

Primjena rudarske mehanizacije u dubokomorskoj eksploataciji

Žamić, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:169:946088>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-27**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Preddiplomski studij rudarstva

**PRIMJENA RUDARSKE MEHANIZACIJE U DUBOKOMORSKOJ
EKSPLOATACIJI**

Završni rad

Josip Žamić

R-4361

Zagreb, 2022.



KLASA: 602-01/22-01/120
URBROJ: 251-70-11-22-2
U Zagrebu, 06.09.2022.

Josip Žamić, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/120, URBROJ: 251-70-11-22-1 od 02.05.2022. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

PRIMJENA RUDARSKE MEHANIZACIJE U DUBOKOMORSKOJ EKSPLOATACIJI

Za voditelja ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Izv.prof.dr.sc. Tomislav Korman nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Voditelj

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Tomislav Korman

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Dubravko
Domitrović

(titula, ime i prezime)



Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)

PRIMJENA RUDARSKE MEHANIZACIJE U DUBOKOMORSKOJ EKSPLOATACIJI

Josip Žamić

Završni rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zavod za rudarstvo i geotehniku

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Dubokomorska eksploatacija (eng. *Deep Sea Mining* - DSM) je naziv je korišten za procese i tehnologiju osmišljenu za eksploataciju metalno bogatih ruda s dubokomorskog dna, odnosno područja oceana preko 200 metara dubine. To područje pokriva približno 65% Zemljine površine. DSM kombinira tehnologiju i iskustvo dobiveno iz područja podvodnog bagerovanja, industrije plina i nafte, i podvodnog rudarenja blizu obale. Tri su tipa dubokomorskih mineralnih nalazišta koja su zanimljiva rudarskim kompanijama: masivni sulfidi morskog dna, kobaltom bogata željezo-manganova kora, i polimetalne nodule. Razlikuju se po tome što eksploatacija sulfida i kobaltom bogate željezo-manganove kore zahtijevaju kopanje morskog dna, dok polimetalne nodule slobodno leže na površini morskog dna i mogu biti prikupljeni bez kopanja i bušenja.

Ključne riječi: Dubokomorska eksploatacija, polimetalne nodule, masivni sulfidi, kobaltom bogata kora

Završni rad sadrži: 31 stranica, 23 slike, 16 reference.

Jezik izvornika: Engleski

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

Mentor: Dr.sc. Tomislav Korman, izvanredni profesor RGNF

Ocjenjivači: 1. Dr.sc. Tomislav Korman, izvanredni profesor RGNF

2. Dr.sc. Trpimir Kujundžić, redoviti profesor RGNF

3. Dr.sc. Mario Klanfar, izvanredni profesor RGNF

Datum obrane: 15. rujan 2022., Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Sadržaj

| | |
|--|-----------|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. DUBOKOMORSKA EKSPLOATACIJA | 2 |
| 2.1 Utjecaj dubokomorske eksploatacije na okoliš | 6 |
| 3. TEHNOLOGIJA EKSPLOATACIJE POLIMETALNIH NODULA | 8 |
| 4. TEHNOLOGIJA EKSPLOATACIJE MASIVNIH SULFIDA MORSKOG DNA | |
| 15 | |
| 5. TEHNOLOGIJA EKSPLOATACIJE KOBALTOM BOGATE ŽELJEZO- | |
| MANGANOVE KORE | 22 |
| 6. ZAKLJUČAK..... | 26 |
| 7. LITERATURA | 27 |

Popis slika

| | |
|--|----|
| Slika 2-1. Tri tipa dubokomorske eksploatacije (PEW, 2018.)..... | 3 |
| Slika 2-2. Polimetalne nodule na morskom dnu (Sharma, 2017.)..... | 4 |
| Slika 2-3. Kobaltom bogata željezo-manganova kora (WOR, 2014.)..... | 5 |
| Slika 2-4. Masivni sulfidi morskog dna (Cherkasov, 2017.)..... | 6 |
| Slika 2-5. Utjecaj na okoliš (Drazen et al., 2020.)..... | 7 |
| Slika 3-1. Kolektorski koncept na temelju hidrauličnih načela (Köller 2016.)..... | 9 |
| Slika 3-2. Mehanički kolektorski koncept (Köller 2016.)..... | 10 |
| Slika 3-3. Kolektorski koncepti na temelju mehaničkih i hibridnih načela (Köller 2016.) | 11 |
| Slika 3-4. Prototip kolektora nodula COMRA (a) i prijedeni put za vrijeme testa na morskom dnu (b) (Kang i Liu 2021.)..... | 13 |
| Slika 3-5. COMRA Sustav za komercijalnu eksploataciju (Kang i Liu 2021.)..... | 14 |
| Slika 4-1. Masivni sulfidi morskog dna (Anderson, 2018.) | 15 |
| Slika 4-2. Nautilus minerals sustav rudarenja SMS ležišta (Liu et al., 2016.)..... | 16 |
| Slika 4-3. Strojvi Nautilus minerals (Cherkashov, 2017.)..... | 17 |
| Slika 4-4. Pomoćni stroj za sukcesivni iskop s rotirajućom reznom glavom (Wang, 2013.) | 18 |
| Slika 4-5. Stroj za sukcesivni iskop s rotirajućom reznom glavom i dijamantnim segmentima (Liu et al., 2016.) | 18 |
| Slika 4-6. Stroj za sukcesivni iskop s rotirajućim reznim bubnjem (Wang, 2013.) | 19 |
| Slika 4-7. Stroj za kopanje ugljena na kopnu (Liu et al., 2016.)..... | 19 |
| Slika 4-8. Stroj za prikupljanje (Wang, 2013.)..... | 20 |
| Slika 4-9. Podvodna pumpa (Liu et al., 2016.)..... | 21 |
| Slika 5-1. Rudarski stroj za željezo-manganovu koru (Xie et al., 2021.)..... | 23 |
| Slika 5-2. Sustav rudarenja kobaltom bogate željezo-manganove kore (Beaudoin i Baker, 2013.)..... | 24 |
| Slika 5-3. Test eksploatacije kobaltom bogate kore (JOGMEC, 2020.) | 24 |
| Slika 5-4. Pomorsko istražno plovilo „Hakurei“ (JOGMEC, 2020.) | 25 |

1. UVOD

Ovim završnim radom opisana je dubokomorska eksploatacija i različite primjene rudarske mehanizacije u dubokomorskoj eksploataciji. Poblje su opisana tri različita tipa dubokomorske eksploatacije (eksploatacija *polimetalnih nodula*, *masivnih sulfida morskog dna* i *kobaltom bogate željezo-manganove kore*), te tehnologija do sada razvijena potrebna za njihovu eksploataciju.

Sva tri tipa još uvijek nisu spremna za komercijalnu eksploataciju. Rudarski sustav za sva tri tipa je uglavnom sličan, koristi se rudarski stroj na morskome dnu i vertikalni transportni sustav za transport rude s morskog dna do pomoćnog plovila za proizvodnju na površini. Najveća razlika je u rudarskom stroju korištenom za eksploataciju samog ležišta.

Pri eksploataciji *polimetalnih nodula* na mekanom sedimentnom morskome dnu je potrebno samo prikupiti nodule koji slobodno leže na sedimentu ili su plitko zakopani, ali dubina od 4000-6000 m na kojoj se nodule nalaze predstavlja problem.

