



UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI
MINE, PETROL ȘI GAZE

TEZĂ DE DOCTORAT
-REZUMAT-

Conducător de doctorat:
Prof.univ.dr. habil ing. ONICA Ilie

Doctorand:
Ing.MARINA Ovidiu Constantin

Petroșani

2023



UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI
MINE, PETROL ȘI GAZE

TEZĂ DE DOCTORAT

**MONITORIZAREA ȘI ANALIZA
DEPLASĂRILOR TERENULUI DE LA ZI ȘI A
PLANȘEELEOR DINTRE ETAJE AFLATE SUB
INFLUENȚA EXPLOATĂRII SUBTERANE A
ZĂCĂMÂNTULUI DE SARE DE LA
SLĂNIC-PRAHOVA**

Conducător de doctorat:
Prof.univ.dr. habil ing. ONICA Ilie

Doctorand:
Ing.MARINA Ovidiu Constantin

Petroșani
2023

CUPRINS

INTRODUCERE

Capitolul 1 - DESCRIEREA GEOLOGIEI, HIDROGEOLOGIEI ȘI EXPLOATĂRII ZĂCĂMÂNTULUI DE SARE GEMĂ DE LA SALINA SLĂNIC PRAHOVA

Capitolul 2 - CARACTERIZAREA GEOMECANICĂ A FORMAȚIUNILOR GEOLOGICE DE LA SLĂNIC PRAHOVA

Capitolul 3 - METODE DE MONITORIZARE ȘI ANALIZĂ A STABILITĂȚII SUPRAFETEI TERENULUI DE LA SALINA SLĂNIC PRAHOVA

Capitolul 4 - ANALIZA STABILITĂȚII SUPRAFETEI TERENULUI DE LA ZI DE LA SALINA SLĂNIC PRAHOVA

Capitolul 5 - ANALIZA STABILITĂȚII PLANȘEELEOR DINTRE ETAJELE MINEI CANTACUZINO CU AJUTORUL MODELĂRII NUMERICE CU ELEMENTE FINITE

Capitolul 6 - MONITORIZAREA ȘI ANALIZA COMPORTAMENTULUI ÎN TIMP AL PLANȘEELEOR DINTRE ETAJELE MINEI CANTACUZINO PE BAZA MĂSURĂTORILOR DEPLASĂRILOR VERTICALE ȘI OBSERVAȚIILOR DIN TEREN

Capitolul 7 - CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI RECOMANDĂRI

BIBLIOGRAFIE

ANEXE

LISTA DE FIGURI ȘI TABELE

1. SCOPUL, OBIECTIVELE ȘI METODOLOGIA DE CERCETARE A TEZEI DE DOCTORAT

Salina Slănic Prahova este una dintre cele mai vechi saline din România, a cărei activitate a început în anul 1668, odată cu exploatarea ocnelor de la Băile Verzi, urmată de alte ocne. Exploatarea a continuat cu camerele mari trapezoidale, iar intensificarea extragerii zăcământului s-a produs prin adoptarea în anul 1970 a metodei de exploatare moderne, cu camere mici și pilieri pătrați, pe orizonturi supraetajate, la mina Victoria, apoi în anul 1992, la mina Cantacuzino.

În peste 300 de ani de activitate minieră, la Salina Slănic au fost generate peste 15 milioane de metri cubi de excavații care, alături de condițiile geo-miniere dificile, au avut ca impact surparea Ocnelor și Minelor Vechi și a Minei Victoria și apariția la această salină a unor fenomene de instabilitate foarte complexe. Și-au păstrat stabilitatea doar excavațiile de la Mina Unirea, utilizată în scop turistic și ultimele orizonturi de la Mina Cantacuzino.

Începând cu anul 2019, exploatarea s-a dezvoltat în profunzime, sub cota +200 m, la nivelul orizontului XIV, de la Salina Slănic.

Pe lângă importanța economică a salinei, datorită exploatării și valorificării zăcământului de sare, această salină prezintă o importanță deosebită și din punct de vedere al utilizării excavațiilor subterane în scop turistic, ca depozite subterane sau ca refugiu pentru polulație, în caz de crize majore. De aceea, conservarea pe termen lung a stabilității excavațiilor subterane de la Salina Slănic ar trebui să reprezintă o prioritate absolută pentru factorii de decizie de la nivelul salinei și de la nivelul SNS București.

Scopul tezei de doctorat:

-Realizarea unei analize de stabilitate a terenului și construcțiilor de la suprafață și a structurilor de rezistență subterane (pilieri și planșee) aflate sub influența excavațiilor miniere de la salina Slănic, în vederea continuării activităților miniere și turistice în depline condiții de siguranță.

