

RAPORT STIINTIFIC SI TEHNIC

Etapa V – Aplicarea metodologiei propuse. Evaluarea rezultatelor. Definitivarea modelului numeric si a metodologiei extinse. Elaborarea documentatiilor stiintifice

REZUMATUL ETAPEI

Ultima etapa din proiectul „Metode noi de dezafectare a cavernelor subterane” a fost una cu adevarat provocatoare, de la inceput pana la sfarsit. Inceputul de etapa ne-a relevat un fapt important, anume acela ca viteza de sedimentare este mult mai mica decat ne-am asteptat. Din acest motiv, am redus inca de la inceput costurile aferente etapei si am incercat sa ne pastram in parametri optimi, in conditiile actuale. Prin urmare, am ajuns la concluzia ca este imposibil sa introducem un volum mare de material intr-un timp atat de scurt (tinand cont ca etapele trecute, din cauza finantarii reduse, am fost intarziati in aceasta privinta). Astfel ca, a trebuit sa refacem toate calculele de disponibilitati, de stabilitati, si a trebuit sa ne adaptam intr-un timp scurt la noile conditii.

Din fericire, am avut motive care ne-au determinat sa consideram la inceputul acestui an ca proiectul va fi continuat cu succes si in aceste conditii.

Iata care au fost acete motive:

- Din punct de vedere tehnic, pe masura ce a continuat procesul de rambleiere al cavernei sondei 361 (sonda apartinand Campului II de Sonde – Ocnele Mari – Valcea), am constatat in anul precedent o scadere a vitezei de sedimentare, fata de calculele initiale, fapt ce ne obliga la diminuarea ritmului de introducere al amestecului (saramura si material solid) in caverna sondei 361; acest fapt nu disturba cu nimic testarea metodei de dezafectare.

- Cresterea vitezei de rambleiere pentru acest an, ne-ar putea crea probleme, de genul infundarii coloanei de foraj, probleme pe care le-am avut si anul anterior; acest fenomen se amplifica pe masura ce urcam nivelul rambleului din caverna. La inceputul anului ne-am propus sa mergem pe un procent de rambleiere mai mic (de 25%) si sa lucram asigurator, pentru a nu mai intampina problemele din trecut.

- Din punctul de vedere al stabilitatii cavernei in cauza, fapt pe care l-am avut in vedere la inceputul proiectului, suntem deja in apropierea tintelor pe care ni le-am propus la inceput, in sensul in care, factorul de siguranta minim calculat avea valori usor sub 2 la inceputul anului 2016. Mentionam ca in campurile active de sonde de la Ocnele Mari, la exploatare se lucreaza cu minim 2 – valoarea pentru factorul de siguranta. In conditiile in care noi am continuat rambleierea in acest an, intr-un ritm chiar mai bun decat in anul precedent, s-a realizat o crestere destul de buna a factorului de siguranta, factor ce a depasit valoarea 2.

Plecand la acest preambul, si analizand evolutia de facto a etapei cu numarul 5 din proiectul „Metode noi de dezafectare a cavernelor subterane”, putem sa concluzionam ca am dus la bun sfarsit ceea ce ne-am propus la inceput de an.

Procesul de rambleiere a continuat cu succes, mai mult de atat, am reusit chiar sa depasim planificarea initiala de etapa (crescand volumul propus de material introdus in caverna), si sa crestem totodata factorul de siguranta zonal.

Rezultatele obtinute sunt si ele edificatoare, si cu siguranta vor fi punct de plecare pentru situatii similare, cel putin din Romania. Noi, partenerii implicati in proiect, am gasit deja aplicabilitate intr-o prima faza pentru rezultatele proiectului, pe situatii similare din Campul III Lunca – Ocnele Mari. Exista de asemenea posibilitatea certa de aplicare a metodei testate prin acest proiect si la exploatarile Ocna Mures si Targu Ocna.

Reamintesc aici ca ideea de baza a proiectului a fost eliminarea riscului de prabusire necontrolata a cavernelor rezultate in urma exploatarei sarii in solutie. S-a dorit in acest sens identificarea unei metode testate de dezafectare care sa elimine prabusirea si care sa aiba aplicabilitate in mai multe zone. Tinand cont ca specificitatile unor asemenea zone sunt aproape imposibil de cuantificat, tinta noastra a fost una destul de inalta.

Nu putem spune ca lucurile au fost perfecte. Ne-am confruntat aproape in fiecare an cu conditii meteorologice extreme (au fost in ultimii doi ani in Valcea coduri rosii de inundatii si zapada care ne-au ingreunat lucrul). Insa, echipele celor trei parteneri au facut tot posibilul sa suplineasca aceste probleme cu efortul de care au dat dovada.

Pe langa identificarea si testarea acestei metode de dezafectare, s-a mai avut in vedere si stabilitatea cavernei 361, sonda pe care noi au utilizat-o pentru testarea metodei. Datorita pozitiei spatiale (sonda este aflata in sudul Campului 1 de sonde – al carui gol comun a fost prabusit controlat in anul 2009), golul sondei 361 (aflat in legatura hidraulica cu un alt gol – cel al sondei 368; volumele celor doua goluri atingand aproape un milion mc), putea sa devina instabil pe termen mediu si lung. Astfel ca, ca obiectiv secundar in acest proiect a fost si stabilizarea acestui gol, obiectiv atins cu succes in urma rambleierii partiale a cavernei sondei care a determinat o crestere substantiala a factorului de siguranta.

Pentru ca, stiam deja din etapa anterioara ca parametrii de siguranta au crescut semnificativ, atat la nivelul proceselor geomecanice analizate, dar si in privinta rezultatelor masuratorilor topografice din zona propriu-zisa si din vecinatati, nu ne-am propus in aceasta etapa cu numarul 5 sa depasim valorile de rambleiere asumate la inceput de etapa. Cu toate acestea, volumele de material introduse in acest an au fost mai ridicate decat cele asumate.

Din acest punct de vedere, obiectivele pe care etapa a V-a le-a avut, au fost pe deplin realizate, chiar daca am fost iarasi ingreunati de vremea nefavorabil, pe alocuri.

As vrea sa suplinez inca o data colaborarea excelenta a celor trei parteneri implicati in proiect care a condus in final la o buna derulare a activitatilor proiectului. Experienta deosebita a partenerilor, inclusiv in alte proiecte comune derulate anterior, buna comunicare si dorinta de reusita, au facut ca acest proiect sa fie dus la final cu succes.

DESCRIEREA STIINTIFICA SI TEHNICA

Activitatea 5.1 - Lucrarile de dezafectare prin umplere a cavernei sondei 361

In cadrul activitatii 5.1., "Lucrarile de dezafectare prin umplere a cavernei sondei 361", s-a continuat procesul de rambleiere al cavernei sondei 361, ca parte a obiectivelor specifice ale proiectului. Plecand de la o analiza obiectiva privind procesul de sedimentare, in conformitate cu rezultatele anilor anteriori, inceputul de etapa ne-a gasit in acceptarea unei diminuari a procesului de rambleiere. Partenerii au facut o analiza stricta a ceea ce se intamplase pana in prezent si a ceea ce mai aveam de facut si s-a ajuns la concluzia ca trebuie sa reducem volumul introdus pentru a ne incadra in termenele actuale si pentru a da proiectului un impact pozitiv, atat din punct de vedere calitativ cat si cantitativ. Cu alte cuvinte, bugetul alocat etapei cu numarul 5 a fost diminuat substantial, in conditiile in care, a scazut volumul propus spre rambleiere. Aceasta situatie a fost determinata de viteza de sedimentare pe care am obtinut-o in anul precedent. Rabat de calitate nu s-a facut, pentru ca, inainte de a propune noii parametri s-au executat o serie de simulari pe volumele propuse a fi introduse in noua schema si s-a ajuns la concluzia ca nu disturbam cu nimic verificarea metodei, principalul nostru obiectiv, precum si acela ca stabilitatea golului cavernei sondei 361 se va afla la finalul proiectului in limite superioare pe termen lung.

Asa cum s-a intamplat si in ceilalti ani, vremea nefavorabila ne-a ingreunat munca de la inceputul anului, iar ploile primavaratice au contribuit si ele la o mai inceata perioada de inceput de etapa. Din fericire, efortul depus de parteneri (in special de SEM Rm. Valcea in prima parte a activitatii), a facut ca lucrarile sa intre pe un fagas normal si sa ne putem continua activitatile asa cum au fost ele prevazute in planul de realizare.

In prima parte a anului 2016, a continuat procesul de rambleiere, proces ce s-a derulat pana spre toamna acestui an. Viteza de sedimentare nu s-a diminuat semnificativ (in special pentru ca s-a intrat intr-o zona in care diametrul cavernei a fost mai mare, deci suprafata de depunere a fost mai mare).

Au fost si probleme pe care le-am intampinat. Ca si in anii precedenti ne-am confruntat cu infundari periodice ale gaurilor de sonde, atat in ceea ce priveste sonda 361 cat si a forajului experimental. Concluzia a fost ca s-au creat dopuri de steril sub acoperisul de sare, lucru confirmat de masuratorile si analizele efectuate in acest sens de partenerul SEM Rm. Valcea.

Pentru ca la nivelul sarii, in partea superioara a zacamentului, exista 3-4-5 lentile de sare (cu grosimi variind intre 2-3 m, pana la peste 10 m), iar legatura dintre golul sondei 361 si golul comun al sondelor din Campul I (gol prabusit in anul 2009, in locul lui exista azi un lac la suprafata terenului si o depresiune extinsa) s-a facut prin intermediul acestor lentile de steril, unele dintre ele sunt desfundate si lasa se se scurga material. E posibil ca in unele zone, grosimea acestor intercalatii de steril sa fie mult mai mare, din pacate, este imposibil de aflat. Datele pe care le avem la dispozitie sunt obtinute prin corelarea unor puncte masurate in forajele vechi de explorare si de exploatare. In aceasta situatie, infiltrarea unei cantitati insemnate de apa dulce din craterul existent in Campul I de Sonde catre golul sondei 361 a activitat de asemenea aceste intercalatii sterile si a antrenat cantitati insemnate de material catre forajul nou, ducand la aparitia periodica a unor dopuri. S-a procedat de fiecare data la desfundarea forajului cu ajutorul instalatiilor de foraj proprii ale celor de la SEM Valcea. Si a aceasta a fost o munca grea depusa de partenerul nostru in proiect, munca care efectiv n-a facut parte din activitatile prevazute in proiect, dar imperios necesara pentru a continua proiectului in conditii optime si a-l finaliza cu obtinerea obiectivelor propuse.