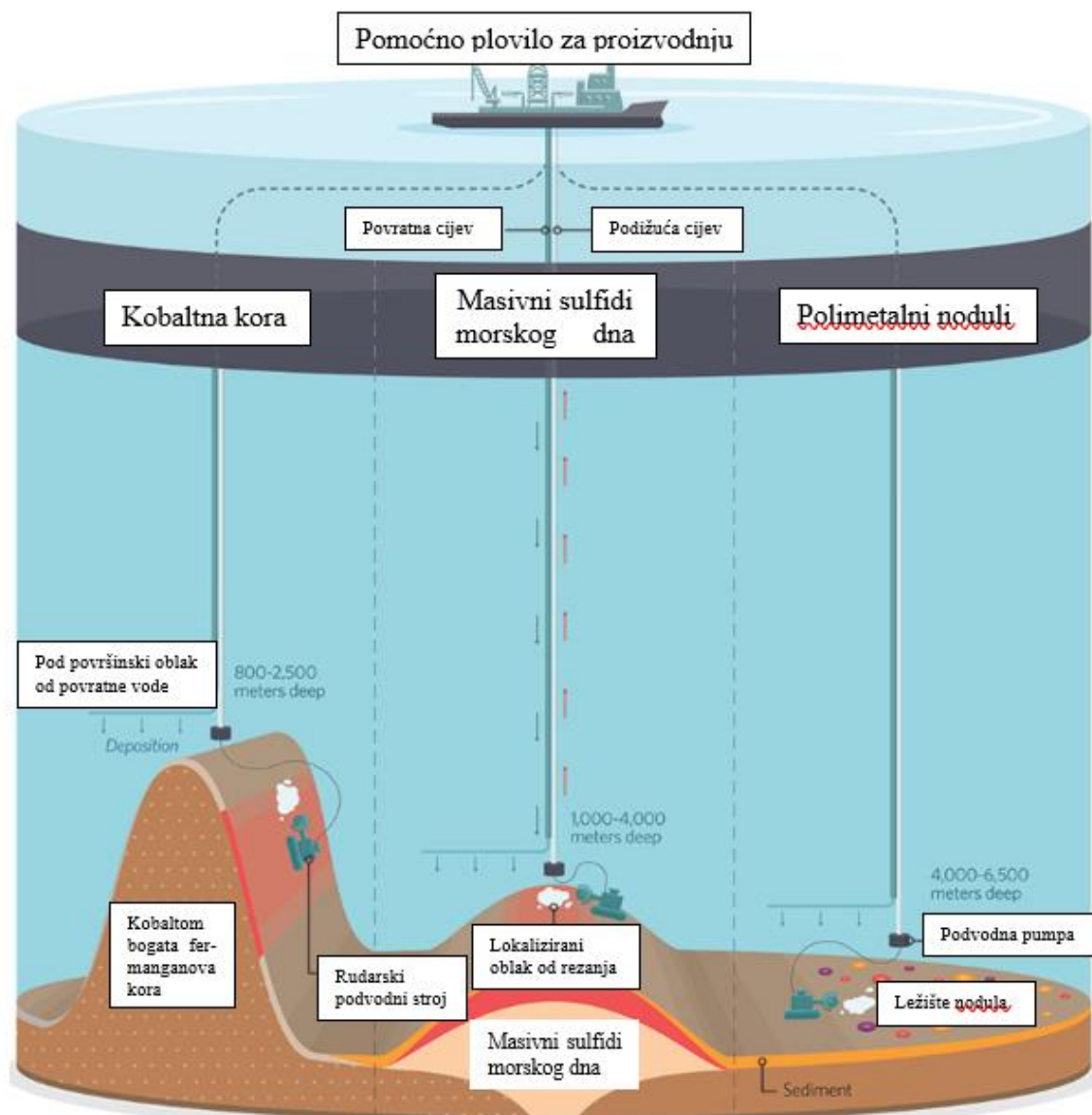
Ležišta *masivnih sulfida morskog dna* i ležišta *kobaltom bogate željezo-manganove kore* zahtijevaju kopanje i drobljenje da bi se ruda mogla odvojiti od morskog dna i poslati vertikalnim transportnim sustavom do površine.

2. DUBOKOMORSKA EKSPLOATACIJA

Dubokomorska eksploatacija je proces prikupljanja i iskopavanja metalno bogatih ruda s dubokomorskog dna, odnosno područja oceana preko 200 m dubine. Započinje sredinom 1960-ih pokušajem eksploatacije *polimetalnih nodula* u internacionalnim vodama. Nastavlja se i dalje razvijati 1970-ih, no već 1980-ih zbog pada cijena metala rudarska industrija dubokomorsku eksploataciju počinje smatrati nepovoljnom.

Konvencija Ujedinjenih naroda o pravu mora (UNCLOS) 1982. godine navodi da područje morskog dna i mineralni resursi na morskom dnu nisu u nacionalnoj nadležnosti niti jedne zemlje nego su „zajedničko nasljeđe čovječanstva“. Međunarodna uprava za morsko dno (International seabed authority – ISA) određuje propise i smjernice za istraživačke aktivnosti na dubokomorskom dnu. Do 2022. godine izdano je 31 istraživačkih ugovora od strane ISA za istraživanje dubokomorskog dna, neke od njih su izdane državama a neke privatnim institucijama.

U novije vrijeme s porastom potražnje mineralnih sirovina metala i smanjenjem kopnenih zaliha metala dubokomorska eksploatacija je opet postala zanimljiva javnim i privatnim institucijama. Slika 2-1 prikazuje tri tipa dubokomorske eksploatacije.



Slika 2-1. Tri tipa dubokomorske eksploatacije (PEW, 2018.)

Tri glavna tipa dubokomorskih ležišta mineralnih sirovina :

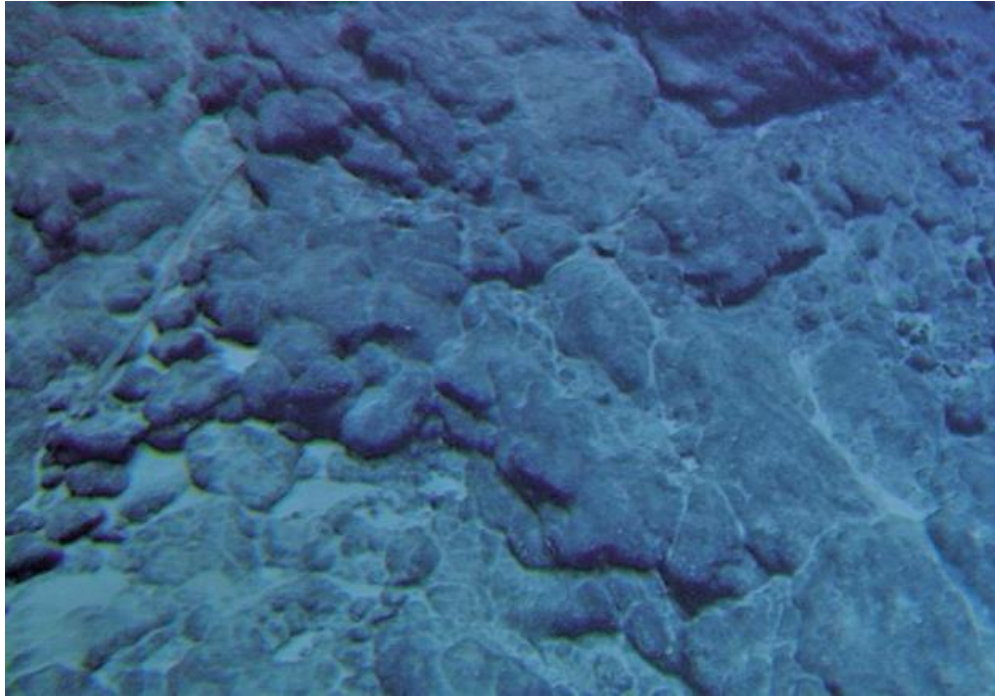
- 1) *Polimetalne nodule* (slika 2-2), također poznate i kao manganove nodule nastaju na sedimentnoj površini morskog dna na dubinama od 4000 – 6000 m. To su kamenoliki konkrementi veličine od nekoliko milimetara do desetak centimetara, a u prosjeku veličine 5 – 10 cm i sadrže velike koncentracije mangana (27-30%), nikla (1.25-1.5%), bakra (1-1.4%) i kobalta (0.2-0.25%). (ISA 2003.) Nalaze se na dubokomorskim ravnicama s najvećom koncentracijom u Clarion-Clipperton zoni (CCZ) u ekvatorijalnom Pacifiku te u Central Indian Ocean Basin (CIOB). U CCZ nodule prekrivaju preko 9 milijuna km^2 morskog dna sa prosječnom koncentracijom od 15

$kg\ m^{-2}$. Pretpostavlja se da nodule samo u CCZ sadrže više mangana, nikla i kobalta nego u svim kopnenim rezervama zajedno, te 20% kopnenih rezervi bakra.



Slika 2-2. Polimetalne nodule na morskom dnu (Sharma, 2017.)

- 2) *Kobaltom bogata željezo-manganova kora* (slika 2-3) može se naći na strmim podmorskim planinama na dubini od 800 – 2500 m u svim oceanima. Nastaje samo na kamenim površinama koje nisu prekrivene sedimentom, kao posljedica hidro-termalne aktivnosti ili hidrogenski precipitacijom manganovih i metalnih oksida iz hladne morske vode. Debljina kore može doseći i 25 cm, a u prosjeku je debljine 10 – 15 cm. Kora je bogata kobaltom, manganom i niklom.



