

---

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

# **TEZĂ DE DOCTORAT**

**Metodologie de monitorizare, evaluare și reabilitare a corpurilor de  
apă subterană, cu un studiu de caz în  
Spațiul Hidrografic Banat.**

**-REZUMAT-**

**Conducător științific:** *Prof. dr. ing. Daniel Scărădeanu*  
**Doctorand:** *ing. chim. Elvira Negulescu (Marchidan)*

---

---

# CUPRINS

INTRODUCERE	1
CAPITOLUL 1.	
MODALITĂȚI DE CARACTERIZARE A CORPURILOR DE APĂ SUBTERANĂ DIN PERSPECTIVA DIRECTIVEI CADRU APĂ	6
1.1. <i>Considerații generale, localizare, elemente climatologice și hidrologice ale zonei studiate</i>	6
1.2. <i>Caracterizarea inițială a corpurilor de apă subterană</i>	10
1.3. <i>Identificarea spațială a corpurilor de apă subterană</i>	11
1.4. <i>Caracterizarea suplimentară a corpurilor de apă subterană</i>	18
1.4.1. <i>Caracterizarea cantitativă</i>	18
1.4.2. <i>Caracterizarea calitativă</i>	22
1.5. <i>Identificarea presiunilor antropice</i>	25
1.6. <i>Concluzii</i>	31
CAPITOLUL 2.	
MONITORIZAREA CORPURILOR DE APĂ SUBTERANĂ ÎN CONFORMITATE CU CERINȚELE DIRECTIVEI CADRU APĂ	32
2.1. <i>Monitorizarea cantitativă</i>	35
2.1.1. <i>Rețeaua de monitorizare</i>	35
2.1.2. <i>Parametrii și frecvențele pentru monitorizarea cantitativă</i>	36
2.2. <i>Monitorizarea calitativă</i>	37
2.2.1. <i>Programul de supraveghere</i>	37
2.2.2. <i>Programul operațional</i>	38
2.2.3. <i>Cerințe suplimentare pentru monitorizarea corpurilor de apă subterană</i>	39
2.3. <i>Concluzii</i>	41
CAPITOLUL 3.	
EVALUAREA CORPULUI DE APĂ ROBA03 – STUDIU DE CAZ	42
3.1. <i>Analiza rețelei de monitorizare</i>	42
3.1.1. <i>Situația inițială a rețelei de monitorizare</i>	42
3.1.2. <i>Situația actuală a rețelei de monitorizare</i>	44
3.2. <i>Baza de date hidrogeologică a zonei studiate</i>	46
3.2.1. <i>Structura bazei de date</i>	46
3.2.2. <i>Componența datelor și analiza parametrilor stocați</i>	48
3.3. <i>Caracterizarea corpului de apă subterană ROBA03 în regim natural</i>	50
3.3.1. <i>Modelul spațial al acviferului ROBA03</i>	50
3.3.2. <i>Modelul litologic și stratigrafic al acviferului ROBA03</i>	54
3.3.3. <i>Modelul parametric al acviferului ROBA03</i>	57
3.3.3.1. <i>Modelul parametrilor hidrofizici</i>	57
3.3.3.2. <i>Modelul parametrilor hidrochimici</i>	59
3.4. <i>Concluzii</i>	66

CAPITOLUL 4.	
EVALUAREA STĂRII CHIMICE A CORPULUI DE APĂ ROBA03	67
4.1. Determinarea valorilor fondului natural	68
4.2. Determinarea valorilor prag	71
4.3. Evaluarea stării calitative a corpului de apă subterană ROBA03	74
4.3.1. Evaluarea actuală a stării calitative	74
4.3.2. Propuneri pentru dezvoltarea metodologiei de evaluare	78
4.4. Concluzii	83
CAPITOLUL 5.	
EVALUAREA IMPACTULUI ANTROPIC ASUPRA CORPULUI DE APĂ ROBA03	84
5.1. Caracterizarea sursei de poluare	84
5.2. Evaluarea impactului	87
5.3. Evaluarea riscului neatingerii obiectivelor de mediu	93
5.4. Concluzii	100
CAPITOLUL 6.	
MODELAREA MATEMATICĂ A MIGRĂRII CONTAMINANȚILOR ÎN CORPUL DE APĂ ROBA03	101
6.1. Ecuațiile modelului matematic	101
6.1.1. Ecuațiile modelului hidrodinamic	102
6.1.2. Ecuațiile modelului de migrare a contaminanților	105
6.2. Modele aplicate în studii anterioare	110
6.3. Actualizarea modelului de migrare a contaminanților în zona depozitului Parța	114
6.3.1. Modelul conceptual al hidrostructurii freatice ROBA03	114
a. Modelul spațial al modelului conceptual	115
b. Modelul parametric al modelului conceptual	118
c. Modelul energetic al modelului conceptual	120
6.3.2. Modelul matematic al hidrostructurii freatice	122
a. Model matematic hidrodinamic	123
b. Model matematic de migrare a contaminanților	131
6.4. Concluzii	138
CAPITOLUL 7.	
TEHNICI DE REABILITARE CALITATIVĂ A CORPULUI DE APĂ SUBTERANĂ ROBA03	139
7.1. Modele de reabilitare a acviferelor poluate	139
7.2. Tehnici combinate de reabilitare a acviferului	142
7.3. Monitorizare post reabilitare	153
7.4. Concluzii	154
CONCLUZII FINALE	155
BIBLIOGRAFIE	159
ANEXE	166

---

## INTRODUCERE

Obiectivul principal al lucrării de față constă în construirea unei metodologii de monitorizare, evaluare a stării chimice și de remediere a corpurilor de apă subterană din România, în acord cu cerințele Directivei Cadru Apă care a fost adoptată în anul 2000, cât și cu prevederile Legii Apelor care prin ultima modificare, Legea 146/2010, a transpus integral Directiva Cadru Apă în legislația națională. Cercetările derulate în cadrul acestei teme mi-au permis să abordez validarea acestei metodologii și explicitarea ei pe un studiu de caz și anume pe un corp de apă subterană Timișoara, codificat ROBA03, din cadrul Spațiului Hidrografic Banat, a cărui stare calitativă este afectată, pe lângă alte tipuri de presiuni și de un depozit de deșeuri menajere.

Această metodologie cuprinde etapele principale care trebuie parcurse prin analizarea și aplicarea noilor prevederi în domeniul activității de monitorizare, evaluare din punct de vedere al stării calitative în raport cu impactul presiunilor antropice și propunerea unor metode de reabilitare, astfel încât corpul de apă subterană studiat, să atingă obiectivele de mediu prevăzute de Directiva Cadru Apă.

Evaluarea stării calitative a unui corp de apă subterană, reprezintă o provocare majoră, deoarece aplicarea unor metode de analiză și evaluare a stării apelor, așa cum au fost ele prevăzute de Directiva Cadru, încă nu au avut timp să devină tradiție la nivel național. Pentru a putea oferi soluții practice, am studiat cadrul legislativ ce reglementează domeniul gospodăririi resurselor de apă atât la nivel național cât și la nivel comunitar, având în vedere prevenirea și reducerea poluării chimice a apelor subterane, astfel încât să asigur condițiile unui management durabil.

Abordarea problematicii temei de cercetare s-a desfășurat pe două direcții:

- Științifică, care a urmărit stabilirea unor modele conceptuale cu privire la dinamica fenomenelor naturale și antropice generatoare de risc și modul de cuantificare a parametrilor specifici;
- Tehnică, care descrie metodologia utilizată în prelucrarea datelor, analiza decizională și predicție.

Noutatea constă în utilizarea datelor existente dintr-un număr semnificativ de foraje, prin metode de interpolare de tip geostatistic, la evaluarea distribuției spațiale a parametrilor reprezentativi ai acviferului și la realizarea unui model hidrodinamic detaliat al hidrostructurii freatică, dezvoltând totodată și un model matematic al curgerii apelor subterane la nivelul întregului

---

acvifer. Rezultatele modelului matematic de transport al contaminanților sunt utile nu numai pentru stabilirea rețelei de monitorizare a acviferului în scopul estimării impactului depozitului de deșeuri, cât și în realizarea unor prognoze pe termen lung ca sprijin în acțiunile de reabilitare a corpului de apă subterană.

**În primul capitol** al lucrării au fost prezentate modalitățile prin care se caracterizează un corp de apă subterană astfel încât cerințele Directivei Cadru Apă să fie îndeplinite. Identificarea și delimitarea corpurilor de apă subterană se face având în vedere criteriile geologice, hidrodinamice și de stare, acesta din urmă constituind obiectivul central în procesul de delimitare, evaluare și caracterizare a unui corp de apă subterană.

Cunoașterea spațiului în care acviferul este cantonat este foarte importantă în scopul protejării lui atât din punct de vedere cantitativ cât și calitativ. Structurile geologice și condițiile hidrodinamice diferite, sunt determinate de dispoziția spațială a rocilor și a formelor structurale (cutate, sinclinale, etc), de distribuția spațială a parametrilor hidrogeologici (porozitate, permeabilitate) precum și de modul de alimentare sau drenaj ale formațiunilor permeabile. Schematizarea hidrostructurilor este utilă în evaluarea cantitativă a proceselor de curgere a apelor subterane, în cunoașterea dinamicii apelor subterane și a litologiei rocilor matca pentru acvifere.

Metodologia de schematizare se bazează pe:

- *Schematizarea spațială (schematizarea geometrică)* prin care se stabilește geometria spațiului în care are loc curgerea apelor subterane;
- *Schematizarea parametrică*, care are drept scop evaluarea distribuției spațiale a parametrilor ce descriu caracteristicile hidrofizice ale terenurilor;
- *Schematizarea hidrodinamică*, pentru precizarea frontierelor hidrodinamice ale sistemului acvifer și a condițiilor hidrodinamice inițiale în interiorul acestuia.

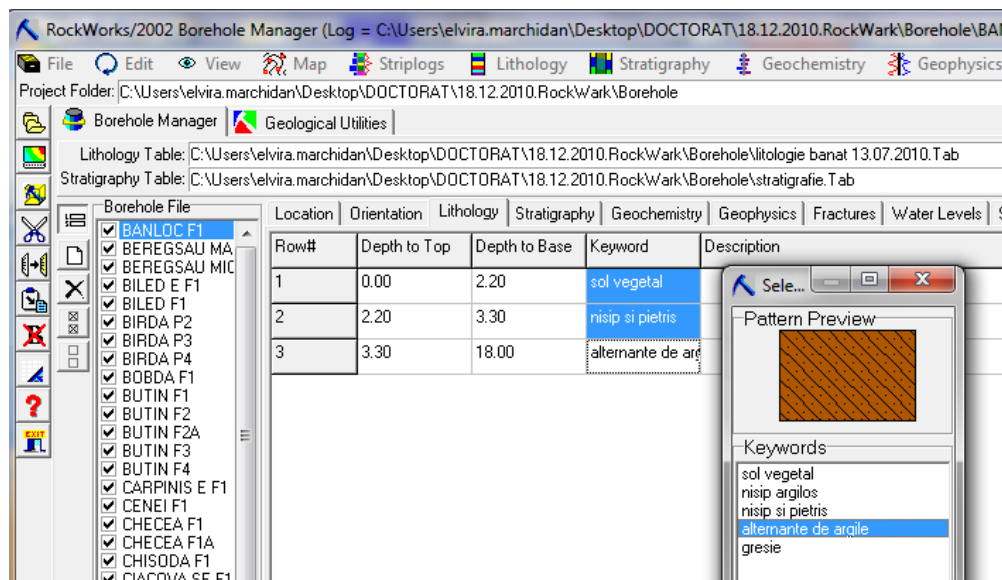
S-au detaliat criteriile stabilite de Directiva Cadru Apă pentru caracterizarea cantitativă și calitativă a corpurilor de apă subterană precum și modul prin care se identifică presiunile antropice semnificative care au impact asupra hidrostructurii analizate, aplicând aceste criterii asupra studiului de caz, acviferul ROBA03. Mi-am axat atenția asupra zonei Parța, unde se află localizat un depozit de deșeuri pe care l-am considerat sursă semnificativă de poluare.

**În capitolul 2** am prezentat conceptele Directivei Cadru Apă în privința stabilirii unui sistem integrat de monitorizare al apelor subterane, astfel încât implementarea eficientă a programelor de monitorizare să creeze baza evaluării stării calitative a corpului de apă subterană. **În capitolul 3** am

realizat o analiză comparativă între structura inițială și cea actuală a rețelei de monitorizare ce a fost stabilită asupra hidrostructurii ROBA03, demarcația între cele două situații fiind dată de momentul implementării cerințelor Directivei Cadru Apă.

