

Utjecaj rudarenja zlata na okoliš

Kovač, Dora Katarina

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:149:966323>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-29**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Dora Katarina Kovač

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2022

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Dora Katarina Kovač

UTJECAJ RUDARENJA ZLATA NA OKOLIŠ

ZAVRŠNI RAD

Mentor: izv. prof. dr. sc. Vladimir Dananić

Članovi povjerenstva:

Izv. Prof. dr. sc. Vladimir Dananić

Prof. dr. sc. Ana Vrsalović Presečki

Prof. dr. sc. Zvezdana Findrik Blažević

Zagreb, rujan 2022.

Najtoplije zahvaljujem prof.dr.sc. Vladimiru Dananiću na savjetima, strpljivoj pomoći i korisnim uputama pri izradi ovog završnog rada.

SAŽETAK

Elementarno zlato (kemijskog simbola Au) mekani je metal karakteristične žute boje i plošno centrirane kubične strukture. Čisto je zlato na zraku stabilno i općenito vrlo otporno na utjecaje iz okoliša. U prirodi se pojavljuje samo jedan stabilni izotop zlata (^{197}Au) te šesnaest prirodnih radioaktivnih izotopa (^{198}Au).

Zlato se u današnje vrijeme koristi u izradi nakita, ukrasnih predmeta i površina (primjerice strop u crkvi), u matičnim pločama elektroničkih računala, a kadšto i umjetničkih skulptura. Od otkrića i početka rudarenja zlata (približno 5000 godina) ono se često koristilo kao opća vrijednost i ekvivalent novca, a u 19. i početku 20. stoljeća je služilo kao „zlatni standard“ u državnim trezorima i bankovnom sustavu. U prirodi se može pronaći u obliku grumena ili zrna u stijenama, zlatnim žilama na nalazištima ili u aluvijalnim (naplavnim) naslagama.

Prije početka rudarenja zlatom potrebno je utvrditi gdje se točno plemeniti metal može pronaći, odnosno gdje mineralizira. Mineralizacija je hidrotermalno taloženje ekonomski važnih metala u stvaranju rudnog tijela ili slojeva. Postoje ključni procesi koji upravljaju stvaranjem minerala, te se oni objašnjavaju fizikalnim zakonima. Kako bi se što bolje lociralo nalazište zlata, njegovi se procesi mineralizacije objašnjavaju pomoću metode računalne geoznanosti.

Postoji više postupaka rudarenja za dobivanje zlata. Najstariji i najjednostavniji postupak dobivanja zlata jest ispiranje iz taloga i mulja prirodnih voda. U današnje se vrijeme uglavnom dobiva industrijskim postupcima rudarenja na primarnim i sekundarnim nalazištima.

Cilj ovog rada jest objasniti stvaranje minerala, predstaviti različite načine rudarenja zlatom te utvrditi utjecaj rudarenja zlatom na okoliš. U ovom radu obrađeni su različiti aspekti mineralogeneze zlata u Zemljinoj kori, tehnologija rudarenja, svojstava nalazišta te štetni utjecaji na okoliš. U radu se opisuju nepovoljni učinci rudarenja i pročišćavanja zlata na vodu, zrak i tlo te učinke na živa bića (biljke, kukce, druge životinje i ljude). Temeljem literaturnih izvora opisano je više rudarskim mjesta u različitim zemljama i kontinentima. Uočeni su zajednički ekološki problemi.

Ključne riječi: zlato, rudarenje, okoliš, ekologija rudarenja

ABSTRACT

Elemental gold (chemical symbol Au) is a tender metal with a characteristic yellow color and plane-centered cubic structure. Pure gold is stable on the air and resistant to environmental influences. There is only one stable isotope of gold (^{197}Au) and sixteen radioactive isotopes (^{198}Au). Gold is used in jewelry, decorative surfaces, paintings, in electronic devices and sometimes sculptures. Since discovery of gold and beginning of its mining (roughly 5000 years ago) the gold was often used as a general value and the equivalent of money. In the 19th and 20th century it served as „the gold standard“ in the state treasuries and banking systems. In nature, it can be found as nuggets or grains in rocks, veins and alluvial deposits.

Prior to the gold mining, it is necessary to determine where we can find the noble metal, or where it mineralizes. Mineralization is a hydrothermal precipitation of economically important metals in the ore body formation or layers. Key processes that direct the process of mineralization can be explained with physical laws. Processes of mineralization are explained with computational geoscience method in order to better locate gold deposit.

There are number of processes of gold mining. The oldest process of obtaining gold is leaching with natural waters while nowadays we can mine it on primary or secondary deposits or industrial way.

The goal of this study is to explain mineralization, present different ways of gold mining and to establish the impact of gold mining on the environment. In this study various aspects of gold mineralogenesis in the earth's crust technology of mining, mine characteristics and negative ecological effects are elaborated. Negative effects of mining gold extraction on water, air, soil and living organisms (plants, insects, other animals and people) are shortly summarised. Based on published sources we described several mining spot in various countries and continents. There are general common ecological problems in all of them.

Key words: gold, mining, environment, mining ecology

SADRŽAJ

SAŽETAK

ABSTRACT

1. UVOD	1
2. RUDARENJE ZLATA	3
2.1. Stvaranje minerala	4
2.1.1. Procesi koji kontroliraju nastajanje rudnog tijela i stvaranje minerala u Zemljinoj kori	5
2.1.2. Geoznanstvena računalna metoda	7
2.2. Nalazišta minerala	11
2.3. Rudarenje placera (taložno rudarstvo)	12
2.4. Površinsko rudarenje	14
2.5. Podzemno rudarenje	15
2.6. Odvajanje zlata iz rude	18
3. UTJECAJ RUDARENJA NA OKOLIŠ	20
3.1. Štetni utjecaji na vodu	21
3.2. Štetni utjecaji na zrak	23
3.3. Štetni utjecaji na tlo	24
3.4. Štetni utjecaji na živa bića	25
4. RASPRAVA	26
5. ZAKLJUČAK	28
6. LITERATURA	29

1. UVOD

Zlato je jedan od najrjeđih elemenata u Zemljinoj kori. U elementarnom stanju metal je žute boje, jaka sjaja, mekan, vrlo rastezljiv, specifično težak s relativnom gustoćom 19.3. Jedna litra zlata sadrži 19,3 kg. Talište zlata je na 1064°C, a vrelište na 2170°C [1]. U Mendeljejevu periodičnom sustavu elemenata zlato ima redni broj 79 te atomsku relativnu masu 197 daltona (⁷⁹Au). Zlato je u prvoj skupini i šestoj periodi, a nalazi se između platine (⁷⁸Pt) i žive (⁸⁰Hg). Zlato je slabo reaktivan metal koji se ne mijenja niti pri jakom zagrijavanju. Ne otapa ga niti jedna kiselina, već se otapa samo u zlatotopki (HNO₃: HCl=3:1) [2]. Zlato se u prirodi najčešće nalazi u elementarnom stanju u obliku zrnaca ili listića unutar kvarcnih stijena ili kvarcnog pijeska. Elementarno je zlato za uporabu premeko, te se koristi u obliku slitina sa srebrom, bakrom, iridijem, bizmutom i platinom [2].

Zlato ima gospodarsku, uporabnu, estetičku i simboličku vrijednost. U različitim civilizacijskim epohama pridavane su mu različite uloge. Svojstva zlata omogućavaju njegovo korištenje u različite svrhe. Zlato se u današnje vrijeme koristi u izradi nakita, ukrasnih predmeta i površina (primjerice strop u crkvi), a kadšto i umjetničkih skulptura.

Posebnu ulogu zlato je, kroz razvoj civilizacije, imalo u određivanju vrijednosti novca, mjenjačkim poslovima između različitih novčarskih sustava te održavanju stabilnosti novčane jedinice i sprječavanju inflatornih promjena vrijednosti. Zlatni standard je količina zlata (specifične kvalitete) prema papirnoj novčanoj jedinici. Primjerice američki dolar je vrijedio od 1837.-1934. godine 1,50463 grama čistog zlata. Francuski franak je 1873. godine vrijedio 0,29032 grama čistog zlata, a austrougarska kruna 1882. godine je vrijedila 0,6129 grama čistoga zlata. Istodobno u carskoj Rusiji od 1897. godine je određena vrijednost rublja kao 0,7742 grama čistoga zlata. U razdoblju korištenja „zlatnog standarda“ sveukupna količina novca u optjecaju definirana je količinom kontrolnog zlata u središnjim bankama. U suvremenim državama, međutim, u novije vrijeme uglavnom je napušten ovaj sustav zlatnog standarda, a umjesto njega se koriste tzv. „novčane rezerve“. Pri tomu je vrijednost novčane jedinice određena prema „fiat standardu“, tj. da se vrijednost određuje dogovorno državna vlast, odlukama i zakonskim propisima. Zbog toga nastaju značajne oscilacije u vrijednosti novčanih jedinica, znatno veće nego u vrijeme primjene „zlatnog standarda“.

Početak rudarenja zlatom potječe još od prapovijesti. Najstariji oblik rudarenja zlatom jest ispiranje zlata iz recentnih nanosa rijeka i potoka. Već se u prastaro doba znalo da rijeka

Phasis (Rion), što istječe iz Kavkaza i utječe u Crno more, nosi zamjetljivu količinu zlata. Starosjedioci su pronašli praktični način vađenja zlata iz rijeke Phasis. Naime, stavljali su kudrave ovčje kožuhe u rijeku te se zlato zaplitalo u dlaku pa su ga samo istresali iz krzna [5]. Porast populacije, pogotovo u Indiji i Kini, polako stvara sve veću potrebu i potražnju za prirodnim mineralima [7]. Velika potražnja za zlatom nameće i povećava zahtjeve za njegovom učinkovitom industrijskom proizvodnjom i novim nalazištima. Primjerice, zbog pronalaska zlata u Sacramento Valleyju 1847. godine nastala je velika „zlatna kalifornijska groznica“. Čovjek koji ju je pokrenuo zvao se James W. Marshall, a sve je krenulo kada je pri gradnji pilane za veleposjednika Johna Suttera slučajno vidio da u rijeci pokraj gradića Coloma nešto svjetluca [3]. „Zlatna kalifornijska groznica“ privukla je oko 300 000 ljudi u Kaliforniju iz drugih dijelova SAD-a. Također, poznata su i nalazišta zlata u Bosni (primjerice u Fojnici, Varešu i Kreševu). Ondje su zlato od rude odvajali postupkom amalgamacije, a zatim pročišćavali pomoću sublimata, salitre i boraksa [4].

Intenzitet rudarenja se povećao u drugoj polovici 20. stoljeća. Tako je procijenjeno da je nakon 1971. godine dobiveno rudarenjem i obradom više od 50% sveukupnog zlata kojeg je čovječanstvo sakupilo u zadnjih 5000 godina [57]. 2011. godine je proizvedeno 2700 tona zlata [55][54]. Procijenjeno je da je sveukupno kroz povijest izrudareno i proizvedeno 174100 tona zlata do 2012. godine [57][58]. Ta količina zlata bi zauzela volumen od 9261 m³ (kocka osnovne dimenzije 21 m). U današnje vrijeme, američka Vlada drži najveću količinu zlatnih rezervi na jednom mjestu a to su 8133 tone zlata u trezoru. Procjenjuje se da Ruska federacija ima 2300 tona zlatnih rezervi. Švicarska, Njemačka i Australija također drže značajne količine zlatnih rezervi u državnim trezorima [58]

Nalazišta zlata u Hrvatskoj u području su rijeka Drave i Mure. Spoznaja da se ondje nalaze zlatonosne naslage datira još od doba Nikole Šubića Zrinskog (1508. - 1566.) te se pretpostavlja da su se čakovečki vladari bavili ispiranjem i iskorištavanjem zlata. Međutim, današnji stanovnici ispiru zlato u neznatnoj mjeri u odnosu na prošla stoljeća, kada je to bilo jedno od glavnih zanimanja i glavni izvor zarade.

Od 1880. godine Južna Afrika je država s najvećim izvorima svjetskog zlata, s oko 50% proizvedenog zlata u svijetu. Ostale vodeće države koje se ističu u proizvodnji zlata su Sjedinjene Američke države, Australija, Kina, Rusija i Peru. Prema podacima iz 2022. godine Kina proizvodi najviše zlata s čak 440 tona, zatim slijede Australija s 300 tona, Rusija s 255 tona, Sjedinjene Američke države s 245 tona te Kanada s 180 tona [6].

