

**MODIFICAREA STĂRII DE EFORTURI ȘI DEFORMAȚII  
ÎN JURUL GOLURILOR REZULTATE ÎN URMA EXPLOATĂRII  
SĂRII PRIN DISOLUTIE.**

**STUDIU DE CAZ: EXPLOATAREA OCNELE MARI**

## **REZUMAT**

Analiza stării de eforturi și deformații este o preocupare activă a numeroși cercetători. Abordarea acestui domeniu a luat amploare odată cu dezvoltarea tehnicii de calcul superioare, care a permis rularea unor programe, bazate pe variații de parametri și rețele de discretizare din ce în ce mai fine, cu posibilități de ajungere la rezultate cât mai corecte din punct de vedere științific. În ceea ce privește modelarea numerică a stării de eforturi și deformații în jurul golurilor subterane rezultate în urma dizolvării sării prin disoluție, este un domeniu care s-a dezvoltat, pe de-o parte datorita instabilitatii acestor goluri si nevoii de a evita riscurile asociate, si pe de alta parte, posibilitatilor de stocare in aceste goluri de materiale, de la gaze, la diverse tipuri de deseuri, inclusiv deseuri radioactive. In directia instabilitatii golurilor am incercat sa-mi aduc si eu cobntributia prin lucrarea de fata.

Lucrarea este structurată în șapte capitole de studiu și analiza și un capitol dedicat concluziilor.

Primul capitol este un capitol introductiv, unde, pe langa obiectivele si structura lucrari, am prezentat conditiile geologice ale zonei si de asemenea descrierea campurilor i si ii de sonde, de la deschidere pana la dezamorsare, cu detalieri pe campul i de sonde.

Obiectele lucrării pot fi rezumate astfel:

- In primul rand calculul starii de eforturi si deformatii in jurul golurilor de dizolvare, inclusiv simulare proceselor de prabusire controlata din campul I de Sonde
- In al doilea rand analiza integrata a rezultatelor monitorizarii in vederea realizarii unei imagini coerente a comportarii geomecanice a Campului I de Sonde
- Si de asemenea, crearea posibilitatilor de utilizare a rezultatelor obtinute pentru rezolvarea unor situatii similare, aplicabile in zone de exploatare a sarii prin dizolvare, zone instabile din punct de vedere geomecanic.

Zăcământul de sare de la Ocnele Mari este localizat în zona dealurilor subcarpatice ale Olteniei, la cca. 10 Km spre vest de municipiul Rm. Vâlcea.

La nivelul arealului întâlnim formațiuni de vârstă paleogenă, negenă și cuaternară.

Zacamantul de sare de la Ocnele Mari se găsește pe flancul nordic al anticlinalului Govora – Ocnele Mari.

Din punct de vedere tectonic, zăcământul de sare este cuprins între falia Copacelu în partea estică, falia Teiuș în partea vestică. De asemenea, zăcământul este delimitat în nord de falia Stoenești, iar în sud de falia Bisericii.

Forma zăcământului este una lentiliformă, având o lungime de 8 Km, o lățime de 3,5 Km și o suprafață de aproximativ 30 Km<sup>2</sup>. Formațiunile din acoperișul zăcământului sunt de vârstă badenian superior, iar cele din culcuș de vârstă badenian inferior. Conținutul de NaCl al zăcământului este de 98-99%.

Grosimea zăcământului variază de la câțiva metri în zonele de efilare până la 473 în zona forajului F561. Grosimea medie a zăcământului este de 250 – 300m.

Exploatarea sării în soluție la Ocnele Mari a început în anii 1960, și s-a desfășurat în timp pe patru câmpuri de sonde. În prezent, exploatarea se face doar în Câmpul III Lunca și în Câmpul IV.

Câmpul I de Sonde a avut în componență 10 sonde. Exploatarea acestuia a început în anul 1960 și a durat până în anul 1973. La începutul exploatarei, sondele funcționau individual, însă datorită circulației fluidelor prin intermediul intercalațiilor din baza zăcământului de sare, în timp, golurile sondelor s-au unit între ele.

În anul 2006, după dezamorsarea situației din Câmpul II de Sonde, având în vedere influența fenomenelor petrecute în acest câmp asupra Câmpului I de Sonde (cele două câmpuri comunicau hidraulic), s-au măsurat cavernometric sondele din Câmpul I. În urma măsurătorilor efectuate s-a stabilit în Câmpul I existența unei caverne de cca. 1 mil m<sup>3</sup>.

