

**UNIVERSITATEA DIN BUCUREȘTI**  
**FACULTATEA DE GEOLOGIE SI GEOFIZICĂ**



# **TEZĂ DE DOCTORAT**

**Managementul Riscului Geologic Asociat  
Fenomenelor Naturale Și Antropice Din Perimetrul  
Fostelor Exploatări Miniere Uranifere  
- REZUMAT -**

**Conducător științific:** *Prof. dr.ing. Daniel Scrădeanu*

**Doctorand:** *ing. geol. Sorin Ovidiu Mihai*

SEPTEMBRIE 2010

## CUPRINS

INTRODUCERE .....	3
1. RELATIA DINTRE HAZARD RISC SI VULNERABILITATE .....	13
1.1. Clasificarea geohazardelor .....	16
2. REȚELE DE MONITORIZARE A ELEMENTELOR SUPUSE HAZARDULUI.....	18
2.1. Modele și criterii probabiliste ce stau la baza proiectării rețelelor de monitorizare.....	18
2.2. Etapele proiectării rețelelor de monitorizare .....	19
2.2.1. Inițializarea rețelei de monitoring.....	20
2.2.2. Extinderea rețelei .....	22
2.2.3. Optimizarea rețelei.....	22
3. METODOLOGIA DE EVALUARE A RISCULUI .....	23
3.1. Procesul de management al riscului .....	26
3.2. Evaluarea elementelor de risc.....	30
4. METODE DE REALIZARE A HĂRȚILOR DE HAZARD ȘI DE RISC.....	33
4.1. Metodologia de realizare a hărților de hazard și de risc la alunecări de teren.....	33
4.2. Evaluarea și reprezentarea riscului la subsidență minieră.....	47
4.3. Evaluarea vulnerabilității apelor subterane .....	51
5. STUDIU DE CAZ – EVALUAREA FENOMENELOR DE GEOHAZARD ÎN FOSTUL PERIMETRU MINIER AVRAM IANCU –Bazinul Arieșul Mic.....	54
5.1. Scurt istoric, localizare, elemente climatologice și hidrologice.....	54
5.2. Caracterizarea geologică și hidrogeologică a zonei bazinului Arieșul Mic.....	63
5.3. Modelul tridimensional al zonei miniere .....	73
5.4. Identificarea fenomenelor de geohazard în zona fostului perimetru de exploatare .....	90
5.5. Modelarea dispersiei radionuclizilor de U în acviferul freatic din bazinul Arieșul Mic .....	91
5.6. Stabilitatea versanților naturali și a taluzelor de haldă în perimetrul de cercetare și evaluarea hazardului la alunecare .....	115

5.7. Modelarea subsidenței induse de exploatarea subterană în perimetrul fostei exploatări uranifere.....	142
5.8. Evaluarea vulnerabilității acviferului freatic din bazinul Arieșul Mic la poluarea cu radionuclizi .....	156
5.9. Întocmirea hărților de hazard și de risc la alunecare și subsidență minieră în perimetrul Avram Iancu – bazinul Arieșul Mic.....	168
5.10. Cuantificarea riscurilor și determinarea costurilor .....	179
Monitorizarea și controlul factorilor permanenți de risc.....	183
5.12. Tehnici și metodologii de reducere a riscului.....	184
6. CONCLUZII .....	201
BIBLIOGRAFIE .....	210

*Dedic această teză tuturor celor care de-a lungul anilor au contribuit la formarea mea profesională și umană.*

*Adresez pe această cale sincere mulțumiri și considerație D-lui Prof. Dr. Ing. Daniel Scrădeanu și D-lui Prof. Dr. Ing. Mărunțeanu Cristian pentru încrederea acordată în abordarea acestei teme și pentru îndrumarea și sfaturile competente pe tot parcursul pregătirii doctoratului.*

*Profit de această cale pentru a mulțumi domnilor profesori Mircea Florea, Alexandru Gheorghe, Petre Bomboe, Florian Zamfirescu pentru toate acele lecții, nu doar inginerești dar și de viață pe care mi le-au dat atât pe parcursul studiilor universitare dar și după aceea, pentru exemplul viu pe care îl vor constitui întotdeauna pentru mine.*

*Mulțumesc întregului colectiv al catedrei de Inginerie Geologică, în frunte cu d-na Conf. Dr. Ing. Stănciucu Mihaela, pentru sprijinul acordat pe tot parcursul studiilor doctorale la susținerea referatelor și rapoartelor de cercetare.*

*Și nu în ultimul rând, mulțumesc soției mele Nadia pentru răbdarea și înțelegerea acordată, pentru sfaturile bune în perioadele de nesiguranță și stress.*

## SCOPUL CERCETĂRII

În cadrul perimetrelor de explorare sau exploatare a minereului de uraniu, metodologia de gestionare a situațiilor de risc, în cazul declanșării unui hazard natural (geohazard în terminologia internațională), este mult mai complexă decât în zone similare cu activități de extracție a altor substanțe minerale utile.

Pe plan național, în momentul de față, problema managementului situațiilor de risc generate de sursele radioactive antropice în interacțiune cu declanșarea unor fenomene de hazard natural nu este rezolvată. Există unele evaluări și propuneri dar care nu tratează această problemă deosebit de complexă într-un mod integrat. De regulă, riscurile specifice (contaminarea radioactivă) sunt tratate separat de cele care sunt declanșate de fenomene naturale, fără a lua în calcul efectul lor sinergic.

Pe plan internațional preocuparea pentru managementul situațiilor de geohazard este avansată și are obiective bine definite în cadrul perimetrelor miniere uranifere active sau abandonate. Sunt utilizate sisteme de analiză geospațială integrate ce permit identificarea, analiza și evaluarea riscului geologic care la rândul său poate amplifica pericolele contaminării radioactive pe areale extinse prin mobilizarea materialelor sterile de către mișcări torențiale, fenomene de subsidență, alunecări induse de inundații sau seisme, fenomene hidrodinamice, etc.. Aceste sisteme sunt implementate pe platforme informatice GIS interfațate la bănci de date multidisciplinare, utilizează analize multicriteriale de evaluare, permit reprezentări digitale a hărților de hazard și de risc, analize tematice, scenarii și evaluări ale situațiilor de criză.

Tema de cercetare s-a desfășurat pe două direcții:

- *dezvoltarea modelelor conceptuale* pentru dinamica fenomenelor naturale și antropice generatoare de risc și stabilirea modului de cuantificare al parametrilor specifici;
- *asamblarea modelelor conceptuale* într-o metodologie utilă pentru:
  - identificarea riscului;
  - achiziția și prelucrarea datelor;
  - analiza decizională;
  - predicția fenomenelor naturale și antropice generatoare de risc.

Validarea metodologiei elaborate s-a realizat pe un studiu de caz, în zona fostei exploatare miniere Avram Iancu, unde activitatea s-a organizat în două etape:

- Implementarea metodologiei elaborate de identificare și analiză a riscului geologic cu ajutorul analizei geospațiale într-un mediu care este deja potențial generator de risc.
- Micșorarea gradului de vulnerabilitate a receptorilor din zona de influență, soluții de atenuare, diminuare și monitorizare a efectelor negative induse mediului sau comunităților umane.

### ***Procesul de management al riscului***

Riscul de mediu se poate manifesta sub forma stresorilor generați de activitatea (sau inactivitatea) antropică și poate genera efecte adverse asupra mediului, precum și degradarea sau pierderea durabilității.

Procesul de management al riscului este de tip iterativ, fapt ilustrat prin buclele de feed-back din figura 1. El poate fi repetat în condițiile introducerii unor criterii modificate sau suplimentare de evaluare a riscurilor, rezultând un proces de îmbunătățire continuă.

Etapetele procesului generic de management al riscului sunt următoarele:

- ***stabilirea contextului:*** determinarea contextului strategic, organizațional și de management al riscurilor, precum și stabilirea structurii analizelor și a criteriilor pe baza cărora riscurile vor fi evaluate; identificarea părților afectate/interesate și definirea politicilor de comunicare și consultare;
- ***identificarea riscurilor:*** identificarea, ca fundament al analizei ulterioare, a ceea ce se poate întâmpla, de ce și cum, inclusiv a pericolelor și a consecințelor asociate;
- ***analiza riscurilor:*** analiza riscurilor, în termeni de probabilitate și gravitate; posibilitățile de control și efectul măsurilor de control asupra consecințelor; probabilitatea de producere și magnitudinea pot fi combinate în vederea estimării nivelului de risc;
- ***evaluarea și ierarhizarea riscurilor:*** compararea nivelurilor de risc estimate cu criteriile prestabilite; în continuare, riscurile pot fi ierarhizate în vederea identificării priorităților; riscurile identificate ca având o prioritate redusă pot fi acceptate fără a fi tratate, constituind doar subiectul monitorizării și revizuirii;
- ***tratarea riscurilor:*** dezvoltarea și implementarea unui plan de management, care trebuie să includă considerații privind alocarea resurselor financiare și de altă natură, precum și termene de acțiune;

- **comunicare și consultare:** consultarea și comunicarea cu părțile afectate/interesate, interne și externe, în fiecare etapă a procesului de management al riscului;
- **monitorizare și revizuire:** monitorizarea și revizuirea riscurilor, precum și evaluarea performanțelor sistemului de management al riscurilor și a modificărilor care îl pot afecta.

Deși sunt prezentate ca activități independente, în practică etapele enumerate anterior se găsesc într-o strânsă interacțiune. De exemplu, atunci când riscurile au fost identificate, contextul și criteriile trebuie revizuite, iar anumite aspecte ale analizei trebuie reconsiderate.

Etapele vizând comunicarea și consultarea, precum și monitorizarea și revizuirea implică activități și concepte care cuprind întregul proces de management. În fiecare etapă a procesului, precum și în cadrul procesului de management al riscului, ca ansamblu, trebuie să existe și să funcționeze mecanisme adecvate de comunicare și consultare, atât în cadrul organizației evaluatoare cât și între organizație și părțile externe. De asemenea, cele două etape menționate anterior trebuie să vizeze revizuirea și monitorizarea riscurilor, precum și evaluarea performanțelor sistemului de management al riscurilor și a modificărilor care îl pot afecta.

Managementul riscului de mediu diferă semnificativ de managementul altor tipuri de risc, datorită faptului că, caracteristicile sale particulare reflectă complexitatea mediului. Numărul mare de ecosisteme și organisme, modul în care acestea interacționează între ele sau cu sistemele limitrofe generează atât un grad înalt de complexitate cât și un nivel semnificativ de incertitudine.

De cele mai multe ori, deciziile se referă la perioade lungi de timp și sunt fundamentate pe ipoteze multiple privind impactul potențial, cum ar fi, de exemplu, efectul asupra generațiilor viitoare. Datorită dificultății de a formula ipoteze precise, deciziile sunt adesea adoptate în condițiile de incertitudine științifică asupra consecințelor posibile.

Factorii care afectează managementul riscului de mediu includ :

- absența datelor sau existența unui volum redus de date;
- necesitatea formulării unor ipoteze;
- variabilitatea naturală;
- utilizarea unor concepte, tehnici și metode noi, care provin din domenii științifice insuficient dezvoltate și care constituie obiectul a numeroase dispute și controverse în ceea ce privește acțiunile care trebuie întreprinse;

- duratele mari de timp (de exemplu, deși trebuie să se țină seama de generațiile viitoare, modificările ecologice se pot produce lent, datorită decalajului temporal dintre acțiunea cauzelor și materializarea efectelor);
- efectele potențiale asupra mediului și a bunăstării economice la scară locală, regională, națională, internațională, globală și posibilitatea producerii unor consecințe ireversibile;
- absența unei legături directe și clare între anumite cauze și efecte asupra mediului.