În vederea evaluării corpului de apă ROBA03, am creat o bază de date folosindu-mă de toate informațiile pe care le-am obținut din cele 121 foraje analizate, foraje ce aparțin rețelei de monitorizare a acestui acvifer freatic. Datele selectate cuprind date despre parametrii chimici, date de construcție a forajelor, date despre litologia acviferului. Toate aceste date sunt organizate pe o structură bine definită utilizând câteva instrumente (Programul Rockware și Surfer) care permite interrelaționarea și realizarea de operațiuni între elementele bazei de date și cu ajutorul cărora am realizat modelul tridimensional al acviferului, modelul litologic și stratigrafic al ROBA03 și a zonei Parța, precum și distribuția spațială a parametrilor chimici analizați.

Pentru modelarea structurii geologice, datele de foraj sunt organizate în formate tabelare, fiecare tabel conținând date diferite. Pentru realizarea modelului litologic, am completat tabelul respectiv cu datele referitoare la structura fiecărui foraj și adâncimile stratelor respective (Fig.1):



Row#	Name	Pattern	Percent	Density	G-Value
1	sol vegetal		100	1	1
2	nisip argilos		100	1	2
3	nisip si pietris		100	1	3
4	alternante de argile		100	1	4
5	gresie		100	1	5

Fig.1. Structura bazei de date necesară realizării modelului litologic al ROBA03

Fiecarui strat litologic i-am atribuit câte un semn convențional in tabelul litologic predefinit în cadrul programului RockWorks, toate cele 121 foraje fiind descrise din punct de vedere litologic pentru realizarea modelului litologic al acviferului si al zonei Parța (Fig.2).

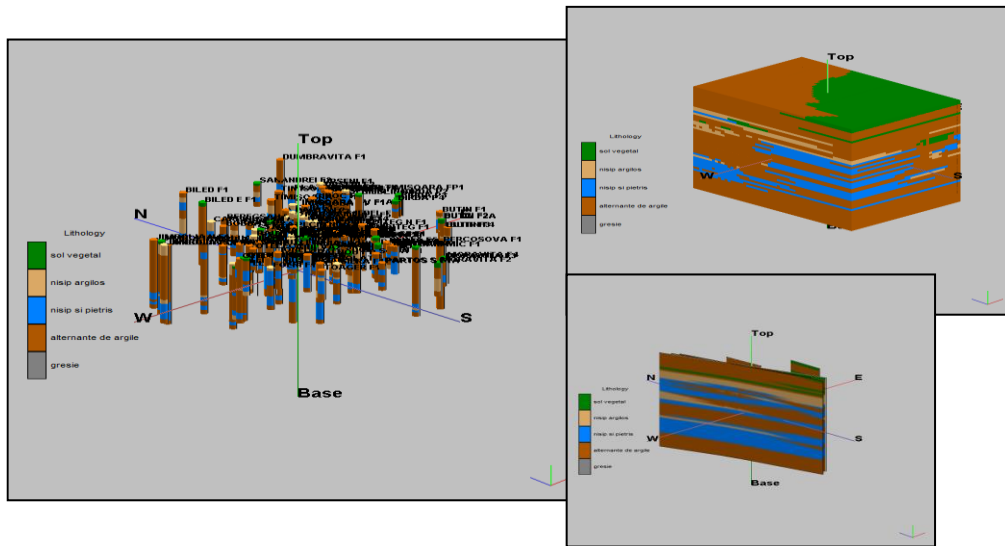


Fig.2. Modelul litologic al acviferului ROBA03 si a zonei Parța

Am completat tabelul corespunzator secțiunii stratigrafice din program (Fig.3) și am atribuit un semn convențional fiecărui element stratigrafic din forajele analizate în vederea realizării modelului stratigrafic (Fig.4) al acviferului studiat.

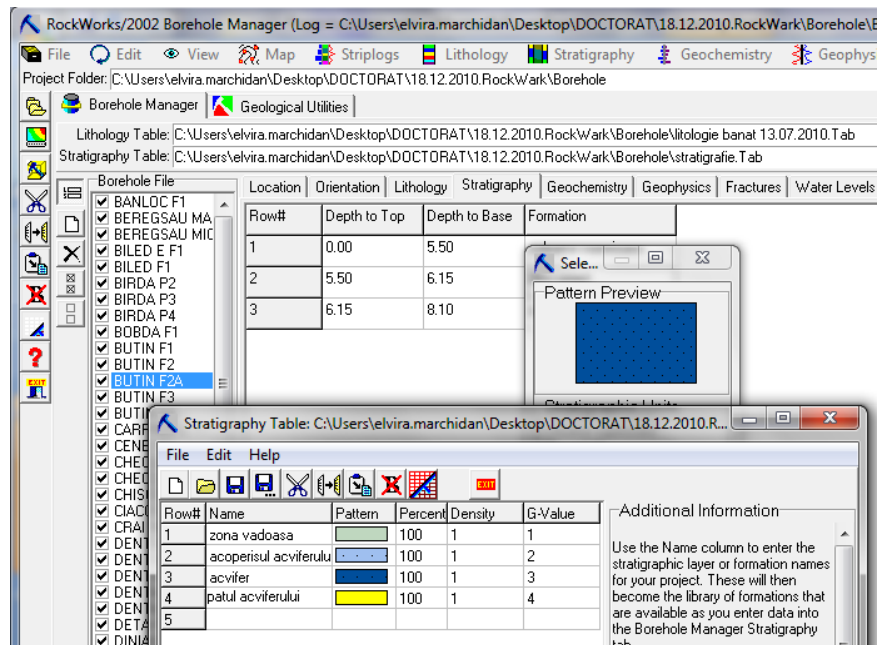


Fig.3. Structura bazei de date necesară realizării modelului stratigrafic al ROBA03

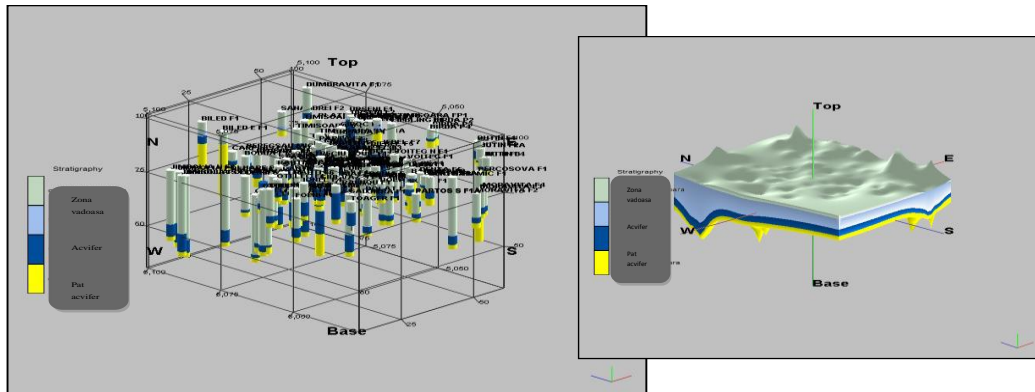


Fig.4. Reprezentarea modelului stratigrafic în forajele din ROBA03 precum și reprezentarea 3D a modelului stratigrafic al acviferului

Prin metode de interpolare de tip geostatistic (metoda kriging) am realizat distribuțiile spațiale ale principalilor parametri ai acviferului ROBA03, fiind foarte importantă caracterizarea spațială a unui acvifer, cu alte cuvinte, cunoașterea exactă a spațiului în care curge apa subterană, caracteristicile hidrofizice care determină curgerea precum și repartitia verticală și extinderea orizontală a acviferului. Crearea modelului spațial al terenului se bazează pe puncte de coordonate x, y și z înregistrate în fișiere tip ASCII. Pe baza acestor puncte dispuse pe suprafața modelului spațial, se crează o rețea de puncte cu coordonatele x, y și z (Fig. 5) cu anumită densitate de puncte, adică o rețea tip grilă. Am realizat această rețea folosindu-mă de programul Surfer.

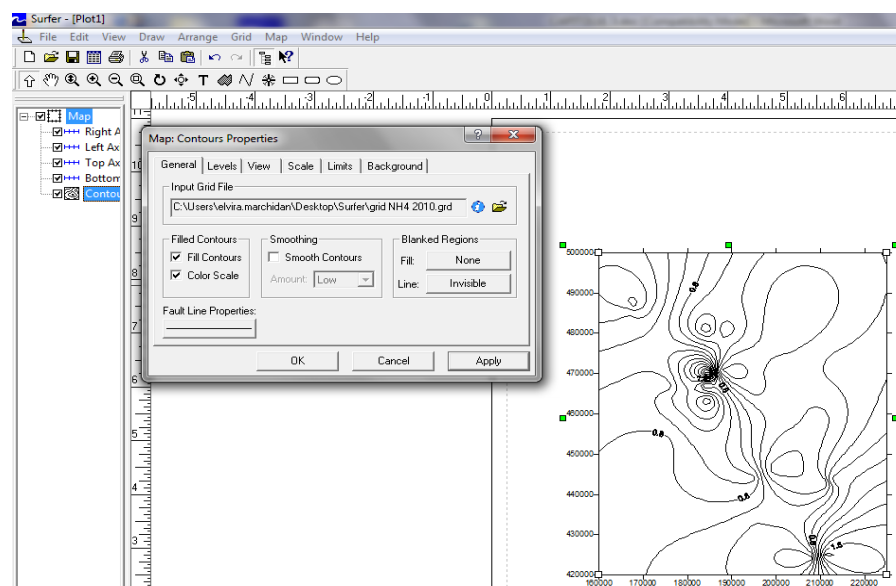


Fig. 5. Instrumentul de lucru SURFER



Pe baza instrumentelor acestui program, am reprezentat harta digitală (Fig.6.) cu ajutorul căreia se poate vizualiza distribuția spațială a culcușului acestui acvifer, cotele patului acviferului variind de la 38 la 96 m precum și harta distribuției spațiale a acoperișului acviferului (Fig.7.) ale cărei cote variază de la 46 la 98 m.

Pentru a avea o viziune mai clară asupra geometriei spațiului în care se dezvoltă acviferul, cu datele introduse în programul Surfer am reprezentat și harta cu distribuția spațială a grosimii acviferului (Fig.8).

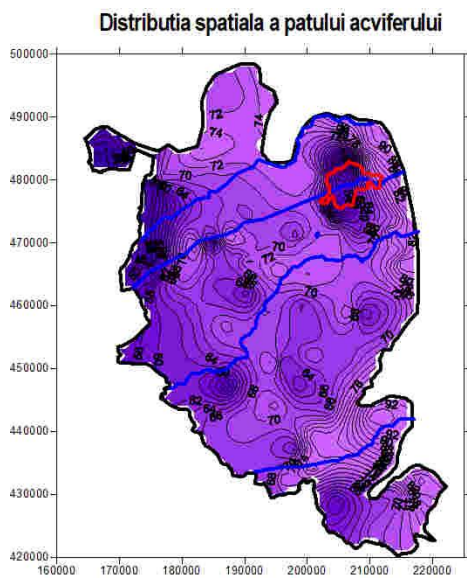


Fig. 6.

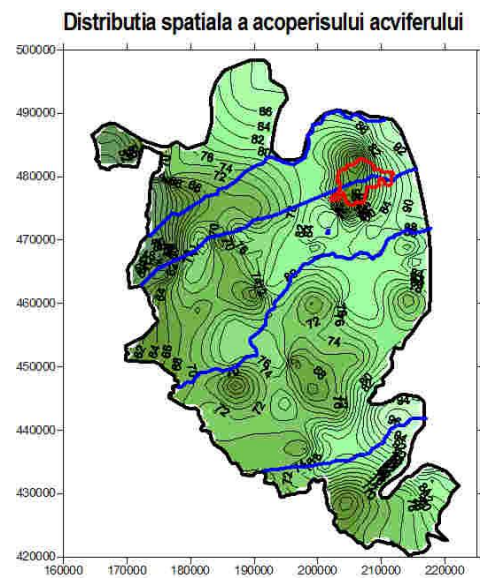


Fig. 7.

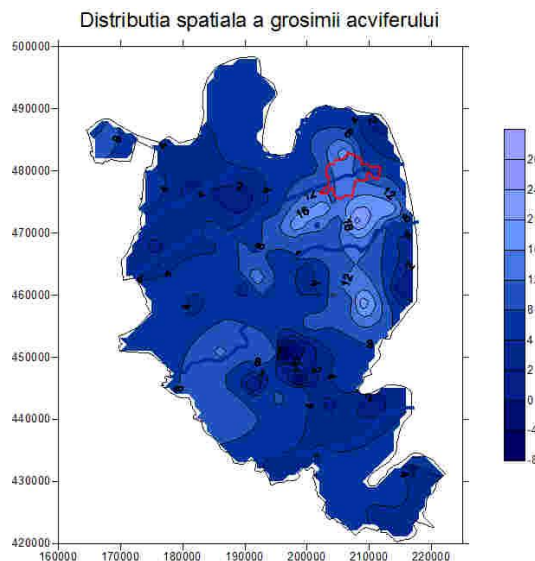


Fig.8.

