



MINISTERUL EDUCAȚIEI
UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI
ȘCOALA DOCTORALĂ

DOMENIUL DE DOCTORAT: INGINERIE INDUSTRIALĂ

Ing. Bogdan GARALIU-BUȘOI

TEZĂ DE DOCTORAT
- REZUMAT -

**ANALIZA ȘI EVALUAREA SECURITĂȚII MATERIILOR
EXPLOZIVE DESTINATE PENTRU REALIZAREA LUCRĂRILOR
DE DEROCARE LA EXPLOATĂRILE MINIERE DE SUPRAFAȚĂ**

**ANALYSIS AND SAFETY ASSESSMENT OF EXPLOSIVE
MATERIALS INTENDED FOR USE IN BLASTING OPERATIONS
IN SURFACE MINING SITES**

Conducător științific:

CSI dr. habil ing. DRAGOȘ GABRIEL VASILESCU

PETROȘANI

- 2024 -

CUPRINS

	Cuvânt înainte	1
	Lista figurilor	4
	Lista tabelelor	7
	Lista acronime și simboluri	8
CAPITOLUL I	Introducere	9
CAPITOLUL II	Studiul cadrului evolutiv de reglementare în domeniul materiilor explozive	15
	2.1 Statusul implementării Directivei Explozivi la nivel european	15
	2.2 Studiu privind cerințele legislative cu privire la regimul materiilor explozive în România	16
	2.3 Analiza cerințelor specifice personalului care desfășoară operațiuni cu materii explozive	17
	2.4 Stabilirea cerințelor privind identificarea unica și trasabilitatea explozivilor de uz civil	18
	2.5 Echipamente dedicate și dispozitive de urmărire hardware destinate pentru asigurarea trasabilității explozivilor de uz civil	24
	2.6 Concluzii	31
CAPITOLUL III	Analiza critică a tehnologiilor de împușcare destinate pentru derocarea cu exploziv a substanțelor minerale utile din exploatarea miniere la suprafață	33
	3.1 Contextul general al exploatărilor miniere la suprafață	33
	3.2 Studiul critic al tehnologiilor de împușcare utilizate în exploatarea miniere la suprafață	34
	3.3 Concluzii	46
CAPITOLUL IV	Contribuții privind evaluarea efectului seismic generat la lucrările de împușcare executate la exploatarea miniere la suprafață	47
	4.1 Considerații generale privind efectul seismic generat la detonarea unei încărcături explozive	47
	4.2 Proprietățile fizice ale undelor seismice și conceptualizarea mecanismului de producere a acestora	62
	4.3 Elaborarea unui instrument metodologic inovativ destinat evaluării efectului seismic produs la lucrările de împușcare în exploatarea miniere la suprafață	66
	4.4. Concluzii	88
CAPITOLUL V	Evaluarea riscurilor și impactului asupra mediului	90
	5.1. Riscuri asociate utilizării explozivilor	90
	5.2. Măsuri de siguranță în utilizarea explozivilor	93
	5.3. Impactul asupra mediului al utilizării explozivilor	94
	5.4. Contribuții privind evaluarea riscurilor generate la lucrările de împușcare realizate la exploatarea miniere de suprafață	97
	5.5. Concluzii	107
CAPITOLUL VI	Contribuții privind optimizarea integrată a tehnologiilor de împușcare utilizate în exploatarea miniere de suprafață pe baza simulărilor computerizate realizate cu echipamente specializate de ultimă generație	108
	6.1. Considerații generale privind evaluarea computerizată a lucrărilor de împușcare efectuate în exploatarea miniere de suprafață	108
	6.2. Studiul metodelor de simulare și modelare computerizată a proceselor de împușcare specifice exploatărilor miniere de suprafață	109
	6.3. Analiza și evaluarea rezultatelor obținute în urma simulărilor computerizate cu accent asupra creșterii eficienței operațiunilor miniere realizate în cadrul exploatărilor miniere de suprafață	127
	6.4. Studiul avantajelor optimizării integrate a tehnologiilor de împușcare utilizate în exploatarea miniere de suprafață	132
	6.5 Concluzii	133
CAPITOLUL VII	Contribuții privind evaluarea efectului seismic generat la derocarea cu explozivi la nivelul unor operatori minieri de profil	135
	7.1. Evaluarea acțiunii seismice a lucrărilor de împușcare executate în cariere de marmură, în vederea protejării zăcămintului față de efectele acestor lucrări	135
	7.2. Evaluarea efectului seismic a lucrărilor de împușcare executate în cariera de roci bazaltice	153
	7.3. Concluzii	175