Nu era un secret pentru noi ca vom avea probleme cu acest crater din Campul I, pentru ca, el functioneaza ca un bazin colector al apelor pluviale ce se scurg pe versanti. Excedentul de ploi a facut insa sa creasca dificultatea de interventie si sa ne ingreuneze efectiv munca.

Desfundarea forajului s-a facut de fiecare data prin utilizarea unei instalatii de foraj de mari dimensiuni aflate in proprietatea SALROM. Chiar daca aceste operatii neprevazute in proiect au ingreunat oarecum derularea activitatilor, totusi, am reusit sa pastram un ritm optim, si sa nu ne abatam de la obiectivele noastre. Acest lucru se datoreaza in special implicarii deosebite manifestate de partenerii implicati in proiect.

De fiecare data cand s-au creat aceste probleme de infundare pe coloane, au trebuit refacute instalatiile si circuitele de transport, inasa, am trecut cu succes peste aceste probleme, generate in mare parte de instabilitatile meteorologice ce au generat ale procese la nivelul sterilului acoperitor.

Dupa ce s-au optimizat instalatiile si circuitele, s-a trecut la continuarea operatiunii de rambleiere, si putem chiar sa spunem ca ne-am depasit asteptarile, in sensul in care, volumul pe care l-am introdus a fost usor mai ridicat decat cel planificat la inceputul acestei etape.

S-a transportat in continuare material cu ajutorul mijloacelor auto din zonele prevazute de exploare si s-a introdus in caverna sondei 361, asa cum era planificat.

Pentru transport s-au folosit, ca si in etapele anterioare, autobasculante de 20 de tone, acestea fiind incarca cu ajutorul unor excavatoare si al unui incarcator. In unele perioade ale anului s-a depus un efort considerabil, in special in momentul in care s-a constatat ca viteza de depunere a crescut – in momentul in care am intrat intr-un nivel al cavernei unde diametrul a crescut considerabil.

Pentru introducerea materialului in caverna s-a folosit in continuare o palnie de dozaj instalata la gura forajului, prin care s-a introdus amestecul format din saramura concentrata si material solid. In prima faza a fost folosita saramura preluata din circuitul comun al conductelor SNS RM Valcea (cele care preiau saramura din zonele de exploatare si o transmit catre partenerii comerciali), iar in momentul in care s-a realizat circuitul gravitacional in sistem, saramura a fost preluata din cea extrasa prin procesul de rambleiere (stocata intr-un rezervor din apropierea forajului).

Materialul introdus in caverna a avut aceeasi granulatie, de maxim 25 cm (a fost instalat un gratar pe palnie, care nu permite trecerea unui material cu dimensiuni mai mari), si impreuna cu saramura concentrata a format un amestec. Materialul steril se depune pe vatra cavernei, umpland practic golul acesteia si crescand stabilitatea mecanic a cavernei in timp.

Debitul de lucru a fost reglat in functie de necesitati, pentru ca transportul auto este totusi un transport care nu-ti permite o reglare exacta a cantitatilor in timp. S-a ales transportul auto ca varianta de transport optima, pentru ca, transportul pe banda era mult prea costisitor din punctul de vedere al costului pentru acest proiect. Evident ca, transportul pe banda este mult eficient din punct de vedere al constantei, inasa, niciodata nu poti sa treci peste costuri. Este posibil ca intr-o zona in care materialul este transportat pe distante mai mici, transportul pe banda sa fie mai avantajos. Nu vreau sa devoalez inca de la inceput, dar, deja noi am identificat o astfel de zona, unde transportul pe banda poate fi mai avantajos cantitativ si calitativ pentru implementarea metodei propuse si testate in acest proiect.

Lucrarile din aceasta activitate au continuat intr-un ritm acceptabil, daca luam in consideram perioadele dificile, inasa, din fericire, perioadele dificile din acesta etapa au fost la inceput de an. Incepend din primavara lucrarile s-au schimbat in favoarea noastra, astfel ca procesul de rambleiere a fost continuat cu succes.

Au fost introduse cantitati insemnare de material in caverna, iar in a doua parte a anului, viteza de sedimentare a crescut, fapt ce ne-a determinat sa crestem volumul de material introdus si sa depasim ceea ce ne propusesem la inceput de an.

Operatiunea de rambleiere a cavernei sondei 361 s-a derulat in final in concordanta cu obiectivele prevazute in aceasta etapa din proiect. Cu alte cuvinte, aceasta subactivitate a fost finalizata cu succes.

In ultimele trei luni s-a muncit foarte mult pe teren, toti partenerii participand cu efective sporite pentru a duce la bun sfarsit activitatile prevazute in proiect si pentru a mentine ritmul propus.

Colaj fotografii – Operatiunea de rambleiere a cavernei sondei 361 – Ocnele Mari



CRATERUL DIN CAMPUL I DE SONDE – OCNELE MARI



Colaj de fotografii colectate din timpul procesului de rambleiere, atat din zona de exploatare, cat si din zona forajului.

In anii anteriori, odata cu ridicarea vetrei cavernei, procesul de rambleiere s-a derulat mai greoi, in primul rand datorita scaderii semnificative a vitezei de depunere a sedimentelor. Odata cu inaltarea vetrei, s-a ajuns intr-o zona in care diametrul cavernei este mai mari, fapt ce a condus la cresterea usoara a vitezei de sedimentare si la cresterea in consecinta a volumului de material introdus in caverna.

Chiar daca au fost probleme cu infundarea coloanei forajului pe parcursul acestei activitati, faptul ca viteza de sedimentare a crescut, ne-a permis sa indeplinim obiectivele etapei din acest an si sa finalizam proiectul asa cum ne-am propus.

Activitatea 5.2. Masurarea debitelor de saramura introdusa: Citirea la intervale de timp prestabilite a valorii debitelor de saramura introdusa odata cu materialul steril in caverna, presiunile de lucru precum si evolutia compozitiei chimice a saramurii. Masurarea debitelor de saramura extrase, presiuni de lucru si concentratie. Prelucrarea si sistematizarea integrata a tuturor datelor masurate (hidraulice, hidrochimice, cavernometrice si geomecanice).

Debitul de material solid introdus in sonda a crescut fata de anul precedent la 0,4 - 0,5 m³/min (anul anterior, debitul a avut valori de 0,28 – 0,3 m³/min), acest lucru insemnand in jur de 19-25 m³/h (anul anterior am avut un debit intre 16-19 m³/h). Volumul de saramura concentrata ce a fost introdus in amestecul solid s-a mentinut in limitele 12-18 m³/h, acest lucru reprezentand un procent 40-45% din amestecul introdus.

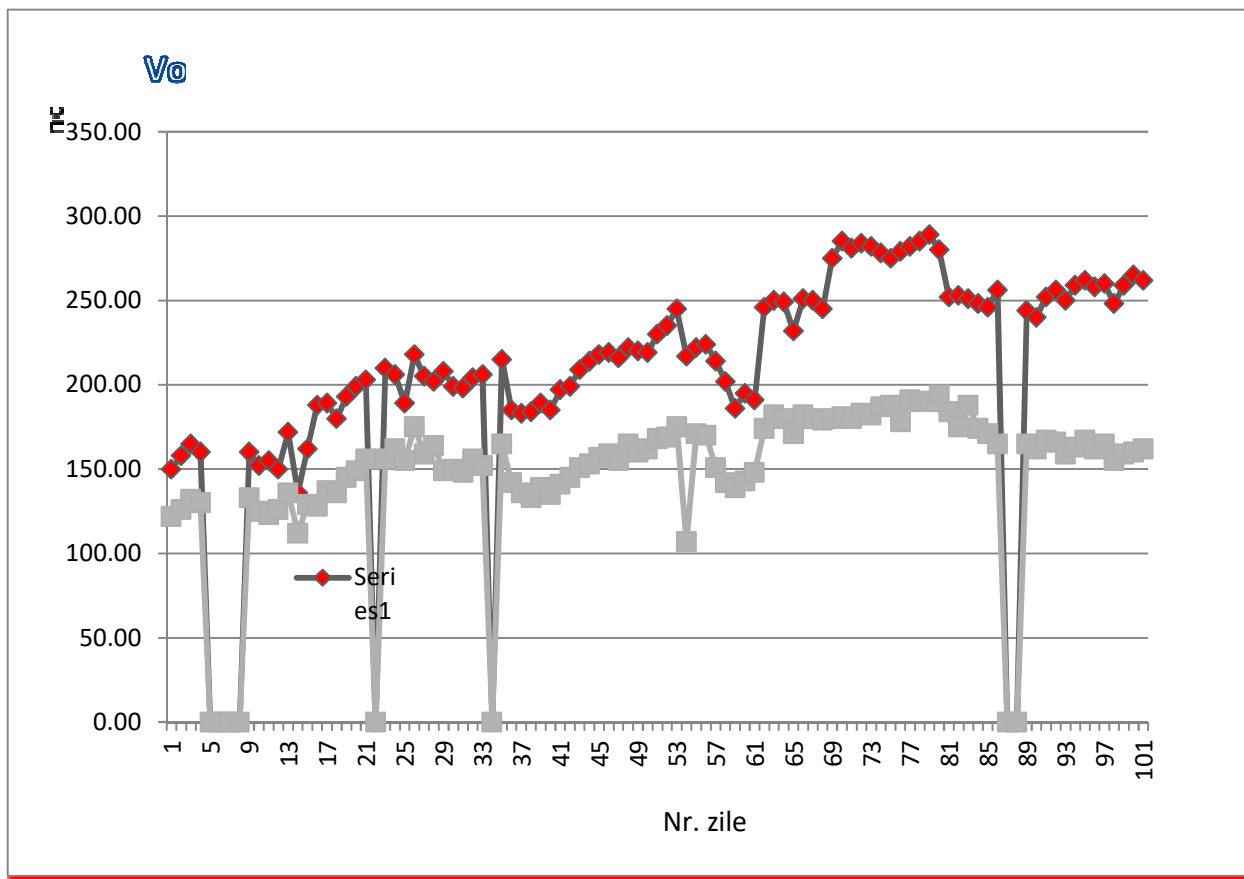
Planul initial al activitatii a fost sa incepem cu un debit redus. Amintesc aici ca am avut probleme la inceputul anului cu infundarea forajului, si nu am dorit sa cream presiune pe sistem introducand brusc un volum mare de amestec. Asadar, in prima luna in care s-a inceput rambleierea, adica in iunie, debitele au fost mai mici. Pe masura ce am inaintat, pe masura ce vatra cavernei s-a ridicat, am intrat intr-o zona a golului in care diametrul a crescut. Acest fapt ne-a permis sa crestem debitele. Astfel ca, in lunile septembrie si octombrie s-au depasit debitele propuse initial, si asta ne-a permis sa introducem un volum mai mare de material decat cel estimat. Cu alte cuvinte, la inceputul anului ne propusesem sa introducem un volum similar celui introdus anul trecut (in jur de 16.543 m³), insa, conditiile din cea de-a doua parte a anului s-au imbunatatit vizibil, fapt ce ne-a permis sa crestem volumul la 20.671 m³.