Rudarenje obuhvaća pronalaženje i vađenje korisnih mineralnih sirovina iz njihovih ležišta u Zemljinoj kori. Razvojem današnjeg svijeta stvara se sve veća potražnja za prirodnim mineralima. Zato je potrebno razviti nove tehnologije kojima će se otkrivati nova nalazišta zlata i povećati učinkovitost eksploatacije rudače [7]. Izvori zlata u rudnim nalazištima imaju malu čistoću jer je zlato legirano s srebrom i bakrom, te takvo može poprimiti narančastu ili crvenkastu boju. Zlato koje pronalazimo u rijekama ili potocima izvorne je žute boje te je potpuno čisto.

Ovim ću završnim radom opisati stvaranje minerala zlata, načine rudarenja zlatom te utjecaj različitih tipova rudarenja zlatom na okoliš.

2. RUDARENJE ZLATA

Rudarenje je proces pronalaženja i vađenja odnosno dobivanja mineralnih sirovina iz njihovih ležišta u Zemljinoj kori [8]. Procesima rudarenja dobivaju se ugljen, zlato ili željezna ruda i druge iskoristive tvari. Procesi rudarenja poznati su još od prapovijesti. Tada su ljudi rudarili kremen za izradbu različitih oružja i alata te, kada je ponestalo takvog materijala na površini, vadili su kremen koji se nalazi pod zemljom [9]. Temeljna otkrića željeza, rudarenja željezom, prerade i korištenja željeza nazivamo još „željezno doba“, koje označava period čovječanstva u razdoblju okvirno od 1200. do 600. g. pr. Kr. U tom je periodu ostvaren značajan civilizacijski napredak izradbe kvalitetnih i postojanih oruđa i oružja.

U današnje vrijeme postoje tri glavne vrste rudarenja zlata, *placer*-rudarstvo (engl. *placer mining* može se prevesti kao „taložno rudarenje“) ili rudarenje aluvijalnih pijesaka, gdje se metal ekstrahira iz sedimenata rijeka, plaža ili drugog okoliša; podzemno rudarenje i površinsko rudarenje. Također, rudarenje može biti rekreacijsko ili može biti nusprodukt u nekoj drugoj rudi pa se ona samo ekstrahira zbog prisutnog zlata. Prilikom površinskog rudarenja zemlja se minira tako da se rude koje se nalaze u blizini površine mogu ukloniti te se iz njih kasnije mogu dobiti vrijedni minerali. Takva vrsta rudarenja može biti štetna za okoliš oko miniranog područja jer nastaju velika oštećenja tla (rupe, krateri) [9]. Kod podzemnog rudarenja otvaraju se i grade tuneli u kamenu za pristup rudi. Takva vrsta rudarenja može imati kobne posljedice jer rudari mogu ostati zarobljeni u tunelu prilikom ekstrakcije rude. Osim ovakvih nesreća, rudarenje može utjecati i na ljudsko zdravlje

uzrokujući bolest crnih pluća, koja nastaje zbog udisanja prašine prilikom rudarenja ugljena [9]. Kod nekih se rudarenja javljaju eksplozije plinova i prašine, primjerice u ugljenokopima.

Također, rudarenje može utjecati nepovoljno na okoliš. Naime prilikom rudarenja se oslobađaju sulfidi u tlo te, kada padne kiša, nastaju kisele vode koje štete biljkama na tlu i životinjama [9]. Za tehnološku ekstrakciju zlata iz rude se koriste cijanidi i živa, što štetno utječe na ljudsko zdravlje, životinje i okoliš.

2.1. Stvaranje minerala

Prirodni minerali nastaju pri različitim temperaturama i tlakovima u geološkim formama kao što su: magma, gdje je mineral glavni sastav magmatskih stijena; sedimentacijski; metamorfozni; hidrotermalni [10]. Magma nastaju zbog hlađenja i skrućivanja magme, a značajni su jer daju spoznajne informacije o sastavu plašta iz kojeg su neke magmatske stijene izlučene te o uvjetima tlaka i temperature pri kojoj se lučenje odvija. Sedimentacijski se minerali stvaraju zbog procesa erozije, trošenja i sedimentacije [10]. Metamorfozni minerali novi su minerali nastali iz starih minerala zbog promjene tlaka i temperature [10]. Hidrotermalni minerali jesu minerali koji precipitiraju iz vrućih otopina.

Prije samog početka rudarenja zlatom potrebno je što preciznije utvrditi gdje se točno plemeniti metal nalazi u Zemljinoj kori, odnosno gdje je mineraliziran. To je zahtjevan i neizvjestan proces, a danas se koriste brojne istraživačke metode. Potrebno je otkriti rude zlata u količinama koje su isplative za eksploataciju. Mineralizacija je hidrotermalno taloženje ili metamorfozno odlaganje, kojim nastaju ekonomski važni metali u stvaranju rudnih tijela ili slojeva. Prirodni tokovi mineralizacije zlata u litosferi nisu linearni, niti koncentrirani na specifična mjesta, zbog čega je pronalaženje mjesta budućih rudnika često jalov posao.

U industriji se za istraživanje minerala za analiziranje podataka koriste geološke karte i poprečni presjeci dijelova litosfere (tlo, tekućice, kamen), a utvrđivanje mjesta gdje bi nalazišta mogla biti smještena se temelji na već stečenom iskustvu i empirijskim metodama. Kako uobičajena metoda utvrđivanja nalazišta i mjesto mineralizacije zlata nije toliko brza i učinkovita potrebno je razvijati nove tehnologije.

Tako je posljednjih desetljeća razvijena, i dalje se usavršava, tehnologija računalne geoznanosti za istraživanje stvaranja rudnog tijela. To je sveobuhvatna istraživačka metoda koja se temelji na kombinaciji matematike, fizike, kemije te naprednih kompjuterskih

algoritama. Cilj tehnologije računalne geoznanosti jest istražiti dinamičke procese i mehanizme promatranog geološkog fenomena kojima zlato mineralizira. Glavno načelo moderne teorije mineralizacije jest uzeti u obzir interakciju između fluida koji protječe kroz pore minerala, prijenosa topline, masnog prijenosa i kemijskih reakcija koje se događaju u kori Zemlje na sveobuhvatan način [12] [13].

2.1.1. Procesi koji kontroliraju nastajanje rudnog tijela i stvaranje minerala Zemljinoj kori

Proces mineralizacije obuhvaća fizikalne i kemijske procese kao što su deformacija materijala, protok fluida kroz pore, prijenos topline, maseni prijenos i kemijske reakcije [7]. Deformacija materijala događa se u manjoj mjeri od ostalih procesa, jer primjerice potresnom valu treba nekoliko minuta da se proširi tisućama kilometara u Zemljinoj kori, dok prijenos topline od dna do vrha 10 km debele kore može trajati godinama [7]. S druge strane, deformacija materijala ili mehanički procesi glavni su uzrok poroznosti i nastajanja protočnih kanala, što je vrlo bitno pri stvaranju rudnog tijela i mineralizaciji [7]. Stoga je prije korištenja računalne geoznanosti za rješavanje problema mineralizacije bitno odrediti raspodjelu pora i protočnih kanala [7]. Za objašnjavanje ovih pojava koristi se metoda simulacije čestica koja uzima kao osnovu Newtonov drugi zakon za objašnjavanje gibanja čestica i linearnu funkciju za objašnjavanje rasporeda sila na kontaktu dviju čestica. Ako je primjerice normalna sila na kontaktu jača od normalne čvrstoće veze, dolazi do vlačne pukotine, no dogodi li se da je tangencijalna sila na kontaktu jača od normalne čvrstoće veze, dolazi do stvaranja smične pukotine [7]. Metoda simulacije čestica vrlo je jednostavna jer stvaranje pukotina u krhkim materijalima objašnjava preko postojećih kontaktnih sila i premještanja.

Brojni čimbenici sudjeluju u protoku, nastajanju i odlaganju rudnog tijela u Zemljinoj kori. Doprinos brzina i smjer strujanja opisuje Oberbeck-Boussinesqov zakon (opisano jednačinom (1)). Darcyjev zakon opisuje doprinose poroznosti tla brzinama protoka komponenti (jednačina (2) i (3)). Maseni prijenos i toplinski prijenos opisani su Fickovim zakonom (jednačina broj (5)) i Fourierovim zakonom (jednačina broj (4)) [7]. Jednačinom broj (6) objašnjava se linearna ovisnost gustoće o temperaturi, dok se izračun toplinskog provođenja (kondukcije) nekog minerala u x i y smjeru objašnjava jednačinom (7). Jednačinom broj (8) objašnjava se difuznost nekog minerala. Uzimajući ove zakone u obzir,

procesu koji kontroliraju proces mineralizacije u prozrim stijenkama koje su zasićene fluidom mogu se prikazati na sljedeći način:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad (1)$$

$$u = \frac{K_x}{\mu} \left(-\frac{\partial P}{\partial x} + \rho_f g_x \right), \quad (2)$$

$$v = \frac{K_y}{\mu} \left(-\frac{\partial P}{\partial y} + \rho_f g_y \right), \quad (3)$$

$$\rho_{f0} c_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \lambda_{ex} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \lambda_{ey} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}, \quad (4)$$

$$u \frac{\partial C_k}{\partial x} + v \frac{\partial C_k}{\partial y} = D_{e0} \left(\frac{\partial^2 C_k}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_k}{\partial y^2} \right) + \varphi R_k \quad k(1,2, \dots n), \quad (5)$$

$$\rho_f = \rho_{f0} [1 - \beta_T (T - T_0)], \quad (6)$$

$$\lambda_{ex} = \varphi \lambda_{fx} + (1 - \varphi) \lambda_{sx}, \quad \lambda_{ey} = \varphi \lambda_{fy} + (1 - \varphi) \lambda_{sy}, \quad (7)$$

$$D_{e0} = \varphi D_0, \quad (8)$$

U gornjim jednadžbama simboli označavaju sljedeće parametre:

u, v – brzine komponenta toka pore-fluid u x i y smjeru

P, T – tlak i temperatura komponenta pore-fluid

C_k – koncentracija tvari k

ρ_{f0} – gustoća fluida koji struji oko pore

T_0 – temperatura fluida

μ – viskoznosti fluida koji struji oko pore

c_p – specifična toplina fluida

λ_{fx} – toplinska kondukcija fluida koji struji oko pore u x smjeru

λ_{sx} – toplinska kondukcija kamene mase u x smjeru

λ_{fy} – toplinska kondukcija fluida koji okružuje pore u y smjeru

λ_{sy} – toplinska kondukcija kamene mase u y smjeru

φ – porozitet kamena

β_T – koeficijent toplinske volumene ekspanzije fluida oko pore

D_0 – difuznost kemijskih vrsta

K_X i K_Y – permeabilnosti poroznog kamena u x i y smjeru

g_x i g_y – akceleracija gravitacije u x i y smjeru

n – ukupni broj kemijskih vrsta u sistemu

R_K – nastajanje ili nestajanje tvari k zbog kemijske reakcije u mineralizaciju kom sustavu

2.1.2. Geoznanstvena računalna metoda

Kako tradicionalni procesi pronalazjenja nalazišta minerala iziskuju vremena, posljednjih se godina razvijaju numeričke metode i računalne simulacije pomoću kojih se istraživanje teških geoznanstvenih može obaviti na brži način. Metodologija računalne metode geoznanosti je sveobuhvatna i sastoji se od kombinacije istraživanja terena i njegove validacije te teoretske analize i numeričke simulacije [11]. Glavni cilj ovakvih metoda jest istražiti dinamičke procese i mehanizme promatranog geološkog fenomena [11]. Svaka računalna metoda geoznanosti uključuje ove korake [11]:

- 1) Stvaranje konceptijskog modela za dani geoznanstveni problem
- 2) Postavljanje mehaničkog modela za dani (praktični) problem
- 3) Postavljanje numeričkog modela
- 4) Grafički prikaz

Stvaranje rudnog tijela posljedica je otapanja, protoka, precipitacije i obogaćivanja minerala unutar gornje Zemljine kore [7]. Kako masa minerala mora biti sadržana unutar mineralizacijskog sustava, to znači da za pojedini mineralizacijski sustav moramo imati ključne čimbenike i procese koji kontroliraju formiranje rudnog tijela i mineralizaciju unutar sustava (usporedi jednadžbe 1–8) [7]. Zato se koriste pojednostavljeni generički modeli, koji služe za istraživanje kritičnih faktora koji su uključeni ne samo u postavljanje rudnog tijela na određenom mjestu, već i u kontroli veličine i stupnja za danu vrstu mineralizacijskog sustava. U praksi se inače uvrštavaju svi geografski detalji u računalni model, no to otežava kritične faktore i procese koji kontroliraju formiranje rudnog tijela i mineralizaciju u sistemu [7]. Generički modeli omogućavaju veliki napredak u razumijevanju mehanizma stvaranja rudnih nalazišta s malom količinom podataka ubrzavajući proces istraživanja i smanjujući računalne troškove [7].

