

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE  
UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI  
FACULTATEA DE MINE**

**Ing. CHIPEȘIU FLORINEL**

**TEZA DE DOCTORAT**  
**(REZUMAT)**  
**OPTIMIZAREA METODELOR DE EXPLOATARE LA**  
**EXTRAGEREA ÎN STARE SOLIDĂ A ZĂCĂMINTELOR DE**  
**SARE GEMĂ DIN ROMÂNIA**

**CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC,**  
**Prof. univ. dr. ing.**  
**BĂDULESCU DUMITRU**

**PETROȘANI**  
**-2015-**

Teza este structurată pe următorul cuprins:

CUPRINS .....	1
INTRODUCERE .....	5
CAPITOLUL I – GEOLOGIA ZĂCĂMINTELOR DE SARE DIN ȚARA NOASTRĂ .....	7
1.1. <i>Originea zăcămintelor de sare</i> .....	7
1.2. <i>Distribuția zăcămintelor de sare pe glob</i> .....	9
1.3. <i>Vârsta geologică a zăcămintelor de sare</i> .....	10
1.4. <i>Zăcăminte de sare din România</i> .....	11
1.5. <i>Descrierea zăcămintelor de sare exploatare în România</i> .....	14
CAPITOLUL II – CARACTERISTICILE FIZICO-MECANICE ȘI REOLOGICE ALE SĂRII GEME DIN ROMÂNIA .....	21
CAPITOLUL III – METODE DE EXPLOATARE A SĂRII PE CALE USCATĂ APLICATE ÎN ROMÂNIA .....	30
3.1. <i>Scurt istoric al metodelor de exploatare a sării în România</i> .....	30
3.2. <i>Metode de exploatare pe cale uscată a sării geme utilizate la ora actuală în România</i> .....	32
CAPITOLUL IV – VERIFICAREA STABILITĂȚII CAMERELOR, PILIERILOR ȘI PLANȘEELE PENTRU SALINELE DIN ROMÂNIA .....	43
4.1. <i>Generalități privind verificarea stabilității salinelor din România</i> .....	43
4.2. <i>Verificarea stabilității excavațiilor subterane de la Salina Slănic Prahova</i> .....	43
4.3. <i>Verificarea stabilității excavațiilor subterane de la Salina Ocnele Mari</i> .....	59
4.4. <i>Verificarea stabilității excavațiilor subterane de la Salina Praid</i> .....	63
4.5. <i>Verificarea stabilității excavațiilor subterane de la Ocna Dej</i> .....	69
4.6. <i>Concluzii privind stabilitatea salinelor din România</i> .....	80
CAPITOLUL V – MODELAREA NUMERICĂ A STĂRII DE TENSIUNI ȘI DEFORMAȚII DIN STRUCTURILE DE SUSȚINERE (PILIERI ȘI PLANȘEE) DE LA SALINELE DIN ROMÂNIA .....	82
5.1. <i>Generalități privind modelarea rocilor și structurilor cu ajutorul modelelor numerice</i> .....	82
5.2. <i>Modele cu elemente finite în deformație plană</i> .....	83
5.3. <i>Analiza cu elemente finite a stării de tensiuni și deformații din structurile de susținere (camere și pilieri) de la Salina Ocna Dej</i> .....	83
CAPITOLUL VI – ALEGEREA OPTIMĂ A COMBINEI DE ÎNĂINTARE PENTRU CONDIȚIILE TEHNICE ȘI GEO-MINIERE ALE SALINELOR DIN ROMÂNIA .....	96
6.1. <i>Generalități privind combinele de înaintare</i> .....	96
6.2. <i>Principalele condiții tehnice și geo-miniere impuse combinei de înaintare</i> .....	96
6.3. <i>Criterii de selecție a combinei de înaintare</i> .....	97
CAPITOLUL VII – OPTIMIZAREA METODELOR DE EXPLOATARE ÎN STARE SOLIDĂ A ZĂCĂMINTELOR DE SARE GEMĂ DIN ROMÂNIA PRIN UTILIZAREA COMBINELOR DE ÎNĂINTARE .....	10
7.1. <i>Pregătirea zăcămintului</i> .....	106
7.2. <i>Descrierea metodei de exploatare</i> .....	111
7.3. <i>Stabilirea optimă a tehnologiilor și a utilajelor din abataj</i> .....	112
7.4. <i>Fazele tehnologice de exploatare optimă a camerelor</i> .....	117
7.5. <i>Organizarea transportului</i> .....	126
CAPITOLUL VIII – CONCLUZII, CONTRIBUȚII ȘI PROPUNERI .....	131
8.1. <i>Concluzii</i> .....	131
8.2. <i>Contribuții personale</i> .....	134
8.3. <i>Propuneri</i> .....	134
ANEXA 1 – Criterii geomecanice de evaluare a stabilității rocilor saline .....	135
ANEXA 2 – Rezultatele analizei cu elemente finite a stabilității salinei Ocna Dej .....	142