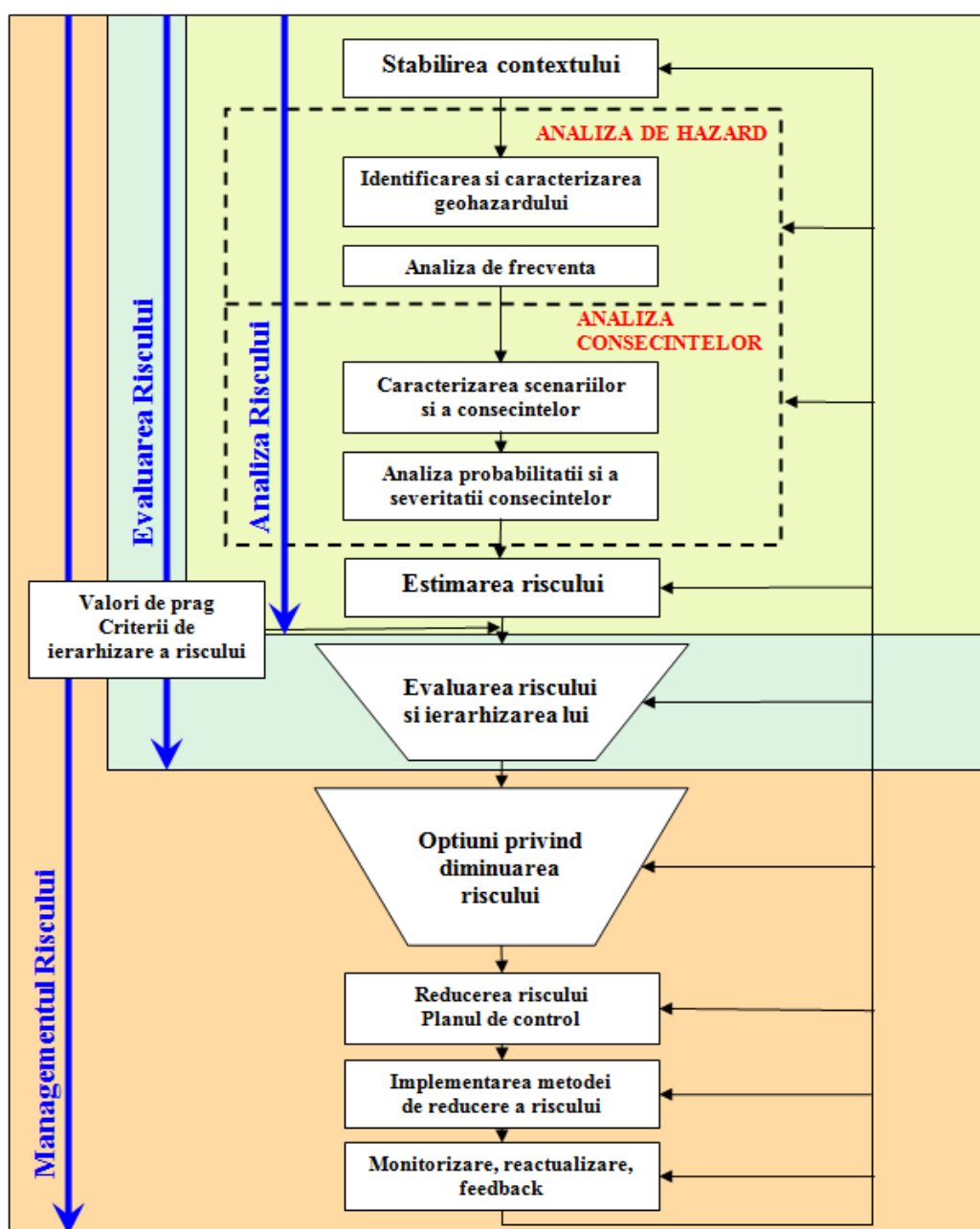


Fig. 1 Etapele procesului de management al riscului geologic (după Fell și al. 2005)



## **Particularitatea managementului riscului de mediu în perimetrele de exploatare minieră (uraniferă)**

Managementul riscului de mediu diferă semnificativ de managementul altor tipuri de risc, datorită faptului că caracteristicile sale particulare reflectă complexitatea mediului. Numărul mare de ecosisteme și organisme, modul în care acestea interacționează între ele sau cu sistemele limitrofe generează atât un grad înalt de complexitate cât și un nivel semnificativ de incertitudine.

De cele mai multe ori, deciziile se referă la perioade lungi de timp și sunt fundamentate pe ipoteze multiple privind impactul potențial, cum ar fi, de exemplu, efectul asupra generațiilor viitoare. Datorită dificultății de a formula ipoteze precise, deciziile sunt adesea adoptate în condițiile de incertitudine științifică asupra consecințelor posibile.

Factorii care afectează managementul riscului de mediu includ :

- absența datelor sau existența unui volum redus de date;
- necesitatea formulării unor ipoteze;
- variabilitatea naturală;
- utilizarea unor concepte, tehnici și metode noi, care provin din domenii științifice insuficient dezvoltate și care constituie obiectul a numeroase dispute și controverse în ceea ce privește acțiunile care trebuie întreprinse;
- duratele mari de timp (de exemplu, deși trebuie să se țină seama de generațiile viitoare, modificările ecologice se pot produce lent, datorită decalajului temporal dintre acțiunea cauzelor și materializarea efectelor);
- efectele potențiale asupra mediului și a bunăstării economice la scară locală, regională, națională, internațională, globală și posibilitatea producerii unor consecințe ireversibile;
- absența unei legături directe și clare între anumite cauze și efecte asupra mediului.

## REZUMAT

Cercetările derulate în cadrul acestei teme au permis realizarea unei metodologii moderne pentru managementul riscului geologic declanșat de fenomene naturale și/sau antropice în zona de influență a fostelor perimetre miniere uranifere. Aplicarea metodologiilor s-a făcut în perimetrul fostei exploatări miniere Avram Iancu și a constat în identificarea riscurilor, analiza, evaluarea și monitorizarea lor în vederea reducerii sau diminuării efectelor cu impact negativ deosebit de marcant asupra integrității vieții comunității a factorilor de mediu și habitatului natural.

Datele primare achiziționate în teren și laborator, modelările proceselor generatoare de risc geologic (alunecări, subsidență miniera, contaminarea apelor de suprafață și subterane cu radionuclizi) au fost integrate într-un sistem de tip GIS (pe platforma ILWIS și ArcGis) ce a permis în continuare analizele necesare elaborării hărților de hazard, vulnerabilitate și risc necesare mai departe procesului decizional.

Noutatea constă în aplicarea integrată a acestui sistem la evaluarea, monitorizarea și predicția proceselor generatoare de risc în fostul perimetru uranifer Avram Iancu (bazinul Arieșul Mic), urmând ca în viitor să se creeze premisele utilizării pe plan extins și la celelalte perimetre existente în arealul a 10 județe. Metodologiile prezentate în această teză permit evaluarea fezabilității tehnologiilor de reducere sau diminuare a efectelor negative precum și modelarea și optimizarea rețelelor de monitorizare.

Având în vedere că sursele de contaminare existente își reduc impactul negativ cu factorii de mediu și receptorii antropici într-un interval de timp foarte mare, necesitatea aplicării unei metodologii integrate de management al riscului geologic este absolut necesară pentru a preîntâmpina eventualele situații catastrofale.

**În primul capitol** al acestei lucrări au fost prezentate relațiile dintre hazard și vulnerabilitate în contextul activității miniere uranifere din România, punând în evidență actualitatea problematicii privind gestionarea situațiilor de risc generate de sursele radioactive antropice în interacțiune cu declanșarea unor fenomene de hazard natural.

Dimensiunile acestor situații potențiale de risc sunt date atât de cantitățile mari de deșeuri radioactive respectiv  $10.120.000 \text{ m}^3$ , immobilizate în principal în halde de steril sau minereu sărac (inclusiv în iazul de decantare Feldioara), localizate în 10 județe pe o

suprafață de cca. 210 ha. Dispuse în condiții necorespunzătoare, haldele de steril radioactiv permit dispersarea contaminanților în aer, sol, sedimente, vegetație, ape de suprafață și subterane amplificată de declanșarea fenomenelor de geo-hazard.

Din punctul de vedere al cadrului legislativ în vigoare au fost prezentate succint normele și normativele naționale cu privire la managementul deșeurilor radioactive rezultate din activitățile extractive și de preparare a minereurilor de uraniu și thoriu, norme metodologice cu privire la metodologiile de elaborare a hărților de risc natural la alunecări de teren, norme privind limitarea eliberărilor de efluenți radioactivi în mediu emise la nivel guvernamental, ministerial sau de către CNCAN (Comisia Națională de Control a Activităților Nucleare).

Tot în cadrul reglementărilor legislative au fost prezentate directivele europene transpuse total sau în curs de armonizare, ce urmăresc prevenirea și reducerea efectelor negative asupra mediului (în special contaminarea apelor de suprafață și subterane, a solului) dar care propun și măsuri în vederea asigurării unui management riguros pe termen lung al hazardului la care sunt expuse comunitățile și mediul.

**În următoarele capitole** au fost prezentate conceptele ce stau la baza estimării probabiliste a riscului geologic (**Cap. 2**), respectiv entropia și principiile maximizării informației mutuale și a minimizării incertitudinii cu aplicație directă în proiectarea și optimizarea rețelei de monitorizare a parametrilor de risc. Metodologia de evaluare a riscului (**Cap. 3**) este structurată pe modelul procesului de management al riscului (AS/NZS 4360:2001) de identificare, analiză, evaluare, ierarhizare și tratare a riscurilor cuplate prin sistemul de monitorizare și revizuire ce permit evaluarea fiabilității sistemului.

**În capitolul 4** au fost parcurse etapele necesare elaborării hărților de hazard și risc în zonele fostelor exploatări uranifere. Hărțile de hazard și de risc țin seama de gradul de afectare al factorilor ambientali (stabilitatea suprafeței și a versanților, calitatea apelor subterane sau de suprafață) de către procesele antropice induse de exploatările miniere existente și de starea lor actuală (în curs de închidere, ecologizare). Efectelor exploatărilor miniere uranifere asupra acestor doi factori se realizează prin intermediul unor hărților ce exprimă distribuția spațială a impactului, în cazul de față hărți de hazard la alunecare și a riscului asociat și hărți de vulnerabilitate la poluare a acviferelor.

Din multitudinea de hărți GIS utilizate în prognozarea fenomenelor de hazard și a riscului asociat, bazate pe diferite tehnici de analiză și prelucrare a datelor primare de tipul analizelor semi-cantitative cu factori de ponderare sau indici de susceptibilitate, modele de regresie logistică, analiză probabilistică multi-variată până la cele ce utilizează analiza fractală și rețele neuronale artificiale, pentru studiul de caz au fost selectate hărți de hazard la alunecare prin metoda estimării factorului de stabilitate, hărți de prognoză a subsidenței suprafeței induse de exploatarea subterană utilizând modelul stocastic Knothe și metoda elementului finit.

Evaluarea vulnerabilității apelor subterane a fost realizată în două etape. În prima etapă a fost utilizată o metodă GIS de tipul "overlay and index" numită DRASTIC ce permite evaluarea vulnerabilității unui acvifer pe baza a șapte parametrii: adâncimea nivelului piezometric, realimentarea efectivă, tipul de acvifer, caracteristicile solului acoperitor, geomorfologia, caracteristicile zonei nesaturate, conductivitatea hidraulică.

În cea de a doua etapă a fost făcută o evaluare spațio-temporală proceselor de transport a contaminanților (radionuclizii de U) prin intermediul unor modele numerice cu diferențe finite (modelul ModFlow) și cu element finit (FemWater).

**Capitolul 5** al prezentei teze se referă la aplicarea metodologiilor prezentate în capitolele anterioare pe un studiu de caz în perimetrul fostei exploatare uranifere Avram Iancu (în zona bazinului Arieșul Mic). Zăcământul uranifer Avram Iancu a fost exploatat pe o perioadă de 30 de ani începând din 1962 până în 1992 când din considerente economice exploatarea a fost sistată.

În cadrul studiului de caz s-au utilizat următoarele date:

- Date istorice extrase din documentațiile tehnice efectuate în zonă (lucrări de cercetare geologică a zăcământului cu foraje și lucrări miniere subterane, lucrări de exploatare, planuri de orizont, secțiuni geologice reprezentative cu elemente tectonice);
- Date din cartări actuale efectuate în teren în care au fost identificate, localizate și evaluate cantitativ sau calitativ sursele de contaminare (determinări doze gamma, radon, concentrații de U și Ra în apele de suprafață, apele de mină, ape subterane) calitatea factorilor de mediu, parametrii morfologici (geometria taluzelor de halde și a versanților naturali, parametrii de forfecare), extinderea fostelor alunecări de teren, etc;

- Date de laborator pe probele prelevate din teren (apă, sol, sedimente), parametrii de forfecare, conductivități hidraulice și coeficienți de distribuție (partiție)
- Date din modele matematice (analitice și numerice): evaluări de stabilitate, modelarea transportului radionuclizilor de U în acviferul freatic, prognoza subsidenței miniere prin metode stocastice și numerice.

În etapa de pregătire a datelor primare au fost digitizate și georeferențiate spațial (în sistemul Stereo70) toate elementele în formate corespunzătoare preluării într-un sistem GIS - platforma utilizată a fost ArcGIS iar pentru prelucrările necesare întocmirii hărților de hazard, vulnerabilitate și risc s-a utilizat softul ILWIS (fig. 2).



Fig. 2 Achiziția datelor în teren și încărcarea bazei de date geospațiale

Cu ajutorul acestor date a fost realizat modelul 3D al exploatării miniere ce cuprinde: modelul digital al suprafeței terenului în care se află suprapuse elemente hidrografice, haldele de steril, lucrări de amenajare și de închidere; structura geologică și lentilele cu mineralizația uraniferă, elemente tectonice; lucrări miniere orizontale și verticale, abatajele de exploatare a mineralizației.