Iz tog razloga tri se različite vrste generičkih modela koriste za istraživanje ključnih čimbenika i njihovih učinaka na obrasce mineralizacije u hidrotermalnim sustavima unutar gornje kore Zemlje [7].

Prvi generički model koristi se za predviđanje precipitacije ili otapanja minerala s obzirom na konvektivno strujanje fluida u hidrotermalnim sistemima. Izraz koji objašnjava navedene procese se naziva *RAI* ili indeks alternacije kamena (*RAI* prema engl. *Rock Alteration Index*) [7]. To je pokazatelj promjena u sastavu kamena uzrokovanih kemijskim promjenama. Minerali su u vodama izloženi otapanju, karbonizaciji, hidrataciji i oksidaciji [14]. *RAI* je bezdimenzijska veličina koja pomoću ostalih bezdimenzijskih veličina može biti definirana kao:

$$RAI = u^* \frac{\partial T^*}{\partial X^*} + v^* \frac{\partial T^*}{\partial Y^*} \quad (9)$$

Gdje je:

$$u^* = K_x^* \left(\frac{-\partial P}{\partial x^*} + RaT^* e_1 \right)$$

$$v^* = K_y^* \left(\frac{-\partial P}{\partial x^*} + RaT^* e_2 \right)$$

Može se primijetiti da će ako je *RAI* veći od nule, doći do otapanja minerala, no ako je manji od nule doći će do precipitiranja minerala.

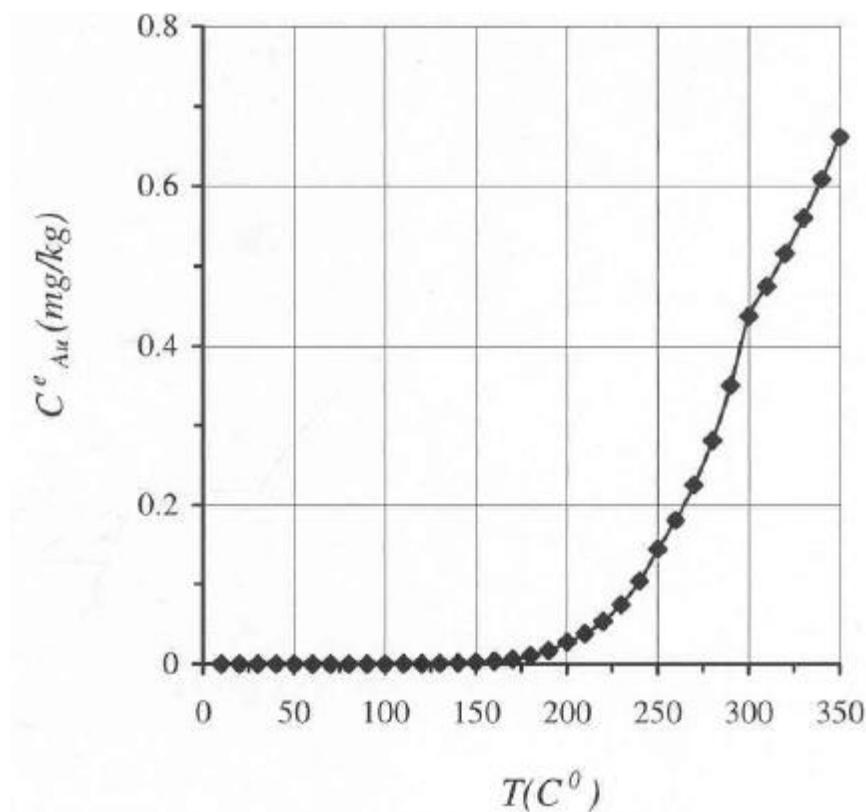
Drugi generički model koristi se za razumijevanje precipitiranja zlata kada je u kemijskoj ravnoteži ili blizu nje. Za objašnjavanje fenomena precipitacije i regije u kojoj se ona odvija, koristimo se veličinom *IRAI* (*IRAI* prema engl. *Improved Rock Alteration Index*). Indeks se odnosi na promjenu specifičnog minerala pod utjecajem kemijskih promjena u vodi te se pomoću njega mogu odrediti zone u kojima specifični mineral precipitira.

$$IRAI = \frac{\partial C_e}{\partial T} \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \frac{\partial C_e}{\partial T} (u + \nabla T) \quad (10)$$

Razlika između *RAI* i *IRAI* jest u dijelu gdje je u jednadžbu uključena koncentracija specifičnog minerala, C_e , u našem slučaju zlata [7]. Ravnotežna koncentracija pojedinih minerala može biti različita pri istoj temperaturi i tlaku.

Mjerena je promjena ravnoteže koncentracije zlata u sulfidnim otopinama čiji je pH između 3 i 8 [15]. Temperatura se mijenjala od 0°C do 350°C. Prema prikazanoj slici može se primijetiti da pri temperaturama nižim od 150°C neće doći do otapanja zlata jer je njegova

ravnotežna koncentracija nuli. No od 150°C do 350°C dolazi do naglog porasta ravnoteže koncentracije te je najveća topljivost zlata pri 350°C i ona iznosi 0,68 mg/kg.

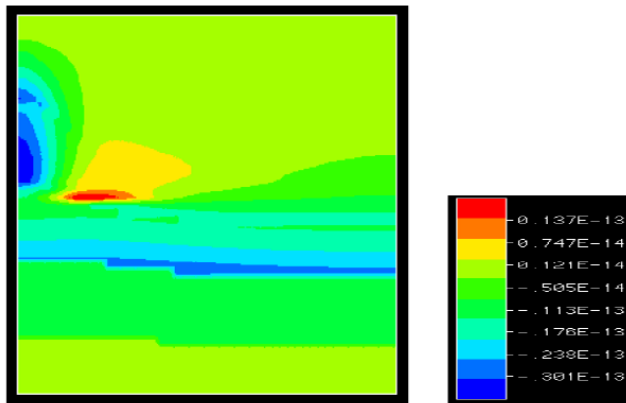


Slika 1. Ovisnost ravnotežne koncentracije zlata o temperaturi (preuzeto iz literaturnog izvora [7])

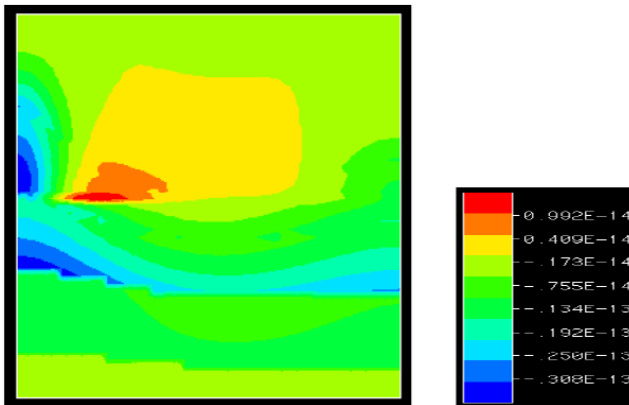
Kako bismo imali bolju predodžbu u kojim će zonama doći do otapanja ili taloženja zlata u slojevitim hidrotermalnim sustavima, pomoću računalne metode napravljen je sustav dug 10 km, u kojem je debljina svakog sloja 5 km. Zatim su uneseni standardni uvjeti, poput viskoznosti fluida koji protječe kroz pore (10^{-3} Ns/m²) i njegove gustoće (1000 kg/m³), volumetrijskog koeficijenta ekspanzije koji iznosi $2,07 \times 10^{-4}$ (1/C), specifične topline koja iznosi 4185 J/(kg°C) te toplinskoga koeficijenta vodljivosti koji iznosi 0.6 W/(m°C).

Poroznost se pretpostavlja da iznosi 0,1 za oba sloja. Permeabilnost gornjeg sloja iznosi 10^{-14} m² dok za donji sloj imamo dva različita slučaja: jedan gdje permeabilnost iznosi 10^{-17} m² i drugi gdje iznosi 10^{-16} m². Na slici je prikazan poboljšani indeks alternacije kamena (IRAI) za ova dva slučaja različitih permeabilnosti u donjem sloju. Plavom su bojom označene regije precipitacije, a crvenom regije otapanja. Vidljivo je da su regije precipitacije u gornjem sloju za oba slučaja skoro pa iste, ali se razlikuju u donjem sloju, što ukazuje da relativni omjer

između permeabilnosti gornjeg i donjeg sloja može utjecati na mineralizaciju zlata u slojevitim hidro sistemima s protokom prema gore.



$(K^L = 10^{-17} m^2)$



$(K^L = 10^{-16} m^2)$

Slika 2. Raspodjela naprednog indeksa alternacije kamena (IRAI) u slojevitim hidrosustavima (preuzeto iz literaturnog izvora: [7])

Treći generički model temelji se na objašnjavanju formiranju rudnog tijela i mineralizacije u sustavu u kojem nije postignuta kemijska ravnoteža. U takvim mineralizacijskim sustavima važnu ulogu u kontroliranju precipitacije minerala u Zemljinoj kori imaju advekcija otopljene tvari, difuzija ili disperzija otopljene tvari i kemijska kinetika. Uzimajući u obzir ove interakcije, postoje tri tipa precipitacije za navedeni sustav: precipitacija u kojoj prevladava difuzija, precipitacija u kojoj prevladava advekcija te precipitacija u kojoj jednako pridonose difuzija i advekcija. Za mineralizacijske sustave s propusnim rasjedom u kojima nije postignuta kemijska ravnoteža postoji optimalni protok koji omogućuje mineralizaciju unutar propusnog rasjeda.

2.2. Nalazišta minerala

Nalazište minerala naziv je za agregat minerala neobično visoke koncentracije [17]. Nalazišta se mogu se podijeliti u dvije velike grupe, industrijska i neindustrijska. Danas postoji još i podjela prema simetriji nalazišta minerala; prema sastavu, odnosno prema kemijskim elementima koji se nalaze na nalazištu; te prema okolišu u kojem su minerali nastali, a koji može biti sedimentacijski, magmatski ili metamorfozni [16]. Ni jedno se nalazište ne sastoji od samo jednog rudnog minerala, već on dolazi u smjesi s drugim rudnim mineralima. Nalazišta na kojima se nalazi rudni metal koncentriran u male mase u kamenu koji se stvara radi različitih geoloških procesa nazivamo mineralnim nalazištima. Što je više rudnog minerala prisutno, to će biti vrijednije i mineralno nalazište [17]. S gospodarsko-investicijske točke gledišta pretpostavlja se da mineralno nalazište donese neku zaradu, a ona ovisi o koncentraciji rudnog minerala i veličini nalazišta. Mineralno nalazište koje se smatra bogatim i koje može donijeti profit naziva se rudnim nalazištem [17]. Dakle, sva rudna nalazišta jesu mineralna nalazišta, no obrnuto ne vrijedi isto. Da bi mineralno nalazište bilo rudno, moraju se uzeti svi faktori koji obuhvaćaju rudarenje, obradu i transport rude [17]. Tako primjerice moramo znati oblik nalazišta, dubinu ispod površine, geografsku udaljenost nalazišta, pristupnost transportu, političku stabilnost regije, cijenu metala na svjetskom tržištu te troškove posuđivanja novca za izradu rudnika [17]. Metali koji se koriste u tehnološkim i industrijskim procesima mogu se prema svojoj prisutnosti u prirodi podijeliti na geokemijski obilne (aluminij, željezo, magnezij, mangan i titan) i geokemijski oskudne (bakar, željezo, cink, zlato i srebro) [17]. Obilni se metali pojavljuju kao glavni elementi u mineralima. Primjerice bazalt je mineral koji se sastoji uglavnom od magnezijevih i aluminijskih spojeva. Oskudni se metali ne pojavljuju u velikoj mjeri u običnim stijenama, već se pomoću procesa atomske supstitucije nalaze u stijenama koje inače tvore minerale [17]. Proces atomske supstitucije obuhvaća zamjenu atoma koji se inače nalazi u mineralu nekim stranim atomom sličnog radijusa i valencije, bez promjene atomske strukture minerala [17]. Međutim, iako ne postoji promjena u sastavu minerala, ipak postoje granice ovoga procesa, a određene su tlakom, temperaturom i raznim kemijskim parametrima [17].