Obiectivele tezei de doctorat:

-Analiza și prognoza stabilității terenului de la suprafața Salinei Slănic și a planșeelelor dintre etajele Minei Cantacuzino;

-Studiul fenomenelor geomecanice care determină pierderea stabilității structurilor de rezistență și implicit deformarea excavațiilor subterane, cu impact asupra terenului și obiectivelor de la suprafață;

-Descifrarea fenomenelor geomecanice, care se pot extrapola în adâncime și pot servi la reconsiderarea proiectării orizonturilor XIV (+145m) și XV (+129m), în vederea creșterii stabilității structurilor și excavațiilor subterane;

-Prognoza influenței exploatării orizontului XIV asupra stabilității terenului de la suprafață și trasarea hărților cu deplasările terenului de la zi.

Metodologia de cercetare:

-Analiza bazei de date tehnice, științifice și experimentale, stocate la salina Slănic Prahova, care conține informații extrase din teren și dintr-o serie de proiecte și studii realizate de mai multe instituții de profil din țară;

-Realizarea de măsurători topografice de nivelment de mare precizie asupra reperelor montate la suprafața Salinei Slănic Prahova și în subteranul Minei Cantacuzino;

-Determinarea configurației suprafeței terenului de la zi prin măsurători de fotogrammetrie aeriană;

-Transformarea unor hărți vechi cu curbele de nivel, din format analogic în format digital, care pot fi utilizate ca instrumente de analiză a dinamicii deformării terenului de la zi, aflat sub influența exploatării subterane;

-Utilizarea unor metode de analiză statistico-matematică de interpretare a rezultatelor măsurătorilor topografice de deplasare în timp a reperelor montate în subteran și la suprafața terenului de la zi și elaborarea unor funcții de previziune;

-Analiza stării de tensiuni și deformații dezvoltate în jurul excavațiilor din cele trei câmpuri miniere de la salina Slănic prin modelare numerică în 2D și 3D, cu ajutorul metodei elementelor finite și metodei diferențelor finite.

2. SINTEZA TEZEI DE DOCTORAT

Teza de doctorat intitulată „*Monitorizarea și analiza deplasărilor terenului de la zi și a planșeelor dintre etaje aflate sub influența exploatării subterane a zăcământului de sare de la Slănic-Prahova*” este structurată în șapte capitole și abordează subiectul stabilității terenului de la suprafața Minelor Vechi, Minei Victoria și Minei Cantacuzino și a planșeelor dintre etajele Minei Cantacuzino.

Capitolul 1 - *Descrierea geologiei, hidrogeologiei și exploatării zăcământului de sare gemă de la Salina Slănic Prahova* sintetizează informațiile principale necesare în analiza de stabilitate a structurilor subterane și a suprafeței terenului de la zi.

Zăcământul de sare gemă de la Slănic Prahova are o formă lenticulară, cu lungimea de cca. 2 700 m, pe direcția nord - sud, lățimea cuprinsă între 800 și 2 300 m, iar grosimea maximă este de 499 m și este format, probabil, în perioada de regresivitate a mării flišului, fiind intens cutată la mijlocul sinclinalului, datorită presiunii care s-a manifestat din direcția pîntenului Homorâciu.

Din punct de vedere stratigrafic, la Slănic și respectiv în zona traversată de Valea Slănicului apar depozite aparținând intervalului Paleogen-Cuaternar (Paleogen, Seria de tranziție, Miocen, Pliocen și Cuaternar).

În ceea ce privește petrografia zăcământului, principalele tipuri de roci conținute de structura zăcământului sunt: sarea gemă, tufurile vulcanice, argilele, marnele și gresiile. În zăcământ, sarea gemă se prezintă sub forma unor depuneri stratiforme de culoare albă, în alternanță cu benzi de sare de culoare cenușie.

Din punct de vedere tectonic, depozitele din cuprinsul perimetrului sunt cantonate într-un mare sinclinal miocen (sinclinalul Slănic), fiind situate în partea lui nordică peste formațiunile paleogene ale pîntenului de Homorâciu și sunt încadrate între două fracturi majore (linia Audia și falia Cosminele).

De asemenea, în acest capitol se evidențiază hidrogeologia zăcământului, care are un impact major în ceea ce privește stabilitatea terenului, prin regimul de curgere al apelor subterane și al apelor de infiltrație de la suprafață, respectiv prin generarea golurilor de dizolvare în masivul de sare.

Principalii factori a căror interdependență influențează hidrogeologia zăcământului sunt: geologici (petrografia zăcământului, solubilitatea în apă a sării geme, tectonica zăcământului), hidrologici și hidrogeologici (rețeaua hidrografică, caracterul straturilor acvifere, precipitațiile) și antropici (lucrări de exploatare a zăcământului).

