



**UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI**  
**ȘCOALA DOCTORALĂ**



# **TEZĂ DE DOCTORAT**

## **REZUMAT**

**CERCETĂRI PRIVIND MODELAREA ȘI SIMULAREA  
SUSȚINERII MECANIZATE ȘI A INTERACȚIUNII  
ACESTEIA CU MASIVUL DE ROCI PRIN UTILIZAREA  
SISTEMELOR INFORMATICE**

**Coordonator:**

**Prof.univ.dr.ing. POPESCU Florin Dumitru**

**Doctorand:**

**Ing. MĂCEȘARU (LĂPĂDUȘI) Ionela Cristina**

**2023**

Apariția susținerilor mecanizate a reprezentat un salt tehnologic în evoluția echipamentelor de susținere a abatajelor. De la apariția lor care a favorizat extinderea metodei de exploatare cu front lung, susținerile mecanizate au urmat un proces continuu de perfecționare a parametrilor constructivi și funcționali caracterizată prin diversificare constructivă și extindere a domeniului de utilizare la condiții de zăcământ din ce în ce mai diverse.

Progresele obținute până în prezent în ceea ce privește perfecționarea constructivă și a parametrilor funcționali ai susținerilor mecanizate cât și creșterea eficienței susținerilor individuale au luat în considerare cerințele impuse în special de creșterea portanței, creșterea lungimii frontului, creșterea înălțimii de lucru precum și extinderea gamei de reglare a înălțimii.

În domeniul perfecționării susținerilor mecanizate s-au înregistrat progrese bazate atât pe cercetările de ordin teoretic, de laborator și in-situ referitor la fenomenele care apar în masiv ca urmare a operațiilor din abataj cât și la procesul de interacțiune susținere-rocă.

Modelele clasice ale interacțiunii susținere – rocă înconjurătoare prezintă deficiențe serioase în explicarea fenomenelor geomecanice complexe referitoare la susținerea abatajelor cu front lung și la interacțiunea susținerii mecanizate cu rocile înconjurătoare.

Majoritatea acestor modele nu țin cont de parametrii susținerii cum ar fi tipul constructiv și rigiditatea, nici de caracterul variabil în timp a sarcinilor care acționează asupra acesteia.

Modelele existente care au fost inspirate de experiența practică specifică unor anumite condiții miniere locale, cele mai multe referindu-se la susțineri de tip vechi a căror utilizare este în prezent mai restrânsă nu pot cuprinde toți parametrii decisivi pentru proiectarea și alegerea susținerilor mecanizate.

Din aceste motive modelele nu posedă un grad corespunzător de generalitate chiar dacă sunt normative naționale sau recomandări și nu pot oferi o bază rațională pentru alegerea și proiectarea susținerilor mecanizate utilizate în condiții diferite.

Capacitatea portantă a susținerilor a crescut treptat prin folosirea unor stâlpi hidraulici cu suprafețe interioare mai mari dar și prin creșterea progresivă a presiunii de lucru a agentului hidraulic până la valori de 45 MPa, creștere favorizată de evoluția calității materialelor utilizate și a progresului tehnologic al hidraulicii de comandă, de forță și a elementelor de etanșare.

Forțele de pretensionare care inițial erau limitate la valori reduse pot fi modificate într-o gamă mai largă până la 60% din capacitatea portantă nominală deoarece alegerea unei forțe de pretensionare optime poate reduce încărcarea totală a secției de susținere pentru a menține stabilitatea zonei din imediata apropiere a frontului.

Aceste tendințe indică faptul că este necesară o continuare a cercetărilor pentru a realiza o mai bună înțelegere a comportării susținerilor și a interacțiunii acestora cu rocile înconjurătoare și pentru a furniza date privind alegerea și folosirea mai bună a susținerilor mecanizate.

Un model adecvat al susținerilor mecanizate pentru front lung și al interacțiunii cu rocile înconjurătoare trebuie să ia în considerare efectele rigidității axiale cât și a celei flexionale ale stratelor din acoperișul direct și din culcuș pentru a analiza dezvoltarea sarcinilor care acționează asupra secției și sensibilitatea cu care răspunde secția la presiunea de pretensionare.

Din cele arătate rezultă că este necesar să se utilizeze metode și instrumente noi pentru extinderea domeniului de investigare al fenomenelor de interacțiune rocă susținere și din punctul de vedere al influenței rigidității susținerii asupra rocilor înconjurătoare, al interdependenței și intercondiționării reciproce a secției de susținere mecanizată cu masivul de roci înconjurătoare, a trecerii de la modelul secțiune plană la cel spațial și utilizarea unor metode de analiză moderne ca metoda elementului finit.