Chiar daca conditiile meteorologice ale inceputului de an ne-au creat probleme, putem spune ca riscurile asumate din estimarile noastre au fost corecte. Din acest punct de vedere, schimbarea strategiei la inceput de an a fost una extrem de bine calculata, atat calitativ cat si cantitativ, tinand cont ca am reusit sa indeplinim obiectivele propuse.

Regimul de lucru a fost mentinut la 8 ore pe zi, si a avut o destul de mare constanta, cu exceptia weekend-urilor si a altor zile de sarbatoare, dar si a unor intreruperi ce nu au tinut de vointa noastra (conditii meteo nefavorabile, refacerea partiala a unor instalatii, etc).

Cum spuneam anterior, ritmul de lucru a crescut semnificativ in lunile septembrie si octombrie, pentru ca sistemul ne-a permis introducerea unor volume mai mari de amestec in caverna.

In anul 2016, ritmul de lucru a fost usor mai ridicat decat in anul precedent, inasa, atat in 2015, cat si in 2016, pe masura ce vatra cavernei s-a ridicat, viteza de sedimentare a scazut foarte mult. Daca in primul an, un ritm sustinut de lucru ne-a permis sa introducem in caverna un volum de 95.145 m³ de material, in 2015, volumul introdus a fost in jur de 16.543 m³, pentru ca in 2016 sa crestem un pic ritmul fata de anul anterior si sa ajungem la 20.671 m³.

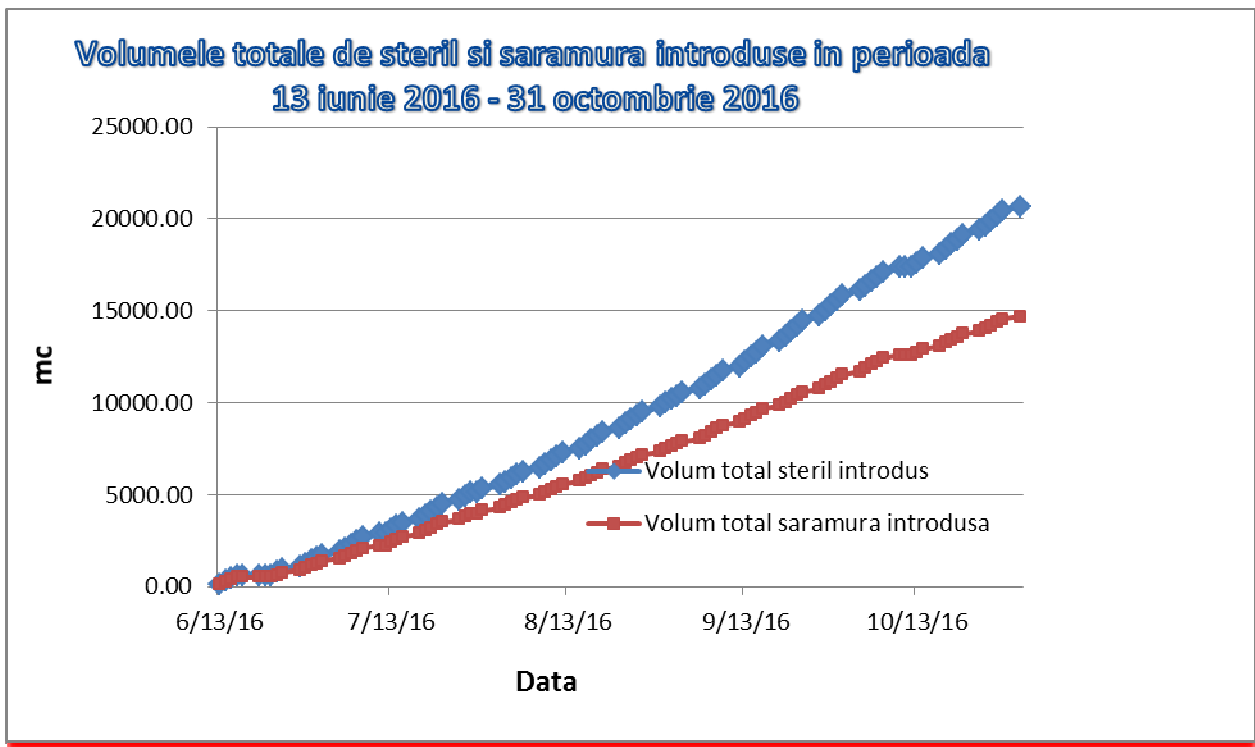


Timpul efectiv de lucru in acest an a fost de 101 zile lucratoare, dintre care doar 93 au fost alocate efectiv procesului de rambleiere. Volumele au crescut, dupa cum am spus si anterior, spre sfarsitul perioadei, in lunile septembrie (in special) si octombrie.

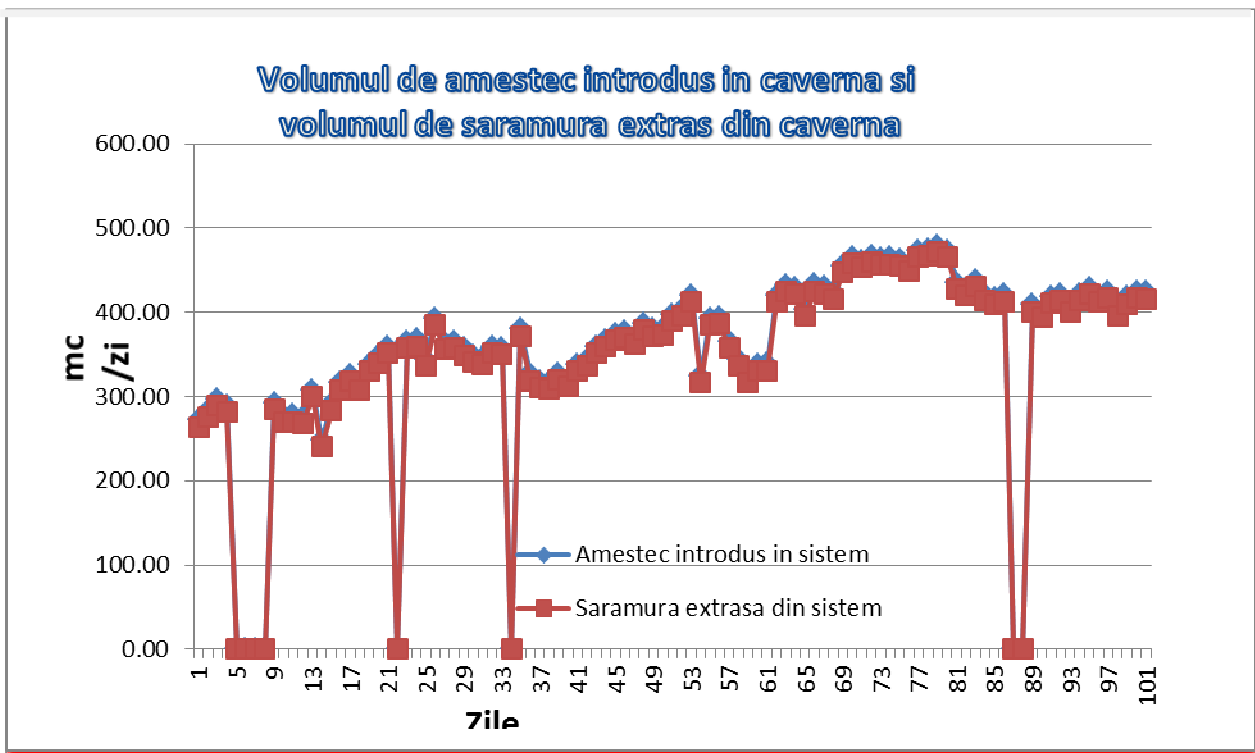
In cele 93 de zile alocate procesului de rambleiere, timp in care s-a introdus amestec steril-saramura in caverna sondei 361, s-a lucrat intr-un regim de munca foarte sustinut, si cu efectiv crescut de personal, din partea partenerului SEM Rm. Valcea. Asta explica si usoara crestere fata de anul precedent a volumului de material introdus in caverna.

Volumul de steril introdus in caverna s-a situat intre limitele de 136 m³ minima si respectiv 289 m³ maxima. Volumul de saramura din amestec a fost situat in limitele 112 m³ minim si 194 m³ maxim.

De mentionat ca s-a lucrat cu saramura concentrata extrasa din caverna sondei 361, la 308 mg/l.



Volumul total de steril introdus in caverna a fost de 20671 m³, iar cel de saramura de 14693 m³. Media de participare la amestec s-a situat in jurul valorilor de 35-45% saramura si respectiv 55-65% steril.



In perioada 13 iunie 2016 – 31 octombrie 2016, volumul de amestec introdus in caverna sondei 361 a fost de 35.364 m³, dintre care, 20.671 m³ steril si 14.693 m³ saramura.

Activitatea 5.3. Corelarea rezultatelor cu datele initiale si cu proiectul: Compararea modelului teoretic cu datele rezultate. Determinarea necesarului de corectii: Corectarea modelului teoretic; Corectarea parametrilor hidraulici; Corectarea parametrilor utilizati

Obiectivul principal al proiectului este eliminarea riscului asociat prabusirilor necontrolate ale unor caverne subterane. Ideea de baza a proiectului a pornit de la rezolvarea unor probleme grave aparute de-a lungul timpului la exploatarile de sare prin solutie de la noi din tara. Cea mai afectata exploatare a fost cea de la Ocnele Mari, loc unde s-au si inregistrat numeroase prabusiri, unde au fost afectate sute de locuinte si suprafete mari de teren. Proiectul a plecat de la ideea de eliminare a riscului asociat prabusirii unor astfel de caverne cu volume uriase, pline cu saramura concentrata sub presiune. Astfel s-a propus o metoda noua de dezafectare, anume aceea de a introduce in caverna un amestec format din steril si saramura concentrata si de a stabili astfel respectivele goluri. S-a ales prin urmare o zona de aplicare, si s-a determinat in urma unor analize calitative si cantitative, sonda 361 (sonda apartinand Campului II de Sonde de la Ocnele Mari - mare parte din sondele acestui camp nu mai exista - ele formau un gol comun de peste 4,6 milioane mc, care s-a prabusit in mai multe etape) ca fiind cea mai propice testarii.