Imaginea distribuției parametrilor hidrofizici (Fig. 9) determinați în interiorul spațiului în care se află cantonat acviferul analizat, reprezintă de fapt harta distribuției spațiale a parametrilor care descriu proprietățile acvifere ale terenurilor, adică conductivitatea hidraulică, transmisivitatea și nivelul piezometric, pe baza căruia am determinat direcția de curgere a acviferului ROBA03.

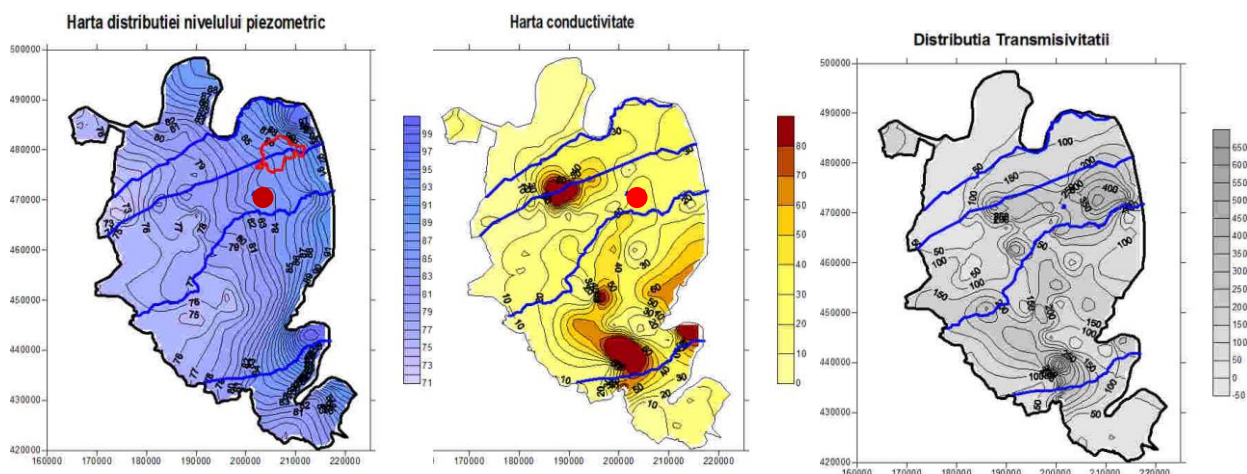


Fig.9.

Conform distribuției curbilor de nivel piezometric, direcția de curgere a acviferului este de la est către vest, astfel încât transportul poluanților proveniți de la deponeul a cărui poziție este reprezentată prin cercul roșu pe harta, se poate extinde către cea mai mare parte a freaticului. Reprezentarea pe hartă a distribuției conductivității hidraulice indică zonele din acvifer în care roca este mai poroasă, permițând trecerea fluidelor mai ușor decât în celelalte zone.

Profilul hidrochimic al acviferului nu este ușor de analizat. Deși baza de date este vastă, ea prezintă lacune care îngreunează evaluarea și duce la un grad de încredere destul de scăzut. Am realizat o bază de date începând din anul 1985 până în anul 2009 în care am trecut toate forajele cu parametri fizico-chimici analizați, calculând media aritmetică anuală a fiecărui parametru în anul respectiv pe fiecare foraj.

Toate datele despre chimismul apei au fost rulate de programul Surfer rezultând reprezentări ale distribuției spațiale a parametrilor chimici pe suprafața acviferului ROBA03, peste care se suprapun secțiunile de monitorizare, având astfel o vedere de ansamblu asupra fiecărui parametru, inclusiv localizarea punctelor cu depășiri ale criteriilor de calitate. Distribuția parametrilor chimici în acvifer oglindește modul în care aceștia se află răspândiți pe suprafața acviferului la un moment dat.

---

Este de remarcat faptul că până la implementarea cerințelor Directivei Cadru Apă, datele obținute în punctele de monitorizare erau comparate cu valorile concentrației maxim admise din Legea privind calitatea apei potabile. Rezultatele au fost utilizate pentru încadrarea apei subterane în clase de calitate, funcție de tehnologia de tratare aplicată în scopul obținerii apei potabile. Odată cu implementarea DCA, apa subterană este evaluată din punct de vedere al stării de calitate, fiind permise două moduri de încadrare: stare chimică bună sau slabă.

**Capitolul 4** detaliază modul de evaluare al stării chimice, evaluare efectuată urmând recomandările Ghidului CIS (Strategia Comuna de Implementare) no. 18 „Evaluarea stării apelor subterane și a tendințelor” realizat de Grupul de Lucru pentru Ape Subterane al Comisiei Europene.

Un criteriu esențial în evaluarea stării chimice a apelor subterane îl reprezintă stabilirea valorilor prag ale parametrilor chimici din apele subterane, cerință a Directivei Europene 2006/118/EC, transpusă în legislația națională, criteriu detaliat în cadrul tezei. Pentru determinarea valorilor prag se ține cont de originea poluanților, de faptul că aceștia pot exista în mod natural în apele subterane, de tendința acestora de dispersie și gradul de toxicitate. Partea a doua a acestui capitol cuprinde modalitatea tehnica de evaluare a stării chimice a corpurilor de apă subterană care are la bază compararea concentrațiilor determinate în punctele de monitorizare cu standardele în vigoare și cu valorile prag determinate pentru fiecare corp de apă subterană în parte. Astfel, într-o manieră modernă s-a analizat compoziția chimică a apelor subterane, realizând totodată hărți cu distribuția parametrilor chimici, scoțând în evidență zonele în care presiunile antropice contribuie la degradarea chimică a acviferului.

Prima evaluare a stării chimice a acviferului ROBA03 s-a realizat în cadrul Planului de Management al Spațiului Hidrografic Banat, când s-au utilizat datele obținute în anii 2006 și 2007, rezultatele evaluării analizelor chimice din acest interval de timp indicând că din punct de vedere calitativ, acesta se află în stare slabă pentru indicatorii  $\text{NO}_3$  și  $\text{NH}_4$ . Depășirile constatate la ceilalți parametri (în special la Fe, Mn,  $\text{SO}_4$  și  $\text{PO}_4$ ) se consideră că au caracter local, fără a afecta întregul corp de apă subterană. Criteriul principal în evaluarea calitativă a avut în vedere că dacă numărul forajelor în care se înregistrează depășiri ale parametrilor este mai mare de 20 % din suprafața totală, acest corp de apă subterană este considerat în stare chimică slabă. Astfel, am realizat prin metodele de interpolare de tip geostatistic, harta distribuției spațiale a amoniului și azoților pe suprafața acviferului (Fig.10) precum și graficul evoluției parametrilor analizați (Fig.11).

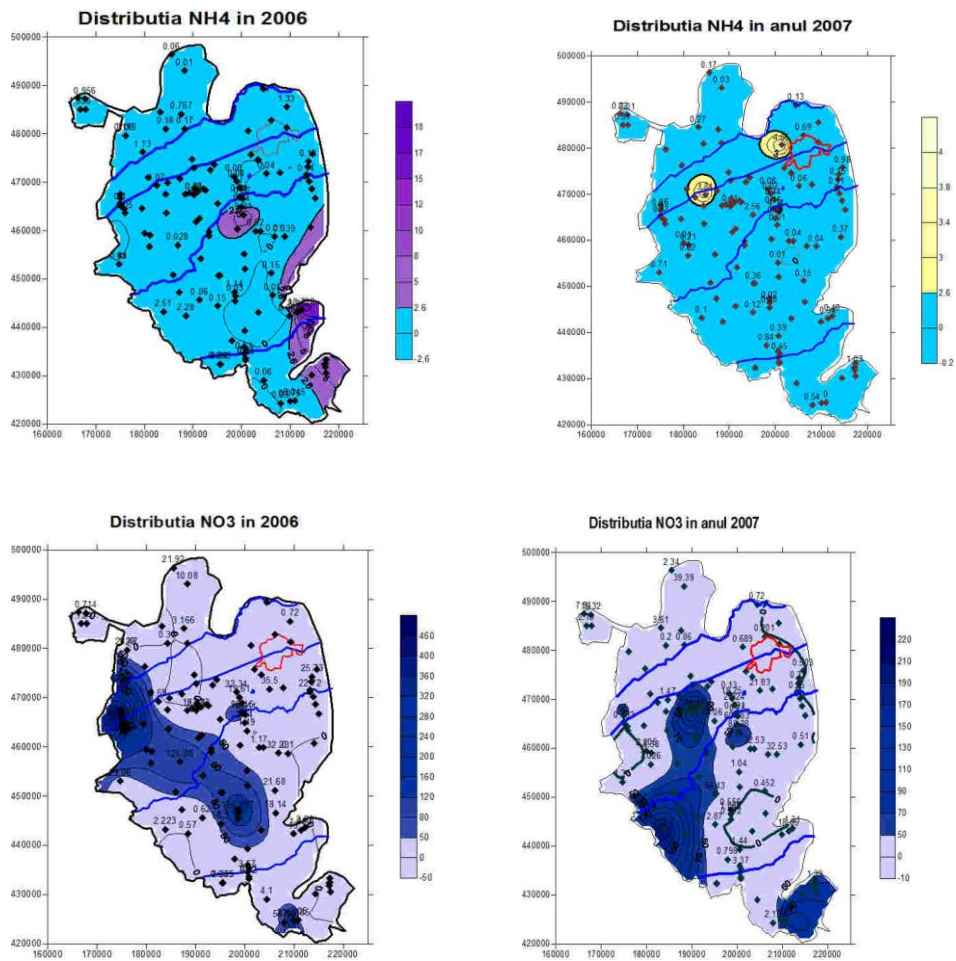


Fig.10. Hartile cu distribuțiile parametrilor care conduc la o stare chimică slabă

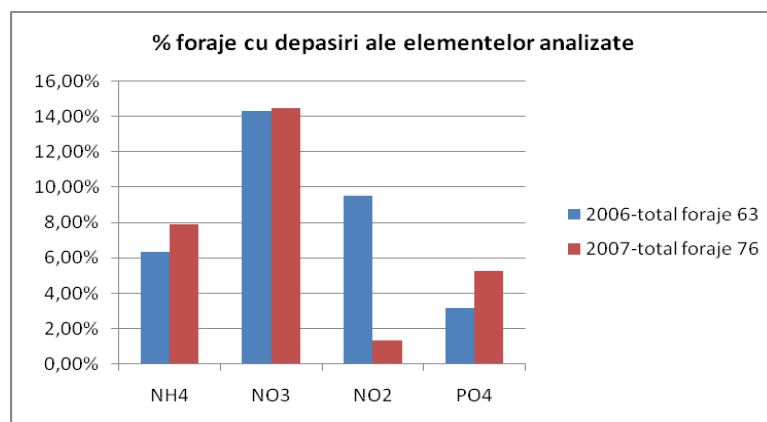


Fig.11. Graficul evoluției parametrilor chimici din ROBA03

Având în vedere că în anul 2006, din 63 de foraje, în 21 dintre ele s-au înregistrat depășiri ale parametrilor analizați, cu alte cuvinte 33,3% din total prezintă probleme, iar în 2007 din 76 de foraje, în 22 s-au înregistrat depășiri (28,9%), ROBA03 este declarat în stare chimică proastă (Fig.12) urmare a aplicării criteriului amintit mai sus.

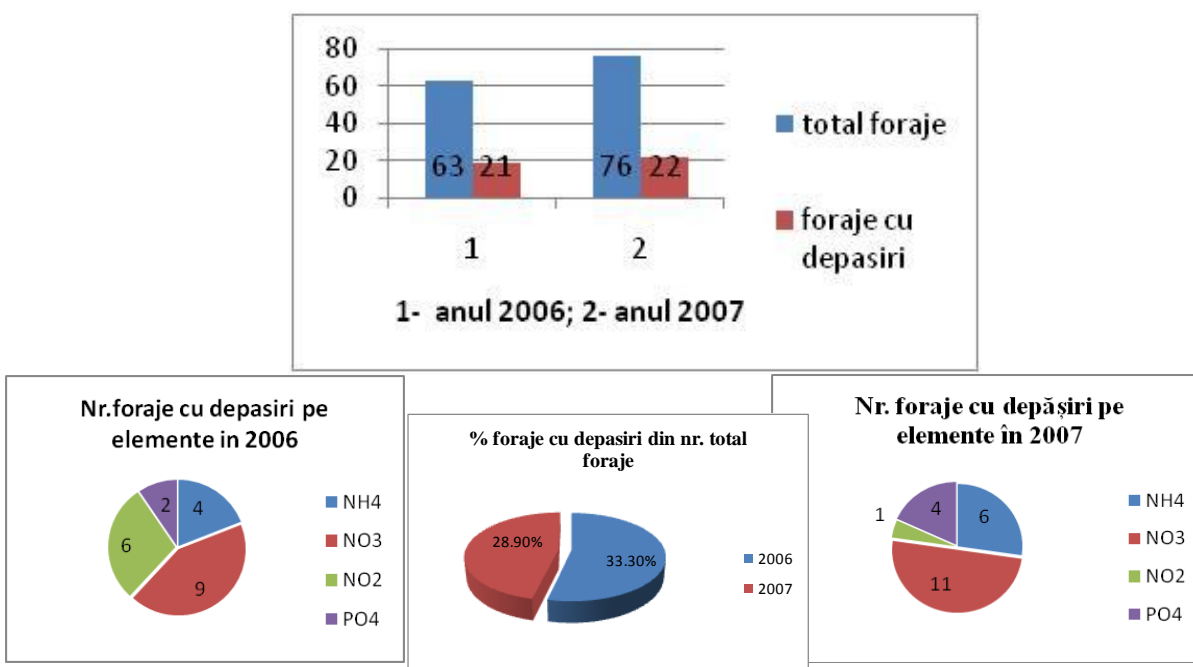


Fig.12. Analiza anilor 2006 și 2007 din punct de vedere al stării calitative

În urma unei analize aprofundate a situației prezentate, am ajuns la concluzia ca ar trebui modificat criteriul principal prin care un corp de apă subterană este încadrat în starea chimică slabă.