S-a trecut la monitorizarea intensă a acestui câmp. În decursul celor 3 ani care au trecut până la dezamorsarea situației, tavanul de sare de deasupra golului comun al sondelor din Câmpul I s-a măcinat treptat. Astfel, dacă în ianuarie 2006, suprafața cu grosimi ale sării sub 10 m era de cca. 3600 m<sup>2</sup>, în ianuarie 2009 aceasta ajunsese la cca. 8000 m<sup>2</sup>.

În anul 2007, când procesul de fragmentare a tavanului era destul de accelerat s-a luat o măsură de stabilizare a sistemului, prin introducerea de saramură concentrată în cavernă și menținerea unei cote ridicate a nivelului saramurii.

Departamentul nostru a propus un proiect care s-a aplicat pentru dezamorsarea câmpului I de Sonde.

În primul rând s-a realizat un baraj pe P. Sărat, baraj menit să preia volumele de saramură expulzate din cavernă, s-au realizat racorduri între sonde și acest baraj, s-au instalat 3 pompe în sondele 361, 368 (sonde aparținând Câmpului II de sonde, aflate în sudul Câmpului I și 370, tot din câmpul II, aflată în nordul câmpului I – cele trei sonde aflate în comunicare hidraulică cu cavernă formată de sondele din Câmpul I de Sonde), s-a instalat un rezervor tampon pe parcursul traseului conductelor de legătură dintre sondele în care s-au instalat pompele și saleduct.

În luna iulie 2009 s-a decis începerea procesului de prăbușire controlată a cavernei din Câmpul I de Sonde. Pentru început, în data de 14 iulie nivelul a fost lăsat liber (nu s-a mai introdus saramură în cavernă), după care, în data de 28 iulie a început coborârea nivelului prin intermediul celor trei pompe.

În perioada 15 iulie – 7 august, în teren au apărut o serie de fisuri care conturau o viitoare zonă de rupere.

În data de 8 august în teren a apărut o pâlnie de surpare în zona sondei 358, aflată în sudul cavernei. Craterul s-a extins până în seara acelei zilei.

În urma ridicărilor topografice efectuate în ziua de 11 august, s-a determinat o suprafață a lacului din crater de cca. 1800 mp și o suprafață a craterului de cca. 6900 mp, pentru ca în data de 3 septembrie în urma efectuării altor ridicări topografice, s-a determinat o suprafață a lacului din crater de cca. 9700 mp și o suprafață a craterului de cca. 25000 mp.

Pe măsura expulzării saramurii, atât gravitațional, cât și prin pompare spre barajul de pe P. Sărat, versanții au început să se stabilizeze, iar cota nivelului lacului din crater să scadă.

În prezent lacul din craterul format există doar datorită precipitațiilor. Taluzarea naturală continuă, însă ritmul de evoluție este nesemnificativ și nu mai poate fi detectat vizual foarte ușor.

Practic, caverna din Câmpul I de Sonde a fost dezafectată și odată cu ea a fost umplut cu steril și golul comun al sondelor 357 și 359 (sonde aparținând tot Câmpului I de Sonde).

## **Capitolul 2, caracteristicile geomecanice ale rocilor.**

În prima parte a capitolului am prezentat proprietățile geomecanice ale rocilor, cu o analiză detaliată axată pe proprietățile sării.

Am trecut apoi la analiza criteriilor de cedare, cu o detaliere a criteriilor Mohr-Coulomb și Hoek-Brown, cele care au fost aplicate în această lucrare.

Criteriul Mohr-Coulomb presupune că cedarea se produce atunci când este atins maximul diferenței dintre valoarea absolută a efortului tangential și o anumită funcție de efortul normal care acționează după o aceeași suprafață. Forma funcției exprimate depinde de proprietățile fizice și mecanice ale materialului (de  $\phi$  și  $c$ ).

Pentru a folosi criteriul Hoek-Brown pentru estimarea eforturilor și deformabilității maselor de roci, trebuie estimate trei "proprietăți" ale rocilor. Acestea sunt:

1. Rezistența la compresiune uniaxială  $\sigma_{ci}$  a elementelor intacte de rocă
2. Valoarea constantei Hoek-Brown  $m_i$  pentru aceste elemente intacte de roci
3. Valoarea GSI pentru masa rocii.