Scopul Tezei de doctorat cu titlul *Cercetări privind modelarea și simularea susținerii mecanizate și a interacțiunii acesteia cu masivul de roci prin utilizarea sistemelor informatice avansate* este de a aduce contribuții la cunoașterea problematicii interacțiunii susținerii în general și a susținerilor mecanizate în particular cu rocile înconjurătoare prin utilizarea metodelor moderne de analiză bazate pe modelare și simulare utilizând metode informatice moderne.

Obiectivul Tezei este de a crea un instrument de cercetare cuprinzător cu caracter de generalitate care să elimine segmentarea existentă în domeniul teoretic, aplicativ și metodologic în acest domeniu.

Teza este structurată în introducere, opt capitole de conținut și un capitol final de concluzii și contribuții originale.

Astfel, în **Capitolul 1** intitulat *ROLUL ȘI CONDIȚIILE IMPUSE SUSȚINERILOR MINIERE LA FUNCȚIONAREA ÎN ABATAJ* am prezentat stadiul actual al cunoașterii în domeniu referitor la problematica abordată evidențiind faptul că cercetările efectuate până în prezent nu au condus la elaborarea unei teorii unitare și unanim acceptate cu privire la fenomenele care apar în masiv ca urmare a exploatării dar au permis totuși realizarea unor

progrese importante în ceea ce privește cunoașterea regimului de deformare a rocilor determinat de lucrările de abataj și a fenomenelor de interacțiune specifice sistemului susținere-rocă.

În acest sens am trecut în revistă principalii factori determinanți care influențează manifestarea presiunii miniere în abataje precum și procesul de mișcare al rocilor pe conturul abatajelor și dezvoltarea sarcinilor pe elementele susținerii.

În partea finală a capitolului am prezentat sintetic pe baza datelor din literatura de specialitate condițiile pe care trebuie să le îndeplinească sistemul de susținere al abatajelor pentru a-și îndeplini eficient funcția care îi este destinată în cadrul tehnologiei miniere.

În **Capitolul 2** intitulat *LOCUL ȘI ROLUL SUSȚINERILOR ÎN CADRUL TEHNOLOGIILOR DE EXPLOATARE* pornind de la importanța susținerii ca o componentă (fază) sau operație unitară în cadrul tehnologiei de exploatare subterană a cărbunelui în general și în cazul abatajelor cu front lung în particular am prezentat cu exemplificări grafice detaliate principalele tehnologii de exploatare, cu susținere individuală și susținere mecanizată pentru a ilustra varietatea de soluții tehnice existente și influența lor asupra echipamentului de susținere.

Am prezentat o clasificare cuprinzătoare după diferite criterii tipologice constructive și funcționale a susținerilor mecanizate folosind atât reprezentări schematic – funcționale de principiu cât și exemple concrete de materializare.

În încheierea capitolului am analizat influența succesiunii în timp a operațiilor (tăiere cu combina, mutarea secțiilor) asupra performanțelor abatajelor cu front lung complex mecanizate stabilind relațiile de calcul care permit corelarea constructivă, dimensională și funcțională a susținerii mecanizate cu celelalte echipamente componente ale complexului mecanizat, respectiv combina de abataj și transportorul cu raclete.

În **Capitolul 3** intitulat *INTERACȚIUNEA SUSȚINERILOR MECANIZATE CU ROCILE ÎNCONJURĂTOARE* am tratat problematica interacțiunii susținerilor mecanizate cu rocile înconjurătoare într-o abordare unitară pornind de la informațiile din literatura de specialitate, cu considerații și dezvoltări personale.

Pornind de la constatarea caracterului mai degrabă de ordin conceptual și fenomenologic al studiilor existente, lipsurile și caracterul particular al dezvoltărilor teoretice care sunt tributare unor ipoteze simplificatoare și condiții locale de zăcământ am prezentat un model conceptual general pe care se bazează cu mici diferențe, majoritatea abordărilor menționate, dar care se pretează la dezvoltări ulterioare.

Am prezentat în continuare sintetic utilizând o grafică unitară principalele modele ale interacțiunii susținerilor mecanizate cu rocile înconjurătoare, unele cu caracter normativ utilizate în practica minieră din diferite țări.