Evoluția exploatării zăcământului a început în urmă cu mai mult de trei secole, cu Minele Vechi (perioada 1668-1970), apoi cu Mina Victoria (1970-1990), Mina Cantacuzino (1990-2019) și, astăzi, cu Orizontul XIV - Slănic (2019-2023). Caracteristicile metodelor și tehnologiilor de exploatare aplicate, volumul și arhitectura spațială a golurilor de exploatare au cea mai mare influență asupra dezvoltării stării de

tensiuni și deformații în masiv și implicit asupra gradului de stabilitate al structurilor subterane (camere, pilieri și planșee) și intensității deformării terenului de la suprafață.

Capitolul 2 - *Caracterizarea geomecanică a formațiunilor geologice de la Slănic Prahova* cuprinde baza principală de date geomecanice utilizată în calculele analitice și numerice și în analiza de stabilitate a structurilor subterane (camere, pilieri și planșee) și implicit a terenului de la suprafață.

Baza de date din acest capitol, pentru zăcămintul de sare gemă Slănic Prahova, a fost extrasă din diferite studii și campanii de testare realizate, de-a lungul timpului, în vederea determinării caracteristicilor geomecanice ale sării geme, începând cu cele efectuate de prof. M. Stamatiu (în anul 1959) și continuând cu cele obținute de către ICEMIN București, Institutul de mine / Universitatea din Petroșani și MINESA-ICPM SA Cluj-Napoca.

În prima parte a capitolului, sunt sintetizate principalele caracteristicile fizico-mecanice și elastice ale rocilor și sării geme determinate de-a lungul timpului la Salina Slănic Prahova, de către institutele menționate mai sus și caracteristicile obținute din probele prelevate de la orizontul XIV, în anul 2022, de către Universitatea din Petroșani, pentru caracterizarea geomecanică a masivului de sare gemă sub cota +200 m, în vederea exploatării în profunzime a orizonturilor XIV și XV.

Pentru realizarea ultimului studiu, din cele două galerii de pregătire cu lungimea de cca. 1200 m, situate la orizontul XIV (cota +148), au fost prelevate probe din forajele executate în 24 de locații, amplasate la intervale de 50 m. Amplasarea locațiilor în teren și organizarea operațiilor de prelevare a probelor a fost gestionată de autorul acestei teze de doctorat. Valorile caracteristicilor fizice (greutatea specifică aparentă), elastice (modulul de elasticitate și coeficientul lui Poisson) și de rezistență (la compresiune, tracțiune și forfecare) au fost utilizate în calculele efectuate cu ajutorul modelelor numerice cu elemente finite 2D și 3D și diferențe finite 3D.

În partea a doua a acestui capitol se prezintă caracterizarea reologică a sării geme de la Slănic Prahova, respectiv comportamentul în timp al sării geme, sintetizată din diferite studii și obținută în perioada 2022-2023 din probele prelevate de la orizontul XIV.

Deformația dependentă de timp (sau fluajul) este procesul prin care sarea gemă își poate continua deformarea fără a se schimba valoarea tensiunii. Sarea gemă este caracterizată de trei tipuri de comportament: elastic, elasto - plastic și plastic. Deformația elastică este urmată de o deformație primară sau tranzitorie, după care apare stadiul secundar sau de deformare constantă în timp. Ultimul stadiu, terțiar sau de fluaj accelerat adesea conduce la ruperea bruscă a sării geme.

În aceste condiții, pentru obiectivele de proiectare, criteriile deformației sunt superioare criteriilor de rezistență, deoarece ruperea celor mai mulți pilieri apare datorită fazei accelerate a fluajului, cel mai adesea apărute din cauza unor sarcini constante.

Din datele reologice prezentate în acest capitol se poate concluziona că sarea gemă de la Slănic Prahova este caracterizată de toate cele trei stări ale fluajului și anume: zona I, de stabilitate; zona a II-a, de stabilitate relativă; zona a III-a, de instabilitate. De unde se poate trage o concluzie imediată că pentru ca elementele de rezistență (pilieri și planșee) să aibă stabilitate pe o durată de timp nelimitată, ele nu pot fi încărcate cu o solicitare mai mare de $0,28 \cdot \sigma_{rc}$.

La finalul capitolului se prezintă o analiză a factorilor care influențează comportamentul geomecanic al sării geme de la Salina Slănic Prahova, care este foarte complex și este afectat de mai mulți factori, cum ar fi: dimensiunile granulelor (cristalelor), cimentul de legătură (coeziunea) dintre granule, timpul, temperatura, umiditatea,

incluziunile sterile și altele. Efectul acestor factori asupra masivului de sare gemă este exprimat prin diferențele privind deformația și proprietățile reologice ale acestuia.

