vrijednosti vremena svakog pojedinog stroja.

**Tablica 4-16** prikazuje ukupnu potrošnju goriva svakog pojedinog stroja te odnos potrošnje goriva i ukupne količine materijala (normativ potrošnje) za cijelu teoretsku godinu proizvodnje. Vrijeme rada agregata (Doosan DP158LC) temelji se na vremenu rada svih strojeva jer on proizvodi električnu energiju za napajanje cijelog oplemenjivačkog postrojenja (Rotacijske drobilice Kleemann MR 110 EVO1, mobilnog sita Kleemann MS 12 Z, separacijskog postrojenja Kleemann Mobiscreen MS 703i EVO te mlina Loro-Parasini) tako da je njegovo ukupno vrijeme rada isto kao i ukupno vrijeme rada mlina (Mlin Loro-Parasini) jer radi najviše sati godišnje (1178,57 h).

**Tablica 4-15** Proračunate vrijednosti vremena

Stroj	Ukupno vrijeme	Efektivno vrijeme
	h/god	h/dnevno
Agregat Doosan DP158LC	1178,57	4,89
Rotacijska drobilica Kleemann MR 110 EVO1	800,00	3,32
Mobilno sito Kleemann MS 12 Z	800,00	3,32
Separacijsko postrojenje Kleemann Mobiscreen MS 703i EVO	800,00	3,32
Mlin Loro-Parasini	1178,57	4,89
Bager Liebherr R 954	753,65	3,13
Utovarivač Liebherr L 576	653,72	2,71

**Tablica 4-16** Odnos potrošnje goriva i ukupne količine materijala - model C

<b>Normativ utroška nafte - Model C</b>					
<b>Stroj</b>	<b>Snaga motora</b>	<b>Satni utrošak</b>	<b>Ukupno vrijeme</b>	<b>Ukupni utrošak</b>	<b>Normativ potrošnje goriva</b>
	<b>kW</b>	<b>l/h</b>	<b>h/god</b>	<b>l/god</b>	<b>l/m<sup>3</sup></b>
Agregat Doosan DP158LC	375	45,0	1 178,57	53 035,65	1,06
Rotacijska drobilica Kleemann MR 110 EVO1	243	-	800,00	-	-
Mobilno sito Kleemann MS 12 Z	75	-	800,00	-	-
Separacijsko postrojenje Kleemann Mobiscreen MS 703 EVO	73	-	800,00	-	-
Mlin Loro-Parasini	45	-	1 178,57	-	-
Bager Liebherr R 954	240	28,8	753,65	21 705,12	0,43
Utovarivač Liebherr L 576	205	24,6	653,72	16 081,51	0,32
<b>UKUPNO</b>	<b>1 256</b>	<b>98,4</b>	<b>-</b>	<b>90 822,28</b>	<b>1,82</b>

Agregat (Doosan DP158LC) troši naftu i proizvodi el. energiju za ostale strojeve. Iz navedenog treba samo promatrati potrošnju nafte agregata kao potrošnju nafte svih strojeva koje on napaja.

Snaga motora dobivena je iz podataka proizvođača svakog stroja. Satni utrošak nafte preračunava se tako da se vrijednost snage motora pomnoži s 15% za novi stroj i 20% za stari stroj te se još umanjuje za koeficijent nejednakosti koji iznosi 0,8. Prikazano formulom u nastavku.

$$\text{Satni utrošak} = \text{Snaga motora} * (\text{od } 0,15 \text{ do } 0,2) * 0,8 \quad (4-14)$$

Godišnji utrošak nafte svakog pojedinog stroja dobije se tako da se pomnoži ukupno godišnje vrijeme rada svakog stroja sa satnim utroškom nafte. Normativ utroška nafte svakog pojedinog stroja dobije se tako da se godišnji utrošak nafte svakog stroja podijeli sa godišnjom eksploatacijom mineralnih sirovina koja iznosi 50 000 m<sup>3</sup> tj. 4 167 m<sup>3</sup>/mjesec.

Ukupni godišnji utrošak nafte iznosi 90 822,28 l/god, a ukupni normativ utroška nafte iznosi 1,82 l/m<sup>3</sup>.

## 5. DISKUSIJA

### 5.1. Analiza efikasnosti modela eksploatacije mineralne sirovine

Usporedbom ukupne količina eksploatairane mineralne sirovine koja za model A iznosi 5200,08 m<sup>3</sup> manja je u odnosu na model B kod koje iznosi 5431,62 m<sup>3</sup>, a posljedica je to promijene proizvodnog procesa na površinskom kopu „Tambura“. Proizvodnja za cijelu teoretsku godinu iznosi 50 000 m<sup>3</sup> tj. 4 167 m<sup>3</sup>/mjesec (Tablica 5-1).