Pentru realizarea diferitelor faze ale modelului 3D au fost utilizate următoarele softuri: GlobalMapper pentru digitizare și georeferențierea elementelor din teren, QuickSurf sub AutoCad pentru modelarea digitală a terenului, INTERDEX Visidata



pentru analiza datelor din foraje și lucrări miniere și întocmirea profilelor geologice, Surpac Vision pentru modelarea corpurilor solide, operații booleene cu suprafețe și volume (fig. 3).

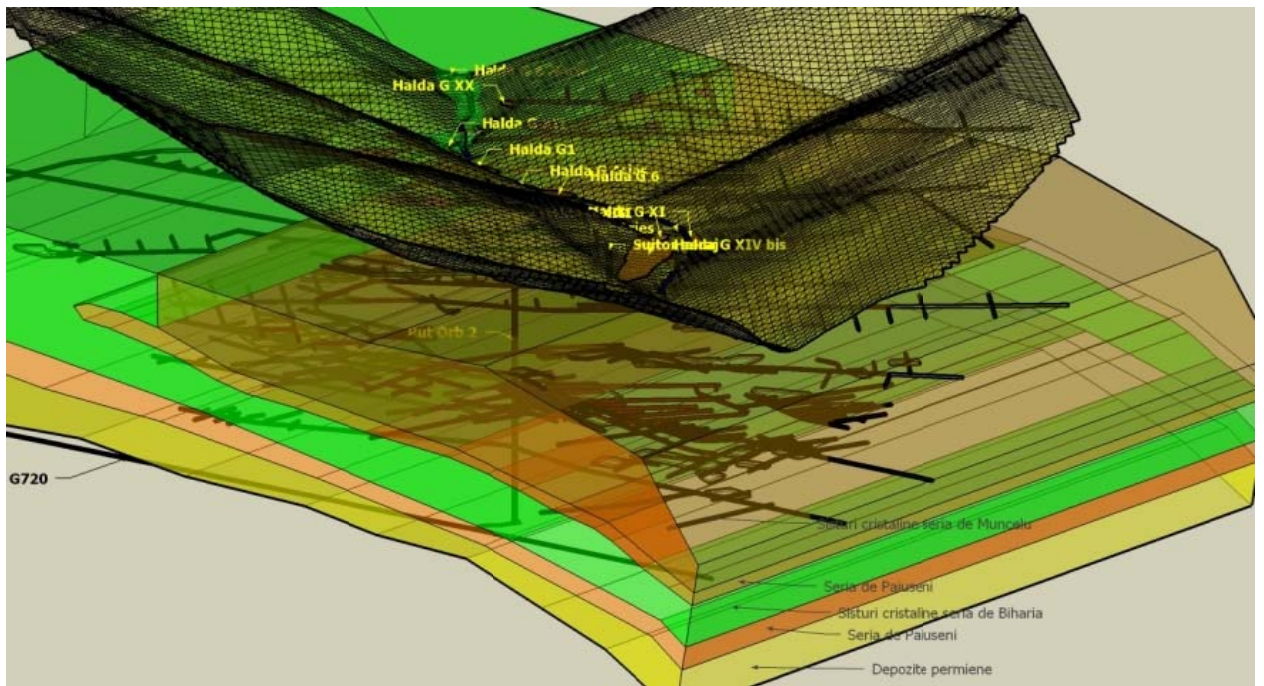


Fig. 3 Vedere dinspre SW a modelului 3D cu toate elementele vizibile



Fenomene de subsidență minieră sau colaps



Alunecări, fenomene erozionale



Transportul radionuclizilor în apele de suprafață și subterane



Emisii de radon și radiație gamma

Fig. 4 Ocurența fenomenelor de geohazard în perimetrul fostei exploatări uranifere



Analizând frecvența de ocurență, magnitudinea și impactul fenomenelor naturale și antropice asupra creșterii gradului de contaminare cu radionuclizi a zonelor din perimetrul exploatării precum și a posibilității de extindere în zone limitrofe, am optat pentru următoarele fenomene de geo-hazard: alunecări de teren pe versanții văii sau pe taluzele de halde, subsidența minieră indusă de exploatarea în subteran și contaminarea cu radionuclizi a acviferului freatic aferent văii Arieșul Mic (fig. 4).

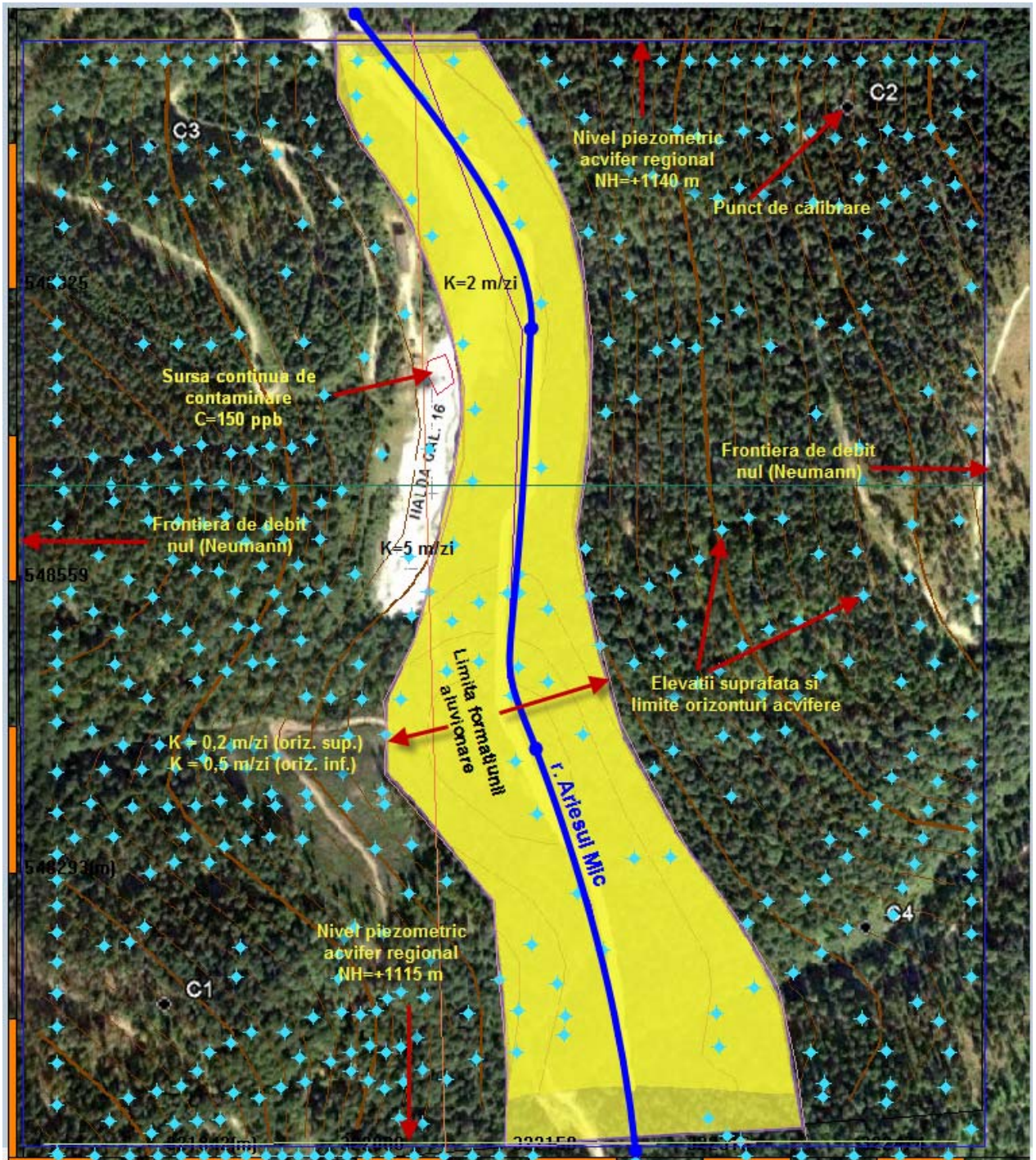


Fig. 5 Modelul conceptual al sistemului în care se produce contaminarea cu radionuclizi (tronsonul aval de halda Gal. 16 – Avram Iancu)

Modelarea dispersiei radionuclizilor de uraniu în acviferul freatic al văii Arieșul Mic s-a făcut cu ajutorul modelării numerice cu diferențe finite optându-se pentru varianta de descriere a amplasamentului printr-un model conceptual (fig. 5). Modelul conceptual asigură simularea corespunzătoare a realității fizice punctându-se acele elemente care induc modificări sistemului și permite o trecere mai normală la discretizarea pe rețeaua 3D cu diferențe finite. Softurile utilizate au fost Groundwater Modeling System (Brygham University) și Interactive Groundwater (Michigan State University).

În general, analizele numerice privind transportul contaminanților în apele subterane sunt bazate pe parametri efectivi de transport (de ex. macro-dispersia), folosind ca metode de aproximare omogenizarea unui mediu hidrogeologic anizotrop. Acest lucru poate conduce la erori majore atât în cadrul definirii modelului conceptual cit și în rezultatele finale aferente aplicării modelării numerice la situația respectivă.

În acest sens în cadrul simulării dispersiei contaminanților au fost utilizate și modelele stocastice care iau în considerație variabilitatea spațială a datelor de intrare (ex. conductivitățile hidraulice), considerându-le drept funcții de distribuție de probabilități (PDF). S-a considerat cazul în care acviferul este heterogen datorită distribuției aleatoare a conductivității hidraulice în roca gazda. Distribuția valorilor de conductivitate hidraulică a fost simulată cu ajutorul algoritmului gaussian secvențial considerându-se un model anizotrop gaussian (din punctul de vedere al funcției probabilității de distribuție).

În cazul unei heterogenități importante, impactul este major mai ales asupra formei și extinderii penei de contaminant și asupra timpului de realizare a concentrațiilor în punctele de monitorizare (fig. 6). Acest tip de modelare numerică s-a făcut cu ajutorul softului Interactive Groundwater ce permite o modelare 2D pe baza unor modele conceptuale deterministe și stocastice unificate.

În etapa următoare s-a realizat o modelare 3D a dispersiei radionuclizilor în acviferul freatic cu ajutorul modelelor cu diferențe finite ModFlow și în continuare cu modulul FemWater cu element finit al softului GMS ver.6 (fig. 7).



