

Analiza učinkovitosti bagera dreglajna pri podvodnoj eksploataciji građevnog pijeska i šljunka

Petrić, Filip

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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:169:229172>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**



Repository / Repozitorij:

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



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

**ANALIZA UČINKOVITOSTI BAGERA DREGLAJNA PRI
PODVODNOJ EKSPLOATACIJI GRAĐEVNOG PIJESKA I
ŠLJUNKA**

Završni rad

Filip Petrić
R4163

Zagreb, 2020.



KLASA: 602-04/20-01/78
URBROJ: 251-70-03-20-2
U Zagrebu, 16.09.2020.

Filip Petrić, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/20-01/78, UR.BR. 251-70-12-20-2 od 23.04.2020. godine priopćujemo temu završnog rada koja glasi:

ANALIZA UČINKOVITOSTI BAGERA DREGLAJNA PRI PODVODNOJ EKSPLOATACIJI GRAĐEVNOG PIJESKA I ŠLJUNKA

Za voditelja ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o završnom ispitu prof.dr.sc. Trpimir Kujundžić, redoviti profesor Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Voditelj

(potpis)

Prof.dr.sc. Trpimir Kujundžić

(titula, ime i prezime)

**Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite**

(potpis)

Doc. dr. sc. Dubravko
Domitrović

(titula, ime i prezime)

**Prodekan za nastavu i
studente**

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor
Kuhinek

(titula, ime i prezime)

ANALIZA UČINSKOVITOSTI BAGERA DREGLAJNA PRI PODVODNOJ EKSPLOATACIJI
GRAĐEVNOG PIJESKA I ŠLJUNKA

Filip Petrić

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

Sažetak

U ovom završnom radu prikazan je postupak određivanja eksploatacijskog kapaciteta bagera prema podacima koji se nalaze u literaturi i određivanje istog prema mjerenjima obavljenim na površinskom kopu na kojem je bager stacioniran. Podaci iz literature preuzeti su u skladu s karakteristikama materijala i površinskog kopa „Ivanovec “ dok je terensko mjerenje provedeno određivanjem vremena trajanja radnog ciklusa bagera i koeficijenta punjenja bagerske lopate.

Ključne riječi: Rudarstvo, bager dreglajn, učinkovitost
Završni rad sadrži: 42 stranice, 24 tablice, 10 slika
Jezik izvornika: Hrvatski
Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentori: Dr.sc. Trpimir Kujundžić, redoviti profesor RGNF-a

Ocjenjivači: Dr.sc. Trpimir Kujundžić, redoviti profesor RGNF-a
Dr.sc. Tomislav Korman, docent RGNF-a
Dr.sc. Dubravko Domitrović, docent RGNF-a

Datum obrane: 23.09.2019., Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	ii
POPIS TABLICA	iii
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA	iv
1. UVOD	1
2. BAGER S POVLAČNOM LOPATOM (BAGER DREGLAJN)	2
2.1 SASTAVNI DIJELOVI BAGERA DREGLAJNA	3
2.2 RAD BAGERA DREGLAJNA	5
3. KAPACITET BAGERA	7
3.1 TEORIJSKI KAPACITET BAGERA (Q_0).....	8
3.2 TEHNIČKI KAPACITET (Q_t).....	9
3.3 EKSPLOATACIJSKI KAPACITET (Q_e).....	10
4. OPIS LEŽIŠTA	12
4.1 RUDARSKO-GEOLOŠKI PODACI O LEŽIŠTU	12
4.2 KVALITETA ŠLJUNKA	13
5. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE BAGERA.....	14
6. PRORAČUN KAPACITETA PREMA LITERATURNIM IZVORIMA.....	15
6.1 PRORAČUN EKSPLOATACIJSKOG KAPACITETA PO 1. NAČINU	15
6.2 PRORAČUN EKSPLOATACIJSKOG KAPACITETA PO DRUGOM NAČINU	22
6.3 PRORAČUN TEORIJSKOG KAPACITETA	24
6.4 TEHNIČKI KAPACITET	26
6.5 EKSPLOATACIJSKI KAPACITET	28
6.6 EKSPLOATACIJSKI KAPACITET IZMJEREN NA TERENU	30
7. ANALIZA REZULTATA.....	33
8. ZAKLJUČAK	35
LITERATURA	36

POPIS SLIKA

Slika 2-1: Bager dreglajn (Kujundžić, 2015).....	2
Slika 2-2: Lopata bagera dreglajna (Promidžbeni materijal tvrtke Hendrix)	3
Slika 2-3: Donji stroj bagera i uređaj za zakretanje vrtivog djela (Kujundžić, 2015).....	4
Slika 4-1: Zemljopisni položaj šljunčare „Ivanovec“ (Google karte, 2020)	13
Slika 6-1: Prikaz postupka ekstrapolacije vrijednosti u Excelu	16
Slika 6-2: Ekstrapolacija optimalne visine za traženi volumen lopate.....	18
Slika 6-3: Ekstrapolacija koeficijenta k_0 pomoću odnosa realne i optimalne dubine kopanja	19
Slika 6-4: Ekstrapolacija teorijskog trajanja ciklusa za kut od 90° (Marković, 1975).....	24
Slika 6-5: Stvarna popunjenost lopate dreglajna na terenu	30
Slika 7-1: Usporedba eksploatacijskih kapaciteta i vremena trajanja ciklusa bagera	34

POPIS TABLICA

Tablica 5-1 Tehničke karakteristike bagera s povlačnom lopatom, tipa Weserhutte W19114	
Tablica 6-1 Trajanje radnog ciklusa u sekundama za okret od 90° (Trbojević, 1979).....	15
Tablica 6-2 Trajanje radnog ciklusa u sekundama za okret od 90° (Slunjski, 1995).....	15
Tablica 6-3 Vrijednosti optimalnih učinaka i dubine iskopa (Trbojević, 1979)	17
Tablica 6-4 Vrijednosti optimalnih učinaka i dubine iskopa (Slunjski, 1995).....	17
Tablica 6-5 Korekcijski faktor za kut okreta i visinu odnosno dubinu radnog čela različito od optimalne k_0 (Trbojević, 1979).....	18
Tablica 6-6 Korekcijski faktor za kut okreta i dubinu radnog čela različito od optimalne k_z (Slunjski, 1995)	19
Tablica 6-7 Vrijednosti koeficijenta punjenja lopate k_p (Trbojević, 1979).....	20
Tablica 6-8 Vrijednosti koeficijenta punjenja lopate k_p (Slunjski, 1995)	20
Tablica 6-9 Težine materijala i rastresitost (Trbojević, 1979)	21
Tablica 6-10 Težine materijala i rastresitost (Slunjski, 1995).....	21
Tablica 6-11 Koeficijent korištenja radnog vremena (Trbojević, 1979 i Slunjski, 1995)...	22
Tablica 6-12 Koeficijent gradilišta k_g (Trbojević, 1979 i Slunjski, 1995).....	23
Tablica 6-13 Minimalno trajanje radnog ciklusa bagera dreglajna (Marković, 1975).....	25
Tablica 6-14 Trajanje jedne faze bagera dreglajna u sekundama (Ferenščak, 1966).....	25
Tablica 6-15 Koeficijent privremene rastresitosti odnos je između volumena materijala u rastresitom stanju i onog u prirodnom stanju, te je kao takav uvijek veći od 1. (Marković, 1975).....	26
Tablica 6-16 Koeficijent otpora rezanju za kategorije iz tablice 6-17 (Marković, 1975) ...	27
Tablica 6-17 Kategorije materijala i njihovi otpori rezanju k_1 (Marković, 1975).....	27
Tablica 6-18 Koeficijent punjenja lopate k_p (Marković, 1975).....	27
Tablica 6-19 Vrijednosti koeficijenata kl, kd, ku i ku (Marković, 1975)	28
Tablica 6-20 Tablica koeficijenata $K_o - K_z - K_g$ (Ferenščak, 1966).....	29
Tablica 6-21 Tablični prikaz izmjerenih trajanja ciklusa bagera u sekundama	31
Tablica 6-22 Parametri radne sredine i stroja pri radu	32
Tablica 7-1 Ispis rezultata eksploatacijskog kapaciteta Q_e prema svim autorima	33
Tablica 7-2 Postotni odnos odstupanja računski dobivenih kapaciteta s terenski mjerenim	33

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

Oznaka	Opis	Jedinica
Q_0^I	teorijski kapacitet bagera po prvom načinu	(m^3/h)
Q_0^{II}	eksploatacijski kapacitet računan po drugom načinu	(m^3/h)
Q_e^I	eksploatacijski kapacitet računan po prvom načinu	(m^3/h)
Q_e^{II}	teorijski kapacitet bagera, očitani iz literature	(m^3/h)
V	volumen lopate bagera	(m^3)
T_0	teorijsko trajanje jednog radnog ciklusa bagera	(s)
T_{sr}	srednja aritmetička sredina trajanja ciklusa	(s)
k_v	koeficijent korištenja radnog vremena	-
k_0	koeficijent okreta bagera i visine radnog čela različite od optimalne	-
k_p	koeficijent punjenja bagerske lopate	-
k_r	koeficijent rastresitosti	-
α	omjer koeficijenta rastresitosti i punjenja lopate	-
k_g	koeficijent iskorištenja vremena, obzirom na radne uvjete	-
n	broj radnih ciklusa u jednoj minuti	-
t_1	vrijeme kopanja	(s)
t_2	vrijeme dizanja lopate do visine istovara	(s)
t_3	vrijeme okretanja bagera prema mjestu istresanja	(s)
t_4	vrijeme istovara ako se istovaruje u kamion	(s)
t_5	vrijeme okretanja s praznom lopatom u položaj zabacivanja	(s)
t_6	vrijeme zabacivanja i pada lopate	(s)
t_{oi}	vrijeme okretanja za istresanje	(s)
t_{ok}	vrijeme okretanja prema otkopnoj fronti	(s)

t_k	vrijeme kopanja	(s)
t_i	vrijeme istresanja	(s)
k_{or}	koeficijent otpora rezanja	-
k_{pr}	koeficijent privremene rastresitosti	-
k_v	koeficijent ukupnih gubitaka vremena, po satu rada	-
k_l	koeficijent premještanja	-
k_d	koeficijent prekida rada bagera uzrokovanog transportnim sredstvom	-
k_u	koeficijent kvalitete upravljanja strojem	-
H_{opt}	optimalna dubina iskopa	(m)
H_{real}	realna dubina kopanja	(m)

1. UVOD

Pri kupnji rudarske mehanizacije na odabir najčešće utječu mnogi faktori, a jedan od najznačajnijih je njihova učinkovitost.

Pod učinkom ili kapacitetom podrazumijeva se proizvodnja u jedinici vremena (po satu, smjeni) izražena zapreminski, težinski ili po komadu, u zavisnosti od prirode proizvodnje. (Trbojević, 1979).

Uobičajeno je da se u literaturi učinci stroja daju u obliku dijagrama ili tablica. Međutim, te se vrijednosti više-manje odnose na veoma povoljne, optimalne uvjete koji se u praksi ne mogu ostvariti nego na njih moramo primijeniti određene korekcijske čimbenike koji su karakteristični za svaki kop (Trbojević, 1979).

