

PROTEUS

*mesečnik
za poljudno
naravoslovje*



Maj, junij 2024 9-10/86. letnik
cena v redni prodaji 11,00 EUR
naročniki 8,64 EUR
upokojenci 7,10 EUR
dižaki in študenti 6,72 EUR
www.proteus.si



Razvoj prototipa robota za izkoriščanje težko dostopnih mineralnih surovin – projekt *Robominers*

Timotej Verbovšek, Gorazd Žibret

Namen projekta *Robominers* in problematika evropskih držav s surovinami

V Evropi obstaja dolga in bogata tradicija rudarjenja, ki vsekakor sega že v prazgodovino. Danes pa je položaj precej drugačen. Veliko rudnikov v Evropi je že izkoriščenih ali pa proizvodnja ni več donosna in izkoriščanje surovin poteka na drugih celinah. Posledično smo v Evropi odvisni od uvoza številnih surovin iz drugih držav, kar je seveda strateško problematično. Leta 2020 je Evropska komisija objavila četrti posodobljeni seznam kritičnih mineralnih surovin (Critical Raw Materials, CRM), med katerimi je prepoznala trideset surovin kot kritičnih za razvoj evropskega gospodarstva, med temi so večinoma kovine in elementi redkih zemelj. Poleg tega je marca leta 2023 Evropska komisija predstavila osnutek Evropskega akta o kritičnih surovinah (Critical Raw Materials Act, CRMA), ta zakonodajna pobuda pa naj bi okrepila dostopnost kritičnih surovin Evropske unije, povečala recikliranje, razpršila dobavne verige surovin in povečala domačo proizvodnjo surovin. Akt o kritičnih mineralnih surovinah je v času priprave prispevka tik pred uradnim sprejetjem. Potrebe po surovinah namreč rastejo, prav tako pa raste tudi raznolikost surovin, ki jih potrebujemo. Svetovna banka na primer predvideva, da bo do leta 2050 povpraševanje po kritičnih surovinah zraslo za petsto odstotkov, predvsem zaradi potreb po baterijah, za katere potrebujemo litij, grafit in elemente redkih zemelj, in povečevanja proizvodnje visoko tehnoloških izdelkov.

Veliko rudnikov v Evropi je sicer opuščenih, a je v njih lahko še veliko neizkoriščenih virov, ki z dosedanjimi načini izkopavanja niso bili dosegljivi ali njihovo izkoriščanje ni bilo gospodarno. Sicer lahko z recikliranjem nekatere dele potreb po neobnovljivih virih nadomeščamo, toda recikliranje velikokrat zaradi prevelike rasti porabe ne more zadostiti povpraševanju, nekaterih surovin se sploh ne da reciklirati, poleg tega pa tudi večine neobnovljivih surovin ne moremo nadomestiti z obnovljivimi. Predvsem so izkoriščena lahko dostopna in bogata rudišča, obstajajo pa težko dostopna nahajališča z bogato rudo, pa tudi veliko nahajališč s siromašno rudo. Ocenjujemo, da je v Evropi približno 30.000 opuščenih kovinskih rudnikov in približno 20.000 premogovnikov, številni od njih pa še lahko vsebujejo znatne

količine težko dostopnih mineralnih surovin.

Opušчени rudniki so lahko torej še vedno perspektivni za nadaljnje izkoriščanje rude, a s sedanjo (konvencionalno) tehnologijo rudarjenja je izkoriščanje nevarno in tudi negospodarno. Delo v podzemnih rudnikih je nemalokrat nevarno za ljudi, saj v njih lahko prihaja do porušitev, vdorov podzemne vode ali plina, eksplozij, požarov in podobno. Zapuščeni rudniki so s tega vidika še bolj problematični predvsem zato, ker niso vzdrževani.

Nenehno povečevanje rabe surovin in dejstvo, da je lahko dostopna in bogata ruda že večinoma izkoriščena, je prisililo rudarsko industrijo, da povečuje obratovalne zmogljivosti, saj večji letni odkopi pomenijo nižjo ceno na enoto proizvoda. Žal pa veli-

ka izkopavanja v rudarstvu pogosto puščajo nepotrebne okoljske odtise (rudarske odpadke, rabo prostora in vode, prašenje, vplive na površje) in nemalokrat tudi slabo voljo ljudi. Zato se bo moralo rudarstvo v prihodnosti osredotočiti na natančno rudarjenje z nizkim okoljskim odtisom. Posledično bomo morali veliko odkopavanje nadomestiti z majhnim. Te težave lahko rešimo, če se lotimo raziskovanja in izkoriščanja rudnikov z roboti.