ANEXA 3 – Rezultatele analizei cu elemente finite a stabilității salinelor Slănic Prahova, Praid și Ocna Dej .....	160
ANEXA 4 – Principalele caracteristici ale unor combine de înaintare cu atac punctiform supuse analizei de selecție pentru salinele din România .....	164
ANEXA 5 – Calculul economic (Studiu de caz Salina Ocna Dej) .....	169
BIBLIOGRAFIE .....	182

**Cuvinte cheie: Sare gemă, salina, geomecanica, geotehnica, metode, exploatare, stabilitate, optim, economic, combina**

### **Introducere**

România este o țară ale cărei resurse naturale de sare sunt dintre cele mai bogate și ușor accesibile din lume. Pe de altă parte, majoritatea teritoriilor ce înconjoară spațiul românesc sunt, fie lipsite, fie extrem de sărace în acest mineral. Toate acestea au contribuit la rolul deosebit al surselor de sare din țara noastră în această parte a Europei, ea fiind folosită în decursul mileniilor nu numai pentru nevoile populațiilor locale, dar și pentru cele ale comunităților din spații mai mult sau mai puțin îndepărtate. Mărturiile privind exploatarea sării din România sunt cele mai vechi din lume.

Teza de doctorat analizează modernizarea fluxurilor tehnologice, creșterea capacităților de producție și a eficienței economice prin cercetări privind analiza posibilităților introducerii în cazul exploatării zăcămintelor de sare gemă din țară, a unor tehnologii performante utilizate pe plan mondial.

Procesul tehnologic de extragere a substanțelor minerale utile din subteran constă din desprinderea lor din masiv, încărcarea pe/în instalații de transport, transportul-parțial sau total, susținerea și dirijarea presiunii.

Mașinile miniere destinate dislocării substanțelor minerale utile în subteran pot asigura numai tăierea masei miniere din masiv sau, în același timp, pot realiza și alte operații ale procesului tehnologic. Varietatea mare a condițiilor geologo-miniere precum și caracteristicile geomecanice foarte diferite ale substanțelor minerale utile au condus la crearea unor diverse ansambluri de mașini de tăiere în abataj. Rezultă de aici că un parametru extrem de important în alegerea utilajului de tăiere îl reprezintă natura substanței minerale utile care se extrage precum și caracteristicile geomecanice ale acesteia.

Obiectivul principal al acestei lucrări este alegerea și aplicarea soluției optime de extragere în stare solidă a zăcămintelor de sare gemă din țara noastră. Pentru aceasta lucrarea de față a fost structurată după cum urmează:

**Capitolul I** – „*Geologia zăcămintelor de sare din țara noastră*” – face o caracterizare a zăcămintelor de sare gemă din punct de vedere stratigrafic, tectonic și hidrografic. De asemenea sunt descrise pe scurt principalele zăcăminte de sare gemă exploatate în țara noastră.

**Capitolul II** – prezintă „*Caracteristicile fizico-mecanice și reologice ale sării geme din România*” – rezultatele cercetărilor efectuate de-a lungul timpului cu privire la caracteristicile geomecanice ale zăcămintelor de sare gemă din România.