Am extins analiza pentru următorii 3 ani. Am completat baza de date cu rezultatele obținute din 2008 – 2010, calculând conform metodologiei, concentrația medie anuală a fiecărui element chimic din forajele rețelei de monitorizare.

Aplicând instrumentul de lucru Surfer, am realizat și distribuțiile spațiale ale parametrilor chimici ce stau la baza evaluării stării chimice, rezultatele obținute fiind reprezentate atât sub forma de hărți (Fig.13) cât și grafic (Fig.14).

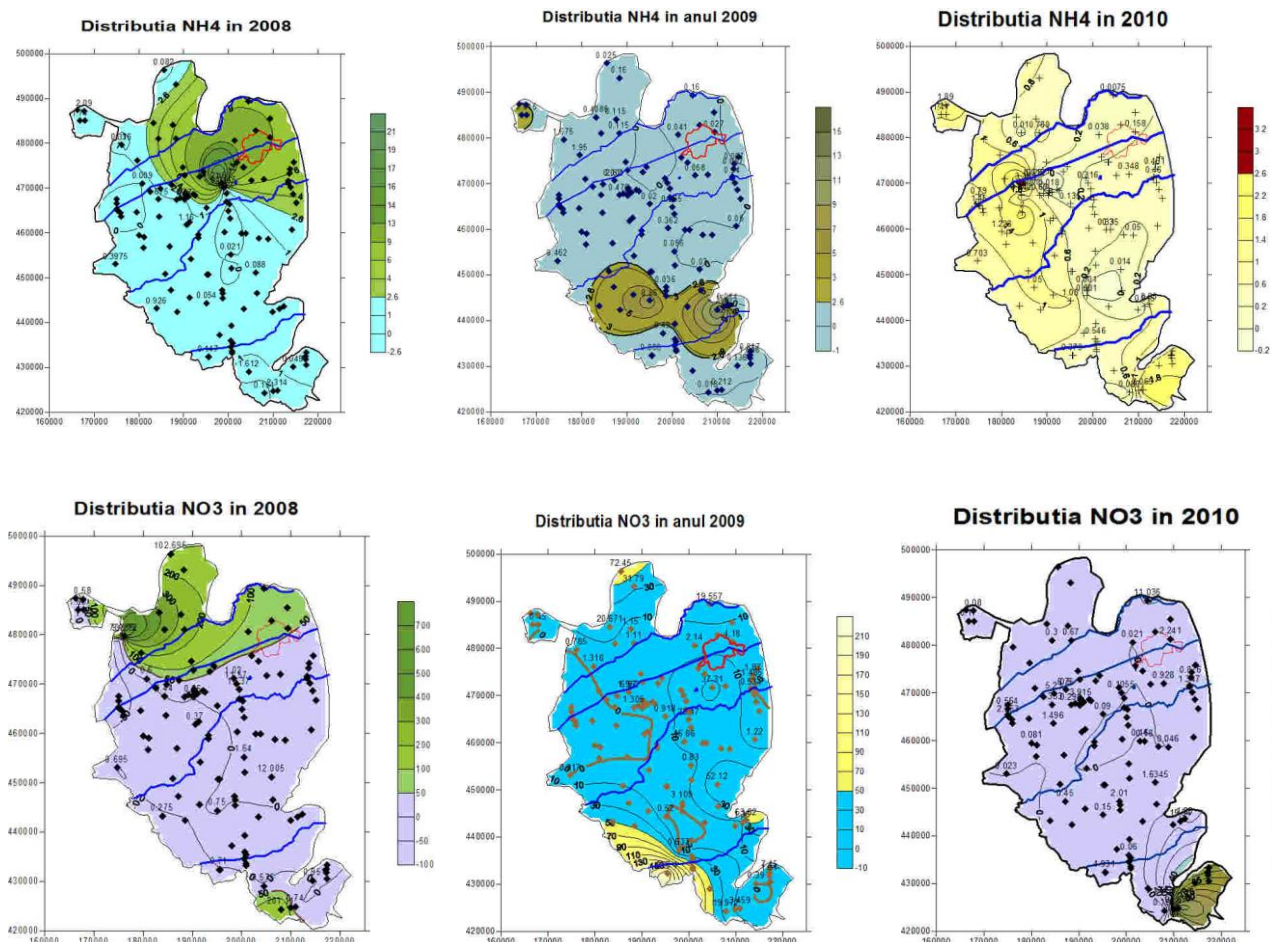
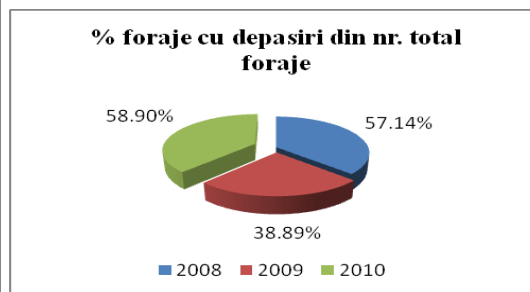
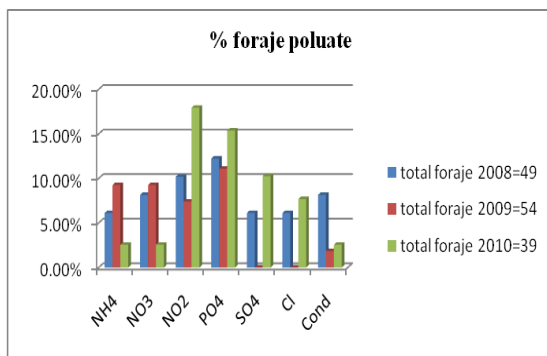


Fig. 13. Hartile ditribuțiilor NH4 și NO3 in ROBA03



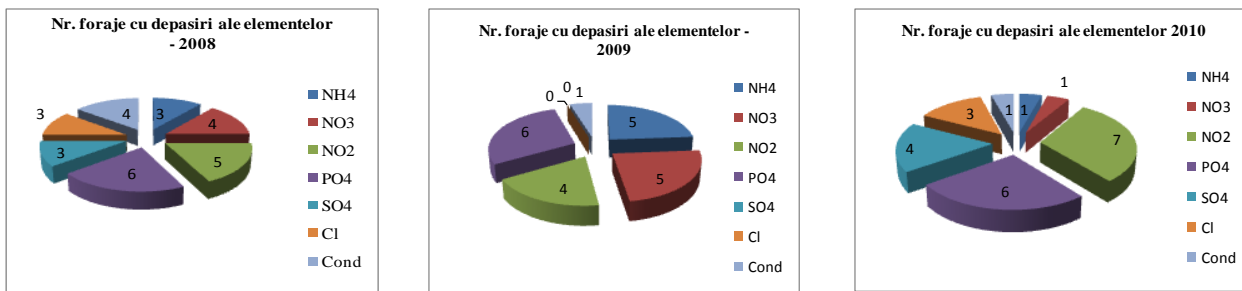


Fig.14.Grafice ale evoluției parametrilor în cei 3 ani

În situația în care țin cont de criteriul conform căruia un corp de apă subterană este în stare chimică proastă dacă numărul forajelor în care se înregistrează depășiri este mai mare de 20% din numărul total al forajelor de monitorizare (suprafața totală), atunci conform graficului ce reprezintă “% foraje cu depășiri” din Fig.14. acviferul ROBA03 își menține starea chimică proastă.

Aplicând însă criteriul care se referă la 20% din foraje luând în considerare parametrii individuali, situația e total diferită. În nici un an din cei 3 evaluați, elementele chimice nu depășesc concentrațiile în mai mult de 20 % din forajele monitorizate. În anul 2010, într-un singur foraj din cele 39 de secțiuni de monitorizare s-au înregistrat depășiri ale standardelor atât pentru amoniu cât și azotații. Este dificil să decidem că aceste foraje cu depășiri la cei 2 parametri pot duce la încadrarea în starea proastă calitativă a ROBA03 din punct de vedere al NH4 și NO3. Situația se repetă pentru fiecare parametru de sine stătător, așa cum reiese din graficele mai sus menționate, din acest motiv, consider că ar fi necesară reconsiderarea metodologiei de evaluare a stării calitative a corpurilor de apă subterane. Pe de altă parte, depășirile din ultimii 3 ani analizați (2008, 2009, 2010), nu sunt înregistrate în aceleași foraje, ca să am certitudinea că există o sursă de poluare punctuală.

În **Capitolul 5** fac o analiză detaliată a sursei de poluare, adică a depozitului de deșuri menajere Parța (Fig.15), evaluez impactul pe care acesta îl are asupra corpului de apă subterană și fac o analiză a riscului ca acest acvifer să nu atingă obiectivul de mediu. Trebuie specificat că în procesul de analiză a presiunilor și a impactului am întâmpinat o serie de probleme în sensul că nu toți parametrii au fost monitorizați în conformitate cu cerințele Directivei Cadru Apă, în special substanțele prioritare periculoase astfel încât nu sunt cunoscute efectele tuturor tipurilor de presiuni.



Fig.15. Depozitul de deșeuri Parța

Am extins analiza atât la forajele din amonte și aval de sursa de poluare ținând cont de direcția de curgere a acviferului, la corpurile de apă subterană din vecinătatea lui ROBA03 cât și la apele de suprafață din vecinătatea deponeului. Este limpede că nu numai această sursă de poluare este cauza încărcării acviferului cu elemente ce au la baza azotul în diferite forme. Presiunile difuze datorate activităților antropice sunt greu de cuantificat, ele afectând atât calitatea apelor de suprafață cât mai ales, a apelor subterane. Încărcările cu substanțe poluante evacuate de surse punctiforme se pot măsura sau calcula în funcție de concentrațiile și debitele evacuate, însă emisiile de substanțe din surse difuze nu pot fi măsurate și sunt greu cuantificabile.

**Capitolul 6** se referă la modelarea matematică a migrării contaminanților din corpul de apă subterană ROBA03. Am specificat ecuațiile care stau la baza modelului hidrodinamic precum și ecuațiile ce fundamentează modelarea transportului contaminanților.

**Datele** utilizate pentru actualizarea și detalierea modelului de transfer al contaminațiilor sunt cele utilizate pentru evaluarea corpului de apă (cele 121 de foraje disponibile), evaluare finalizată prin realizarea *modelului conceptual al hidrostructurii acvifere freatice*. **Modelul** de migrare realizat este un model matematic rezolvat prin *metoda diferențelor finite* și are cele două componente standard: *modelul hidrodinamic* și *modelul de migrare* a contaminațiilor.



Aplicarea modelului s-a realizat cu ajutorul programului automat **Modflow** (Modular Three-Dimensional Finite-Difference Groundwater Flow Model).

**Modelul matematic** al migrării contaminărilor în hidrostructura freatică ROBA03 a fost utilizat pentru **simularea** diverselor scenarii de extindere pe orizontală și verticală a zonei contaminate din vecinătatea depozitului de deșeuri Parța, pentru diferite perioade de timp.

Rezultatele simulării au fost utilizate pentru estimarea **suprafeței de amplasare a rețelei de monitorizare** necesare pentru evaluarea impactului depozitului de deșeuri Parța asupra hidrostructurii freatice ROBA03.

Modelul conceptual al hidrostructurii freatice ROBA03 are trei componente:

- modelul spațial al modelului conceptual
- modelul parametric
- modelul energetic

a. **Modelul spațial al modelului conceptual** a fost realizat pe suportul topografic al zonei, scara 1:25000, realizându-se modelul stratigrafic 3D al corpului de apă și un detaliu 3D în zona depozitului Parța (Fig.16 a,b,c).