Slika 2-3. Kobaltom bogata željezo-manganova kora (WOR, 2014.)

- 3) *Masivni sulfidi morskog dna (SMS)* nalaze se na dubini od 1000 – 4000 m u području podmorske vulkanske aktivnosti ili širenja morskog dna (slika 2-4), zbog čega se ležišta često nalaze na granicama tektonskih ploča. Masivni sulfidi nastaju hlađenjem hidrotermalnih erupcija u hladnoj morskoj vodi formirajući tornjeve sa velikom koncentracijom vrijednih minerala kao što su zlato, srebro, bakar, olovo i mnogih drugih metala. Debljina ležišta može doseći i do 10 m na nekim mjestima.



Slika 2-4. Masivni sulfidi morskog dna (Cherkasov, 2017.)

2.1 Utjecaj dubokomorske eksploatacije na okoliš

Dubokomorska eksploatacija može dovesti do poremećaja morskog dna, stvaranja sedimentnih oblaka i zvučnog i svjetlosnog onečišćenja morskog dna (Clarke, 2021).

- Poremećaj morskog dna

Rudarski strojevi i rad strojeva na morskome dnu mogu promijeniti izgled samog dna, kao i utjecati na dubokomorski ekosustav, uništavajući staništa i dovodeći do izumiranja rijetkih vrsta.

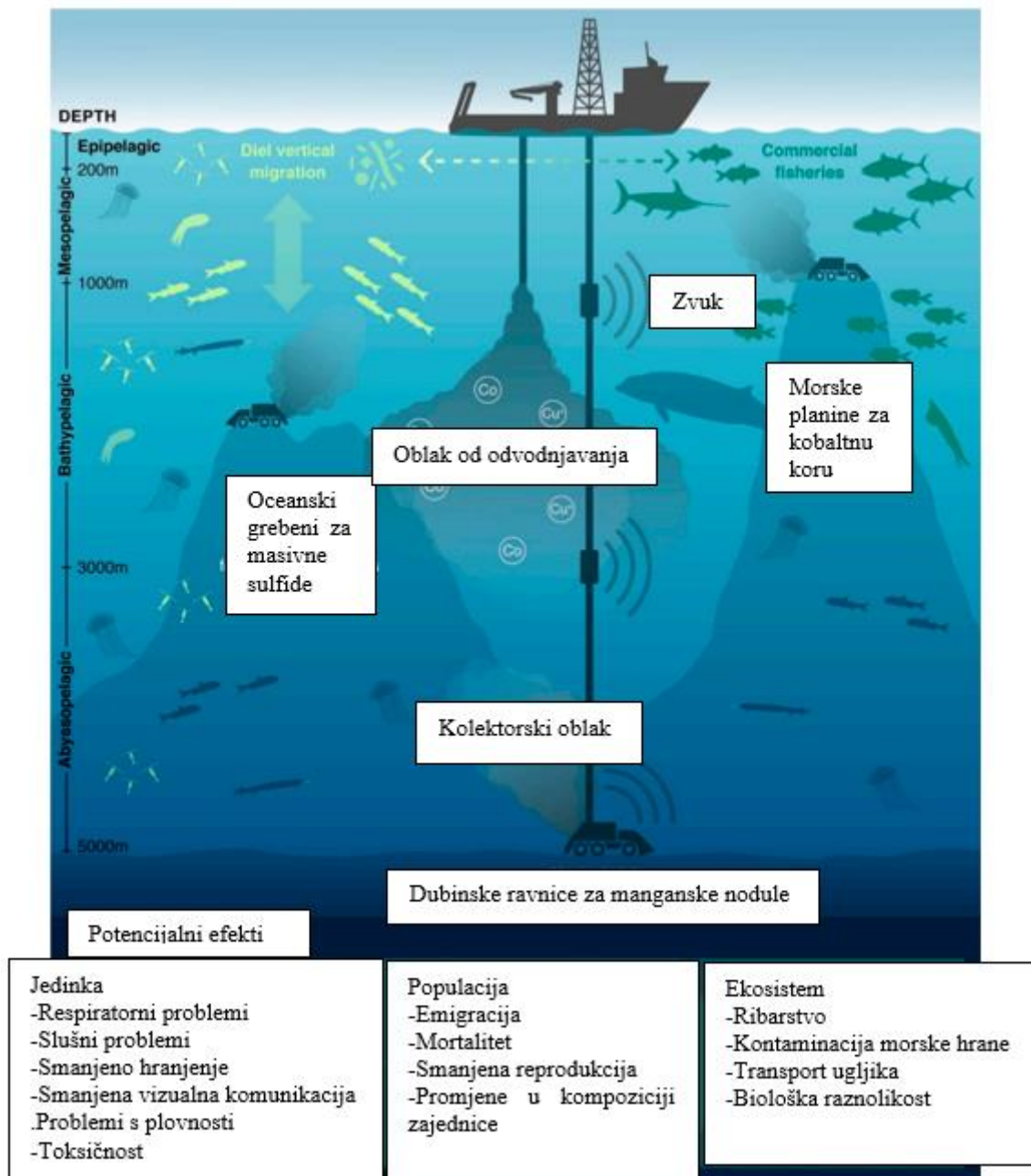
- Sedimentni oblaci

Nastaju na samom morskome dnu prilikom rada strojeva i na području gdje se otpadna voda vraća u more, te mogu štetno djelovati na floru i faunu mijenjajući inače neporemećenu morsku vodu u dubinama i sprječavajući prodiranje svjetlosti.

- Zvučno i svjetlosno onečišćenje

Strojevi na morskome dnu mogu stvarati popriličnu buku i jako umjetno svjetlo što može štetno utjecati na dubokomorske vrste koje tu žive.

Sljedeća slika 2-5 prikazuje štetna djelovanja dubokomorske eksploatacije na okoliš.



Slika 2-5. Utjecaj na okoliš (Drazen et al., 2020.)

3. TEHNOLOGIJA EKSPLOATACIJE POLIMETALNIH NODULA

Prikupljanje *polimetalnih nodula* sastoji se od dvije faze: podizanje nodula sa morskog dna i njihovog prenošenja do kolektora nodula. Postoje dvije bitne značajke koje se trebaju uzeti u obzir prilikom dizajniranja koncepta:




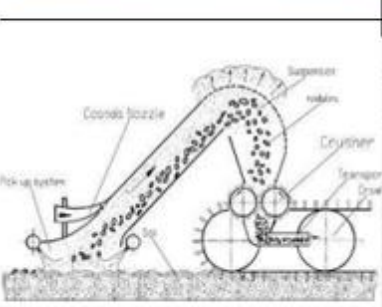
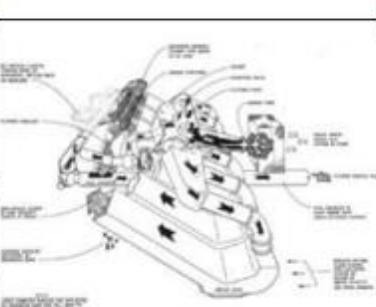
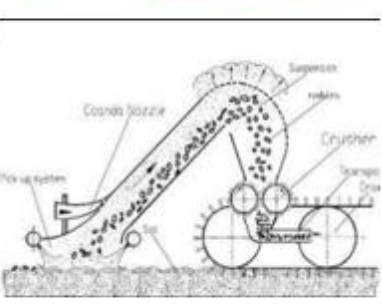
1. Visoka efikasnost prikupljanja, što bi značilo da je potrebno prikupiti što veću količinu nodula sa morskog dna.
2. Mali poremećaji sedimenta i smanjenje pomaka sedimenta u oblaku nastalom prikupljanjem nodula s morskog dna.

COMRA (China Ocean Mineral Resource Association) koristi koncept hidrauličnog principa koji ima 2 reda visoko tlačnih mlaznica, jedan za podizanje nodula s morskog dna, a drugi za prijenos istih do kolektora.

NIOT (National Institute of Ocean Technology) koristi mehanički princip koristeći kompozitnu lopatu nalik češlju za grabljenje nodula s morskog dna i transportira ih na transportnu traku.

