

ÎNCHIDEREA LUCRĂRILOR MINIERE SUBTERANE ȘI DE SUPRAFAȚĂ

Cuprins

1. Exploatări miniere subterane	2
1.1 Puțuri	2
1.2 Galerii	3
1.3 Excavații, foraje de explorare și zonele de descopertare	3
1.4 Inundarea minei	4
1.5 Lucrări suplimentare necesare pentru închiderea minelor subterane	
2. Exploatări miniere de suprafață	
2.1 Tehnici de remediere a carierelor	
2.2 Soluții de rambleiere	
2.3 Inundarea carierei	
3. Bibliografie	

1. Mine

1.1 Lucrări miniere de legătură cu suprafața

1.1.1 Puțuri

Puțurile trebuie asigurate odată cu scoaterea din funcțiune pentru a evita punerea în pericol a suprafeței și a populației.

Rambleierea puțurilor poate fi realizată prin utilizarea următoarelor tipuri de materiale:

- Rocă dură sfărâmată,
- Rocă necoezivă (pietriș, nisip),
- Rocă sterilă, impermeabilă,
- Rambleu coeziv (ex. beton).

Cele mai bune practici aplicate puțurilor care se găsesc în roci instabile sunt reprezentate de rambleierea pe toată lungimea puțului, utilizând metode de accelerare hidraulică a prizei și materiale stabile în prezența apei, înainte de începerea inundării necontrolate a minei.

În acord cu standardele europene în vigoare, puțurilor săpate în roci stabile li se pot aplica următoarele măsuri de remediere:

- Construirea unei plăci masive de beton armat în puț, în zona de umplere cea mai apropiată de suprafață, urmată de rambleierea cu pietriș sau beton până la gura puțului,
- Construirea unui dop rezistent de beton încastrat în puț, la o adâncime accesibilă de la suprafață, urmată de rambleierea până la suprafață cu pietriș sau beton,
- Rambleiere totală cu sau fără accelerare hidraulică a prizei.

Gura puțului rambleiat cu rocă neconsolidată trebuie acoperită cu o placă de beton armat. Placa de beton trebuie prevăzută cu o fereastră de acces pentru monitorizare și aplicare a unor eventuale măsuri de reumplere.

Toate instalațiile aferente puțului care împiedică rambleierea completă a acestuia, trebuie îndepărtate înainte de umplere.

1.2 Galerii

Lucrările de acces de la suprafață (planele înclinate și galeriile) trebuie închise la scurt timp după luarea deciziei de închidere, din motive de siguranță a populației. Alegerea tehnologiei corespunzătoare de închidere sau remediere depinde de următorii factori:

- amplasarea galeriei în raport cu suprafața,
- condițiile geologice și hidrogeologice,
- funcția galeriei,
- starea generală a galeriei din punct de vedere al stabilității și accesibilității.

În vederea realizării unei închideri corecte a galeriilor abandonate, se pot adopta următoarele soluții constructive, compatibile cu cele mai bune practici:

- Construirea unui dig din prefabricate de beton sau beton la gura galeriei
- Rambleierea unei porțiuni de minim 10 m lungime imediat în spatele gurii de galerie cu un rambleu (lungimea totală a zonei de rambleiere variază în funcție de asigurarea stabilității suprafeței pe aliniamentul galeriei);
- Rambleierea completă a galeriei
- Închiderea gurii de galerie prin detonare pentru galeriile surpate în vederea refacerii cadrului natural.

Închiderea unei guri de galerie cu o poartă de fier care se poate încuia, este admisă numai până la începerea lucrărilor de închidere a acesteia.

1.3 Excavații, foraje de explorare și zonele de descopertare

Golurile subterane (mai ales cele situate în apropierea suprafeței), forajele de explorare și zonele de descopertare care pot contribui la instabilizarea suprafeței, trebuie stabilizate prin rambleiere. Trebuie avute în vedere următoarele probleme [1]:

- Dacă nu se cunoaște exact localizarea unui gol subteran, se vor efectua foraje de investigare și sondaje video care să permită o înțelegere exactă a situației acestor goluri.
- Pentru rambleierea golurilor subterane, a găurilor de foraj și zonelor deschise de descopertare se pot utiliza aceleași materiale ca în cazul puțurilor și galeriilor. Metodele adecvate pentru rambleiere vor fi stabilite pe baza rezultatelor obținute în urma investigațiilor.