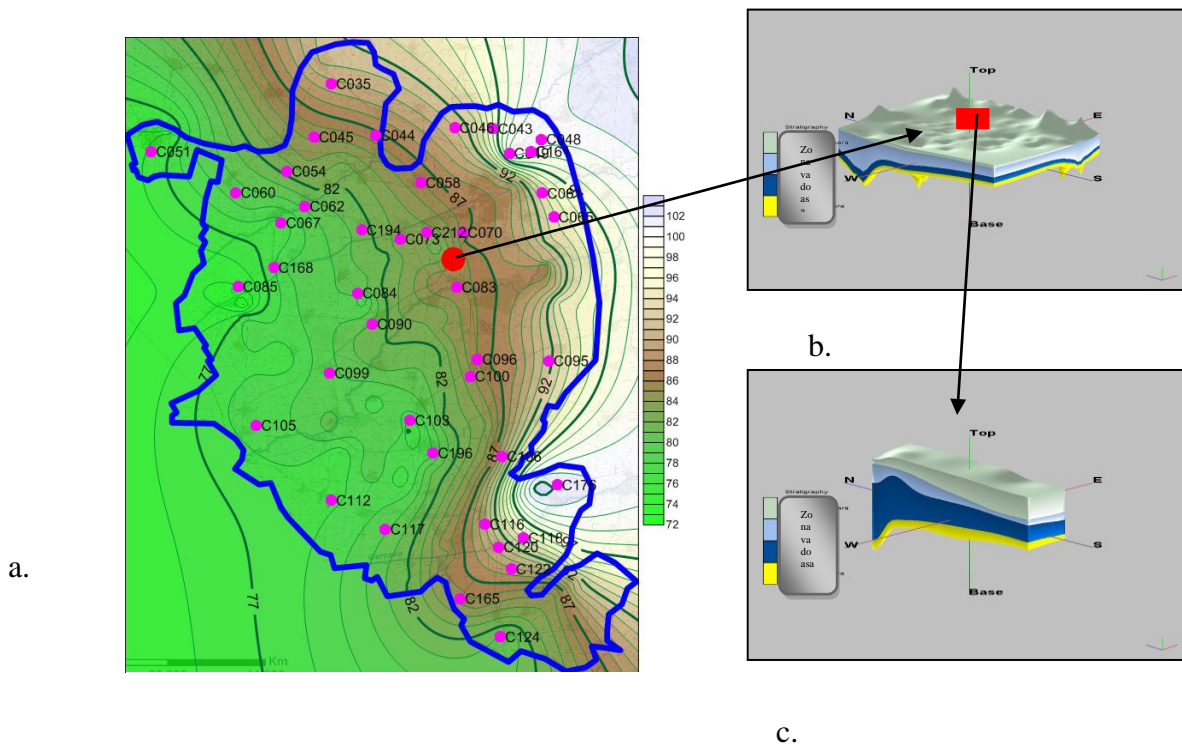


Fig.16 a,b,c. Harta topografica in zona acviferului și model spațiale a ROBA03 și detaliu 3D în zona Parța

**b. Modelul parametric al modelului conceptual**, dispune doar de cunoașterea distribuției spațiale a conductivității hidraulice (Fig.17) determinată prin teste de pompare în regim staționar pe întreaga grosime a acviferului. Variația conductivității hidraulice este cuprinsă între 10 m/zi și 80 m/zi, cu o distribuție log normal și un coeficient de asimetrie 0,56. Valoarea medie este 27 m/zi cu o eroare de 1 m/zi la un risc asumat de 5%.

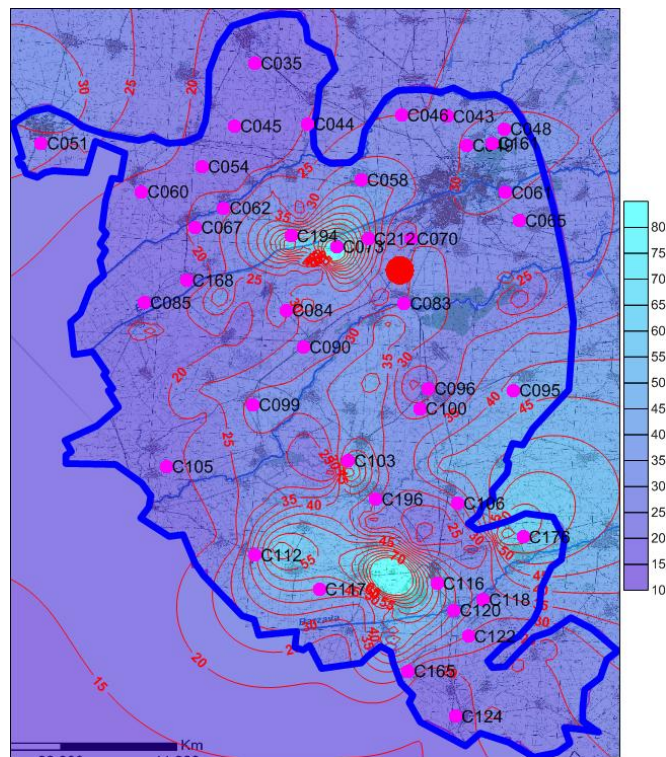


Fig.17. Distribuția conductivității hidraulice în hidrostructura freatică ROBA03

**c. Modelul energetic al modelului conceptual.**

Distribuția medie a câmpului potențial al curgerii apei subterane din hidrostructura freatică ROBA03 (Fig.18) indică o curgere de la est spre vest. Cotele maxime din zona corpului de apă sunt +95m în estul zonei cercetate și +74m în vest. Spectrul hidrodinamic al curgerii este influențat semnificativ de geometria **rețelei hidrografice** care comunică cu acviferul freatic. Geometria spectrului hidrodinamic obținut prin interpolarea nivelurilor piezometrice disponibile este afectată de erorile de măsurare, de cotă și de medierea pe un interval mare de timp a măsurătorilor disponibile.

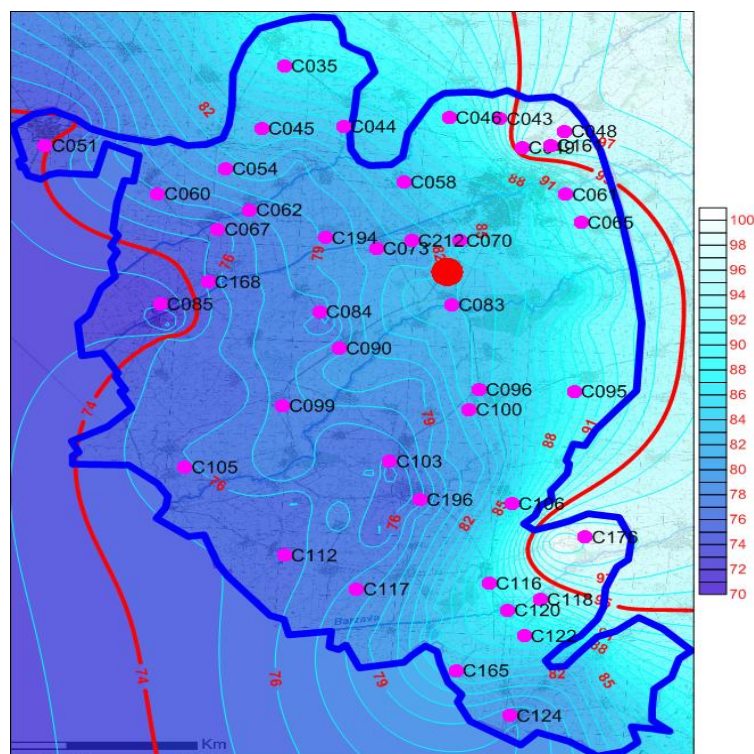


Fig.18. Spectrul hidrodinamic experimental

Pentru realizarea *modelului matematic al hidrostructurii* am luat in calcul următoarele ipoteze de lucru: hidrostructura este cu nivel liber, regimul de curgere este staționar, caracteristica predominantă a curgerii o presupun conservativă datorită precipitațiilor reduse, evapotranspirației mari și omogenității permeabilității depozitelor acoperitoare. *Metoda* aleasă pentru rezolvarea numerică a ecuațiilor modelului matematic este cea a *diferențelor finite*, metodă care presupune o schematizare a modelului conceptual la un grad de aproximare adecvat volumului de date disponibil și variabilității parametrice identificate.

Prima componentă a modelului matematic a hidrostructurii este **modelul matematic hidrodinamic** prin care se „corectează” spectrul hidrodinamic stabilit pe baza nivelurilor piezometrice măsurate pe întreaga suprafață a corpului de apă, pe baza condițiilor hidrodinamice pe frontiere și distribuției parametrice evaluate prin metode geostatistice și are în vedere extinderea în plan orizontal cât și vertical. În *plan orizontal* modelul este încadrat într-un dreptunghi care are latura VE de 65 km și latura NS cu lungimea de 80 de km. În *plan vertical*, pentru a exprima variabilitatea litologică prin variabilitatea conductivității hidraulice, s-au separat pe baza modelului

litologic 3D, 4 strate cu grosimi variabile. Pentru simularea unui stres hidrodinamic de pompare, în vecinătatea depozitului a fost amplasată *o captare* (un grup de foraje) care deschide doar acviferul freatic. Realizarea pomării poate declanșa o drenanță indusă pe zona de detensionare produsă de pompare.

Pentru realizarea *modelului matematic parametric* am ținut cont de faptul că în plan orizontal (Fig.19) conductivitatea celor 4 strate este considerată constantă și izotropă iar în plan vertical (Fig 20), conductivitatea variază de la un strat la altul, variațiile realizându-se fără tranziție și se bazează pe succesiunea litologică din modelul 3D.

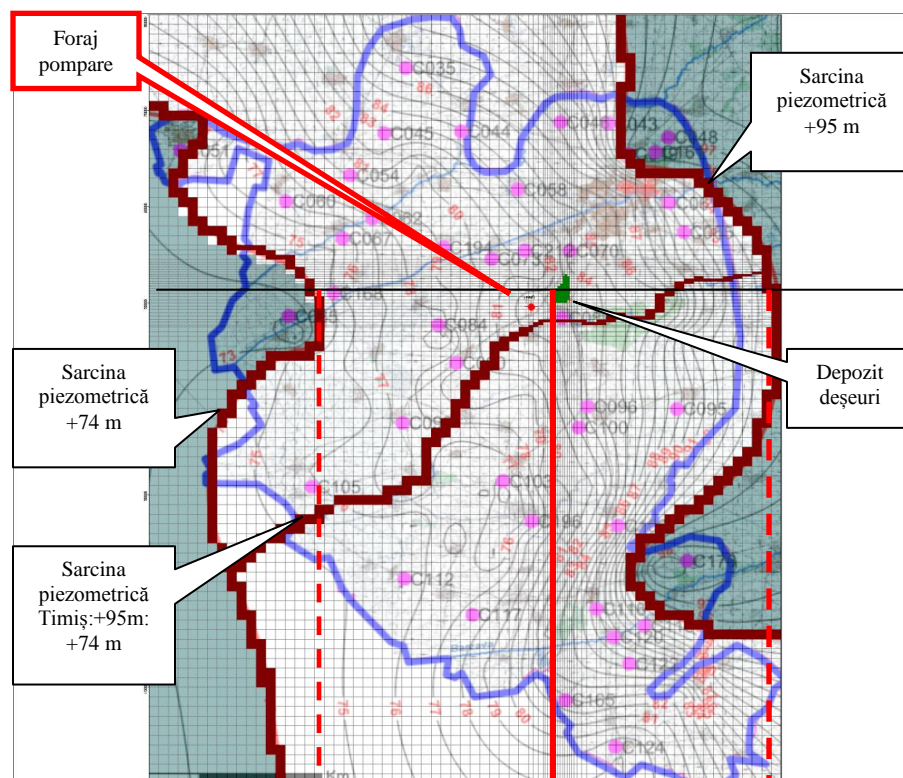


Fig.19. Extinderea în **plan orizontal** a modelului matematic hidrodinamic și condițiile pe frontierele de vest și de est.

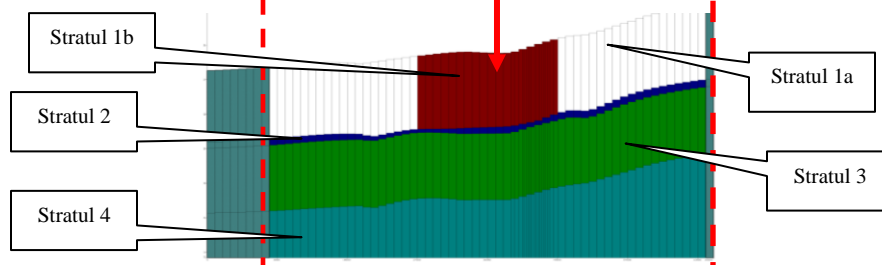


Fig.20. Extinderea în plan vertical a modelului matematic hidrodinamic.