Metoda propusa implica umplerea golurilor acestor caverne cu diverse materiale (acolo unde zacamantul de sare este de calitate si unde nu sunt deformari structurale, pot fi introduse in caverne si deseuri industriale - nu era cazul nostru, pentru ca zacamantul de la Ocnele Mari este traversat de un sistem dens de falii, iar prezenta intercalatiilor sterile face de asemenea posibila circulatia fluidelor si patrunderea lor catre suprafata. Astfel ca, pentru experimentul nostru s-a hotarat sa se foloseasca material steril din zona, avand in vedere ca exista potential in acest sens, ba mai mult de atat, atenuarea unor pante este chiar indicata. Concomitent cu procesul de exploatare a materialului steril urmarindu-se si o semiecologizare a arealului

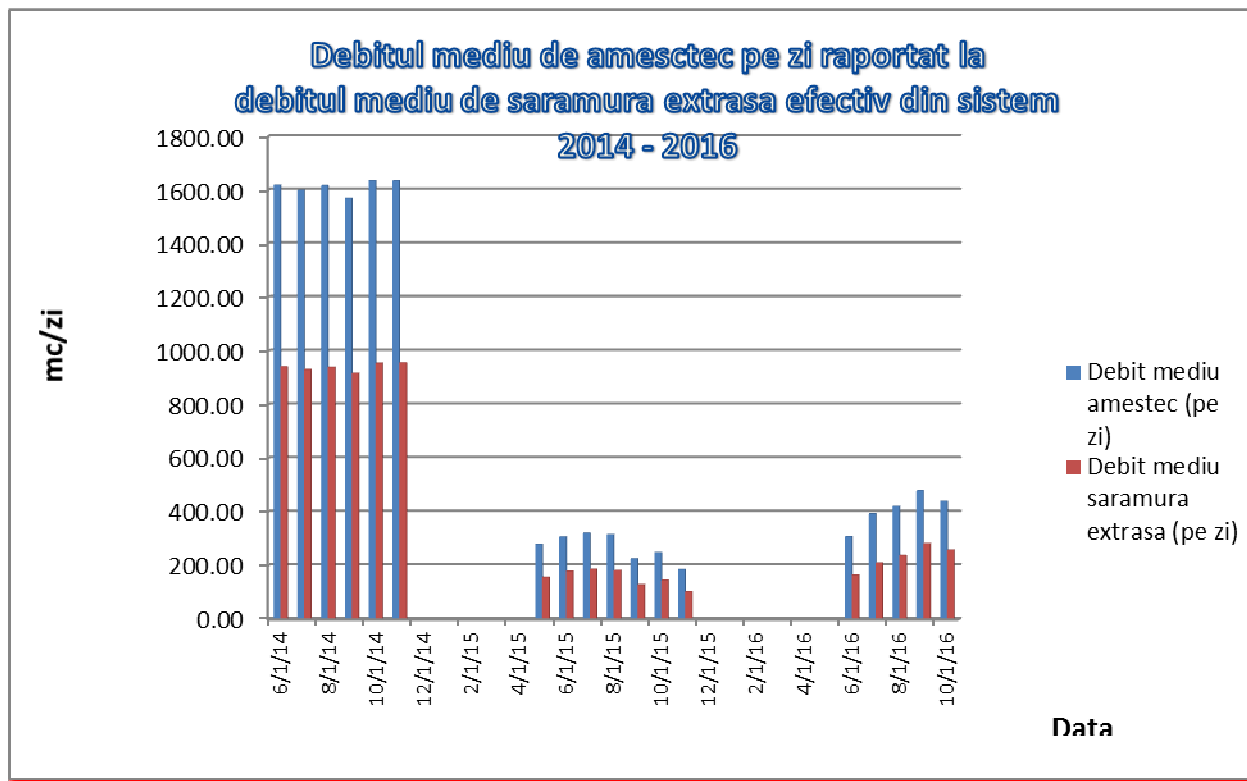
Solutia initiala prevedea umplerea pana la nivel de 50 - 60% a cavernei sondei 361. In primul an de rambleiere, lucrurile au decurs bine, desi am avut destule probleme datorate conditiilor meteorologice, insa in anul urmator (2015) viteza de sedimentare a scazut mult, odata cu ridicarea vetrei cavernei, astfel ca ritmul de introducere al materialului in caverna s-a diminuat semnificativ. Tinand cont de noile conditii, la inceputul acestui an, am hotarat de comun acord cu partenerii sa mentinem ritmul de anul trecut, pentru a nu mai intampina probleme. In 2015, am fost nevoiti sa reducem debitul pentru ca, datorita presiunilor mari se creau dopuri pe coloana forajului. Daca in 2014, debitul mediu de amestec introdus era in jur de 1.300-1.400 m³/zi, in 2015, debitul mediu introdus a fost de 250-300 m³/zi. In 2016, debitul mediu a crescut usor la 400-450 m³/zi. Intr-un model ideal, cu un volum regulat si un material cu granulatie constanta, exista posibilitatea introducerii de material intr-un ritm mult mai accelerat. In conditiile in care volumul este unul neregulat, iar materialul introdus are o granulatie neuniforma (greu de cuantificat), practic trebuie testat sistemul periodic, pentru a adapta parametri la noile conditii.

Coreland parametri hidraulici din perioada de rambleiere, cu datele propuse initial, putem spune ca doar in primul an am fost in grafic din punctul de vedere al vitezei de sedimentare. Pe masura ce materialul s-a depus pe vatra cavernei, viteza de sedimentare s-a diminuat mai mult decat ne-am asteptat. Acesta este si motivul pentru care am luat hotararea la inceputul acestui an de a mentine ritmul de anul trecut si de a opta pentru o rambleiere de 25% si nu una de 50-60% cum prevazusem initial.

Asadar, metoda este viabila, din punct de vedere calitativ, insa, ca timp este supraapreciata, necesitand un interval mult mai mare de timp pentru a ajunge la un grad de umplere de 50-60%. Din punctul de vedere al stabilitatii, practic, la un grad de umplere de peste 25%, factorul de siguranta al cavernei depaseste valoarea 2. Aceasta valoare reprezinta o valoare sigura, daca tinem cont ca in prezent, sondele de exploatare active functioneaza pe un grad de siguranta de minim 2.

Activitatea 5.4. Reproiectare. Realizarea modelului final. Asamblarea tuturor datelor culese pana la acest moment si corelarea lor in vederea determinarii modelului final

Modelul numeric a avut drept coordonata factorul de siguranta. De aceea el a fost calibrat pe o zona larga, tinand cont si de golurile invecinate (368 - o alta sonda ce din Campul II legata hidraulic de sonda 361), de tasarea activa de la nivelul zonei (zona activa pentru ca inca suntem sub influenta prabusii din Campul I si II de Sonde. Datele obtinute pe parcursul proiectului au fost analizate in contextul zonal si comparate intre ele, pentru a obtine in final un model viabil, aplicabil si altor zone similare.

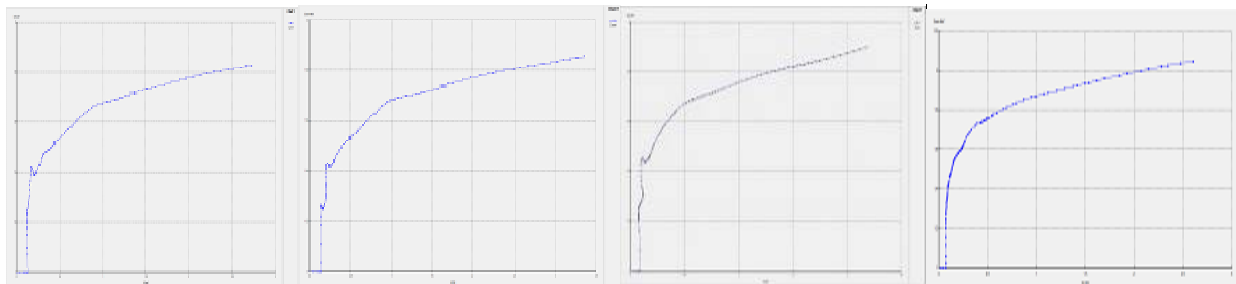


Practic, debitul cu care s-a plecat este cel prevazut initial. Dupa o umplere de cca 20% a cavernei, debitul a scazut de cca. 7 ori, pentru a se stabili la o valoare in jurul valorii de 400 m³/zi. Mentinand acest ritm, (desi el va mai scadea pe parcurs, cu cat vatra se ridica) umplerea la un nivel de 50-60% ar dura in jur de doi ani, peste nivelul actual. Acesta a fost motivul pentru care, la inceputul acestui an am luat hotararea sa mergem pe aceasta varianta sigura de debit, care sa nu ne mai creeze probleme, diminuand financiar proiectul, si reducand adecvat volumul de material introdus in caverna.