Premda je zlato jedan od geokemijski oskudnih metala, u prirodi se nalazi u svome elementarnom stanju te se ubraja među primarne rudne minerale. Slično je i platina primarni

rudni mineral. Pri određivanju rudnog minerala moramo uzeti dva faktora u obzir. Prvo trebamo utvrditi s kolikom se lakoćom potencijalni rudni mineral može odvojiti od ostalih elemenata i koncentrirati za taljenje. Koncentracijski procesi koji se temelje na fizikalnim osnovama minerala uključuju magnetsku separaciju, separaciju gravitacijom i flotaciju. Drugi postupak jest taljenje, odnosno dobivanje određenog metala primjenom topline na rudu. Pri tome treba uzeti u obzir količinu energije koja je utrošena kako bi se raskinule kemijske veze za dobivanje određene količine korisnog metala [17]. Za dobivanje zlata, na primjer, taljenje je provođeno pri visokom tlaku i temperaturi (1046°C) upotrebom raznih kemikalija kako bi se ruda odnosno mineral rastavio i zlato očistilo od nečistoća.

2.3. Rudarenje *placera* (taložno rudarstvo)

Rudarenje *placera* drevna je metoda korištenja vode za iskopavanje, transport, koncentraciju i dobivanje teških minerala iz nalazišta [18]. Postoje različite vrste nalazišta, a najzastupljenija su aluvijalna i nalazišta na plažama. Aluvijalna su nalazišta najčešća i najbogatija, a nastaju zbog protjecanja vode koja nosi čestice minerala. Nalazišta na plažama nastaju zbog utjecaja valova na obalu. S obzirom na fizikalne, uvjete kao što su geološki smještaj i orijentacija nalazišta, izvor, dinamika toka i kvaliteta dostupne vode na nalazištu te debljina ostatka nakon rudarenja, postoje različite metode rudarenja *placero*m. Metode uključuju ispiranje zlatnih naslaga pomoću posude u obliku tave, suho pranje, podzemno rudarstvo, jaružanje, hidrauličko rudarenje, rudarenje pomoću tromela, rudarenje pomoću posude u obliku kolijevke (engl. *roxx box*) te dobivanje zlata pomoću sluice-a (engl. *sluice box*) može se prevesti na hrvatski kao „rudarenje pomoću brane“) [19]. Najstarija metoda jest ispiranje zlata dok se u današnje vrijeme najčešće koriste zlatni *sluice*, jaružanje i hidrauličko rudarenje.

Ispiranje zlata jedna je najstarija metoda za dobivanje zlata. Još u Rimskom Carstvu ljudi su se koristili posudama u obliku tave kako bi dobili zlato. U posudu se stavi uzorak rude koji je dobiven iz primjerice aluvijalnog taloga i ispran velikim količinama vode. Zrnca se zlata zbog veće gustoće od ostalog prisutnog materijala taloži na dno posude. U Hrvatskoj se na području između Drave i Mure lokalno stanovništvo bavi ispiranjem zlata već stoljećima na svoj tradicionalan način, koji je drukčiji od ispiranja pomoću posude u obliku tave. Iako je zlato ekstrahirano na ovaj način cijenjeno po svojoj čistoći i kvaliteti, zbog svoje male učinkovitosti nije privuklo pažnju mineraloga i geologa niti industrijsku eksploataciju.

Prema izvorima, s ispiranjem zlata započinjalo se početkom proljeća kada okopni snijeg [20]. Dva bi čovjeka sjela u čamac, ponijela bi šator i hranu te alat za ispiranje koji se sastoji od stola (*deska*) s četiri noge, lopatice gledaljke, drvene lopate, posude za hvatanje vode i udubljenoga pladnja. Stol bi imao dvije duže noge i dvije kraće, tako da mu je osnovni položaj nagnut [5]. Daska koja se nalazila na stolu bila je od jasikovine i imala je zarez u raznim pravcima uz velike tupe kutove [5]. Prije same ekstrakcije zlata testirao bi se riječni nanos pomoću lopatice gledaljke. Ako bi se ispiranjem šljunka s pijeskom na lopati našlo 10 do 15 zlatnih zrnaca mjesto je bilo pogodno za dugotrajni rad [5]. U vodu se zatim postavio stol, s kraćim nogama u vodi, a s dužima na obali, te se na nj sipao šljunak, koji se potom ispirao vodom. Pijesak bi ostajao u naborima na jasikovini te bi se u pladanj s udubinom. Na dasci bi ostalo tek zlato, minerali, nešto kvarca i gline [5]. Zlato se izdvajalo pomoću žive, koja uspješno otopi zlato amalgamacijom. Potom bi se živa i zlato razdvojili na vrućem crijevu s kojega se isparavanjem ukloni živa, a zaostane mala grudica zlata [5].



Slika 3. Alat za ispiranje zlata (preuzeto iz literaturnog izvora [5])

Zlatni *sluicing* način je rudarenja pomoću alata u obliku četvrtaste kutije, koji se sastoji od dva dijela, gornjeg i donjeg, koji su pričvršćeni vijcima. Na gornji se dio lopatom stavlja uzorak taloga iz vode te prelaze u donji dio koji ima barijere [19]. One pomažu da se po ispiranju taloga vodom na dnu kutije zadrže teža zrnca zlata.

Jaružanje je proces rudarenja gdje se pomoću mehaničke dizalice dobiva zlato iz aluvijalnih korita velikih volumena. U prošlosti su mehaničke dizalice bile veliki brodovi, no s vremenom im je volumen bio sve manji [21]. Mehanička se dizalica sastoji od pumpe koja usisava vodu i od zlatne kutije koja, na već opisan način, služi za odvajanje zrnaca zlata [21].

Aljaska ima bogatu povijest rudarenja *placera*. Ekstrakcija zlata ovom metodom započela je 1880. godine. Iako su je u današnje vrijeme zamijenili suvremeniji industrijski načini, ovaj oblik rudarenja svejedno pridonosi ekonomiji države. U samim počecima

rudarenja *placera*, ljudi su se koristili metodom ispiranja s posudom u obliku tave, no danas se koriste metode poput jaružanja, zlatnog *sluicing-a* i hidrauličkog rudarenja [22].

2.4. Površinsko rudarenje

Površinskim rudarenjem dobivaju se minerali koji se nalaze u blizini zemljine površine. U Sjedinjenim Američkim Državama površinsko rudarenje donosi otprilike 85% iskorištavanja minerala. Skoro sve metalne rude (98%), nemetalne rude (97%) i ugljen (61%) eksploatirani su na ovaj način. Površinsko rudarenje zahtjeva veliko ulaganje, a rezultira u visokoj produktivnosti, niskim troškovima i većom sigurnošću u odnosu na podzemno rudarenje. U povijesti se površinsko rudarenje uglavnom koristilo za dobivanje ugljena, bakra, željeza i nemetalnih minerala poput gline, gipsa, pijeska i kamena. Postoji više metoda površinskog rudarenja, ali tri se od njih najčešće spominju: otkopavanje, otvoreni kop i miniranje terase [23]. Za rudarenje zlata najviše se rabi metoda otvorenog kopa.

Otvoreni kop način je površinskog iskopavanja za ekstrahiranje rude koja se nalazi na površini. Kako bi se ruda mogla izložiti površini, uklanjaju se gornji slojevi tla i kamena. Planiranje otvorenog kopa je povezano s ekonomijom jer se očekuju najniži troškovi i veliki doprinosi. Kako bi se mogao izgraditi optimalni otvoreni kop, u obzir se moraju uzeti razni geološki i inženjerski uvjeti [24].

Rudarenje otvorenim kopom provodi se u obliku *bench-a* (engl. *bench* prevodi se na hrvatski kao „klupa“). *Bench* je dugačak i relativno uzak pojas ravnog ili blagog nagiba. Omeđen je izrazito strmijim padinama iznad ili ispod njega [25]. Najčešće se na nalazištu obavi više iskopa te svaki od njih predstavlja jednu razinu operacije rudarenja na kojoj se uklanja mineral. Visina iskopa jest razlika u visini između najviše i najniže točke *bench-a*. Visina *bench-a* najčešće se regulira pomoću bušilica ili lopata te regulacijama propisanim od države [26]. Nagib iskopa jest kut, mjeren u stupnjevima, između horizontalne i imaginarne linije koje povezuju vrh i dno *bencha* [26]. Berma rudarski pojam berma predstavlja vodoravnu ili malo nagnutu ravninu koja poput stuba na kosinu nasipa, odnosno nalazi se unutar krajnjeg zida kopa. Ona osigurava stabilnost iskopa. Interval, širina i nagib berme su određeni geotehničkom konfiguracijom nagiba.



Slika 4. prikazuje rudarenje otvorenim kopom (izvor: <https://www.911metallurgist.com/blog/open-pit-mining-safety>, preuzeto 17.7.2022.)

Tijekom rada u otvorenom kopu mora se održavati cesta za prijevoz rude, koja je postavljena spiralno ili cik-cak. Spiralna je cesta postavljena uzduž bočnoga zida kopa tako da je gradijent često podjednak od vrha do dna kopa. Cik-cak tegljačka cesta nadilazi zid kopa, najčešće na podnožnoj strani kopa. Izbor između spiralne ili cik-cak ceste ovisi o obliku i veličini rude, ekonomičnosti kamiona i stabilnosti nagiba kopa [27].

2.5. Podzemno rudarenje

Podzemno rudarenje koristi se za dobivanje rude koja se nalazi ispod Zemljine površine [28]. Za odabir određene metode rudarenja nužno je znati je li potrebna dodatna potpora tlu te odrediti njezin tip, formu i opseg [28]. Kod podzemnog rudarenja postoji više metoda kojima se osigurava rudnik od urušavanja. Iskopavanje ruda ovisi i o vrsti potpore u rudniku. Tako postoje tri glavne metode: ne podržana (samo podržavana), podržavana i speleološke metode, koje se dijele na podvrste ovisno o vrsti zida i krova korištene potpore, o konfiguraciji te o smjeru kojim operacija rudarenja napreduje [29].

Nepodržavana (samo podržavana) metoda. Samo podržavana metoda rudarenja ne iziskuje dodatne potpore kako bi nosila težinu kamena ili tla koji prekrivaju rudno nalazište te ostaje stabilna prilikom tektonskih pomicanja kamena [29]. Ovakve se metode koriste na

mineralnim nalazištima koja su pločasta, ravna ili strmoglava, a okružena su kamenom stijenom [30]. Postoji pet podvrsta samo podržavane metode rudarenja: sobno i stupno rudarstvo, zaustavljanje i stupno rudarstvo, zaustavljanje skupljanja, podrazinsko zaustavljanje te zaustavljanje i okomito povlačenje kratera [29]. Sobno i stupno rudarstvo koristi se za ravno ležeća nalazišta u kamenu, a potpora koja je od ugljena ili rude, jest stojeća ili se za njezinu izgradnju sustavno uzima materijal [30]. Ugljen se tako uzima iz četvrtastih soba u rudnom tijelu te se stavlja između ulaza kako bi služio kao potpora visećem zidu [30]. Potpore su najčešće kvadratnog ili pravokutnog oblika [30]. Zaustavljanje i stupno rudarstvo je slična kao prethodna metoda, samo se koristi u neugljenskim nalazištima nepravilnog oblika [31]. Zaustavljanje je proces vađenja minerala iz podzemnog rudnika ostavljajući iza sebe prostor poznat kao zastoj ili stopa. Stupovi ili potpore postavljene su naizmjenično i sadrže rudu niže kvalitete jer se ruda više kvalitete uklanja zaustavljanjem [31]. U zaustavljanju skupljanja operacija rudarenja se provodi vodoravno [31]. Zastoji ili stope rudare se prema gore u horizontalnim prorezima [31]. Rudne ploče ili kaljuge se razbijaju uzduž zastoja. Razbijena ruda ostaje u zastojima te služi kao radna platforma rudarima [31]. Podrazinsko zaustavljanje metoda je otvorenog zaustavljanja i služi za velika strmopadajuća rudna tijela. Ova se metoda služi iskopima koji su postavljeni vertikalno ili su padajući [31]. Zaustavljanje i okomito povlačenje kratera podvrsta je podrazinskog zaustavljanja. To je horizontalni tip rudarenja koji koristi sferični krater kako bi se razbilo rudno tijelo. Miniranje se provodi na bazi vertikalnih rupa tvoreći horizontalne proreze. Velike, paralelne, vertikalne bušilice postavljene su blizu sferičnih eksploziva [31].