Marele avantaj al criteriului Hoek-Brown este că implică doar măsurători de rezistență la compresiune monoaxială. Extinderea acestor măsurători la scara masivului este făcută cu ajutorul factorului GSI și a parametrilor de scară, dependenți tot de GSI. Este o revalorificare a observațiilor și examinărilor vizuale ale masivului de roca în estimarea parametrilor geomecanici ai acestuia.

În mod particular, pentru criteriul Hoek-Brown am tratat pe larg factorul GSI – Indexul Rezistenței Geologice - Geological Strength Index.

Am continuat acest capitol cu analiza comportamentului geomecanic al sării, analizând cele trei tipuri de comportament ale sării, și anume, elastic, elasto-plastic și plastic, în funcție de câțiva factori: compoziția sării, mecanismul încărcării, tipul de eforturi la care este supusă, diferențele de eforturi, temperatura, adâncime, etc.

În finalul capitolului 2 am prezentat câteva elemente de reologie, analizând diferitele tipuri de curgere și proprietățile curgerii. În mod particular am prezentat caracterul reologic al sării și modul de comportare al acesteia când este supusă unor încărcări. De asemenea, am pus în evidență caracterul reologic în funcție de impurități (diferența între cantitatea de rocă analizată și cantitatea de sare gemă extrasă din rocă) și evoluția masivului de sare în condiții variate de temperatură și adâncime.

Prin prisma analizei acestor mecanisme de curgere se poate spune că legea care guvernează aceste procese este o relație între variația vitezei de deformare – rata staționară de efort – și o serie de alți parametri:

- energia activă, efectivă;
- temperatura;
- eforturile;
- constantele de material.

În capitolul 3 am tratat metodele de analiză a stabilității golurilor de dizolvare.

Am considerat în primul rând, **în funcție de caracterizarea *indirectă* sau *directă* a degradării rocilor sub acțiunea încărcării exterioare**, două mari categorii de metode și anume: metodele indirecte și metodele directe.

În cadrul metodelor indirecte am detaliat metodele bazate pe echilibrul limită și metoda elementelor finite.

Metodele bazate pe echilibrul limită presupun o suprafață de cedare cunoscută apriori. Echilibrul în lungul acelei suprafețe este asigurat de raportul dintre mărimea unei componente a eforturilor (tangențiale, de întindere, etc.) și rezistența la acest tip de solicitare. În cazul nostru, am vorbit de metoda bolturilor de echilibru bazată pe sistemul de lucru propus de Ritter și modificată de către Zamfirescu et. al.

Am prezentat de asemenea metoda elementelor finite, la baza căreia stau pe de-o parte posibilitățile de abordare a unei game largi de probleme din domeniul mecanicii mediului deformabil, iar pe de altă parte, nivelul tot mai ridicat al performanțelor tehnicii de calcul.

Metoda elementelor finite prezintă trei faze de analiză și anume:

- discretizarea mediului continuu într-o rețea de elemente finite interconectate în noduri

- analiza pe element care utilizează atât relațiile între deplasările între-un punct curent al elementului și deplasările nodale, dar și relațiile între forțele și deplasările nodale.
- Reasamblarea elementelor

În cadrul metodelor directe am detaliat metoda particulelor interconectate.

În capitolul 4, monitorizarea microseismică a cavernelor rezultate în urma exploatării sării în soluție am dezvoltat pe larg modul de instalare, funcționare, procesare și rezultatele obținute în timpul monitorizării.

Proiectul de monitorizare microseismică a început în anul 2005, când s-au pus în funcțiune 12 foraje menite să monitorizeze din punct de vedere microseismic câmpurile I și II de sonde, cu accent la cea dată pe câmpul II de sonde. Pentru calibrarea stației, s-au determinat vitezele undelor P și S, prin două explozii. Forajele erau echipate cu câte trei geofoni, situați la adâncimi diferite (ultimul dintre ei fiind în sare). Informația furnizată de geofoni este transmisă către unitatea centrală – numită paladin, de unde, prin intermediul unui radio și a unei antene (sau sistem de antene), antena dotată cu GPS, informația este transmisă către stația centrală, în timp real. În momentul în care un anumit număr de senzori (număr ales în funcție de specificul zonei) depășesc un prag de energie, aceștia transmit informația către stație sub forma unui TRIGGER, asta prin procesare (adică prin pick-area sau alegerea intrărilor undelor P și S) ajunge un eveniment microseismic. Evenimentul procesat poate fi vizualizat pe o altă interfață de lucru, unde de asemenea pot fi vizualizați și o serie de parametri ai acestuia.