Capitolul 3 - *Metode de monitorizare și analiză a stabilității suprafeței terenului de la Salina Slănic Prahova* prezintă elementele teoretice privind fenomenul deformării terenului de la suprafață, metodele de analiză și prognoză a deplasărilor terenului și metodele și tehnicile de monitorizare a deformării terenului de la zi aflat sub influența excavațiilor subterane, cu particularizare la condițiile Salinei Slănic Prahova.

La începutul capitolului, sunt descrise fenomenele specifice scufundărilor continue și discontinue ale terenului de la suprafață, care sunt prezente și la Salina Slănic Prahova, sub forma deformării continue a terenului situat deasupra Minelor Vechi, Mina Victoria și Mina Cantacuzino și sub forma coșurilor de surpare generate de golurile de dizolvare a vechilor ocne și a terenului din jurul puțurilor. De asemenea, sunt prezentate o serie de generalități privind metodele de analiză a parametrilor albiei de scufundare și principalii parametri ai albiilor de scufundare subcritice, critice și supracritice.

Sunt evidențiate o serie de particularități ale deformării terenului de la suprafața Salinei Slănic Prahova, cu referire la Minele Vechi, Mina Victoria și Mina Cantacuzino.

Ținând seama de faptul că exploatarea zăcămintului continuă în profunzime, sub orizontul +200m, sunt stabilite principiile de analiză a impactului exploatarei orizontului XIV asupra stabilității terenului de la suprafața Salinei Slănic Prahova. În acest sens, se propun următoarele metode de analiză a stabilității terenului de la zi: 1) metodele empirice de previziune; 2) metodele numerice de calcul (cu elemente finite și cu diferențe finite) a stării tensiuni și deformații; 3) metoda analizei informațiilor și măsurătorilor de deformare a terenului și prelucrarea statistică a datelor obținute.

Digitizarea hărților vechi cu curbele de nivel de la suprafața Salinei Slănic Prahova reprezintă o metodă de urmărire a dinamicii deformării terenului de la suprafață, în corelație cu evoluția exploatarei subterane. Această metodă a fost aplicată de autorul tezei de doctorat pe două hărți vechi, una din anul 1962 și alta din anul 1992. Pentru obținerea modelelor de elevație digitale a acestora fost necesară parcurgerea următoarelor etape: scanarea hărților și trecerea lor în format digital; georeferențierea hărților; digitizarea hărților prin vectorizarea curbilor de nivel și a punctelor de cotă; importarea fișierului în programul GlobalMapper și generarea modelelor de elevație digitale. Utilitatea acestor hărți vechi în analiza de stabilitate a suprafeței terenului depinde de gradul lor de precizie în format analogic.

Monitorizarea fenomenului de subsidență cu ajutorul metodelor fotogrammetrice terestre și aeriene, alături de scanarea laser, este o metodă expeditivă de determinare a configurației terenului de la suprafață. Autorul tezei de doctorat a realizat o fotogramă aeriană a terenului de la suprafața Salinei Slănic Prahova în anul 2022, a cărui grad de precizie a fost influențat atât de calitatea echipamentelor folosite, cât și de calitatea software-ului de prelucrare a datelor achiziționate.

Monitorizarea fenomenului de subsidență cu ajutorul metodelor topografice este o metodă larg utilizată de autorul tezei de doctorat atât pentru măsurarea deplasărilor terenului de la suprafața Salinei Slănic Prahova, cât și a planșeelor dintre etajele Minei Cantacuzino. Este o metodă mare consumatoare de timp, care are la bază nivelmentul de precizie și se compune din următoarele trei faze: proiectarea și materializarea în teren a stațiilor topografice de urmărire, efectuarea măsurătorilor topografice și prelucrarea datelor obținute din măsurători.

Capitolul 4 - *Analiza stabilității suprafeței terenului de la zi de la Salina Slănic Prahova* conține baza de date (în format grafic și tabelar) obținută în urma măsurătorilor topografice, efectuate de-a lungul timpului, asupra deplasărilor terenului de la suprafața Minelor Vechi, Minei Victoria și Minei Cantacuzino, analiza statistico-matematică a

acestora, elaborarea modelelor de previziune a deformării terenului de la zi, inclusiv după exploatarea secvențială (în două felii) a orizontului XIV și modelarea numerică a stabilității suprafeței cu ajutorul metodei elementelor finite 2D și a metodei diferențelor finite 3D, pentru situația actuală (anul 2022) și după exploatarea secvențială a orizontului XIV (anul 2045 și 2059).