Podržavana metoda. Prema Hartmanu to su metode koje trebaju umjetnu potporu kako bi se održala stabilnost tijekom istraživanja i kontrola tla tijekom cijelog razdoblja rudarenja [29]. Većinom se rabe kada nije moguće provesti nepodržavanu metodu ili speleološke metode, i to za rudu čija kompetencija varira od umjerene do nepostojeće. Tijekom ove vrste rudarenja kontrolira se pomicanje tla i zidno zatvaranje, a za potporu se koriste stupovi i metoda zatrpavanja. Potonja je vrsta potpore više u uporabi jer može držati ili poduprijeti nadređeni teret gotovo bez njegova povezivanja [32]. Postoje i zahtjevnije metode potpore koje uključuju: drvene trupce, jaslice, drvene ili čelične setove i rešetke, čelične dizalice, lukove, podupirače, podmetače, štitove i nadstrešnice [32]. Podržavana se metoda dijeli na tri vrste: zaustavljanje rezanjem i punjenjem, zaustavljanje pomoću trupaca i četvrtasto zaustavljanje [29]. Zaustavljanje rezanjem i punjenjem metoda je rudarenja gdje je jedan prolaz za iskop zatrpan prije nego što se napravi novi prolaz za iskop [32]. Ova metoda uključuje bušenje, raznošenje,

stvaranje mulja, stvaranje potpore tlu, čišćenje, podizanje, pripremu za zatrpavanje i na kraju zatrpavanje [32]. Ruda se skuplja u horizontalne rezove te se nakon toga mehanički prenosi u rudne prolaze ili žljebove [32]. Zaustavljanje pomoću trupaca metoda je u kojoj se koristi drvena potpora, a služi za uska nalazišta rude u obliku table ili tablice [29]. To je rudarenje malih razmjera kojim se koriste primjerice obitelji ili pojedinačne osobe koje nemaju mehaničku opremu. Riječ je najčešće o ilegalnom sektoru tržišta. Zaustavljanje pomoću trupaca upotrebljava se za manje kompetentan kamen, a potpora koja drži stijenu je u obliku drvenih trupaca ili grede. Četvrtasta metoda zaustavljanja također je, kao i metoda zaustavljanja pomoću trupaca, drvena metoda te je najskuplja podržavana metoda. U ovoj metodi koriste se drvni potpori koji se slažu u obliku kostura u kojem se onda skuplja otpadni materijal, a služi za potporu zidova [33].

Speleološke metode. Prilikom eksploatacijskog rada ruda ostaje netaknuta, no speleološkom metodom dolazi do urušavanja rude ili kamenog ostatka. Ova metoda rudarenja dijeli se na tri vrste: dugozidno rudarenje, podetažno urušavanje i obrušavanje blokova [29]. Dugozidno rudarenje koristi se za rudarenje ugljena ili nemetala pri nekoj dubini [33]. Prilikom ovakve vrste rudarenja gornji slojevi se lome, čime se olakšava lomljenje samog ugljena. Ugljen se iskopava u jednom komadu, a ploča dugačkog zida ugljena je tipično duga 3-4 km, a široka 250 do 400 m [34]. Ugljen je rezan škarama ili polugom te prenesen na okopni lančani transporter ili cjevovod koji odvodi ugljen do transportne trake radi uklanjanja iz radnog područja [33]. Podetažno urušavanje jedna je od naprednijih speleoloških metoda. Rabi se gravitacijski tok minirane rude i izdubljene otpadne stijene te se sva ruda mora izbušiti i minirati kako bi se mogao koristiti gravitacijski tok minirane rude. Započinje se s miniranjem rudnog tijela pri vrhu, nakon čega se operacija nastavlja prema dolje. Ruda se minira na etažama koje su raspoređene u jednakim razmacima kroz ležište [35]. Usitnjena ruda nakon miniranja zove se grubi materijal. Cilj ove metode jest dobivanje gruboga materijala pogodnoga za gravitacijski tok uz pomoć bušenja i miniranja [36]. Obrušavanje blokova metoda je koja se temelji na djelovanju sile teže. Uključuje potkopavanje rudnog tijela tako da se ruda progresivno uruši zbog vlastite težine. Vertikalna potpora razine na kojoj se rudari je uklonjena i ruda se zatim ruši gravitacijom [36]. Kako se slomljena ruda uklanja s rudne razine, ruda iznad se ruši i lomi zbog gravitacije [36]. Ovo je jako produktivna metoda, donosi male troškove i primjenjiva je za velika nalazišta [36]. Veliki se blok potkopava kako bi postao špilja [36]. Kako se blokovi urušavaju, ruda se povlači kroz žljebove ili utovarne točke u transportne nanose [36].

2.6. Odvajanje zlata iz rude

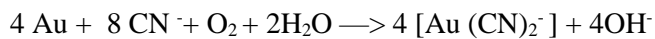
Kako je gore spomenuto, zlato se može dobiti i izravno - ispiranjem iz riječnih nanosa ili postupcima izluživanja, pomoću kojih se zlato selektivno izdvaja iz rude. Izluživanje je primjenjivo i za naplavno i za gorsko zlato, a obuhvaća proizvodne procese kao što su amalgamacija i cijanizacija [37]. Poznato je pet postupaka za izluživanje zlata, od kojih se neki više ne primjenjuju zbog ekonomskih ili ekoloških razloga [37].

Amalgamacija. Fizikalni je postupak u kojem živa sa zlatom tvori amalgam i tako omogućuje njegovo odvajanje iz rude. Nakon cijeloga procesa živa se ukloni destilacijom. Proces amalgamacije zlata i srebra pomoću žive poznat je stoljećima. Rimljani su znali da će zlato tvoriti amalgam sa živom, no nije potpuno jasno jesu li koristili taj proces za odvajanje zlata iz rude [38]. Agricola je opisao proces amalgamacije koji se koristio u Europi 1566. godine te se vjeruje da su ga prvi koristili Španjolci kako bi odvajali zlato iz rude [39]. Proces se sastojao od mljevenja rude između ravnih rotirajućih kamena koji slične mlinskome kolu te ispiranja nastale kaše u tri bunara koja sadrže živu. U svakom su se bunaru kaša i živa miješale pomoću lopatica kako bi se omogućio kontinuirani proces stvaranja zlatnog amalgama. Amalgam bi se zatim uklonio iz bunara te postavio u pamučne vreće koje su se onda stiskale kako bi živa izašla ostavljajući zlato i mali ostatak žive u vreći [38].

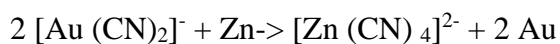
Sličan proces dobivanja zlata pomoću žive koristi se i u današnje vrijeme. Kao i u prošlosti ruda se najprije fino usitni pomoću drobilica i bakrenih ploča presvučenih tankim slojem žive [37]. Zdrobljena se ruda miješa s vodom i pretvara u kašu koja ostaje na bakrenim pločama, koje se nakon jednog ili dva dana uklanjaju. Potom se amalgam koji nije prodro duboko u bakrene ploče struže i zagrijava. Oslobođena se živa kondenzira i vraća u proces, dok zlato zaostaje u obliku *Doré*-metala [37]. To su metali koji sadrže od 0,5 do 5 posto zlata, 0,1 do 1 posto platine i srebro. Amalgamacijom se zlato ne može dobro ekstrahirati, pa se ona obično primjenjuje prije cijanizacije jer se ovako ruda pojednostavnjuje i pojeftinjuje smanjujući količinu zlata koju je potrebno ekstrahirati [37].

Cijanizacija je najvažniji postupak za odvajanje zlata iz ruda [40]. Postupak su 1887. godine razvili J.S. MacArthur, R.W. Forrest i W. Forrest u Glasgowu te se odonda uvelike primjenjuje u zemljama koje se koriste zlatom [37]. Na ovaj se način može ekstrahirati 95% zlata, no ako se uz ovaj proces primijeni i amalgamacija, moguće je ekstrahirati čak 97% zlata. Tijekom cijanizacijskog postupka zlatna se ruda mrvi u drobilicama i usitnjuje mokrim

mljevenjem obično u kugličnim mlinovima. Krupniji materijal može se zatim odvojiti i dalje obraditi amalgamacijom, dočim se sitniji materijal ugušćuje u dekantatorima do udjela vode 50-60% te izlužuje u agitatorima s 0,1 do 0,25-postotnom otopinom kalijeva ili natrijeva cijanida [37]. Mulju koji nastaje najčešće se dodaje vapno da bi se kontrolirao pH i smanjili štetni utjecaji minerala kao na primjer sulfid-željeza ili bakra, koji troše cijanid i kisik i tako smanjuju nastajanje zlata. Izlužuje se uza snažno miješanje mulja kroz koji se propuhuje stlačeni zrak kojim će se omogućiti prevođenje zlata u kompleksni cijanid [37]:



Cijanidna se otopina odjeljuje od čvrstog ostatka filtriranjem ili protustrujnim dekantiranjem, a zatim se propušta kroz vakuumske komore i odzračuje [37]. Postupak je poznat kao Croweov postupak. Sirovo se zlato iz zlatnog amalgama dobije uklanjanjem žive destilacijom, dok se cijanidnom lugu dodaje cink u prahu, pri čemu se sirovo zlato taloži [37]:



Nastali mulj, koji uz srebro, neke plemenite metale i druge primjese sadrži mnogo zlata, odvaja se u prešama za cijedenje od cijanidne otopine, koja se crpkama vraća u proizvodni proces [37]. Pogače od mulja suše se u pećima za prženje, pri čemu se oksidiraju neplemeniti metali. Osušeni se materijal zajedno s talioničkim dodatcima za stvaranje troske stavlja u lučnu peć [37]. Nakon taljenja koje traje 2 sata ukloni se veći dio primjesa u zlatu vezanjem u trosku, nakon čega se zlato slijeva u poluge teške 12,5 kg.

Klorinacija je postupak kojim se elementarno zlato pomoću vlažnoga klora pretvori u zlatni (III) klorid topljiv u vodi [37]. Spoj se zatim vodom izluži iz rude, a zlato se iz otopine istaloži reducirajućim agensom [37]. Korištenje otopljenog klora u vodi za otapanje zlata iz ruda prvi je predložio John Percy kao rezultat eksperimenta koji je proveo 1846. godine [38]. Njegov prijedlog zatim je ostvaren kao industrijski proces 1848. godine od strane profesora Plattnera i njegovih asistenata [38]. Oni su klorinaciji podvrgnuli rude arsena i željeza i uspješno dobili navedene metale. Zlato se otapalo iz pirita pri normalnom tlaku u zemljanim loncima. Potom je tekućina odvođena u zemljane posude te je zlato precipitiralo iz otopine pomoću sumporovodika. Prema izvorima Alan Cameron De Lacey izumio je poseban način dobivanja zlata pomoću klorinacije. Koristili su se tlakovi viši od atmosferskih kako bi se generirao klor, a smrvljeni je pirit stavljen u bačvu [38]. Pirit je zatim natopljen vodom, dovodio se klor kao plin te se bačva rotirala kako bi se proces ubrzao. Tekućina je zatim

uklonjena iz bačve, a zlato je precipitiralo dodavanjem željeznog sulfida [41]. Nakon De Laceyja proces klorinacije se mijenjao, no princip je ostao isti. Tako se primjerice za generiranje klora koristio tlak za 4 bara viši od atmosferskog, otopina se grijala, a za precipitiranje zlata rabio se ugljen.

