

**Ministerul Educației Naționale**

**Universitatea din Petroșani**

**Școala Doctorală**

**MONITORIZAREA STABILITĂȚII SUPRAFETEȚELOR ȘI  
EVALUAREA RISCULUI DE ALUNECARE**

**Conducător științific:**

**Prof.univ.dr. ing. Nicolae DIMA**

**Doctorand:**

**Ing. Cristian GLONȚ DINU**

**Petroșani**

**- 2019 -**

## CUPRINS

<b>I. ANALIZA METODELOR ACTUALE DE MONITORIZARE A SUPRAFEȚELOR</b> .....	7
<b>I.1. Introducere</b> .....	7
<b>I.2. Tipuri de deplasări ale suprafețelor</b> .....	8
<i>I.2.1. Analiza factorilor de influență</i> .....	8
<i>I.2.2. Parametrii zonei de scufundare</i> .....	9
<i>I.2.3. Stadiile de dezvoltare a albiilor de scufundare</i> .....	11
<i>I.2.4. Determinarea zonelor de influență în funcție de adâncimea de exploatare</i> .....	12
<b>I.3. Metode de determinare a deplasării suprafețelor</b> .....	14
<i>I.3.1. Metode topografice utilizate pentru urmărirea deplasării suprafeței terenului ca urmare a exploatărilor subterane</i> .....	14
<i>I.3.2. Proiectarea stațiilor topografice de urmărire</i> .....	15
<i>I.3.3. Efectuarea măsurătorilor topografice de urmărire</i> .....	16
<b>I.3.3.1. Măsurarea deplasărilor orizontale longitudinale</b> .....	17
<b>I.3.3.2. Măsurarea deplasărilor verticale</b> .....	19
<b>I.3.3.3. Monitorizarea deplasării suprafețelor prin utilizarea tehnologiei GPS</b> .....	22
<b>I.3.3.4. Monitorizarea deplasării suprafețelor prin măsurători LIDAR</b> .....	23
<b>II. POSIBILITĂȚI DE CREARE A BAZELOR DE DATE FOLOSITE PENTRU STUDIUL STABILITĂȚII SUPRAFEȚELOR</b> .....	25
<b>II.1. Rezumat</b> .....	25
<b>II.2. Crearea bazelor de date cartografice digitale</b> .....	25
<b>II.3. Editarea, validarea și înregistrarea datelor cartografice</b> .....	27
<b>II.4. Crearea topologiilor și a datelor relaționale</b> .....	28
<b>II.5. Realizarea bazelor de date prin metoda cartografică</b> .....	30
<b>II.6. Realizarea bazelor de date prin metoda fotogrammetrică</b> .....	32
<i>II.6.1. Modelarea numerică a suprafețelor pe baza structurii de tip GRID</i> .....	34
<i>II.6.2. Modelarea numerică a suprafețelor pe baza structurii de tip TIN</i> .....	35
<i>II.6.3. Modelarea numerică a suprafețelor pe baza datelor obținute din procesarea imaginilor aeriene stereoscopice</i> .....	36
<i>II.6.4. Modelarea numerică a suprafețelor pe baza datelor obținute din scanarea laser (LIDAR)</i> .....	38
<i>II.6.5. Urmărirea deformațiilor construcțiilor cu ajutorul metodelor fotogrammetrice</i> .....	40
<i>II.6.6. Realizarea bazelor de date prin metode geo-topografice</i> .....	43
<b>II.6.6.1. Planificarea măsurătorilor</b> .....	44
<b>II.6.6.2. Etapa efectuării măsurătorilor planimetrice și de nivelment al obiectivului în fiecare ciclu de măsurare</b> .....	44