Am evidențiat o caracteristică comună a acestor modele și anume caracterul static al interacțiunii susținere – roci înconjurătoare care iau în considerare valorile maxime estimate ale parametrilor care descriu procesul pe baza unui principiu conform căruia încărcarea secției de susținere este rezultatul acțiunii greutății unui bloc de rocă compactă sau fragmentată desprins din acoperișul stratului.

De asemenea din punct de vedere conceptual am prezentat cu exemplificări grafice și relații matematice teoria cea mai completă privind distribuția tensiunilor normale în funcție de zonele de influență ale abatajelor cu front lung asupra masivului.

Am prezentat în continuare caracteristicile statice și cinematice ale secției de susținere mecanizată, aspect care este puțin tratat în literatură, acesta nefiind corelat cu problematica interacțiunii susținerii mecanizate cu rocile înconjurătoare evidențiind principalii parametri care definesc performanța unei secții de susținere mecanizată.

În acest context am redefinit unele caracteristici ale susținerii mecanizate care au fost mai puțin, sau deficitar luate în considerare în descrierea procesului de interacțiune susținere-rocă și anume rigiditatea și portanța precum și factorii care le influențează, cum este de exemplu distribuția presiunii de reazem pe lungimea grinzii, respectiv a tălpii. Acești factori au un caracter determinant relativ la comportamentul susținerii cât și al rocilor înconjurătoare.

Pe această bază am reformulat metodele de calcul ale portanței și am prezentat tabelar caracteristicile de portanță ale principalelor tipuri de susțineri mecanizate cunoscute.

În partea finală a capitolului am prezentat o metodă nouă de evaluare a performanței susținerii mecanizate corelat cu stabilitatea acoperișului și anume metoda curbei de răspuns a masivului care oferă un mijloc convenabil de a analiza a comportamentului sistemului susținere - rocă.

**Capitolul 4** intitulat *METODA ELEMENTULUI FINIT, METODA ELEMENTULUI FINIT DISCRET* este consacrat instrumentelor de modelare și simulare utilizate în dezvoltările ulterioare din Teză prin abordarea problematicii utilizării metodei elementului finit ca instrument modern de soluționare a unor probleme din inginerie.

Am prezentat conceptele fundamentale ale metodei, pașii care trebuie urmați pentru realizarea modelului matematic și a modelului cu elemente finite precum și aplicațiile informatice care utilizează metoda și anume SOLIDWORKS pentru modelele dinamice ale interacțiunii susținerii mecanizate cu rocile din masiv și aplicația Irazu care utilizează metoda elementului finit discret.

**Capitolul 5** intitulat *MODELUL VIRTUAL AL SUSȚINERII MECANIZATE DESTINAT SIMULĂRII* se referă la realizarea unui model virtual simplificat al unei secții de susținere mecanizată de tipul SMA – 2.

Această susținere este cu mecanism patruleter generator de lemniscată și cu cilindru de colț fiind destinată atât susținerii tavanului cât și protejării spațiului de lucru în abatajele cu front lung. Modelul virtual al secției este un ansamblu realizat și explicat în detaliu în aplicația SOLIDWORKS. Urmând pașii descriși în Capitolul 4 al Tezei am procedat la modificarea geometriei CAD tehnologice și am renunțat la unele subansambluri ne semnificative. Pe baza acestui model pot fi simulate diferite moduri de lucru folosind componente specifice SOLIDWORKS ca de exemplu motoare liniare, încărcări distribuite, resorturi, etc.

Cotele de gabarit ale componentelor au fost preluate din documentația de fabricație a susținerii, iar pe parcursul capitolului este prezentat în detaliu modul de construcție a părților componente precum și modul de asamblare al acestora în cadrul susținerii virtuale. Legăturile geometrice standard impuse componentelor mobile permit ansamblului construit simularea atât a cinematicii cât și a dinamicii unei secții de susținere mecanizată.

**Capitolul 6** intitulat *STUDIUL CINEMATICII MECANISMULUI DE RIDICARE-COBORÂRE AL MODELULUI SUSȚINERII MECANIZATE* este dedicat analizei din punct de vedere teoretic și aplicativ a geometriei și cinematicii mecanismului patruleter care asigură stabilitatea longitudinală a secțiilor de susținere moderne în scopul de a demonstra utilitatea folosirii instrumentelor informatice de modelare și simulare în rezolvarea acestei probleme dificile din punct de vedere analitic.