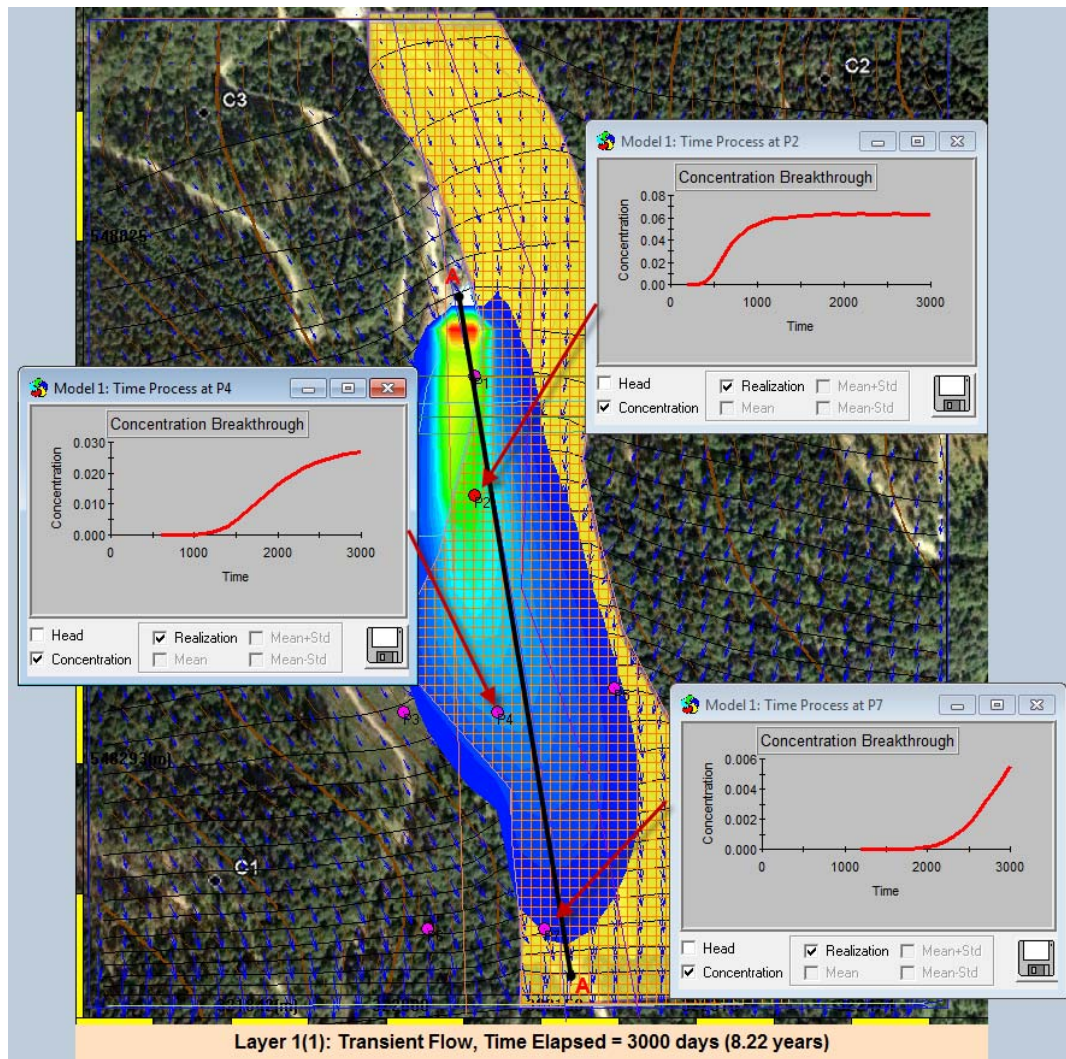


Fig. 6 Variația în timp a concentrației la nivelul forajelor de monitoring

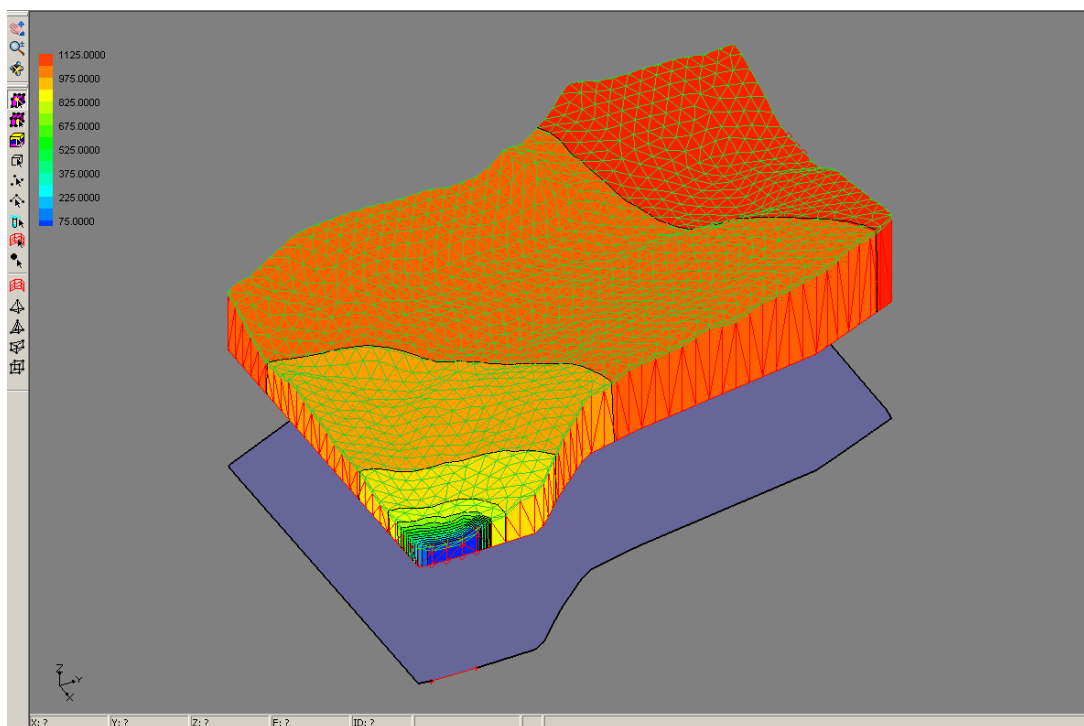


Fig. 7 Distribuția echipotențialelor în cadrul modelului (pachet Femwater)

Modelarea 3D a permis vizualizarea soluției privind rezolvarea sistemului de transport al contaminanților prin reprezentarea grafică statică sau dinamică a evoluției penei de contaminant la diferite perioade de timp. Modelarea dispersiei radionuclizilor de U s-a făcut în continuare luând în considerație sorbția și dezintegrarea. Ca rezultat final, sorbția va încetini mișcarea penei de poluant iar dezintegrarea va micșora concentrația (fig. 8, 9, 10).

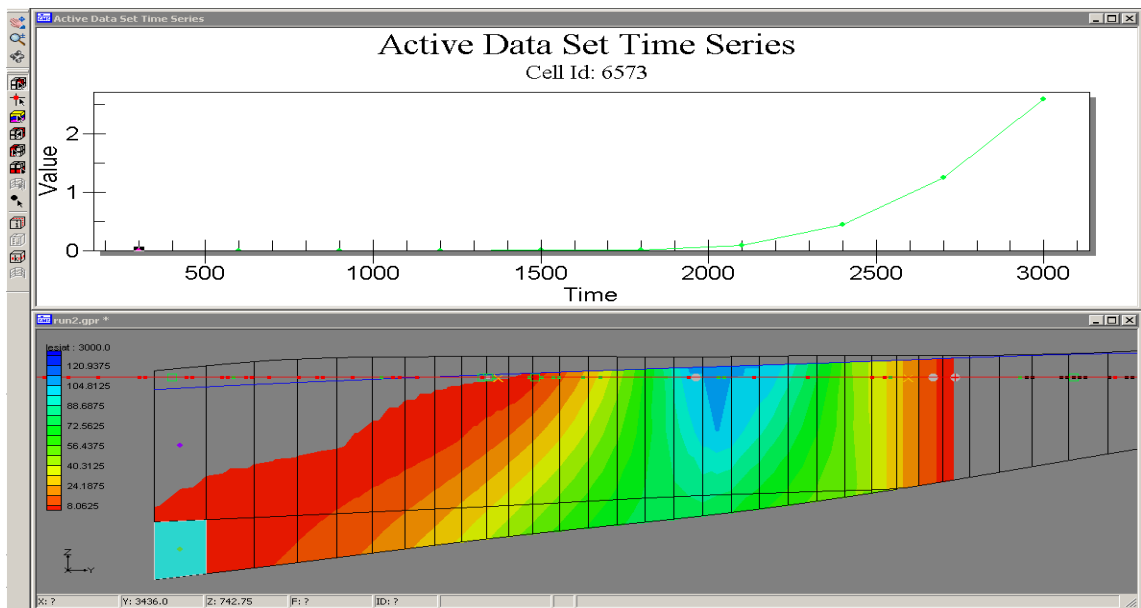
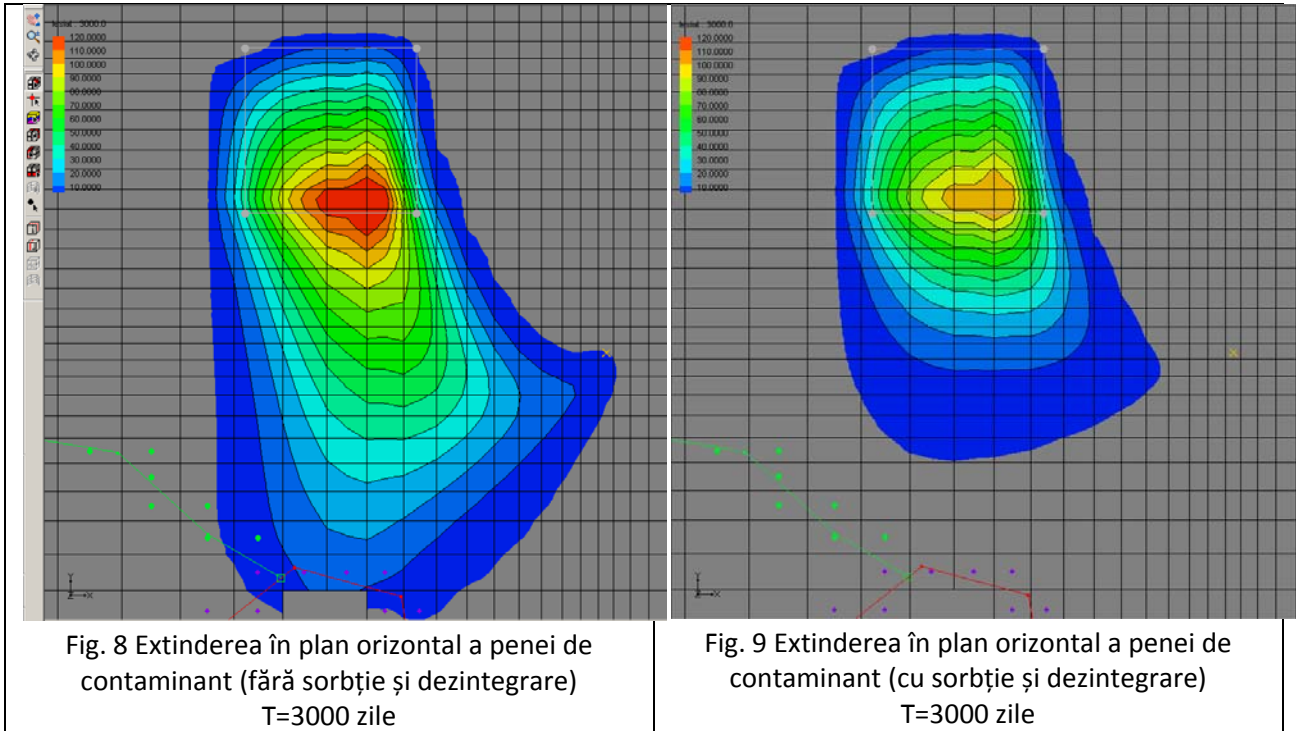


Fig. 10 Serii de timp într-o secțiune longitudinală la timpul T=3000 zile și graficul concentrației pentru celula 6573 (cu sorbție și dezintegrare)

Aceste metode de simulare pot fi folosite în mod special la proiectarea rețelelor de monitorizare a contaminării acviferelor și la proiectarea și verificarea fiabilității soluțiilor tehnice de atenuare sau remediere în situ a acviferelor poluate cu diferite substanțe solide sau lichide.

Evaluarea hazardului la alunecare în zona de studiu s-a făcut atât pentru versanții naturali cât și pentru taluzele de haldă. Metodele utilizate au fost următoarele: estimarea zonelor cu susceptibilitate mare la alunecări pe taluze naturale prin metoda SINMAP (metoda GIS de estimare a indicelui de stabilitate a versanților), estimarea conform Ghidului de elaborare a hărților de hazard și risc de detaliu (dec. 2002) și metode analitice și numerice pentru detalierea situațiilor în zone cu grad ridicat de risc (haldele de steril).

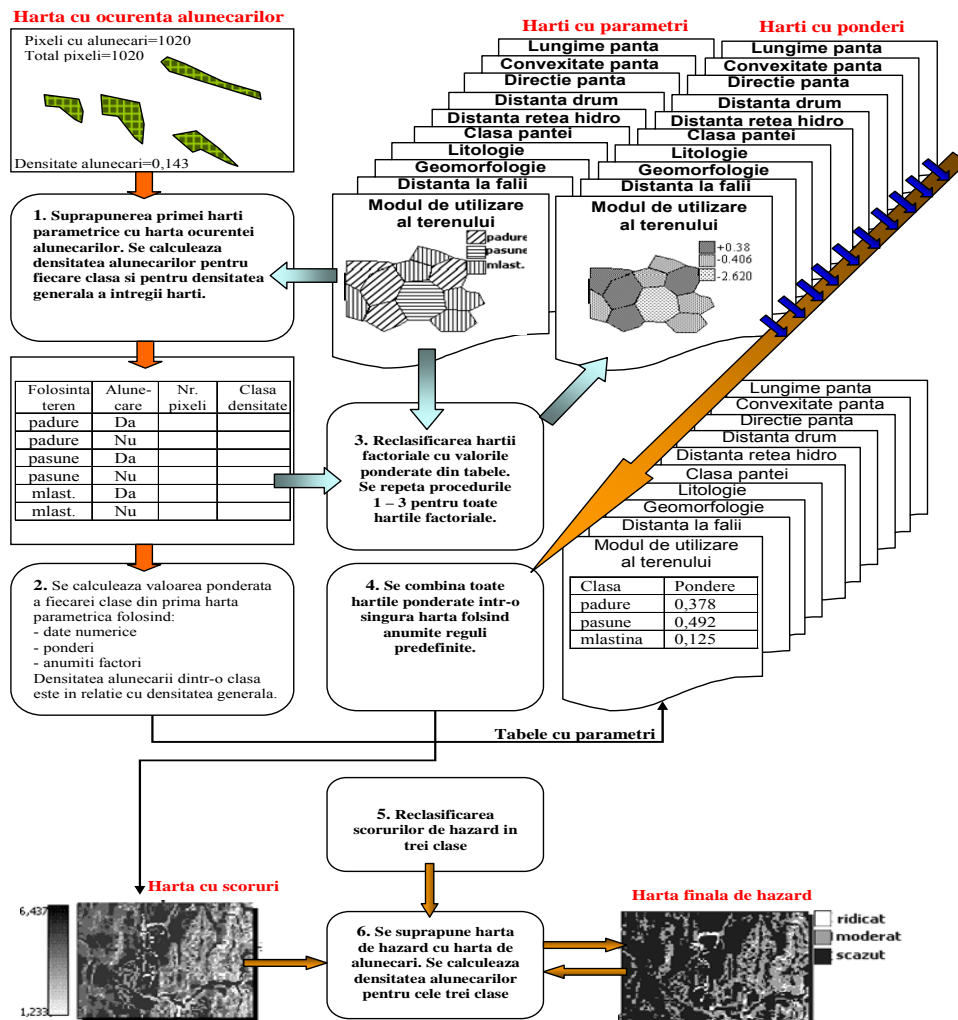


Fig. 11 Metodologia de realizare a hărților de hazard la alunecare prin metoda statistică



Metoda de evaluare a hazardului la alunecare conform Ghidului de elaborare a hărților de hazard și risc de detaliu a permis realizarea pe baza analizei a 8 profile geotehnice caracteristice și a factorilor de stabilitate aferenți a hărții cu distribuția zonelor cu diferite probabilități de producere a alunecării (fig. 12).