**Capitolul III** – „*Metode de exploatare a sării pe cale uscată aplicate în România*” – redă situația țării noastre în ceea ce privește metodele de exploatare a sării geme aplicate de-a lungul timpului în țara noastră, precum și situația actuală a acestora.

În aceste prime capitole, care constituie prima parte a lucrării, s-au prezentat noțiuni teoretice cu privire la exploatarea pe cale uscată a sării geme. În continuare, în următoarele 6 capitole, au fost efectuate studii cu privire la stabilitatea excavațiilor subterane în cazul unor saline din țara noastră și elaborarea unei metode care să permită exploatarea eficientă și în deplină siguranță a zăcămintelor de sare gemă din România.

**Capitolul IV** – „*Verificarea stabilității camerelor, pilierilor și planșelor pentru salinele din România*” – cuprinde studii de caz cu privire la stabilitatea excavațiilor subterane de

la salina Slănic Prahova, Ocele Mari, Praid și Ocna Dej. Aceste studii au fost efectuate pe baza relațiilor de calcul clasice elaborate de diferiți cercetători.

Pentru a observa mai în detaliu distribuția tensiunilor și deformațiilor în masivul de sare, am considerat necesară realizarea unui studiu privind stabilitatea excavațiilor subterane, studiu bazat pe tehnologii moderne de calcul. Pentru aceasta s-a apelat la modelarea numerică cu ajutorul metodei elementelor finite, utilizând pentru aceasta programul de calcul CESAR-LCPC.

**Capitolul V** – „*Modelarea numerică a stării de tensiuni și deformații din structurile de susținere (pilieri și planșee) de la salinele din România*” se verifică structurile de rezistență cu programul de calcul CESAR-LPC.

**Capitolul VI** – „*Alegerea optimă a combinei de înaintare pentru condițiile tehnice și geo-miniere ale salinelor din România*” – prezintă un studiu complex realizat în vederea alegerii unei combine de înaintare care să se preteze pentru exploatarea sării geme în condițiile geominiere ale zăcămintelor din țara noastră. Alegerea combinei optime s-a realizat dintr-o gamă variată de combine pe baza unor criterii de selecție riguroase.

După alegerea combinei de înaintare a fost necesară elaborarea metodei de exploatare ce va fi aplicată cu ajutorul combinei.

**Capitolul VII** – „*Optimizarea metodelor de exploatare în stare solidă a zăcămintelor de sare gemă din România prin utilizarea combinelor de înaintare*”, se referă la modelarea economico-matematică în vederea optimizării metodelor de exploatare a sării geme din țara noastră.

**Capitolul VIII** – „*Concluzii, contribuții și propuneri*” – prezintă concluziile autorului cu privire la lucrarea de față și rezultatele obținute, contribuțiile proprii și unele propuneri cu privire la domeniul luat în studiu.

### **Concluzii**

Societatea Națională a Sării S.A. București este preocupată permanent de modernizarea fluxurilor tehnologice, de creșterea capacităților de producție și a eficienței economice prin cercetări privind analiza posibilităților introducerii în cazul exploatării zăcămintelor de sare gemă din țară, a unor tehnologii performante utilizate pe plan mondial.

România, fiind o țară cu o veche tradiție în exploatarea și valorificarea sării geme, se numără în prezent printre primele 15 țări în ceea ce privește volumul producției realizate fiind totodată și una dintre țările cu cele mai bogate resurse naturale de sare gemă.

Progresele realizate în ultimii 50 de ani în domeniul științei și tehnicii în general, s-au resimțit în mod semnificativ și asupra domeniului minier, începând cu metodele normalizate de determinare a caracteristicilor geomecanice ale rocilor și substanțelor minerale utile și continuând cu folosirea tot mai accentuată a caracteristicilor reologice și de dilatanță. Toate aceste progrese au la bază o serie de teorii ale corpului solid deformabil și anume: elasticității, plasticității și vâscozității. Coroborat cu introducerea metodelor numerice de calcul, se resimte nevoia unei sintetizări unitare a acestor noutăți în minerit, cu particularizare în exploatarea masivelor de sare gemă pe cale uscată și prin sonde de dizolvare.