CAPITOLUL VIII	Concluzii finale și contribuții personale	177
	8.1. Concluzii finale	177
	8.2. Contribuții personale	181
	8.3. Direcțiile viitoare de cercetare	184
	BIBLIOGRAFIE	185
ANEXE		189
	ANEXA 1 Procedură de control specifică sistemului de identificare unică și trasabilitate a explozivilor de uz civil	Anexa 1-1
	ANEXA 2 Zonarea carierei de marmură-linii drepte	Anexa 2-1
	ANEXA 3 Zonarea carierei de marmură-linii curbe	Anexa 3-1

În era actuală a tehnologiei și a industriei, exploatările miniere de suprafață reprezintă un pilon esențial în satisfacerea cererii globale de resurse naturale. Cu toate acestea, evoluția rapidă a tehnologiei impune o adaptare constantă a metodelor și proceselor utilizate în acest domeniu vital. În acest context, optimizarea tehnologiilor de împușcare devine crucială pentru a asigura eficiența, siguranța și sustenabilitatea exploatărilor miniere de suprafață.

Teza „*Analiza și evaluarea securității materiilor explozive destinate pentru realizarea lucrărilor de derocare la exploatările miniere de suprafață*” adresează un subiect actual în domeniul exploatărilor miniere, căutând să contribuie la evoluția continuă a tehnologiilor utilizate în acest sector crucial, având în vedere atât aspectele economice, cât și cele legate de mediu și de securitate.

Prezenta lucrare se concentrează asupra conceptului de "Optimizare Integrată a Tehnologiilor de Împușcare," abordând o perspectivă inovatoare bazată pe simulări computerizate cu echipamente specializate de ultimă generație. Aceste simulări pot transforma fundamental modul în care înțelegem și gestionăm procesele de împușcare, având un impact semnificativ asupra eficienței operaționale și a impactului asupra mediului.

Prin integrarea tehnologiilor avansate de simulare computerizată, lucrarea își propune să ofere o perspectivă amplă asupra metodelor tradiționale de împușcare în exploatările miniere de suprafață și să evedențieze cum noile tehnologii pot contribui la optimizarea acestora. Astfel, s-au evedențiat o serie de avantaje aduse de simulările computerizate în modelarea și analiza proceselor miniere, precum și modul în care acestea pot oferi soluții inovatoare pentru provocările actuale.

Prin adâncirea în detalii privind echipamentele specializate de ultimă generație utilizate în simulările computerizate, se va oferi o imagine completă a potențialului acestora în transformarea exploatărilor miniere de suprafață. Teza va analiza, de asemenea, studii de caz relevante și rezultatele obținute în cadrul acestor simulări, subliniind beneficiile practice ale optimizării integrate.

Motivația tezei de doctorat este fundamentală din mai multe perspective, printre care asigurarea siguranței operaționale, protecția mediului, eficiența economică și conformitatea legală. Aceste aspecte sunt detaliate mai jos:

Asigurarea siguranței operaționale: este esențială pentru protejarea vieții și sănătății lucrătorilor implicați în operațiuni și a comunităților învecinate. Analiza și evaluarea securității materiilor explozive contribuie la prevenirea accidentelor și incidentelor, prin identificarea riscurilor și implementarea măsurilor de control adecvate.

Protecția mediului: explozivii trebuie utilizați într-un mod care minimizează impactul negativ asupra mediului înconjurător. Aceasta include reducerea poluării fonice și a vibrațiilor, precum și prevenirea contaminării solului și a apei. Evaluarea materiilor explozive include și aspecte legate de impactul lor ecologic.

Eficiență economică: utilizarea corectă și sigură a explozivilor asigură realizarea obiectivelor de derocare într-un mod cost-eficient. O evaluare atentă poate ajuta la optimizarea consumului de materiale explozive, reducând astfel costurile operaționale.

Conformitatea legală: există reglementări stricte privind utilizarea materiilor explozive în scopuri industriale, inclusiv în minerit. Analiza și evaluarea securității sunt necesare pentru a asigura că toate activitățile se desfășoară în conformitate cu legislația aplicabilă, evitându-se astfel sancțiunile legale și alte consecințe.

Gestionarea riscurilor: Evaluarea securității include identificarea și analiza potențialelor riscuri asociate cu manipularea, depozitarea și utilizarea materiilor explozive. Aceasta permite implementarea de strategii eficiente de gestionare a riscurilor, cum ar fi formarea și instruirea personalului, precum și dezvoltarea de planuri de urgență și de răspuns la incidente.

Îmbunătățirea practicilor de lucru: Prin analiza continuă și evaluarea securității, organizațiile pot identifica oportunități de îmbunătățire a practicilor de lucru și a tehnologiilor utilizate. Aceasta contribuie la inovație și la adaptarea la schimbările din domeniu.

În concluzie, motivația analizei și evaluării securității materiilor explozive în contextul lucrărilor de derocare la exploatarea miniere de suprafață este complexă și multidimensională, având ca scop final asigurarea unei operațiuni sigure, eficiente și sustenabile.