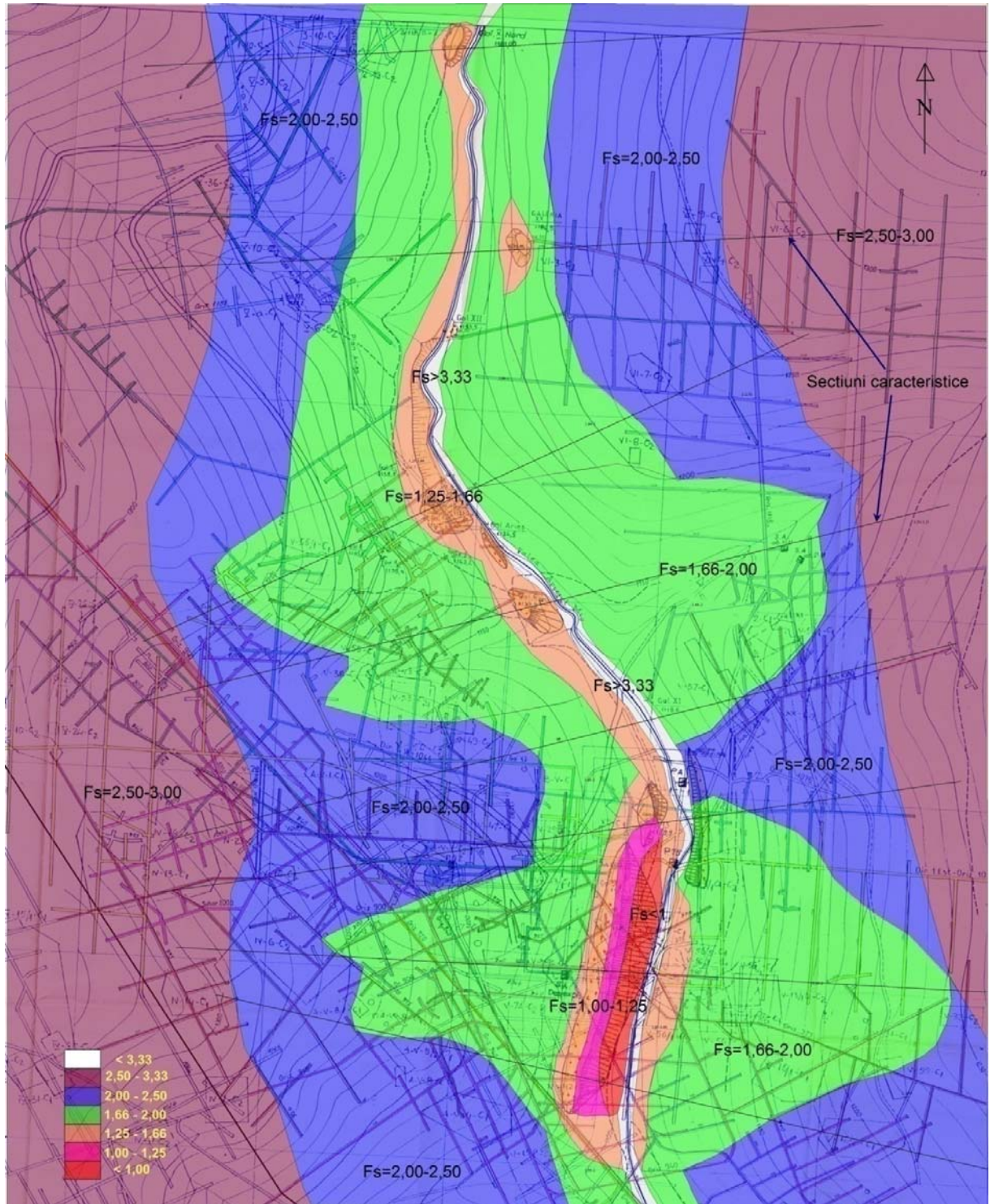


Fig. 12 Harta de hazard la alunecări realizată pe baza factorului de stabilitate determinat pe secțiuni caracteristice (conform metodologiei de elaborare a hărților de risc la detaliu – UTCB 2003); coef. seismic  $K_s=0,08$

La nivel de detaliu, au fost analizate prin metode analitice și numerice acele situații ce reclamă măsuri mai rapide de diminuare a riscului la alunecare, cum ar fi schimbarea unghiului de taluz datorita fenomenelor de eroziune de la baza versantului, încărcări la partea superioara a taluzului, slăbiri structurale de genul eroziunilor interne în corpul haldelor de steril. Metodele analitice de calcul utilizate sunt cele din categoria echilibrului limită (Janbu, Bishop, Spencer, Morgenstern-Price).

În cazul analizei de stabilitate, metoda elementului finit abordată în această lucrare se bazează pe conceptul reducerii parametrilor de forfecare (Shear Strength Reduction – SSR) în care factorul de siguranță al unui taluz reprezintă raportul dintre rezistența actuală la forfecare și rezistența la forfecare minimă necesară prevenirii declanșării fenomenului de alunecare sau factorul de reducere al rezistențelor de forfecare pentru a aduce taluzul la limita producerii alunecării (fig. 13).

Punerea în evidență a momentului în care se declanșează alunecarea se realizează în cadrul analizei cu element finit prin procedee iterative până la atingerea nivelului de neconvergență, criteriile Mohr-Coulomb și echilibrului global nemaiputând fi satisfăcute. Fenomenul de alunecare și neconvergența soluției sistemului de ecuații au loc în același timp și sunt însoțite de o creștere bruscă a deplasărilor totale. Avantajul metodei elementului finit în evaluarea stabilității este superioară în acest sens metodelor analitice.

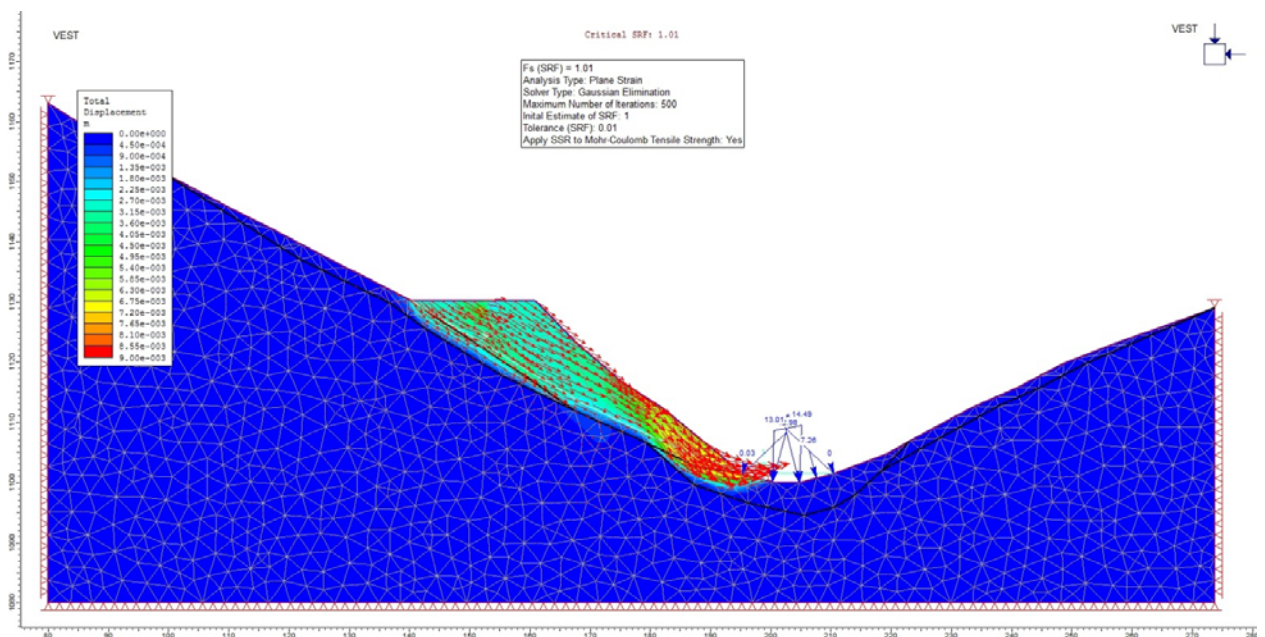


Fig. 13 Analiza statică cu ajutorul metodei elementului finit a stabilității haldei Gal. 16. Deplasări totale. (cu roșu sunt reprezentați vectorii de deplasare)



În etapa de modelare a subsidenței miniere s-a utilizat metoda de analiza numerică prin metoda elementului finit implementată în softul Phase 2 (utilizat și pentru calculul stabilității). Avantajul acestei metode constă în posibilitatea modelării unor structuri geologice complexe cu elemente tectonice discordante, greu discretizabile prin alte metode de analiza. De asemenea metoda permite evaluarea dezvoltării albiei de scufundare gradual ținând cont de ordinea de exploatare a lentilelor mineralizate în subteran permițând punerea în evidență a evoluției deplasărilor și deformațiilor în timp. În funcție de valoarea deplasărilor verticale și orizontale și de valoarea deformațiilor admisibile, suprafața afectată de subsidență poate fi clasificată pe categorii de siguranță pentru obiective civile și industriale (fig. 14, 15).

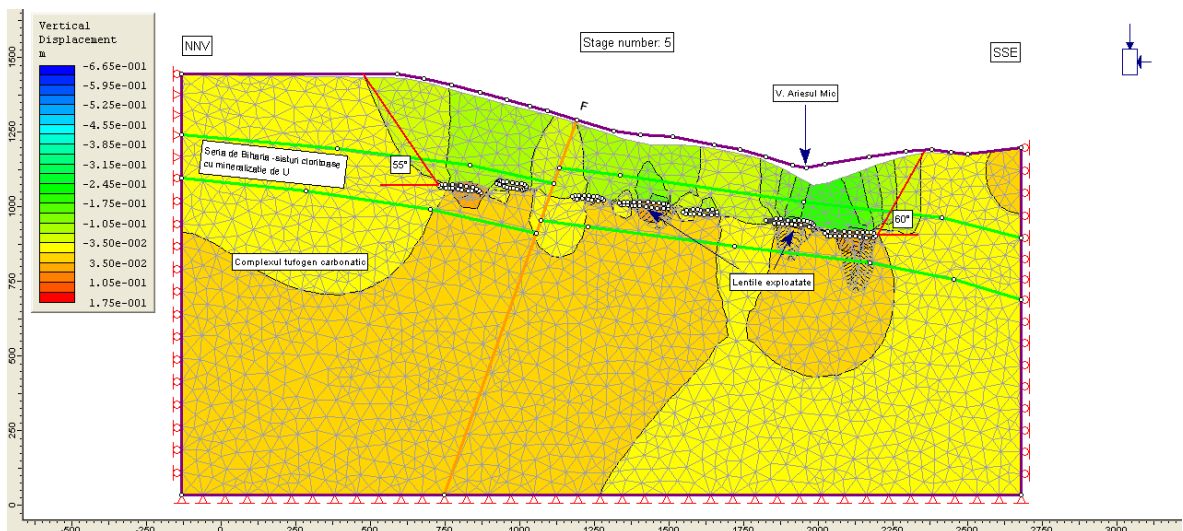


Fig. 14 Analiza plana 2D prin metoda elementului finit – distribuția deplasărilor verticale în etapa a V-a de exploatare

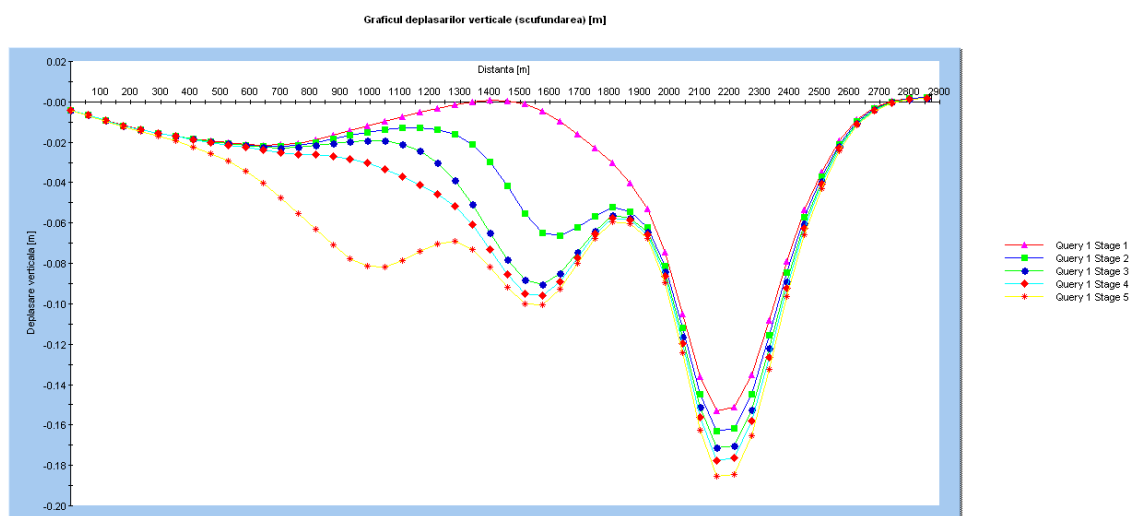


Fig. 15 Profilele scufundărilor suprafeței (deplasări verticale) la diferite etape de exploatare

Achiziția datelor referitoare la dezvoltarea fenomenelor de geohazard în arealul perimetrului de studiu a permis în continuare întocmirea hărților de hazard și de risc. Gradul de hazard al zonei este determinat printr-o multitudine de factori. Acești factori analizați separat și reprezentați cartografic sunt în interdependență, influențându-se unul pe celălalt.