Pošto eksploatacija na površinskom kopu za koji se odabire bager može potrajati i do nekoliko desetaka godina, neophodno je pravilno odabrati bager koji svojim tehničkim mogućnostima odgovara potrebama kopa. Odstupanja itekako dolaze do izražaja kada se gomilaju kroz radni vijek bagera, a rezultiraju manjim iskorištenjem stroja ili ekonomskim nepravilnostima u koje će nas naš pogrešan odabir dovesti. Upravo zbog takvih specifičnosti svakog pojedinog kopa, neophodno je usporediti učinak stroja koji se nalazi u katalogu proizvođača strojeva s učinkom koji proizlazi iz terenskih mjerenja u radnoj sredini (Hodak, 2018).

Cilj ovog rada je usporediti kapacitet bagera dobivenog proračunima iz literature s onim koji proizlazi iz terenskih mjerenja, za konkretne uvjete koji vladaju na površinskom kopu građevnog šljunka i pijeska pod vlasništvom „Tegra d.o.o“ u Ivanovcu.

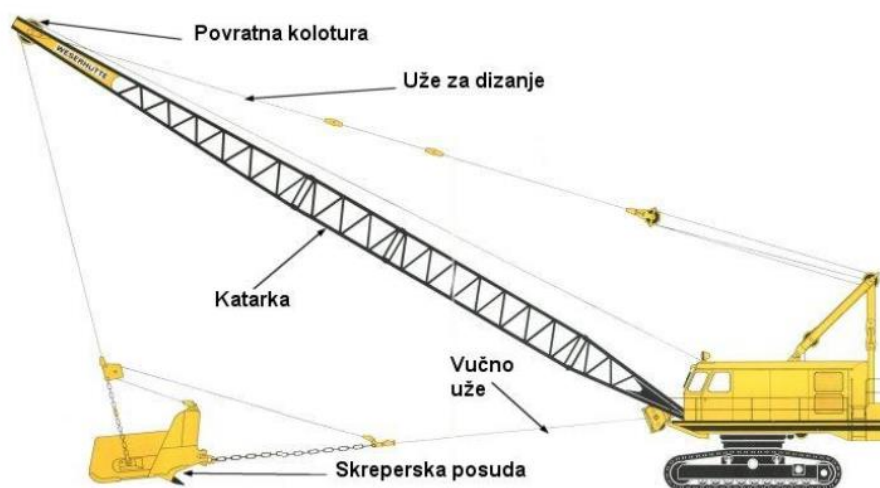
2. BAGER S POVLAČNOM LOPATOM (BAGER DREGLAJN)

Bager dreglajn ima široku primjenu u građevinarstvu i rudarstvu: na zemljanim radovima za velike i duboke iskope, na površinskim kopovima (za skidanje jalovine), za iskop širokih i dubokih kanala s istovremenom izradom nasipa, za produbljivanje i čišćenje kanala i rijeka. Sposoban je za rad u dubinskom ali i u visinskom zahvatu, no najčešće se primjenjuje u svrhu iskopa ispod nivoa bagera. (Marković, 1975)

Najefektivniji su kod rada u rastresitom materijalu, a posebno su pogodni za kopanje šljunkovitih i pjeskovitih tala. (Slunjski, 1995).

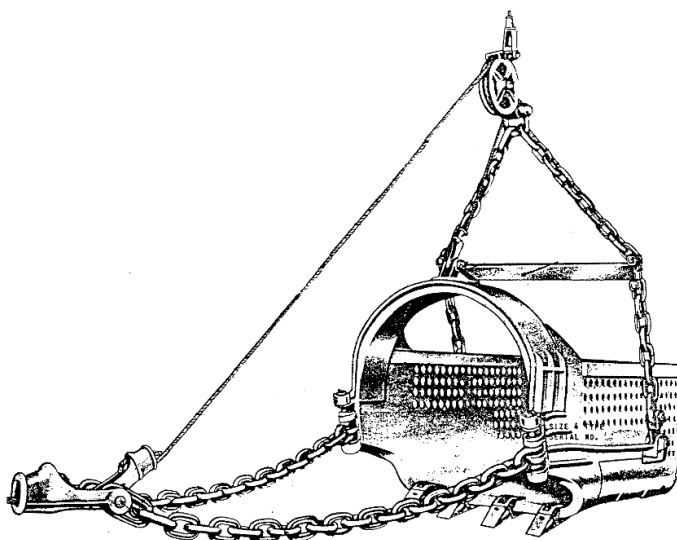
Ovaj bager spada u skupinu bagera s užetnom vezom katarke (ruke, strijele) s lopatom.

Ruka je rešetkasta konstrukcija montirana preko zglobove veze za gornji vrtivi dio bagera, a osim toga sadrži i povratnu koloturu za dizanje i spuštanje visećeg užeta, čime se postiže gibanje lopate kao kod skreperskog postrojenja (Kujundžić, 2015).



Slika 2-1: Bager dreglajn (Kujundžić, 2015)

Jedna od specifičnosti bagera dreglajna je njegova lopata, koja je otvorena odozgo i naprijed. Lopata dreglajna ima izdužen i koritast oblik na čijoj se gornjoj strani nalazi pojačanje spojeno preko koloture za prevrtanje s vučnim užetom. Težište lopate, bilo pune ili prazne, nalazi se ispred veze s nosećim užetom pomoću čega se lopata samostalno, koristeći ovakvo zanimljivo konstrukcijsko rješenje, okreće u položaj s otvorom prema dolje (Kujundžić, 2015).



Slika 2-2: Lopata bagera dreglajna (Promidžbeni materijal tvrtke Hendrix)

2.1 SASTAVNI DIJELOVI BAGERA DREGLAJNA

Kao i svi ostali bageri i dreglajn se sastoji od gornjeg okretnog stroja i donjeg pokretnog stroja. Na gornjem okretnom djelu su smješteni svi pogonski i radni mehanizmi, kao i sama katarka s radnim elementom. (Marković, 1975).

Donji stroj – Donji stroj bagera služi ponajprije za kretanje i za siguran prijenos aktivnih sila kojima bager djeluje na tlo na kojem se nalazi. Danas se bageri dreglajni najčešće kreću na gusjenicama, dok se za manje inačice primjenjuju pneumatici (gume) a puno rjeđe i uređaj za kretanje po tračnicama. Gusjenice donjeg stroja mogu biti oslonjene na sljedeće načine:

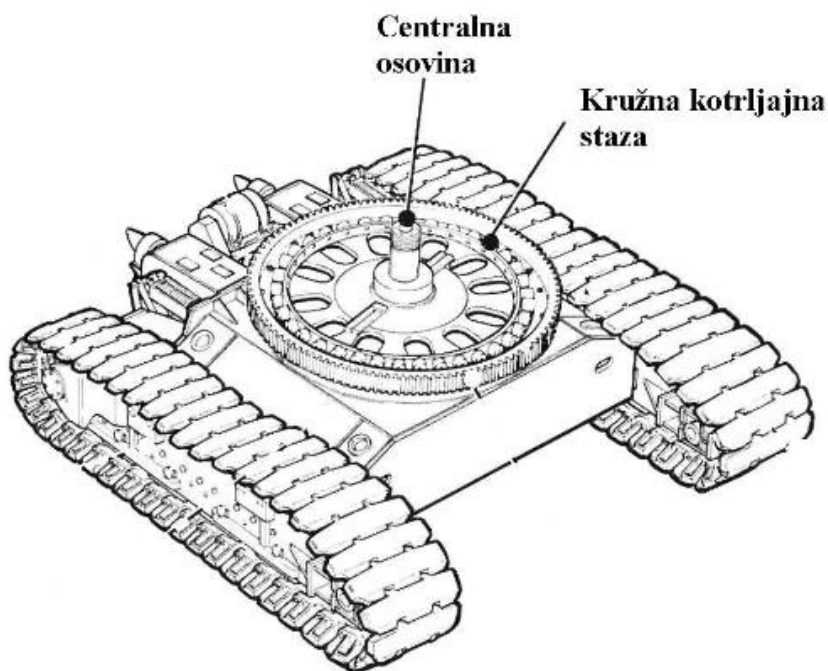
- između pogonskog i zateznog kotača nalazi se dva do tri pomoćna kotača istog promjera,
- gusjenice su oslonjene na više manjih kotačića, slično kao kod buldozera ili tenkova

(Trbojević, 1997).

Donji stroj, osim gusjenica, sadrži i čeličnu konstrukciju na koju se montiraju gusjenice. Kod vrlo velikih bagera dreglajna može se primijeniti i tzv. "koračajući uređaj".

Takav uređaj ima veliku kružnu ploču na kojoj bager leži za vrijeme rada. Na stranama se nalaze saonice koje su pomoću ekscentra, ojničke osovine ili hidrauličkim cilindrima vezane za bagersku kućicu. Kod koračanja, tj. kretanja, u jednom trenutku se diže cijeli bager s kućicom a u drugom se trenutku dižu stope, tako da bager na trenutak leži na pomoćnim stopama a na trenutak na osnovnoj kružnoj ploči. (Kujundžić, 2015).

Gornji okretni stroj – Vrti se oko osovine kojom je spojena s donjim strojem. Njegov donji dio, koji je sastavljen od međusobno zavarenih debelih limova, služi za prijenos težine bagera i momenata. Okretanje bagerske kućice ostvareno je pomoću jednog prstenastog vijenca unutar kojeg se nalazi kuglični ili valjkasti ležaj, koji je fiksno spojen s donjim dijelom, i jednog ili više zupčanika koji pripadaju gornjem djelu bagerske kućice a služe okretanju gornjeg okretnog stroja (Kujundžić, 2015 i Trbojević, 1979). U samoj bagerskoj kućici nalazi se pogonski motor, a pokraj njega upravljačka kabina, sustav kolotura i prateći mehanički elementi. Glede pogona, dizelski motori s unutrašnjim izgaranjem dominiraju u pogledu sviju ostalih, izuzev elektropogona koji se nalazi prvenstveno u bagerima velikih dimenzija. Komande za upravljanje mogu biti mehaničke ili hidrauličke, dok je prijenos sile ostvaren isključivo mehanički.



Slika 2-3: Donji stroj bagera i uređaj za zakretanje vrtivog djela (Kujundžić, 2015)

2.2 RAD BAGERA DREGLAJNA

Ovaj bager spada u izvedbu univerzalnog bagera s cikličkim načinom rada – što znači da svoj rad izvodi u ciklusima koji traju neko određeno vrijeme, a njihov početak i kraj može se jasno prepoznati.

Bageri cikličkog, tj. diskontinuiranog načina rada često su osnovni strojevi za eksploataciju mineralne sirovine na površinskom kopu. Mogu imati ulogu primarnog stroja, kojim se direktno iskapa sirovina i to rade većinom na kamenolomima, glinokopima i kopovima šljunka i pijeska. Također mogu obavljati pomoćne radove poput utovara, skidanja otkrivke, manipulacije s jalovinom i slično i to na velikim površinskim kopovima ugljena, ruda metala itd. Definicija bagera je samohodni stroj čiji je osnovni zadatak otkopavanje, bilo mineralne sirovine ili pak jalovine. Osim toga, još se koriste i u svrhu pripreme ležišta u radovima poput: izrada odvodnih kanala, uklanjanje otkrivke i jalovine, doziranje materijala u drobilice ili mlinove. Izradu nasipa i u druge svrhe koje ne moraju striktno biti rudarskog karaktera. (Galić i Živković, 1999).