Obiectivele principale ale tezei

Analiza și evaluarea securității materiilor explozive, în special în contextul lucrărilor de derocare în cadrul exploatărilor miniere de suprafață, urmăresc mai multe obiective principale, esențiale pentru asigurarea unei operare eficiente și sigure. Aceste obiective includ:

Identificarea și evaluarea riscurilor: Unul dintre principalele obiective este identificarea tuturor potențialelor riscuri asociate cu manipularea, transportul, depozitarea și utilizarea materiilor explozive. Evaluarea detaliată a acestor riscuri este crucială pentru a înțelege impactul potențial asupra siguranței lucrătorilor, a comunităților învecinate și a mediului înconjurător.

Conformitatea cu legislația și reglementările: Asigurarea conformității cu toate reglementările locale, naționale și internaționale relevante este esențială. Acest obiectiv include respectarea normelor de siguranță, a standardelor de mediu și a oricăror alte directive aplicabile gestionării materiilor explozive.

Implementarea celor mai bune practici de siguranță: Promovarea și implementarea celor mai bune practici și standarde de siguranță în manipularea materiilor explozive, implică utilizarea echipamentelor de protecție adecvate, instruirea corespunzătoare a personalului și aplicarea procedurilor standard de operare pentru a minimiza riscurile.

Optimizarea utilizării materiilor explozive: Determinarea celor mai eficiente metode de utilizare a materiilor explozive pentru a atinge obiectivele de derocare, reducând în același timp consumul de resurse și impactul asupra mediului.

Prevenirea accidentelor și a incidentelor: Prin identificarea pro activă a potențialelor surse de eroare sau de defectare, scopul este de a preveni accidentele și incidentele înainte de a se produce, asigurând astfel un mediu de lucru sigur.

Gestionarea și răspunsul la urgențe: Dezvoltarea și implementarea unor planuri eficiente de răspuns la urgențe, care să permită reacții rapide și coordonate în cazul unor incidente neașteptate, minimizând impactul asupra siguranței personalului, a comunității și a mediului.

Aceste obiective principale subliniază abordarea complexă și multidisciplinară necesară pentru a asigura utilizarea sigură și responsabilă a materiilor explozive în industria minieră, contribuind la protecția lucrătorilor, a comunităților învecinate și a mediului înconjurător.

Structura tezei și unele contribuții

Din punct de vedere structural, teza conține un capitol introductiv cu tematică specifică și 6 capitole de conținut, la care se adaugă un capitol final de Concluzii finale și contribuții personale, totalizând 251 pagini, dintre care 185 pagini reprezintă teza propriu-zisă și 4 de pagini reprezintă **Bibliografia** care are un număr de 74 note bibliografice și **Anexele** specializate care contribuie la o înțelegere mai bună a tezei și obiectivelor sale.

Lucrarea de doctorat având titlul *Analiza și evaluarea securității materiilor explozive destinate pentru realizarea lucrărilor de derocare la exploatarea miniere de suprafață* este structurată în 8 capitole.

În **primul capitol**, denumit *Introducere* se prezintă considerentele generale, obiectivul principal și cele specifice, motivația tezei și o scurtă sinteză a lucrării.

Capitolul 2, *Studiul cadrului evolutiv de reglementare în domeniul materiilor explozive*, abordează evoluția reglementărilor privind materiile explozive, cu accent pe legislația europeană și națională, și cerințele pentru personalul care lucrează cu astfel de materiale.

Directiva 2014/28/UE a Uniunii Europene (Directiva privind explozivii pentru utilizare civilă) armonizează regulile și standardele referitoare la punerea pe piață și controlul explozivilor destinați utilizării civile în UE.

Scopul principal este asigurarea liberei circulații a acestor produse în timp ce se menține un nivel înalt de protecție a sănătății publice și securității. Legea nr. 126 din 1995 din România stabilește cadrul juridic pentru gestionarea, utilizarea, depozitarea, transportul și comercializarea materiilor explozive. Personalul care desfășoară operațiuni cu materii explozive trebuie să fie special instruit și autorizat.

Reglementările UE, inclusiv cele adoptate de România, cer implementarea unui sistem de identificare unică și trasabilitate a explozivilor de uz civil. Acesta permite monitorizarea și controlul distribuției explozivilor, contribuind la prevenirea utilizării ilegale și asigurarea siguranței publice.

Capitolul concluzionează că implementarea legislației naționale și europene în domeniul materiilor explozive a condus la standarde ridicate de siguranță și conformitate. Legea nr. 126/1995 și alte reglementări relevante asigură un cadru normativ adecvat pentru controlul producției, deținerii, comercializării, transportului și utilizării materiilor explozive, contribuind la securitatea națională și prevenirea utilizării ilegale a explozivilor. Această sinteză oferă o perspectivă generală asupra contextului legislativ și cerințelor esențiale pentru gestionarea materiilor explozive la nivel european și național, subliniind importanța conformității și siguranței în manipularea acestor materiale.