Modernizarea și retehnologizarea extracției sării geme în țara noastră, coroborat cu creșterea gradului de securitate, precum și realizarea unor prognoze de stabilitate cu risc minim în scopul stabilirii unor măsuri prioritare cu caracter preventiv, reprezintă obiectivele prioritare pentru atingerea cărora s-au inițiat și cercetările care fac obiectul acestei teze de doctorat.

Prin tematica acestei teze se urmărește analizarea și elaborarea unor soluții de modernizare a tehnologiilor de exploatare a sării geme pe cale uscată prin care se urmărește realizarea optimă a stabilității excavațiilor miniere în vederea creșterii gradului de securitate a muncii, în condițiile creșterii productivității muncii, a eficienței economice și îmbunătățirea gradului de recuperare a rezervelor geologice.

În vederea îndeplinirii obiectivelor acestei teze am efectuat calcule de verificare a stabilității excavațiilor subterane existente în contextul metodelor de exploatare a sării geme utilizate în prezent.

Pentru verificarea stabilității excavațiilor subterane a fost necesară cunoașterea caracteristicilor geomecanice ale sării din România. Întrucât în acest sens au fost realizate numeroase studii, în capitolul 2 au fost sintetizate rezultatele acestora.

În continuare (în următoarele două capitole) am considerat necesară prezentarea metodelor de exploatare utilizate la extragerea gării atât pe plan mondial cât și în țara noastră.

Pentru a scoate în evidență importanța introducerii unor tehnologii noi de exploatare a sării geme în țara noastră în capitolul 5 au fost realizate calcule privind stabilitatea excavațiilor subterane de la diferite saline din țară (Slănic Prahova, Ocna Dej, Ocnele Mari și Praid).

Referitor la condițiile de stabilitate efectuate în cazul salinelor menționate, din calculele realizate rezultă că atât camerele (deschidere, lungime și înălțime) cât și pilierii (lățime) și planșeele de etaj îndeplinesc condițiile de stabilitate după cum urmează:

**a)** În cazul salinei *Slănic Prahova* s-a constatat că:

- deschiderea camerelor prezintă un coeficient de siguranță  $n = 5 \div 30$ ;
- înălțimea camerelor prezintă un coeficient de siguranță  $n = 13$ ;
- în cazul pilierilor, calculele efectuate ne-au condus la coeficienți de siguranță de  $n = 2,25 \div 3,7$ .
- planșeele de etaj, cu grosimea de 8m, sunt stabile, prezentând coeficienți de siguranță de  $n = 4 \div 11$ ;
- planșeul de egalizare, cu grosimea de aproximativ 40m, este stabil, coeficientul de siguranță fiind de  $n \geq 11$ .

**b)** În ceea ce privește stabilitatea lucrărilor subterane de la *Ocnele Mari*, pot fi trase următoarele concluzii:

- în ce privește camerele de formă dreptunghiulară, calculele ne arată că stabilitatea acestora este asigurată pentru coeficienți de siguranță  $n \cong 14$ , atât pentru deschiderea camerelor cât și înălțimea acestora;
- în cazul pilierilor, coeficientul de siguranță oscilează în jurul valorii  $n \cong 8$ , prezentând o durată de stabilitate mai mare de 20 de ani (în cazul pilierilor fără fisuri) și de  $n \cong 6$  (pentru pilierul fisurat).
- Planșeele sunt stabile prezentând coeficienți de siguranță mai mari de  $n \geq 3$ , cu durată de stabilitate mai mare de 70 de ani;

**c)** Referitor la condițiile de stabilitate efectuate în cazul salinei Praid, din calculele realizate rezultă că:

- deschiderea camerelor prezintă un coeficient de siguranță  $n = 9,5 \div 27$ ;
- înălțimea camerelor prezintă un coeficient de siguranță  $n = 9,4$ ;
- în cazul pilierilor, calculele efectuate ne-au condus la coeficienți de siguranță de  $n = 1,6 \div 4,8$  pentru oriz. VI (H = 320m) respectiv  $n = 1,4 \div 4,1$  pentru oriz. IX (H = 380m).
- planșeele de etaj, cu grosimea de 10m, sunt stabile, prezentând un coeficient de siguranță de  $n = 6,8$ ;