Jedan ciklus rada bagera sastoji se od sljedećeg (Marković, 1975):

Prva faza – bacanje lopate (koja je perforirana za bolje cijedenje vode iz materijala) koja stoji u položaju za istovar, tj. visi na dižućem užetu. U ovom položaju vučno uže, koje je općenito deblje zbog njegove svrhe, blago je napeto da bi se lopata prestala okretati oko svoje osi i da se stvori potencijalna energija kojom lopata dobiva veći domet. Bager dreglajn započinje okretanje prema mjestu iskopa i to brzim okretom, ne bi li se generirala centrifugalna sila dovoljna da se lopata zabaci na najdalju točku njenog dometa. Vještom procjenom strojara u pravom trenutku otpuštaju se oba užeta, a lopata krene paraboličnom putanjom prema dolje, zabijajući se u tlo silom slobodnog pada.

Druga faza – kopanje lopate bagera postiže se povlačenjem vučnog užeta, s manjim pritezanjem visećeg. Vučno uže je spojeno s lancima preko spojnice s okretnim zglobovom zbog većeg habanja, koje je osobito slaba točka za žičano uže. Poslije završenog iskopa koji traje najmanje tri do četiri dužine lopate ili do kraja trajektorije iskopa (što je češće na kopovima građevnog pijeska i šljunka) završava druga faza rada bagera dreglajna.

Treća faza – dizanje lopate ostvaruje se namatanjem dižućeg užeta na bubnjeve. Vučno uže ostaje u zakočenom stanju da drži lopatu horizontalno. Kad je lopata bagera iznad vode,

započinje okretanje prema deponiju ili transportnom sredstvu koje čeka na utovar što je nešto rjeđe. Manevar dopreme lopate dreglajna na mjesto istovara izvodi se istovremenim okretanjem uz postepeno otpuštanje vučnog užeta u tolikoj mjeri da lopata dreglajna ostane u prvobitnom položaju da bi strojar spriječio rasipanje materijala. Noviji dreglajni u bubnju vučnog užeta imaju svojevrstan sistem potpomaganja istovara lopate. Također ima gumb na ručici za upravljanje vučnim užetom koji odmata točno onoliko vučnog užeta koliko ga viseće uže namota, rezultirajući savršeno statičnim položajem lopate. Stariji bageri oslanjaju se na nožnu komandu kočenja vučnog užeta i izvježbanost strojara. Kada lopata dospije na željenu lokaciju istovara, strojar otpusti vučno uže, spojeno bliže zadnjoj stranici lopate, a lopata se uslijed toga prevrće i isprazni.

Četvrta faza – bager se pomiče u početni položaj, primiće lopatu pomoću vučnog užeta bliže sebi te se proces ponavlja.

3. KAPACITET BAGERA

Kapacitet bagera jedna je od najbitnijih karakteristika bagera za rudarskog inženjera koji odabire povoljan stroj za potrebe rudnika. Odabrani bager mora biti kompatibilan s postojećom mehanizacijom, efikasno raditi u novoj sredini i zadovoljiti željene količine mineralne sirovine. Kvalificiran radnik također je uvjet od velike važnosti, pogotovo zbog specifičnosti rada s bagerom dreglajnom.

Određivanje kapaciteta bagera može se obaviti na dva načina (Trbojević, 1979 i Slunjski, 1995):

1) Prvi način karakterizira kretanje od vremenskog trajanja jednog radnog ciklusa, koji se sastoji od punjenja i dizanja lopate, okretanje bagera, istresanja lopate i vraćanje u početni položaj. Dalje se nadograđuje koeficijentima koje diktiraju utjecaji radne sredine, povoljni ili nepovoljni. Ovakav pristup u pravilu daje dobre rezultate ako se pravilno procjene svi utjecaji. Formula glasi:

$$Q_0^I = 3600 \cdot V / T_0 \quad (3.1)$$

$$Q_e^I = Q_0^I \cdot k_v \cdot k_0 \cdot k_p \cdot k_r \text{ (m}^3\text{/h)} \quad (3.2)$$

Gdje je:

Q_0^I – teorijski kapacitet bagera po prvom načinu (m^3/h)

V – volumen lopate bagera (m^3)

T_0 – teorijsko trajanje jednog radnog ciklusa bagera (s)

Q_e^I – praktični (eksploatacijski) kapacitet računan po prvom načinu (m^3/h)

k_v – koeficijent korištenja radnog vremena

k_0 – koeficijent okreta bagera i visine radnog čela različite od optimalne

k_p – koeficijent punjenja bagerske lopate

k_r – koeficijent rastresitosti

2) Drugi način kreće od teorijskog kapaciteta datog u prospektu određenog stroja, koji se dalje smanjuje na temelju popravni koeficijenata. Ti popravni koeficijenti ovise o različiti optimalnih uvjeta i stvarnih uvjeta u kojem želimo da bager radi. Računa se prema formuli:

$$Q_e'' = Q_0'' \cdot k_v \cdot k_0 \cdot k_p \cdot k_r \cdot k_g \text{ (m}^3/\text{h)} \quad (3.2)$$

Gdje je:

Q_e'' – praktični (eksploatacijski) kapacitet računan po drugom načinu (m^3/h)

Q_0'' – teorijski kapacitet bagera, očitani iz literature (m^3/h)

k_g – koeficijent iskorištenja vremena, obzirom na radne uvjete

3.1 TEORIJSKI KAPACITET BAGERA (Q_0)

Teorijski kapacitet predstavlja maksimalni izračunati učinak radnog stroja s teorijskim volumenom u lopati koji odgovara geometrijskom volumenu lopate. Lopata se uzima ispunjena materijalom u prirodnom, a ne rastresenom stanju, kakav on zapravo jest nakon iskopa. U proračun se također uzima optimalno trajanje pojedinih radnih operacija, bez zastoja osim onih koji su neophodni, u kratkom i neprekidnom radu stroja. Upravo taj učinak nalazi se u katalogu strojeva koje određeni proizvođač nudi.

Teorijski kapacitet je osnova za proračun tehničkog i eksploatacijskog učinka, također nam služi za usporedbu raznih strojeva s različitim konstruktivnim, kinematskim i računskim parametrima pod različitim uvjetima rada. (Marković, 1975).

Teorijski kapacitet bagera s cikličkim načinom rada računa se prema formuli (Marković, 1975 i Ferenščak, 1966):

$$Q_0 = 60 \cdot V \cdot n = 60 \cdot V \cdot \frac{60}{T_0} \text{ (m}^3/\text{h)} \quad (3.1.1)$$

Gdje je:

n – broj radnih ciklusa u jednoj minuti

Prema Markoviću, teorijsko vrijeme trajanja jedne operacije računa se zbrajanjem trajanja njenih faza.

$$T_0 = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 \quad (3.1.2)$$

Gdje je:

t_1 – vrijeme kopanja (s)

t_2 – vrijeme dizanja lopate do visine istresanja (s)

t_3 – vrijeme okretanja bagera prema mjestu istovara (s)

t_4 – vrijeme istovara ako se istovaruje u kamion (s)

t_5 – vrijeme okretanja s praznom lopatom u položaj zabacivanja (s)

t_6 – vrijeme zabacivanja i pada lopate (s)

Vrijednosti nekih parametara obuhvaćene su u jednoj fazi rada bagera, pa se t_2 i t_3 zajedno prikazuju kao t_{oi} , odnosno vrijeme okretanja za istresanje, isto kao i t_5 i t_6 koji zajedno čine t_{ok} , to jest vrijeme okretanja prema otkopnoj fronti, dok je vremenski parametar t_1 označen kao t_k (vrijeme kopanja) a t_6 kao t_i (vrijeme istresanja). (Marković, 1975) (tablica 6-13).

3.2 TEHNIČKI KAPACITET (Q_t)

Predstavlja najveći satni učinak postignut uz savršenu organizaciju rada, tj. bez prekida osim onih tehnički neizbježnih. Pri proračunu tehničkog kapaciteta se, isto kao i kod proračuna teorijskog kapaciteta, računa s iskopanim volumenom materijala u prirodnom stanju, iako se iskapanjem materijal rastresa, što rezultira većim ili manjim zapunjavanjem lopate. Za razliku od teorijskog kapaciteta, ovdje se u obzir uzimaju stvarne karakteristike materijala, poput rastresitosti, granulometrijski sastav i ljepljivost (Hodak, 2018).

Prelaskom iz teoretskog na tehnički kapacitet, javlja se potreba za uvođenjem sljedećih čimbenika (Marković, 1975):

- Koeficijent rastresitosti materijala, koji je određen odnosom volumena rastresitog materijala u lopati, i onog u prirodno zbijenom stanju. Uvijek je veći od 1. Vrijednost koeficijenta rastresitosti dana je u tablici 6-15.
- Koeficijent otpora rezanja zbijenog materijala, koji utječe na smanjenje brzine rezanja noža na bagerskoj lopati u odnosu na teoretsku, a njegov iznos nalazi se u tablici 6-16.

- Koeficijent punjenja lopate koji ovisi o odnosu stvarnog volumena materijala u lopati i geometrijski dobivenog volumena lopate (tablica 6-18)

Na ovaj način tehnički kapacitet se proračunava pomoću formule (Marković, 1975):

$$Q_t = Q_0 \cdot \frac{k_{or} \cdot k_{pr}}{k_r} (m^3/h) \quad (3.2.1)$$

Gdje je:

k_{or} – koeficijent otpora rezanja

k_{pr} – koeficijent privremene rastresitosti

Tehnički kapacitet bagera služi za usporedbu rada bagera u različitim tipovima materijala ili uspoređivanje različitih tipova bagera u istom materijalu (Marković, 1975). Ferenščak (1966) je tehnički kapacitet izuzeo pa njegov način proračuna eksploatacijskog kapaciteta proizlazi izravnom korekcijom teorijskog.

3.3 EKSPLOATACIJSKI KAPACITET (Q_e)

U proračunu eksploatacijskog učinka stroja uzimaju se stvarni uvjeti i karakteristike materijala isto kao i kod tehničkog, ali se nadodaje koeficijent iskorištenja vremena, što prikazuje stvarno vrijeme korištenja stroja (Marković, 1975).

Koeficijent iskorištenja vremena uvodi se kako bi pokrio nepovoljne utjecaje na kapacitet stroja poput: ne kvalitetna organizacija rada stroja, nepredviđeni kvarovi i zastoji u radu uslijed točenja goriva tijekom smjene, premještanju stroja, manji popravci na stroju i slično. Kako tehničke nesavršenosti utječu na učinak stroja, isto tako utječe i ljudski faktor, što znači da je eksploatacijski učinak ovisan i o uvježbanosti i stručnosti strojara. Korekcija tehničkog kapaciteta u eksploatacijski glasi (Marković, 1975) :

$$Q_e = Q_t \cdot k_v, (m^3/h) \quad (3.3.1)$$

Gdje je:

k_v – koeficijent ukupnih gubitaka vremena, po satu rada

Prema Domborovskom (1961, 1965, 1969), koji je grupirao gubitke tehničke i ljudske

prirode u jedan koeficijent k_v , *on glasi*:

$$k_v = k_l \cdot k_d \cdot k_u \quad (3.3.2)$$

Gdje je:

k_l – koeficijent premještanja

k_d – koeficijent prekida rada bagera uzrokovanog transportnim sredstvom

k_u – koeficijent kvalitete upravljanja strojem

Pa konačni izraz za eksploatacijski učinak glasi:

$$Q_e = Q_t \cdot k_v = Q_t \cdot k_l \cdot k_d \cdot k_u (m^3/h) \quad (3.3.3)$$

Prema Ferenščaku (1966), efektivni učinak bagera dreglajna računa se prema formuli:

$$Q_e = V \cdot n \cdot \frac{K_o}{K_z} \cdot K_g = V \cdot \frac{3600}{T} \cdot \alpha (m^3/h) \quad (3.3.4)$$

4. OPIS LEŽIŠTA

Šljunčara „Ivanovec“, na kojoj su provedena terenska mjerenja nalazi se u Međimurskoj županiji, udaljena oko 5 kilometara od Čakovca i u vlasništvu je trgovačkog društva -Tegra d.o.o iz Čakovca. Bager dreglajn je u vlasništvu kooperanta, tvrtke Mišić d.o.o.