Klorinacijom se ne može ekstrahirati prisutno srebro, te ako ga ima mnogo, potrebno ga je izlužiti otopinom natrijeva tiosulfata. Nekada je klorinacija bila više u upotrebi, ali je danas istisnuta cijanizacijom [37].

Postoji još jedan način dobivanja zlata a to je brominacija. Postupak se međutim, rijetkokad koristi zbog njegove visoke cijene. Osim izluživanjem zlato se može dobiti i kao sporedni proizvod u nekom procesu. Male se količine srebra, zlata i plemenitih metala nalaze u mnogim metalnim rudama, u prvom redu bakra i olova. Oni slijede osnovni metal tijekom talioničke preradbe, a pri njegovoj se rafinaciji dobivaju kao sporedni proizvodi [37]. Zbog postroženih pravila i propisa za zaštitu okoliša posljednjih se godina traže mogućnosti da se cijanid zamijeni manje štetnim i opasnim reagensima [37].

3. UTJECAJ NA OKOLIŠ

Rudarenje minerala važan je čimbenik za gospodarski napredak države. Stoga se sve više zemalja odlučuje za podzemno i površinsko rudarenje. S druge strane, rudarenje može negativno utjecati na okoliš. Negativni ekološki učinci očituju se u smanjenju bioraznolikosti, degradaciji i zagađenju tla, zagađenju zraka, smanjenju kvalitete površinskih i podzemnih voda te zagađenju bukom. Kako bi se što bolje opisao utjecaj različitih vrsta rudarenja na okoliš, u ovom su poglavlju uzeti primjeri Indije, koja posjeduje podzemne i površinske rudnike, te Aljaske, koja je poznata po rudarenju *placera*. Osim rudarenja utjecaj na okoliš imaju i metode dobivanja zlata iz rude. Za objašnjenje ovoga utjecaja uzeta je kao primjer Kenija, gdje se provodi rudarenje malih razmjera.

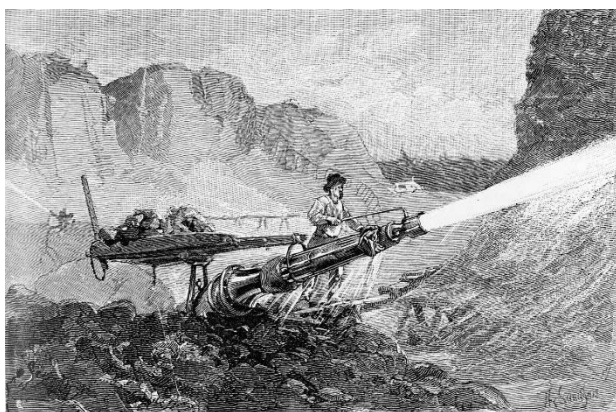
Razina zagađenja koja nastaje zbog operacija rudarenja zlatom ovisi o prirodi i sastavu ekstrahiranih minerala [42], samom procesu ekstrahiranja [43] te poduzetim mjerama remedijacije, koje su najčešće nepravilne [44]. Zlato se pojavljuje s drugim metalima ili metaloidima, što može imati utjecaj na okoliš kada su uneseni u okoliš prilikom operacija rudarenja [45].

3.1. Štetni utjecaji na vodu

Indija raspolaže brojnim mineralnim izvorima. Posjeduje oko 2000 mineralnih nalazišta, gdje se mogu pronaći 89 minerala (4 goriva, 11 metalnih, 52 nemetalnih i 22 minerala u manjini) [46]. Do minerala se najčešće u ovom slučaju dolazi s pomoću podzemnog i površinskog rudarenja. Kako se u ovim tipovima rudarenja rabe metode poput bušenja, miniranja, vađenja kamena te odlaganje ostatka nakon rudarenja, oni uzrokuju znatnu promjenu i nerijetko imaju golem utjecaj na okoliš.

Rudarenje mijenja vodene tokove i ležišta u tlu, koristeći se često masovnim količinama vode i time smanjujući dostupnost izvora vode za druge svrhe. Uklanjaju se različita vodena tijela iz područja gdje se rudari u svrhu vađenja kamena i odlaganja ostatka nakon rudarenja. Time dolazi do uništavanja drenažnog uzorka i hidrološkog režima te do spuštanja razine podzemnih voda. Osim toga rudarenje uzrokuje zagađenja površinskih i podzemnih vodenih tijela balastnim onečišćenim vodama upotrebljenim za rudarenje. Odlaganje i zbrinjavanje nepotrebnog materijala nakon rudarenja samo je po sebi ekološki problem. Kako dolazi do stvaranja pukotina na površini prilikom rudarenja, kišnica dospijeva pod zemlju noseći sa sobom razne zagađivače s površine. Kada se zagađena podzemna voda crpi i otpušta na površinu, zagađenje površinskih vodenih tijela je neizbježno [46].

Premda se na prvi pogled može činiti da rudarenje *placerima* nema negativnog učinka na okoliš, na Aljasci su dobiveni različiti rezultati. Naime, rudarenje *placerima* obavljalo se na šest različitih rudarskih područja, na kojima je dokazan negativan ekološki učinak na vodu. Lokacije su se obilazile više puta te su mjerene fizikalne značajke (tok rijeke, temperatura, turbiditet i geološke značajke korita i riječne obale), kemijske značajke (količina otopljenog kisika) i biološke značajke (ribe i planktoni). Nakon višekratnog mjerenja navedenih značajki došlo se do zaključka da hidrauličko rudarenje najviše utječe na okoliš. Hidrauličko rudarenje oblik je rudarenja koji koristi visokotlačne mlazove vode za izbacivanje stijenskog materijala ili premještanje sedimenta. Ovakva vrsta rudarenja *placera* pogoršava kvalitetu vode koja teče nizvodno tako što joj povećava turbiditet odnosno zamućenje. Osim toga smanjuje se količina kisika otopljenog u vodi te se na lokacijama koja su upotrebljavala ovu metodu moglo primijetiti značajno smanjenje broja riba i planktona.



Slika 5. Hidrauličko rudarenje placerom (izvor: <https://hmn.wiki/hr/Hydraulicking#wiki-1>, pristupljeno 9.8.2022)

U Keniji se obavlja rudarenje malih razmjera. Ljudi najčešće rudare sami, bez ikakve mehaničke opreme. Uglavnom zlato dobivaju s pomoću rudarenja s posudom u obliku tave, pri čemu koriste živu kako bi odvojili zlato iz rude. Ovo najviše doprinosi zagađenju vode, uz arsen i olovo, koji se nalaze u samoj rudi te se oslobađaju prilikom njezinog obrađivanja [47].

Tijekom ove metode rudarenja dolazi do zamućivanja vode i promjene njezine boje u narančastu. Pokazatelj je to kiselosti vode zbog nastanka sumporne kiseline i željeznog hidroksida tijekom primijenjenih kemijskih reakcija [47]. Živa se u ovu svrhu rabi već stoljećima na ovom području. Približno 1,32 kg žive potroši se tijekom proizvodnje 1 kg zlata. Oko 40% ovoga gubitka dogodi se prilikom početne faze amalgamacije zlata. Izgubljena živa direktno se oslobađa u tlo i rijeke u anorganskom obliku te se kasnije pretvori u organski oblik koji je vrlo toksičan [47]. Takav se oblik žive lako apsorbira u želudcu i u crijevima te krvlju putuje do mozga, jetre i bubrega, a toksičan je i za fetus u trudnoći [47]. Ostalih 60% žive direktno se oslobađa u zrak pri grijanju zlatnog amalgama tijekom procesa čišćenja te se može udahnuti [47]. Kako je živa lako hlapljivi element, vrlo se lako može pronaći u zraku. Prema sigurnosnim standardima živine pare ne smiju prelaziti preko $0,1 \text{ mg m}^{-3}$ u zraku [47].

Neki rudnici zahtijevaju jezera za procesiranje otopine, stoga sadrže lužnatu vodu i velike koncentracije natrijeva cijanida, slobodnog cijanida i metalnih cijanidnih kompleksa [48].

Cijanizacija je jedan od najčešćih procesa za dobivanje zlata iz ruda. Iako je vrlo učinkovit, proces ima negativni učinak na okoliš. Naime, tijekom procesa zlato se ispire s

cijanidom te se cijanid, za razliku od zlata, otapa u vodi, koja postaje neupotrebljiva za piće. Najveća zapamćena cijanizacijska nesreća dogodila se 2000. godine u Rumunjskoj gdje su obilna kiša, snijeg i led uzrokovali ispiranje ostatka nakon rudarenja koji je tretiran cijanidom Gotovo 10 000 m³ cijanidnog otpada dospjelo je u rijeku Samoš . Zalihe pitke vode su obustavljene za 2,5 milijuna ljudi u Mađarskoj i Srbiji, a došlo je i do velikog pomora riba jer se rijeka Samoš ulijeva i u rijeku Tisu i u Dunav.

Kako bi se smanjio negativan utjecaj cijanida na okoliš, i kontaminaciju voda, danas se upotrebljavaju biogeni cijanid, jodat i tri-jodat te organske tvari za odvajanje zlata iz rude. Usto se, uvode novi postupci za smanjivanje zagađenja okoliša. Tako se koriste bakterije poput *Chromobacterium violaceum* (*C. violaceum*), *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*), *Bacillus megaterium* (*B. megaterium*) i *Micrococcus species* (*sp.*) za ekstrakciju zlata [49].

3.2. Štetni utjecaji na zrak

Tijekom površinskog i podzemnog rudarenja dolazi do emisije štetnih plinova poput SO₂, NO_x i CO te emisije prašine od bušenja, miniranja, transporta rude i ostatka te mljevenja, što zagađuje zrak i kvari njegovu kvalitetu [46]. U rudnicima i na odloženim jalovim ostacima mogu se javiti požari. Uključujući i ostatke koji su ostavljene da gore nakon operacije rudarenja.

U Keniji, gdje se provodi rudarenje malih razmjera, zagađenje zraka unutar rudnika vrlo je često zbog emisije ugljikova monoksida prilikom korištenja vodenih pumpa za ekstrakciju rude [47]. Tako je primjerice 1980. godine poginulo sedam rudara zbog gušenja ugljikovim monoksidom (CO) u rudniku Osiri [47]. CO ima oko 200 puta veći afinitet za hemoglobin u odnosu na kisik zbog čega nastaje otrovanje krvi, koje dovodi do brze smrti stradalnika. Osim toga rudarenje se provodi u uskim tunelima, gdje nema pristupa svježem zraku i u kojima zna raditi 30 do 50 ljudi. Sve ovo dodatno otežava disanje i može dovesti do nakupljanja različitih tvari u plućima (pneumokonioze) i drugih respiratornih problema. Mljevenje rude obavljaju 12-o-godišnja djeca koja najčešće nisu zaštićena od prašine koja se stvara prilikom mljevenja [47]. Glavninu nastale prašine čini silikat koji se nalazi u zlatu i koji može uzrokovati silikozu pluća.

Živa je hlapljiva te lako dospijeva u zrak i vodu. Odande se lako apsorbira u ljudsko tijelo i tako napada središnji živčani sustav, što rezultira utrnulošću u nogama i rukama, umorom i nespretnim pokretima. Također može uzrokovati zujanje u ušima, pogoršanje vida, gubitak sluha, zamuckivanje, gubitak okusa i mirisa te zaboravljivost [47]. Otrovnost žive u tijelu nastaje zbog vezivanja na SH-skupine enzima, prijenosnih molekula i drugih bjelančevina. Trovanje živom može uzrokovati bolest Minamata, koja je prvo detektirana u Japanu 1956. godine [47]. Živa je u tom slučaju potjecala iz industrijske tehnološke proizvodnje. Minamata-bolest obuhvaća neurološke smetnje ravnoteže, perifernoga osjeta, sluha i govora, a u težim slučajevima može nastati koma. Prema standardnim vrijednostima, u krvi se može nalaziti do 200 mgL^{-1} , a u kosi 50 mg g^{-1} žive. Vrijednosti iznad ovih smatraju se trovanjem. Dozvoljena koncentracija metil žive u ribama je $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ [50]. Osim žive cijanid je također u određenim koncentracijama toksičan za ljudsko zdravlje ako se udahne ili unese hranom ili disanjem. Radnici koji udahnu male količine vodikova cijanida, između 6 i 10 mg m^{-3} , tijekom duljeg vremena mogu imati probleme s disanjem, bolovima u prsima, povraćanjem, promjenama u krvi, glavoboljom te povećanom štitnom žlijezdom. Udisanje većih količina može uzrokovati smrt, a koža koja dođe u dodir s vodikovim cijanidom može biti iritirana [51].