În prima parte a capitolului am prezentat din punct de vedere teoretic geometria generării curbei lemniscată cu ajutorul aplicației SOLIDWORKS folosind ecuațiile parametrice ale lemniscatei.

În continuare am realizat analiza cinematică a mecanismului patruleter cu parametrii geometrici adecvați utilizării acestuia ca mecanism de ghidare a grinzii susținerii mecanizate.

Folosind aplicația SOLIDWORKS pentru generarea traiectoriei și utilitarul Excel pentru trasarea curbelor pe baza coordonatelor preluate din SOLIDWORKS am reprezentat grafic traiectoriile descrise de diverse puncte aflate pe elementul condus bielă, asimilat constructiv cu scutul susținerii.

Am reprezentat prin același procedeu diagramele de variație în funcție de timp ale modulului vitezelor și accelerațiilor diferitelor puncte de interes.

Pe baza modelului prezentat în Capitolul 5 am realizat studiul cinematicii unei secții de susținere mecanizate tip SMA-2 utilizând facilitățile aplicației SOLIDWORKS, obținând astfel traiectoria vârfului scutului și a vârfului grinzii modelului susținerii mecanizate.

Analizând forma traiectoriei vârfului grinzii am concluzionat că aceasta nu este o dreaptă paralelă cu un plan vertical (frontul abatajului), ci este o curbă cu o rază de curbură mare care satisface cerința tehnologică ca mișcarea vârfului grinzii să fie aproape verticală și cvasirectilinie.

Folosind datele privind traiectoria vârfului grinzii în aplicația Excel am calculat abaterea medie pătratică a valorilor abscisei curbei în raport cu valoarea abscisei dreptei verticale care este situată la jumătatea distanței dintre minimul și maximul absciselor traiectoriei.

Analizând valorile abaterii astfel determinate față de cele obținute prin metode analitice am demonstrat utilitatea și relevanța metodei propuse de analiză cinematică.

**Capitolul 7** intitulat *MODELE DINAMICE ALE INTERACȚIUNII SUSȚINERII MECANIZATE CU ROCILE ÎNCONJURĂTOARE* care conține o parte din principalele contribuții personale din prezenta Teză de doctorat este dedicat prezentării unor modele ale interacțiunii susținerii mecanizate cu rocile înconjurătoare, modele elaborate folosind cele mai actuale instrumente informatice care sunt originale și pertinente, ducând la rezultate și interpretări noi.

În prima parte a capitolului am prezentat un model al interacțiunii susținerii abatajelor cu rocile înconjurătoare, model care permite luarea în considerare a fenomenelor complexe care caracterizează acest proces. Modelul prezentat poate descrie influența diferiților factori care intervin în descrierea acestor fenomene precum caracteristicile funcționale, constructive, de rigiditate și geometrice ale echipamentelor de susținere și procesele tehnologice specifice metodei de exploatare referitor la influența operațiunilor din abataj.

Modelul se bazează pe o legitate asumată a convergenței în relație cu portanța susținerii și folosește doi parametri măsurabili la nivelul stâlpilor sau a secțiilor de susținere și anume presiunea din stâlpii hidraulici și culisarea sau închiderea stâlpului individual (sau a secției de susținere mecanizată).

În continuare am prezentat un model conceptual al interacțiunii secției de susținere mecanizată din punct de vedere al deformației tălpii și a grinzii ca efect al deformației de contact a acestora cu vatra, respectiv tavanul abatajului.

Față de modelele clasice care consideră atât grinda cât și talpa nedeformabile, modelul prezentat explică caracterul neliniar și neuniform al distribuției presiunii de contact pe talpă și grindă evidențiind faptul că acesta este determinat de flexibilitatea grinzii și tălpii secției.

Folosind modelul simplificat virtual al susținerii mecanizate SMA-2, realizat și prezentat în capitolele anterioare am realizat diferite variante de simulare la solicitare statică a secției de susținere, cu și fără luarea în considerare a influenței acoperișului și culcușului abatajului.

Astfel s-a putut evidenția efectul pe care acoperișul și culcușul virtual îl au asupra tensiunii și deformării grinzii, respectiv tălpii secției de susținere mecanizată.

Am analizat două regimuri de funcționare ale secției virtuale. În primul regim am considerat că modelul secției preia sarcina de susținere datorată apăsării tavanului asupra grinzii, stâlpul hidraulic fiind un element pasiv. În cel de-al doilea am analizat regimul de pretensionare în care stâlpul hidraulic este un element activ care realizează ridicarea grinzii sub efectul presiunii de alimentare cu agent hidraulic.