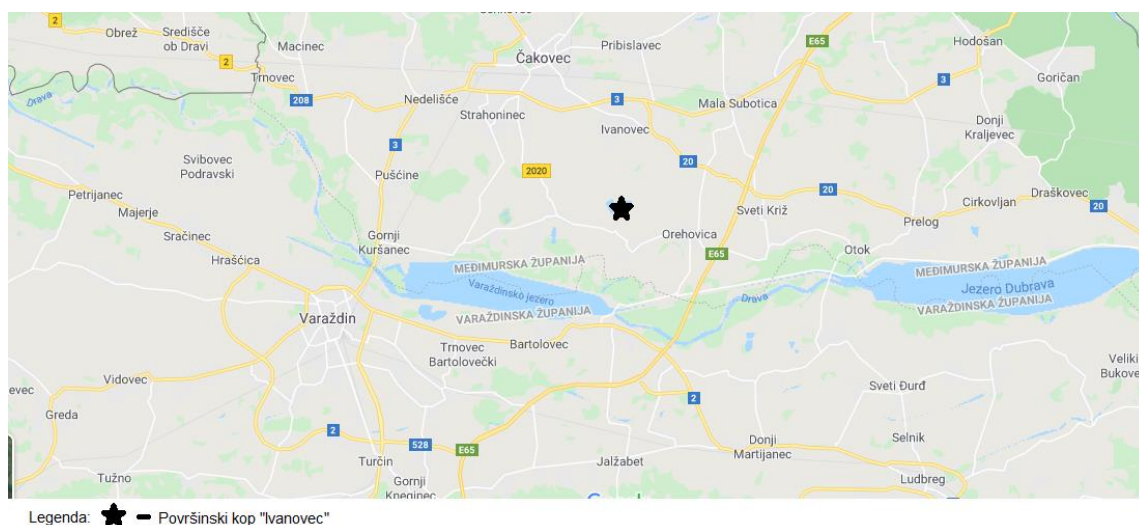
Šire područje šljunčare pripada dolini rijeke Drave, s aluvijalnim sedimentima pleistocenske i holocenske starosti. Na ležištu je provedeno istražno bušenje s 32 istražne bušotine ukupne duljine 780 m, s po 9 bušotina od 10 metara i 23 bušotine duljine 30 metara. Bušotine nisu međusobno razmaknute na način koji nalaže pravilnik, a to je prvenstveno zbog financijski skupljeg bušenja s platforme usred jezera, pa je svrstavanje rezervi u "B" kategoriju omogućeno zbog jednolikosti sastava i rasprostiranja šljunka. Površina odobrenog eksploatacijskog polja je nepravilnog oblika sa 7 lomnih točaka i veličine 90 hektara.

Šljunak i pijesak se eksploatiraju u 2 faze, prvu fazu obavlja bager dreglajn od kote 158 metra nadmorske visine do 150 m, a drugu, koja je projektirana u dopunskom rudarskom projektu, obavlja skrepersko postrojenje od 150 m.n.v. do 138, predviđena je i treća faza eksploatacije, a izvoditi će se plovnim bagerom u budućnosti do kote 128. Prema trenutnim potrebama šljunka na tržištu, godišnje je potrebno eksploatirati cca 300 000 m³ šljunka (Perčić, 2019).

4.1 RUDARSKO-GEOLOŠKI PODACI O LEŽIŠTU

Kao što je ranije rečeno, ležište sadrži dio Dravskog aluviola s holocenskim i pleistocenskim šljuncima u pretežitosti. Debljina ležišta određena je dubinom istražnih bušotina i iznosi 30 metara. Nastalo je taloženjem u vodenom toku uz visoku energiju tečenja, počelo je u pleistocenu a završilo u holocenu, spuštanjem dna Dravskog korita uslijed novih tektonskih poremećaja, no postgenetskih tektonskih poremećaja nema. U višim dijelovima ležišta šljunci su sitnije granulacije s puno pjeskovite frakcije, dok porastom dubine raste i veličina šljunkovitih valutica, dok sadržaj pijeska pada. Prijelaz je postepen, bez vidljive granice. Prema "Jedinstvenoj klasifikaciji tla" (USC – Unified Soil Classification) šljunci ležišta pripadaju grupi GP, s prijelazom u grupu GW i GS.". Gustoća suhog materijala iznosi 2,7 g/cm³ (Perčić, 2019).

Mineraloško-petrografski sastav sedimenta dominantno je sačinjen od valutica kvarca i kvarcita, s učešćem fragmenata rožnjaka, piroklastita i efuzivnih stijena. Sadržaj karbonatnih stijena i minerala jako je malen. Područja središnjih Alpi i masivi Pohorja i Kozjaka glavni su izvor materijala iz kojeg je nastao sediment, a karakterizira ih nizak i visok stupanj metamorfoze. Otkrivka je, kao geomehanički horizont, "prašinasti pijesak s glinovitim vezivom i humusnom komponentom, prosječne debljine 0,3 m." Ova laboratorijska istraživanja obavljena su u Institutu građevinarstva Hrvatske (Perčić, 2019).



Slika 4-1: Zemljopisni položaj šljunčare „Ivanovec“ (Google karte, 2020)

4.2 KVALITETA ŠLJUNKA

Prema laboratorijskim rezultatima ispitivanja upotrebljivosti građevnog pijeska i šljunka, dato je mišljenje da je materijal pogodan za (Perčić, 2019):

- separiranje u mineralni agregat za beton i armirani beton, te za proizvodnju žbuka
- neseparirani materijal dobar je za izradu donjih, nosivih slojeva za ceste svih opterećenja, isto kao i za izradu bitumeniziranih nosećih slojeva za ceste pod opterećenjem 3. do 5. razreda
- separirani materijal pogodan je za izradu gornjeg habajućeg sloja za ceste s opterećenjem 5. razreda

5. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE BAGERA

Odabrani bager dreglajn na kojem su obavljena mjerenja i čiji se će se kapaciteti razmatrati je Weserhutte SW 191. Prvobitni pogonski motor bio je električni, no zbog teškoća kojeg takva vrsta pogona donosi, zamijenjen je s motorom SUI na dizelsko gorivo.

Glavne tehničke karakteristike bagera navedene su u tablici 5-1.

Tablica 5-1 Tehničke karakteristike bagera s povlačnom lopatom, tipa Weserhutte SW 191

Volumen lopate (m ³)	2,4
Snaga pogonskog motora (kW)	208,6
Potrošnja goriva (l/h)	20
Masa bagera (kg)	72 000
Dužina katarke (m)	20
Nagib rešetkaste ruke od vertikale (°)	38
Maksimalna visina istovara (m)	9
Brzina kretanja (km/h)	0,5
Trajanje ciklusa pri okretu od 90° (s)	
- aritmetička vrijednost	42,8
- medijan	42,9

6. PRORAČUN KAPACITETA PREMA LITERATURNIM IZVORIMA

6.1 PRORAČUN EKSPLOATACIJSKOG KAPACITETA PO 1. NAČINU

Prema Trbojeviću (1979) i Slunjskom (1995), eksploatacijski kapacitet bagera dreglajna može se proračunati pomoću vremenskog trajanja jednog radnog ciklusa, koji se korigira koeficijentima ovisnima o radnoj sredini. Polazna formula za proračun je ista, dok oba autora daju različite vrijednosti koeficijenata radnih uvjeta, stoga će se proračun obaviti odvojeno. Osnovna formula glasi (Trbojević, 1979 i Slunjski, 1995) :

$$Q_0^I = 3600 \cdot V / T_0 \quad (3.1)$$

$$Q_e^I = Q_0^I \cdot k_v \cdot k_o \cdot k_p \cdot k_r \text{ (m}^3\text{/h)} \quad (3.2)$$

Teorijski kapacitet bagera sastoji se od volumena lopate bagera koja je zadana kao jedna od osnovnih tehničkih karakteristika. Vremensko trajanje ciklusa bagera T_0 ovisi o vrsti iskopa (tablica 6-1. i 6-2.) i o kutu okretanja koji iznosi 90° uz optimalnu visinu odnosno dubinu iskopa (Trbojević, 1979).

Tablica 6-1 Trajanje radnog ciklusa u sekundama za okret od 90° (Trbojević, 1979)

Vrsta iskopa	Volumen lopate bagera dreglajna								
	0,38	0,57	0,75	0,95	1,15	1,53	1,91	2,30	3,06
	Trajanje ciklusa u sekundama (T_0)								
Lak	26	29	32	32	32	35	38	40	42
Srednje težak	32	35	38	38	38	43	45	48	52
težak	40	42	48	48	48	53	54	56	60

Tablica 6-2 Trajanje radnog ciklusa u sekundama za okret od 90° (Slunjski, 1995)

Obujam povlačne lopate u m ³	0,38	0,57	0,75	0,95	1,15	1,53	2,30
Uvjeti težine iskopa	Trajanje ciklusa T_0 u sekundama						
Laki	26	29	32	32	32	35	40
Srednje teški	32	35	38	38	38	43	45
Teški	40	42	48	48	48	53	54

Ovdje volumen kojeg ima lopata na bageru nije naveden, stoga je trajanje ciklusa T_0 dobiveno pomoću ekstrapolacije vrijednosti pomoću Excela. Jednostavnom funkcijom TREND u Excelu je moguće ekstrapolirati vrijednosti ove tablice za potrebiti volumen lopate $V=2,4\text{ m}^3$. Upišemo funkciju =TREND u redak za formule i označimo najprije poznate vrijednosti trajanja ciklusa, zatim označimo vrijednosti volumena koje su poznate i još označimo vrijednost za koju je T_0 nepoznat. Na kraju moramo potvrditi konstantu s kojom Excel izračunava tijekom funkcije, konstantu 'b'. Da bismo odabrali normalno proračunatu konstantu 'b' u nastavak upišemo TRUE. Slikoviti prikaz načina ekstrapoliranja prikazan je na primjeru tablice autora Slunjski i takav će se postupak koristiti za sve vrijednosti kojih nema u tablicama. Tako dobiveno vrijeme trajanja ciklusa iznosi 39,7 sekundi po Trbojeviću i 40,9 sekundi za vrijednosti iz tablice Slunjskog. U oba slučaja vrsta iskopa je odabrana kao lak iskop zbog svojstava materijala.

=TREND(O30:O36;N30:N36;N37;TRUE)			
Slunjski			
V(m ³)	T	T	
0,38	26		32
0,57	29		35
0,75	32		38
0,95	32		38
1,15	32		38
1,53	35		43
2,3	40		45
2,4	=TREND(N37;TRUE)		46,83071067
	40,855998		
	lak		srednje težak

Slika 6-1: Prikaz postupka ekstrapolacije vrijednosti u Excelu

Nedvojbeno je da kutevi okretanja bagera, isto kao i visine radnog čela mogu biti različiti za svaki površinski kop, pa tako i za šljunčaru "Ivanovec", zbog čega je potrebno uvesti korekcijski faktor k_0 . Kut okreta bagera iznosi 90° , a odnos optimalne i realne dubine radnog čela dobiven je tako da se najprije utvrdila optimalna dubina ekstrapolacijom za volumen lopate od $2,4\text{ m}^3$ (tablica 6-3 i 6-4).