3.3. Štetni utjecaji na tlo

Rudarenje malih razmjera obuhvaća površinske i podzemne operacije. Ruda se prvo melje i potom stavlja u posude u obliku tave [47]. U rudarskom se području uglavnom nalaze zagađene vode, poremećena vegetacija, krajolici zatrpani ostatcima nakon rudarenja i otvoreni rovovi ispunjeni vodom [47]. Nedostatak primjerenih operacija i metoda rudarenja dovodi do urušavanja stijena i do slijeganja rudnog područja. Tako su naprimjer 1999. godine živote izgubila tri rudara u rudniku Nyapala u Indiji zbog urušavanja visećeg zida [47]. Postoji mogućnost i za obnovu tla u rudarskom području, poput ispunjavanja rudnika otpadnim kamenom po završetku operacije rudarenja. Ova operacija nije uvijek izvediva zato što većina vlasnika ne posjeduje cijelu zemlju odnosno tlo i stoga, kada je proces rudarenja završen, oni napuste to područje u potrazi za novom lokacijom [47]. Tijekom zlatne groznice rudari su rezali drva kako bi ga iskoristili za potporu u rudniku, što je dovelo do erozije tla i deforestacije.

Podzemnim i površinskim rudarenjem dolazi do poremećaja u slojevima tla zbog odlaganja rudnog ostatka, iskopavanja velikih razmjera te gradnje industrijskih zgrada, cesta i ostale infrastrukture za provođenje operacije rudarenja [46]. Još je veći utjecaj na okoliš ako se radi o šumskom, agrikulturnom ili naseljenom zemljištu. U slučaju šumskog zemljišta utjecaj rudarenja ovisi o tome radi li se o degradiranoj ili gustoj šumi te nalaze li se u njoj zaštićene i endemske vrste [46]. Dolazi i do promjene u topografiji i sustavu odvodnje zbog slijeganja rudnog područja. Poremećaji u površinskim vodnim tijelima i podzemlju dovode do promjena u tlu. Iscjeđivanje zagađene vode na površinu tla utječe na kvalitetu gornjeg sloja tla.

Živa iz proizvodnog procesa zlata može se pronaći i u tlu te dospjeti u prehrambeni lanac i naštetiti ljudskom zdravlju. Spojevi žive koji se najčešće pronalaze u tlu su HgO, HgS i HgCl₂ te živa koja se nalazi u organskoj tvari [52]. Najučinkovitijim načinom uklanjanja žive iz tla se pokazala termička desorpcija [52]. Ona se provodi *in situ*, na mjestu gdje je nastalo zagađenje, dovođenjem u tlo elemenata koji prenose toplinu kondukcijom. Kako se s povišenjem temperature hlapljivost žive povećava, ona će se izdvojiti iz tla. Navedeni će spojevi žive ishlapiti kada je temperatura iznad 600°C, što će omogućiti uspješnu dekontaminaciju tla [52].

Cijanidni su spojevi u tlu prilično mobilni, a postoji više metoda za njihovo uklanjanje. Cijanid se u tlu može pojaviti u obliku lako hlapljiva vodikova cijanida (HCN). U tlu ga mikroorganizmi razgrađuju tvoreći nove spojeve [53]. Pri visokim koncentracijama cijanid može biti toksičan za organizme koji žive u tlu. Budući da ga pri visokim koncentracijama mikroorganizmi ne mogu razgrađivati, cijanid dospjeva u podzemne vode [53].

3.4. Štetni utjecaji na živa bića

Uporaba bušilica i drugih strojeva koji stvaraju buku i vibraciju plaši životinje koje u okolnom području te ih nagoni na bijeg iz njihovih prirodnih staništa. U literaturi je opisano da je u blizini indijskih rudnika u razdoblju između 2001. i 2002. bilo prisutno 16 vrsta sisavaca, 145 vrsta ptica i 9 vrsta gmazova. Nažalost, sve su ove životinje danas u bijegu zbog buke, zagađenja vode, zraka i tla koje je nastalo zbog rudarenja i ostalih ljudskih aktivnosti [54]. Kontinuirano rudarenje tijekom noći dovelo je do toga da divlje životinje bježe iz šume [46]. Prašina koja nastane nakon rudarenja i transporta pada na biljke, lišće,

voće i nastanjuje njihove sjemenke, što može uzrokovati smanjenje bioraznolikosti. Usto dolazi do degradacije vodenih biljaka i životinja zbog ispuštanja zagađene vode. Razvoj eksploatacijske infrastrukture i kompleksa transportnih linija potrebnih za rudarenje dovodi do raščišćavanja okolnog područja i do smanjenja broja životinja [46].

Rast biljaka na tlu na kojem se odlaže rudni ostatak inhibiran je zbog cijedenja kiselina koje dolaze iz ostatka kamena nakon rudarenja, otpatka od rude te pretovara. Toksične tvari i metali koji se nalaze u netaknutim mineralima također se oslobađaju u okoliš [47].

Jednom kada živa dospije u vodu ona je pomoću mikroorganizama pretvorena u toksični oblik metil-živu [55]. Ribe apsorbiraju metil-živu te se ona veže za proteine u ribljem tkivlju i mišićju [55]. Tako ponovno živa dospijeva u prehrambeni lanac i može naštetiti ljudskom zdravlju. Prirodno su cijanidi prisutni u sjemenkama i lišću ruže, badema, slatkog krumpira, salate, mahunarki i kukuruza [56]. Postoje određene količine u kojima nisu smrtonosni. Smrtonosna je doza za čovjeka između 50 i 200 mg [56]. Ako se dnevno preko hrane uzime 10 mg cijanida, neće doći do smrtonosnih posljedica. Ako se tijekom duljeg vremena preko hrane ili na drugi način uzime 5 mg cijanida, također neće doći do smrtonosnih posljedica [56].

4. RASPRAVA

U ovom radu obrađeni su različiti aspekti mineralogeneze zlata u Zemljinoj kori, metodike rudarenja, svojstava nalazišta te štetni utjecaj na okoliš. Zlato zbog svoje gospodarske vrijednosti se eksploatira na različite načine, a uvjeti za rudarenje i zbrinjavanje nalazišta su propisani okvirnim zakonskim regulativama. U ekološkom smislu rad opisuje nepovoljne učinke rudarenja i pročišćavanja zlata na vodu, zrak i tlo te učinke na živa bića (biljke, kukce, druge životinje i ljude). Temeljem literaturnih izvora opisano je više rudarskim mjestima u različitim zemljama i kontinentima. Uočena je zajednička ekološka problematika.

U Indoneziji se provodi rudarenje malih razmjera, gdje su zabilježeni pozitivni i negativni učinci operacija rudarenja. Negativni podrazumijevaju već spomenuti poremećaj u vegetaciji zbog rudnog ostatka koji se uglavnom sastoji od kamenja i koji smanjuje rast

biljaka na tom području, kao i zbog deforestacije uslijed korištenja drva za potporu u rudniku. Također se utječe i na infrastrukturu koja se nalazi u blizini (zgrade, kuće itd.) zbog iskopavanja i lociranja rudnika te zbog operacija koje se obavljaju u podzemnim rudnicima. Primjerice, opisana je kuća u Indoneziji je napukla zbog utjecaja rudnika koji se nalazi u blizini. Rudne operacije poput iskopavanja mogu utjecati i na cestu koja se nalazi u okolini jer se iskopavanje ne odvija vertikalno već horizontalno. Stanovnici Indonezije tvrde da nisu primjetili pretjeran utjecaj žive tijekom rudarenja, no provedene studije pokazuju drugačije. Jedna je pokazala da se živa nalazi u rudnom ostatku, tlu i kamenu, riječnom sedimentu te površinskim i podzemnim vodama. Ispitana su tri uzorka rudnog minerala koja su sadržavala 0,005, 0,012 i 0,007 mg/l žive, dok ostaci nakon rudarenja sadržavaju puno veću količinu žive 7,49-604 mg/l. Očito da je na tom nalazištu nastala značajna kontaminacija koja je povezana s rudarenjem i pročišćavanjem plemenitog metala zlata. U ovom radu su opisana nalazišta na Aljasci, u Indiji i Keniji, a u svima njima se susreću slični negativni ekološki učinci. Razmjeri štete po okoliš su uvjetovani vrstom primijenjene tehnologije, te kemijskim procesima pročišćavanja zlatne rude.

Rudarenje zlata pored dobivanja plemenitog metala ima i posredne druge pozitivne učinke na društvo. Unatoč štetnim učincima na jednoj strani rudarenje potiče pozitivan gospodarski i širi razvoj područja oko rudnika.

Iako se na prvi pogled čini da rudarenje ima samo negativne utjecaje, u Indoneziji su zabilježeni pozitivni utjecaji rudarenja zlatom. Za rudarenje malih razmjera iziskuje puno radne snage stoga u zadnjih godina nezaposlenost opada. Dolazi i do poboljšanja ekonomske situacije u zemlji, tako da se sve više otvaraju neformalni tipovi poslovanja poput kioska, dućana i skladišta, što dodatno povećava prihode stanovništvu. Prihod cijele zajednice također se povećao otkada je rudarenje zlata prepoznato od zajednice te od vanjskih stanaka i državnika. Zbog povećanih prihoda gradi se više kuća i zgrada u inače siromašnom području. Izuzev toga potiče se i bolja edukacija, te tako djeca i mladi pohađaju kvalitetnije srednje škole i fakultete.

Postoji i rekreativno rudarenje zlatom, poput rudarenja zlata iz elektroničkih uređaja. Prema znanstvenim istraživanjima reciklirano zlato ima 99% manje negativnih utjecaja na okoliš od uobičajenih metoda rudarenja, zbog negativnih utjecaja rudarstva i radnih uvjeta u rudnicima. Zanimljiva je činjenica da se samo 12,5% elektronike reciklira u svijetu. Američka tvrtka Dell počela je iskorištavati zlato koje je ugrađeno u matičnu ploču

odbačenih prijenosnih računala za izradu novih matičnih ploča, a ostatak u obliku zlatnih šipki šalje dalje za izradu nakita. Tvrtka planira ove godine iskoristiti 17 000 odbačenih prijenosnih računala kako bi dobila malo više od 2 kg zlata, koje će iskoristiti za izradu šest milijuna električnih krugova u novim računalima.

U 19. i početkom 20. stoljeća zlato je imalo ključnu ulogu u međuvalutnim poravnanjima. Vrijednost novca je uglavnom bila stabilna. Svjetski ratovi i velike gospodarske krize uzrokovale su nagle civilizacijske poremećaje. Rast ekonomskog sustava, trgovine i financijske likvidnosti zahtijevali su stabilnost i sigurnost ulaganja. Zbog toga u razdoblju 1871.-1914. godine bio uveden „zlatni standard“ kojim su vlade i banke sprječavale inflaciju, a na međunarodnoj razini „zlatni standard“ je sprječavao manipulaciju novcem. Na praktičnoj dnevnoj razini „zlatni standard“ je stabilizirao cijene i omjere novčanih razmjena. Nedostatak „zlatnog standarda“ je da proizvodnja zlata nije mogla ići u korak s potrebama tako da je kroz vrijeme napušten princip „zlatnog standarda“ u bankarstvu i državnim riznicama. Iako je čovječanstvo unazad 5000 godina često koristilo zlato kao bazu monetarnog sustava nakon 1971. godine načelo „zlatnog standarda“ se ne koristi. Cijene zlata se određuju tržišno i ponašaju se prema zakonima ponude i potražnje. I nakon napuštanja „zlatnog standarda“ državni trezori i banke zlato i dalje koriste kao glavni financijsku vrijednost.

Povećano rudarenje zadnjih 50 godina proizvelo je značajne negativne ekološke učinke od kojih su neki opisani u ovom radu.