Pentru realizarea modelului energetic al modelului matematic, am stabilit condițiile hidrodinamice (Fig.21) în plan orizontal pe frontierele modelului matematic: condiții de tip sarcină piezometrică constantă (tip Dirichlet) pe latura vestică, estică și de-a lungul râului Timiș și condiție de tip flux constant, de-a lungul liniilor de curent care delimitează modelul la nord și sud și condiții în plan vertical pentru cele 4 strate ale modelului.

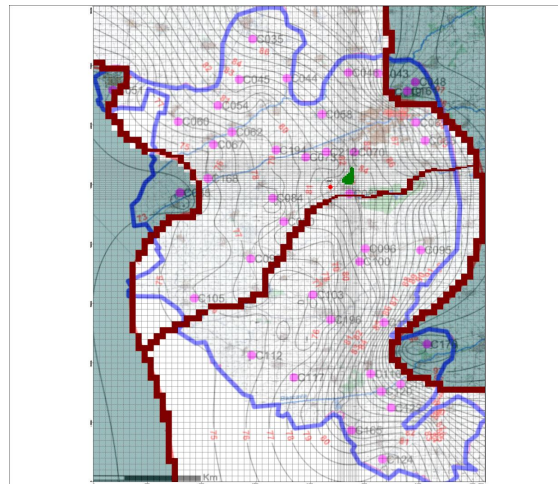


Fig.21. Modelul energetic al modelului matematic

Soluționarea modelului matematic hidrodinamic prin *metoda diferențelor finite* pentru o curgere plan orizontală și conservativă, în regim staționar de curgere, s-a realizat cu programul **MODFLOW** iar spectrul hidrodinamic s-a estimat în două variante: regim de curgere natural și regim de curgere influențat (Fig.22a și b).

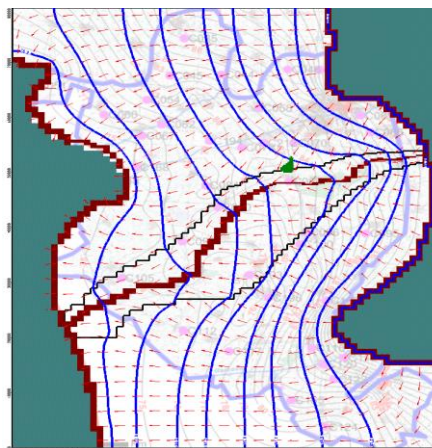


Fig 22a. regim de curgere natural

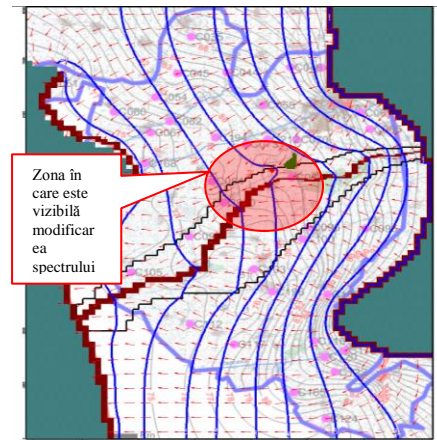


Fig 22b. regim de curgere influențat

Aproximările introduse prin ipotezele care au stat la baza construirii modelului matematic hidrodinamic permit evaluarea cu o aproximație satisfăcătoare a migrării contaminațiilor generați de depozitul de deșeuri.

**Modelul matematic de migrare a contaminațiilor** se fundamentează pe modelul matematic hidrodinamic și pe o serie de ipoteze făcute asupra contaminațiilor și ai interacțiunii acestora cu apa și matricea minerală. Depozitul de deșeuri de la Parța nu a fost investigat din punct de vedere chimic și din acest motiv nu există experimente pentru evaluarea parametrului esențial pentru estimarea migrării contaminațiilor: dispersivitatea. Astfel, pentru simularea migrării unui contaminant fictiv se va utiliza o dispersivitate  $D=30$  m, adecvată unor situații similare identificate în literatura științifică, consider sursa de poluare concentrată (500 mg/l) cu o concentrație constantă pe toată perioada pe care fac simularea migrării contaminantului (max. 7000zile) și consider advecția ca principal proces luat în considerare. Morfologia zonei contaminate suferă modificări atât datorită timpului cât și a presiunii exercitate asupra freaticului prin stimularea unui stres hidrodinamic de pompare.

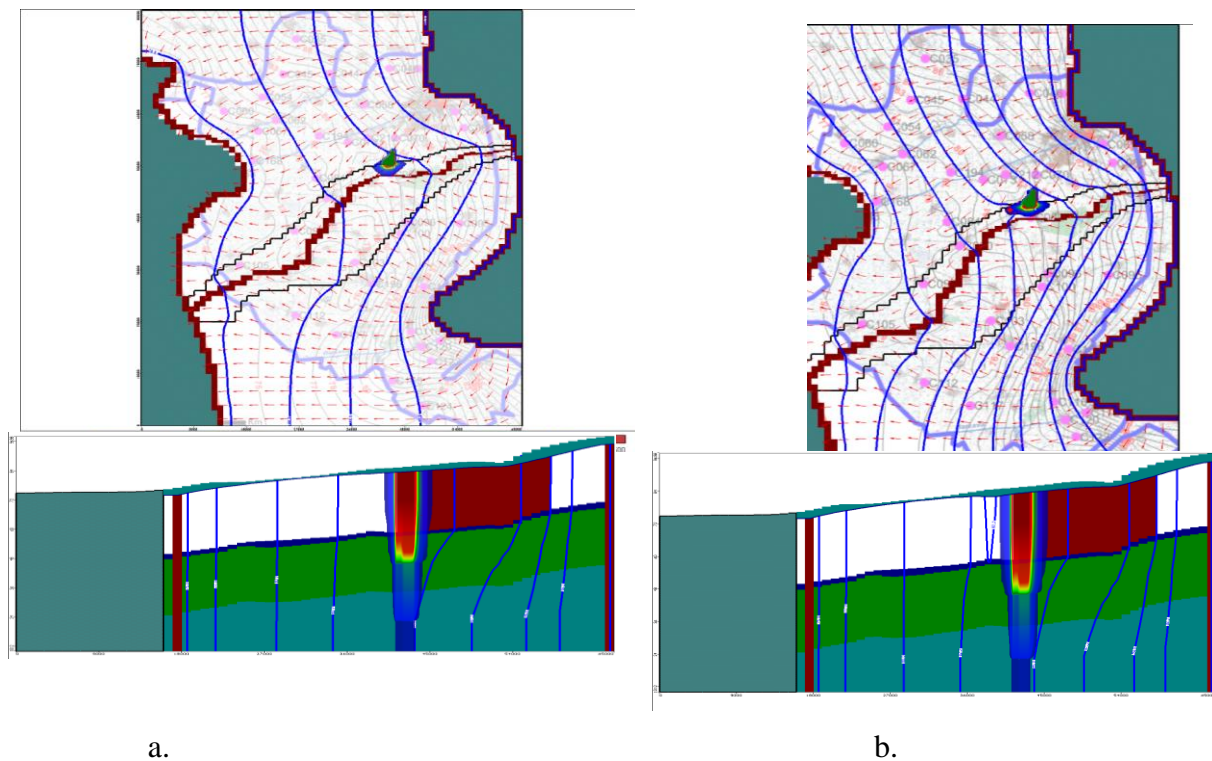


Fig.23a. Extinderea zonei contaminate la 100 zile in regim natural (plan orizontal si vertical)

și Fig.23b – în regim inflențat

În regim influențat de captare, la 100 de zile este vizibilă modificarea spectrului hidrodinamic, fenomenul de poluare fiind accelerat, iar pana de poluant lărgindu-și sfera de acțiune și în plan orizontal, iar în plan vertical, depășind stratul de nisip grosier de la baza freaticului, ajungând în stratul de nisip fin, argilos, semipermeabil.

Dupa 3500 zile, situația deplasării penei de poluant este reprezentată de Fig. 24, în regim inflențat, atât în plan orizontal cât și vertical.

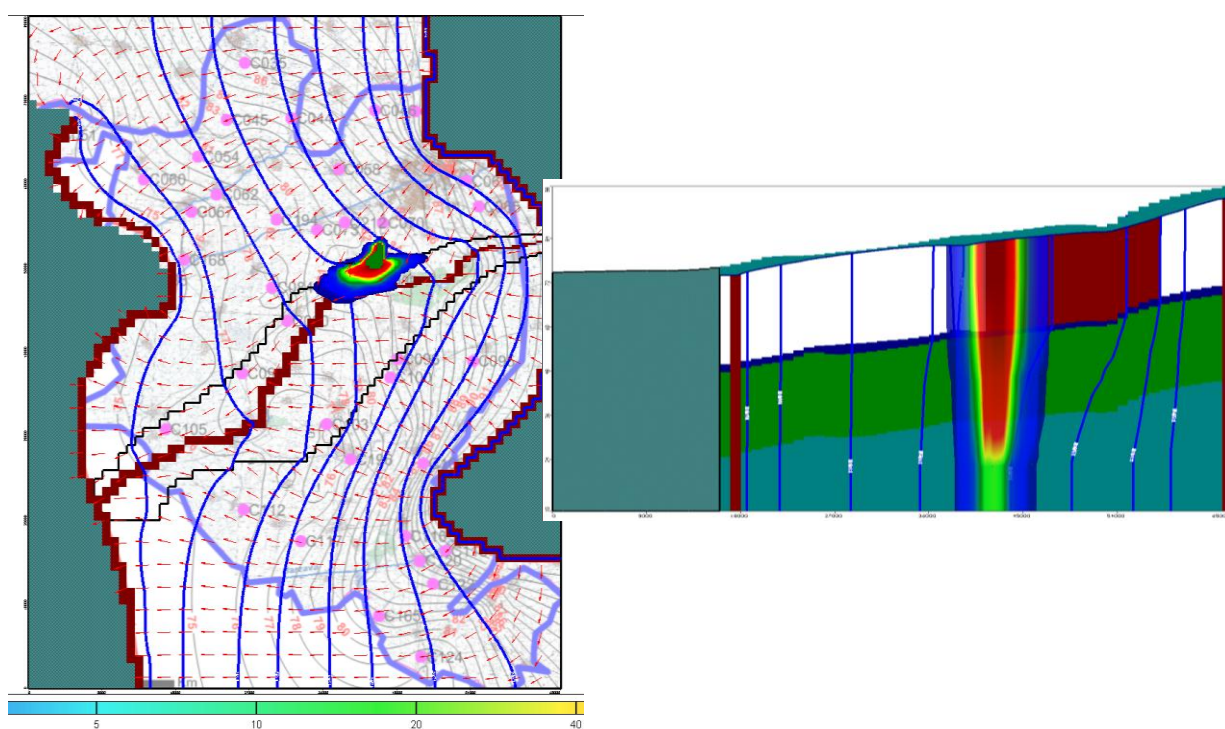


Fig.24.Extinderea penei de poluant în stratul 1 și pe vertical, la 3500 zile

Dupa 3500 zile, în regim influențat, pana de poluare cu o concentrație ridicată s-a extins atât în plan orizontal, cât și vertical depășind al 3 lea strat semipermeabil, invadând ultimul strat format din nisipuri grosiere. Putem spune că în aproape 10 ani de la declanșarea fenomenului de poluare, pana a străbătut aproximativ 50 m adâncime.

În regim natural, după aproape 20 de ani, pana de poluant în plan orizontal s-a extins mult, iar pe verticală, poluantul a ajuns în ultimul strat al acviferului cu o concentrație mult mai mare. În regim

influențat, lucrurile suferă modificări substanțiale, în sensul accelerării fenomenului de poluare în special în plan orizontal.