Cu toate acestea, lucrările de deschidere din subteran și de la suprafață, precum și lucrările de descopertare ar putea să nu necesite neapărat rambleiere, îndeosebi dacă acestea constituie o parte esențială a patrimoniului geologic destinat conservării și nu reprezintă un pericol la adresa securității publice. În anumite cazuri, este acceptabilă soluția instalării unui gard sau a unei bariere de pământ cu înălțime suficientă, posibil prevăzută cu un șanț (umplut cu apă, în cazul în care condițiile locale o permit). Suprafața dintre gard sau barieră și excavație trebuie îngustată și degajată. Pe împrejurimi, bermă sau la punctele de acces se vor posta semne de avertizare clar vizibile.

1.4 Inundarea minei

Inundarea reprezintă o parte integrantă a procesului de închidere și reabilitare a minei. După finalizarea activităților pregătitoare (rambleiere, stabilizare, îndepărtarea utilajelor contaminate, recuperarea metalelor reciclabile, etc.), evacuarea apei de mină va fi redusă și în final, oprită. În acest stadiu, aportul natural de apă subterană va conduce la umplerea minei (inundare necontrolată).

Pentru a evita subsidența și avarierea construcțiilor de suprafață, precum și pentru a diminua impactul asupra mediului ca urmare a creșterii nivelului apei subterane, inundarea orizonturilor puțin adânci ale minei trebuie să fie controlată prin evacuarea apei prin drenare sau pompare și prin aplicarea unor măsuri de epurare în cazul în care calitatea efluenților de mină nu este compatibilă cu descărcarea directă în emisari. Adesea, epurarea este necesară cel puțin pentru o scurtă perioadă după atingerea concentrației de vârf a apei subterane ("prima spălare" sau concentrație de vârf datorată mobilizării contaminanților din rocile neconsolidate și de pe suprafața rocilor din mină). În final, efluenții minieri vor fi eliberați fie prin descărcare difuză ca apă subterană, fie prin conducte de drenaj locale la nivelul unor galerii. În cazul în care calitatea apei corespunde standardelor de descărcare sau nu se mai întrevede un impact negativ asupra ecosistemelor, epurarea poate înceta. Va fi necesară monitorizarea nivelului și calității apei subterane, dar pe termen lung, activitățile de monitorizare vor fi substanțial reduse sau vor înceta.

Exactitatea prognozelor privind impactul inundării minei asupra regimului local al apelor subterane și de suprafață este limitată de o serie de incertitudini legate între altele, de proprietățile fizice ale golurilor subterane, de condițiile hidraulice și de anumite influențe externe cum ar fi condițiile meteorologice. Printr-o planificare riguroasă realizată înaintea declanșării acțiunii de inundare, astfel de incertitudini pot fi reduse, deși niciodată eliminate în totalitate. Date fiind aceste necunoscute, strategiile de inundare au în mare măsură, un caracter preventiv.

Componentele principale ale conceptului de inundare sunt:

- cunoașterea problemelor de stabilitate geomecanică asociate creșterii nivelului hidrostatic și stabilirea unui plan de execuție a inundării controlate,
- punerea timpurie în funcțiune a instalațiilor de epurare a apei,
- conductele de drenare,
- instalații de pompare, descărcare și gestionare a reziduurilor,
- punerea în aplicare a unui sistem de monitorizare.

În plus, acest concept trebuie să includă o structură organizatorică adecvată care necesită pe de-o parte, o echipă interdisciplinară de specialiști având la dispoziție instrumentele corespunzătoare de evaluare, control și pregătire a procesului decizional, iar pe de altă parte, o definire clară a direcțiilor de decizie managerială.