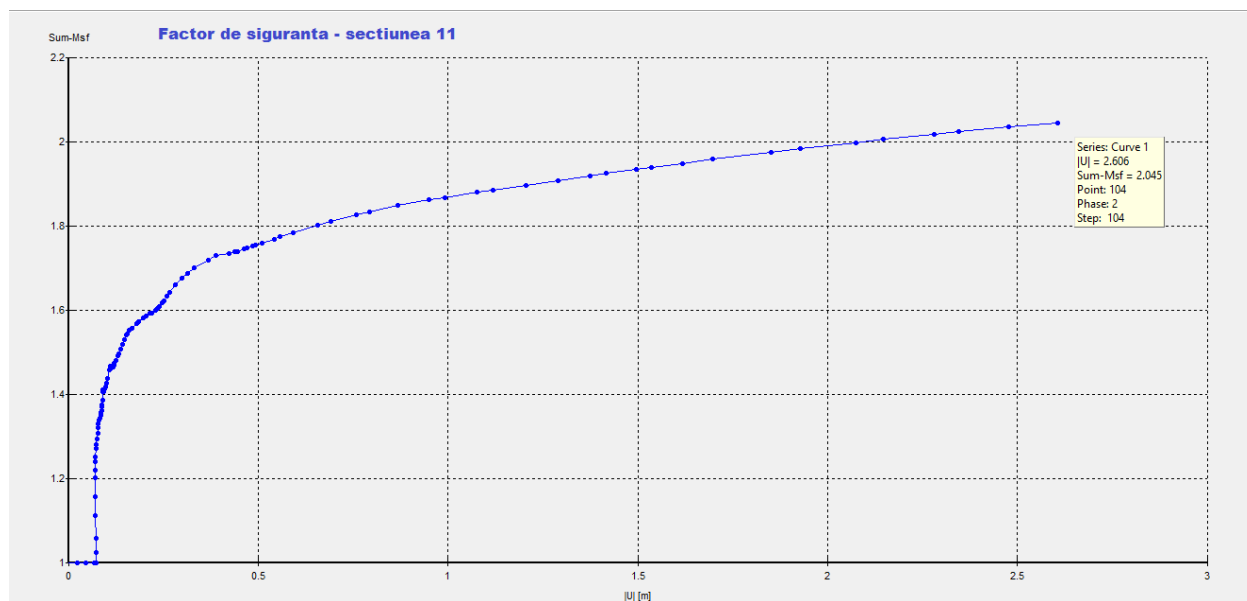
Modelarea numerica s-a realizat utilizand programul Plaxis in aceasta faza. Plaxis este un program de modelare cu elemente finite, pentru care s-a considerat atat problema plana cat si cea asimetrica, radiala. Problema plana este mult mai asiguratorie decat cea asimetrica, pentru ca, presupune prelungirea unui gol cu diametrul cel mai mare al cavernei, la infinit pe o axa. De aceea noi am si efectuat calculele utilizand in final problema plana de lucru. Parametrii utilizati sunt cei folositi initial (modulul de elasticitate = 1,075x10⁷ kN/m², coeficientul lui Poisson = 0,3, coeziunea = 2000 kN/m², unghiul de frecare = 40 de grade. De asemenea, s-au considerat viteza undelor S de 1357 m/s, iar cea a undelor P = 2539 m/s. Aceste viteze se cunosc de la punerea in functiune a sistemului de monitorizare microseismica, in baza unor determinari pe 3 foraje experimentale (in care au fost induse explozii). Pentru sterilul din partea inferioara a zacamentului s-au folosit urmatorii parametrii geomecanici: greutatea volumetrica in stare saturata = 21 kN/m², iar cea nesaturata = 19 kN/m², permeabilitatea in plan de 1 m/zi, modulul de elasticitate E=9,5x10⁴ kN/m²,

coeficientul lui Poisson = 0.25, coeziunea de 500 kN/m², unghiul de frecare de 30 grade, viteza undelor P=140 m/s, iar cea a undelor S=242 m/s. Pentru sterilul din partea superioara a zacamentului de sare s-au folosit urmatorii parametri: aceeasi greutate volumetrica ca la cel din partea inferioara a zacamentului, modulul de elasticitate a fost considerat la 2,75x10⁴ kN/m², coeficientul lui Poisson = 0.25, coeziunea = 100, iar unghiul de frecare = 20 grade. Materialul de umplutura din caverna dezafectata, dar si din baza golului sondei 361 (materialul introdus de noi in procesul de rambleiere) s-a considerat a fi un steril cu proprietati asemanatoare cu cel din partea superioara a zacamentului de sare, exceptie facand coeziunea care s-a considerat a fi 0, iar unghiul de frecare 20 grade (asa cum a rezultat din analizele de laborator realizate in etapa initiala a proiectului).

- Sect 11 - Factorul de siguranta – se observa o crestere a factorului de siguranta de la 1,82 la 2,045

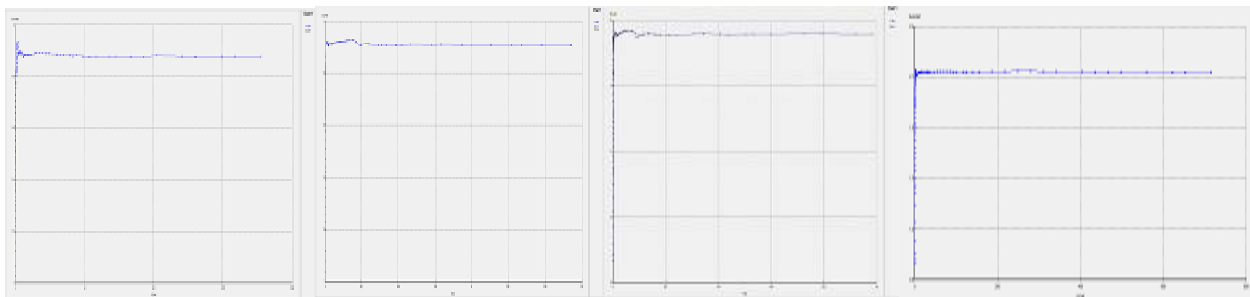


Initial, valoarea FS=1.82 2014 FS=1.86 2015 FS=1.895 2016 FS=2.045

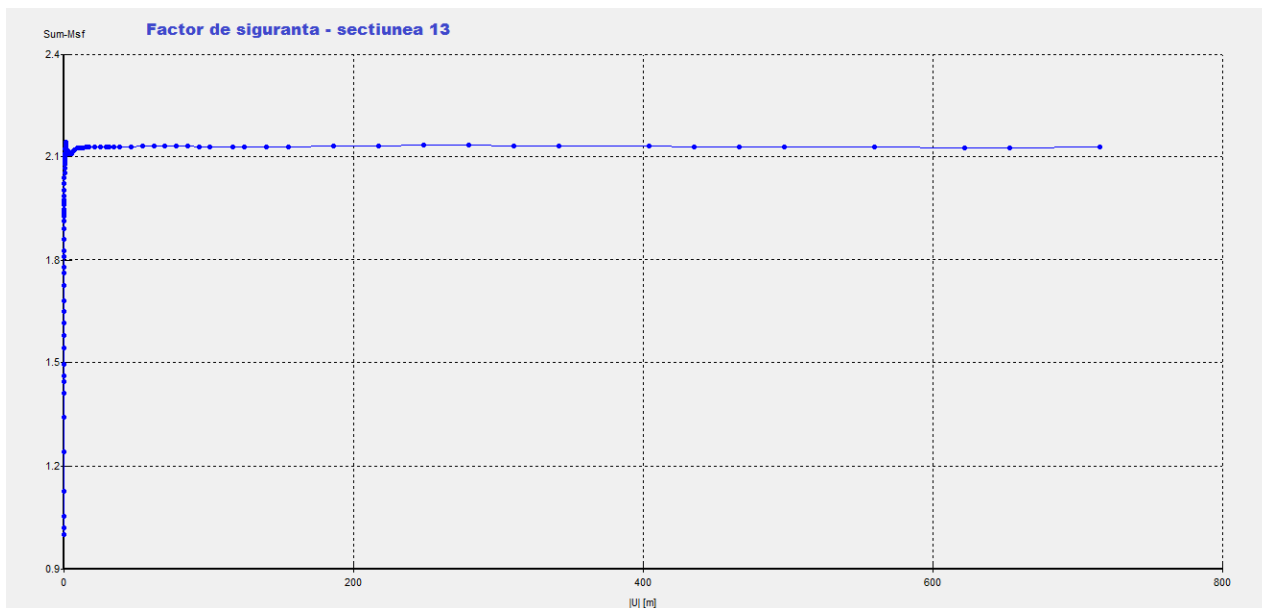


Factorul de siguranta calculat pe sectiunea 11 – in 2016, la finalul proiectului – valoarea lui (Msf = 2,045)

- Sect 13 - Factorul de siguranta – se observa o crestere a factorului de siguranta de la 1,88 la 2,128



Initial, valoarea FS=1.88 2014 FS=1.92 2015 FS=2.038 2016 FS=2.128

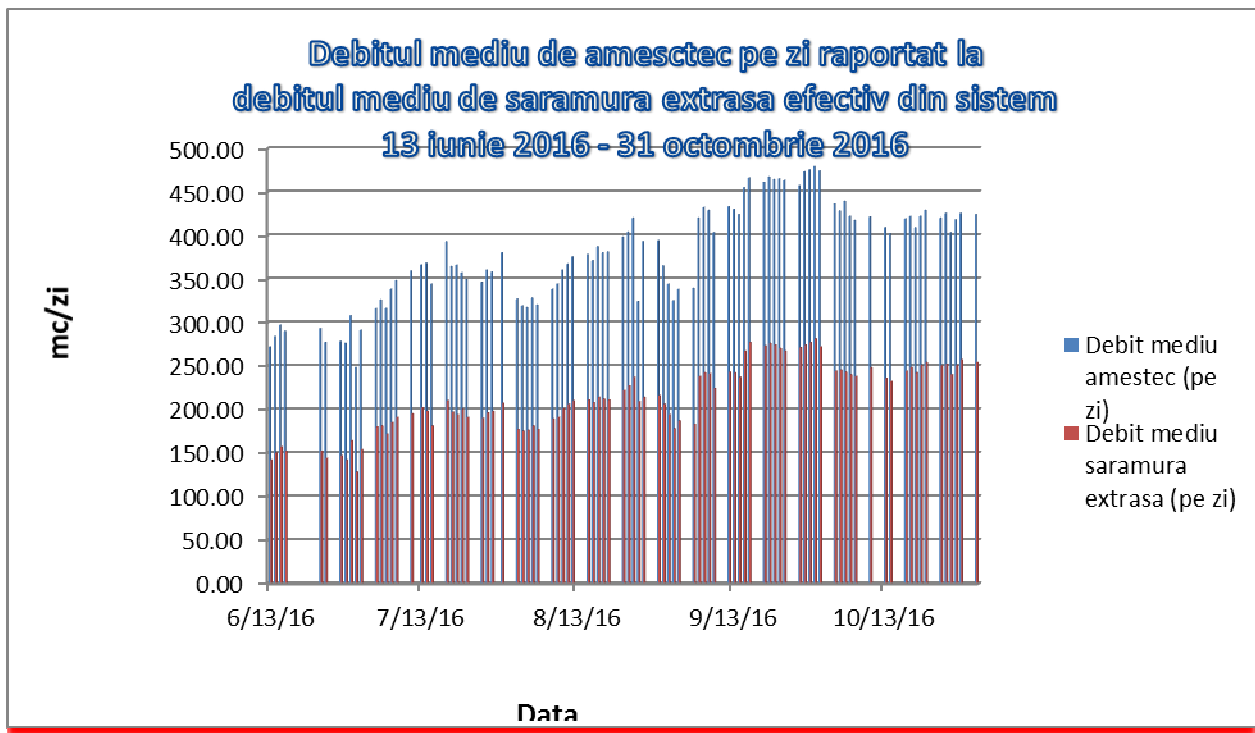


Factorul de siguranta calculat pe sectiunea 13 – in 2016, la finalul proiectului – valoarea lui (Msf = 2,128)

Activitatea 5.5. Monitorizarea sistemului de lucru. Raportari periodice cu privire la evolutia sistemului (presiuni/debite)

Monitorizarea sistemului de lucru a continuat ca si in anii precedenti cu monitorizare cavernometrica, topografica, microseismica, masuratori de nivel in sonde Campurilor I si II (cele ramase in loc), urmarirea vizuala zilnica a suprafetei terenului, etc.