IKR-ov dizajn je hibrid hidraulično-mehaničkog tipa gdje se nodule prenose prema gore uz pomoć visoko tlačnih mlaznica gdje se odbijaju od odbojne ploče i transportiraju na kolektor pomoću transportne trake s strugačima.

Razvijeni su prototipovi ovih prijedloga i testirani u laboratorijskim bazenima i plitkom moru gdje su ustanovili glavne nedostatke svakog tipa. Nažalost, još uvijek nema dovoljno komparativnih analiza i ispitivanja da bi se utvrdili svi mogući nedostaci.

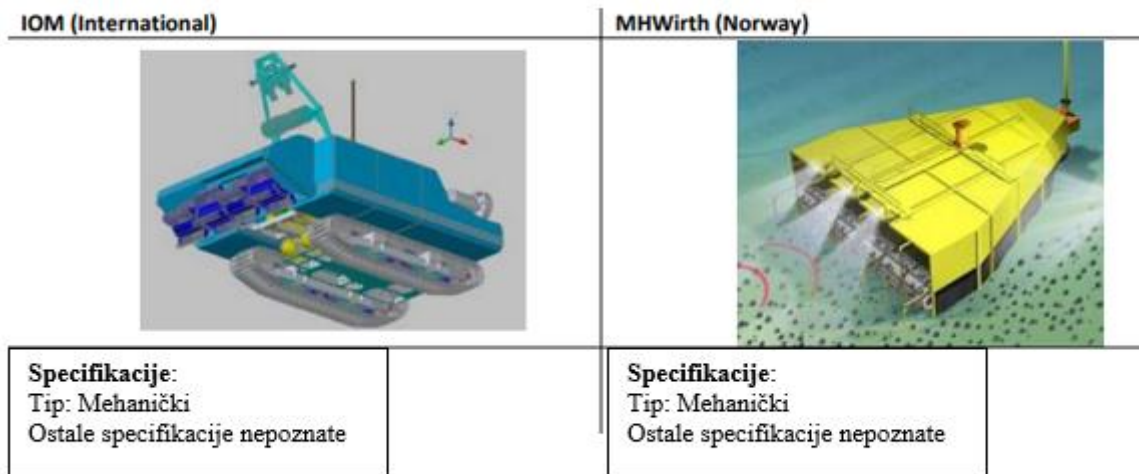
| COMRA (China) | OMI (International) | KORDI (Korea) |
|--|---|--|
|  |  |  |
|  |  |  |
| <p>Specifikacije: Kapacitet: 43 dt/h Širina: 2 m Snaga: 350 kW Tip: Hidraulični Brzina: <1 m/s Efikasnost: <95%</p> | <p>Specifikacije: Kapacitet: <60 dt/h Širina: 3 m Snaga: 19 kW Tip: Hidraulični Brzina: nepoznata Efikasnost: nepoznata</p> | <p>Specifikacije: Kapacitet: 30 dt/h Širina: 5 m Snaga: 550 kW Tip: Hidraulični Brzina: nepoznata Efikasnost: <95%</p> |

Slika 3-1. Kolektorski koncept na temelju hidrauličnih načela (Köller 2016.)

Na temelju specifikacija na slici 3-1 uočljivi su sljedeći nedostaci koncepta na temelju hidrauličnih načela (Schwartz, 1999.) :




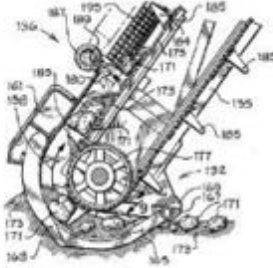

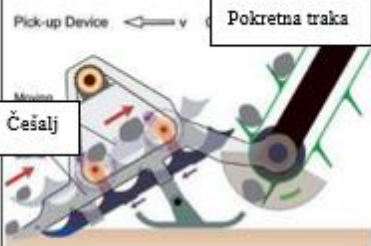
- Ekstremno velika potrošnja energije
- Mala brzina prikupljanja nodula
- Veliki poremećaji u sedimentu

Sljedeća slika 3-2 prikazuje kolektorski koncept na temelju mehaničkog bubnja.



Slika 3-2. Mehanički kolektorski koncept (Köller 2016.)

Slika 3-3 prikazuje kolektorski koncept na temelju mehaničkih i hibridnih načela.

| OMCO (U.S.) | IKR (Germany) | NIOT (India) |
|---|--|---|
|  |  |  |
|  |  |  |
| <p>Specifikacije: Kapacitet: nepoznato Širina: nepoznato Snaga: nepoznato Tip: Mehanički Brzina: nepoznato Efikasnost: nepoznato</p> | <p>Specifikacije: Kapacitet: nepoznato Širina: 4,6 m Snaga: nepoznato Tip: Hidraulično-Mehanički Brzina: 0.35 m/s Efikasnost: <87%</p> | <p>Specifikacije: Kapacitet: 8 dt/h Širina: 3.4 m Snaga: 120 kW Tip: Mehanički Brzina: 0.5 m/s Efikasnost: „dobra“</p> |

Slika 3-3. Kolektorski koncepti na temelju mehaničkih i hibridnih načela (Köller 2016.)

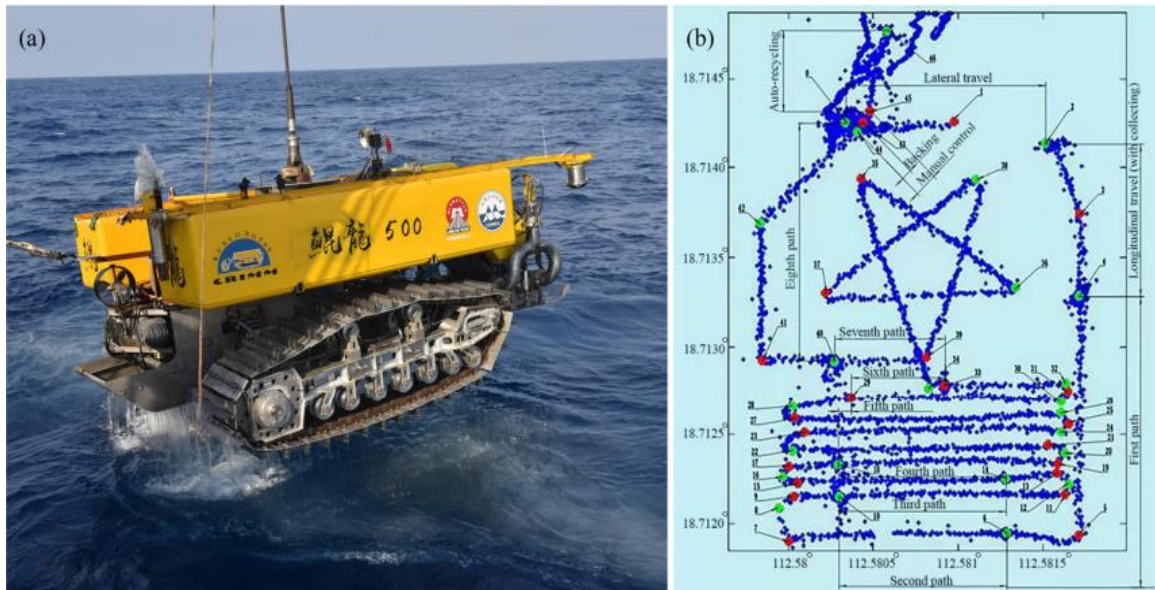
Na temelju slike 3-3 uočljivi su sljedeći nedostaci mehaničkog koncepta :

- Mogućnost začepljenja i veliko trošenje alata
- Visoka kompleksnost dizajna

Uzimajući u obzir sve koncepte iznad ustanovljene su sljedeće specifikacije za novi dizajn (Köller 2016.) :