Tablica 6-3 Vrijednosti optimalnih učinaka i dubine iskopa (Trbojević, 1979)

Vrsta materijala	Volumen skreperske lopate (m ³)								
	0,28	0,38	0,575	0,76	0,95	1,15	1,34	1,53	1,91
	Kapacitet u m ³ /h – optimalna dubina iskopa (m)								
Rahlo tlo s primjesama pijeska i gline	53 1,52	73 1,67	99 1,82	122 1,98	150 2,13	168 2,23	187 2,31	202 2,43	233 2,56
Pijesak i šljunak	49 1,52	69 1,67	96 1,82	119 1,98	142 2,13	160 2,23	179 2,31	195 2,43	226 2,56
Obična zemlja	42 1,82	57 2,0	80 2,23	103 2,43	126 2,56	145 2,74	161 2,87	176 2,97	202 3,17
Tvrda, zbijena glina	27 2,21	42 2,43	69 2,61	84 2,81	103 3,04	126 3,22	138 3,42	149 3,45	176 3,73
Vlažna i ljepljiva glina	15 2,21	23 2,43	42 2,61	57 2,81	83 3,04	84 3,22	99 3,42	111 3,55	133 3,73
Volumen lopate u kubnim jardima	0,37	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,5

Tablica 6-4 Vrijednosti optimalnih učinaka i dubine iskopa (Slunjski, 1995)

Vrsta materijala	Volumen povlačne lopate u m ³							
	0,38	0,57	0,75	0,95	1,15	1,34	1,53	1,91
	Kapacitet u m ³ /h – optimalna dubina iskopa (m)							
Pjeskovita i rahla zemlja	73 1,67	99 1,82	122 1,98	150 2,13	166 2,23	187 2,31	202 2,43	233 2,56
Pijesak i šljunak	69 1,67	96 1,82	119 1,98	142 2,13	160 2,23	179 2,31	195 2,43	226 2,56
Tvrdo zbijena glina	42 2,43	69 2,61	84 2,81	103 3,04	126 3,22	138 3,42	149 3,55	176 3,73
Vlažna glina	23 2,43	42 2,61	57 2,81	83 3,04	84 3,22	99 3,42	111 3,55	133 3,73

Trbojević	kapacitet	opt.vis	volumen	Slunjski	kapacitet	opt.vis	volumen
pijesak/ šljunak	49	1,52	0,28	pijesak/ šljunak	69	1,67	0,38
	69	1,67	0,38		96	1,82	0,57
	96	1,82	0,575		119	1,98	0,75
	119	1,98	0,76		142	2,13	0,95
	142	2,13	0,95		160	2,23	1,15
	160	2,23	1,15		179	2,31	1,34
	179	2,31	1,34		195	2,43	1,53
	195	2,43	1,53		226	2,56	1,91
	226	2,56	1,91		283,1940	2,9178	2,4
ekstrapolacija	289,04	2,97	2,4				

Slika 6-2: Ekstrapolacija optimalne visine za traženi volumen lopate

Poznavanjem vrijednosti optimalne dubine iskopa (H_{opt}), možemo odrediti postotak odstupanja realne dubine (H_{real}), koja iznosi 8m (tablica 5.1), od optimalne čiji iznos se vidi na slici iznad.

$$\left(\frac{100}{H_{opt}}\right) \cdot H_{real} = \left(\frac{100}{2,92}\right) \cdot 8 = 274 \% \quad (6.1.1)$$

Sad kad smo izračunili odnos optimalne dubine i realne dubine radnog čela, ekstrapolacijom konačno dolazimo do koeficijenta k_0 .

Tablica 6-5 Korekcijski faktor za kut okreta i visinu odnosno dubinu radnog čela različito od optimalne k_0 (Trbojević, 1979)

Odnos u postocima od optimalne visine odnosno dubine radnog čela	Bager sa skreperskom lopatom							
	Kut okreta u stupnjevima							
	30°	45°	60°	75°	90°	120°	150°	180°
	Korekcijski faktor k_0							
20%	1,06	0,99	0,94	0,90	0,87	0,81	0,76	0,70
40%	1,17	1,08	1,02	0,97	0,93	0,85	0,78	0,72
60%	1,24	1,13	1,06	1,01	0,97	0,88	0,80	0,74
80%	1,29	1,19	1,09	1,04	0,99	0,90	0,82	0,76
100%	1,32	1,17	1,11	1,05	1,00	0,91	0,83	0,77
120%	1,29	1,17	1,09	1,03	0,98	0,90	0,82	0,76
140%	1,25	1,14	1,06	1,00	0,96	0,88	0,81	0,75
160%	1,20	1,10	1,02	0,97	0,93	0,85	0,79	0,73
180%	1,15	1,06	0,98	0,94	0,90	0,82	0,76	0,71
200%	1,10	1,00	0,94	0,90	0,87	0,79	0,73	0,69

Tablica 6-6 Korekcijski faktor za kut okreta i dubinu radnog čela različito od optimalne k_z (Slunjski, 1995)

Kut zaokreta u stupnjevima	45	60	75	90	120	150	180
Postoci od optimalne visine radnog čela	Korekcijski koeficijent k_z						
20%	0,93	0,89	0,85	0,80	0,72	0,65	0,59
40%	1,10	1,03	0,96	0,91	0,81	0,73	0,65
60%	1,16	1,07	1,00	0,94	0,84	0,75	0,68
80%	1,22	1,12	1,04	0,98	0,86	0,77	0,69
100%	1,26	1,16	1,07	1,00	0,88	0,79	0,71
120%	1,20	1,11	1,03	0,97	0,86	0,77	0,70
140%	1,16	1,08	1,00	0,94	0,84	0,75	0,68
160%	1,12	1,04	0,97	0,91	0,81	0,73	0,66
180%	0,07	1,00	0,93	0,88	0,78	0,70	0,64
200%	1,03	0,96	0,90	0,85	0,75	0,67	0,62

Trbojević		Slunjski	
zaokret	90	90	
odnos[%]	ko	odnos[%]	ko
100	1	100	1
120	0,98	120	0,97
140	0,96	140	0,94
160	0,93	160	0,91
180	0,9	180	0,88
200	0,87	200	0,85
274	0,78	274	0,74

Slika 6-3: Ekstrapolacija koeficijenta k_0 pomoću odnosa realne i optimalne dubine kopanja

Na kapacitet također utječe i koeficijent punjenja lopate, koji će za ovisiti o tipu materijala koji se iskapa. Koeficijent punjenja lopate k_p za koherentne materijale je veći a za nekoherentne materijale manji od 1. Za proračun je uzeta vrijednost $k_p = 0,95$ za račun po oba autora zbog sitnog šljunka i pijeska koji se lako iskapaju (tablica 6-7 i 6-8).

Tablica 6-7 Vrijednosti koeficijenta punjenja lopate k_p (Trbojević, 1979)

Vrsta materijala i radova	Koeficijent punjenja lopate	
	Visinska lopata (%)	Skreperska lopata (%)
Laki iskop – rastresiti materijali poput pijeska i sitnog šljunka, rahle zemlje ili pjeskovite gline. Dobra popunjenost lopate s tzv „kapom“ (materijal „povrh“) koja kompenzira za rastresitost	95 – 100	95 – 100
Srednji iskop – tvrdi materijali poput krupnog šljunka, zbijene zemlje i vlažne ili suhe ilovače	85 – 90	80 – 90
Srednje tvrdi iskop – odnosi se na materijal koji prethodno treba minirati	70 – 80	65 – 75
Tvrdi iskop – materijal s izraženom blokovitosti ili u obliku ploča, pomiješan s finijim česticama, poput pješčenjaka, konglomerata i tvrde ili plastične gline	50 – 70	40 – 65

Tablica 6-8 Vrijednosti koeficijenta punjenja lopate k_p (Slunjski, 1995)

Uvjeti iskopa	K_p	%
Laki	0,95 – 1,0	95 – 100
Srednje teški	0,78 – 0,85	78 – 85
Teški	0,50 – 0,70	50 - 70

Proračunske rezerve i kapaciteti stroja često se računaju s materijalom u zbijenom stanju, tj. takvim kakav on jest na lokaciji. No prilikom iskopa on se rastresa, te se eksploatirana količina materijala razlikuje od one koja se nalazi na deponiju, ta zavisnost obuhvaćena je koeficijentom rastresitosti k_r . Odabrani koeficijent rastresitosti za mokri šljunak kod proračuna po Trbojeviću iznosi $k_r=0,88$, dok je iz tablice Slunjskog uzeta vrijednost za pijesak i šljunak i iznosi $k_r=0,85$ (tablica 6-9 i 6-10).

Tablica 6-9 Težine materijala i rastresitost (Trbojević, 1979)

Materijal	Težina u prirodnom stanju (kN/m ³)	Rastresitost (%)	Koeficijent rastresitosti (k_r)	Težina u rastresitom stanju (kN/m ³)
Suha glina	13,70	25	0,88	10,90
Laka glina	16,60	30	0,77	12,80
Zbijena, vlažna i žilava glina	17,80	33	0,75	13,40
Suha zemlja	16,60	25	0,80	13,30
Vlažna zemlja	20,00	25	0,80	16,00
Zemlja s pijeskom i šljunkom	18,40	18	0,85	15,70
Mješavina zemlje i kamena	14,90 - 17,80	30	0,77	11,40 – 13,70
Suhi šljunak	19,30	12	0,89	17,20
Mokar šljunak	21,40	14	0,88	19,00
Mješavina ilovače i humusa	16,00	20	0,83	13,30
Dobro minirana tvrda stijena	23,80	50	0,67	15,90
Drobljenac	19,30 – 23,30	35	0,74	14,30 – 17,20
Škriljci, meke stijene	17,80	33	0,75	13,40

Tablica 6-10 Težine materijala i rastresitost (Slunjski, 1995)

Vrsta prirodnog materijala	Prirodno stanje (kg/m ³)	Rastresitost %	Koeficijent rastresitosti k_r	Rastresito stanje (kg/m ³)
Stijena – monolitna	2380	50	0,67	1590
Stijena – trošna	1930-2330	35	0,74	1430-1720
Drobina – oblutci	1780	33	0,75	1340
Šljunak – suhi	1930	14	0,88	1700
Šljunak – mokri	2140	20	0,83	1770
Pijesak i šljunak	1840	18	0,85	1570
Suh vezani materijal	1660	25	0,80	1330
Vlažan vezani materijal	2000	25	0,80	1600
Poluvlažan vezani materijal	1600	20	0,83	1330
Vlažna glina	1780	33	0,75	1340
Glina s org. Primjesama	1690	30	0,77	1280
Suha glina i treset	1370	25	0,80	1090

Na kraju moramo uzeti u obzir stvarno, efektivno vrijeme rada bagera s povlačnom lopatom prema ukupnom radnom vremenu. Vrijednosti parametra k_v (tablica 6-11) dobivene su iskustvenim podacima, mjerenjem na mnoštvu sličnih površinskih kopova. Koeficijent korištenja radnog vremena k_v , koji ovisi ponajprije o iskustvu strojara, uzet je za odlične radne uvjete $k_v=0,92$. Ovakav koeficijent uzet je zbog mekanog materijala koji se iskapa, dobrom stanju stroja i strojara koji vješto upravlja bagerom.