După dezamorsarea câmpului II, sferoidul a fost calat pe zona câmpului I de sonde.

Începând din anul 2007, proiectul de monitorizare microseismică a fost extins, prin adăugarea a încă 14 foraje care acoperă și în prezent Câmpurile III și IV de Sonde.

Primele rezultate obținute în urma monitorizării microseismice au fost cele care au vizat monitorizarea câmpului II de sonde. Pentru fragmentarea tavanului cavernei rămasă în acest câmp (parte din vechea cavernă SOCON) au fost săpate 10 foraje dirijate prin care se introducea saramură puțin concentrată pentru a dizolva fragmentat din tavanul de sare. În urma pătrunderii în timp a acestor foraje către sterilul din acoperișul zăcămintului de sare, stația microseismică a înregistrat o serie de evenimente cu cca. 7-10 zile înainte de apariția la suprafață a unui con de surpare (con care punea în evidență faptul că, forajul dirijat a dizolvat un fragment din tavanul de sare).

De asemenea, evenimentele microseismice au precedat aparițiile în teren a unor fisuri care delimitau suprafața viitorului crater.

În data de 14 decembrie 2005, pe stația microseismică s-au înregistrat benzi de evenimente de cca. 3-4 minute care au anticipat cu câteva ore înainte prăbușirea unei părți însemnate din tavanul de sare al cavernei SOCON.

De asemenea, la a doua fragmentare masivă a tavanului de sare, petrecută în data de 23 decembrie 2005, stația microseismică a înregistrat începând cu ora 3,15 dimineața benzi continue de evenimente care au anticipat cu cca. 2 ore viitoarea prăbușire.

În Câmpul I de Sonde, evenimentele microseismice au fost destul de răzlețe la începutul punerii în funcțiune a stației, penteru ca după dezamorsarea câmpului ii de sonde, acestea să -și mărească frecvența.

Importanta monitorizarii microseismice prezinta trei directii majore:

1. In primul rand, anticipeaza fenomenele de instabilitate subterane sau de la suprafata terenului
2. In al doilea rand, rezultatele obtinute pot fi utilizate in studiul starii de eforturi si deformatii
3. Si in al treilea rand, dar nu neaparat ca importanta, este un factor stabilizator pentru populatia zonei. Acest factor este unul esential avand in vedere faptul ca exploatarile de sare prin dizolutie din Romania se gasesc in zona populate.

În capitolul 5 am prezentat modelarea numerică a stării de eforturi și deformații în jurul cavernelor rezultate ă urma dizolvării sării în soluție.

Primul pas facut a fost alegerea a patru secțiuni reprezentative pentru acest câmp, dupa care acestea au fost am introduse în programul de modelare cu element finit – plaxis.

Cele patru secțiuni au fost trasate astfel încât să surprindă atât zonele tavanului golului comun al sondelor din Campul i de Sonde în care sarea era inexistentă pe suprafețe largi și zone în care grosimea sării era redusă, dar și zonele marginale ale cavernei. De asemenea, am introdus pe secțiuni și golurile învecinate cavernei din câmpul i de sonde care influențează starea de eforturi din jurul golului comun.

Prin prisma faptului că evoluția proceselor din câmpul i de sonde a avut 3 momente de timp importante și anume, momentul 14 iulie – momentul în care nu s-a mai introdus saramură în cavernă, nivelul a fost lăsat liber – cota 285 m, momentul 28 iulie – moment în care s-a început scăderea nivelului prin intermediul celor 3 pompe instalate – cota 278 m și momentul 7 august – momentul înainte de prăbușire – cota 252 m, am analizat cele patru secțiuni considerate la aceste 3 momente importante de timp.

S-a plecat pentru cele patru sectiuni de la un model bidimensional, element cu 15 noduri. Discretizarea rețelei s-a făcut la 1 m, iar domeniul a fost extins cu cca. 500 m, stanga – dreapta – bază pe cele patru secțiuni pentru ca limitele domeniului să nu influențeze rezultatele obținute.