La începutul capitolului se prezintă în detaliu doi factori importanți care contribuie în mod esențial la intensitatea deformării terenului de la suprafață cum ar fi: statistica evoluției în timp a golurilor rezultate în urma exploatării zăcământului și determinarea adâncimii limită de exploatare a zăcământului Slănic Prahova (după criteriul încărcării gravitaționale, după teoria lui Fenner și după comportarea la fluaj a sării geme). Cotele terenului de la zi, în perimetrul Salinei Slănic, variază între 395 m și 525 m, și implicit starea naturală de tensiuni este diferită la fiecare orizont și de la un orizont la altul.

Funcție de comportamentul reologic al sării geme de la Slănic, au fost identificate 3 zone de fluaj, pentru care au fost definite următoarele zone de stabilitate:

Zona I: pentru adâncimea $H < 267$ m, comportament elastic al masivului de sare gemă - stabilitate pe termen nelimitat;

Zona a II-a: pentru adâncimea $H=267-476$ m, comportament elasto - plastic al masivului de sare gemă - de stabilitate relativă;

Zona a III-a, pentru adâncimea $H > 476$ m, comportament plastic și vâsco-plastic al masivului de sare gemă – de instabilitate.

Cele trei procedee de calcul a adâncimii limită de exploatare, prezentate mai sus, conduc la rezultate foarte apropiate din punct de vedere tehnic și confirmă faptul că adâncimea de exploatare de aprox. 476 m, pentru sarea de Slănic Prahova, este o adâncime care, dacă este depășită, vor fi probleme destul de serioase din punct de vedere al stabilității, mai ales atunci când structurile de rezistență nu sunt corect dimensionate. Ținând seama de faptul că adâncimile actuale de la Salina Slănic Prahova sunt de maxim 380 m, pentru orizontul XIV (+145m), această adâncime critică de 476 m, de la care excavațiile subterane vor fi afectate de instabilitate, nu va fi atinsă în viitorul apropiat.

Specialiștii de la salina Slănic au realizat în mod practic organizarea lucrărilor topografice, începând cu anul 2003. Măsurătorile topografice privind deplasările terenului, prin nivelment geometric de precizie, asupra reperelor vechi și a celor noi amplasate în teren, începând cu anul 2010, au fost realizate de autorul tezei de doctorat.

La suprafața salinei Slănic, în zonele de influență ale minelor Victoria, Cantacuzino și Minelor Vechi au fost amplasate repere topografice asupra cărora au fost efectuate măsurători ale scufundărilor terenului, la intervale de cca. un an, începând cu anul 2003, până în prezent, asupra a 105 repere. Valorile deplasărilor verticale măsurate și valorile vitezelor de scufundare ale fiecărui reper au fost stocate sub formă tabelară și grafică.

Având la bază datele obținute din măsurătorile topografice, s-a realizat o analiză a evoluției în timp a scufundărilor și vitezelor de scufundare, pentru toate reperele de pe fiecare aliniament, situate în aria de influență a fiecărei mine. Sistematizarea măsurătorilor efectuate în timp, până la data de 18.05.2022, a fost realizată tabelar și grafic în cadrul acestui studiu. Pentru toate aceste repere au fost elaborate funcții de prognoză / previziune în ceea ce privește evoluția scufundărilor și implicit asupra evoluției în timp a vitezelor de scufundare. Valorile maxime ale scufundărilor și vitezelor de scufundare, pe repere și pe aliniamente, pentru fiecare mină de la salina Slănic Prahova au fost prezentate grafic și tabelar, pentru sfârșitul exploatării primei felii de la orizont XIV (după 23 de ani, în anul 2045) și la sfârșitul exploatării celei de-a doua felii, respectiv a întregului orizont XIV (după 37 de ani, în anul 2059).

În ultima parte a acestui capitol a fost realizată analiza influenței exploatării orizontului XIV asupra stabilității terenului de la suprafața Salinei Slănic cu ajutorul

modelării numerice cu elemente finite 2D și cu diferențe finite 3D. Pentru analiza stabilității terenului de la suprafața Salinei Slănic Prahova a fost utilizat softul cu diferențe finite FLAC3D-versiunea 9. și softul cu elemente finite CESAR-LCPC2D-versiunea 4.

Modelele cu elemente finite în 2D, în deformație plană, au fost realizate în trei secțiuni verticale reprezentative „est-vest”, prin Minele Vechi, Mina Victoria și Mina Cantacuzino. Calculele au fost efectuate în condițiile ipotezei unui masiv continuu, omogen, izotrop, cu comportament elasto-plastic, încărcat geostatic.