Cele mai importante condiții pentru asigurarea unei inundări optime sunt, ca regulă generală, următoarele:

- (1) declanșarea rapidă a procesului de inundare,
- (2) menținerea unui proces continuu de inundare în vederea atingerii în cel mai scurt timp a nivelului hidrostatic final, pentru care se pot estima condiții cvasistaționare și care să fie cât mai ridicat în limitele de stabilitate geomecanică.

O declanșare rapidă a procesului implică faptul că lucrările miniere pot fi abandonate și că aerajul și pompele pot fi oprite. Pe de-o parte, aceasta atrage o reducere semnificativă a costurilor, iar pe de altă parte, ajută la scăderea gradului de oxidare a minereurilor reziduale și rocii gazdă, și astfel la diminuarea gradului de mobilizare a contaminanților de către apă.

Efortul de a abandona lucrările miniere cât mai curând cu putință și pregătirea minuțioasă a inundării (incluzând, printre altele amenajarea de bariere hidraulice, instalarea de echipamente de monitorizare corespunzătoare și instalarea de utilaje pentru soluții alternative de drenare și pompare) necesită atât atingerea unui compromis cât și elaborarea unei concepții temeinice privind inundarea minei.

Cu toate acestea, scopul general al inundării continue și cât mai rapide a unei mine, poate fi în contradicție cu încercarea de a evita manifestarea la suprafață a unor efecte geomecanice negative. Din acest motiv trebuie să se ajungă la un compromis.

Odată cu creșterea cotei de inundare, sunt accentuate procesele naturale de atenuare a impactului. Din punct de vedere conceptual, o demarare rapidă a drenării, pompării și epurării va fi de natură să reducă intervalul de timp necesar epurării. Dacă efluenții de mină sunt puternic neomogeni, printr-o poziționare corespunzătoare a pompelor se poate începe epurarea zonelor cu concentrații mari ale contaminanților. Cu toate acestea, pentru ca o astfel de decizie să se justifice, va fi necesară o analiză riguroasă a tuturor costurilor aferente acestui proces.

Inundarea unei mine cu evacuarea apelor prin galerie va conduce la:

- Formarea unei sarcini hidraulice excesive în spatele zonei îndiguite,
- Modificări ale debitelor de descărcare și ale punctelor de drenaj,
- Modificări ale calității apei,
- Probleme generate de cavitățile subterane, puțurile sau galeriile puțin adânci care nu au fost stabilizate/rambleiate corespunzător.

Creșterea sarcinii hidraulice în spatele sistemului de închidere a galeriei ar putea compromite stabilitatea acesteia, generând avarii sau chiar erupția unui volum considerabil de apă cu un conținut ridicat de contaminanți, capabil să genereze o poluare severă în cursurile de apă receptoare.

Conceptele și strategiile de inundare trebuie adaptate în funcție de specificul amplasamentului, fără a omite însă unele proceduri de rutină bine stabilite. Este necesară actualizarea continuă a conceptului care stă la baza inundării și adaptarea acestuia în funcție de rezultatele monitorizării care se desfășoară concomitent (monitorizarea inundării). Încercările de inundare, monitorizarea de înaltă calitate și evaluarea datelor

disponibile de către o echipă de specialiști care coordonează procesul de inundare, vor contribui la reducerea incertitudinilor și costurilor aferente.

1.5 Lucrări suplimentare necesare pentru închiderea minelor subterane

La închiderea abatajelor, lucrărilor de deschidere și a golurilor subterane, se va ține seama de următoarele aspecte:

- Este necesară elaborarea unui plan de execuție clar al închiderii lucrărilor pe orizonturi și la nivelul fiecărui orizont;
- Este necesară identificarea și planificarea riguroasă a căilor de acces, circulație și transport pentru fiecare etapă de închidere;
- Este necesară planificarea unor lucrări suplimentare pentru închidere (*galerii de legătură, canale de aeraj, găuri de sondă, etc.*) în acord cu metodele de închidere (*rambleiere, îndiguire, lăsare în starea inițială, etc.*);
- Digurile și amplasarea acestora pe hărțile topografice trebuie să fie bine documentate. În zonele potențial inundate, digurile vor fi dimensionate să reziste presiunii estimate a apei.