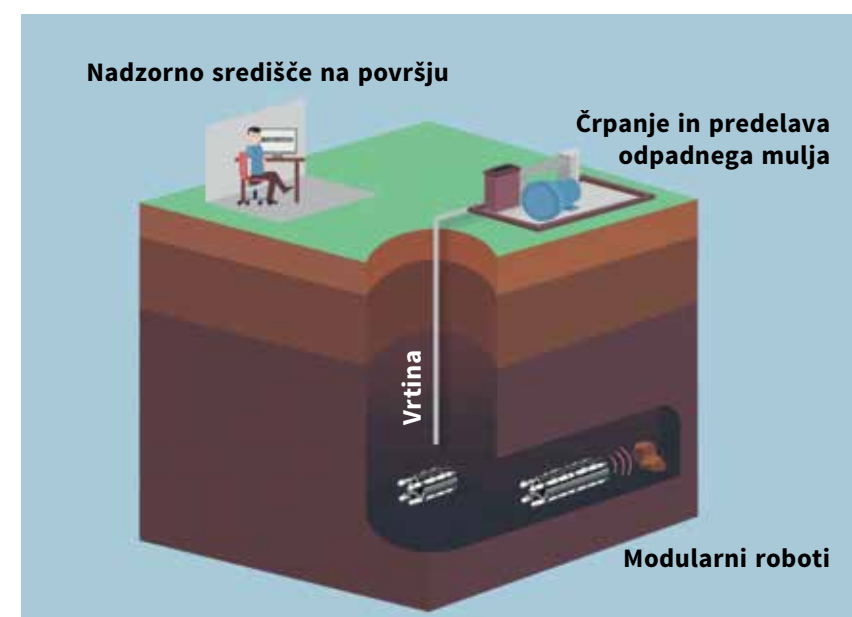
Roboti rudarji imajo veliko prednosti pred ljudmi pri izkoriščanju in raziskovanju nahajališč, saj lahko delajo neprekinjeno, v precej bolj skrajnih razmerah kot človek. Njihova velikost je namreč skorajda poljubna in zmorejo odkopavati rudo brez izgradnje večjih podpornih objektov (na primer jaškov ali vpadnikov), ko pa pridejo do rude, spremenijo način dela in se lahko po potrebi tudi avtonomno sestavijo ali razstavijo (so modularni). Delajo lahko tudi v različnih okoljih (vročih, korozivnih, v slani vodi, ogljikovodikih in podobno), za njihovo delo ni treba odvodnjavati rudnikov, opremljeni pa so s številnimi senzorji (tipali), ki

natančno prepoznavajo okolico ter mineralno in kemično sestavo kamnin. Seveda ne poteka vse brez težav, saj je treba zagotoviti komunikacijo z robotom, preprečiti, da korozivna voda, visoke temperature in sevanje iz okolja ne poškodujejo elektronike in samega robota, robot potrebuje energijo za delovanje, pri izkoriščanju rud moramo zagotoviti povratno silo, zamenjati obrabljene dele in torej predvsem usposobiti robota za avtonomno (samostojno) delovanje.

O projektu *Robominers*

Prototip robotskega rudarja smo razvijali v projektu *Robominers*, ki ga je financirala Evropska unija s programom *Obzorje 2020* (št. pogodbe 820971). Projekt je potekal štiriinpetdeset mesecev (od prvega junija leta 2019 do enaintridesetega novembra leta 2023). Glavni namen projekta je bil izdelati prototip modularnega robota, pri njegovi zasnovi pa bodo uporabljene nekatere rešitve, ki jih že najdemo v naravi, na primer pri organizmih, ki rijejo pod zemljo (bramorji, črčki, črvi in drugi), in pri organizmih, ki kopljejo v morsko dno. Robot je sposoben

Koncept podzemnega izkoriščanja z modularnim robotom *Robominers* s spustom robota skozi vrtino. Vir: *Robominers*.



delovati, se premikati in rudariti v potopljenih podzemnih razmerah in tudi na suhem. Celotni naziv projekta je *Robominers – Resilient Bio-inspired Modular Robotic Miners*, kar pomeni prožni modularni robotski rudar, zasnovan na podlagi bioloških rešitev. Drugi cilj projekta je narediti koncept avtonomnega (samostojnega) robotiziranega rudarskega sistema, ki bi ga v prihodnosti lahko uporabili tudi za rudarjenje na zunajzemeljskih telesih, ter izdelati načrt potrebnih raziskav in inovacij za doseg tega cilja.

V projektu, ki ga je vodil Center za avtomatizacijo in robotiko (CAR) na Politehnični univerzi v Madridu (UPM), je sodelovalo štirinajst partnerjev iz enajstih evropskih držav, med katerimi je bil tudi Geološki zavod Slovenije. Naloga Geološkega zavoda Slovenije je bila sodelovati pri zasnovi robotskega rudarja, sodelovali pa smo tudi pri geoloških temah znotraj projekta, kot je določitev ležišč mineralnih surovin, kjer bi lahko imela robotska tehnologija rudarjenja bistveno prednost pred običajnim načinom. Skupaj s skupino strojnikov, programerjev, mehatronikov, strokovnjakov za umetno inteligenco in senzoriko ter drugimi smo nenehno bili v stiku in smo z našim geološkim znanjem in znanjem iz rudarstva pomagali usmerjati razvoj in izdelavo prototipa in koncepta robotskega rudarskega »ekosistema«. V sklepnih fazah projekta smo skrbeli za testiranje opreme v realnem okolju ter smo na podlagi rezultatov testiranja določevali ekonomske učinke te tehnologije v primerjavi z običajno. Geološki zavod Slovenije je bil zadolžen tudi za vzpostavitev grozda podobnih projektov, z njim bi zagotavljali sinergijske učinke med različnimi raziskovalnimi skupinami, ki se ukvarjajo s podobno tematiko. Skrbeli smo tudi za razširjanje rezultatov projekta.