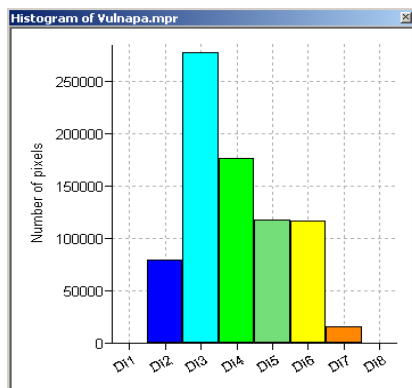
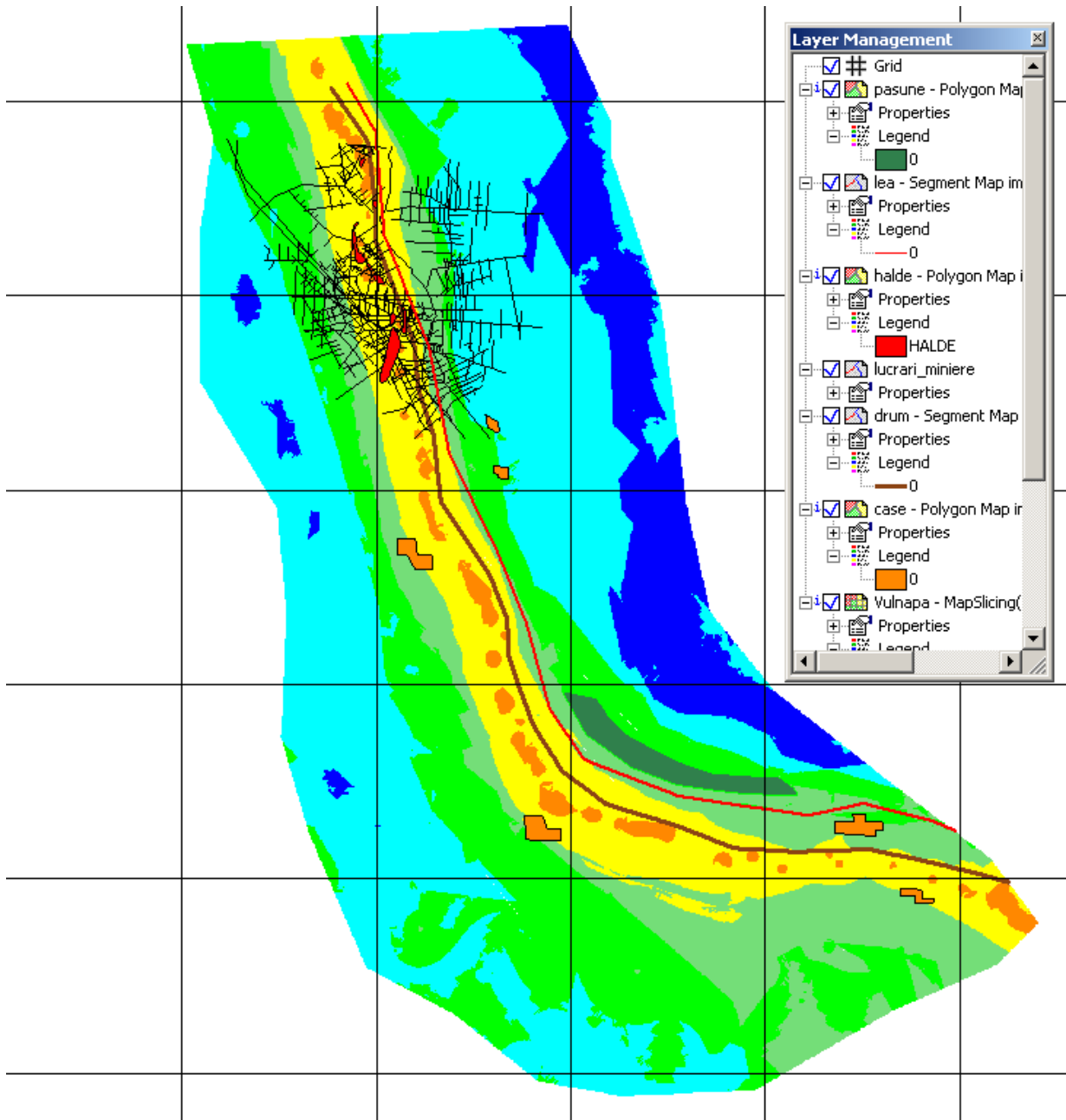
Etapele întocmirii hărților de hazard au fost următoarele:

- **Realizarea hărților parametrice** (cu distribuția spațială a magnitudinii (sau prezentei) parametrilor de hazard) pentru fiecare fenomen: alunecări de panta, seismicitate, inundații, eroziune torențială, subsidență miniera, contaminare ape subterane și de suprafață
- **Realizarea hărților cu valori ponderate** (valorile ponderate sunt obținute prin transformarea hărților parametrice cu clasificări pe baza unor matrici asignate formatelor rastru)
- **Harta primară de hazard** (însumarea algebrică a hărților cu ponderi într-o singură hartă ținând cont și de prioritatea sau importanța fenomenului declanșator)
- **Harta finală de hazard** (clasificarea hărții de hazard prin atribuirea de scoruri)

Etapele urmate în realizarea hărții generale de vulnerabilitate sunt relativ asemănătoare cu cele de la harta de hazard, realizându-se la început hărțile cu ponderi pentru toate elementele expuse la hazard. Valorile acestor ponderi se bazează pe importanța relativă a fiecărui element supus dezastrului.

Realizarea hărții de risc s-a făcut cu ajutorul unei matrici bidimensionale care conține toate elementele nedefinite pentru toate combinațiile între scorurile dintre hazard și vulnerabilitate.

La întocmirea hărților de vulnerabilitate și de risc sunt respectate două principii: când hazardul este redus nu contează dacă vulnerabilitatea este redusă sau ridicată, riscul va fi redus în toate cazurile iar când vulnerabilitatea este foarte mică (suprafața analizată nu conține multe elemente supuse riscului), riscul este întotdeauna scăzut.



File Edit Columns Records View Help		
class	Clasa_vuln	
DI1	DI1	25-50
DI2	DI2	50-75
DI3	DI3	75-100
DI4	DI4	100-125
DI5	DI5	125-150
DI6	DI6	150-175
DI7	DI7	175-200
DI8	DI8	200-225

Column Calculate "class": %K

Fig. 16 Harta de vulnerabilitate a acviferului freatic din bazinul Arieșul Mic – Avram Iancu. Clase de vulnerabilitate și frecvența acestora în perimetrul cercetat



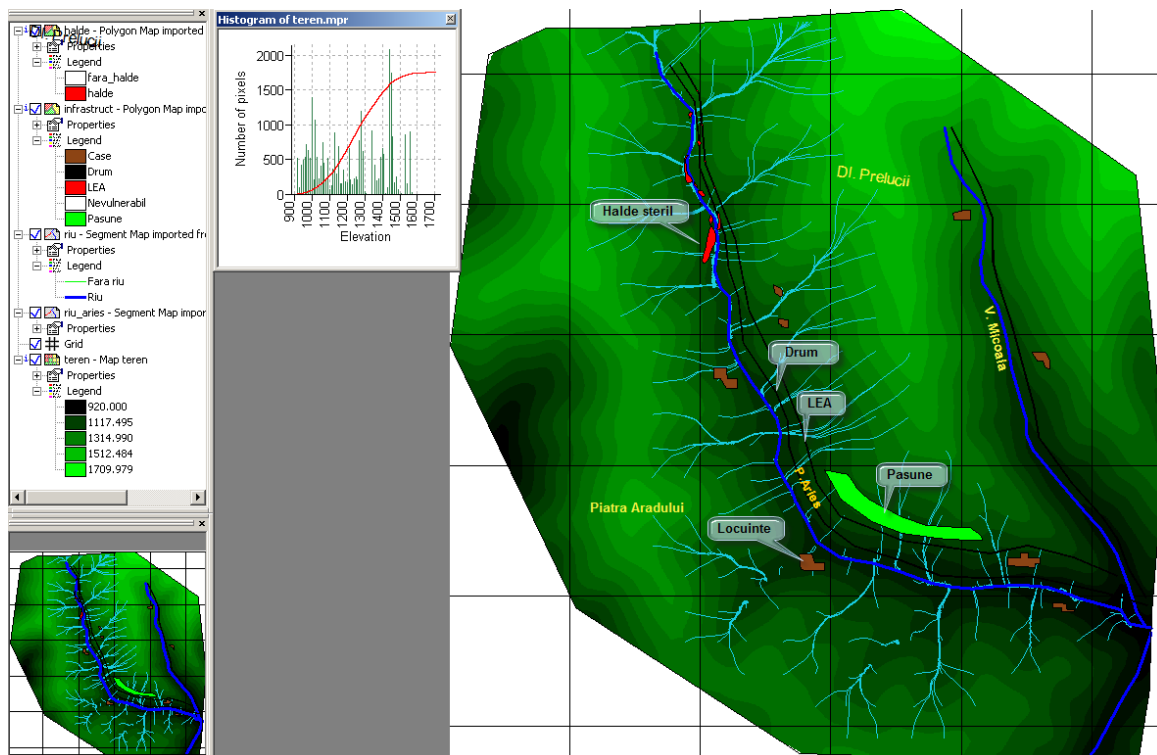


Fig. 17 Harta generală a zonei și amplasarea elementelor potențial

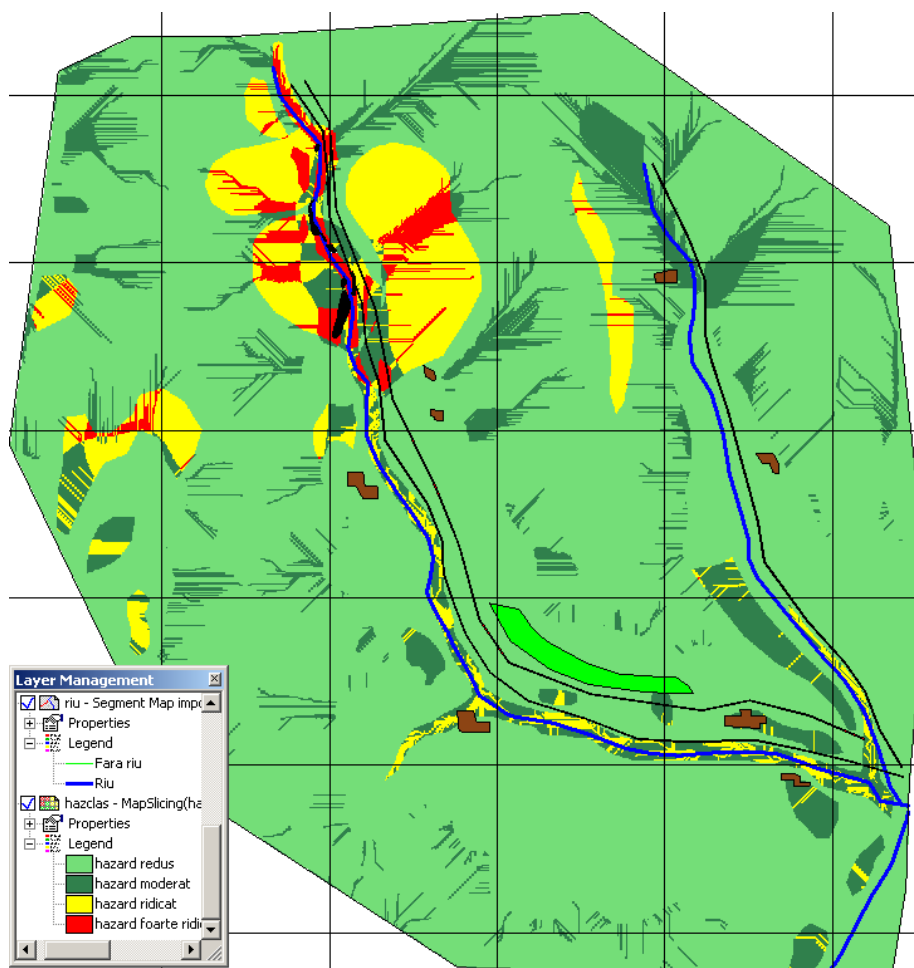


Fig. 18 Harta finală de hazard cu scoruri bazinul - Arieșul Mic, Avram Iancu

Ca măsuri de reducere sau atenuare a riscului în amplasamentul de studiu, au fost selectate următoarele: (1) metoda de remediere a acviferelor poluate utilizând bariere permeabile reactive (BPR) și (2) metoda de creștere a stabilității haldelor de steril prin retaluzare și amplasarea ancorelor active. Aceste tehnici de remediere și reducere a riscului au fost analizate din punct de vedere conceptual și au fost simulate prin metode numerice.