Tablica 6-11 Koeficijent korištenja radnog vremena (Trbojević, 1979 i Slunjski, 1995)

Radni uvjeti	Trajanje efektivnog radnog sata u minutama	Vrijednost koeficijenta korištenja radnog vremena k_v
Odlični	55	0,92
Prosječni	50	0,83
Nepovoljni	40	0,67

Prema formuli za eksploatacijski kapacitet po prvom načinu uz vrijednosti koje je dao Trbojević, od koji su T_0 i k_0 dobivene ekstrapolacijom slijedi:

$$Q_0^I = 3600 \cdot V / T_0 = 3600 \cdot 2,4 / 39,7 = 217,6 \text{ m}^3/h \quad (3.1)$$

$$Q_e^I = Q_0^I \cdot k_v \cdot k_o \cdot k_p \cdot k_r = 217,6 \cdot 0,92 \cdot 0,78 \cdot 0,95 \cdot 0,88 = 131,0 \text{ m}^3/h \quad (3.2)$$

Dok je po autoru Slunjski on nešto manji, i iznosi:

$$Q_0^I = 3600 \cdot V / T_0 = 3600 \cdot 2,4 / 40,9 = 211,5 \text{ m}^3/h \quad (3.1)$$

$$Q_e^I = Q_0^I \cdot k_v \cdot k_o \cdot k_p \cdot k_r = 211,5 \cdot 0,92 \cdot 0,74 \cdot 0,95 \cdot 0,85 = 116,3 \text{ m}^3/h \quad (3.2)$$

6.2 PRORAČUN EKSPLOATACIJSKOG KAPACITETA PO DRUGOM NAČINU

Za proračun po drugom načinu polazi se od optimalnih uvjeta koji se smanjuju za vrijednosti koeficijenata, dobivenih istraživanjem u specijaliziranim organizacijama, da bi se dobio rezultat koji odgovara stvarnom eksploatacijskom kapacitetu stroja u prisutnim uvjetima. Polazna formula prema Trbojeviću (1979) i Slunjskom (1995) razlikuje se po tome što je Slunjski uključio vrijednost koeficijent korištenja radnog vremena k_v u koeficijent gradilišta k_g :

$$Q_e^{II} = Q_0^{II} \cdot k_v \cdot k_o \cdot k_p \cdot k_r \cdot k_g \text{ (m}^3/h\text{)} \text{ (Trbojević, 1979)} \quad (3.2)$$

$$Q_e^{II} = Q_0^{II} \cdot k_o \cdot k_p \cdot k_r \cdot k_g \text{ (m}^3/h\text{)} \text{ (Slunjski, 1995)} \quad (6.1.2.1)$$

Koeficijenti čije su vrijednosti već spominjane u postupku proračuna prema prvom načinu koriste se i u ovom načinu. Uvodi se koeficijent gradilišta k_g , koji ovisi o vještini strojara u rukovođenju strojem i o uvjetima organizacije rudnika. Za odabir koeficijenta k_g uzeto je da je organizacija površinskog kopa odlična zbog prethodno poravnate i zbijene podloge ispod bagera, a rukovođenje bagerom uzeto je također kao odlično zbog 20-tak godina radnog iskustva strojara. Vrijednost k_g stoga iznosi 0,84 kod oba autora (tablica 6-12).

Tablica 6-12 Koeficijent gradilišta k_g (Trbojević, 1979 i Slunjski, 1995)

Rukovođenje strojevima	Organizacija površinskog kopa			
	Odlična	Dobra	Srednja	Loša
Odlično	0,84	0,81	0,76	0,70
Dobro	0,78	0,75	0,71	0,65
Srednje	0,72	0,69	0,65	0,60
Loše	0,63	0,61	0,57	0,52

Kapacitet se pri ovakvom pristupu očitava iz literature, koji se koristi samo za usporedbu s računski dobivenim teorijskim kapacitetom. Ovakav teorijski kapacitet dobiven je u savršenim uvjetima, u kratkom vremenu i s radnicima koji su nedvojbeno majstori u svojem pozivu i upravljaju strojevima u savršenom stanju. Takvi teorijski učinci dobiveni su ekstrapolacijom podataka u tablicama 6-3 i 6-4. (Trbojević, 1979).

Prema Trbojeviću, eksploatacijski kapacitet sada računan po 2. načinu uz ekstrapolaciju teorijskog kapaciteta iznosi:

$$Q_e^{II} = Q_0^{II} \cdot k_v \cdot k_0 \cdot k_p \cdot k_r \cdot k_g = 289,0 \cdot 0,92 \cdot 0,78 \cdot 0,95 \cdot 0,88 \cdot 0,84 = 146,2 \text{ m}^3/\text{h} \quad (3.2)$$

I prema Slunjskom, također uz ekstrapolaciju teorijskog kapaciteta zbog lopate volumena $2,4\text{m}^3$:

$$Q_e^{II} = Q_0^{II} \cdot k_0 \cdot k_p \cdot k_r \cdot k_g = 283,2 \cdot 0,74 \cdot 0,95 \cdot 0,85 \cdot 0,84 = 142,2 \text{ m}^3/\text{h} \quad (6.1.2.1)$$

6.3 PRORAČUN TEORIJSKOG KAPACITETA

Teorijski kapacitet kojeg stroj može ostvariti pri kratkotrajnom radu i savršenim uvjetima polazna je vrijednost pri odabiru potrebnog bagera na površinskom kopu. Ona je umnožak volumena lopate i broja izvršenih ciklusa u jednom satu (Ferenščak, 1966).

Prema autorima Ferenščak (1966) i Marković (1975) on se proračunava prema formuli:

$$Q_0 = 60 \cdot V \cdot n = 60 \cdot V \cdot \frac{60}{T_0} (m^3/h) \quad (3.1.1)$$

Prema Marković (1975) teorijsko vrijeme trajanja jedne operacije računa se zbrajanjem trajanja njenih faza.

$$T_0 = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 \quad (3.1.2)$$

Vrijednosti nekih parametara obuhvaćene su u jednoj fazi rada bagera, pa se t_2 i t_3 zajedno prikazuju kao t_{oi} , odnosno vrijeme okretanja za istovar, isto kao i t_5 i t_6 koji zajedno čine t_{ok} , to jest vrijeme okretanja prema otkopnoj fronti, dok je vremenski parametar t_1 označen kao t_k (vrijeme kopanja) a t_6 kao t_i - vrijeme istovara i za kut okreta bagera od 90° i pri istovaru na deponij, zbirno trajanje ciklusa dobiveno ekstrapolacijom iznosi $T_0 = 31,6$ sekundi (Marković, 1975) (tablica 6-13).

Teoretsko trajanje jednog ciklusa bagera kod autora Ferenščak (1966.) prikazano je kao jedan podatak, mada također sadrži sumu trajanja svih faza rada dreglajna, za okret od 90° i za šljunak ono iznosi 28,6 sekundi (tablica 6-14).

Ekstrapolacija trajanja ciklusa za kut od 90°	
Volumen	Trajanje
0,25	14,5
0,5	18
1	22,5
2	28
2,4	31,6

Slika 6-4: Ekstrapolacija teorijskog trajanja ciklusa za kut od 90° (Marković, 1975)

Tablica 6-13 Minimalno trajanje radnog ciklusa bagera dreglajna (Marković, 1975)

Vrsta lopate	Kut okreta	Volumen lopate (m³)	Vrijeme trajanja ciklusa (s)						
			Istovar na deponij			Istovar u kamion			
			t_k	$t_{oi} + t_{ok}$	$t_o = t_k + t_{oi} + t_{ok}$	t_k	$t_{oi} + t_{ok}$	t_i	$t_o = t_k + t_{oi} + t_{ok} + t_i$
Povlačna lopata	90	0,25	6,5	8	14,5	6,5	8	3	17,5
		0,5	8	10	18	8	10	3,5	21,5
		1	10	12,5	22,5	10	12,5	3,5	26
		2	12	16	28	12	16	4	32
	135	0,25	6,5	9,5	16	6,5	9,5	3	19
		0,5	8	12	20	8	12	3,5	23,5
		1	10	15	25	10	15	3,5	28,5
		2	12	20	32	12	20	4	36
	180	0,25	6,5	11	17,5	6,5	11	3	20,5
		0,5	8	14	22	8	14	3,5	25,5
		1	10	17,5	27,5	10	17,5	3,5	31
		2	12	24	36	12	24	4	40

Tablica 6-14 Trajanje jedne faze bagera dreglajna u sekundama (Ferenščak, 1966)

Redni broj	Kategorija materijala	Naziv materijala po kategorijama	Potrebno vrijeme trajanje jedne radne faze s visinskom lopatom			Koeficijent uvećanja u postocima pri radu s		
			Kut okreta bagera			Dubinsk a lopata	Grabilica	Dreglajn
			45°	90°	180°			
1	I	Rastresito tlo, pijesak	18	20	28	25	35	10
2	II	Humus	20	22	30	25	45	10
3	III	Čvrsto tlo, šljunak	23	26	36	30	50	10
4	IV	Humus s šljunkom	25	29	40	30	-	20
5	V	Drobina	21	23	32	-	-	-

Prema ovim podacima, teorijski kapacitet iznosi:

$$Q_0 = 60 \cdot V \cdot n = 60 \cdot V \cdot \frac{60}{T_0} = 60 \cdot 2,4 \cdot \frac{60}{31,58} = 273,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Gdje je teorijsko trajanje jedne operacije uz istovar na deponij dobiveno na temelju ekstrapolacije vremenskih faktora iz tablice 6-13 uz formulu:

$$T_0 = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 \quad (3.1.2)$$

6.4 TEHNIČKI KAPACITET

Proračun tehničkog kapaciteta slijedi teorijski kapacitet, te se prema Markoviću (1975) popravljja koeficijentom privremene rastresitosti k_{pr} (tablica 6-15), koeficijentom otpora rezanju (specifični otpor rezanju) k_{or} (tablica 6-16) i koeficijentom punjenja lopate k_p (tablica 6-18). Koeficijent k_{pr} za drugu kategoriju odnosno šljunak iznosi 1,2, k_{or} je 1,0.

Autor Ferenščak opisao je direktni postupak proračuna eksploatacijskog kapaciteta iz teoretskog, što slijedi u sljedećem poglavlju.

$$Q_t = Q_o \cdot \frac{k_{or} \cdot k_p}{k_{pr}} (m^3/h) \quad (3.2.1)$$

Tablica 6-15 Koeficijent privremene rastresitosti odnos je između volumena materijala u rastresitom stanju i onog u prirodnom stanju, te je kao takav uvijek veći od 1. (Marković, 1975).