**Tablica 5-1** Ukupne proizvedene količine za model A, model B i model C

Model	Period	Ukupna količina materijala (m <sup>3</sup> )
A	Listopad i studeni 2019. god	5 200
B	Listopad i Studeni 2020. god.	5 431
C	Godina teoretski	50 0000 (4 167 m <sup>3</sup> /mjesec)

Tablica 5-2 prikazuje potrošnju goriva i normativ potrošnje svakog stroja za model A.

Tablica 5-4 prikazani su isti parametri za model B odnosno Tablica 5-4 za model C.

**Tablica 5-2** Potrošnja goriva i normativ potrošnje svakog stroja - model A

Model	Stroj	Ukupni utrošak	Normativ potrošnje goriva
		l/period	l/m <sup>3</sup>
A	Utovarivač Liebherr L-566	3 180	0,61
	Bager Hyundai R320NLC 7A	5 200	1,00
	Agregat Perin	7 050	1,36
	<b>UKUPNO</b>	<b>15 430</b>	<b>2,97</b>

Tablica 5-3 Potrošnja goriva i normativ potrošnje svakog stroja - model B

Model	Stroj	Ukupni utrošak	Normativ potrošnje goriva
		l/period	l/m <sup>3</sup>
B	Utovarivač Liebherr L-566	2 600	0,48
	Bager Hyundai R320NLC 7A	5 250	0,97
	Agregat Perin	6 850	1,26
	<b>UKUPNO</b>	<b>14 700</b>	<b>2,71</b>

Tablica 5-4 Potrošnja goriva i normativ potrošnje svakog stroja - model C

Model	Stroj	Ukupni utrošak	Normativ potrošnje goriva
		l/god	l/m <sup>3</sup>
C	Utovarivač Liebherr L 576	16 081,51	0,32
	Bager Liebherr R 954	21 705,12	0,43
	Agregat Doosan DP158LC	53 035,65	1,06
	<b>UKUPNO</b>	<b>90 822,28</b>	<b>1,82</b>

Kada se usporede potrošnja goriva primjećuje se da je ukupna potrošnja goriva kod modela B (14 700 l) manja u odnosu na model A (15 430 l). Tome je najviše pridonijelo

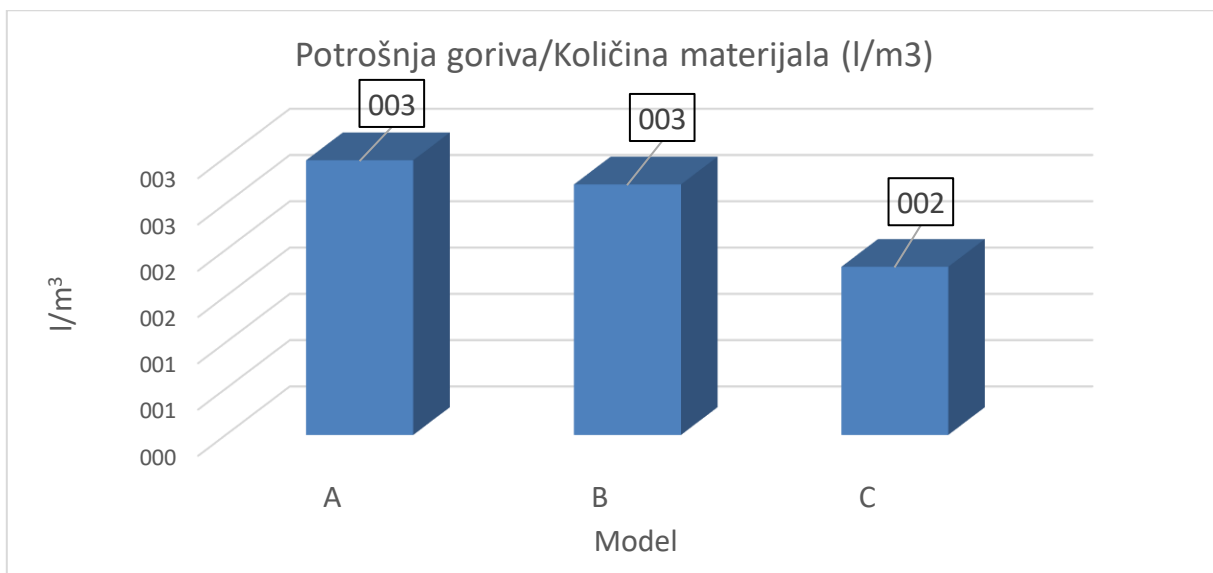
smanjenje potrošnje goriva utovarivača (kod modela A iznosi 3 180 l, a kod modela B iznosi 2600 l) jer kod modela B utovarivač (Liebherr L-566) transportira i usipa materijal samo u usipni koš rotacijske drobilice (Mashinen Fabrik Liezen), a ne u tri različita usipna koša kao što je to bio slučaj kod modela A. Potrošnja goriva ostalih strojeva približno je ista kod modela A i kod modela B. Pošto su model A i model B analizirani u periodu rada kroz dva mjeseca, a model C je analiziran za cijelu teoretsku godinu, dobiveni podaci o potrošnji goriva svakog stroja nisu dobar pokazatelj za usporedbu modela. Međutim, može se usporediti normativ potrošnje goriva (odnos potrošnje goriva i ukupne količine materijala) svakog stroja kod modela A, B i C. Normativ potrošnje goriva utovarivača kod modela A iznosi 0,61 l/m<sup>3</sup>, kod modela B 0,48 l/m<sup>3</sup>, a kod modela C 0,32 l/m<sup>3</sup>. Najmanji je normativ kod modela C, a najveći kod modela A. Normativ potrošnje goriva bagera kod modela A iznosi 1,00 l/m<sup>3</sup>, kod modela B 0,97 l/m<sup>3</sup>, a kod modela C 0,43 l/m<sup>3</sup>. Kod modela A i kod modela B iznos je normativa potrošnje goriva bagera puno veći u odnosu na iznos istog normativa kod modela C. Razlog tome jest činjenica da trenutni bager na površinskom kopu „Tambura“ troši jako puno goriva u odnosu na količinu proizvedene mineralne sirovine.