II.6.6.3.Etapa prelucrării măsurătorilor pentru calculul deplasărilor și evaluarea preciziei	45
<b>III. STUDIUL FACTORILOR DE RISC UTILIZAȚI LA EVALUAREA FENOMENELOR DE ALUNECARE A SUPRAFETELOR</b>	<b>48</b>
<b>III.1.Introducere</b>	<b>48</b>
<b>III.2.Factorii care influențează apariția și dezvoltarea alunecărilor de teren</b>	<b>49</b>
<b>III.3.Structura datelor folosite la realizarea hărților de hazard natural</b>	<b>50</b>
<b>III.4. Determinarea coeficienților de risc ai factorilor generatori de alunecări de teren la nivelul județului Olt</b>	<b>55</b>
<i>III.4.1.Cuantificarea coeficienților de risc ai factorilor generatori de alunecări de teren</i>	<i>56</i>
<b>IV. CREAREA UNUI MODEL DE MONITORIZARE A STABILITĂȚII SUPRAFETELOR</b>	<b>67</b>
<b>IV.1.Introducere</b>	<b>67</b>
<b>IV.2.Metode statistice aplicate la estimarea tendinței de mișcare a suprafețelor</b>	<b>67</b>
<i>IV.2.1.Metoda observațiilor succesive</i>	<i>68</i>
<i>IV.2.2. Metoda tendinței exponențiale</i>	<i>69</i>
<i>IV.2.3. Metoda analizei de corelație și regresie</i>	<i>69</i>
<i>IV.2.4. Metoda mediilor glisante</i>	<i>70</i>
<i>IV.2.5. Metoda netezirii exponențiale</i>	<i>70</i>
<b>IV.3.Monitorizarea suprafețelor folosind date obținute prin diverse metode de măsurare</b>	<b>71</b>
<i>IV.3.1.Crearea referinței geodezice</i>	<i>72</i>
<i>IV.3.2.Proiectarea și materializarea aliniamentelor de urmărire</i>	<i>73</i>
<i>IV.3.3.Etapele de măsurare a aliniamentelor de urmărire prin diverse metode</i>	<i>74</i>
<b>IV.3.3.1.Determinarea coordonatelor aliniamentelor de urmărire prin măsurători clasice</b>	<b>74</b>
<b>IV.3.3.2.Determinarea coordonatelor aliniamentelor de urmărire prin măsurători GPS</b>	<b>76</b>
<b>IV.3.3.3.Determinarea coordonatelor aliniamentelor de urmărire prin măsurători LIDAR și măsurători fotogrammetrice</b>	<b>79</b>
<i>IV.3.4.Exemplu de determinare a deplasării suprafeței prin măsurători laser</i>	<i>84</i>
<b>IV.4.Sisteme informatice pentru evaluarea stării de siguranță a obiectivelor miniere</b>	<b>87</b>
<b>V. URMĂRIREA DEPLASĂRII SUPRAFETELOR ÎN CÂMPUL DE SONDE DIN LOCALITATEA OCNELE MARI, JUDEȚUL VÂLCEA</b>	<b>90</b>
<b>V.1.Descrierea metodologiei aplicate</b>	<b>90</b>
<i>V.1.1. Etapa de scanarea aeriană laser,aerofotografiere și măsurători GPS, 2013</i>	<i>90</i>
<i>V.1.2.Aerofotografierea și măsurătorile GPS executate în anul 2015</i>	<i>92</i>
<i>V.1.3.Scanare mobilă laser terestră și măsurători GPS executate în anul 2017</i>	<i>94</i>
<b>V.2.Concluzii</b>	<b>96</b>
<b>Bibliografie</b>	<b>99</b>

## REZUMAT

Pentru a reduce daunele potențiale cauzate de deplasările pe verticală și orizontală ale terenurilor ca urmare a fenomenului de subsidență se impune cunoașterea distribuției spațiale a acestor fenomene, precum și stabilirea unor măsuri de protecție adecvate . Identificarea și supravegherea zonelor în care se manifestă fenomene de deformare a suprafețelor presupune crearea unor baze de date topo-geodezice care să permită determinarea valorilor parametrilor specifici de deformare, analize geospațiale privind posibilitățile de extindere a fenomenului, crearea de scenarii în mediul virtual precum și adoptarea unor măsuri optime necesare combaterii acestor fenomene.

Determinarea deformațiilor la un moment dat are la bază metode de măsurare, în timp ce elaborarea previziunilor se realizează prin metode statistice și analiza unor scenarii bazate pe modelarea virtuală a evoluției viitoare a condițiilor și factorilor de influență.