Modarea numerică a fost realizată pentru situația actuală a Salinei Slănic (din anul 2022) și situația de perspectivă, după exploatarea integrală a orizontului XIV (anul 2059). În urma calculelor efectuate au fost obținute hărțile cu distribuția deplasărilor verticale și a deplasărilor orizontale pe suprafața zonei de influență a perimetrului minier Slănic. Aceste hărți, pe lângă scopul lor științific, pot fi utilizate de către administrația locală a orașului pentru actualizarea planului de urbanism general.

Capitolul 5 - *Analiza stabilității planșeelor dintre etajele minei Cantacuzino cu ajutorul modelării numerice cu elemente finite* se referă la studiul comportamentului excavațiilor miniere și structurilor de rezistență (pilieri și planșee) de la Mina Cantacuzino, cu focalizare pe ultimele orizonturi funcționale, utilizând modelarea numerică 2D și 3D cu elemente finite.

În prima parte a acestui capitol sunt prezentate o serie de generalități cu privire la modelarea stabilității terenurilor și structurilor cu ajutorul metodelor numerice de calcul. De asemenea, este schematizată o clasificare generală comparativă a metodelor numerice utilizate în rezolvarea unor probleme de mecanica rocilor, cu particularizare la zăcămintele de sare, în care metoda elementelor finite este definită ca metodă diferențială.

Softul cu elemente finite CESAR-LCPC versiunea 4., cu procesoarele CLEO2D și CLEO3D, este utilizat în această lucrare pentru analiza stabilității excavațiilor și structurilor miniere subterane și a terenului de la suprafață (prezentată în Capitolul 4), de la salina Slănic Prahova, cu focalizare în acest capitol asupra analizei stabilității planșeelor de la mina Cantacuzino.

Partea a doua a capitolului conține analiza propriu-zisă a stabilității camerelor și structurilor de rezistență de la mina Cantacuzino, prin modelare numerică 2D și 3D, cu elemente finite.

În vederea analizei stabilității de ansamblu a minei Cantacuzino, au fost construite două modele numerice cu elemente finite și anume: unul în 2D, în deformație plană și altul în 3D. În calculele de stabilitate s-a ales o lege de comportament elasto-plastic fără ecrusaj / întărire de tip Mohr-Coulomb.

Realizarea analizei cu elemente finite în 2D, în deformație plană, și 3D, pentru modelele definite mai sus, a necesitat parcurgerea următoarelor etape: stabilirea limitelor (optimizarea dimensiunilor modelelor), a zonei de interes și discretizarea modelelor (îndesirea elementelor în zona cu variații mari a tensiunilor și deformațiilor); determinarea zonelor/regiunilor (respectiv, sare gemă și roci înconjurătoare), a ipotezelor de calcul (mediu continuu, omogen și izotrop, cu comportament elasto-plastic) și introducerea caracteristicilor geomecanice; impunerea condițiilor la limită (blocarea diferențiată a deplasărilor la limitele modelelor); stabilirea condițiilor inițiale și de încărcare ale modelului (solicitare geostatică); realizarea calculelor și stocarea rezultatelor.

Cu toate că modelul în 2D este bazat pe o serie de ipoteze simplificatoare, acesta a permis o discretizare mai densă a modelului. De asemenea, a făcut ca anumite rezultate să fie mult mai detaliate, decât cele obținute din modelul în 3D pentru care, datorită dimensiunilor mari ale modelului, pentru a-l face fezabil, a fost nevoie de o discretizare mai largă cu elemente finite de volum. Avantajul modelului în 3D este dat de faptul că

rezultatele obținute din calcule sunt exprimate după cele 3 axe de coordonate, x , y și z (respectiv după orientările E-V, N-S și sus-jos), pe când cele furnizate din modelarea 2D sunt reprezentate doar după două axe (respectiv E-V și sus-jos).

Deoarece modelul în 3D este foarte extins și foarte dificil de studiat în detaliu, această analiză de stabilitate a fost focalizată pe orizonturile funcționale ale minei Cantacuzino (orizonturile IX, X și XI).

Analiza de stabilitate a camerelor și structurilor de rezistență de la Mina Cantacuzino a luat în considerare variația valorilor deplasărilor verticale și orizontale, a valorilor tensiunilor de compresiune, tracțiune și forfecare și a zonelor de intrare în plasticizare, dezvoltate în interiorul modelelor numerice 2D și 3D. Pentru a stabili zonele afectate de instabilitate, valorile parametrilor rezultați din calcule au fost comparate cu limitele de rezistență ale sării geme. Descrierea fenomenelor geomecanice de la Mina Cantacuzino pot servi ca bază pentru analiza comportamentului și proiectarea structurilor de rezistență de la orizonturile XIV și XV, ale Salinei Slănic.