Naposlijetku, normativ potrošnje goriva agregata kod modela A iznosi 1,36 l/m<sup>3</sup>, kod modela B iznosi 1,26 l/m<sup>3</sup>, a kod modela C iznosi 1,06 l/m<sup>3</sup>. Najmanji je normativ kod modela C, a najveći kod modela A.

Odnos ukupne potrošnje goriva i ukupne količine materijala za mjesec u kojima je oplemenjivačko postrojenje bilo u modelu A, modelu B i modelu C prikazano je tablicom 5-5 i grafikonom ispod tablice.

**Tablica 5-5** Odnos potrošnje goriva i ukupne količine materijala

Model	Period	Ukupna potrošnja goriva (l)	Ukupna količina materijala (m <sup>3</sup> )	Normativ potrošnje goriva (l/m <sup>3</sup> )
A	Listopad i studeni 2019. god	15 430,00	5 200,08	2,97
B	Listopad i Studeni 2020. god.	14 700,00	5 431,62	2,71
C	Godina teoretski	90 822,28	50 000	1,82



**Slika 5-1** Normativ potrošnje goriva za modele

Usporedba sva tri modela napravljena je temeljem komparativne analize ukupne količine potrošnje goriva naprema ukupnoj proizvodnji frakcija, odnosno usporedbom normativa proizvodnje svakog od modela. Dobiveni odnos pokazuje koliko je litara goriva potrebno za proizvodnju jednog kubnog metra materijala (Tablica 5-5). Za proizvodnju jednog kubnog metra materijala kod modela A potrebno je 2,97 litara goriva, kod model B potrebno je 2,71 litara, a kod modela C potrebno je 1,82 litara goriva.

## 6. ZAKLJUČAK

Postojeće stanje proizvodnog procesa (Model A) bilo je u pogonu do rujna 2020. godine, kada se odlučilo modificirati oplemenjivačko postrojenje tako što se isti optimizirao tj. napravljena mu je modifikacija te je dobiven model B. Otkako se promijenio raspored oplemenjivačkog postrojenja, proizvodnja mineralne sirovine je porasla, a potrošnja goriva se smanjila. Samim time kod modela B potrebno je manje litara goriva za proizvodnju jednog kubnog metra materijala u odnosu na model A.

Model C predstavlja potpuno novi model sa novim strojevima, međutim takvi strojevi zahtijevaju velika ulaganja. Nužna je kupnja nove drobilice, vibracijskog sita i separacijskog postrojenja kako bi se mogla ostvariti planirana proizvodnja. Mlin (Loro-Parasini) sa svojim karakteristikama te prema proračunu zadovoljava potrebe povećane proizvodnje pa ga nije potrebno mijenjati. Agregat (Doosan DP158LC) također nije potrebno kupovati jer već postojeći agregat (Perin) može proizvesti dovoljnu količinu električne energije potrebnu za rad novih strojeva. Novi Bager (Liebherr R 954) i utovarivač (Liebherr L 576) prema proračunu imaju malo efektivnih radnih sati, a postojeći utovarivač (Liebherr L-566) i bager (Hyundai R320NLC 7A) imaju dovoljan kapacitet za povećanu proizvodnju koja se planira. Ipak, nedostatak postojećeg bagera jest njegova velika potrošnja goriva. Upravo je to razlog zašto je u slučaju modela C potrebno najmanje litara goriva za proizvodnju jednog kubnog metra materijala u odnosu na model A i model B, što ga čini optimalnim modelom. Time zaključujemo kako bi idealan model eksploatacije mineralne sirovine bio model C, ali bez kupnje novog agregata i utovarivača jer postojeći zadovoljavaju uvjete povećane proizvodnje koja se planira prema novom idejnom rudarskom projektu. Potrebno je provesti dodatno modeliranje kako bi se model C još više optimizirao u smislu odabira strojeva koje je nužno kupiti kako bi buduća ulaganja bila što je moguće racionalnije iskorištena.