La închiderea excavațiilor de suprafață și a lucrărilor miniere subterane trebuie avute în vedere de asemenea, soluții de utilizare alternativă a golurilor, precum și metode de izolare a acestora de restul minei.

2. Exploatări miniere de suprafață

2.1 Tehnici de remediere a carierelor

În funcție de tipul de zăcământ, de geochimia rocii și apei din carieră (dacă aceasta există), metodele viabile de stabilizare a posibilelor fenomene geotehnice și refacere a mediului pot consta din rambleiere totală sau parțială. Rambleierea va fi compatibilă cu folosința terenurilor și cu obiectivele de gestionare din perioada de post-închidere, urmărind reducerea impactului vizual și minimizarea acumulării apelor de șiroire.

2.2 Soluții de rambleiere

Se disting trei tipuri de rambleiere care pot fi efectuate concomitent cu exploatarea minieră sau la finalizarea acesteia [1], existând și alternativa închiderii fără rambleiere:

- (1) **Rambleierea totală** – se poate realiza prin transfer de masă minieră (dacă exploatarea este operațională) sau prin relocare de material steril, incluzând amenajarea unei coperte de sol.
- (2) **Rambleierea parțială** sau **stabilizarea taluzurilor** (incluzând amenajarea unei coperte de sol) – Această procedură este pusă de obicei în practică pentru a atenua sau modifica impactul vizual și pentru a crește stabilitatea taluzurilor de carieră. Uneori, este utilizată ca o soluție de compromis menită să substituie rambleierea totală.
- (3) **Rambleierea simultană** – Utilizată de regulă, la amplasamentele miniere cu cariere multiple unde planurile de execuție permit depozitarea directă a rocilor sterile într-una din cariere (haldare interioară). Această metodă este avantajoasă din punct de vedere al costurilor, reduce suprafața și volumul haldelor, diminuând în același timp eforturile de remediere a haldelor de roci sterile și permițând o folosință productivă a terenurilor în faza de post-închidere.
- (4) **Fără rambleiere** – inundarea excavației cu formarea unui lac de carieră.

Alternativele 1) și 2) pot fi separate în continuare în funcție de:

- Măsurile suplimentare de control și diminuare a surselor de poluare, implementate în cadrul tehnologiei de relocare (de exemplu, segregarea rocilor sterile și/sau adăugarea de material alcalin),
- Proiectarea copertei.

În cazul proiectului de copertă, se aplică aceleași principii ca în cazul copertelor instalate pe haldele de roci sterile.

Alternativele 2) și 4) pot fi la rândul lor diferențiate în raport cu măsurile suplimentare de stabilizare/atenuare a impactului, aplicate teluzelor de carieră.

Configurația carierei include unghiul general de taluz și înălțimea/ lățimea treptelor. Acestea trebuie proiectate în funcție de anumiți factori cum ar fi gradul de alterare al rocii, tipurile litologice, structura geologică, gradul de compactare al rocii și caracteristicile de alterare pentru fiecare unitate litologică. Stabilizarea și remedierea taluzurilor de carieră pot varia de la păstrarea configurației originale a taluzului, la reducerea acestuia sau la aplicarea rambleierii. Remedierea finală este în mod obișnuit însoțită de amenajarea unor împrejmuiri sau berme având scopul de a proteja securitatea populației.

Accesul la lucrările miniere subterane prin galerii săpate în taluzurile de carieră va fi restricționat.

2.3 Inundarea carierei

Pentru a evita generarea de efluenți acizi având drept sursă exploatarea miniere și depozitele aferente de roci sterile și pentru a reduce sursele de contaminații, se vor aplica măsuri preventive. Planificarea închiderii minei și amenajărilor de depozitare a sterilului trebuie să considere strategiile preventive, ca fiind prioritare, oriunde este posibil acest lucru.