Cei mai importanti parametri avuti in vedere inca de la punerea in functie a sistemului, debitele si presiunile din sistem, au fost permanent masurate in perioada in care s-a introdus material in caverna. Un punct complex al activitatii de monitorizare ce a implicat o participare atenta a fost urmarirea debitelor pe circuitele de intrare si iesire a saramurii. Citirea zilnica a debitmetrelor, la anumite interval de timp, pentru a regla concomitent volumul de material steril introdus in caverna, a fost cel mai important aspect al activitatii de monitorizare.



Acest grafic ne releva un procent de saramura extrasa din sistem echivalent cu volumul de steril introdus in sistem. De asemenea, putem sa constanam ca debitul mediu de amestec introdus in anul 2016 in caverna a avut o medie de 400-450 m³/zi.

Concluzia ferma ce a rezultat a fost urmatoarea: pana la o umplere in jur de 20% din gol debitul mediu de amestec pe zi a avut valori mari, in jur de 1600 m³/zi, dupa ce se trece de acest procent de umplere, debitul scade drastic, la 200-300 m³/zi. Odata cu inaltarea vetrei, in special in partea de mijloc (pentru ca depunerea materialului se face sub forma unei palnii intoarse in jos), debitul poate creste iar. Dupa experimentul nostru, putem sa spunem ca, dupa ce palnia respectiva atinge jumatate din inaltimea cavernei, debitul poate creste, in functie si de panta de depunere a materilului (panta palniei). Evident, sunt multe necunoscute, asa cum spuneam anterior, este greu de precizat cu exactitate granulatia unui astfel de volum de material. Este clar ca orice experiment viitor trebuie sa tina cont de aceste praguri de evolutie.

Activitatea 5.6. Masurarea topografica a ariei extinse inconjuratoare (o suprafata de cca. 100 ha, care include si zona de unde s-a excavat materialul steril) si realizarea unei hartii topografice de detaliu

Pentru monitorizarea suprafetei aferenta lucrarilor de amenajare si rambleiere a cavernei sondei S 361 s-au plantat reperi de urmarire si s-au efectuat mai multe etape de masuratori in vederea determinarii deplasarilor in plan orizontal si vertical inregistrate pe reperi.

In data de 02.06.2016 s-au efectuat observatii vizuale asupra terenului monitorizat, in urma acestei operatii s-au notat reperii distrusi. Tot in iunie 2016 s-au realizat si masuratori topografice.

Lucrari executate in teren:

Masuratori topografice de planimetrie si nivelment

Operatiuni topo-cadastrale: Lucrarea a fost executata in sistem STEREOGRAFIC 1970 si sistem de cote Marea-Neagra, folosindu-se statia totala Leica TC307.

Pentru efectuarea masuratorilor topografice din luna Octombrie 2016, s-a utilizat receptorul Geomax Zenith 25.

Precizia de determinare a punctelor noi radiate a fost de $Dy=0.02$ cm, $Dy=0.02$ cm, iar $Dh=0.020$ cm, iar abaterea unghiulara a fost de 60 sec.

Datele culese din teren au fost descarcate cu software de specialitate si prelucrate cu programe de post-procesare, date care au fost exportate in fisiere ASCII si RINEX, care au fost folosite la intocmirea documentatiei si efectuarea verificarilor.

Lucrarea se incadreaza in sistemul geodezic national – Proiectie Stereografic 1970, iar Sistemul de Alitudini este Marea Neagra 1975.

Analiza si interpretarea rezultatelor

Fenomenele de instabilitate a terenului sunt caracterizate de parametrii procesului de deplasare si deformarea a suprafetei, si anume :

a. Deplasarea orizontala (Dx si Dy) determinata pe reperii de urmarire

Intr-o retea topografica de urmarire, realizata in scopul determinarii deplasarilor orizontale a unor puncte topografice, masuratorile se executa si se prelucreaza in mai multe etape (epoci), intre care se determina deplasarile orizontale pe cele doua axe X, Y ca diferente de coordonate.

Deplasarea orizontala (ΔD) - este schimbarea pozitiei unui punct in plan orizontal dintr-o zona supusa solicitarilor.

b. Deplasarea verticala (Dz) determinata pe reperii de urmarire

Pentru determinarea deplasarilor verticale ale reperilor de urmarire, s-au efectuat masuratori de nivelment, pentru obtinerea cotei (z) pentru fiecare reper.

Aprecierea stabilitatii reperelor, prin masuratori topografice de nivelment, se face prin compararea diferentelor de nivel dintre masuratoarea zero (primara) si masuratoarea curenta.

Deplasarea verticala reprezinta modificarea nivelului suprafetei zonei respective, in raport cu nivelul initial al aceleasi zone.

Este un parametru care poate fi determinat direct prin masuratorile topografice de nivelment.

Deplasarile verticale (ΔZ) se determina prin diferenta intre cota de la masuratoarea curenta si cota de la masuratoarea anterioara.

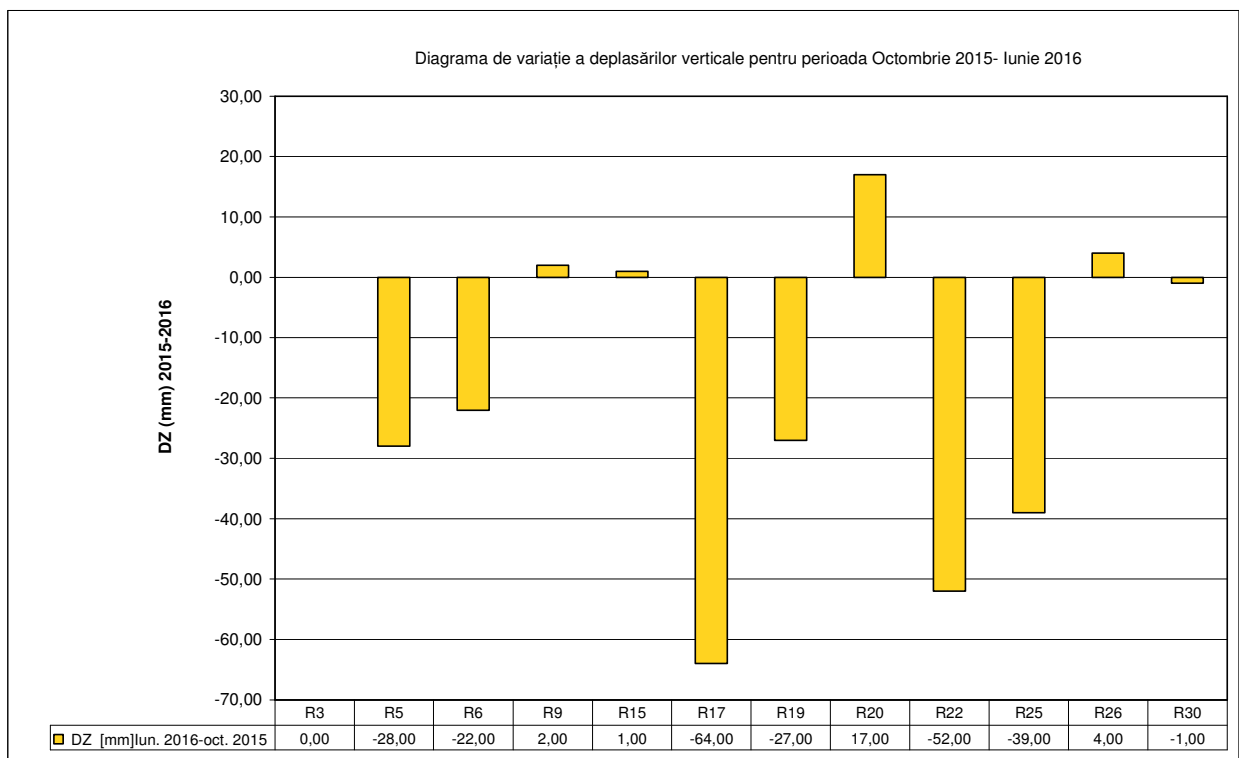
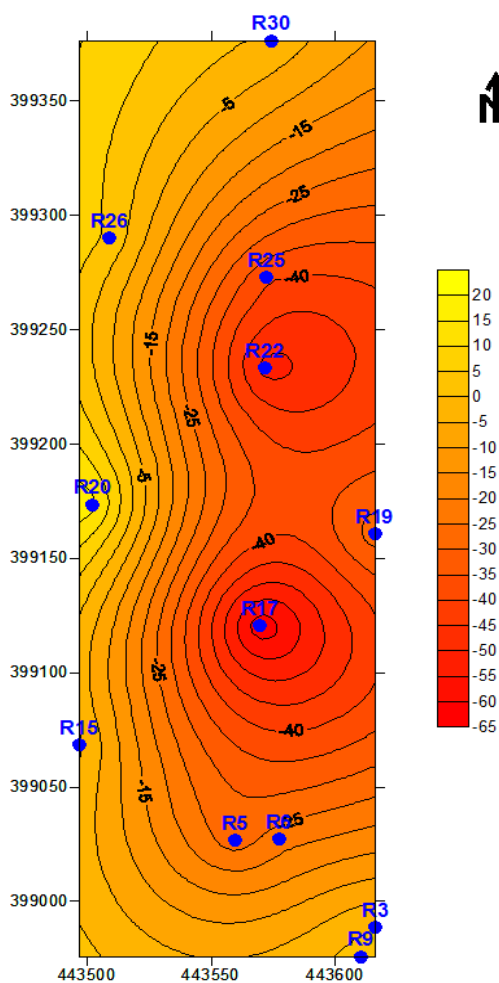


Diagrama de variație a deplasărilor verticale



Scala deplasărilor verticale pentru perioada 2015-2016 DZ (mm)

- În urma observațiilor vizuale efectuate în permanență asupra zonei, nu s-au constatat modificări semnificative față de anul 2015. În perioada analizată, nu s-au semnalat fenomene deosebite. Modificări morfologice semnificative ale terenului s-au produs în zona de prelevare a materialului pentru rambleerea cavernei.