Posredno (kot zunanja organizacija) pa je Slovensko geološko društvo sodelovalo tudi z Evropsko zvezo geologov (EFG), ki je skrbela za razširjanje rezultatov projekta. Slovensko geološko društvo je pri projektu

delovalo kot predstavnik Evropske zveze geologov in skrbelo za predstavitev projektnih rezultatov slovenski javnosti ter za izdelavo evropske podatkovne baze morebitnih zanimivih lokacij.

O robotu

Prototip robota je bil zasnovan po organizmih v naravi (tako imenovano bionavdihnjenno oblikovanje) – za organizme je namreč že iz geoloških dob znano, da iščejo hrano in se premikajo na precej različne načine (to lahko zasledimo v tako imenovanih slednih fosilih oziroma ihnofosilih) po poteh, ki so geometrijsko precej razvejene oziroma fraktalne. Robot naj bi bil sposoben delovati, se premikati in rudariti v podzemnih razmerah (pod vodo in na suhem), vedeti, kje se nahaja, sposoben v realnem času zaznati rudo in okoliško prikamnino ter določevati kemične elemente v svoji okolici ter na podlagi zbranih podatkov tudi sprejemati odločitve. Osnovno načelo je bilo, da je robot samostojen in modularen, da je torej sposoben sam dodajati ali odvzemati različne module v podzemnem okolju in se tako prilagoditi razmeram. Poleg tega naj bi bil robot tudi dovolj majhen, da se bo lahko spustil v podzemno nahajališče skozi večjo vrtino in se sestavil pod površino. Ena od ključnih prednosti robota je njegova sposobnost natančnega in selektivnega odkopavanja, kar v praksi pomeni drastično zmanjšanje nastajanja rudarskih odpadkov. Njegova možnost delovanja pod vodo pomeni ogromne prihranke pri črpanju vode iz jame kakor tudi veliko zmanjšanje vplivov na okolje. Izdelava robota je bila zato tehnično precej zahtevna, v času trajanja projekta pa so bili izdelani trije prototipi.

Prototipi robotov

Pri projektu sta bila sprva razvita prototipa robota RM-3, nato RM-2, nazadnje pa še popolno delujoči prototip RM-1, zato je v nadaljevanju opisan predvsem ta.



Primerjava prototipov RM-1, RM-2 in RM-3. Vir: ROBOMINERS.

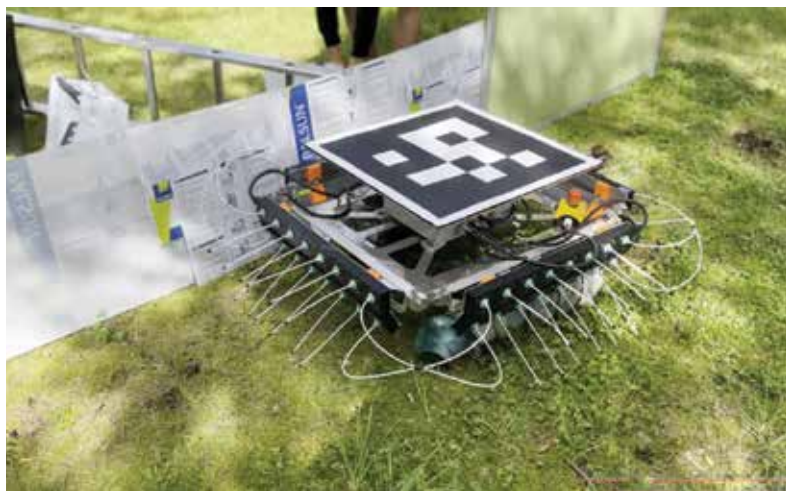
Prototip RM-3

Prvi prototip, robot RM-3, je bil preizkušen v Belgiji v opuščnem podzemnem rudniku barita in svinca iz osemnajstega stoletja v srednjedevonskih apnencih. Lokacija rudišča z visoko mineraliziranimi majhnimi žilnimi rudnimi telesi je bila izbrana za preverjanje geofizikalnih senzorjev in tipalnih senzorjev prototipa RM-3, ki se uporabljajo za trirazsežno kartiranje in navigacijo. Testiran je bil tudi sistem premikanja, ki je temeljil na Arhimedovih vijakih. Prototip RM3 je lahka (petdeset kilogramov) gibalna testna

platforma, opremljena s senzorji (tipali), ki so jo razvili v središču za robotiko TalTech. Pri prototipu so preverjali pogon, določanje položaja in razne okoljske meritve. Prototip je opremljen s štirimi motorji in inovativnim sistemom določanja položaja in meritev – osemindesetimi tipali oziroma »brki«, povezanimi z matično ploščo. Dodana sta bila tudi zelo majhna spektrometra za meritve odbojnosti in fluorescence. Za vidno določanje položaja in kartiranje so uporabili kamere na samem robotu.