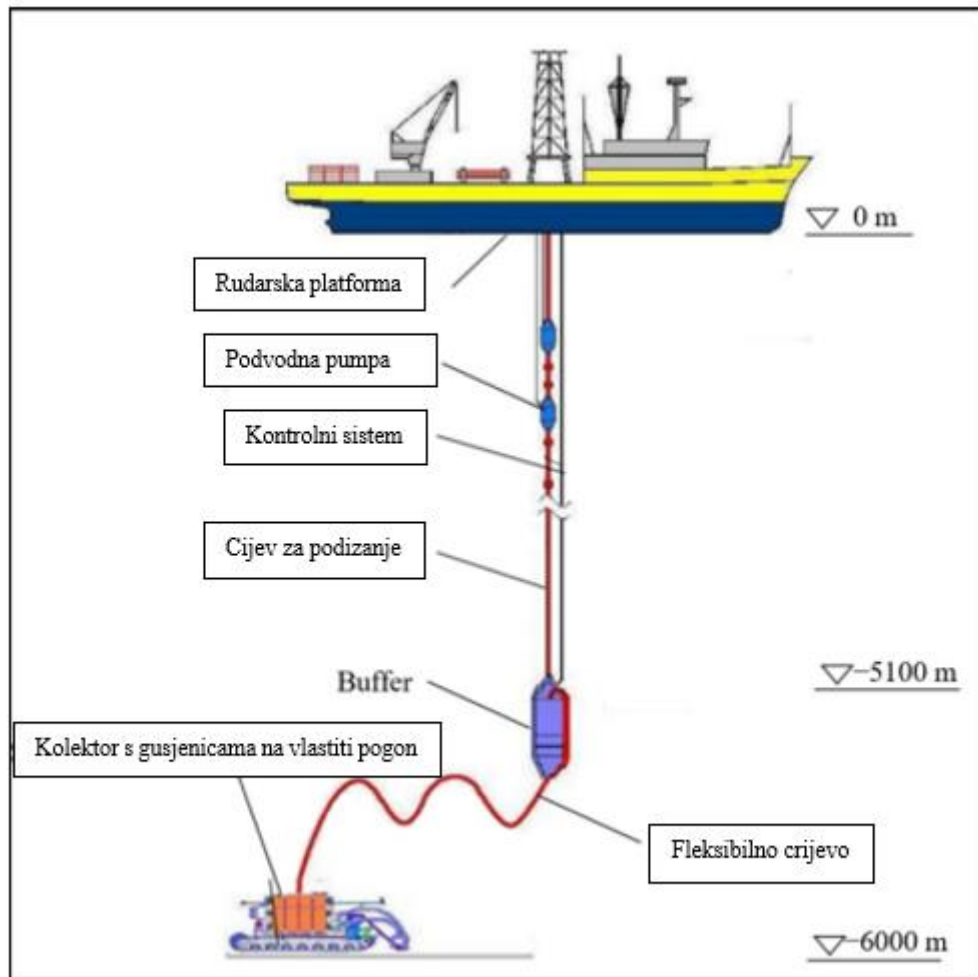
Kapacitet: 208 dt/h
Širina: 10-25 m
Snaga: 1.5 MW
Tip: Još se treba odrediti
Brzina: <1 m/s
Efikasnost: 95%

Provedena su istraživanja vezana za metode kretanja kolektora po morskom dnu da bi se omogućila visoka produktivnost u komercijalnoj eksploataciji nodula. Kolektori moraju prikupljati nodule s relativno velikog područja morskog dna. Kako ne bi došlo do trošenja resursa kolektori moraju imati mogućnost dobrog manevriranja i veliki kapacitet prikupljanja nodula. OMI kolektor se pasivno pomiče po morskom dnu na sanjkama vučen preko 5000 m dugog cjevovoda uz pomoć plovila na površini. Očito je da je koristeći ovu metodu teško precizno kontrolirati put kolektora. OMCO kolektor koristi pogonski mehanizam Arhimedovih vijaka da bih postigao kretanje. U teoriji bi se ovom metodom trebala moći postići dovoljna razina manevriranja, ali zbog mekog kohezivnog sedimenta vijci se veoma brzo i lagano ispune sedimentom i dolazi do proklizavanja i nemogućnosti okretanja. Da bi se spriječili ovi problemi, stručnjaci su počeli razmatrati korištenje pogona s gusjenicama na kolektorima. Istraživanja su pokazala da mehanizam gusjeničara s vlastitim pogonom ima dobru mogućnost manevriranja po morskom dnu i da uz korigiranje širine i tipa gusjenica mogu spriječiti propadanje na mekanom morskom dnu. U kombinaciji s naprednim pomorskim navigacijskim sustavima, ovakav pogon omogućava velike performanse, stabilno kretanje i praćenje puta po veoma mekanom sedimentnom tlu. Slika 3-5 prikazuje COMRA kolektor i put kojim se kretao po morskom dnu. Test je obavljen 2018. godine na dubini od 514 m i dužinom prijednog planiranog puta od 2881 m uz postignutu točnost podvodnog pozicioniranja od 0.72 m. (Kang i Liu 2021.)



Slika 3-4. Prototip kolektora nodula COMRA (a) i prijedeni put za vrijeme testa na morskom dnu (b) (Kang i Liu 2021.)

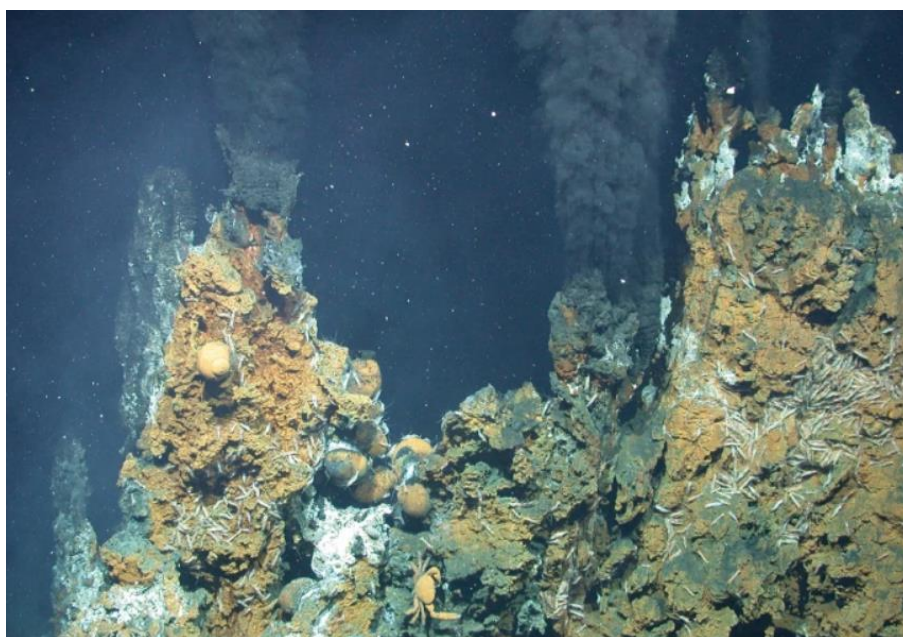
COMRA je dala prijedlog za dubokomorski sustav komercijalne eksploatacije nodula prikazano na slici 3-6 gdje kolektor s gusjenicama na vlastiti pogon prikuplja nodule te ih transportira preko fleksibilnog crijeva u Buffer koji ima prostor za pohranu nodula i propušta ujednačenu količinu nodula kroz cijev za podizanje gdje se uz pomoć podvodnih pumpi transportiraju do rudarske platforme ili pomoćnog plovila za proizvodnju.



Slika 3-5. COMRA Sustav za komercijalnu eksploataciju (Kang i Liu 2021.)

4. TEHNOLOGIJA EKSPLOATACIJE MASIVNIH SULFIDA MORSKOG DNE

Tereni morskog dna gdje se nalaze ležišta *masivnih sulfida* (slika 4-1) su veoma neravni i krševiti i debljina SMS ležišta je minimalno 10 m do čak nekoliko desetaka metara na pojedinim mjestima. Zbog toga, rudarski strojevi potrebni za eksploataciju SMS ležišta moraju zadovoljiti dva zahtjeva: Prvi bi bio otkopavanje depozitnih SMS stijena, a drugi stabilno kretanje po neravnom morskome dnu.