Se pot astfel evidenția diferențele, dar și similitudinile între cele două regimuri de funcționare ale secției de susținere. Analiza rezultatelor regimurilor amintite anterior evidențiază faptul că între valorile maxime ale tensiunilor și deformărilor dar și a poziției acestora pe grindă, respectiv talpă, diferențele înregistrate sunt ne semnificative.

De asemenea am analizat influența deformării acoperișului și culcușului asupra tensiunilor și deformațiilor grinzii, respectiv a tălpii în ambele regimuri de funcționare prezentate anterior scoțând astfel în evidență rolul deformației elastice (tasării) acoperișului și culcușului.

Deoarece în ultimul timp în literatura de specialitate se acordă o atenție din ce în ce mai mare fenomenelor dinamice (lovituri de acoperiș) în care susținerea este solicitată la șoc prin căderea unor blocuri din acoperișul direct pe grinda susținerii, în finalul capitolului am realizat o simulare a acestui fenomen pe baza aceluiași model virtual de secție de susținere folosind componenta vibrație aleatoare a pachetului SOLIDWORKS.

Analiza figurilor caracteristice răspunsului în timp al modelului secției mecanizate relevă apariția unui regim oscilant care durează aproximativ o secundă pentru deplasare, viteză și accelerație pe direcția  $Y$ , cu o amortizare rapidă a amplitudinii.

În **Capitolul 8** intitulat *SIMULAREA MECANISMULUI SURPĂRII TAVANULUI LA EXPLOATAREA CĂRBUNELUI CU BANC SUBMINAT ÎN ABATAJELE FRONTALE* am analizat efectul continuării cursei grinzii secției susținerii mecanizate după stabilirea contactului acesteia cu masivul asupra cărbunelui din acoperișul și din culcușul unui abataj.

Importanța analizelor realizate în acest capitol rezidă în aplicabilitatea procedurii complexe utilizate pentru studiul dinamic al comportamentului susținerii și rocilor înconjurătoare în special în cazul metodei de extragere prin subminare (banc subminat), dar și



pentru ilustrarea și validarea ipotezelor de încărcare a susținerii prezentate în capitolele anterioare.

Caracterul absolut de noutate argumentat de utilizarea în simulare a unei combinații originale de aplicații informatice constă în vizualizarea fenomenelor a căror redare în Teză a fost posibilă doar prin prezentarea de capturi ecran semnificative.

În afară de aceasta, prin ajustarea corespunzătoare a parametrilor și explicitarea detaliată a procedurilor utilizate, cele prezentate oferă un instrument de cercetare util pentru a realiza un pas înainte în studiul fenomenelor dinamice aferente unui abataj mecanizat care combină atât caracteristicile susținerii mecanizate cât și caracteristicile rocilor înconjurătoare realizând posibilitatea cercetării prin modelare și simulare a fenomenelor menționate.

În prima parte a capitolului am analizat din punct de vedere teoretic efectul presiunii miniere asupra susținerii abatajelor frontale cu banc subminat pe baza unui model geomecanic al acestor tipuri de abataje prezentând supozițiile pe care acesta se bazează și relațiile de calcul aferente.

Pe baza unui model al abatajului cu banc subminat cu susținere mecanizată am realizat o simulare în aplicația Irazu. SOLIDWORKS a fost utilizat pentru crearea geometriei modelului supus simulării într-un format acceptat de aplicația Irazu care s-a folosit pentru crearea modelului propriu zis, stabilirea proprietăților materialelor care alcătuiesc modelul, stabilirea condițiilor de frontieră și a parametrilor de calcul ai simulării și nu în ultimul rând pentru efectuarea calculelor și evidențierea unor rezultate. ParaView a fost utilizat pentru prelucrarea și vizualizarea rezultatelor calculelor efectuate cu aplicația Irazu.

Imagistica avansată utilizată pentru vizualizarea rezultatelor simulării, referitor la evidențierea efectului produs de talpă asupra vetrei abatajului atunci când secția continuă să se ridice și după realizarea contactului cu roca, evoluția abatajului privind tensiunile, deformațiile, deplasările rocilor, variația energiei asociată fenomenului de fracturare și altele reprezintă un avans în studiul fenomenelor dinamice aferente unui abataj mecanizat, prin modelare și simulare a fenomenelor complexe.