Prototip RM-3. Vir: ROBOMINERS.





*Prototip RM-3.
Vir: ROBOMINERS.*

Prototip RM-2

Prototip robota RM-2 je bil testiran. Preizkusili smo sklapljanje njegovih modulov (kako se robot sam sestavi oziroma razstavi) ter preverili njegove sposobnosti premikanja po različnih terenih in naklonih tal. Preizkusili smo tudi sisteme nadzora, avtonomije in interakcije človeka z robotom. Video posnetek premikanja in sklapljanja RM-2 je na

voljo na povezavi <https://www.youtube.com/watch?v=mkZPhTiaeFQ>.



Prototip RM-2: sklapljanje dveh modulov. Vir: zaslonski zajem YouTube.



Proces sklapljanja dveh modulov



Rekonfiguracija treh modulov

Prototip RM-2: rekonfiguracija treh modulov. Vir: zaslonski zajem YouTube.

Prototip RM-1

Na podlagi pridobljenih izkušenj pri izdelavi prototipov RM-2 in RM-3 je bil izdelan robustni in popolnoma delujoči prototip

robota RM-1, ki smo ga nato preizkušali v realnem okolju. Prototip robota RM-1 smo preizkusili v odprtokopnem rudniku Kunda v Estoniji med 31. julijem in 4. avgu-

Nadzorna soba robota. Foto: Gorazd Žibret.



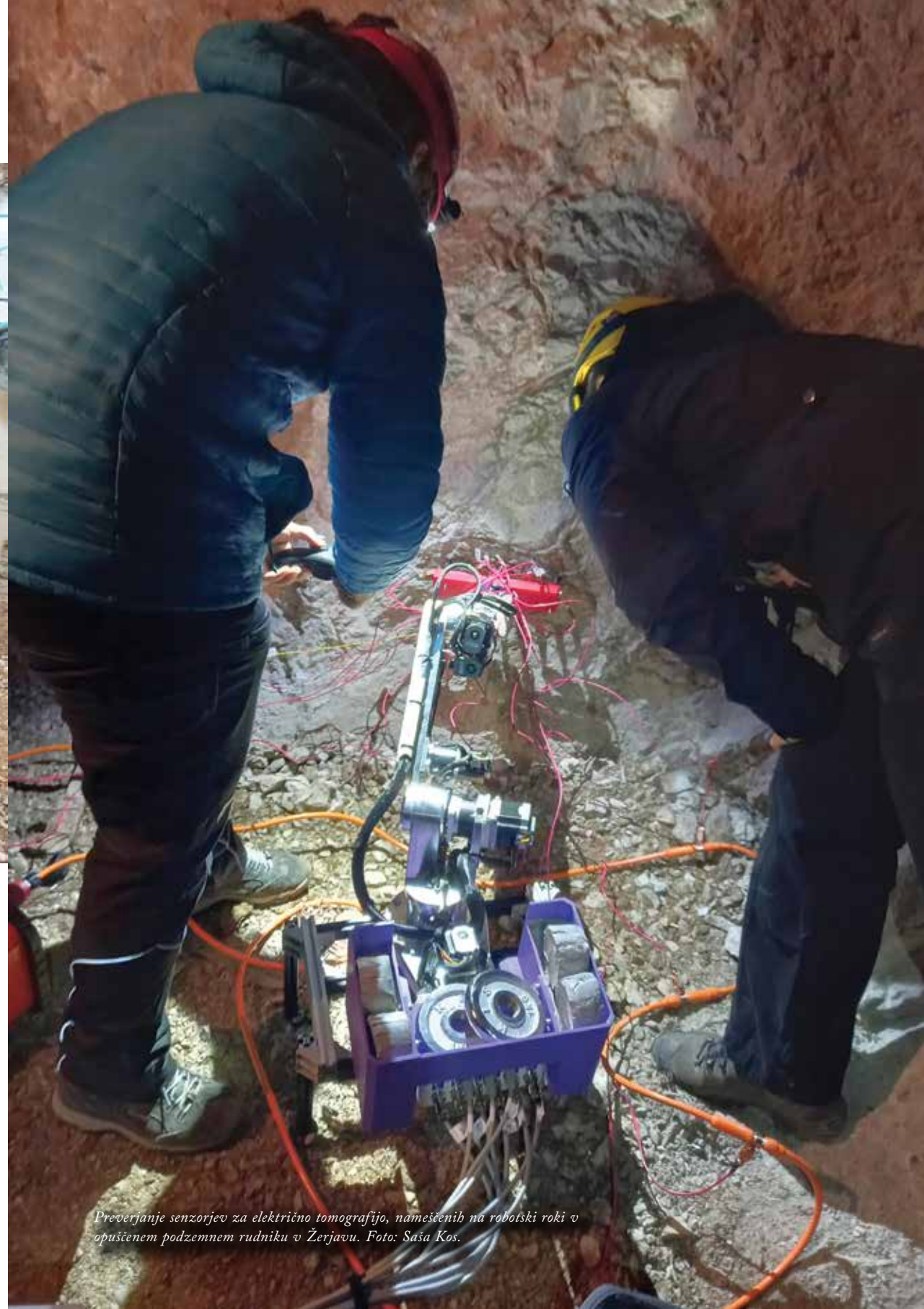


Delujoči prototip RM-1 v kamnolomu Ubja blizu kraja Rakvere v Estoniji. Foto: Gorazd Žibret.