Capitolul 6 - *Monitorizarea și analiza comportamentului în timp al planșeelor dintre etajele Minei Cantacuzino pe baza măsurătorilor deplasărilor verticale și observațiilor din teren* conține descrierea și prognoza fenomenelor geomecanice de instabilitate dezvoltate în structura planșeelor dintre etajele Minei Cantacuzino, rezultate în urma analizei măsurătorile sistematice, efectuate de-a lungul timpului, asupra deplasărilor verticale ale vetrei planșeelor, a analizei informațiilor și observațiilor efectuate în teren.

În prima parte a capitolului, se prezintă analiza comportamentului în timp al planșeelor dintre etajele minei Cantacuzino, pe baza măsurătorilor deplasărilor verticale.

În scopul monitorizării deplasărilor verticale ale planșeelor, au fost montate mai multe repere topografice pe vatra orizonturilor V-X, asupra cărora au fost efectuate periodic măsurători de nivelment de mare precizie, începând cu anul 2004. Reperele au fost montate pe aliniamente în zonele de interes, acolo unde au fost evidențiate cele mai accentuate deplasări verticale sau deformații rupturale ale planșeelor. Planul înclinat auto a fost utilizat pentru transmiterea în subteran a cotelor, de la sistemele de referință situate la suprafață. Măsurătorile topografice au fost continuate de autorul tezei de doctorat, începând cu campania din anul 2010.

Având la bază formulele de aproximare a evoluției în timp a scufundărilor (majoritatea de tip putere), s-a putut obține timpul după care punctele de pe planșeu, aferente reperelor selectate, ating scufundarea critică. Menționăm că aceste previziuni sunt foarte mult alterate de caracteristicile fracturilor din planșee și de raportul dintre tensiunile inițiale verticale și cele orizontale.

Se poate constata că perioada de stabilitate prognozată pentru planșeele de la nivelul etajelor, luând în considerare reperele cu cele mai mari scufundări cumulate la nivelul fiecărui etaj, este variabilă, între valoarea minimă și maximă existând diferențe de câteva ori mai mari. Această dispersie a valorilor perioadelor de stabilitate se explică prin prisma fenomenelor geomecanice de deformare foarte diverse, suferite de planșee în apropierea reperelor selectate. Continuând logica pentru care au fost selectate reperele analizate, putem afirma că zona de unde începe procesul de destabilizare a unui planșeu este reprezentată de reperul pentru care durata de stabilitate prognozată este cea mai redusă, această durată putând fi atribuită stabilității întregului planșeu și anume de: 18,7 ani, pentru etajul V; 24,6 ani, pentru etajul VI; 14,8 ani, pentru etajul VII; 14,8 ani, pentru etajul VIII; 22,1 ani, pentru etajul IX; 22,1 ani, pentru etajul X (fiind durata de stabilitate a planșeului de la etajul superior, vatra etajului X având o durată de stabilitate de 204,6 ani).

În analiză au fost sintetizate și reperate pentru care deplasările verticale au valori negative, adică reprezintă zone cu umflări ale vetrelor camerelor de exploatare, care sunt specifice ultimelor orizonturi. De asemenea, se poate constata că există o serie de reperate care au suferit atât scufundări, cât și umflări ale vetrei, care sunt amplasate la orizonturile intermediare. Scufundările specifice planșeelor de la orizonturile superioare și umflările vetrelor planșeelor situate la orizonturile inferioare au rezultat și în urma modelării cu elemente finite a Minei Cantacuzino.

În continuare, în acest capitol, se prezintă analiza comportamentului în timp al Planului înclinat auto, de legătură cu puțul de aeraj nr.2, pe baza măsurătorilor deplasărilor verticale. Evoluția în timp a scufundărilor vetrei Planului înclinat auto, la nivelul reperelor cu cea mai mare valoare a deplasărilor verticale, a fost prognozată cu ajutorul unor funcții de aproximare logaritmice, fără a se evidenția fenomene importante de instabilitate.

Ultima parte a capitolului este dedicată descrierii fenomenelor de instabilitate ale planșeelor de la Mina Cantacuzino, pe baza informațiilor și observațiilor obținute din teren. Aici sunt descrise fenomenele de destabilizare a planșeelor de la mina Cantacuzino generate de: prezența fracturilor (dislocarea planșeului după o fractură înclinată, după o fractură verticală și după două sau mai multe fracturi); calitatea sării geme din zonele afectate de fracturi/fisuri; distribuția concentratorilor de tensiuni, ca efect al realizării excavațiilor miniere subterane; fisurile naturale / preexistente din partea estică a zăcămintului.