Aspectele referitoare la *Analiza critică a tehnologiilor de împușcare destinate pentru derocarea cu exploziv a substanțelor minerale utile din exploatările miniere la suprafață*, sunt evidențiate în **capitolul 3**, unde concentrarea este pe analiza critică a tehnologiilor de împușcare utilizate pentru derocarea cu exploziv a substanțelor minerale utile din exploatările miniere la suprafață. Exploatarea minieră la suprafață, cunoscută și sub numele de minerit de suprafață, implică extragerea mineralelor și metalelor de la suprafața pământului. Aceasta este utilizată atunci când zăcămintele sunt aproape de suprafață și economic de exploatat. Metodele principale includ carierele, minele deschise, strip mining și exploatarea prin dizolvare. Derocarea prin lucrări de împușcare este esențială pentru fragmentarea rocilor în mineritul la suprafață și alte domenii. Alegerea tehnologiei potrivite depinde de condițiile geologice și caracteristicile rocilor, asigurând siguranța lucrărilor și protecția împotriva pericolelor asociate exploziilor. Această sinteză oferă o perspectivă generală asupra contextului, avantajelor și dezavantajelor exploatării miniere la suprafață, tehnologiilor critice de împușcare utilizate și concluziile privind eficiența și siguranța acestor metode.

În cadrul **capitolului 4** intitulat *Contribuții privind evaluarea efectului seismic generat la lucrările de împușcare executate la exploatările miniere la suprafață*, se abordează problematica efectelor seismice generate de lucrările de împușcare în exploatările miniere la suprafață. Aceste lucrări sunt esențiale pentru fragmentarea rocilor, dar au un impact semnificativ asupra mediului înconjurător, clădirilor din vecinătate și asupra siguranței personalului. Prin urmare, evaluarea și controlul efectelor seismice sunt cruciale pentru minimizarea riscurilor și optimizarea proceselor de exploatare.

În ansamblu, lucrarea oferă o analiză detaliată a efectelor seismice generate de lucrările de împușcare, punând accent pe mecanismele de producere și propagare a undelor seismice, metodele de măsurare și evaluare, și importanța implementării unor proceduri riguroase pentru minimizarea impactului asupra mediului și siguranței.

Capitolul 5 - *Evaluarea riscurilor și impactului asupra mediului* prezintă o serie de riscuri semnificative clasificate în mai multe categorii, în funcție de natura și sursa lor, riscuri asociate utilizării explozivilor (detonații necontrolate, producerea de fragmente zburătoare, poluarea aerului și a apei), măsuri de siguranță (proceduri de manipulare și depozitare a explozivilor, distanțe de siguranță, echipamente de protecție personală) precum și impactul asupra mediului, evaluarea impactului vibrațiilor și undelor seismice asupra structurilor și ecosistemelor din vecinătate.

Capitolul 6 - *Contribuții privind optimizarea integrată a tehnologiilor de împușcare utilizate în exploatările miniere de suprafață pe baza simulărilor computerizate realizate cu echipamente specializate de ultimă generație*, evidențiază, studiul metodelor de simulare și modelare computerizată a proceselor de împușcare specifice exploatărilor miniere de suprafață, precum și analiza și evaluarea rezultatelor obținute în urma simulărilor computerizate cu accent asupra creșterii eficienței operațiunilor miniere realizate în cadrul exploatărilor miniere de suprafață.

În **capitolul 7** - *Contribuții privind evaluarea efectului seismic generat la derocarea cu explozivi la nivelul unor operatori miniere de profil*, s-a prezentat, evaluarea acțiunii seismice a lucrărilor de împușcare

executate în cariere de marmură, în vederea protejării zăcămintului față de efectele acestor lucrări, precum și evaluarea efectului seismic a lucrărilor de împușcare executate în cariere de roci bazaltice.

Capitolul 8 intitulat *Concluzii finale și contribuții personale* pune în evidență contribuțiile aduse la dezvoltarea infrastructurii privind optimizarea integrată a tehnologiilor de împușcare utilizate în exploatarea miniere de suprafață pe baza simulărilor computerizate realizate cu echipamente specializate de ultimă generație, precum și modalitatea de implementare și valorificare a rezultatelor cercetărilor întreprinse, atât la nivel actual, cât și în perspectivă.

În cadrul acestei lucrări de doctorat, s-a efectuat o analiză comprehensivă și detaliată a aspectelor critice legate de utilizarea materiilor explozive în exploatarea miniere de suprafață, cu un accent deosebit pe optimizarea integrată a tehnologiilor de împușcare. Concluziile rezultate subliniază importanța și impactul semnificativ al acestui domeniu asupra siguranței operaționale, eficienței economice și protecției mediului.