Deplasările pot fi determinate și estimate pornind de la valorile și condițiile din observația inițială, măsurarea periodică și cuantificarea factorilor care influențează evoluția mișcării suprafeței până la stingerea fenomenului. Unii factori care generează deplasarea suprafeței nu pot fi cuantificați cu precizie deoarece au o evoluție incertă, fapt ce determină doar posibilități de estimare probabilistică. Metodele de măsurare urmăresc determinarea unor mărimi caracteristice care definesc deplasarea, mărimi care pot fi interpretate în mod direct sau pot fi introduse în diverse aplicații de modelare matematică sau statistică, rezultatele oferind atât o înțelegere de ansamblu cât și o estimare a tendințelor de evoluție viitoare a fenomenului, respectiv stabilirea unui nivel de probabilitate de producere a fenomenului, ceea ce va conduce la identificarea, localizarea, delimitarea și protejarea zonelor expuse.

Întrucât fiecare metodă de măsurare prezintă avantaje și dezavantaje, construirea unor modele de predicție cât mai exacte se poate realiza doar utilizând metode de determinare combinate și analizând un volum cât mai mare de date obținute prin diverse metode.

Studiile și analizele au drept scop determinarea factorilor de influență existenți la un moment dat, estimarea evoluției temporale și realizarea unor modele interpretative care să permită elaborarea de prognoze . O analiză rapidă a rezultatelor determină implicit o mai bună înțelegere temporală a tendințelor de deplasare a suprafeței și un timp mai scurt de găsim și implementare rapidă a unor măsuri de prevenire și ținere sub control a fenomenului.

În funcție de rezultatul studiilor și efectuând simulări virtuale care imită producerea anumitor fenomene, se estimează probabilitățile de producere și se stabilesc măsuri și lucrări de consolidare astfel încât să fie eliminate efectele devastatoare generate în cazul producerii fenomenului de alunecare.

## **Obiectivele urmarite în prezenta lucrare sunt:**

-Descrierea posibilităților și metodelor utilizate la crearea bazelor de date topo-geodezice folosite la studiul stabilității suprafețelor. Descrierea urmărește atât metodele clasice de obținere a datelor cât și metode moderne bazate pe echipamente de ultimă generație.

-Studiul factorilor de risc utilizați pentru evaluarea fenomenelor de alunecare a suprafețelor la nivel de teritoriu județean.

-Descrierea unui sistem de evaluare a stării de siguranță a obiectivelor miniere cu posibilități de alertare în cazul apariției situațiilor de urgență.

-Urmărirea deplasării suprafețelor folosind date obținute la intervale de timp diferite, surse și metode de măsurare diferite. Analiza, metodologia de evaluare și interpretare a rezultatelor măsurătorilor sunt aplicate în studiul de caz.

Metoda de cercetare utilizată pornește de la elemente teoretice generale existente în manuale și lucrări de specialitate, urmărind descrierea etapelor practice de aplicare în studiul stabilității suprafețelor, asigurarea condițiilor optime de realizare, toleranțele de determinare, analiza și interpretarea rezultatelor obținute.

Pentru atingerea obiectivelor propuse lucrarea a fost structurată pe următoarele capitole:

## **CAPITOLUL 1 .ANALIZA METODELOR ACTUALE DE MONITORIZARE A SUPRAFETEȚELOR**

Capitolul conține prezentarea parametrilor unei zone de scufundare, cauzelor care determină apariția fenomenului și descrierea generală a metodelor de măsurare folosite la urmărirea deplasărilor orizontale și verticale.

Metodele de măsurare sunt descrise la modul general urmărindu-se o trecere eșalonată de la metodele de măsurare clasice la metodele moderne de urmărire care permit monitorizarea permanentă a suprafețelor, datele achiziționate fiind transmise, procesate, analizate și comparate cu date de referință anterioare în timp real (sistemul RiMonitor).