Inundarea unei cariere oferă, în general, ocazia de a crea un peisaj cu trăsături unice – lacul de carieră – și noi habitate ecologice [2]. Microclimatul carierelor inundate contribuie la crearea unor condiții particulare, constituind un refugiu potențial pentru speciile rare.

În funcție de condițiile mineralogice ale suprafețelor libere de rocă, există posibilitatea generării unor ape acide și cu conținut ridicat de elemente grele la nivelul taluzurilor de carieră. Gospodărirea apelor trebuie atent planificată, astfel încât acestea să nu pună în pericol fauna [3], [4]. În cazul în care generarea apelor acide pe taluzurile de carieră nu poate fi prevenită, se vor amenaja șanțuri de drenaj care vor menține apele de șiroire de pe taluzuri, la distanță de suprafețele acoperite cu vegetație.

Taluzurile de carieră neacoperite (ci numai asigurate din punct de vedere geotehnic) pot constitui nișe de refugiu pentru faună (constituind de exemplu, locuri de cuibărit pentru păsări de pradă) sau pot fi vegetate, utilizând procedee de hidroînsămânțare sau plantare de specii cățărătoare (de exemplu, iederă). Există numeroase exemple de taluzuri de carieră vegetate [5]. În funcție de folosința preconizată de regulă pentru terenurile din zona amplasamentului minier, vegetarea taluzurilor este soluția preferată.

Numeroase activități științifice și industriale, autorități guvernamentale și din industria minieră agreează gospodărirea durabilă a lacurilor de carieră [6]. Cele mai utilizate tehnici pentru cariere sunt următoarele:

- instalarea de straturi impermeabile pe bază de argilă pentru a preveni infiltrațiile în roca subiacentă,
- aplicarea de metode specifice în vederea creșterii pH-ului,
- etanșarea găurilor de sondă pentru a preveni infiltrațiile,
- devierea apelor de șiroire, în jurul porțiunilor de taluz bogate în sulfuri, pentru a nu afecta calitatea apei din lac,

- epurarea *in situ* a apei din carieră s-a dovedit a fi o soluție de succes în condițiile în care se poate asigura minimizarea generării și pătrunderii de ape acide [7], [8]. Această minimizare este posibilă prin aplicarea următoarelor măsuri:
 - inundare rapidă după încheierea activității de exploatare, astfel încât suprafețele bogate în sulfuri să fie acoperite cât mai curând cu puțință;
 - asigurarea stabilității mecanice a taluzurilor (care prin prăbușire ar putea expune noi suprafețe la oxidare);
 - neutralizarea porțiunilor bogate în sulfuri prin utilizarea unor metode corespunzătoare, cum ar fi:
 - ◆ amplasarea de amestecuri pe bază de var și materie organică;
 - ◆ aplicarea unor produse speciale (de exemplu, bactericide, substanțe chimice de etanșare) pe suprafețele relevante;
 - ◆ aplicarea unor principii biologice prin utilizarea unor microorganisme consumatoare de oxigen ("biomate") care vor contribui la rândul lor la neutralizarea apelor de șiroire acide;
 - ◆ acoperirea suprafețelor bogate în sulfuri cu un strat mineral sau sintetic.
- adăugarea unei cantități suficiente de material alcalin în apa din lac ca metodă de epurare *in situ* (de exemplu, material care provine de la stația de epurare), și care va permite neutralizarea în condiții de siguranță a acidității din nivelele superioare ale taluzurilor de carieră pentru o perioadă limitată de timp;
- epurare (semi-)pasivă în carieră prin adăugare de materie organică pentru stimularea dezvoltării bacteriilor sulfat-reducătoare. Reziduurile organice utilizate cu mai mult sau mai puțin succes în neutralizarea apelor acide sunt reprezentate prin rumeguș, compost de ciupercărie uzat, paie și fân, gunoi de grajd parțial tratat, nămol de la stația de epurare a apelor uzate menajere, deșeuri de coji de cartofi [9].
- amplasarea de calcar cu granulație mare în carieră pentru a asigura un tampon carbonatic necesar neutralizării apelor acide;
- devierea apelor de șiroire neafectate în jurul carierei pentru prevenirea influxului de ape provenind de la haldele de roci sterile.