Un aspect central al tezei a fost analiza tehnologiilor de împușcare și a metodelor de optimizare a acestora prin utilizarea simulărilor computerizate avansate. Studiile realizate au demonstrat că integrarea tehnologiilor moderne și utilizarea echipamentelor de simulare de ultimă generație pot aduce îmbunătățiri semnificative în eficiența proceselor de împușcare, reducând astfel consumul de resurse și impactul asupra mediului. Simulările computerizate permit o modelare precisă și o evaluare riguroasă a efectelor exploziilor, contribuind la optimizarea parametrilor operaționali și la minimizarea riscurilor asociate.

Analiza securității materiilor explozive a relevat importanța implementării unor măsuri stricte de siguranță și monitorizare în toate etapele de manipulare, transport și utilizare a explozivilor. Evaluarea detaliată a riscurilor și implementarea procedurilor riguroase de control contribuie la prevenirea accidentelor și la protecția vieții și sănătății lucrătorilor, precum și a comunităților învecinate. Protecția mediului este asigurată prin reducerea impactului vibrațiilor și a poluării fonice, precum și prin prevenirea contaminării solului și a apei.

Lucrarea subliniază necesitatea respectării reglementărilor stricte impuse de legislația națională și europeană privind utilizarea materiilor explozive. Conformitatea cu aceste reglementări asigură nu doar legalitatea operațiunilor, ci și un nivel înalt de siguranță și protecție a mediului. Studiul cadrului legislativ a evidențiat importanța implementării unui sistem de identificare unică și trasabilitate a explozivilor, contribuind la prevenirea utilizării ilegale și la asigurarea securității publice.

Un alt aspect esențial abordat a fost evaluarea efectului seismic generat de lucrările de împușcare. Măsurătorile detaliate ale oscilațiilor particulelor și analiza parametrilor seismici au permis stabilirea cantităților maxime de exploziv utilizabile fără a depăși limitele admise de viteza oscilațiilor. Implementarea unor proceduri riguroase de măsurare și evaluare a efectelor seismice este crucială pentru minimizarea impactului asupra structurilor și mediului înconjurător. Rezultatele obținute demonstrează că nivelul de seismicitate generat este acceptabil, dar necesită monitorizare continuă pentru a asigura siguranța pe termen lung.

Rezultate Cheie ale Capitolelor

Capitolul 2

Îndeplinirea acestei lucrări a condus la realizarea unui studiu de documentare din literatura de specialitate privind aspectele legislative referitoare la regimul explozivilor de uz civil, terminologia specifică din domeniul explozivilor de uz civil, cât și la evidențierea cerințelor aplicabile în vederea respectării măsurilor de siguranță și de prevenire a situațiilor nedorite în lucrul cu explozivi de uz civil, a aspectelor tehnice procedurale privind transportul, depozitarea sau distrugerea acestora.

Astfel, au fost analizate și documentate în cadrul corpului de conținut al lucrării aspecte legislative implementate la nivel național prin armonizarea cu cele europene, prin intermediul Legii 126/1995 privind regimul materiilor explozive, HG207/2005 care transpune cerințele europene din DIRECTIVA 93/15/CEE

a Consiliului din 5 aprilie 1993 privind armonizarea dispozițiilor referitoare la introducerea pe piață și controlul explozivilor de uz civil.

Transportul și distrugerea explozivilor de uz civil a constituit o secțiune tratată la finalul raportului, în cadrul căreia s-au evidențiat aspectele tehnice și de reglementare care statuează efectuarea transportului de explozivi în condiții legale, avându-se în vedere categoria de transport, tipul de substanță, grupa de ambalare / grupa de clasificare / numărul ONU și cantitatea maximă totală pe unitatea de transport. De asemenea, s-au evidențiat și aspecte tehnice și procedurale privind distrugerea explozivului de uz civil devenit inutilizabil din cauza alterării, precum și cei proveniți din rateuri.

S-au subliniat atât cerințele de securitate, cât și cerințele constructive/de performanță cuprinse în referențialul armonizat, cât și metodele de încercare utilizate la testarea acestor produse în vederea verificării conformității tehnice de utilizare sigură în cadrul activităților specifice.

Îndeplinirea obiectivului acestui raport a condus la stabilirea cerințelor specifice, elaborarea procedurii de control și prezentarea echipamentelor (IT și software specializat) și dispozitivelor de urmărire hardware necesare.

Un sistem modular armonizat de identificare unică și trasabilitate a explozivilor de uz civil de tip TTE (Tracking and Tracing of Explosives) permite implementarea cerințelor Directivei Uniunii Europene 2008/43/CE și amendamentele adăugate acesteia de către Directiva 2012/4/EU în vederea asigurării circulației în condiții de siguranță și securitate a explozivilor de uz civil și combaterii eventualelor acțiuni teroriste, oferind totodată informații relevante și de încredere autorităților în domeniu.