**D)** În cazul salinei Ocna Dej se poate concluziona că:

- lățimea de 15m a camerelor de exploatare prezintă un coeficient de siguranță  $n = 16-39$ ;
- la un coeficient de siguranță  $n = 5$ , lungimea camerelor respectiv a planului înclinat poate fi infinită;
- înălțimea actuală a camerelor (8m), prezintă coeficienți de siguranță  $n = 7,7-8,14$ ;
- în ceea ce privește pilierii, coeficientul de siguranță obținut este de  $n = 3,35 - 4,3$ , pentru care durata de stabilitate este mai mare de 20 de ani;
- grosimea de 7,5m a planșeelor de etaj conduce la coeficienți de siguranță  $n = 7,6-12$ , având o durată de stabilitate mai mare de 70 de ani, iar planșeele de tavan prezintă coeficienți de siguranță  $n = 11,2$ ;

Pentru a observa mai în detaliu distribuția tensiunilor și deformațiilor în masivul de sare, am apelat la modelarea numerică cu ajutorul metodei elementelor finite. Astfel, cu ajutorul programului de calcul CESAR LCPC, s-au realizat modele numerice în 2D (în lucrare a fost prezentat modelul numeric generat pentru salina Ocna Dej), calculate în ipoteza comportamentului elasto-plastic de tip Mohr-Coulomb fără ecruisaj, în ipoteza deformației plane. Rezultatele (tensiunile și deformațiile) au fost comparate cu caracteristicile de rezistență ale sării geme, indicând posibilitatea apariției unor zone de fracturare în camere și pilieri. În urma analizei cu elemente finite realizate în cazul salinei Ocna Dej pot fi trase unele concluzii, printre care cele mai importante sunt:

1. La orizontul +157m, care este prevăzut să intre în exploatare în viitorul apropiat, se poate aprecia că planșeul și vatra camerelor va avea o stabilitate bună, însă pot apărea fenomene de desprindere a sării din pereții camerelor (în special datorită solicitărilor de forfecare) - mai pregnant la limita dintre pilieri și planșeu;
2. Având în vedere stabilitatea la limită a structurilor de susținere de la oriz.+157m, utilizarea combinelor în procesul tehnologic de extragere a sării, în comparație cu tăierea cu explozivi, conferă structurilor de susținere condiții de creștere a stabilității;
3. În ceea ce privește exploatare în adâncime a zăcămintului de sare de la Salina Ocna Dej, sub oriz. +157m (respectiv la oriz. +141m), considerăm că este necesar un studiu aprofundat de stabilitate pentru reconsiderarea dimensiunilor camerelor și pilierilor. Apreciem că, exploatarea în continuare, sub oriz.+157m, conservând dimensiunile actuale ale structurilor de susținere, va conduce implicit la scăderea cu mai mult de 20-30% a coeficientului de siguranță, cel puțin la nivelul suprafeței exterioare a pilierilor - înrăutățindu-se, astfel, și mai mult condițiile de stabilitate a structurilor de susținere.

În consecință, pentru creșterea gradului de stabilitate a structurilor de rezistență camere-pilieri și planșee se impune introducerea unor noi tehnologii de exploatare.

Pentru aceasta în capitolele următoare am optat pentru mecanizarea procesului de exploatare, prin alegerea unei combine de înaintare (alegerea acesteia pentru condițiile tehnice și geo-miniere ale salinelor din România făcându-se pe baza mai multor criterii) și implementarea unor tehnologii de exploatare cu ajutorul combinei.

În urma criteriilor de selecție a rezultat că, combina Sandvik MR-520 îndeplinește toate cerințele tehnice, constructive, de funcționare și fiabilitate, în raport cu condițiile tehnice și geo-miniere impuse, pentru o exploatare eficientă, din punct de vedere tehnico-economic, a zăcămintului de sare.