Metoda de remediere cu ajutorul barierelor reactive a acviferelor contaminate cu radionuclizi se bazează pe principiul reducerii uraniului hexavalent în uraniu tetravalent în stare precipitată la trecerea printr-un mediu reactiv (bariera permeabilă) alcătuit din nano particule de fier zerovalent sau carbon granular activ.

Determinarea parametrilor necesari calibrării modelului numeric s-a făcut prin experimente de laborator pe coloana de reacție. Parametrul critic necesar a fi cunoscut atât în etapa de simulare numerică cât și în cea de proiectare a barierei permeabile reactive este coeficientul de partiție ( $K_d$ ). Testele utilizate pentru determinarea coeficientului de partiție s-au făcut pe diferite tipuri de materiale reactive în regim discontinuu. Metoda permite determinarea capacității materialelor reactive de a reține contaminantul permițând selectarea celui optim.

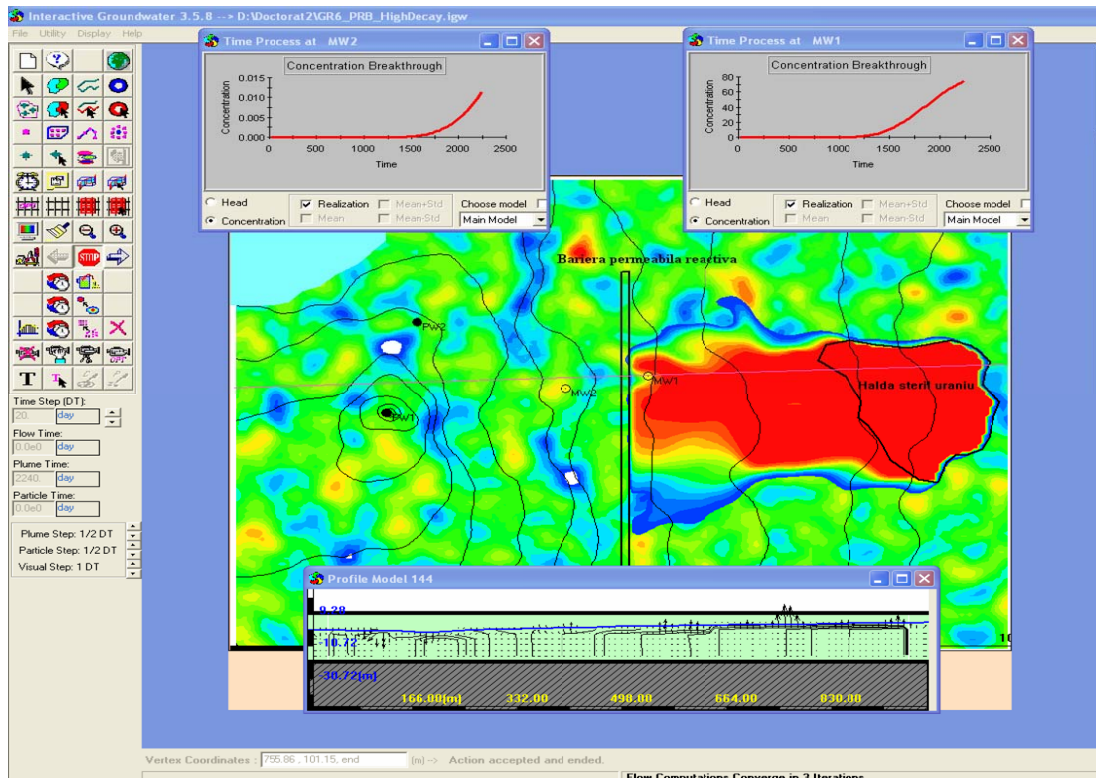


Fig. 19 Reprezentarea simulării decontaminării cu bariera reactiva și rezultatele monitorizării concentrației contaminantului în soluție (după 2500 de zile)

Cu ajutorul acestor date, simularea numerică a fiabilității metodei de remediere a fost realizată pe două secțiuni bidimensionale ce cuprind bariera permeabilă reactivă, foraje de monitorizare a concentrației funcție de timp în aval și amonte de barieră și un foraj de pompare a apei curate aval de barieră. Simularea s-a făcut în două ipoteze, cea a unui acvifer anizotrop omogen și cea a unui acvifer tot anizotrop dar heterogen datorită distribuției aleatoare a conductivității hidraulice în roca permeabilă (fig. 19).

Modelul de infiltrație în corpul barierei reactive este caracterizat prin procesul de sorbție – desorbție, concentrația contaminantului fiind estimată ca o funcție de partiționare a echilibrului între faza solidă și soluție. Modelul numeric a permis evaluarea concentrației contaminantului la diferite momente în timp în funcție de distribuția statistică a valorii parametrilor de curgere și transport (în simularea stocastică). Din distribuția în timp a concentrațiilor pe forajele de monitorizare a rezultat un timp experimental de 100 de zile pentru obținerea unui flux de apă curată.

Metoda de creștere a stabilității haldelor de steril afectate de procese erozionale a constat în modificarea geometriei taluzelor prin execuția a două berme de siguranță și amplasarea a două aliniamente cu ancore active încastate în roca de bază (calcarele senoniene). Analiza de stabilitate a secțiunii bidimensionale prin taluzul haldei (Gal. 16) a permis determinarea factorului de siguranță (și implicit a rezervei de stabilitate pentru acest tip de depozit) atât în ipoteza statică cât și cea pseudo-statică cu solicitare seismică corespunzătoare zonei.

*Doctorand ing. geolog Mihai Ovidiu Sorin*

***București 17.06.2010***

## BIBLIOGRAFIE

1. Albu, M., Pene, C., *Mecanica fluidelor pentru ingineria geologică*, Ed.Universității, București,1997
2. Aleotti, P., Chowdhury, R. N. (1999), *Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives*. Bulletin of Engineering Geology and Environment, **58**, p. 21-44.
3. Antonello, G. et al. (2004), Ground-based SAR interferometry for monitoring mass movements, în *Landslides*, Edit. Springer;
4. Appelo, C.A.J., Postma, D., 1993. *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. Balkema, Rotterdam, NL.
5. Atkinson, P.M., Massari, R., 1998. *Generalized linear modeling of susceptibility to landsliding in the central Apennines, Italy*. Computers and Geosciences 24, 373–385.
6. Ayalew, L., Yamagishi, H., (2005), *The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan*, Geomorphology Mäusbacher R and Schulte A (Eds.) Beiträge zur Physiogeographie - Festschrift für Dietrich Barsch. Heidelberg, Selbstverlag des Geographischen Instituts der Universität Heidelberg, **104**, p. 237-50.
7. Broder J. Merkel, Britta Planer-Friedrich, 2005, *Groundwater Geochemistry - A Practical Guide to Modeling of Natural and Contaminated Aquatic Systems*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, The Netherlands
8. BAHAGUNA P.P., SRIVASTAVA A.M.C. and SAXENA N.C., 1991. “A critical review of mine subsidence prediction methods”, *Mining Science and Technology*, vol. 13, pp. 369-382.
9. Baeza C and Corominas J (2001) *Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques*. *Earth Surface Processes and Landforms* 26:1251-63.
10. Bălțeanu, D. (1983), *Experimentalul de teren în geomorfologie*, Edit. Academiei, București
11. Bălțeanu, D., Alexe, R. (2001), *Hazarde naturale și antropice*, Ed. Corint
12. Bell, R., Glade, T. (2004), *Landslide risk analysis for Bildudalur*, NW-Iceland. *Natural Hazard and Earth System Science*, 4, p. 1-15.
13. Bredehoeft, J. D., Pinder G. F., 1973, Mass transport in flowing groundwater. *Water Resources Research* 9: 194-210
14. Brooks SM, Crozier MJ, Glade T and Anderson MG (2004) *Towards establishing climatic thresholds for slope instability: Use of a physically-based combined soil hydrology- slope stability model*. *Pure and Applied Geophysics* 161.
15. Brauner, G. *Subsidence Due to Underground Mining II. Ground Movements and Mining damage*, U.S.Bureau of Mines, IC 8572, 1973.
16. Brauner, G. *Subsidence Due to Underground Mining. Theory and Practices in Predicting Surface Deformation*, U.S.Bureau of Mines, IC 8571, 1973.
17. Briggs, H. *Mining Subsidence*, Arnold, London, 1929.

18. Carrara, A. (1983), *Multivariate models for landslide hazard evaluation*, *Mathematical Geology*, **15**, p. 403-426.
19. Carrara, A. (1989), *Landslide hazard mapping by statistical methods: a "black-box" model approach* Proceedings International Workshop on Natural Disasters in European-Mediterranean Countries. Perugia, June 27-July 1, 1988, CNR-ESNSF:205-224.
20. Carrara, A., Guzzetti, F. (Eds.) (1995), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards. Advances in natural and technological hazards research*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
21. Carrara, A., Carratelli, E. P., Merenda, L. (1977a), *Computer-based data bank and statistical analysis of slope instability phenomena*, *Zeitschrift für Geomorphologie*, **21**, p. 187-222.
22. Caselton, W. F., Zidek, J. V., *Optimal monitoring network designs*, *Statistics & Probability Letters*, Volume 2, Issue 4, August 1984, p. 223-227
23. Chilès, J.P., Aug, C., Guillen, A. and Lees, T., 2004, *Modelling the Geometry of Geological Units and its Uncertainty in 3D From Structural Data: The Potential-Field Method: Workshop Proceedings: Orebody Modelling and Strategic Mine Planning*, Perth,WA, 22-24 November 2004.
24. Chung, C-J. F., Fabbri, A. G. (1999), *Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping*, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **65**, p. 1389-1399.
25. Chung, C-J. F., Fabbri, A. G. (2002), *Landslide risk analysis from prediction of future occurrences based on geomorphology-related spatial data IAMG, 15-20 September 2002*, Berlin, Germany.
26. Chung, C-J. F., Fabbri, A. G., van Westen, C. J. (1995), *Multivariate regression analysis for landslide hazard zonation*, in *Geographical Information Systems in assessing natural hazards*, **5**, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers – Carrara A and Guzzetti F (Eds.), p. 107-134.
27. Clayton V. Deutsch, 1999, *Geostatistical methods for modelling earth science data*, University of Alberta
28. Constantin, M., Chendes, V.(2003), *A spatial distribution analysis of landslides in the Subcarpathians between the Buzau and the Slanicul Buzaului valleys, Romania*, *Geophysical Research Abstracts*, vol.5. 14652, European Geophysical Society, 2003, ISSN:1029-7006
29. Constantin, M. et al. (2005), *Geomorphological hazards in Romania. Some examples from the area situated at the contact between Buzau Carpathians and Buzau Subcarpathians*, *Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering*, vol.58, no.1, p.59-62, Japan
30. Constantin, M., 2006, *Proгноза alunecarilor de teren. Abordari actuale*, Edit. AGIR, Bucuresti, 99p
31. Crozier, M. J., Glade, T. (1999), *Frequency and magnitude of landsliding: fundamental research issues*, *Zeitschrift für Geomorphologie*, Supplement Band, **115**, p. 141-155.
32. Crozier, M. J. (1989), *Landslides: Causes, consequences and environment*, Routledge.
33. Crozier, M. J., Eyles, R. J., Marx, S. L., McConchie, J. A., Owen, R. C. (1980), *Distribution of landslips in the Wairarapa hill country*, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, **23**, p. 575-586.