Începând cu data de 5 aprilie 2015, toți operatorii economici din sectorul explozivilor au obligația să își instituie un sistem de culegere a datelor în ceea ce privește explozivii, care să includă marcajul de identificare unică a acestora pe parcursul lanțului de aprovizionare și al duratei de viață.

Sistemul electronic armonizat pentru identificarea unică și trasabilitatea explozivilor de uz civil reprezintă un instrument de monitorizare conform cu cerințele directivei europene în domeniu, care constituie o modalitate integrată, facilă, sigură și rapidă de asigurare a controlului pe întreg fluxul logistic al acestor produse de natură explozivă, de la producători, transportatori și distribuitori și până la utilizatori.

Pentru asigurarea utilizării corespunzătoare a sistemului de identificare unică și trasabilitate a explozivilor de uz civil, în condițiile respectării cerințelor legale și ale sistemului de calitate implementat la nivelul unui operator economic cu activitate în domeniul explozivilor de uz civil, a fost elaborată procedura de control, cod PC-Trasabilitate explozivi 01.

Capitolul 3

Derocarea prin lucrări de împușcare reprezintă un procedeu extins și frecvent utilizat pentru fragmentarea rocilor în diverse domenii precum construcții, drumuri, nivelări și altele. În realizarea acestor lucrări se recurge la diverse tehnologii de împușcare, inclusiv împușcarea cu găuri de mină, găuri de sondă și galerii de minare. Alegerea tehnicii potrivite se face în funcție de condițiile geologice, caracteristicile rocilor, siguranța lucrărilor și protecția obiectivelor și personalului împotriva pericolelor asociate cu explozia.

Diferitele tehnici de împușcare, precum încărcături concentrate sau alungite, sunt adaptate în funcție de scopul împușcării și condițiile de lucru specifice. Acțiunea exploziei asupra mediului depinde de mărimea încărcăturii și distanța până la suprafața liberă. Indicele de acțiune al exploziei (n) clasifică împușcările în funcție de modul în care mediul este afectat, de la împușcări de aruncare la împușcări de camuflet.

Sunt prezentate principalele tehnici de împușcare utilizate în industrie, precum cele pentru blocuri agabaritice și tehnicile specifice găurilor de mină sau găurilor de sondă. Detaliile privind amplasarea găurilor, consumul specific de exploziv și schemelor de împușcare sunt subliniate în contextul diferitelor situații și condiții de lucru.

Capitolul 4

Din cercetările efectuate în cadrul acestui capitol se pot evidenția următoarele concluzii și propuneri:

Corelația limită geologică – limită geofizică îmbracă aspecte diferite de la un tip de informație geofizică la altul. Astfel, conceptul de corp geologic izolat în multe cazuri poate introduce o corelație formală, iar modelarea geofizică de simulare îi poate da o consistență mai mare, apropiind soluția interpretării de realitatea geologică.

În analiza mecanismului de propagare a undelor seismice intervin numeroși factori de natură diversă care creează dificultăți în rezolvarea acestei probleme, în ceea ce privește modelarea „mediului de propagare” a acestora. Având în vedere realitatea acestor aspecte, se poate identifica o soluție analitică acceptabilă prin admiterea unor ipoteze simplificatoare și luarea în considerare a celor patru principii fundamentale de propagare a undelor, în paralel cu neglijarea elementelor a căror influență asupra fenomenului în ansamblu poate fi considerată secundară. În aceste condiții, „mediul de propagare” se reduce la un model perfect elastic, omogen, izotrop, continuu și uniform.

Undele seismice generate de energia eliberată în focar se transmit prin mediul de propagare în urma unor fenomene extrem de complexe de reflexie și refracție datorate neomogenității și discontinuității straturilor pe care le traversează. Condițiile geologice locale caracteristice unui anumit amplasament au o influență decisivă asupra modificării efectelor seismice.

Undele elastice generate de eliberarea energiei în focar în momentul producerii unui eveniment seismic se propagă radial în toate direcțiile. Astfel se pot distinge două tipuri de unde:

Unde de volum: unde longitudinale P (unde primare), a căror deplasare realizată prin comprimări și dilatări succesive ale mediului pe direcția lor de propagare este comparabilă cu cea a undelor sonore; unde transversale S (unde secundare, care definesc parametrii mișcării și produc cele mai importante efecte dinamice asupra construcțiilor situate la suprafața liberă a terenului) care sunt unde de forfecare și se deplasează prin vibrații ale particulelor mediului perpendicular pe direcția de propagare a acestora;

Unde de suprafață (care iau naștere din reflectarea repetată a undelor de volum în depozitele geologice aflate în apropierea suprafeței Pământului): unde Love L, a căror deplasare este asemănătoare cu cea a undelor S, cu deosebirea că se propagă în plan orizontal paralel cu suprafața Pământului; unde Rayleigh R, care au o mișcare orbitală în plan vertical pe direcția de propagare.