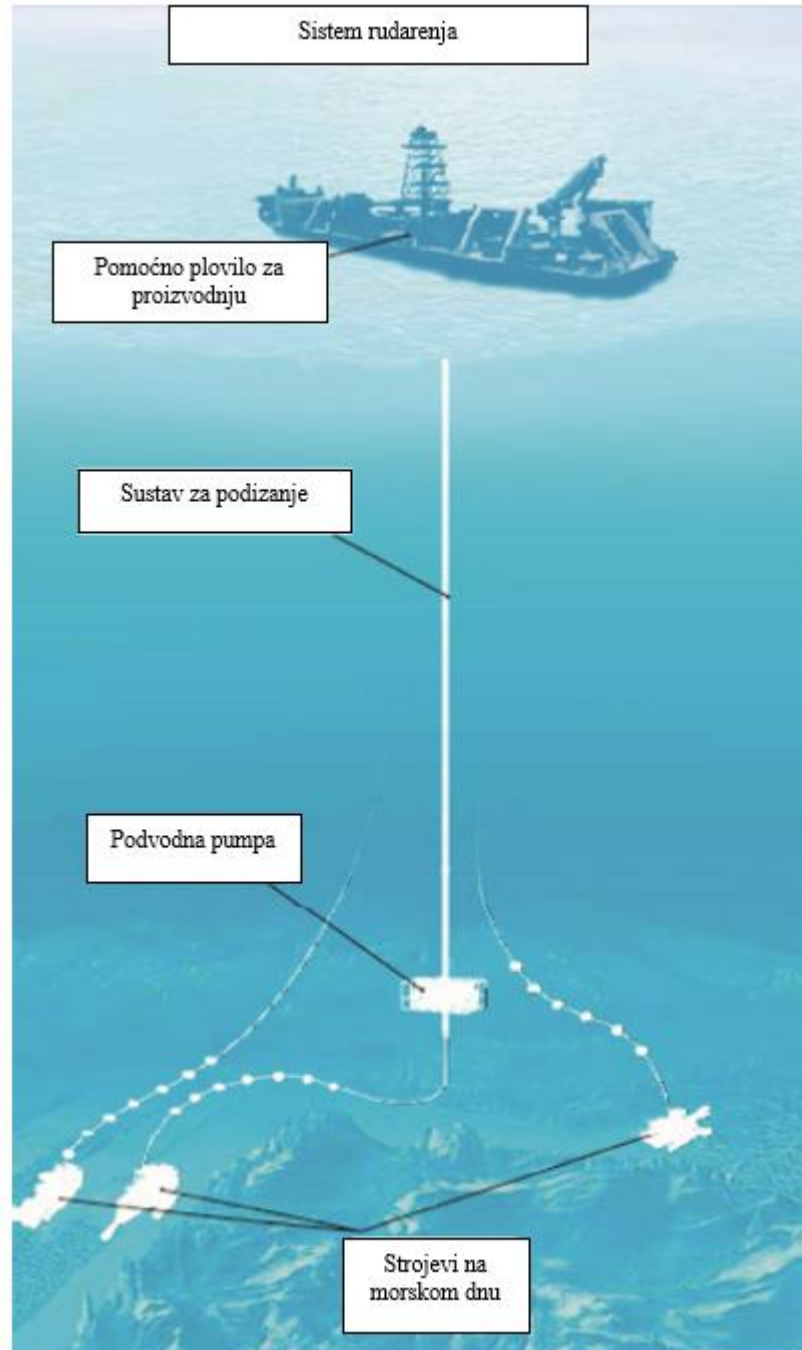


Slika 4-1. Masivni sulfidi morskog dna (Anderson, 2018.)

Sudeći prema mehaničkim svojstvima velikog broja uzoraka SMS ležišta, karakteristike otkopavanja SMS ruda su nam slične onima kod ruda ugljena, dok je čvrstoća i plastičnost slična mineralima soli i kalijevom karbonatu. Jednoosna čvrstoća na pritisak je manja od 40 MPa, pa za otkopavanje ovakvog tipa stijena prikladna je tehnologija korištena za kopanje ugljena na kopnu. Strojevi potrebni za SMS moraju biti pogodni za manevriranje po neravnom terenu tipičnom za SMS ležišta. (Liu et al., 2016.)

Vežano za daljnju obradu i oplemenjivanje SMS rude, stručnjaci vjeruju da bi se razvijena tehnologija korištena za sulfidne rude na kopnu mogla primijeniti i za SMS rudu. Stoga kombiniranjem rudarske mehanizacije korištene na kopnu skupa sa napretkom tehnologije u

pomorskom inženjerstvu, eksploatacija SMS ležišta je tehnički moguća, ali je potrebno još mnogo razvijanja da bi se realizirala komercijalna eksploatacija.



Slika 4-2. Nautilus minerals sustav rudarenja SMS ležišta (Liu et al., 2016.)

Prva zadaća rudarskog sustava prikazanog na slici 4-2 bi bila usitnjavanje masivnih minerala na veličinu pogodnu za daljnji transport minerala cijevnim transportnim sustavom podizanja s morskog dna na pomoćno plovilo uz pomoć podvodne pumpe na dnu.

Nautilus minerals je razvio tri tipa stroja za SMS ležišta (vidi sliku 4-3):

- pomoćni stroj za sukcesivni iskop s rotirajućom reznom glavom,
- stroj za sukcesivni iskop s rotirajućim reznim bubnjem,
- stroj za prikupljanje i transport mineralne sirovine (Liu et al., 2016).



Slika 4-3. Strojevi Nautilus minerals (Cherkashov, 2017)

Pomoćni stroj za sukcesivni iskop s rotirajućom reznom glavom

Pomoćni stroj za sukcesivni iskop s rotirajućom reznom glavom (eng. Auxiliary Cutter – AC) se koristi za usitnjavanje rude na morskome dnu iskopavajući materijal kontinuiranim procesom kopanja (slika 4-4). Pomoćni stroj je pripremni stroj koji prvenstveno služi za pravljenje platformi na neravnom terenu za druge strojeve. Kreće se pomoću sustava gusjenica s klinovima koji pružaju lakše kretanje po morskome dnu. Rezna glava je postavljena na zglobnu hidrauličnu ruku koja ima okretnu osovinu i granu. Ruka pruža prilagodljiv nosač za reznju glavu i omogućava otkopavanje velikog volumena stijene bez pomicanja samog stroja. Iako je drukčiji u primjeni, u nekim aspektima veoma je sličan stroju za sukcesivni iskop s rotirajućom reznom glavom i dijamantnim segmentima.



Pomoćni stroj
Duljina: 15.8 m
Širina: 6.0 m
Visina: 7.6 m
Zamah ruke: 11.6 m
Rezanje ruke: +4.0 -1.0 m

Slika 4-4. Pomoćni stroj za sukcesivni iskop s rotirajućom reznom glavom (Wang, 2013)



Slika 4-5. Stroj za sukcesivni iskop s rotirajućom reznom glavom i dijamantnim segmentima (Liu et al., 2016)

Stroj za sukcesivni iskop s rotirajućim reznim bubnjem

Stroj za sukcesivni iskop s rotirajućim reznim bubnjem (eng. Bulk Cutter – BC) je veliki stroj postavljen na gusjenice koji može podnijeti otkopavanje velike količine materijala. Njegov je cilj otkopavanje i usitnjavanje velike količine minerala na najpraktičniji i najefikasniji način. On služi samo za otkopavanje, a ne i prikupljanje materijala. Ovaj stroj (slika 4-6) je veoma sličan rudarskom stroju za kopanje ugljena na kopnu prikazan na slici 4-7.



Slika 4-6. Stroj za sukcesivni iskop s rotirajućim reznim bubnjem (Wang, 2013.)



Slika 4-7. Stroj za kopanje ugljena na kopnu (Liu et al., 2016)

Stroj za prikupljanje i transport mineralne sirovine

Stroj za prikupljanje i transport mineralne sirovine na slici 4-8 (eng. Collector Machine – CM) služi za prikupljanje usitnjenih minerala sa morskog dna koje za sobom ostavljaju stroj za sukcesivni iskop s rotirajućim reznim bubnjem i pomoćni stroj za sukcesivni iskop s rotirajućom reznom glavom. To je veliki robotski stroj koji pomoću unutarnjih pumpi usisava usitnjeni materijal skupa sa muljevitom morskom vodom i transportira ga do sustava za podizanje.



Slika 4-8. Stroj za prikupljanje (Wang, 2013)

Sustav za hidraulički transport

Sustav je dizajniran da može transportirati muljevit vodu skupa sa usitnjenim materijalom uz pomoć pumpe na površinu kroz vertikalnu cijev. Sustav obuhvaća pumpu koja se nalazi u bazi podizača na slici 4-9 gdje prima mješavinu muljevite vode sa usitnjenim materijalom i pumpa mješavinu na površinu preko sustava dizanja s krutom cijevi do površine na pomoćno plovilo za proizvodnju. Sam sustav za hidraulički transport ima jako malo utjecaja na okoliš zbog toga što transportira mješavinu s morskog dna do površine bez interakcije s vanjskom morskom vodom (Liu et al., 2016).