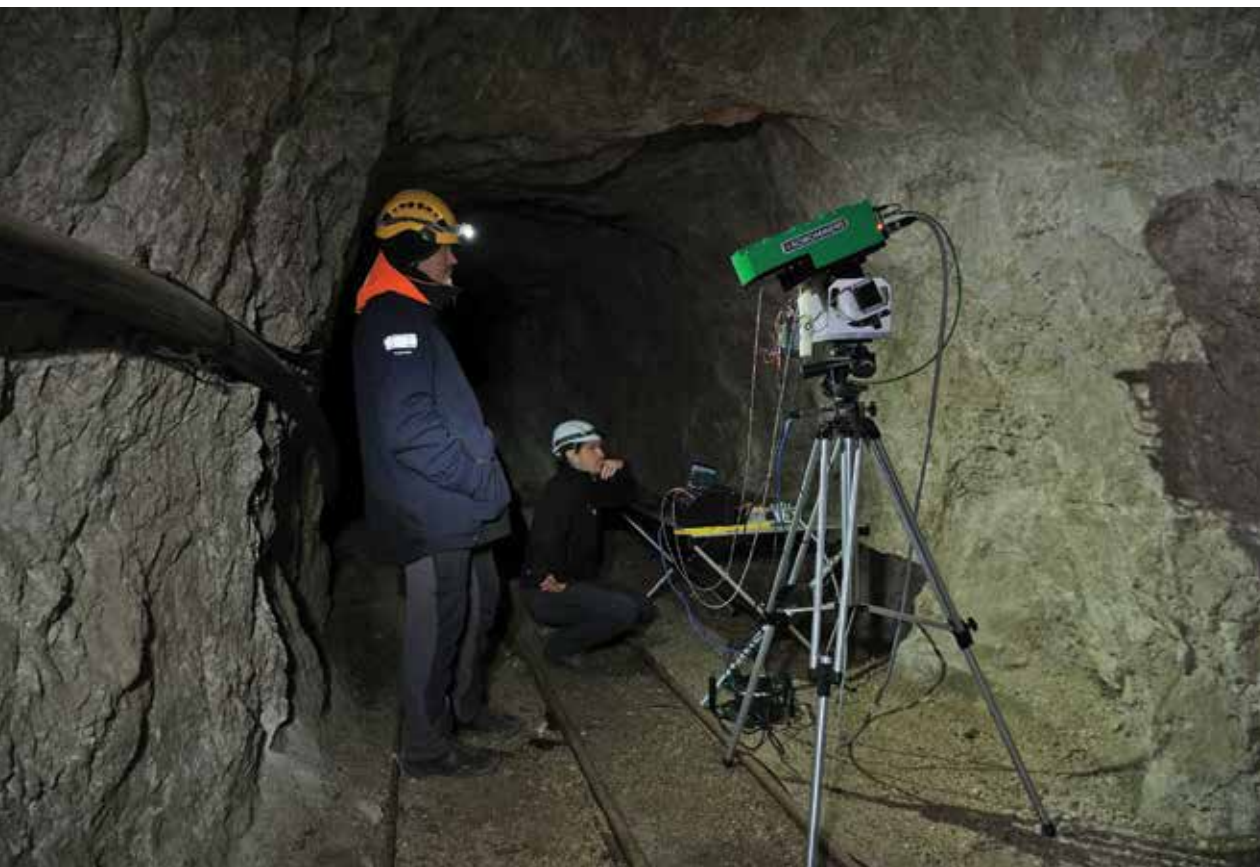
stom leta 2023. Testirali smo vrtnje prototipa v suhih in vlažnih oziroma vodnih razmerah, njegovo premikanje, senzorje (tipala), nadzor, avtonomijo, hidravlične sisteme, sisteme drobljenja kamnine, transport rude od odkopnega polja oziroma vse, kar je potrebno za delovanje robota. V omejenem obsegu so bili testirani tudi senzorji za določanje elementne sestave odkopane rude. Kasneje smo robot RM-1 preizkušali še v Mežici, najprej v okolju nekdanjega rudnika svinca in cinka Žerjav, nato v rudniku Mežica, predstavljen pa je bil tudi širši javnosti

25. oktobra leta 2023 prav tako v Mežici, v turističnem rudniku in muzeju Podzemlje Pece.

Terenski preizkusi so potekali od 16. do 27. oktobra leta 2023 in so imeli ključno vlogo pri ovrednotenju najpomembnejših funkcij senzorjev prototipa RM-1, ki je dvignilo raven tehnološke razvitosti (Technology Readiness Level, TRL) robota na peto stopnjo. Med testiranjem smo se osredotočali na podrobno preizkušanje senzorjev za spektroskopijo lasersko vzbujene plazme (LIBS), inducirane polarizacije (kjer merimo sposob-



Preverjanje senzorjev za električno tomografijo, nameščenih na robotski roki v opuščnem podzemnem rudniku v Žerjavu. Foto: Saša Kos.