Pentru a avea o imagine cât mai apropiată de realitate, metodele de evaluare a priori începerii activității de derocare cu ajutorul explozivilor de uz civil trebuie să aibă în vedere cât mai multe informații referitoare la condițiile de împușcare, tipul explozivului, tehnica de derocare, caracteristicile mediului în care explozivul detonează și mediul în care undele seismice sunt generate etc. Metoda de evaluare a efectului seismic are ca parametru de evaluare „viteza de oscilație a particulelor solului”, nivelul acceptat în NSPM cod 71 (abrogate) fiind de maxim 0,5 cm/s pentru împușcări repetate.

Centralizarea evaluărilor realizate a scos în evidență diferențe de abordare în ceea ce privește stabilirea nivelului acceptat ca fiind nepericulos pentru anumite tipuri de construcții. Astfel, instrumentele folosite în evaluare au ca parametru de referință viteza particulelor solului măsurată pe intervale de frecvență pe trei componente (radială, verticală, transversală). De asemenea, folosirea parametrului „viteza de oscilație” versus „frecvența oscilațiilor” face posibilă realizarea unei evaluări adecvate care să nu fie ulterior restrictivă pentru condițiile de împușcare, astfel încât valori mari ale vitezei de oscilație (>0,5 cm/s) să fie acceptate dacă sunt măsurate în intervale de frecvență 20-100 Hz.

Pentru asigurarea securității și integrității obiectivelor din zona de influență a împușcărilor, proprietarul carierei ar trebui să monitorizeze seismic fiecare lucrare de împușcare, situație care ar face posibilă intervenția la momentul oportun prin reconsiderarea parametrilor cantitativi/geometrici ai tehnicii de împușcare, acțiune care ar conduce inclusiv la reducerea gradului de deranj al populației din apropiere.

Capitolul 5

Evaluarea și gestionarea impactului vibrațiilor și undelor seismice este esențială pentru protejarea mediului înconjurător în timpul utilizării explozivilor. Prin implementarea unor practici de evaluare riguroasă, monitorizare continuă și adoptarea de măsuri de reducere a impactului, se pot minimiza riscurile

și se poate asigura conservarea structurilor și ecosistemelor sensibile. Colaborarea între specialiști în mediu, ingineri și autorități este crucială pentru a dezvolta și aplica strategii eficiente de protecție a mediului.

Capitolul 6

Acest capitol a demonstrat cu succes eficacitatea integrării tehnicilor avansate de simulare și modelare computerizată în procesele de împușcare ale mineritului de suprafață. Constatările cheie includ:

- Precizia predictivă sporită a rezultatelor exploziei, optimizarea utilizării explozivilor și îmbunătățirea măsurilor de siguranță.
- Utilizarea instrumentelor de simulare precum BlastManager, ShapeMetriX3D, JMX Analyst și BMX BlastPlanner a permis o modelare detaliată și precisă a proceselor de împușcare. Aceste tehnologii au oferit posibilitatea de a evalua și optimiza parametrii operaționali, reducând consumul de resurse și minimizând impactul asupra mediului.
- Aplicarea metodelor cu elemente finite (FEM) și a metodelor cu elemente discrete (DEM), împreună cu algoritmi de învățare automată, a revoluționat capacitatea de a prezice și optimiza operațiunile de împușcare, trecând de la metodele tradiționale la o abordare mai sofisticată bazată pe date.
- Semnificația acestor constatări se extinde dincolo de simplele realizări tehnice; acestea reprezintă o schimbare substanțială către practici miniere mai durabile, mai sigure și mai rentabile. Prin permiterea unor operațiuni de împușcare mai precise și mai eficiente, aceste tehnologii contribuie la o mai bună gestionare a resurselor, la reducerea amprentei de mediu și la o conformitate sporită cu reglementările. Acest lucru se aliniază cu obiectivele mai largi de creștere a durabilității operaționale și de minimizare a impactului ecologic al activităților miniere.

Capitolul 7

Acest capitol oferă concluzii esențiale referitoare la impactul lucrărilor de împușcare asupra mediului și siguranței structurilor din exploatarea miniere. Lucrările de împușcare în carierele de marmură și bazalt generează unde seismice care afectează structurile din vecinătatea exploatarei. Cercetările au stabilit corelații între viteza oscilațiilor particulelor și seismoefectul admis, stabilind viteze maxime admise pentru diferite medii.

Propagarea undelor seismice și efectele acestora sunt influențate de proprietățile elastice ale rocilor. În medii compacte, precum excavațiile subterane, se impun viteze maxime admise ale oscilațiilor pentru a preveni deformațiile remanente care pot deteriora structurile de rezistență. Deformațiile remanente rezultate din efectele seismice ale exploziilor repetate pot compromite stabilitatea structurilor.