- În baza măsurătorilor topografice făcute pe reperi topografici amplasați în teren, s-a constatat că terenul din zona monitorizată este într-o continuă deplasare atât în plan orizontal cât și în plan vertical.

- Majoritatea reperilor au înregistrat deplasări verticale negative (DZ) în intervalul $[-64,0 \div +4,0 \text{ mm}]$.

- Un aspect important cu privire la deplasările verticale ce s-a înregistrat la aproximativ toți reperi topografici, este faptul că în intervalul dintre ciclurile de observații topografice efectuate (2012-2016) au fost mai multe perioade alternante de secetă și ploi abundente care au condus la modificări ale morfologiei terenului.

- În urma măsurătorilor topografice de nivelment, din data de 16 iunie 2016, s-a determinat cota lacurilor din Campul I de Sonde Ocnele Mari

Z lacuri = 287,960 m

Activitatea 5.7. Precizarea lucrarilor suplimentare necesare care urmeaza sa fie executate in etape/proiecte viitoare (daca va fi cazul) pentru omologarea noii metode de dezafectare, in concordanta cu legislatia in vigoare

In privinta statiei pilot pe care s-a experimentat in acest proiect, statie ce a functionat pe caverna sondei 361 Ocnele Mari, putem sa spunem ca, pentru umplerea efectiva a cavernei, la nivel de 50-60%, asa cum ne propusesem initial in proiect, ar mai fi nevoie de inca doi ani de lucru. Insa, aceasta continuare nu reprezinta un impediment in a considera experimentul nostru unul reusit. In primul rand, metoda functioneaza, pentru ca ea a fost testata de-a lungul a trei ani, chiar daca rambleierea nu s-a executat in mod continuu, totusi, concluzia generala este ca avem o metoda functionala de dezafectare pentru cavernele rezultate in urma exploatarei sarii prin dizolvare.

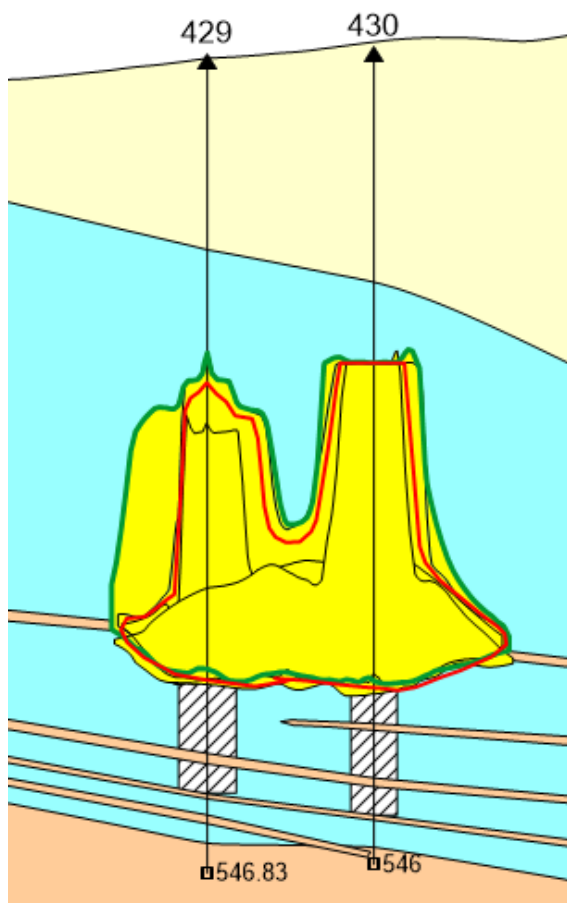
Calcululele noastre au scos la iveala faptul ca primul interval de rambleiere, pe care il putem considera pana la nivelul de umplere de pana in 20%, reprezinta intervalul cel mai accesibil, cand pot fi utilizate debite mai mari, in acord cu diametrul forajului prin care introducem amestecul, in functie de marimea granulele din materialul steril si de volumul cavernei. De asemenea, conteaza foarte mult si forma de transport a materialului. Experimental, in prima etapa a proiectului s-a constatat ca in acest caz, transportul auto este mai eficient decat transportul pe banda. Exista posibilitatea ca in alte locatii, sa fie mult mai avantajos transportul pe banda.

Un aspect important ce trebuie avut in vedere la aplicarea acestei metode intr-un alt areal, este cel al conditiilor meteorologice. Practic este foarte dificil sa introduci material in caverna atat toamna cat si primavara; iarna este imposibil. Noi am intampinat probleme din acest punct de vedere. Au trebuit refacute drumuri, platforme de lucru, instalatii, etc. De asemenea, daca nu aveam la dispozitie o instalatie mare de foraj pe care sa o folosim pentru destuparea periodica a forajului, ar fi intervenit cu certitudine un blocaj iminent.

Un alt obiectiv esential al proiectului nostru a fost stabilizarea golului cavernei 361. Acest obiectiv a fost pe deplin atins. Acest lucru reiese din analiza numerica efectuata prin metoda plana in programul de modelare cu elemente finite. In fiecare etapa s-au simulat pe cateva sectiuni edificatoare, cu grad mare de risc si s-au calculat factorii de siguranta pe masura ce rambleierea cavernei a evoluat. La finalul procesului de rambleiere, factorul de siguranta pe cele doua sectiuni considerate semnificative, prezentate in toate rapoartele predate de pana acum, a depasit valoarea 2 (pe seciunea 11 – FS are valoarea 2,045, iar pe sectiunea 13, FS are valoarea 2,128). Pentru noi, aceasta valoare reprezinta stabilitate pe termen lung, tinand cont ca acesta este factorul minim de siguranta de la care poate fi considerat stabil un gol al unei sonde de exploatare.

Activitatea 5.8. Planificarea cantitativa a posibilitatilor de utilizare a rezultatelor proiectului in cadrul altor exploatare de sare din Romania. Clasificare, realizare schite de situatie

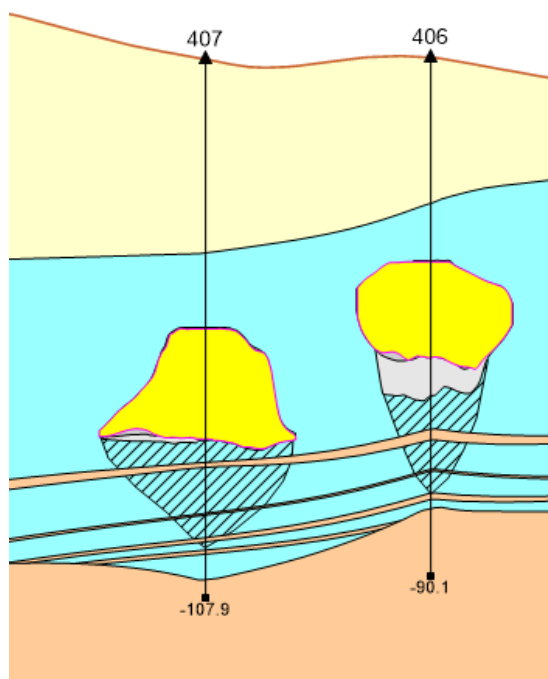
Pentru ca proiectul in sine a pornit de la necesitatea rezolvarii unor probleme grave aparute in decursul timpului la cele patru exploatare de sare in solutie din Romania, metoda pe care am testat-o, a fost gandita pentru a fi aplicata in unele cazuri similare din tara.



Cele mai grave situatii produse de sondele de exploatare ale sarii in solutie sunt cele de la Ocnele Mari; acestea sunt de altfel si cele mai cunoscute. Din acest motiv s-a plecat la identificarea unor situatii similare chiar in arealul statiei pilot, adica in zona de exploatare Ocnele Mari, in arealul sondelor inchise de multi ani. Unele dintre aceste sonde sunt stabile pe termen scurt si mediu, inasa pe termen lung pot sa prezinta instabilitati. Un astfel de exemplu clar sunt doua sonde ce au functionat in baterie din arealul Campul III Lunca, este vorba de sondele 429 - 430. Aceste sonde au fost exploatate in baterie (se introducea apa printr-o sonda, iar prin cealalta se scotea saramura, iar dupa un timp se schimba circuitul), rezultand un gol comun de aproximativ 3 milioane m³ plini cu saramura sub presiune. La sud de aceste sonde exista si o localitate destul de populata (Lunca). Sondele sunt momentan stabile, inasa, pamantul este imprezibil, si cum zona este de asemenea impanzita de falii, stabilitatea lor poate oricand sa nu mai existe. Tinand cont ca in apropierea acestor sonde se gaseste un deal cu potential de a preleva material, putem cu certitudine sa spunem ca poate fi zona cea mai propice de a aplica aceasta metoda testata de noi in cadrul proiectului.

Aici se poate folosi si transportul pe banda, distanta pana la materialul steril fiind mai redusa.

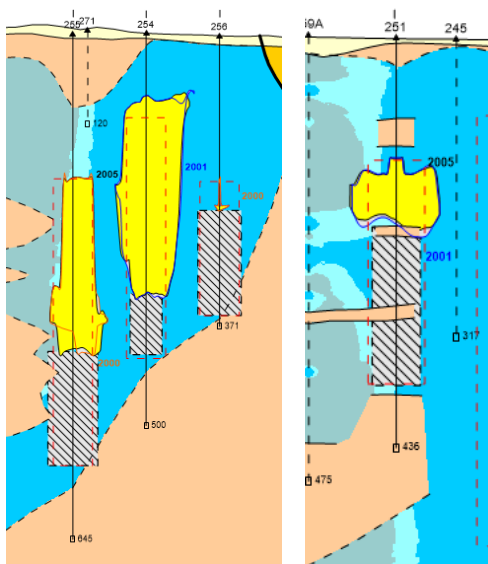
O alta situatie in care poate fi aplica cu succes metoda experimentata de noi este cea a sondelor 406-407 din Campul III Teica, tot de la Ocnele Mari.



Acestea sunt doua sonde cu un volum de asemenea semnificativ, care chiar daca nu au o legatura hidraulica atat de dezvoltata ca cele doua sonde amintite anterior, au un potential de instabilitate pe termen mediu si lung. Campul III Teica este un camp de sonde aflat in nordul Campurilor I si II de Sonde. Odata cu prabusirile necontrolate din Campul II, urmate de cele controlate, atat din Campul II, cat si din Campul I, tasarea la nivelul Campului III Teica a fost mare. Cea mai mare tasare inregistrata a avut in jur de 1,6 - 1,7 m, tasare inregistrata la sonda 401, una din cele mai apropiate de zonele cu scufundari masive din cele doua campuri mentionate. Procesele de instabilitate nu s-au stabilizat, ele exista, si continua, chiar daca mult mai lent. In timp, evolutia tasarii poate conduce la instabilitatea tavanului celor doua caverne. Si ar mai fi un aspect foarte important de luat in calcul, anume acela al intercalatiilor sterile prezente in Campul III Teica, intercalatii importante cu grosimi mari care pot conduce de asemenea la instabilitatea mecanica a celor doua goluri.