Preverjanje laserske ablacije, metode, ki lahko meri elementno sestavo kamnin na razdaljah do nekaj metrov v milisekundnih intervalih (presledkih). Foto: Gorazd Žibret.

nost zadrževanja naboja, ki je v rudnih telesih ponavadi večje kot v okoliški kamnini), električne tomografije (merjenja prevodnosti kamnin, s katero lahko zaznamo tudi rudna telesa v globinah) in ultravijolične fluorescence (obsevanja kamnin z ultravijolično svetlobo zaradi zaznavanja fluorescence, ki jo imajo nekateri minerali, na primer sfalerit, ki je cinkov rudni mineral), ki so bili tudi preverjeni v naravnem okolju podzemnih rudnikov. S temi senzorji, ki so oči in ušesa robota, RM-1 lahko deluje in odloča v podzemnem okolju.

Na dnevih odprtih vrat v Mežici je potekala tudi predstavitev samega projekta, predstavitev tipal in senzorjev robota, nato pa

še predstavitev robota »v živo« na dvorišču pred vhodom v muzej.

Tehnične lastnosti robota RM-1

Prototip robota RM-1 je dolg pet metrov s premerom 0,8 metra, tehta 1.350 kilogramov z močjo 35 kilovatov. Prenos moči poteka po hidravličnih sistemih. Deluje do tisoč metrov globoko pod gladino vode (z možnostjo nadgradnje do pet tisoč metrov). Sestavljen je iz dveh modulov, od katerih je prvi (sprednji) namenjen izkopavanju, drugi pa napajanju in ostalim podpornim sistemom ter zagotavljanju dodatne sile, ki je potrebna za odkopavanje. Opremljen je s številnimi senzorji za kamnine in tudi za



Predstavljeni prototip robota RM-1 v Mežici (zgolj prvi modul). Foto: Timotej Verbovšek.

vodo, saj je ta v zalitih rudnikih lahko precej korozivna ter tako nevarna za ohišje in senzorje. Module je mogoče kasneje poljubno dodajati ali odzemanj, odvisno od potreb.

Poseben izziv je bilo premikanje robota, saj kolesa ali gosenice niso vedno primeren način v zahtevnih razmerah v rudnikih. Na koncu je bilo izbrano premikanje z Arhimedovimi vijaki, ki se vrtijo po tleh (kot možnosti tudi po stropu rova) in na ta način robot premikajo in tudi vrtijo. Sicer je tak sistem za premikanje težko upravljati, a ima v primerjavi z ostalimi načini precej manj mehanskih delov (in s tem manj mogočih težav), hkrati pa vijaki zagotavljajo zadostno povratno silo, ki je potrebna pri vrtanju oziroma odkopavanju surovin. Robot v celoti deluje na hidravlični pogon, nikjer ni motornega olja.

Robotska glava je sposobna izkopavanja in se lahko premika do triintrideset stopinj v smereh levo/desno ter gor/dol. Robot zazna-

va okolico s tipali, tako imenovanimi brki (angleško *whiskers*), ki štrlijo v štirih smereh iz robota, iz spremembe oziroma odklona posameznega tipala pa dobimo trirazsežno sliko okolja oziroma rova tudi v razmerah, kjer je vidljivost zaradi obilice delcev v vodi nična.

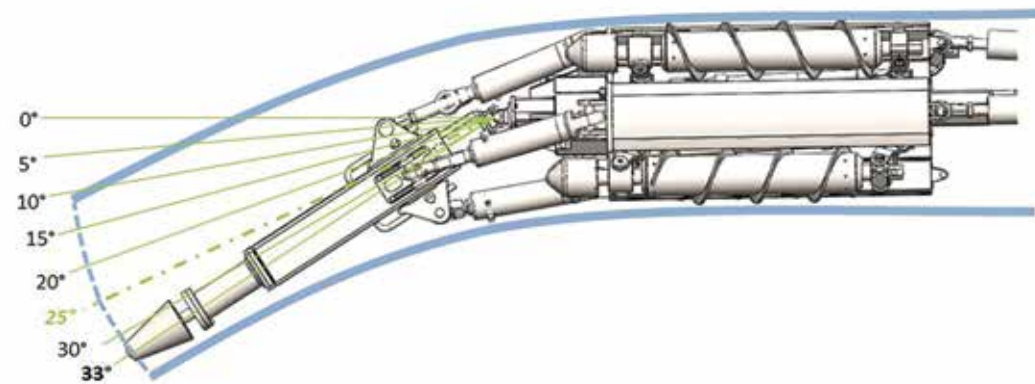
Robot zajema podatke z različnimi metodami oziroma senzorji. Geofizikalne meritve zajemajo meritve električne upornosti in inducirane polarizacije, hiperspektralna kamera se uporablja za odkrivanje rud (na primer sfalerita, ZnS), lasersko inducirana spektroskopija (LIBS) pa za določanje kemične sestave kamnin.