În ceea ce privește parametrii geomecanici, am avut la dispozitie două serii de determinări de laborator, un set realizat in 1996 și un set realizat in 2006. Parametrii de deformabilitate identificati au fost aceia pentru care diferențele între valorile calcualte și măsurate ale deplasărilor verticale pentru cota 285 m au fost minime.

Pentru momentul 14 iulie 2009 – la cota nivelului de 285 m, rezultatele obținute pe cele patru sectiuni analizate a fost următoarele:

### Pe secțiunea 1

- Deplasările verticale maxime au valori de 0,61 cm. Acestea sunt concentrate cu precădere în steril, deasupra golului comun, având forma unor bolți – în corelație cu modelele bazate pe echilibrul limită dar și cu mecanismul de cedare, ca o succesiune de bolți de echilibru, dezvoltate de jos în sus. Scufundările sunt discontinuu distribuite doar în zona golului comun, spre deosebire de Câmpul II de sonde, unde erau extinse pe toată zona.
- Eforturile principale efective sunt concentrate în pilieri și în acoperișurile golurilor.
- Deformațiile principale sunt concentrate cu precădere în steril și pe pilierii intercamerali
- Efortul relativ de forfecare pune în evidență zone posibile de cedare în pilieri în în tavanul golurilor și sunt corelabile cu evenimente microseismice care prezintă aceleași zone de concentrare.
- Din distribuția punctelor cu risc de rupere la forfecare se poate observa o concentrare a acestora în pilierii intercamerali și în zonele de colț, iar în ceea ce privește distribuția punctelor cu risc de rupere prin întindere, acestea au o frecvență ridicată în tavanul golurilor și către suprafața terenului. Aceste puncte caracterizate prin risc de rupere la întindere prezintă o corespondență vizibilă la suprafața terenului, prin intermediul fisurilor aparute și dezvoltate odată cu scăderea nivelului sămării în caverna.
- Factorul de stabilitate determinat pe această secțiune are valoarea 1,39

### Pe secțiunea 2

O secțiune marginală, în care extinderea golului este destul de redusă, în care sarea în tavan are grosimi mici, dar încă este prezentă, iar sterilul de deasupra tavanului are grosimi mai mari

- Deplasările verticale sunt mult mai mici în raport cu cele înregistrate pe secțiunea 1. Aici trebuie avut în vedere, pe lângă dimensiunile golului și grosimea sterilului din acoperișul zăcămintului și golurile învecinate, care prezintă dimensiuni reduse pe această secțiune.
- Eforturile principale efective, de asemenea au valori mai reduse decât pe secțiunea 1 tot din aceleași considerente ca și în cazul deplasărilor.
- Deformațiile principale sunt concentrate în tavanul golului, cele din pilieri sunt mai reduse decât pe secțiunea 1, datorită deschiderii golurilor învecinate surprinse pe această secțiune
- Efortul relativ de forfecare are o distribuție mult mai uniformă pe tavanul cavernei și în pilierii intercamerali. Prezenta acestuia în zonele de colț evidențiază foarte bine pe această secțiune concentrările de eforturi care sunt distribuite atât în pilieri cât și în tavanul golului.
-

### Pe secțiunea 3

Secțiune similară secțiunii 2

- Deplasările verticale sunt ușor mai mari decât pe secțiunea 2
- Ordinele de mărime ale eforturilor sunt comparabile cu cele rezultate pe secțiunea 2

Pe secțiunea 4

- Deplasarea verticală maximă determinată este de 0,763 m, cea mai mare valoare înregistrată dintre cele patru secțiuni. Acest fapt se datorează poziționării acestei secțiuni vis-a-vis de zonele din tavanul golului în care sarea lipsește sau are grosimi mici și de asemenea, prezenței golurilor învecinate, mult mai numeroase decât pe celelalte secțiuni și cu o deschidere a golurilor învecinate mult mai mare.
- Deși deplasările verticale sunt mai mari decât cele înregistrate pe secțiunea 1, valoarea maximă a efortului principal efectiv este mai redusă decât cea determinată pentru secțiunea 1. Acest fapt se datorează grosimii mai reduse a sterilului de deasupra golurilor reprezentate pe această secțiune, deci o sarcină geologică mai mică.
- Zonele în care distribuția efortului relativ de forfecare tinde către 1 sunt mult mai extinse pe această secțiune, din cauza cumulării interacției dintre deschiderile mai mari ale golurilor și grosimii mai reduse a pilierilor intercamerali.
- Factorul de stabilitate are valoarea de 1,22, cea mai mică valoare determinată la acest moment.