Efectele multiple ale exploziilor asupra mediului se manifestă prin deformații relative ce depășesc valorile elastice admise, generând riscuri de distrugere a stabilității structurilor.

S-au utilizat echipamente de măsurare și înregistrare a parametrilor undelor seismice pentru evaluarea impactului lucrărilor de împușcare.

Studiile au inclus măsurători detaliate ale oscilațiilor particulelor și analiza rezultatelor pentru stabilirea parametrilor dinamici maximi admiși ai exploziilor.

Evaluarea efectului seismic a permis stabilirea cantităților maxime de exploziv care pot fi utilizate fără a depăși limitele admise de viteza oscilațiilor.

Cantitățile de exploziv pe treaptă de întârziere au fost determinate prin aplicarea funcției de reducere a efectului seismic.

Implementarea procedurilor riguroase de măsurare și evaluare a efectelor seismice contribuie la optimizarea lucrărilor de împușcare și la minimizarea impactului asupra mediului și structurilor.

Lucrarea relevă necesitatea continuării măsurătorilor și reevaluării periodice a efectului seismic pentru a adapta procedurile la condițiile dinamice ale exploatarei miniere.

Rezultatele obținute demonstrează că nivelul de seismicitate generat este unul acceptabil pentru condițiile date, dar necesită monitorizare continuă pentru a asigura siguranța pe termen lung.

Aceste concluzii subliniază importanța evaluării și controlului efectelor seismice în exploatarea miniere, evidențiind măsurile necesare pentru protecția mediului și a structurilor înconjurătoare.

Concluzii generale

Prin urmare, concluziile tezei au acoperit o gamă largă de aspecte esențiale ale utilizării explozivilor în exploatarea miniere, subliniind necesitatea unei abordări integrate pentru a asigura siguranța, eficiența și sustenabilitatea operațiunilor miniere. Aceste constatări și recomandări oferă un cadru solid pentru îmbunătățirea continuă a tehnologiilor și practicilor utilizate în acest domeniu crucial.

În concluzie, lucrarea evidențiază complexitatea și multidimensionalitatea problematicii exploatarea miniere de suprafață, subliniind necesitatea unei abordări integrate și inovatoare pentru a asigura eficiența, siguranța și sustenabilitatea acestor operațiuni. Contribuțiile aduse de această cercetare oferă un fundament solid pentru dezvoltarea și implementarea unor tehnologii avansate care să răspundă cerințelor actuale și viitoare ale industriei miniere.

Lucrarea subliniază necesitatea continuării cercetărilor în domeniul optimizării tehnologiilor de împușcare, având în vedere evoluțiile rapide ale tehnologiei și cerințele tot mai stringente în materie de siguranță și protecția mediului.

Direcțiile viitoare de cercetare se concentrează pe continuarea studiilor privind optimizarea parametrilor operaționali, dezvoltarea de noi tehnologii și metode de simulare, precum și pe adaptarea constantă la evoluțiile tehnologice și la cerințele de mediu. Acestea includ:

- Dezvoltarea unor modele de simulare mai avansate și integrate, care să permită o predicție și control și mai precis al efectelor generate de lucrările de împușcare.
- Implementarea unor tehnologii de monitorizare în timp real a parametrilor de împușcare și a efectelor seismice, pentru a optimiza procesele în mod dinamic și adaptiv.
- Extinderea studiilor asupra impactului ecologic al materiilor explozive și dezvoltarea unor alternative mai puțin poluante și mai eficiente din punct de vedere energetic.
- Dezvoltarea metodelor de încorporare a datelor în timp real în simulări pentru adaptabilitatea operațiunilor de împușcare la condițiile în schimbare.
- Extinderea seturilor de date pentru a include o gamă mai largă de condiții geologice, îmbunătățind astfel generalizarea modelelor.
- Explorarea tehnicilor mai sofisticate de învățare automată, cum ar fi învățarea profundă și învățarea de consolidare, pentru capacități predictive îmbunătățite.
- Dezvoltarea de modele care pot prezice simultan impactul asupra mediului al lucrărilor de împușcare, cum ar fi vibrațiile, zgomotul și dispersia prafului.
- Analiza economică detaliată a implementării tehnologiilor avansate de simulare în operațiunile miniere pentru justificarea investițiilor dintr-o perspectivă cost-beneficiu.
- Dezvoltarea unor programe eficiente de formare și strategii de implementare pentru a se asigura că personalul minier poate utiliza în mod adecvat aceste tehnologii avansate.

În final, teza contribuie semnificativ la avansarea cunoștințelor în domeniul securității și optimizării utilizării materiilor explozive în exploatarea miniere de suprafață, oferind soluții practice și inovatoare pentru provocările actuale și viitoare din acest sector esențial.