## **CAPITOLUL II. POSIBILITĂȚI DE CREARE A BAZELOR DE DATE FOLOSITE PENTRU STUDIUL STABILITĂȚII SUPRAFETEȚELOR**

Întrucât în prezent datele obținute din măsurători sunt gestionate în mediul digital, capitolul descrie posibilitățile de obținere, organizare și validare a bazelor de date cartografice care constituie suportul informațional de bază pentru studiul stabilității suprafețelor. În cadrul

capitolului sunt descrise principiile de organizarea a bazelor de date relaționale și metodele geotopografice și fotogrammetrice folosite la obținere a datelor , fiind descrise atât etapele generale de execuție cât și metodele de evaluare a rezultatelor obținute.

### **CAPITOLUL III. STUDIUL FACTORILOR DE RISC UTILIZAȚI LA EVALUAREA FENOMENELOR DE ALUNECARE A SUPRAFETEȚELOR.**

Capitolul cuprinde un studiu privind apariția și dezvoltarea alunecărilor de teren la nivelul teritoriului județean Olt, bazat pe estimarea valorii și a distribuției geografice a coeficienților de risc  $K_i$  ( $i = a \dots h$ ) și precizarea grupei de potențial (scăzut, mediu sau ridicat), respectiv stabilirea unui nivel de probabilitate de producere a alunecărilor, ceea ce va conduce la identificarea, localizarea și delimitarea zonelor expuse hazardului la alunecare.

Capitolul integrează informațiile provenite din diverse surse existente ,organizate sub forma unei baze de date pe baza cărora s-a calculat coeficientul mediu de hazard și s-a realizat macrozonarea riscului la alunecări de teren la nivelul teritoriului județean.

### **CAPITOLUL IV. CREAREA UNUI MODEL DE MONITORIZARE A STABILITĂȚII SUPRAFETEȚELOR**

Prezintă diverse metode statistice care pot fi aplicate la estimarea tendinței de mișcare a suprafețelor, și metode de monitorizare a suprafețelor folosind date obținute prin diverse metode de măsurare. Sunt prezentate etapele de execuție și recomandările care trebuie avute în vedere la măsurarea aliniamentelor de urmărire folosind metode de măsurare clasice, metode de scanarea laser și metode fotogrammetrice, astfel încât metodele utilizate să asigure o precizie de determinare corespunzătoare scopului urmărit. Etapele de execuție conțin inclusiv verificările și corecțiile care se aplică pentru fiecare metodă, toleranțele și formulele folosite pentru estimarea erorilor. Capitolul cuprinde și un exemplu practic de urmărire a unei suprafețe pe baza rezultatelor obținute din măsurători LIDAR, măsurătorile fiind executate la intervale de timp diferite, dar cu aplicarea unor condiții de execuție similare. Pentru gestionarea activității de monitorizare și evaluarea a stării de siguranță a zonelor din vecinătatea obiectivelor miniere este necesară implementarea unui sistem informatic care să permită integrarea într-o bază de date comună a informațiilor privind caracteristicile constructive și de exploatare ale obiectivelor miniere și a datelor rezultate din activitățile de monitorizare.

Pentru o utilizare corespunzătoare a datelor geospațiale este necesară dezvoltarea și implementarea a unui sistem informatic specific sectorul minier care să permită evaluarea stării

de siguranță a obiectivelor miniere cu posibilitatea transmiterii unor avertizări imediate în cazul apariției unor situații critice prin:

- crearea unei baze de date la nivel național cu informații despre obiectivele miniere aflate în procesul de conservare și închidere, cu posibilitate de extindere către minele active;
- monitorizarea problemelor de mediu și a proceselor din cadrul sectorului minier;
- asigurarea unui suport decizional pentru managementul situațiilor de urgență;
- identificarea și detectarea în timp util a situațiilor critice;
- evidențierea efectelor activității miniere asupra mediului;
- determinarea cauzelor de producere și măsurarea efectelor;

În cadrul capitolului sunt descrise posibilitățile oferite de sistemul format din scanner terestru RIEGL VZ-1000+aplicația client – server RIMonitor.+ Ingeea Iwork Aplicația de monitorizare include un sistem de alertare transmite mesaje de avertizare în momentul în care sunt depășite anumite valori. Mesajele de avertizare pot fi transmise sub formă de mesaje telefonice sau prin e-mail. Mesajele transmise prin e-mail sunt preluate de platforma Ingeea Iwork care le alocă un identificator unic și un cod de prioritate pe baza căruia mesajul este redirectionat către lista de persoane care trebuie avertizate. Persoanele avertizate pot accesa imediat lista de recomandări și declanșa în timp util operațiunile de avertizare și informare a autorităților și populației existente în modulul de suport decizional și ulterior aplicând măsurile de intervenție conform codului de prioritate.