Pentru al treilea moment în care s-au analizat cele patru secțiuni și anume, momentul 7 august când cota nivelului saramurii era de 252 m, rezultatele obținute sunt următoarele:

Pe secțiunea 1:

- Valoarea maximă a deplasării verticale este de 1,07m, în creștere față de celelalte două momente analizate. Forma bolților de reprezentare a deplasărilor se păstrează.
- Eforturile efective au valori asemănătoare cu cele determinate la cele două momente de timp.
- Eforturile relative de forfecare și-au existins suprafețele cu valori care tind spre 1, punând în evidență o lărgire a zonelor cu posibilități de cedare.
- Deformațiile principale au crescut ca valoare, de la cca. 2% la nivelul 285 m, la 7,85 %, la momentul 252 m.
- Factorul de stabilitate are o valoare de 1,075, punând în evidență instabilitatea sistemului la acest nivel de 252 m.

Caracteristicile secțiunilor 2 și 3 la acest moment, s-au modificat, însă nu esențial. Deplasările verticale au crescut ușor cu cca. 7-11 cm.



Pe secțiunea 4:

- Valoarea maximă a deplasării verticale este de 1,27 m, cea mai mare valoare determinată.
- Zonele cu valori care tind spre 1, determinate de distribuția eforturilor relative de forfecare s-au extins, evidențiând lărgirea zonelor cu posibilități de cedare
- Factorul de stabilitate determinat este ușor subunitar – deci, momentul simulat pe această secțiune se găsește în apropierea unui colaps.

Analiza efectuată pe cele patru secțiuni la cele trei momente de timp considerate este prezentată în teză în detaliu, dar aici am prezentat rezultatele cele mai importante.

Aș mai adauga faptul că pe fiecare secțiune analizată la cele trei momente de timp, s-au ales o serie de puncte distribuite în mod uniform și selectiv pe conturul golului de dizolvare (în sensul de a surpinde pilierii, limitele și zonele din tavan fără sare) și pentru aceste puncte s-au reprezentat curbele de efort-deformație.

De exemplu, pentru secțiunea 4 (care a rezultat că este cea mai instabilă) s-au selectat puncte A ÷ J și s-au obținut, în mod automat reprezentarea curbelor de efort – deformație. Se observă o delimitare clară a punctelor aflate în sare de punctele din steril precum și faptul că în punctele din steril aflate în imediata apropiere a tavanului golului deja a apărut cedarea.

Corelând factorii de stabilitate determinați pentru cele patru secțiuni la cele trei momente de timp analizate, după cum se poate observa, secțiunile 1 și 4 prezintă instabilitate la momentul în care nivelul a fost de 252 m. Acest fapt a fost pus în evidență de evenimentele din teren: cedarea a început oarecum la intersecția celor două secțiuni și pentru nivelul de 252m.

Din punct de vedere al deplasărilor verticale determinate, maximele înregistrate pe cele patru secțiuni se găseau la nivelul tavanului golului, spre suprafață ele scăzând ușor. Astfel, după cum se poate observa, deplasările maxime înregistrate la nivelul tavanului golului s-au înregistrat pe secțiunile 1 și 4, la cota nivelului de 252 m, și au valori de 0,47 – 0,52 m (transformate în valori absolute – cu punctul de plecare din momentul 14 iulie – la cota nivelului de 285 m).

Extrăgând tabelele din program cu distribuția deplasărilor verticale calculate în nodurile elementelor și reprezentând aceste deplasări pe secțiunile geologice, s-au găsit deplasările calculate la suprafața terenului pe cele patru secțiuni la cele trei momente de timp analizate.

Se poate observa că valorile maxime determinate astfel se corelează cu valorile maxime ale deplasărilor determinate în urma ridicărilor topografice efectuate în teren, cu precizarea că reperul S1, care a înregistrat cea mai ridicată tasare, se găsește ușor în nordul sondei 358, cu 1-2 m sub intersecția secțiunilor 1-4.

Pe aceste două secțiuni (secțiunile 1 – 4) s-au înregistrat tasările cele mai mari, pe secțiunea 4 atingând la cota nivelului saramurii de 252 m, valoarea de **1,27 m**.