Baza opuščenih rudnikov

V okviru projekta je bila narejena tudi baza rudnikov različnih surovin. Zbiranje podatkov je bilo precej zahtevno, podatki so razpršeni po različnih ustanovah, občinah, objavljenih člankih in poročilih, ali pa imamo o njih le ustne informacije. V veliko pomoč



Fotografija robota (rudnik Kunda v Estoniji) s ključnimi opisanimi deli. Vir: Belgijski geološki zavod, Christian Burlet).



Princip premikanja modula z vrtalno glavo prototipa robota RM-1. Vir: Univerza Tampere, Jussi Aaltonen.

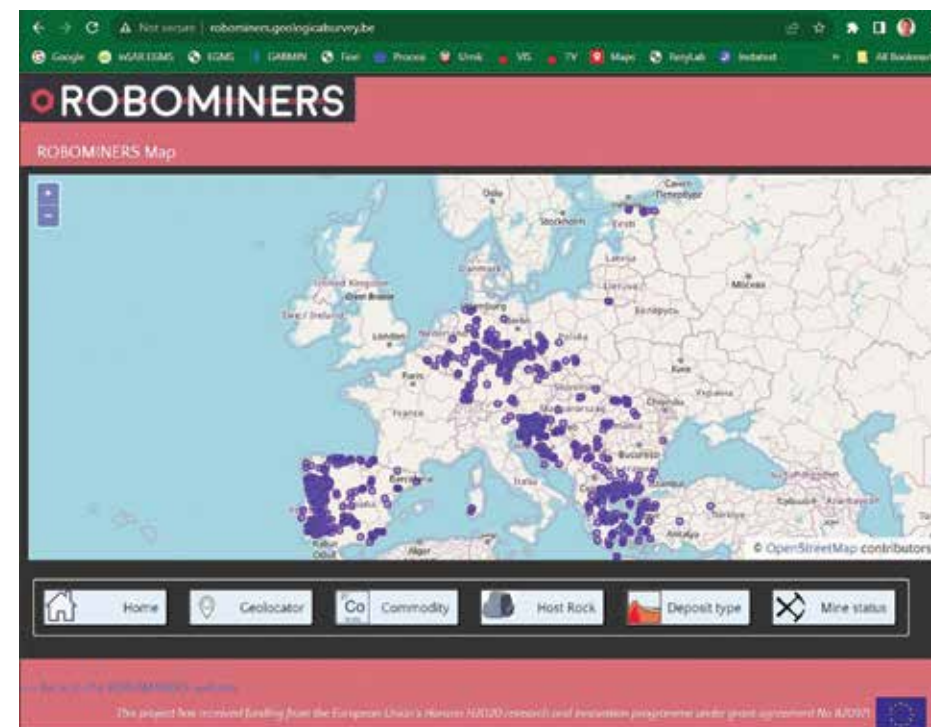
je bila baza rudnikov, narejena za projekt UNEXMIN (o katerem smo tudi že pisali v *Proteusu* decembra leta 2019). Baza projekta *Robominers* obsega 1.398 rudnikov, največ jih je bilo popisanih na Portugalskem (407), sledijo Nemčija (236), Španija (169), Grčija

(163), Slovenija (141) in še enajst držav, pri čemer je treba poudariti, da popisi niso bili izvedeni v vseh evropskih državah. Čeprav je bilo pridobivanje podatkov zapleteno, je Slovensko geološko društvo za območje Slovenije v času projekta izdelalo razmero-



Tipala oziroma brki prototipa RM-3. Foto: Timotej Verbovšek.

Spletna stran interaktivne baze rudnikov v okviru projekta Robominers.



ma obsežno bazo potencialnih rudnikov, ki morebiti še lahko vsebujejo vire mineralnih surovin in bi jih lahko pridobivali s to novo robotsko tehnologijo. Kot smo omenili, je bilo natančno popisanih 141 rudnikov, ki so bili z vsemi opisnimi podatki (kraj rudnika, vrsto izkoriščane rude, vrsto matične kamnine, tip orudjenja in status aktivnosti rudnika) preneseni v okolje GIS, tako da so na voljo širši javnosti. Baza je interaktivno dostopna na strani <http://robominers.geologicalsurvey.be/>.

Kako naprej?