Kat.	Naziv materijala	Koeficijent privremenog povećanja volumena k_{pr}	Koeficijent trajnog povećanja volumena k_{tr}	Trajno povećan volumen materijala naspram prirodnog stanja (%)
1	Humus, pijesak sa šljunkom, pjeskovita i glinovita tla	1,15	1,02	0-2
2	Humus s korijenjem, prapor sa šljunkom, šljunak	1,20	1,02-1,04	2-4
3	Slegnuti prapor, tvrda glina sa šljunkom	1,25	1,03-1,05	3-5
4	Tvrda glina, mekani lapor i kreda	1,30	1,04-1,08	4-8
5	Konglomerat, boksit, tvrdi vapnenac	1,40	1,08-1,10	8-10
6	Pješčenjak, tvrdi lapor i laporoviti vapnenac	1,45	1,08-1,10	8-10
7	Tvrdi vapnenac, kvarcit, porozni dolomit	1,50	1,10-1,15	10-15
8	Vrlo tvrd vapnenac i kvarcit	1,50	1,10-1,15	10-15
9	Ostale stijene visoke čvrstoće	1,50	1,10-1,15	10-15

Tablica 6-16 Koeficijent otpora rezanju za kategorije iz tablice 6-17 (Marković, 1975)

Kategorija	1-2	3-4	5-6	7
k_{or}	1,0-0,90	0,8-0,75	0,70	0,65

Tablica 6-17 Kategorije materijala i njihovi otpori rezanju k_1 (Marković, 1975)

Kategorija	Vrsta materijala	k_1
1	Pijesak, laki, vlažni i rahli glinoviti pijesak	0,10-0,30
2	Pjeskovita glina, šljunak sitan i srednji	0,27-0,60
3	Tvrda pjeskovita glina, teška vlažna ili rahla glina, meki ugljen	0,55-1,30
4	Pjeskovita glina sa šljunkom, teška ili vrlo teška vlažna glina, slab konglomerat	1,30-2,50
5	Škriljac, teška suha glina, zbijeni prapor, mekana kreda, gips i lapor	2,30-3,20
6	Cementirane školjke, mekani i porozan vapnenac, kreda, škriljac, lapor	3,00-5,50
7	Škriljac, lapor, čvrsta kreda i gips, smrznuto tlo	6,00-20,0

Naposljetku, teorijski kapacitet smanjuje se množenjem s koeficijentom punjenja lopate bagera k_p , što ovisi o vrsti materijala i obliku lopate. Punjenje može biti nepotpuno, potpuno ili prenapunjeno materijalom „povrh“ (tablica 6-18). Prilikom iskopa pazi se da lopata ne bude preopterećena; cilindri hidrauličkih bagera mogu proizvesti puno veću silu nego što je lopata može podnijeti, a to rezultira uništenjem lopate. Kod bagera dreglajna to se vrlo rijetko događa zbog elastičnog spoja lopate, pri kojem dođe do trganja čelične užadi mnogo ranije nego oštećivanja lopate. Koeficijent s kojim će se računati iznosi $k_p=1,2$ za mokar šljunak vađen bagerom dreglajnom.

Tablica 6-18 Koeficijent punjenja lopate k_p (Marković, 1975)

Materijal		Za bager			
		Lopatar	Dreglajn	Grejder	Grabilica
Pjesak i šljunak:	suh	0,95 – 1,05	0,80 – 0,90	0,65 – 0,75	0,70 – 0,80
	mokar	1,15 – 1,25	1,10 – 1,20	0,85 – 0,95	0,80 – 0,90
Glinovito tlo:	suho	1,05 – 1,10	0,85 – 1,00	0,80 – 0,85	0,75 – 0,85
	mokro	1,20 – 1,40	1,15 – 1,25	1,05 – 1,15	0,90 – 1,00
Srednje tvrda glina:	suha	1,10 – 1,20	0,95 – 1,05	0,85 – 0,90	0,60 – 0,70
	mokra	1,30 – 1,50	1,20 – 1,30	1,05 – 1,15	0,80 – 0,90
Teška glina:	suha	0,95 – 1,10	0,90 – 1,00	0,85 – 1,00	0,60 – 0,70
	mokra	1,25 – 1,45	1,10 – 1,20	1,00 – 1,10	0,80 – 0,90
Mineralna stijena		0,80 – 0,90	0,60 – 0,80	0,40 – 0,50	0,40 – 0,50

Tehnički kapacitet će iznositi:

$$Q_t = Q_o \cdot \frac{k_{or} \cdot k_p}{k_{pr}} = 273,5 \cdot \frac{1,0 \cdot 1,2}{1,2} = 273,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

6.5 EKSPLOATACIJSKI KAPACITET

Eksploatacijski kapacitet, prema Markoviću (1975), dobije se iz tehničkog kapaciteta množenjem s popravnim koeficijentima:

$$Q_e = Q_t \cdot k_v, (m^3/h) \quad (3.3.1)$$

Koeficijent ukupnih gubitaka vremena k_v predstavlja sumu pojedinih gubitaka vremena (tablica 6-19):

$$k_v = k_l \cdot k_d \cdot k_u \quad (3.3.2)$$

A konačna formula proračuna eksploatacijskog učinka jest:

$$Q_e = Q_t \cdot k_v = Q_t \cdot k_l \cdot k_d \cdot k_u (m^3/h) \quad (3.3.3)$$

Tablica 6-19 Vrijednosti koeficijenata k_l , k_d , k_u i k_v (Marković, 1975)

Bager	k_l	k_d	k_u	$k_v = k_l \cdot k_d \cdot k_u$
Bageri s jednom lopatom	0,95 – 0,96	0,70 – 0,90	0,88 – 0,90	0,59 – 0,78
Bageri vedričari za poprečno kopanje	0,98 – 0,99	0,90 – 0,95	0,93 – 0,98	0,82 – 0,91
Rotorni bager	0,80 – 0,85	0,90 – 0,95	0,92 – 0,96	0,67 – 0,78
Bageri vedričari za uzdužno kopanje	0,98	1,00	0,88 – 0,95	0,86 – 0,93

Odabirom koeficijenata za bager s jednom lopatom, koji iznose $k_l=0,95$, $k_d=0,7$ i $k_u=0,88$ i odabrali smo ih kao takve zbog specifičnosti užetnog bagera, dobili smo koeficijent ukupnih gubitaka $k_v=0,59$, pa možemo proračunati eksploatacijski kapacitet koji će iznositi:

$$Q_e = Q_t \cdot k_v = Q_t \cdot k_l \cdot k_d \cdot k_u = 273,5 \cdot 0,95 \cdot 0,7 \cdot 0,88 = 160,1 m^3/h$$

Prema Ferenščaku (1966) eksploatacijski kapacitet dobije se proračunom iz:

$$Q_e = V \cdot n \cdot \frac{K_o}{K_z} \cdot K_g = V \cdot \frac{3600}{T} \cdot \alpha \cdot K_g (m^3/h) \quad (3.3.4)$$

Vrijednosti koeficijenata rastresitosti materijala K_z i punjenja lopate K_o očitavaju se iz tablice 6-20. Koeficijent K_g ovisan je o kvaliteti organizacije površinskog kopa (tablica 6-20). Za dreglajn koji iskapa šljunak i pijesak, materijal koji je ovdje najslbličniji opisanom 'šljunkovitom tlu' odabrane vrijednosti iznositi će: $\alpha=0,8$ i $K_g=0,7$

Tablica 6-20 Tablica koeficijenata $K_o - K_z - K_g$ (Ferenščak, 1966)

R. broj	Kategorija materijala	Naziv materijala po kategorijama	Za univerzalni bager				Za bager vedričar	
			K_o	K_z	$K_o/K_z = \alpha$	K_g	K_o	$K_g/K_z = \alpha$
1	I	Pijesak	1,26	1,15	1,1	0,7 – 0,8	0,9	0,78
2	II	Humus	1,20	1,20	1,0	0,7 – 0,8	0,8	0,67
3	III	Šljunak	1,13	1,25	0,9	0,7 – 0,8	0,6	0,48
4	IV	Šljunkovito tlo	1,04	1,30	0,8	0,7 – 0,8	0,7	0,31
5	V	Drobljenac	1,05	1,50	0,7	0,7 – 0,8	-	-

Pa je prema Ferenščaku dobivena vrijednost eksploatacijskog kapaciteta uz vrijeme jednog ciklusa iz tablice 6-14 i volumena lopate od 2,4 kubična metra:

$$Q_e = V \cdot n \cdot \frac{K_o}{K_z} \cdot K_g = V \cdot \frac{3600}{T} \cdot \alpha \cdot K_g = 2,4 \cdot \frac{3600}{26,6} \cdot 0,8 \cdot 0,7 = 169,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

6.6 EKSPLOATACIJSKI KAPACITET IZMJEREN NA TERENU

Na proračun kapaciteta bagera prema tablicama autora utječu mnogi faktori, većim ili manjim djelom. Neki od faktora su iskustveno dobivene vrijednosti i ne mogu se dobiti računski, što osobi koja radi proračun daje određenu dozu 'slobode' pri odabiru istih. (Ferenščak, 1966). Tako predviđeni koeficijenti mogu dati eksploatacijski kapacitet koji se razlikuje od onog stvarnog učinka na terenu.

Eksploatacijski kapacitet mjeren na terenu daje najtočniju vrijednost te je neophodno izmjeriti stvarne vrijednosti trajanja ciklusa i procijeniti koeficijent punjenja lopate. Trajanje se mora mjeriti bez da se na to upozori strojara da bi se zadržala objektivnost proračuna učinkovitosti, jer u tom slučaju strojar radi uobičajenim tempom (Ferenščak, 1966).

Osnovna formula za proračun kapaciteta glasi:

$$Q_e = 60 \cdot V \cdot n = 60 \cdot V \cdot \frac{60}{T_{sr}} (m^3/h) \quad (3.1.1)$$

Gdje će se za volumen materijala u lopati uzeti popravni koeficijent od 0,8 prema procjeni strojara. Iz slika ispod, dobivenih iz video snimke jednog ciklusa, vidljivo je da je to tako.



Slika 6-5: Stvarna popunjenost lopate dreglajna na terenu

Mjerenja su obavljena sa zapornim satom a za vrijeme rada stroja vremenski su uvjeti bili idealni (sunčano i suho). Zbog mješavine krupnijih i sitnijih zrnaca šljunka obala je bila dosta zbijena te obrušavanja nije bilo u značajnijoj mjeri, pa se bager nije morao pomicati. Prije početka mjerenja pričekao sam da se bager, isto kao i strojar, zagriju na radnu temperaturu a za to vrijeme je strojar obavljao svakodnevnu provjeru ispravnosti stroja prije početka rada.

Mjerenjem stotinu ciklusa dobivena je srednja aritmetička vrijednost od $T_{sr}=42,8$ sekundi s kojom će se računati učinak, a medijan iznosi 42,9 sekundi (tablica 6-21). Ostali izmjereni ili procijenjeni parametri radne sredine nalaze se u tablici 6-22.