Prin analiza gradientului curbelor de tasare din Câmpul I, corelate cu curbele de tasare înregistrate în Câmpul II de Sonde, reiese că tasarea din Câmpul I de Sonde, datorată dezamorsării cavernei SOCON este de cca. **0,7 – 0,8 m**. În această situație, tasarea maximă înregistrată în Câmpul I de Sonde, din

momentul începerii exploatării până la faza de prăbușire, la care se adaugă și tasarea datorată dezamorsării Câmpului II de Sonde, ajunge la cca. **2,0 – 2,1 m**.

Rezultatele Modelării numerice cu elemente finite folosind programul PLAXIS:

1. Concordanța între procesele derulate în teren și cele simulate
2. Vecinătatea intersecției celor două secțiuni (1 și 4) este locul unde a început prăbușirea, fapt pus în evidență prin modelarea numerică; factorii de stabilitate determinați pentru cele două secțiuni având valori apropiate de 1.
3. Posibilitatea utilizării rezultatelor în alte zone de exploatare a sării, zone instabile din punct de vedere geomecanic

În capitolul 6, am încercat o corelare a parametrilor rezultați în urma monitorizării integrate.

Astfel, am analizat în detaliu patru tipuri de măsurători: cavernometrie, evoluția tasărilor, evoluția nivelelor și seismicitatea indusă.

Corelarea rezultatelor obținute prin monitorizare integrată (cavernometrie, deplasări, nivele, microseismică) s-a realizat pentru intervalul 2006 – 2009, iar pentru intervalul 15 iulie – 7 august, au fost considerate spre analiză și rezultatele obținute în urma modelării numerice cu element finit.

Intervalele de timp analizate au fost împărțite în perioade corespunzătoare măsurătorilor cavernometrice, timpul dintre aceste măsurători fiind cel mai lung în comparație cu celelalte tipuri de monitorizare (microseismice – monitorizare continuă, deplasări – monitorizare zilnică, nivele – cu ritmicitate de 1-2 ori pe zi, ajungându-se în ultima parte a intervalului monitorizării, la măsurători pe intervale de 20-30 minute).

Având în vedere volum mare de date analizate la diferite perioade de timp, mă voi opri în prezentare la două din aceste momente.

De exemplu, în luna august 2007, s-au înregistrat câteva benzi de evenimente, semnificative ca magnitudine și energie degajată. Evenimentele au fost localizate cu precizie în zona cavernei din câmpul I de sonde. Aceste evenimente au precedat o desprindere a unui volum de cca. 25000 m<sup>3</sup> din tavanul de sare de deasupra golului comun al sondelor din Câmpul I de Sonde. După ce s-a determinat pe baza măsurătorilor cavernometrice efectuate ca urmare a alertării date de stația microseismică că s-a desprins acest volum important din tavanul cavernei, s-a luat decizia să se introducă saramură în sistem pentru a stabiliza nivelul.

Corelând evoluția volumelor desprinse din tavanul golului comun cu frecvența evenimentelor microseismice, putem concluziona, că maximele de frecvență ale evenimentelor preced punctele în care volumele desprinse cresc brusc.

Al doilea interval pe care-l voi prezenta este intervalul iulie – august 2009. În data de 8 august 2009, în jurul orei 0:15, pe stația microseismică s-a înregistrat o bandă de evenimente care au anticipat începerea prăbușirii survenită în jurul orei 4 dimineața.

În Câmpul I de Sonde, banda de evenimente apărută în prima parte a zilei de 8 august a fost redusă ca timp. Evenimentele apărute prezentau forma caracteristică de rupere în steril, motivul fiind foarte simplu, în tavanul golului, pe suprafață mare, nu mai exista sare.

Evenimente apărute mai apoi, pe parcursul zilei de 8 august și în zilele următoare au fost în marea lor majoritate datorate fenomenului de extindere a craterului și taluzare.

În luna septembrie s-au mai înregistrat niște maxime de frecvență a evenimentelor microseismice, maxime ce au precedat extinderea craterului către sudul câmpului I, către sondele 361 și 368. Având în vedere faptul că, grosimea sării din zonele celor două sonde era mare 50 de m, iar trasa evenimentelor apărute sugera o mișcare în steril a acestora, s-a dedus faptul că, de fapt, această extindere spre sud a craterului s-a datorat alunecării pe spinarea sării a rocilor din partea superioară a zacământului de sare. Acest punct de vedere este susținut atât de forma trasei evenimentelor microseismice apărute (nu avem evenimente de rupere în sare), dar și a încă două aspecte, și anume: în primul rând sterilul în acea zonă prezenta o pantă ușoară de cca. 10-15 grade, pe de o parte, iar pe de altă parte, la suprafața terenului au apărut izvoare de apă dulce, ceea ce sugera o saturare a materialului steril care a favorizat de asemenea alunecarea.