Slika 4-9. Podvodna pumpa (Liu et al., 2016)

Pomoćno plovilo za oplemenjivanje

Pomoćno plovilo za oplemenjivanje osigurava ostajanje na istoj lokaciji neovisno o vremenskim uvjetima koristeći se globalnim pozicijskim tehnologijama i pruža stabilnu platformu za operacije. Opremljen je s bazenom kroz kojega se može spustiti pumpa i sustav dizanja, dok se na palubi odvajaju transportirani materijal od muljevite vode koja se šalje preko cijevi nazad na morsko dno. Takav djelomično suhi materijal se onda skladišti u trupu broda koji se onda svako 5-7 dana prebacuje na transportno plovilo usidreno pokraj pomoćnog plovila za oplemenjivanje (Liu et al., 2016).

5. TEHNOLOGIJA EKSPLOATACIJE KOBALATOM BOGATE ŽELJEZO-MANGANOVE KORE

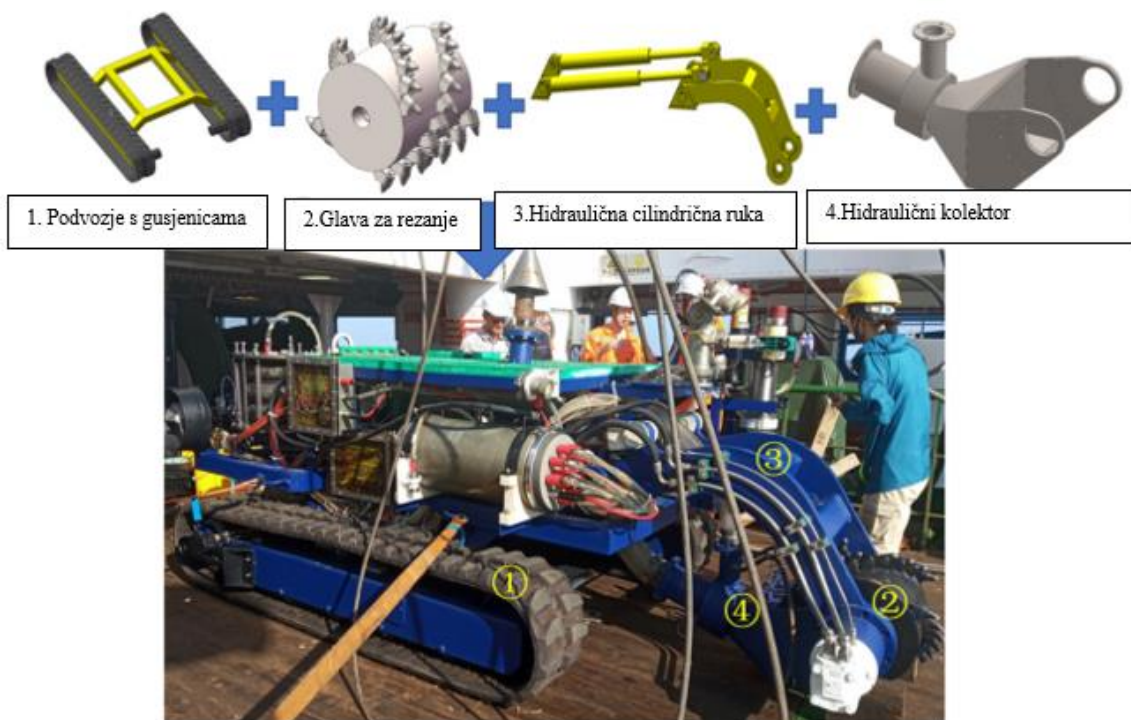
Gledano s tehnološke perspektive, eksploatacija *kobaltom bogate željezo-manganove kore* je puno kompleksnija od eksploatacija *polimetalnih nodula* i *masivnih sulfida*. Jako strm i neravan teren kao i promjenjiva debljina kore predstavljaju ozbiljne prepreke u dizajniranju i operaciji strojeva. Većinu prikupljenih podataka vezanih za rudarenje kobaltom bogate kore posjeduju države Kina, Rusija i Japan. Nažalost, podatci nisu objavljeni, pa nam trenutna razvijena tehnologija ostaje još uvijek nepoznata.

Prilikom dizajniranja rudarskog stroja za eksploataciju željezo-manganove kore potrebno je ispuniti sljedeće zahtjeve (Xie et al., 2021):

- Alat za drobljenje mora odlomiti kobaltom bogatu koru od stijene i usitniti je na fragmente veličine 15-30 mm
- Rezna glava mora imati mogućnost vertikalnog pomicanja prema gore i dolje da može efikasno eksploatirati i prilagoditi se terenu
- Treba se postići efikasno i pouzdano prikupljanje fragmenata veličine 0-100 mm
- Rudarski stroj mora biti dizajniran za rad na tvrdom i strmom morskom dnu te imati mogućnost prilagođavanja terenu
- Mogućnost održavanja stroja na istom putu kao i pomoćno plovilo tijekom spuštanja na morsko dno

Prema ovim zahtjevima dolazimo do spoznaje da rudarski stroj treba imati funkcije: kretanja, drobljenja, prikupljanja i prilagođavanja terenu. Na slici 5-1 možemo vidjeti:

1. Podvozje s gusjenicama za kretanje
2. Rezna glava za odvajanje kore od stijene
3. Hidrauličnu cilindričnu ruku za kontrolu rezne glave i prilagođavanja terenu
4. Hidraulični kolektor iza rezne glave za prikupljanje fragmenata kore



Slika 5-1. Rudarski stroj za željezo-manganovu koru (Xie et al., 2021.)

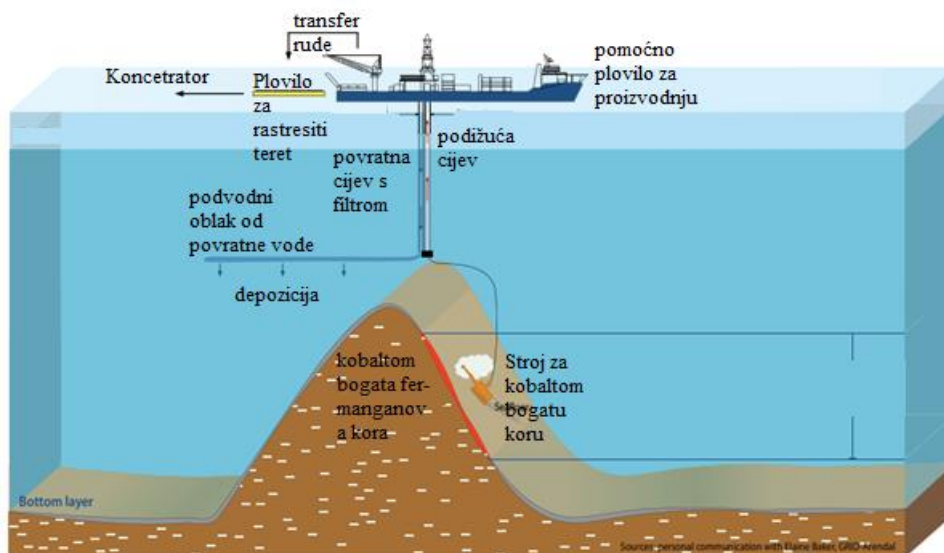
Pomoćno plovilo za proizvodnju

U centru rudarske operacije je pomoćno plovilo za proizvodnju (eng. Production Support Vessel – PSV), veoma slično plovilima korištenim u naftnoj i plinskoj industriji i bagerovanju, gdje mu je zadaća osigurati veliki palubni prostor i stabilnu platformu s koje se izvode i kontroliraju rudarske operacije. Pomoću raznih sustava za dinamičko pozicioniranje s nekoliko električnih i dizel pogonjenih propelera kontroliranih kompjuterom koristeći GPS tehnologiju ili uz pomoć sidrenja održava svoju poziciju na površini točno iznad ležišta. Suvremeno dinamičko pozicioniranje je veoma precizno i osigurava stabilnost plovila. Plovilo također mora osigurati mogućnost pomicanja rudarskih strojeva na morskom kao i mogućnost sidrenja plovila za rasuti teret pokraj pomoćnog plovila za proizvodnju radi transporta rude.