Capitolul 7 - *Concluzii generale, contribuții personale și recomandări* sintetizează conținutul celorlalte capitole, apoi prezintă contribuțiile personale ale autorului tezei de doctorat la rezolvarea temei luată în studiu și se încheie cu câteva recomandări adresate decidenților de la Salina Slănic Prahova și de la nivelul SNS București.

3. CONTRIBUȚII PERSONALE

Pentru realizarea tezei de doctorat a fost necesară efectuarea unei documentări aprofundate asupra studiilor și proiectelor realizate pentru Salina Slănic, studiului articolelor și publicațiilor de specialitate din domeniul tezei de doctorat, efectuarea unor teste de laborator, realizarea de măsurători și cercetări în teren și modelări numerice cu ajutorul unor programe de specialitate.

Principalele contribuții aduse de autorul tezei de doctorat la domeniul studiat constau în următoarele:

- Sistematizarea bazelor de date geologice, hidrogeologice, geomecanice, topografice și de exploatare în vederea utilizării lor în analizele de stabilitate ale structurilor subterane și a suprafeței de la zi;

- Organizarea lucrărilor topografice și efectuarea campaniilor anuale de măsurare asupra reperelor montate la suprafața terenului de la zi (în perimetrul Minelor Vechi, Minei Victoria și Minei Cantacuzino) și din subteran (Oriz.V ÷ X și Planul înclinat auto - Mina Cantacuzino), începând cu anul 2010;

- Organizarea lucrărilor de prelevare a probelor de sare gemă de la orizontul XIV, în vederea realizării încercărilor geomecanice, din anul 2022;

- Analiza statistico-matematică a datelor obținute din măsurătorile de subsidență a terenului de la suprafața Minelor Vechi, Minei Victoria și Minei Cantacuzino și realizarea previziunii scufundărilor terenului de la zi după exploatarea secvențială a orizontului XIV, în două felii (pentru anul 2045 și anul 2059);

-Analiza statistico-matematică a datelor obținute din măsurarea deplasărilor planșeelor dintre etajele V ÷ X și Planul înclinat auto și realizarea prognozei de stabilitate a acestora;

-Transformarea hărților vechi cu curbele de nivel ale suprafeței terenului de la zi, din perimetrul Salinei Slănic, din anul 1962 și 1992, din format analogic în format digital;

-Realizarea măsurătorilor suprafeței terenului de la zi, din perimetrul Salinei Slănic, prin fotogrammetrie aeriană și elaborarea hărții corespunzătoare cu curbele de nivel;

-Modelarea numerică prin metoda diferențelor finite 3D (software-ul FLAC 3D) și metoda elementelor finite 2D (software-ul CESAR-LCPC 2D) a stabilității terenului de la zi, afectat de excavațiile subterane de la Salina Slănic și calculul deplasărilor pentru anii 2022 și 2059 (prognoza după exploatarea oriz.XIV);

- Analiza stabilității camerelor și structurilor subterane (pilieri și planeșee), de la Mina Cantacuzino prin modelare numerică cu elemente finite 3D (software-ul CESAR-LCPC 3D);

-Elaborarea hărților cu deplasările verticale și orizontale, rezultate în urma modelării cu diferențe finite 3D, pentru situația Salinei Slănic din anul 2022 și prognoza pentru anul 2059, care pot fi utilizate de autoritățile locale pentru întocmirea PUG-ului orașului Slănic Prahova.

4. RECOMANDĂRI

-Extinderea zonei de monitorizare topografică a deformării terenului de la suprafață, pe întreaga suprafață de influență a excavațiilor miniere subterane și îndeșirea rețelei de borne fiabile, care să țină seama de exploatarea în profunzime a zăcămintului, la nivelul orizonturilor XIV și XV;

-Continuarea monitorizării topografice a excavațiilor miniere subterane de la orizonturilor IX și X, mina Cantacuzino, orizontul XIV și a camerelor mari trapezoidale de la mina Unirea;

-Utilizarea metodelor expeditivă fotogrammetrice și tehnologia de scanare laser aeriene, pentru monitorizarea deformării terenului de la suprafață, în condițiile exploatării în profunzime a orizonturilor XIV și XV;

-Adoptarea tehnologiei de scanare laser la urmărirea sistematică a deformării conturului excavațiilor miniere subterane din zonele de exploatare și cele turistice;

-Îmbunătățirea stabilității excavațiilor miniere subterane prin renunțarea la tăierea sării geme cu ajutorul explozivilor și utilizarea tăierii mecanizate cu ajutorul combinelor de mare capacitate.