Așa cum spuneam vis-a-vis de rezultatele obținute din modelarea numerică, deplasările absolute calculate sunt corelabile cu deplasările absolute determinate în urma ridicărilor topografice.

În ceea ce privește valorile reale ale deplasărilor determinate din modelare și a celor măsurate în teren, diferența este determinată de **tasările induse de Câmpul II de Sonde**.

## CONCLUZII

1. Corelarea deplasărilor verticale pe o perioadă de cca. 25 ani cu deplasările verticale obținute prin modelare a reliefat efectul Câmpului II, acesta inducând scufundări de **0.7-0.8m** în Câmpul I
2. Concentrările de evenimente microseismice din anul 2007 în zona pilierilor intercamerali se suprapun peste zonele de distribuție maximă ale deviatorului, ceea ce conduce la concluzia că sursa evenimentelor microseismice este dată de dislocații de forfecare.
3. Desprinderile de volume importante din tavanul cavernei sunt precedate de apariții importante de evenimente microseismice
4. Evenimentele microseismice înregistrate în perioada 2006 – 2007 sunt localizate cu precizie în sare, fie în tavan, fie în pilierii intercamerali, pentru că, începând din septembrie 2007 (după ce sistemul a fost stabilizat prin introducerea de saramură concentrată), evenimentele în sare și-au redus frecvența.

În **capitolul 7** am prezentat câteva soluții de dezamorsare a situațiilor existente în zonele unde sare se exploatează prin disoluție.

Mă opresc la una din aceste soluții și anume fragmentarea tavanului golurilor instabile și prăbușirea controlată a acestora, corelată cu exploatarea sării care să acopere costurile deschiderii unor astfel de lucrări.

În consecință, am analizat cele patru exploatări de sare prin disoluție din România, Ocnele Mari, Tg. Ocna, Ocna Mureș și Cacica, din punctul de vedere al posibilității de aplicare a acestei soluții.

În urma analizelor de cost/investiții s-au determinat zonele favorabile aplicării unei astfel de metode pentru cele patru exploatări.

Parametrul considerat comun pentru cele patru exploatare, parametru care determina standardele de cost, este grosimea sterilului din partea superioara a zacamantului de sare. Astfel, din calcule a reiesit ca aceasta metoda poate fi aplicata cu succes in zone in care sterilul nu are grosimi mai mari de 70 de m.

De asemenea, tot în acest capitol am prezentat soluții de ecologizare a zonelor deafectate.

## **În CONCLUZIE**

În lucrarea de față am încercat în primul rând să pun în evidență aspectele teoretice care trebuiesc avute în vedere atunci când se încearcă rezolvarea unei astfel de probleme. Cunoașterea acestor aspecte este primul pas în vederea găsirii unor căi de rezolvare. În al doilea rând am vrut să pun în evidență importanța monitorizării stricte din timpul exploatării și după închiderea sondelor de exploatare a sării prin dizolvare. Un alt punct important pe care l-am avut în vedere a fost monitorizarea microseismică, un lucru unic pentru România dar utilizat frecvent pe plan mondial, în ceea ce privește exploatările de sare în soluție.

Am încercat pe cât posibil să îndeplinesc cel mai important obiectiv din cele propuse inițial, obiect care le înglobează și pe celelalte amintite la începutul acestei lucrări și anume, posibilitățile de utilizare a rezultatelor și în alte zone instabile.

Din punct de vedere al aplicabilității în alte zone al unui astfel de sistem de monitorizare integrată cu corelarea parametrilor mășurați sau determinați prin modelarea numerică, așa spune că se poate aplica și în alte zone, ținând cont, evident, de specificul fiecărei zone în parte.

Faptul că experiențele trăite de noi la Ocnele Mari sunt motiv de admirație, dar și de un pic de invidie printre cercetători din Germania, Franța, America, Canada, putem spune că am beneficiat de o șansă unică; șansa de a vedea, de a experimenta, de a înțelege, niște fenomene cu care nu te întâlnești prea des.