Sustav za podizanje

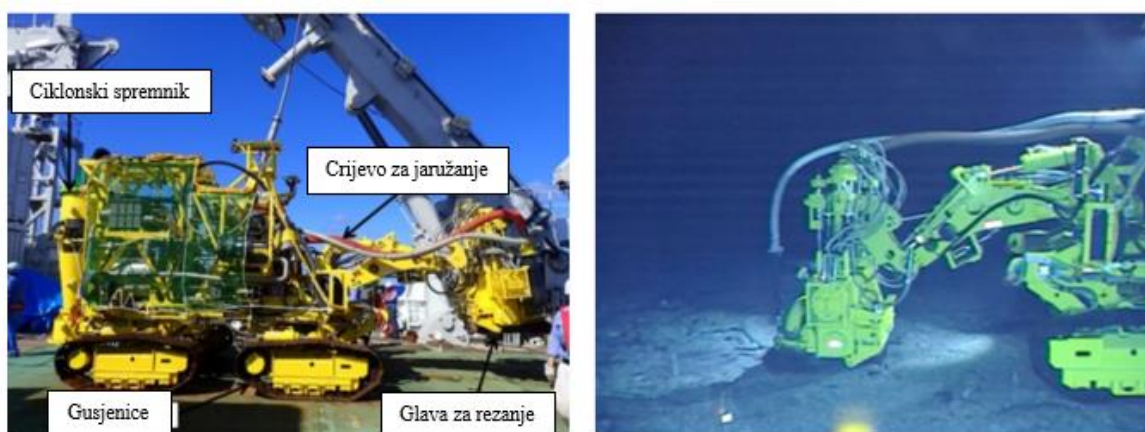
Istražene su brojne metode za transport rude sa morskog dna na površinu, a većina njih se bazira na potpuno zatvorenom sustavu za podizanje razvijenom za naftnu i plinsku industriju. Glavna zadaća sustava za podizanje je primanje i vertikalni transport iskopanih

fragmenata iz ležišta na morskom dnu do palube pomoćnog plovila za proizvodnju gdje se odvaja voda od rude i vraća nazad u more (slika 5-2). Transport se odvija uz pomoć podvodnih pumpi za dizanje ili sustava za zračni lift.



Slika 5-2. Sustav rudarenja kobaltom bogate željezo-manganove kore (Beaudoin i Baker, 2013.)

JOGMEC (Japan Oil, Gas & Metals National Corporation) pod vodstvom tima Yoshiaki Igarashi i u kolaboraciji s industrijom i vladom Japana je proveo više testova eksploatacije kobaltom bogate kore, pod raznim uvjetima na strmom i mekanom morskom dnu (slika 5-3). Kako bi spriječili bilo kakav ozbiljni utjecaj na okoliš, tim je također posebno pratio utjecaje na okolinu prije, tijekom, i nakon iskopavanja kobaltom bogate kore.



Slika 5-3. Test eksploatacije kobaltom bogate kore (JOGMEC, 2020.)

JOGMEC je u srpnju 2020. za vrijeme prvog testa u svijetu na pomorskom istražnom plovilu „Hakurei“ prikazanom na slici 5-4 prikupio 649 kg kobaltom i niklom bogate kore.



Slika 5-4. Pomorsko istražno plovilo „Hakurei“ (JOGMEC, 2020.)

Prema već provedenim istražnim ispitivanjima pretpostavlja se da područje oko podmorske planine „Takuyo No. 5“ sadrži dovoljno kobalta da zadovolji potrebe Japana za sljedećih 88 godina i dovoljno nikla za sljedećih 12 godina (JOGMEC, 2020).

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu se raspravljalo o različitim tehnologijama i primjeni rudarske mehanizacije u dubokomorskoj eksploataciji. Postoje tri različita tipa dubokomorske eksploatacije: eksploatacija *polimetalnih nodula*, *masivnih sulfida morskog dna* i *kobaltom bogate željezo-manganove kore*. Do sada su provedena samo istraživanja za sva tri tipa, još se nije krenulo u komercijalnu eksploataciju.

Polimetalne nodule slobodno leže na ravnom morskome dnu i za njih je potreban stroj za eksploataciju, koji ih treba samo pokupiti i transportirati pomoću vertikalnog transportnog sustava do površine. Eksploatacija *Masivnih sulfida morskog dna* kao i *kobaltom bogate željezo-manganove kore* zahtjeva strojeve za otkopavanje i drobljenje kako bi mogli odvojiti rudu od morskog dna te ju transportirati pomoću vertikalno transportnog sustava do površine. Vertikalni transportni sustav predstavlja izazov za sva tri tipa jer još uvijek nije napravljena cijev potrebnoga promjera da bi eksploatacija mogla biti komercijalno isplativa. Sve veća primjena elektronike dovodi do velike potražnje za metalima koji se na dubokomorskom dnu nalaze u velikim količinama. Eksploatacijom samo polimetalnih nodula možemo s istog ležišta eksploatirati više vrsta potrebnih metala kao što su mangan, bakar, kobalt i nikl što nije slučaj u ležištima na kopnu.

Mnoge državne i privatne institucije rade na razvoju tehnologije kako bi komercijalna eksploatacija postala izvediva. Provedena istraživanja su dovela do saznanja da je komercijalna eksploatacija moguća uz suvremenu tehnologiju i kontinuirani razvoj dubokomorskih sustava.

7. LITERATURA

BEAUDOIN, Y., BAKER, E. 2013. *Deep Sea Minerals: Cobalt-rich Ferromanganese Crusts, a physical, biological, environmental, and technical review*. IC , SPC

DRAZEN, J.C., SMITH, C.R., GJERDE, K.M., et al. 2020. *Midwater ecosystems must be considered when evaluating environmental risks of deep-sea mining*. PNAS, 117(30), str. 17455–17460.

KANG, Y., LIU, S. 2021. *The Development History and Latest Progress of Deep-Sea Polymetallic Nodule Mining Technology*. 11(10), str. 1132.

KÖLLER, F. 2016. *Mitigating Turbidity Impact of Deep Sea Nodule Harvesting* Teza. Delft: Tehnološko sveučilište Delft, 2016.

SCHWARZ, W., BROCKETT, T., KATSUYA, T., & MEFARLANE, J. 1999. *Proposed technologies for mining deepseabed polymetallic nodules*. Kingston, Jamaica: Ured za resurse i praćenje okoliša ISA

LIU, S., HU, J., ZHANG, R. et al. 2016. *Development of Mining Technology and Equipment for Seafloor Massive Sulfide Deposits*. 29(5), str. 863-870.

SHARMA, R. 2017. *Deep-Sea Mining*. Springer, Cham.

XIE, C., WANG, L., YANG, N. et al. 2021. *A Compact Design of Underwater Mining Vehicle for the Cobalt-Rich Crust with General Support Vessel Part A: Prototype and Tests*. *Marine Science and Engineering*. 10(2), str. 135

ANDERSON, M.O. 2018. *Deep-sea ore deposits*. *Nature Geosci* 11, 706. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0237-y> (13.07.2022)

CHERKASHOV, G. 2017. *Seafloor Massive Sulfide Deposits: Distribution and Prospecting*. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-52557-0_4 (23.08.2022)

CLARKE, R. 2021. *The Environmental Impacts of Deep-Sea Mining*. URL: <https://www.treehugger.com/deep-sea-mining-impact-5181155> (14.07.2022.)

ISA, 2003. *Polymetallic nodules*. URL: <https://www.isa.org.jm/files/documents/EN/Brochures/ENG7.pdf> (14.07.2022)

JOGMEC, 2020. URL:

https://www.jogmec.go.jp/english/news/release/news_01_000033.html (23.08.2022)

PEW, 2018. *Deep Sea Mining: The Basics* URL: <https://www.pewtrusts.org/en/research-and-analysis/fact-sheets/2017/02/deep-sea-mining-the-basics> (13.07.2022)

WANG, B. 2013. *Seafloor mining robots and equipment nearing completion to mine for gold, silver and copper*. URL: <https://www.nextbigfuture.com/2013/10/seafloor-mining-robots-and-equipment.html> (13.08.2022)

WOR, 2014. *A metal rich crust*. URL: <https://worldoceanreview.com/en/wor-3/mineral-resources/cobalt-crusts/> (13.08.2022.)