Pentru extragerea sării cu ajutorul combinei de înaintare trebuie stabilită tehnologia de lucru și utilajele necesare în abataj.

Exploatarea se va face prin metoda de exploatare cu camere mici și pilieri pătrați supraetajați (în cazul Salinei Slănic Prahova și Ocna Dej) și metoda de exploatare cu camere mici și pilieri dreptunghiulari supraetajați.

În cazul Salinei Slănic Prahova camera are dimensiunile de 8x12m și se va exploata în două felii de câte 4 m grosime, iar fiecare felie va fi extrasă în două fâșii cu lățimea de 6m.

În cazul Salinei Ocna Dej camera are dimensiunile de 8x15m și se va exploata în două felii de câte 4 m grosime, iar fiecare felie se extrage în două fâșii cu lățimea de 7,5m.

La Salina Praid camera se va exploata în două felii de 5 metri iar felia se extrage în trei fâșii de 6,66m. Pentru început se va exploata felia superioară, pe întreaga suprafață a orizontului aflat în exploatare, după care se trece la exploatarea feliei inferioare pe întreaga suprafață a zonei de exploatare.

Realizarea producției de sare stabilite 200000 tone/an (Salina Slănic Prahova și Praid) poate fi îndeplinită cu o singură combină prin abatarea unei capacități de producție orare de 41,66 tone/oră, respectiv tăierea, încărcarea, transportul și depozitarea a 2 autobasculante, cu capacitatea de minim 20,85tone/oră.

În cazul Salinei Ocna Dej, abaterea simultan cu 2 combine care lucrează în paralel în două fronturi succesive, în două felii apropiate, impunând fiecărei combine realizarea unei capacități de producție orare de 83,4t/oră (sau de 400 000t/an, adică 500,4t/schimb), respectiv tăierea, încărcarea, transportul și depozitarea a 4 autobasculante pe oră (cu capacitatea de minim 20,85tone).

### **Contribuții personale**

Obiectivul principal al acestei teze este alegerea și aplicarea soluției optime de extragere în stare solidă a zăcămintelor de sare gemă din țara noastră.

Din conținutul acestei teze se desprind următoarele contribuții:

- determinare caracteristicilor geo-mecanice ale sării geme de la Slănic Prahova unde am efectuat studiul de caz;
- verificarea stabilității camerelor, pilierilor și planșelor pentru Salina Slănic Prahova, Ocnele Mari, Praid și Ocna Dej utilizând metodele clasice de verificare;
- modelarea numerică cu ajutorul metodei elementelor finite a stării de tensiuni și deformații din structurile de susținere, utilizând programul de calcul CESAR-LCPC, pentru salina Slănic Prahova, Ocna Dej și Praid;
- alegerea, pe baza unor criterii de selecție, a unei combine de înaintare pentru condițiile geominiere ale salinelor din România;
- elaborarea metodelor de exploatare cu combina a zăcămintelor de sare de la Slănic Prahova, Ocna Dej și Praid;
- optimizarea parametrilor ce caracterizează metodele și tehnologiile de exploatare a sării geme în stare solidă;
- alegerea metodelor, tehnologiilor și a utilajelor optime din abataj;
- elaborarea fazelor tehnologice parcurse în procesul de exploatare cu combina a sării geme;
- am efectuat analiza economică comparativă între tehnologia de exploatare cu combina și tehnologia clasică de exploatare a sării geme prin perforare-împușcare.

### **Propuneri**

Principala propunere care se desprinde din conținutul prezentei teze este aceea de implementare a tehnologiei de exploatare cu combina și aceasta din mai multe motive dintre care enumerăm:

- creșterea gradului de stabilitate a excavațiilor subterane prin lipsa fisurilor apărute în structurile de susținere în cazul metodei de exploatare prin perforare împușcare;
- simplificarea procesului de extragere a sării în abataj;
- reducerea costului unitar pe tona de sare extrasă (acest fapt rezultă din analiza economică comparativă – Anexa 5).