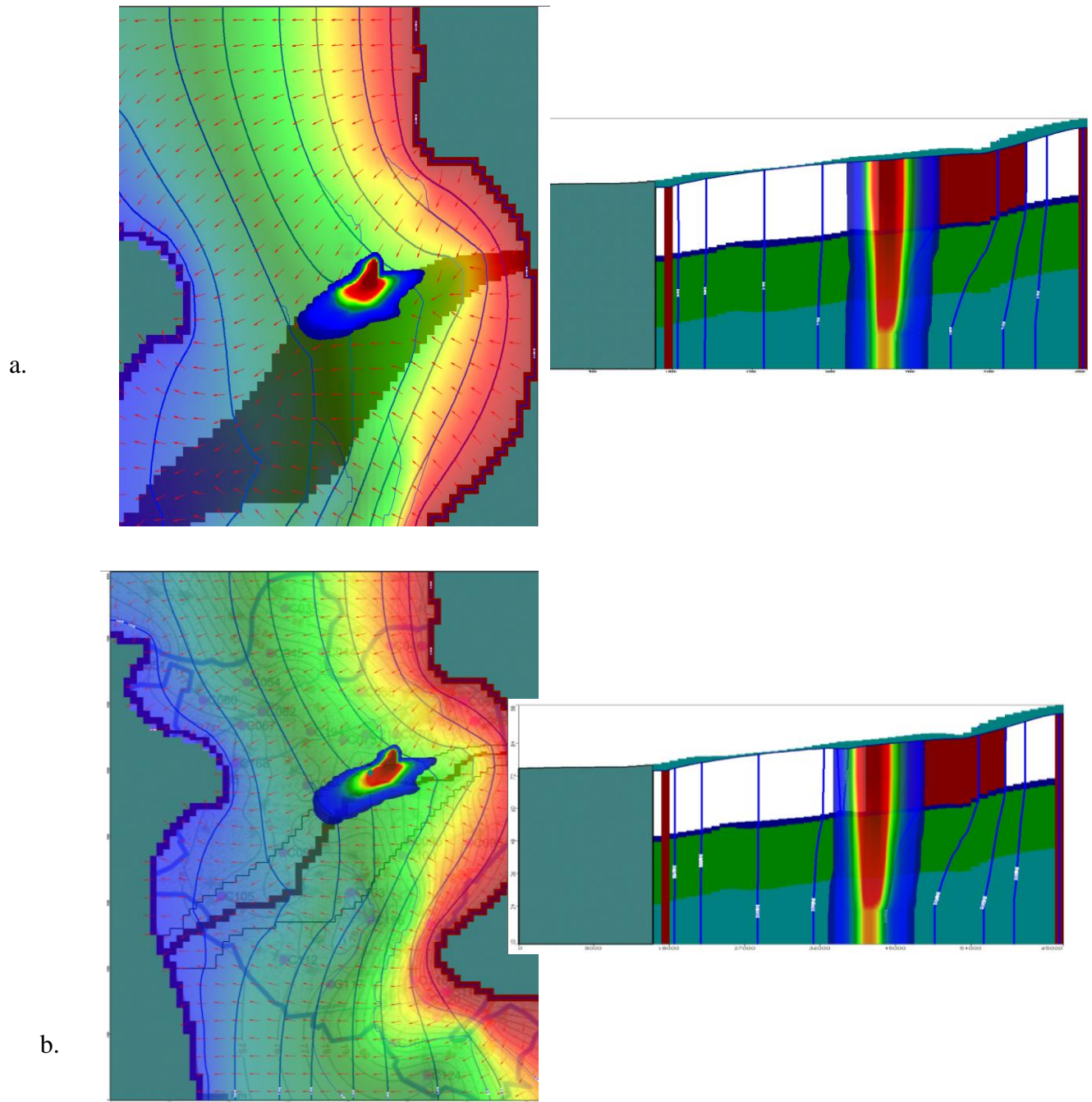


Fig.25 a și b. Extinderea penei de poluare dupa 7000 zile in regim natural (a) și influențat (b)

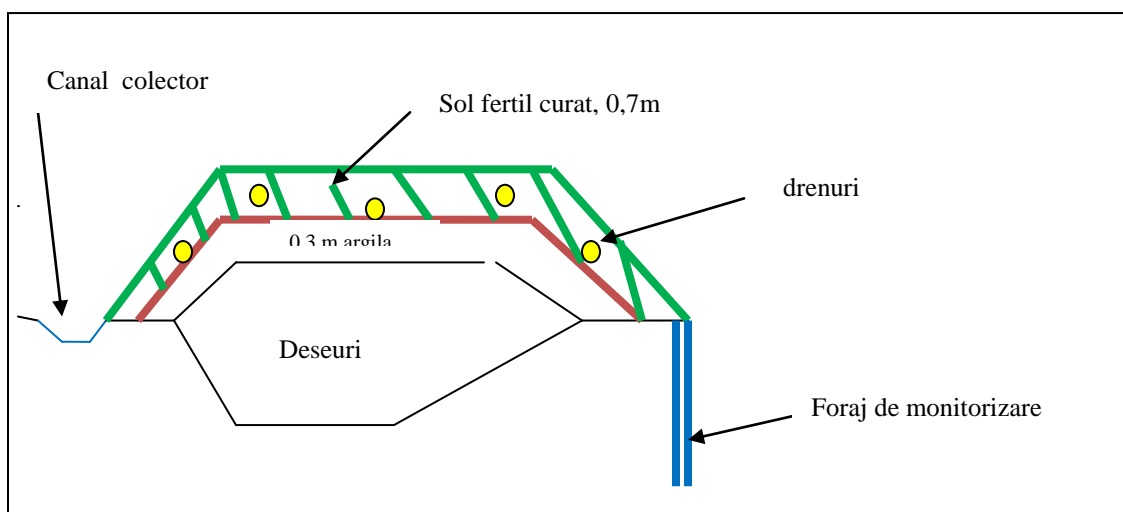


În secțiune, însă, se observă că datorită gradientilor de curgere mici și a conductivității mari a depozitelor permeabile, migrarea contaminanților se produce aproape similar în regim natural ca și în regim influențat.

Rezultatele acestei simulări ajută nu numai pentru stabilirea unor puncte de monitorizare a acviferului în scopul estimării impactului depozitului de deșeuri, cât și în realizarea unor prognoze pe termen lung ca sprijin în acțiunile de rehabilitare a corpului de apă subterană.

**Capitolul 7** este dedicat stabilirii de soluții tehnice de remediere a corpurilor de apă subterană afectate de prezența depozitelor de deșeuri neconforme. Literatura de specialitate oferă o gamă variată de soluții pentru rehabilitarea acviferelor, dar trebuie avută în vedere și o analiză cost-eficiență a măsurilor luate în considerare. Urmare a analizelor fizico-chimice și a modelării matematice efectuate la nivelul corpului de apă subterană ROBA03, se pot lua decizii mult mai argumentate în domeniul gospodăririi apelor. Din punct de vedere al studiului de caz, un mod direct de a *îndepărta sau limita sursa de poluare* ar fi excavarea deșeurii și mutarea lui într-un depozit nou, ecologic, dar deși este o măsură simplă, ușor de realizat, impune costuri foarte mari. Excavarea a 1600000 mc de deșeu, transportul acestei cantități la noul depozit sanitar, costurile pentru achiziționarea a 400000 mc de sol curat și transportul acestei cantități pentru reumplerea gropii rămase, fac ca această măsură să nu fie fezabilă din punct de vedere economic, deși eficiența măsurii de relocare este de 100%.

Soluția propusă a fost cea de *izolare a sursei* (Fig.26) prin acoperirea depozitului cu un strat de argilă, apoi unul de sol curat, săparea unui șanț hidroizolat pentru colectarea levigatului și montarea unui foraj pentru monitorizarea acviferului precum și construirea unui gard de protecție de jur împrejurul depozitului.



---

Fig.26. Reprezentarea schematic a izolării sursei

Așa cum am amintit, rezultatele modelării matematice a transportului contaminanților în acvifer, oferă posibilitatea stabilirii unor secțiuni de monitorizare cât mai precise, pentru a urmări evoluția în timp a concentrațiilor de polant. În cazul de față, incertitudinea modelului de transport datorată calității datelor (nivel piezometric, conductivitatea hidraulică și coeficient de dispersie) condiționează extinderea zonei de monitorizare (Fig. 27).

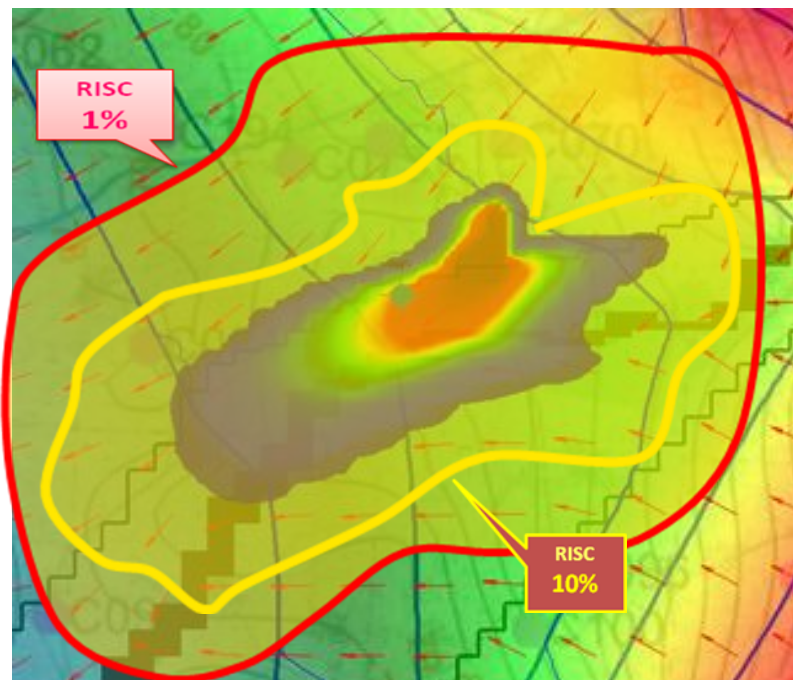


Fig.27. Extinderea zonei de monitorizare datorata incertitudinii modelului

Este foarte clar că toate activitățile care se desfășoară la suprafață au un posibil impact asupra calității acviferelor. Remedierea calitativă a apelor subterane este foarte costisitoare și uneori chiar imposibilă, motiv pentru care prevenirea contaminării este cea mai sigură metodă de a păstra starea calitativă bună a acestora.

## **BIBLIOGRAFIE**

- 
- [1] Behrendt, H., Huber,P., Kornmilkh,M., Opitz,D., Schmoll,O., Scholz,G., &Uebe,R.(2000) – *Nutrient Emissions into river basins of Germany*. UBA-Texte 23/00, pag. 266;
- [2] Bica, I., (1998) – *Poluarea acviferelor. Tehnici de remediere*. Ed. H.G.A. Bucuresti,
- [3] Bica, I., (2011) – Conferinta *Managementul siturilor contaminate*, Sinaia
- [4] Bandrabur, Gh., Slăvoacă, D. C., Bandrabur, R., Slăvoacă, R., (1999) *Studii hidrogeologice pentru evaluarea potențialului de ape subterane din formațiunile carbonatice în interfluviul Valea Cernei – Valea Motrului, județele Caraș–Severin, Mehedinți și Hunedoara*, Arh. S.C. Prospectiuni S.A., București;
- [5] Bretotean, M., Macaleț, R., Țenu, A., Munteanu, M. T., Radu, E., Radu, C., Drăgușin, D., (2004) *Studii privind corelarea metodologiilor de evaluare a resurselor de apă cu DCA 60/2000/EC*, Arh. I.N.H.G.A., București;
- [6] Bretotean, M., Macaleț, R., Țenu, A., Tomescu, G., Munteanu, M. T., Radu, E., Drăgușin, D., Radu, C., (2006a) – *Delimitarea și caracterizarea corpurilor de apă subterană din România*. Rev. Hidrotehnica, vol. 50, nr. 10, pag. 33-39, București;
- [7] Bretotean, M., Macaleț, R., Țenu, A., Tomescu, G., Munteanu, M. T., Radu, E., Radu, C., Drăgușin, D., (2006b) - *Corpurile de ape subterane la risc din România*. Rev. Hidrogeologia, vol.7, nr.1, pag. 9-15, București;
- [8] Bretotean, M., Macalet, R., Radu, E., Radu, C., (2009) - *Evaluarea stării cantitative și calitative a corpurilor de apă subterană din România*. Simpozionul “Probleme actuale ale gestiunii și exploatării resurselor de apă subterană”, 29 oct. Univ. Tehnică de Construcții, București;
- [9] Cadere, R., Rosescu, E., (1963) – *Studiul repartiției rețelei de posturi hidrogeologice în RSR*, Stud. Hidrogeol., ISCH-C.SA., Bucuresti, vol. I, pag. 23-59;
- [10] Comeagă, T., Dinu, I., (2000) – First conducted tracer test for delineation of protection zones in Curțișoara wellfield of Slatina city, Romania. *Poster Papers TraM’2000 – Int. Conf. Tracers and Modelling in Hydrogeology*, pag. 5 – 9;
- [11] Corapcioglu, M. Yavuz, Stallard, W. M., (1995) – *In situ bioremediation of nitrate contaminated water wells*. Texas A&M University, (1995) pag. 11;
- [12] Dario, S., Marco, O., De Maio, M., Grignani, C., (2007) - *Groundwater Nitrate Contamination Risk Assessment: A Comparison of Parametric Systems and Simulation Modelling*, American Journal of Environmental Sciences 3 (3), pag. 117-125;