Epurarea în carieră (generarea de alcalinitate) prin utilizarea bacteriilor sulfat-reducătoare, s-a dovedit pentru multe amplasamente miniere ca fiind o metodă viabilă și durabilă pe termen lung pentru gestionarea apelor acide [10]. O condiție pentru epurarea în carieră este aceea ca zonele cu activitate puternică a bacteriilor sulfat-reducătoare să nu fie agitate sau dispersate.

Metodele de stimulare a activității bacteriilor sulfat-reducătoare sunt următoarele:

- neutralizarea apelor pentru atingerea unui domeniu de pH compatibil cu activitatea bacteriilor sulfat-reducătoare;
- adăugare de substanțe organice pentru a asigura condiții optime și pentru a încuraja și hrăni bacteriile sulfat-reducătoare;
- fertilizare pentru stimularea producției de material organic în lac.

Din punct de vedere al securității vizitatorilor și populației locale, se vor lua următoarele măsuri:

- se va amenaja și planta o bermă de perimetru cu înălțimea de 2 m, situată la 7 m de primul taluz interior;
- dincolo de această bandă plană de 7m, prima bermă a carierei va fi reprofilată în timpul închiderii pentru a nu exista o pantă abruptă. Populația și animalele care se apropie de carieră vor fi astfel avertizate de înclinarea din ce în ce mai mare a pantei;

- se pot amenaja poteci pentru dirijarea turiștilor montani în carieră, precum și o platformă panoramică, reducând astfel riscul ca oamenii să aibă acces spre taluzuri cu pante instabile;
- se vor posta semne care să avertizeze populația să nu facă baie sau să bea apă din lac, aceasta nefiind compatibilă cu standardele naționale și ale Uniunii Europene pentru astfel de scopuri.

3. Bibliografie

- [1] Best Management Practices in Mining; state of Nevada, Nevada Division of Environmental Protection, http://ndep.nv.gov/bwqp/bmp/chap_9.pdf
- [2] Abandoned pits and quarries in Cornwall. Edited by A.Spalding, S.Hartgroves, J.Macadam, D.Owens. Published by English Nature, University of Exeter, Spalding Associates (Environmental) Ltd., The Historic Environment Council, Cornwall County Council. 1999
- [3] US Fish and Wildlife Services, Region 6 Environmental Contaminants, Contaminant Issues: Pit Lakes. <http://www.r6.fws.gov/contaminants/contaminants8.html>
- [4] G.C.Miller: Precious Metal Pit Lakes.Controls on Eventual Water Quality.Southwest Hydrology, September/October 2002.
http://swhydro.arizona.edu/archive/V1_N3/featurette3.pdf
- [5] "The Rehabilitation of Golden Cross Mine Coromandel". The New Zealand Minerals Industry Association, Wellington/NZ. http://www.minerals.co.nz/html/green_from_gold/gx.html
- [6] Numerous conferences are held on this topic, updating the mining community on the most recent research, such as the "Pit Lakes" conferences held by the US EPA in 2000 and 2004.
- [7] Lu, Ming, 2004: Pit lakes from sulphide ore mining. Geochemical and Limnological Characterisation before Treatment, after Liming and Sewage Sludge Treatment. PhD Thesis, Luleå University of Technology, Department of Chemical Engineering and Geosciences, Division of Applied Geology, 2004
- [8] B.C.Aube, B.Arseneault: In-Pit Mine Drainage Treatment System in a Northern Climate. Mining and the Environment Conference, Sudbury (Canada) 2003
- [9] University of Montana, Department of Geology, J. Moore, Lecture No. 21. Pit Lakes II, <http://www2.umt.edu/Geology/faculty/moore/G431/lectur21.htm>
- [10] S.McCullough: "Why we filled a pit lake with dead plants and poo." Centre of Excellence for Sustainable Mine Lakes. Edith Cowan University.