Caracteristicile funcționale de bază pe care trebuie să le îndeplinească sistemul informatic sunt menționate la încheierea capitolului și au fost deduse pe baza experienței dobândite ca urmare a prelucrării și integrării informațiilor din domeniu.

## **CAPITOLUL V. URMĂRIREA DEPLASĂRII SUPRAFETELOR ÎN CÂMPUL DE SONDE DIN LOCALITATEA OCNELE MARI ,JUDEȚUL VÂLCEA**

Capitolul aferent studiului de caz ilustrează modul în care pot fi obținute și utilizate date obținute din diverse surse în studiul deformării suprafețelor, prin simpla găsire a unei referințe comune care să permită estimarea și realizarea unei comparații între rezultate.

Metodologia propusă pentru urmărirea deplasării suprafețelor în câmpul de sonde din localitatea Ocnele Mari, județul Vâlcea, se bazează pe utilizarea alternativă a mai multor metode de măsurare, după cum urmează:

- scanarea aeriană laser, aerofotografiere și măsurători GPS, executate în anul 2013;
- aerofotografiere și măsurători GPS, executate în anul 2015;
- scanare mobilă laser terestră și măsurători GPS, executate în luna mai și luna decembrie ,2017.

Pentru compararea rezultatelor măsurătorilor s-a folosit o suprafață de control betonată, de formă trapezoidală, de dimensiune 3m x 3m, folosită ca referință, amplasată în vecinătatea câmpului de sonde.

În cadrul fiecărei sesiuni de măsurători au fost redeterminate colțurile și centrul suprafeței de control prin măsurători GPS, diferențele de coordonate dintre sesiuni fiind folosite ca referință pentru calibrarea rezultatelor obținute prin scanare LIDAR și aerofotografiere și pentru urmărirea deplasărilor verticale în zona de studiu.

Evaluarea rezultatelor obținute prin cele patru metode de măsurare au fost evaluate în punctele suprafeței de control, pentru fiecare sesiune de măsurători. Urmărirea deplasării orizontale s-a realizat prin compararea diferenței orizontale între curbele de nivel generate pe baza modelului digital al terenului.

### **Contribuții rezultate din elaborarea lucrării.**

1. Prezentarea posibilităților de aplicare a metodelor geo-topografice moderne în procesul de urmărirea a deplasării suprafețelor. În lucrare sunt prezentate procedee practice de măsurare care implică folosirea unor echipamente de ultimă generație fiind descrise etapele specifice proceselor de măsurare și metodele de estimare a preciziei rezultatelor.

2. Elaborarea unui studiu privind apariția și dezvoltarea alunecărilor de teren la nivelul teritoriului județean Olt, bazat pe estimarea valorii și a distribuției geografice a coeficienților de risc  $K_i$  ( $i = a \dots h$ ) și precizarea grupei de potențial (scăzut, mediu sau ridicat), respectiv stabilirea unui nivel de probabilitate de producere a alunecărilor. Determinarea valorilor coeficienților de risc  $K_i$  ( $i = a \dots h$ ) implică o amplă documentare privind caracteristicile factorilor naturali și antropici corespunzători teritoriului Județului Olt.

3. Prezentarea posibilităților de aplicare a unor metode statistice clasice în estimarea tendinței de mișcare a suprafețelor.

Descrierea unui sistem de evaluare a stării de siguranță a obiectivelor miniere cu posibilități de alertare în cazul apariției situațiilor de urgență.

5. Elaborarea unui studiu de caz privind urmărirea deplasării bazat pe măsurători executate pe parcursul unei perioade de trei ani, fiind utilizate date obținute prin diverse metode de măsurare și asigurarea unei referințe comune care să permită estimarea și realizarea unei comparații între rezultate.