Situatii similare exista la Ocna Mures, o alta zona afectata puternic. Poate va amintiti episoadele televizate in care un intreg magazin s-a scufundat intr-un crater creat peste noapte.

Din cele analizate ulterior s-a constatat ca acea instabilitate s-a datorat unirii unei vechi galerii miniere cu golul unei sonde de exploatare (inchise, dar care era din cand in cand depresurizata). La Ocna Mures, sondele nu au o instabilitate proprie. Acolo problema cea mai mare este ca nu exista potential de exploatare, golurile sunt sub presiune, si de asemenea, exista probleme cu galeriile miniere mai vechi. Localitatea este situatia intr-o zona depresionara, iar in perioadele cu precipitatii abundente apele se scurg catre galeriile miniere si dizolva in permanenta, creand canale de legatura si facandu-si loc catre alte goluri inferioare, unde acestea exista. In zona Ocna Mures, aceasta metoda poate fi aplicata la aproape toate sondele, insa, exista un impediment actual, anume acela al preluarii materialului steril. Pentru ca noi nu am identificat o sursa rezonabila de material steril, ar trebui ca acesta sa fie adus de la distante mari, iar acest lucru ar insemna costuri suplimentare mai mari. Evident ca, la un moment dat, s-ar putea pune problema stramutarii unor case, cu costuri de asemenea enorme. Abia atunci s-ar putea ca aplicarea metodei noastre sa capete un contur mult mai placut pentru decidenti. Ar mai fi o varianta de preluare a unor materiale de tip deșeu din zona, insa, asta ar implica o prospectare temeinica a vechilor galerii, si o cunoastere de detaliu a golurilor subterane din zona.



Zona Targu Ocna este de asemenea o zona propice pentru a aplica aceasta metoda, acolo existand si potential de material steril, si existand si nevoia imediata. Variantele de sonde de la Targu Ocna sunt multe. Practic, putem alege din campul vechi de sonde pe cele inca neafectate (pentru ca si acolo sunt probleme mari) si putem sa evaluam costuri precise pentru dezafectare. Spre exemplu, pentru sondele 254 si 255, metoda noastra ar putea fi aplicata cu succes.

O alta sonda tot din zacamantul Targu Ocna este sonda 251.

Si pentru aceasta sonda, metoda noastra de dezafectare poate fi utila si aplicata cu succes.

Evident, trebuiesc analizati si ceilalti parametri, de costuri, iar acestia sunt corelati indeosebi cu alti factori de mediu, sociali, economici. In final, din experienta va putem spune ca doar nevoia

urgenta determina pana la urma aplicarea unei metode de dezafectare. Speranta noastra este ca, avand la indemana astfel de metode de dezafectare sa nu mai ne gasim in situatii teribile de genul celor inregistrate la Ocnele Mari ori la Ocna Mures. Sa nu uitam ca la Ocna Mures, crapaturile din blocuri sunt exact acolo unde erau si cand s-a produs accidentul din decembrie 2010. Exista cladiri afectate, la care interventiile majore de stabilizare aproape ca nu ar face face, dar sa mai fie lasate sa evolueze in aceeasi stare.

Singura exploatare unde metoda noastra ar fi cu semnul intrebari in privinta aplicabilitatii este Cacica. La Cacica, Sondele de exploatare in solutie au fost sapate sub vechi mine. Practic, antrenarea unor utiliaje grele, saparea unor foraje suplimentare in zona, ar putea destabiliza sistemul, fara alte interventii. Acolo, cel mai sigur, ar functiona (atunci cand va fi cazul) o metoda combinata de umplere, corelata cu una de prabusire pentru galeriile de deasupra, precum si o mentinere constanta a presiunii, acolo unde este posibil.

Ultimele doua activitati din proiecte anume, **Activitatea 5.9.** „Elaborarea documentatiilor stiintifice specifice, transpunerea metodelor si metodologiilor dezvoltate in documentatii tehnico-stiintifice. Actualizarea site-ului internet unde vor fi publicate rezultatele urmarite si datele relevante pentru proiect” si **Activitatea 5.10.** „Transpunerea rezultatelor in formate user-friendly” au fost indeplinite cu succes, iar rezultatelor lor se regasesc in raportarile de etapa, in raportul final de proiect, precum si in platforma online (site-ul) a proiectului.

Concluzii

Am pornit la drum in acest proiect, cu mult entuziasm, iar acest fapt s-a reflectat in colaborarea de exceptie a celor trei parteneri. Au fost momente dificile, unele chiar foarte dificile, au fost momente in care eram aproape convinsi ca nu mai putem inainta. Toate au fost lasate in urma, pentru ca de fiecare data s-au gasit solutii, s-au identificat cai de a face fata provocarilor intampinare.

Proiectul „Metode noi de dezafectare a cavernelor subterane” a fost o idee pornita de la prof.dr.ing. Florian Zamfirescu (care din nefericire nu mai este printre noi – dansul a si fost directorul de proiect in fata initiala), idee imbratisata de cei trei parteneri din proiect, parteneri care au crezut in ea si au facut tot posibilul sa o sustina.

Avand in vedere impactul deosebit al exploatarilor de sare exploatare prin metoda dizolvării in Romania, ideea proiectului venea in intampinarea rezolvării unor situatii cu care deja ne confruntasem, unor situatii limita, de colaps, cu efecte negative de anvergura, impact social major, economic si de mediu.

Metoda propusa a fost testata cu succes in timpul derularii acestui proiect, echipele implicate demonstrand ca se pot ramblaia caverne pline cu saramura sub presiune, cu riscuri minime, si cu costuri calculate, avantajoase. Obiectivul nostru principal a fost sa testam o metoda de dezafectare a unor caverne subterane in sare, pline cu saramura sub presiune. Obiectul a fost realizat.

Faptul real pozitiv este ca s-au identificat deja locatii pentru aplicarea metodei, partenerul nostru SALROM, facand deja o analiza incipienta in acest sens. In trei din cele patru exploatare de sare prin dizolvare din Romania (Ocnele Mari, Ocna Mures si Tg. Ocna) exista potential de aplicare a metodei de dezafectare testate in acest proiect.

Cu mandrie putem afirma ca metoda testata de noi probabil ca isi va gasi aplicabilitate intr-un timp mult mai scurt decat anticipam.

De asemenea, obiectul secundar al proiectului a fost acela de a stabili golul sondei 361, o sonda reminiscenta a Campului II de Sonde Ocnele Mari (reminiscenta pentru ca, golul comun al sondele acestui camp s-a prabusit in diverse etape, incepand din 2001 pana in 2005, cu impact socio-economic mare). Si acest obiectiv a fost atins, calculele de stabilitate demonstrand ca am atins un factor de siguranta asigurator, care ne permite sa afirmam ca golul sondei este stabil din punct de vedere geomecanic.

Colaborarea celor trei parteneri implicati in proiect (echipe de anvergura) a fost de asemenea un punct forte al proiectului pe care dorim sa-l remarcam. Nu este usor sa poti sa comunici cu un personal numeros, sa existe vointa, daruire si intelegere, de cele mai multe ori. Pentru ca am trecut si prin multe momente dificile, buna colaborare a celor trei echipe a fost cea care a facut ca proiectul sa fie finalizat cu succes.

BIBLIOGRAFIE

1. M. Stamatiu – „Mecanica rocilor”, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1962;
2. L. Hormander - The analysis of linear differential operators, Springer, 1983-85
3. V. Barbu, - ”Metode matematice în optimizarea sistemelor diferențiale”, Ed. Academiei, 1989;
4. S. G. Brenner & L. R. Scott- The Mathematical Theory of Finite Element Methods, Springer Verlag, New York, 1994
5. R. Dautray & J.-L. Lions, Analyse mathématique et calcul numériques pour les sciences et les techniques, Masson, 1988
6. I. Rosca, Metoda elementului finit (note de curs) – 2001
7. P. Solin, K. Segeth, I. Dolezel, Higher-Order Finite Element Methods, Chapman & Hall, CRC, 2004
8. I. Paraschiv- Munteanu, S. Cleja-Tigoiu, E. Soos: Teoria plasticității cu aplicații în geomecanică, Ed Universității, 2001.
9. Bancila I. – Geologie inginerască. Vol. 1 și 2. Editura Tehnica, București, 1981
10. Blyth F. G. N. & de Freitas M. H. – A Geology for Engineers. Edward Arnold. A division of Hodder & Stoughton, London, 1984.
11. Manea S., Batali L., Popa, H. – Mecanica Pământurilor. Elemente de teorie. Încercări de laborator. Exerciții. Editura Conspress, București, 2003.
12. Marchidanu E. – Lucrări practice de geologie inginerască. Prospectiune, cartografie, calculul rezervelor de roci utile. Editura Tehnica, București, 1997.
13. M. Mocuța - Universitatea București - 2003. SEMNIFICAȚIA / IMPORTANȚA CONDIȚIILOR GEOLOGICE ȘI STRUCTURALE ÎN DECLANȘAREA ȘI EVOLUȚIA PROCESELOR DE DEZECHILIBRU DIN CÂMPUL II
14. Sandu, C., Rădulescu, I., Răduț, M., Neagu, A. – Editura Tehnică, Probarea zăcămintelor de substanțe minerale solide, 1978
15. Universitatea București - C.C.G.G.A. - 2002. DETALII TEHNICE DE EXECUȚIE A SISTEMULUI DE DETECTARE, EXTRAȚIE ȘI EVACUARE A LICHIDULUI IZOLANT DIN CAVERNA EXISTENTĂ ÎN CÂMPUL II DE SONDE - OCNELE MARI
16. ICPMSN Cluj-Napoca, Studiu simbol 50.261, Stabilirea parametrilor tehnologici ai metodelor de exploatare a sării prin dizolvare, 1986
17. SC ICPM SA Cluj-Napoca, Studiu simbol 50.639, Studiul factorilor complecși de influență a tehnologiilor de exploatare a sării geme în scopul fundamentării protecției zăcămintelor și mediului înconjurător, 1994