Tablica 6-21 Tablični prikaz izmjerenih trajanja ciklusa bagera u sekundama

1.	43	21.	44,2	41.	42,5	61.	42,8	81.	43,6
2.	43,6	22.	43,4	42.	41,7	62.	44,2	82.	42,3
3.	44,6	23.	40,4	43.	42,5	63.	41,6	83.	43,5
4.	42,5	24.	44	44.	42,1	64.	43,6	84.	42,9
5.	39,8	25.	42,4	45.	41,8	65.	44,2	85.	43,5
6.	42,1	26.	43,3	46.	42,6	66.	41	86.	43,1
7.	43,9	27.	44,3	47.	41,4	67.	46	87.	43,9
8.	44,1	28.	43,2	48.	42,8	68.	43,6	88.	43
9.	44,4	29.	43,2	49.	41,6	69.	42,7	89.	41
10.	44,3	30.	42,8	50.	42,5	70.	43,6	90.	43
11.	43,8	31.	43,2	51.	42,5	71.	44	91.	42,3
12.	42,9	32.	43,2	52.	42,4	72.	43,1	92.	42,3
13.	42	33.	42,4	53.	43	73.	42,6	93.	39,6
14.	42	34.	43,7	54.	42,2	74.	44,3	94.	41,2
15.	42,9	35.	40,7	55.	42,7	75.	42,4	95.	43,7
16.	43,2	36.	42,7	56.	40	76.	43,6	96.	41,6
17.	44	37.	43,4	57.	43,7	77.	42,2	97.	42,1
18.	42,6	38.	42,6	58.	44,1	78.	42,8	98.	41,2
19.	43	39.	43,7	59.	42,4	79.	43,4	99.	43,4
20.	43,1	40.	44	60.	40	80.	42,2	100.	41,7
Aritmetička sredina izmjerenih vremena trajanja ciklusa bage									$T=42,8$

Tablica 6-22 Parametri radne sredine i stroja pri radu

Dužina zabacivanja lopate (m)	20
Dubina kopanja (m)	8
Dužina povlačenja lopate (m)	23
Visina istresanja (m)	6,5
Kut zaokreta pri istresanju	90°

Slijedi proračun eksploatacijskog kapaciteta s mjerenjima na terenu:

$$Q_e = 60 \cdot V \cdot n = 60 \cdot 2,4 \cdot 0,80 \cdot \frac{60}{42,8} = 161,5 \text{ m}^3/h$$

7. ANALIZA REZULTATA

Rezultati proračuna su sljedeći: (tablica 7-1)

Tablica 7-1 Ispis rezultata eksploatacijskog kapaciteta Q_e prema svim autorima

Marković	160,1 m^3/h
Ferenščak	169,2 m^3/h
Trbojević (I. način)	131,1 m^3/h
Trbojević (II. način)	146,2 m^3/h
Slunjski (I. način)	116,3 m^3/h
Slunjski (II. način)	142,2 m^3/h
Terensko mjerenje	161,5 m^3/h

Tablica 7-2 Postotni odnos odstupanja računski dobivenih kapaciteta s terenskim

Autor	Terensko mjerenje	Marković	Ferenščak	Trbojević, I. način	Slunjski, I. način	Trbojević, II. način	Slunjski, II. način
T	100 %	73,8 %	66,8 %	92,8 %	95,6 %	x	x
Q_e	100 %	99,1 %	104,8 %	81,1 %	72,0 %	90,5 %	88,0 %

Rezultat proračuna prema Markoviću najbliži je stvarnom kapacitetu mjerenom na terenu. Minimalno trajanje radnog ciklusa je za 26,2 % manje nego ono izmjereno, dok je kapacitet uz pretpostavljane najveće korekcije popravka pri računanju eksploatacijskog kapaciteta iz onog tehničkog samo 0,9 % manji od onog stvarnog.

Rezultat proračuna prema Ferensčaku pretpostavlja 4,8 % veći eksploatacijski kapacitet. Posljedica ovome je teorijsko trajanje ciklusa kojeg Ferensčak za šljunak i čvrsto tlo pretpostavlja s vrijednošću od 28,6 sekundi, što je za 33,2 % manje od terenski izmjerenog. Koeficijent α , koji predstavlja omjer između koeficijenta rastresitosti i punjenja lopate, jednak je onom s kojim se susrelo na terenu i iznosi 0,8.

Rezultat proračuna na prvi način prema Trbojeviću pretpostavlja 18,9 % manji kapacitet od stvarnog, uzrok je velika razlika između optimalne i realne dubine iskopa koja iznosi 8

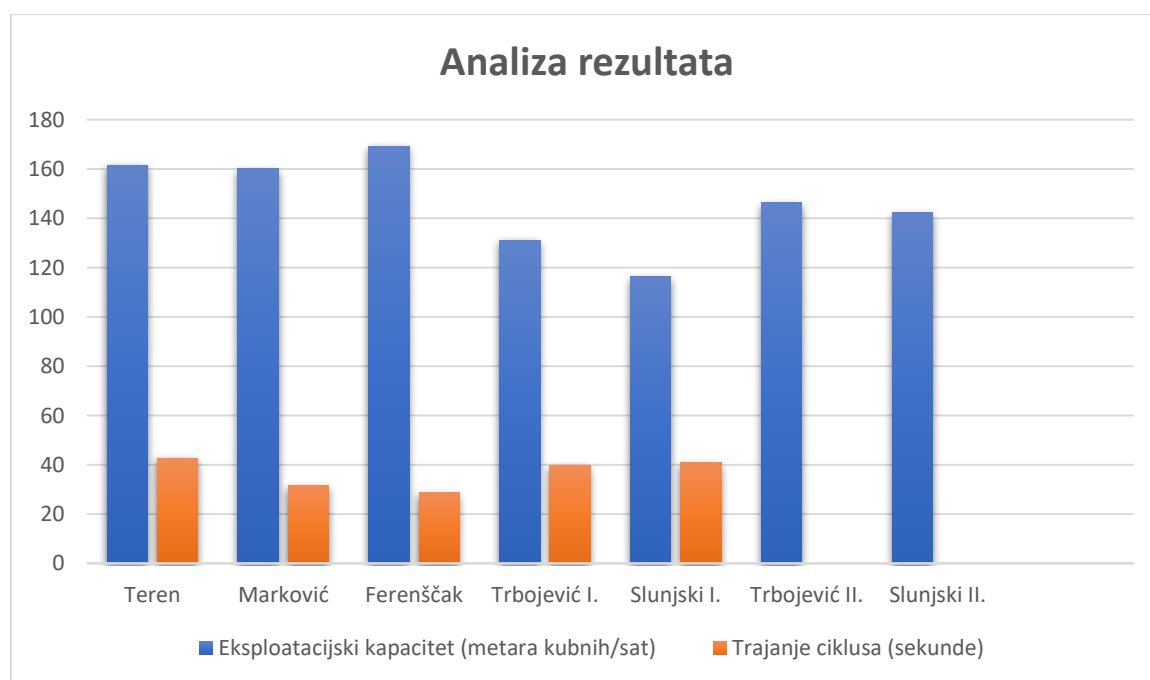
metara. Trajanje ciklusa bagera koje je dobiveno ekstrapolacijom i iznosi 39,7 sekundu te je za 7,2 % manje od realnog.

Prema drugom načinu proračuna, koji koristi iste koeficijente uz dodan koeficijent gradilišta i teorijski kapacitet očitao iz tablice 6-3, daje konačnu vrijednost koja je za 9,5 % manja od terenski određenog. Trajanje ciklusa za drugi način proračuna nije navedeno.

Rezultat proračuna na prvi način prema Slunjskom usljed velikog korekcijskog faktora za odnos optimalne i realne dubine daje najmanji eksploatacijski kapacitet. Zbog toga je kapacitet bagera manji od realnog za 28,0 %, dok je teorijsko trajanje ciklusa kraće za otprilike 4,4 %.

Prema drugom načinu proračuna, uz iste koeficijente i uz najbolji koeficijent gradilišta dobiven je kapacitet od $142,2 \text{ m}^3/\text{h}$, što je 12,0 % manje od terenski izmjenjenog. Isto kao i kod autora Trbojević, teorijsko trajanje ciklusa nije dano pa se neće prikazati u grafikonu. (Slika 7-1)

Prema terenskom mjerenju na šljunčari gdje se eksploatira sitan šljunak s pijeskom, dobiven je drugi po redu najveći kapacitet. Uzeto je da se lopata zapuni materijalom do 80% čemu je uzrok voda koja ispire dio šljunka i sitnih čestica. Premda je trajanje ciklusa veće od teorijskog, bager i dalje ima visok satni učinak što uz cijenu kubičnog metra materijala vađenog ovakvim bagerom od 91 lipu opravdava njegovu isplativost.



Slika 7-1: Usporedba eksploatacijskih kapaciteta i vremena trajanja ciklusa bagera

8. ZAKLJUČAK

Analiza rezultata i grafički prikaz istih napravljen je u svrhu procjene točnosti podataka i koeficijenata za proračun eksploatacijskog kapaciteta prema literaturi, na što se svaka rudarska tvrtka oslanja prije velike investicije kao što je kupnja novog stroja. Za proračune po literaturi odabrani su udžbenici inženjera Bogdana Trbojevića, Valerijana Markovića, Eduarda Slunjskog i Mihovila Ferenščaka koji prikazuju iskustveno prikupljene podatke koji utječu na stvarni kapacitet stroja a ovise o svojstvima materijala koji se iskapa. Materijal koji se iskapa u šljunčari Ivanovec odgovara opisima koji su dati u tablicama navedenih autora.

Terenska mjerenja kapaciteta temelje se na procjeni zapunjenosti bagerske lopate materijalom, za koju se utvrdilo da iznosi 80 % njenog geometrijskog volumena, i na mjerenjima trajanja ciklusa s time da se na mjerenje nije upozorilo strojara. Izvedeno je totinu mjerenja, iz kojih slijedi aritmetički proračunata sredina s vrijednošću od $T_{sr}=42,8$ sekundi i medijan s vrijednošću od 42,9 sekundi.

Uspoređivanjem terenskog mjerenja s proračunski dobivenim kapacitetima prema autorima utvrđena je najveća sličnost s rezultatima dobivenim proračunom prema Markoviću, čiji se rezultat eksploatacijskog učinka razlikuje za -0,9 % dok je proračun prema prvom načinu kod autora Slunjski najmanje točan, s razlikom od -28,0 %. Stvarno vrijeme trajanja ciklusa najbližnje je Trbojevićevom teorijskom trajanju ciklusa, s odstupanjem od -4,2 % no zbog drugih parametara uzetih u proračunu eksploatacijski kapacitet se razlikuje za 12,0 %. Najrazličitije teorijsko trajanje ciklusa dobiveno je proračunom prema autoru Ferenščak, čija se vrijednost razlikuje za -33,2 %. Zaključak iz ovih odnosa je da eksploatacijski kapacitet proračunan po Markoviću najviše odgovara onom koji je računan na temelju stvarnih vrijednosti.

Ovime je vidljivo kako svi autori, izuzev Ferenščaka, predviđaju manji eksploatacijski kapacitet nego što je on izmjeren na stvarnom kopu. Zaključak je da nam proračuni iz literature daju orijentacijske vrijednosti kapaciteta s određenom dozom netočnosti, zbog čega je od velike važnosti vidjeti rad stroja u stvarnosti. Malo odstupanje od predviđene učinkovitosti koje se gomila kroz radni vijek stroja može rezultirati značajnim smanjenjem kapaciteta čitavog kopa. Stoga je prilikom kupnje velikog i skupog stroja, kao što je Weserhutte SW-191 bager dreglajn, neophodno pravilno utvrditi eksploatacijski kapacitet.

LITERATURA

- FERENŠČAK, M., 1966. Mehanizacija u građevinarstvu: Priručnik, Zagreb: Tehnička knjiga
- HODAK, I. 2018. Koeficijent punjenja lopate hidrauličkog bagera. Diplomski rad, Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
- KUJUNDŽIĆ, T., 2015. Strojni iskop stijena. Predavanja: Rudarski i geotehnički strojevi, Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
- MARKOVIĆ, V., 1975. Građevinske mašine za zemljane radove, Beograd: Naučna knjiga
- PERČIĆ, M., 2019. Eksploatacija građevnog pijeska i šljunka na eksploatacijskom polju „Ivanovec“, s posebnim osvrtom na primjenu tehničkih normativa i mjera zaštite na radu. Pismeni dio stručnog rada. Zagreb: Ministarstvo gospodarstva, poduzetništva i obrta
- SLUNJSKI, E., 1995. Strojevi u građevinarstvu, Zagreb: Sveučilišna tiskara
- TRBOJEVIĆ, B., 1979. Građevinske mašine, 5. Dopunjeno i preuređeno izdanje, Beograd: Građevinska knjiga
- ŽIVKOVIĆ, S. GALIĆ, I., 1999. Rudarski strojevi, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.