- 
- [13] Derouane, J., Dassargues, A., (1998) - Delineation of groundwater protection zones based on tracer tests and transport modelling in alluvial sediments. *Environ. Geol.* 36(1-2), pag. 27 – 36;
- [14] D'Eugenio, J., (2002), *Horizontal Guidance „Water Bodies”*,  
<http://forum.europa.eu.int/Public/irc/env>,
- [15] Firestone, M. K., (1982), Biological denitrification, in “*Nitrogen in Agriculture Soils*”, Ed. F.J. Stevenson, Agronomy Monographs No. 22 (American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin), pag 289-326;
- [16] Fletcher, G. Driscoll., (1986) – *Groundwater and wells*. Johnson Screens, St. Paul, Minnesota, pag. 59-66;
- [17] Hallet, V., N’Zali T., Rentier, C., Dassargues, A. (2000) – *Location of protection zones along production galleries: an example of methodology. Tracers and modelling in hydrogeology* (Proc. TraM’2000 Conf., Liège, Belgium, May 2000), A. Dassargues (ed.), pag. 141 – 148;
- [18] Hunter, W. J., Follett RF, Cary JW (1997) - *Use of vegetable oil to stimulate denitrification and remove nitrate from flowing water*. Trans ASAE (Am Soc Agric Eng) 40, pag. 345–353;
- [19] Hunter, W.J., (2002) - *Bioremediation of chlorate or perchlorate contaminated water using permeable barriers containing vegetable oil*. Curr Microbiol 45, pag. 287–292;
- [20] Iurkiewicz, A., Dragomir, G., (1993) - *Studii hidrogeologice pentru evaluarea resurselor de ape subterane din depozitele carbonatice mezozoice ale sinclinalului Reșița-Moldova Nouă (perimetrul Reșița-Anina)*, Arh. S.C. Prospectiuni S.A., București;
- [21] Iurkiewicz, A., Angheli, A., (1997) - *Studii hidrogeologice pentru evaluarea rezervelor de ape subterane din depozitele carbonatice ale sinclinoriului Reșița-Moldova Nouă (Perimetrul Nera-Dunăre)*, Arh. S.C. Prospectiuni S.A., București;
- [22] Jean, J. Fried, (1975) - Developments in Water Science – *Groundwater Pollution*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, pag.155-161;
- [23] Jipa, D. et al. (2003) – *Evaluarea gradului de contaminare cu produse petroliere în zona depozitelor Oil Terminal*, Constanta. Raport MENER – PP6;
- [24] Kruseman, G.P., De Ridder, N.A., (1994) – *Analysis and evaluation of pumping test data*. 2nd Edition, ILRI publ. 47, pag. 377;
- [25] Marchidan, E., (2009) - *Sistemul de monitorizare a apelor subterane din Romania in conformitate cu cerintele Directivei Cadru Apa*, Revista RomAqua, vol. 66, pag. 5-11;

- 
- [26] Marchidan, E., (2010) - *Monitorizarea corpurilor de apa subterana din Romania in conformitate cu cerintele DCA si evaluarea starii chimice*, Revista “Resursele de apa din Romania-vulnerabilitate la presiunile antropice”, Editura Transversal, Targoviste, pag. 98-105;
- [27] Marinov, A., Dumitran, G., Diminescu, M., (2007) - *Monitorizarea apelor subterane si remedierea acviferelor*. Ed. Politehnica Press Bucuresti, 173-175, pag. 201, 228- 257, Bucuresti;
- [28] Marinov, A., (1999) - *Dispersia poluantilor in apele subterane*. Ed Tehnica, Bucuresti, pag. 80-101;
- [29] Negulescu, M., Antoniu, R., Rusu, G., Cusa, E., (1982) - *Protectia calitatii apelor*. Ed. Tehnica Bucuresti, p.124 -125, pag. 135-156.
- [30] Qiang, H., Westerhoff, P., Vermaas, W., (1999) - *Removal of Nitrate from Groundwater by Cyanobacteria: Quantitative Assessment of Factors Influencing Nitrate Uptake*, Applied and Environmental Microbiology, vol. 66, pag. 133-139;
- [31] Roscoe, M. Company, (1990) – *Handbook of Groundwater Development*. Wiley-Interscience Publication, New York, pag. 16-24;
- [32] Sandulescu, M., (1984) – *Geotectonica Romaniei*, pag 61-98;
- [33] Scradeanu, D., Popa, R., (2001) – *Geostatistica Aplicata – Estimarea structurilor spatiale*, Editura Universitatii Bucuresti, pag. 116-129, 162-175;
- [34] Scradeanu, D., Gheorghe, A., (2007) – *Hidrogeologie Generala*, Editura Universitatii din Bucuresti, pag.233-254;
- [35] Siqing Xia, Fohua Zhong, Yanhao Zhang, Haixiang Li, Xin Yang (2010) – *Bio-reduction of nitrate from groundwater using a hydrogen-based membrane biofilm reactor*. Journal of Environmental Sciences 2010, 22(2) pag. 257-262;
- [36] Serban, P., Galie, A., (2006 - *Managementul apelor – principii si reglementari europene*, Bucuresti, Ed. Tipored, Bucuresti;
- [37] Serban, P., Tuchiu, E., (2003) - *Elemente metodologice privind identificarea surselor punctiforme si difuze de poluare si evaluarea impactului acestora asupra apelor de suprafata*, Bucuresti;

- 
- [38] Serban, P., Tuchiu, E., Jula, G., (2003) - *Instructiuni si metodologie privind modernizarea si Dezvoltarea Sistemului National de Monitoring Integrat al Apelor*, Bucuresti;
- [39] Toussaint, B., Martin, N., Schelkes, Warda H., Weingram, Ch. (2010) – *Implication of groundwater Rehabilitation on Water Resources Protection and Conservation: artificial recharge and water quality improvement in the ESCWA region*. New York, pag. 21-37;
- [40] Tuchiu, E., Jula, G., Marchidan, E., Popovici, F., Garbea, R., Ungureanu, D., Beciu, E., (2010) - *Realizarea planurilor de management ale bazinelor hidrografice din Romania*, Revista “Hidrotehnica”, vol. 55, nr. 3;
- [41] Ujvari, I., (1972) - *Geografia apelor României*, Editura Științifică, București, pag.19, 465-481;
- [42] Zamfirescu, F., (1997) – *Elemente de bază în dinamica apelor subterane*. Ed. Did. Pedag. București, pag.255;
- [43] Varduca, A., (1999) – *Monitoringul integrat al calității apelor*, Editura\*H\*G\*A\*, București, pag.325, 327, 329;
- [44] Varduca, A., (2000) – *Protecția calității apelor*, Editura\*H\*G\*A\*, București, pag.221-223, 237-248;
- [45] Venohr, M., Popovici, M., Țuchiu, E., (2010), *Modelul MONERIS - un instrument de management pentru controlul poluării cu nutrienți în bazinul hidrografic al Dunării și în România*, Revista “Hidrotehnica”, vol. 55, nr. 11-12, 2010;
- [46] Vijay, P. Singh, Ghosh Bobba, A., (1995) – *Environmental Hydrology*, Water Science and Technology Library, Vol. 15, pag. 225-315;
- [47] \*\*\* (1960) – *Monografia Geografica a Romaniei, vol. I, Geografie fizica*, Editura Academiei, Bucuresti;
- [48] \*\*\* (1972-1979) – *Atlas, R.S.Romania, Institutul de Geografie, Editura Academiei Romane, Bucuresti*;
- [49] \*\*\* (1980) - *Directiva 80/68/EEC privind protectia apelor subterane impotriva poluarii cauzate de anumite substante periculoase*;
- [50] \*\*\* (1995) - EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA) (1995): Data from CORINE Land Cover (CLC) with a resolution of 100 m x 100 m, <http://dataservice.eea.europa.eu/clc/eeaclc.asp>;

- 
- [51] \*\*\* (2000) - *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy*;
- [52] \*\*\* (2003) - *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Guidance Document no.3, Analysis of Pressures and Impacts*; <http://forum.europa.eu.int/Public/irc/env>;
- [53] \*\*\* (2003) - *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Guidance on Monitoring for the Water Framework Directive*, <http://forum.europa.eu.int/Public/irc/env>;
- [54] \*\*\* (2005) - Raportul National 2004 – *Caracterizarea bazinelor hidrografice, impactul activitatilor umane si analiza economica*, Administratia Nationala „Apele Romane”, Bucuresti;
- [55] \*\*\* (2005) - H.G. 351/2005 cu modificarile si completarile ulterioare, privind aprobarea programului de eliminare treptată a evacuărilor, emisiilor și pierderilor de substanțe prioritare/periculoase;
- [56] \*\*\* (2006) - Administratia Nationala “Apele Romane”, *Sistemul de monitorizare al apelor din Romania. Raport National 2006* ;
- [57] \*\*\* (2006) - *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) – Guidance on Monitoring (Guidance Document no. 15)*;
- [58] \*\*\* (2006) - *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Guidance on preventing or limiting direct and indirect inputs in the context of the Groundwater Directive 2006/118/CE – (Guidance Document no 17)*;
- [59] \*\*\* (2006) - *Directiva 2006/118/EC privind Apele Subterane privind protectia apelor subterane impotriva poluarii si a deteriorarii*, prin stabilirea de standarde de calitate a apelor subterane si introducerea de masuri pentru prevenirea sau limitarea descarcilor de poluanti in apele subterane;
- [60] \*\*\* (2007), *Cele mai importante probleme de gospodarirea apelor*, Administrația Națională “Apele Române”, București;
- [61] \*\*\* (2008) - *Ordinul nr. 1552 din 3 decembrie 2008 al Ministrului Mediului și Dezvoltării Durabile și Ordinul nr.743 din 12 decembrie 2008 al Ministrului Agriculturii și Dezvoltării*

---

*Rurale pentru aprobarea listei localităților pe județe unde există surse de nitrați din activități agricole;*

- [62] \*\*\* (2008) - Proiectul ”*Stabilirea măsurilor de reabilitare a apelor subterane în vederea atingerii obiectivelor de mediu cerute de Directiva Cadru a Apei și Directiva Apelor Subterane*” - Studiu de caz în Spațiul Hidrografic Banat, DAB – ANAR, Grontmij, Witteveen+Bos, Ecorys;
- [63] \*\*\* (2009) - *Ordinul nr. 137/2009 al Ministerului Mediului și Padurilor privind aprobarea valorilor prag pentru corpurile de apă subterană din România;*
- [64] \*\*\* (2009) - *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Guidance Document no. 18, Guidance on groundwater status and trend assessment;*
- [65] \*\*\* (2009) - *Planul de management al spațiului hidrografic Banat*, Administrația Națională „Apele Române”, București;
- [66] \*\*\* (2010) - *Guidance on Risk Assessment and the Use of Conceptual Models for Groundwater, Version 2.0;*
- [67] [http://www2.lwr.kth.se/Publikationer/PDF\\_Files/LWR\\_EX\\_2002\\_16.PDF](http://www2.lwr.kth.se/Publikationer/PDF_Files/LWR_EX_2002_16.PDF), Kirlna Jagloo, (2002), *Groundwater risk analysis in the vicinity of a landfill*, Royal Institute of Technology, Stockholm;
- [68] <http://www.foe.org/ptp/chapter3.html> ; *Landfill manual;*
- [69] <http://icpdr.org/icpdr-pages/item20080506172727.htm> ;
- [70] <http://www.epa.gov/ebtages/watgrounhydrogeology.html> ;
- [71] [http://gwptoolbox.org/index.php?option=com\\_case&id=278](http://gwptoolbox.org/index.php?option=com_case&id=278) ; Marchidan, E., “*Implementation measures and intense public consultations to achieve the first RBMP*” (#389), Global Water Partnership - TOOLBOX – Integrated Water Resources Management;
- [72] [http://www.epa.gov/safewater/contaminants/dw\\_contamfs/nitrates.html](http://www.epa.gov/safewater/contaminants/dw_contamfs/nitrates.html); U.S. Environmental Protection Agency, *Ground Water and Drinking Water*, Consumer Fact sheet on Nitrates/Nitrites, 2007;
- [73] <http://www.reopure.com/nitratinfo.html> ; *Nitrate pollution of Groundwater*, by: Lee Haller, Patrick McCarthy, Terrence O’Brien, Joe Riehle and Thomas Stuhldreher;
- [74] [http://www.epa.vic.gov.au/compliance-enforcement/comments/docs/cleanaway\\_pra.pdf](http://www.epa.vic.gov.au/compliance-enforcement/comments/docs/cleanaway_pra.pdf) ;



- 
- [75] <http://info.ngwa.org/gwol/pdf/862440690.PDF> , (2007) *In Situ Bioremediation as a Ground Water Remediation Technique*, by: John T. Wilson, Lowell E. Leach, Michael Henson, Jerry N. Jones;
- [76] [http://www.earthwardconsulting.com/dip\\_calculator.htm](http://www.earthwardconsulting.com/dip_calculator.htm), Earthworld Consulting;
- [77] <http://css.escwa.org.lb>; *Implications of groundwater rehabilitation on water resources protection and conservation: artificial recharge and water quality improvement in the escwa region*, 2001.