Vsi trije prototipi, predvsem pa robot RM-1, so bili uspešno izdelani in testirani. Znanje in izkušnje, ki jih je projektna ekipa pridobila, bodo omogočili izdelavo naslednje, izboljšane generacije prototipov. Ugotovili smo, da bi za komercialno uporabo bilo nujno treba povečati moč in težo robota, prav tako pa je treba razviti še celo kopico drugih podpornih sistemov. Načrti za prihodnost so dolgoročni, do leta 2030 je tako v načrtu prva komercialna uporaba rudarskega robota, ki bi lahko temeljil na konceptu RM-1 in bi ga lahko uporabili kot dopolnilno orodje oziroma pomoč pri običajnem (konvencionalnem) rudarjenju v delih rudnikov, kjer bi bilo odkopavanje rude z običajnimi metodami neekonomično. Ekipa načrtuje, da bi lahko bil do leta 2050 avtonomni robotski sistem rudarjenja razvit do te mere, da bi ga bilo mogoče uporabljati za komercialne namene kot samostojen sistem. Če povzamemo, sprememba načina raziskovanja in izkoriščanja surovin, ki jo sproža tehnologija *Robominers*, bo lahko prispevala k večji samozadostnosti Evropske unije z oskrbo s surovinami, kar bo pozitivno vplivalo na evropsko gospodarstvo, ki je trenutno zelo odvisno od uvoza surovin in energentov. Visokotehnološko rudarjenje z zelo zmanjšanimi vplivi na okolje bi pripomoglo tudi k izboljššanemu odnosu javnosti do rudarjenja. To bo prispevalo k izboljšanju razmer v regiji, ki jo bodo določali tehnološki napredek, skrb za okolje in družbeno-ekonomski napredek. S tem projektom lahko Evropska unija ustvari rudarsko industrijo, ki bo usklajevala pridobivanje virov z okoljsko odgovornostjo in s tem utirala pot v bolj trajnostno in uspešno prihodnost. Pridobivanje virov bo v prihodnosti potekalo ne le na kopnem blizu površja, temveč tudi v velikih globinah, na morskem dnu in celo na sosednjih planetih, vplivi na okolje pa bodo manjši, kot so danes.

loški napredek, skrb za okolje in družbeno-ekonomski napredek. S tem projektom lahko Evropska unija ustvari rudarsko industrijo, ki bo usklajevala pridobivanje virov z okoljsko odgovornostjo in s tem utirala pot v bolj trajnostno in uspešno prihodnost. Pridobivanje virov bo v prihodnosti potekalo ne le na kopnem blizu površja, temveč tudi v velikih globinah, na morskem dnu in celo na sosednjih planetih, vplivi na okolje pa bodo manjši, kot so danes.

Viri:

Spletna stran projekta *ROBOMINERS*:

<https://robominers.eu/>.

Predavanje o zaključnih rezultatih projekta na kanalu YouTube:

<https://www.youtube.com/watch?v=4LgdO-pgyh0>.

Spletna stran projekta na strani Geološkega zavoda Slovenije:

https://www.geozs.si/?option=com_content&view=article&id=614.

Spletna stran projekta na Slovenskem geološkem društvu (prevodi obvestil, brošure, novice):

<https://www.slovenskogeoloskodrustvo.si/index.php/mednarodno-sodelovanje/sodelovanje-v-mednarodnih-projektih>.

Evropski seznam kritičnih surovin:

<https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42849>.

Osnutek Evropskega akta o kritičnih surovinah (European Critical Raw Materials Act):

https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/green-deal-industrial-plan/european-critical-raw-materials-act_en.

Projektna baza rudnikov:

<http://robominers.geologicalsurvey.be/>.

Projekt je financiran iz Okvirnega programa za raziskave in inovacije Evropske unije Obzorje 2020 (H2020) s številko pogodbe 820971.



Timotej Verbovšek, rojen leta 1976, je univerzitetni diplomirani geolog in doktor znanosti, ki je leta 2008 doktoriral s področja podzemnih vod in uporabe fraktalov v geologiji. Je redni profesor na Oddelku za geologijo na Naravoslovnotehniški fakulteti v Ljubljani, kjer predava na katedri za aplikativno geologijo. Njegovo raziskovanje zajema delo na področjih inženirske geologije, GIS-a, krasi in fraktalov. Je član mednarodnih združenj za inženirsko geologijo IAEG (International Association for Engineering Geology and the Environment) in hidrologijo LAH (The International Association of Hydrogeologists). V sklopu projekta *Robominers* je bil zadolžen predvsem za zbiranje podatkov za bazo rudnikov in predstavitev rezultatov. Kontakt in ostale informacije najdete na njegovi osebni spletni strani <http://www.ntf.uni-lj.si/og/timotej-verbovsek/>.



Gorazd Žibret, rojen leta 1977, je univerzitetni diplomirani geolog in doktor znanosti, ki je doktoriral s področja uporabe nevronske mreže pri pridobivanju mineralnih surovin. Je višji znanstveni sodelavec na Geološkem zavodu Slovenije, kjer se ukvarja z različnimi vidiki pridobivanja mineralnih surovin: od raziskovanja mineralnih surovin in njihovih pojavov, rudarjenja in vplivov sedanjega in preteklega rudarjenja na okolje do uporabe sekundarnih surovin, predvsem rudarskih odpadkov za različne namene. Raziskuje tudi različne družbeno-gospodarske vidike rudarjenja; politike trajnostne oskrbe na državni in meddržavni ravni, družbeno dožemanje rudarjenja in podobne teme, povezane z rudarstvom. V zadnjem času raziskuje tehnologije uporabe robotov pri raziskovanju in izkoriščanju mineralnih surovin ter senzorje, ki bi jih lahko uporabljali v težavnem okolju podzemnih rudnikov. Sodeloval je že pri več mednarodnih projektih iz te tematike, pri projektu *Robominers* pa je sodeloval pri zasnovi robota, geoloških študijah, vodil je področje določevanja makroekonomskih vplivov, povezanih s to novo tehnologijo, mreženje s podobnimi projekti, iniciativami in gospodarstvom ter testiranje robota v mežiških rudnikih.