34. Cruden, D. M., Varnes, D. J. (1996), *Landslide types and processes*, in *Landslides: investigation and mitigation*, **247**, Washington, D.C., National Academy Press – Turner, A. K., Schuster, R. L. (Eds.), p. 36-75.
35. Dai, F.C., Lee, C. F., Ngaim, Y.Y. (2002), *Landslide risk assessment and management: an overview*. *Engineering Geology*, **64**, p. 65-87.
36. Dai FC, Lee CF (2002) *Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong*. *Geomorphology* 42:213–228
37. Dawson, E., Motamed, F., Nesarajah, S. and Roth, M. (2000). Geotechnical stability analysis by strength reduction, *Slope Stability 2000*, Proceedings of Sessions of Geo-Denver 2000, ASCE Geotechnical Special Publication no. 101, pp. 99-113.
38. Degg, M. R. (1992). *Natural disasters: recent trends and future prospects*, *Geography* vol.77, p.198-209
39. Fabriol, R., Sauty, J.P., Ouzounian, G., 1993. Coupling geochemistry with particle transport model. *J. Contam.Hydrol.* 13, 117–129.
40. Fell R (1994) *Landslide risk assessment and acceptable risk*. *Canadian Geotechnical Journal* 31:261-72.
41. Fell R (2000) *Landslide Risk Management Concepts and Guidelines* - Australian Geomechanics Society Sub- Committee On Landslide Risk Management. International Union of Geological Sciences (Ed.) *Landslides*. Cardiff, UK, International Union of Geological Sciences:51-93.
42. Fetter, C.W., *Contaminant hydrogeology*, Macmillan Publishing Company, New York, 1992
43. Florea, M.N. *Alunecări de teren și taluzuri*, Editura Tehnică, București, 1979.
44. Fotă, D. *Influența lucrărilor subterane asupra stabilității construcțiilor de la suprafață*, în *Geologie inginerească*, vol.II, Editura Tehnică, București, 1981.
45. Gheorghe A., Zamfirescu F., Scărădeanu D., Albu M., 1988, *Aplicații și probleme de hidrogeologie*, Ed. Univ.Bucuresti.
46. Gheorghe A., Zamfirescu F., Scărădeanu D., Albu M., 1983, *Aplicații și probleme de hidrogeologie*, Editura Universității București.
47. Glade, T. (2003), *Vulnerability assessment in landslide risk analysis*, *Die Erde*, **134**, p.121-138.
48. Glade T., Anderson M., Crozier M. (Eds): *Landslide hazard and risk*.- Wiley, Chichester 1-40.
49. Gorsevski, P.V., Gessler, P., Foltz, R.B., (2000). *Spatial prediction of landslide hazard using logistic regression and GIS*. 4th Int. Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling, Alberta, Canada. 9 pp.
50. Griffiths, D.V., Lane, P.A., *Slope stability analysis by finite elements*, *Geotechnique*, vol. 49, no. 3, pp. 387-403. 1999.
51. Hammond, C., D. Hall, S. Miller and P. Swetik. (1992). *Level 1 stability analysis (LISA)*, documentation for Version 2.0. U.S.D.A., For. Serv., Moscow, ID, Intermountain Res. Sta. Gen. Tech. Rep. INT-285.
52. Hartlen, J. and L. Viberg. (1988). *Evaluation of landslide hazard*. In *Proceedings 5th Inter. Sym. on Landslides*. C. Bonnard (editor). Lausanne, Switzerland, pp. 1037-1057.

- Hewitt, K., 1997. *Regions of risk. A geographical introduction to disasters*. Longman, Singapore, 384 pp.
53. Helton, J., 1994. Treatment of uncertainty in performance assessment for complex systems. *Risk Anal.* 14,483–511.
  54. Hoek E. 1974 Progressive caving induced by mining an inclined orebody. IMM Section A: A133-A139.
  55. Hutchinson, J. N., Bromhead, E. N. (2002), *Isle of Wight landslides*, in *Instability Planning and Management Isle of Wight*, Thomas Telford – McInnes, R.G., Jakeways, J. (Eds.), p. 3-72.
  56. Ianovici, V., M. Borcoş, Bleahu, M., Patruşius, D., Lupu, M., et.al, 1976, *Geologia Munţilor Apuseni*, Bucureşti, Ed. Academiei Republicii Socialiste România
  57. Ielenicz, M., Pătru, Ileana, Mihai, B. (1999), *Some Geomorphic Types of Landslides in Romania. Transactions*, Japanese Geomorphological Union, 20, p. 287-297.
  58. Jill McCoy, Kevin Johnston, 2002, *Using ArcGis Spatial Analyst*, published by ESRI, USA
  59. Ken Rehfeldt, Andrew Tompson, Ahmed Hassan, *The Role of Dispersion in Radionuclide Transport -Data and Modeling Requirements*, 2004, Stoller-Navarro Joint Venture
  60. Klerck, P. A. 2000. The finite element modelling of discrete fracture in quasi-brittle materials. Ph.D. thesis, University of Wales, Swansea.
  61. Kratzsch H., 1983. “Mining Subsidence Engineering”, Berlin, New York:Springer-Verlag, 543 pages.
  62. Langmuir, D., 1998. Aqueous Environmental Geochemistry. Prentice-Hall, New York, USA. Leroi E (1996) *Landslide hazard - Risk maps at different scales: Objectives, tools and development*. Senneset K (Ed.) *Landslides - Glissements de Terrain*, 7th. International Symposium on Landslides. Trondheim, Norway, Balkema:35-51.
  63. Lechman, J.B. and Griffiths, D.V. (2000). Analysis of the progression of failure of earth slopes by finite elements, *Slope Stability 2000*, Proceedings of Sessions of Geo-Denver 2000, ASCE Geotechnical Special Publication no. 101, pp. 250-265.
  64. Marinov A.M., *Dispersia poluantilor in apele subterane*, curs UTCB, 2006
  65. Mihai S.O., (2006). Numerical and statistical methods to assess the tailing ponds stability in mining industry. *Revista Buletin RESURSE MINERALE*, no. 1, 2006, pp. 27-34.
  66. de Marsily, G., *Quantitative Hydrogeology Groundwater, Hydrology for Engineers*, Academic Press INC, 1986.
  67. Ohlmacher, C.G., Davis, C.J., (2003). *Using multiple regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas*, USA. *Engineering Geology* 69, 331–343.
  68. O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor, P. Nithiarasu, 2005, *The finite element method for fluid dynamics*, Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford, UK
  69. Pack, R. T. Tarboton, D. G., Goodwin, C. N. (1996, 2003) *Sinmap - a stability index approach to terrain stability hazard mapping*, User's guide.

70. Pack RT, Tarboton DG, Goodwin CN (1998) *The SINMAP approach to terrain stability mapping*. In: Moore D, Hungr O (eds) Proceedings of the 8th IAEG Congress, Vancouver.A.A. Balkema, Rotterdam, pp 1157–1165
71. Peter J. Diggle, Paulo J. Ribeiro Jr., 2007, *Model-based Geostatistics*, Springer Science+Business Media, LLC, 233 Spring Street, New York, NY 10013, USA
72. Robert Hack (2000). Geophysics for slope stability. Kluwer Academic Publisher. Surveys in Geophysics no. 24, pp. 423-448
73. Ruth F. Weiner, Robin Matthews, 2003, *Environmental Engineering*, 4<sup>th</sup> edition, Elsevier Science, USA
74. Scrădeanu D., 1997, *Modele geostatistice în hidrogeologie*, Editura Didactică și Pedagogică, București.
75. Scrădeanu D., Popa R., 2001, *Geostatistică aplicată*, Editura Universității București.
76. Scrădeanu D.I, 1995, *Informatică geologică*, Editura Universității București.
77. Scrădeanu D., Gheorghe A., *Hidrogeologie generală*, Editura Universității București (sub tipar).
78. Soeters, R., van Westen, C. J. (1996), *Slope instability recognition, analysis, and zonation*, in *Landslides: investigation and mitigation*, 247, Washington, D.C., National Academey Press – Turner, A. K., Schuster, R. L.(Eds.), p.129-177.
79. U.S. Geological Survey, *Review of the Transport of Selected Radionuclides in the Interim Risk Assessment for the Radioactive Waste Management Complex, Waste Area Group 7 Operable Unit 7-13/14*, Idaho National Engineering and Environmental Laboratory, Idaho – vol I , vol II
80. Varnes, D.J., 1984. *Landslides hazard zonation: a review of principles and practice*, Paris, 63 pp
81. Van Asch, T.W.J., Van Westen, C., Blijenberg, H., Terlien, M. I. J. (1992), *Quantitative Landslide Hazard Analyses in Volcanic Ashes of the Chinchina Area*, Colombia Primer Simposio Internacional Sobre Sensores Remotos y Sistemas de Informacion Geografica (SIG) Para el Estudio de Riesgos Naturales, 8 a 15 de marzo de 1992, Santafé de Bogotá, Colombia, p. 433-443.
82. Van Westen,C., van Asch, T.W.J, Soeters, R, (2006) *Landslide hazard and risk zonation – why is it still so difficult ?*, [Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Volume 65, Number 2 / May, 2006](#)
83. Zăvoianu I., Dragomirescu Șt. (1994), *Asupra terminologiei folosite în studiul fenomenelor naturale extreme*, SCGGG - Geogr., XLI.
84. Wieczorek, G. F. (1984), *Preparing a Detailed Landslide-Inventory Map for Hazard Evaluation and Reduction*, Bulletin of the Association of Engineering Geologists, 21, p. 337-342.
85. Wieczorek, G. F., Lips, E.W., Ellen, S. D. (1989), *Debris flows and hyperconcentrated floods along the Wasatch Front, Utah, 1983 and 1984*, Bulletin of the Association of Engineering Geologists, 26, p.191-208.
86. Wieczorek, G.F., Gori, P.L., Jager, S., Kappel, W.M., Negussey, D., 1996. *Assessment and management of landslide hazards near Tully Valley landslide, Syracuse, New York*,



USA. Proc. 7th Int. Symposium on Landslides, Trondheim. Balkema, Rotterdam, pp. 411 – 416.

87. INCDMRR,UB,IGAR, *Analiza situației din fostele perimetre de explorare și exploatare uraniferă în contextul apariției unor fenomene de risc geologic natural sau indus de activități antropice*, Etapa 1/2006, Contract MENER 723/2006
88. INCDMRR,UB,IGAR, *Proiectarea sistemului GIS și a bazei de date relaționale pentru achiziția, prelucrarea și stocarea informațiilor necesare managementului riscului geologic în zona de influență a perimetrelor de explorare/exploatare uranifere*, Etapa 2/2007, Contract MENER 723/2006
89. INCDMRR,UB,IGAR, *Metodologia de elaborare și interpretare a hărților de hazard și risc geologic în zona de influență a perimetrelor miniere uranifere*, Etapa 3/2007, Contract MENER 723/2006
90. INCDMRR,UB,IGAR, *Proiect de aplicare a sistemului de management al riscului geologic pe o zonă din proximitatea unei foste exploatări miniere uranifere*, Etapa 4/2008, Contract MENER 723/2006
91. INCDMRR,UB,IGAR, *Promovarea metodologiei de management al riscului geologic asociat zonelor din proximitatea fostelor exploatări uranifere utilizând sisteme GIS*, Etapa 5/2008, Contract MENER 723/2006
92. INCDMRR, *Simularea fenomenelor de curgere și transport a contaminanților în zona lucrărilor miniere subterane de la E.M. Avram Iancu*, Etapa 5/2008, Contract PN. 06.21.03.01.
93. INCDMRR, *Proiectarea și simularea unei rețele de monitorizare a gradului de contaminare al pinzei freatice, folosind modelarea matematică 3D*, Etapa 6/2008, Contract PN. 06.21.03.01.
94. INCDMRR, *Efectul anizotropiei parametrilor hidrogeologici asupra mecanismelor de transport al radionuclizilor în sisteme acvifere de mica și medie adâncime*, Etapa 1/2009, Contract PN. 09.12.02.02.
95. INCDMRR, *Metodologii moderne utilizate pentru caracterizarea anizotropiei parametrilor hidrogeologici în cadrul acviferelor contaminate cu radionuclizi*, Etapa 2/2009, Contract PN. 09.12.02.02.
96. INCDMRR, *Simularea numerică a curgerii și transportului contaminanților în formațiuni poroase heterogene utilizând modele Markov și Gauss*, Etapa 3/2010, Contract PN. 09.12.02.02.
97. Proiect tehnic de închidere a minei Avram Iancu, jud. Bihor, INCDMRR, 2001-2007
98. Raport INCDMRR 457/2001
99. Raport INCDMRR 458/2001
100. Raport INCDMRR 432/I/2002
101. Uranium — Mining and Hydrogeology II. In: Merkel, B., Helling, C. Eds., GeoCongress vol. 5 Verlag Sven von Loga, Koln, FRG, 622 pp.
102. *RISK ANALYSIS FOR HUMAN HEALTH*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey
103. Spatial Analysis and Decision Assistance (SADA) – User Guide, 2005, <http://www.tiem.utk.edu/~sada/>