## 7. LITERATURA

- Farkaš, B. (2018): *Idejni rudarski projekt eksploatacije tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju "Tambura"*. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
- Farkaš, B., Perić, M., Hrastov, A., Buti, L. (2019): *Idejni rudarski projekt eksploatacije tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju "Tambura"*, rev. 3 (rev. 3). Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
- Hydraulic excavator, (2006). Operator's manual, rolex, 320 LC-7A, 320 NLC-7A
- Matijašić, I. (2015): *Elaborat o rezervama tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju „Tambura“ kod Vodnjana- IV obnova proračuna rezervi*. Zagreb: Calx d.o.o.
- Medančić, M. (1996): *Glavni rudarski projekat eksploatacije tehničkog građevnog kamena u eksploatacijskom polju 'Tambura'*. Pula: Ruding d.o.o.
- Pavelić, D. (2020): *Elaborat o rezervama tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju „Tambura“ - peta obnova*. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
- Pezzoli, R. (2008): *Manuale uso e manutenzione, Sgrossatore cingolato*.
- Pezzoli, R. (2008) *Manuale uso e manutenzione, Frantoio semovente mobile*
- Rezultati laboratorijskih ispitivanja; *Izveštaj br. 2112/10 o ispitivanju ispuha istražnih bušotina sa eksploatacijskog polja „Tambura“*, bušotine BL-1/10, BL-2/10, BI-3/10, CSS d.o.o., 2010.
- Zuban, J. (2014): *Pojednostavljeni rudarski projekt eksploatacije tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju "Tambura"*. Pula: Topcon d.o.o

### Web izvori:

- AT Mineral., 2011. *New Kleemann Mobirex EVO plants in use worldwide*.  
URL: [https://www.at-minerals.com/en/artikel/at\\_2011-11\\_New\\_Kleemann\\_Mobirex\\_EVO\\_plants\\_in\\_use\\_worldwide\\_1286311.html](https://www.at-minerals.com/en/artikel/at_2011-11_New_Kleemann_Mobirex_EVO_plants_in_use_worldwide_1286311.html) (10.12.2020.)
- Doosan group., 2020. Generators group DP158LC  
URL: <https://www.doosanengine.com/en/engine/generator-detail/19> (10.12.2020.)
- Google Earth 2020.: <https://earth.google.com/web/> (25.10.2020.)
- Kleemann., n.d. Mobile scalping screen plant MS 12Z  
URL: <https://www.wirtgen-group.com/ocs/en-no/kleemann/ms-12-z-132-p/> (10.12.2020.)

Kleemann., n.d. Mobiscreen MS 703 EVO

URL: <https://www.wirtgen-group.com/ocs/en-no/kleemann/ms-703-evo-162-p/> (10.12.2020.)

Liebherr., n.d. Technical Description R 954 B Hydraulic Excavator

URL: <https://www.passion-liebherr.net/download/pdf/r954b-gb-tb.pdf> (10.12.2020.)

Liebherr., n.d. Wheel loaders for cost-effective tunnelling operations., L 550 – L 576

URL: <https://www.liebherr.com/external/products/products-assets/610384->

[2/Bildprospekt%20L%20550%20XPower%20Tunnel%20-](https://www.liebherr.com/external/products/products-assets/610384-2/Bildprospekt%20L%20550%20XPower%20Tunnel%20-)

[%20L%20576%20XPower%20Tunnel%20G6.pdf](https://www.liebherr.com/external/products/products-assets/610384-2/Bildprospekt%20L%20550%20XPower%20Tunnel%20G6.pdf) (10.12.2020.)

Perin group., 2007. Generators group, Twister.

URL: [https://www.peringenerators.com/inglese/prodotti\\_nuovi\\_dettaglio\\_twister.php](https://www.peringenerators.com/inglese/prodotti_nuovi_dettaglio_twister.php).

(25.01.2021.)