5. ZAKLJUČAK

Rudarenje zlatom jedno je od najraširenijih i najviše upotrebljavanijih metoda rudarenja u svijetu, a provode ju velike kompanije ili male grupe rudara. Ono poboljšava ekonomsku situaciju u državi, poboljšava uvjete življenja, povećava prihode ljudima te omogućuje bolju edukaciju djeci u zapuštenim dijelovima svijeta. Kako rudarenje obuhvaća operacije poput bušenja, miniranja, mljevenja i iskopavanja ono ima veoma štetan učinak na okoliš. Dolazi do zagađenja vode, zraka i tla, do smanjenja bioraznolikosti te do smanjenja broja živih bića u rudarskom području. Rudarenje zlata može izravno naštetiti ljudskom zdravlju i životu, primjerice ako se udahne prašina tijekom rudarenja ili traumatskim stradavanjem rudara ako dođe do urušavanja rudnika. Osim toga, kako se zlato ne nalazi samo, već u rudi s ostalim mineralima, potrebno ga je odvojiti procesima amalgamacije i

cijanizacije. Ti su procesi također toksični i mogu naštetiti ljudskomu zdravlju jer se oslobađaju u vodu, zrak i tlo te ih mogu apsorbirati živa bića te tako dospjevaju u prehrambeni lanac.

Zbog očitog negativnog utjecaja na okoliš, osobe koje provode operaciju rudarenja prije samog početka trebali bi istražiti prostor u kojem planiraju rudarenje te omogućiti da što manje utječu na okoliš. Umjesto cijanida pri dobivanju zlata iz ruda mogu se koristiti biološki reagensi poput biološkog cijanida, jodida i trijodata te amino kiselina.

Optimalni rudarski i tehnološki procesi proizvodnje zlata uključuju zbrinjavanje štetnih ekoloških učinaka. Sanaciju rudarskih mjesta nakon i za vrijeme iskorištavanja potrebno je regulirati zakonskim, nadzornim i provedbenim mehanizmima i rješenjima. Tim se postupcima mogu minimalizirati štetni ekološki učinci rudarenja te ponovno uspostaviti prirodni anorganski i organski odnosi na mjestima bivših rudnika.

6. LITERATURA

[1] B. Januška, Ispiranje zlata iz naplavina rijeke Drave, Povij.pril. (1998), 9-16, Zagreb

[2] Oluić M., Zlato od nastanka do uporabe, Prosvjeta, Zagreb

[3] <https://www.centarzlata.com/zlatna-groznica/> (pristup: 19.08.2022.)

[4] Murko D., Devetak Z., Proizvodnja zlata prema rukopisu fra Ivana Krešića, Povij.pril. 113-119, Zagreb, 1998

[5] Bermanec V., Palinkaš L., Šoufek M., Zebec V., Zlato u Dravi i Muri- geološka geneza i mineraloška analiza, PODRAVINA, V.13, br.25, Koprivnica (2014), str. 7-18

[6] <https://hr.history-hub.com/koja-je-zemlja-najveci-proizvodjac-zlata-na-svijetu> (pristup: 15.07.2022)

[7] Zhao C., Understanding formation mechanisms of gold deposits by means of computational geoscience methodology u : Corral M.D. i Earle J.L., Gold mining:Formation

and resource estimation, economics and environmental impact, New York, Nova Science Publishers, Inc.,2009, str. 1-33

[8] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Rudarstvo> (pristup: 19.08.2022.)

[9] <https://education.nationalgeographic.org/resource/mining> (pristup: 19.08.2022.)

[10] Rafferty J.P., Minerals (Geology: landform, minerals and rocks), Britannica Educational Publishing, New York, 2011, str 4.

[11] Zhao C., Hobbs B.E., Advances in computational geosciences, 2008

[12] Garven G. and Freeze R. A, Theoretical analysis of the role of groundwater flow in the genesis of stratabound ore deposits: Mathematical and numerical model, American journal of science, 284 (1984), 1085-1124

[13] Yeh G.T and Tripathi V. S., A model for simulating transport of reactive multispecies components: Model development and demonstration, Water Resources Research, 27 (1991), 3075-3094

[14] http://www.rockmass.net/files/weathering_grades.pdf (pristup: 24.08.2022)

[15] Shenberger D.M., Barnes H.L., Solubility of gold in aqueous sulfide solutions from 150 to 350°C, Geochimica and Cosmochimica Acta, 53(1989), 269-278

[16] https://www.geo.fu-berlin.de/en/v/geolearning/gondwana/special_topics/mineraldeposits/index.html

(pristup: 15.07. 2022)

[17] Rafferty J.P., Minerals (Geology: landform, minerals and rocks), Britannica Educational Publishing, New York, 2011, str 77.-81.

[18] Hustrulid, William Andrew. "placer mining", Encyclopedia Britannica, 2 Nov. 2016, <https://www.britannica.com/technology/placer-mining> (pristup: 25.08.2022)

[19] https://en.wikipedia.org/wiki/Placer_mining (pristup: 25.08.2022)

[20] Kišpatić M. i Tučan F., Slike iz rudarstva, 384(1914), Matica Hrvatska

[21] Basque G., Methods of placer mining, Heritage House Pub Co Ltd,1999

[22] <http://www.alaskaminers.org/placer-mines#:~:text=PLACER%20MINES%20IN%20ALASKA&text=While%20Fairbanks%2C%20June%20and%20Nome,the%20US%20are%20in%20Alaska.> (pristup: 25.08.2022)

- [23] Gogolewska A., Surface and underground mining technology, Mining and Power Engineering, Wrocław University of Technology, 2011, str. 18
- [24] Fourie G. A., Open pit Planning and Design u knjizi SME Mining Engineering Handbook, 1992.
- [25] [https://hhr.wiki/detial/Bench_\(geology\)](https://hhr.wiki/detial/Bench_(geology)) (pristup: 15.07.2022)
- [26] Gogolewska A., Surface and underground mining technology, Mining and Power Engineering, Wrocław University of Technology, 2011, str. 26
- [27] Gogolewska A., Surface and underground mining technology, Mining and Power Engineering, Wrocław University of Technology, 2011, str. 27
- [28] Gogolewska A., Surface and underground mining technology, Mining and Power Engineering, Wrocław University of Technology, 2011, str. 19
- [29] Hartman H.L., Elements of mining u SME Mining Engineering Handbook, Society for mining, Metallurgy and Exploration, Inc., New York, 1992.
- [30] Gogolewska A., Surface and underground mining technology, Mining and Power Engineering, Wrocław University of technology, 2011, str. 20.
- [31] Gogolewska A., Surface and underground mining technology, Mining and Power Engineering, Wrocław University of Technology, 2011, str. 21
- [32] Gogolewska A., Surface and underground mining technology, Mining and Power Engineering, Wrocław University of Technology, 2011, str. 22
- [33] Gogolewska A., Surface and underground mining technology, Mining and Power Engineering, Wrocław University of Technology, 2011, str. 23
- [34] https://upwikihr.top/wiki/longwall_mining (pristup: 02.08.2022)
- [35] https://minewiki.engineering.queensu.ca/mediawiki/index.php/Sublevel_caving (pristup: 1.08.2022)
- [36] Gogolewska A., Surface and underground mining technology, Mining and Power Engineering, Wrocław University of Technology, 2011, str. 24
- [37] Kaitner B.: Zlato, Hrvatska tehnička enciklopedija, sv.13,1997, str. 632-638
- [38] Birrell Ralph W., The extraction of gold by Amalgamation and Chlorination, Journal of Australasian Mining History, Vol. 2., September 2004, 17-31
- [39] Agricola G., De re metalica, 1950., str. 293-299
- [40] Marušić Rikard, Cijanizacija, Hrvatska tehnička enciklopedija, sv.2., str. 641-643
- [41] A. C. L. De Lacy, 'Improvements in Machinery and process for Pulverising Gangue and the extraction of Gold', Victoria, 1847
- [42] Luque-Almagro V. M., Moreno-Vivián C., Roldán M. D., Biodegradation of cyanide wastes from mining and jewellery industries, 2016 (38), str. 9-13

- [43] Olobatoke R. Y., Manthu M., Heavy metal concentration in soil in the tailing dam vicinity of an old gold mine in Johannesburg, South Africa, 2016 (3), 299-304
- [44] O'Faircheallaigh C., Corbett T., Understanding and improving policy and regulatory responses to artisanal and small scale mining, Extractive Industries society 3 (4), 2016, str. 961-971
- [45] Drace K., Kiefer A. M., Veiga M. M., Cyanidation of mercury contaminated tailings: potential health effects and environmental justice, Current environmental health reports 3 (4), str. 443-449
- [46] Khobragade K., Impact of Mining Activity on environment: An Overview, International Journal of Scientific and research Publications, V. 10, 2020
- [47] Ogola J. S., Mitullah W. V., Omulo M. A., Impact of gold mining on the environment and human health: a case study in the Migori belt, Kenya, Environmental Geochemistry and Health, 24(2002), str. 141-158
- [48] Donato D., Ricci P. F., Noller B., Moore M., Possingham H., Nichols O., The protection of wildlife from mortality: hypothesis and results from risk assessment, Environ. Int., 34(6), 2008
- [49] Jorjani E., Sabzkoohi H. A., Gold leaching from ores using biogenic lixivants-A review, Current research in Biotechnology, 4(2022), str. 10-20
- [50] Harada M., Nakachi S., Cheu T., Hamada H., Ono Y., Tsuda T., Yanagida K., Kizuki T., Ohno T. H., Mercury Pollution in Tanzania: Relation Between Scalp hair, Mercury level and Health, Institute of Molecular Embryology and Genetics, Japan, 14 pp.
- [51] <https://www.atsdr.cdc.gov/hs/hsees/annual2006.pdf> (pristup: 20.08.2022)
- [52] Wang L., Hou D., Cao Yining, Ok Sik Y., Tack M.G. Filip, Rinklebe Jorg, O'Connor D., Remediation of mercury contaminated soil, water and air: A review of emerging materials and innovative technologies, Environment International, V.134, 2020
- [53] <https://portal.ct.gov/-/media/Departments-and-Agencies/DPH/dph/communications/CERC/CYANIDETFACTSPDF.PDF> (pristup: 21.08.2022)
- [54] Pullaiah t., Biodiversity in India, V. 4 (2006), New Delhi
- [55] <https://dec.vermont.gov/sites/dec/files/wmp/SolidWaste/Documents/alittlebit.pdf> (pristup: 21.08.2022.)
- [56] Yüce A. Ekrem, Girgin Ş., Önal G., Dogan M. Z., The truth about cyanidation process and its environmental effects on gold mining, The Criton Curi Int.Symp. on Environmental Managment in the Mediterian Region, V. 2, Turska, 1998
- [57] https://en.wikipedia.org/wiki/Gold_standard (pristup: 4.09.2022.)

[58] <https://www.grid.news/story/global/2022/07/15/russias-bright-shiny-anti-sanctions-weapon-inside-the-billion-dollar-business-of-blood-gold/> (pristup: 4.09.2022.)

ŽIVOTOPIS - DORA KATARINA KOVAČ

Dora Katarina Kovač [REDACTED] Završila je Osnovnu školu Antuna Mihanovića 2014. godine te nastavlja svoje školovanje u XVIII. jezičnoj gimnaziji u Zagrebu, na Šalati. Tijekom svojeg srednjoškolskog školovanja učila je francuski, engleski i španjolski jezik te osnove latinskog jezika. Položila je B2-razinu engleskog jezika, A2-razinu francuskog jezika te iz A1-razinu španjolskog jezika. Za vrijeme gimnazijskog školovanja provela je tri tjedna u gradu Brive-la-Gaillarde u Francuskoj, na učeničkoj razmjeni.

Gimnaziju je maturirala 2018. godine. Studij ekoinženjerstva upisala se na Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije na Sveučilištu u Zagrebu 2018./2019. godine. Ima iskustva rada u laboratoriju iz analitičke, opće te fizikalne kemije. Svoju studentsku praksu odradila je na Institutu Ruđera Boškovića u Laboratoriju za procese taloženja gdje se praktično upoznala s temeljima termogravimetrije, HPLC-a te ionske kromatografije (mentor dr.sci. Damir Kralj).

Na Lodz University of Technology odslušala je na daljinu i položila propisani pismeni ispit (Examination grade: 18/24) tečaja „**Step in and spin your mind -Introduction to new absorption technology**“. Stručni tečaj je održan od 12. do 16. srpnja 2021. (ukupno 22 sata nastave; ekvivalent od 0,5 ECTS-bodova). Ovaj tečaj se održava s dopusnicom BEST (Board of European Students of Technology).