



UNIVERSITATEA BUCUREȘTI
FACULTATEA DE GEOLOGIE ȘI GEOFIZICĂ
ȘCOALA DOCTORALĂ DE GEOLOGIE



TEZĂ DE DOCTORAT ÎN GEOLOGIE

MANAGEMENTUL APELOR SUBTERANE DE MICĂ
ADÂNCIME DIN CONUL ALUVIONAR AL RÂULUI BUZĂU

- Rezumat -

Coordonator științific:

Prof. Dr. Ing. Daniel SCRĂDEANU

Doctorand:

Ing. Valentina Adriana MANEA

BUCUREȘTI

2020

CUPRINS

Introducere	5
1. Caracterizarea zonei de studiu	6
2. Modelul conceptual al conului aluvionar al râului Buzău	7
2.1. Modelul spațial	7
2.2. Modelul parametric	9
2.2.1. Conductivitatea hidraulică și transmisivitatea depozitelor poros-permeabile	9
2.2.2. Chimismul apelor subterane de mică adâncime din conul aluvionar	11
2.2.3. Modelul hidrodinamic	12
2.2.4. Modelul hidrogeologic tridimensional al acviferului freatic	13
3. Modelarea matematică a curgerii apei subterane	13
4. Managementul apelor subterane de mică adâncime din conul aluvionar al râului Buzău	15
4.1. Simularea exploatărilor de apă subterană.....	15
4.2. Dimensionare zonelor de protecție sanitară și a perimetrelor de protecție hidrogeologică	17
4.3. Migrarea contaminanților	18
4.4. Rezervele și resursele din acviferul freatic din conul aluvionar al râului Buzău	19
5. Concluzii.....	19
Bibliografie selectivă	21

Introducere

Prezenta lucrare are ca obiectiv principal managementul apelor subterane de mică adâncime pe baza cunoașterii dinamicii acviferului freatic și a tuturor părților componente ale sistemului complex reprezentat de conul aluvionar al râului Buzău.

Teza este rezultatul colectării și prelucrării unui volum impresionant de informații privind formațiunile geologice constituente, variațiile proprietăților cantitative și calitative ale apelor subterane, dinamica apelor de suprafață și legătura acestora cu cele subterane, natura proceselor care au dus la formarea conului aluvionar al râului Buzău ș.a.m.d.

Studiul este structurat în patru capitole. În primul este prezentat cadrul natural al conului aluvionar al râului Buzău, prin analiza datelor de natură geomorfologică, hidrologică, pedologică, climatologică, geologică și hidrogeologică.

Următorul capitol conține toate etapele străbătute pentru a pătrunde structura conului aluvionar și, în special, pentru a înțelege apele subterane care se regăsesc în acesta. Atenția principală a fost acordată acviferului de mică adâncime. Acesta a fost analizat din punct de vedere cantitativ și calitativ prin realizarea unui model conceptual al hidrostructurii.

Capitolul al treilea prezintă procedeul prin care a fost tradus modelul conceptual, într-un model numeric.

Ultimul capitol prezintă utilitatea modelului matematic de curgere a apei subterane ca instrument în realizarea managementului apelor subterane de mică adâncime din conul aluvionar. S-a studiat evoluția în timp a dinamicii acviferului, în cazul exploatării fronturilor de captarea ale orașului Buzău cu debitul maxim admisibil calculat în această lucrare. S-a simulat migrarea unui posibil contaminant în scopul determinării timpului disponibil pentru aplicarea unor măsuri de protejare sau remediere a acviferului, apelor de suprafață și ariilor care ar fi afectate. Aplicarea directivelor în vigoare (H.G. nr. 930/2005, Ord. nr. 1278/2011) s-a putut realiza prin dimensionarea zonelor de protecție sanitară și a perimetrelor de protecție hidrogeologică utilizând modelul de curgere realizat, în funcție de timpul de tranzit al unei particule.

Acest instrument împreună cu reprezentările tridimensionale, care încapsulează informațiile colectate în etapele de realizare ale modelului conceptual, au permis calculul rezervei și a resursei de apă subterană din acviferul freatic aflat în conul aluvionar al râului Buzău.

1. Caracterizarea zonei de studiu

Conul aluvionar al râului Buzău face parte din Câmpia Buzăului și se dezvoltă din dreptul localității Vernești, în nord-vest, până la cursul râului Călmățui în sud, urmând apoi linia formată din localitățile Albești, Bentu și Săgeata în sud-est, iar limita nord-estică este reprezentată de râul Buzău. În zona studiată clima este de tip temperat-continentală. (Badea L., Buza M., 2011)

Conul aluvionar este constituit din depozite transportate de râul Buzău din zona montană. Tipul sedimentelor variază în funcție de procesele tectonice care au avut loc în lanțul carpatic. Conul prezintă strate de bolovăniș care au nevoie de o energie de transport ridicată, cât și strate de nisip fin. Un aspect important al structurii conului este faptul că râul și-a modificat cursul datorită mișcărilor neotectonice de la vest către est. Direcția inițială a cursului râului Buzău este considerată a fi actuala vale a râului Călmățui (Șerban P., 1989; Tomescu G., 1979).

Conul aluvionar al râului Buzău se regăsește în partea externă a avanfosei carpatice, partea internă aflându-se la nord de localitatea Nișcov. Această zonă necutată a avanfosei este suprapusă regiunii nordice a Platformei Moesice.

Acviferul de adâncime întâlnit în aria conului aluvionar este cel din Stratele de Căndești, formațiune de vârstă Pleistocen inferior. Acesta are o extindere mare și se dezvoltă în partea nordică a Câmpiei Române, spre Subcarpați, regăsindu-se și în depozitele neogene din zona subcarpatică. Stratele de Căndești sunt constituite dintr-o alternanță de pietrișuri și nisipuri cu prafuri argiloase care prezintă o granulometrie grosieră în partea superioară, cu o alimentare realizată din zona colinară (Cinetti F. A., 1990).

În zona studiată Stratele de Căndești se întâlnesc la adâncimi de 30.0-50.0 m, au o grosime mai mare de 500.0 m și acviferul din acestea prezintă caracter artezian cu un nivel stabilizat la +1.0 - +3.0 m. Debitele obținute în dreptul localității Buzău pot ajunge la valori maxime de 10.0 – 30.0 l/s, dar în unele arii ale conului aluvionar capacitatea de debitare prezintă maxime de 1.0 – 4.0 l/s.

Acviferul freatic din zona conului de dejecție al râului Buzău se dezvoltă până la adâncimi cuprinse între 3.0 m și 37.5 m și se află în depozite aluvionare constituite din nisip, pietriș și bolovăniș cu lentile de până la 5.0 m de argile, marne sau argile nisipoase. Pe malul stâng al Buzăului, acviferul prezintă formațiuni acoperitoare alcătuite din roci cu permeabilitate scăzută, cu grosimi de 1.0 – 5.0 m.

Acviferul freatic prezintă o direcție generală de curgere NV-SE, cu observația că la nord de Buzău este NNV-SSE. Gradientul hidraulic are o valoare de 4‰ în nordul conului aluvionar, acest parametru ajunge la 2.2‰ în dreptul localității Buzău și scade până la valoarea de 1.4‰ în sud.

2. Modelul conceptual al conului aluvionar al râului Buzău

Caracteristicile hidrostructurii au fost simplificate sub forma unui model conceptual, cu trei componente: spațială, parametrică și hidrodinamică.

Construirea modelului conceptual s-a realizat prin analiza unei baze de date constituită din 377 de foraje, din care 298 sunt private și 79 aparțin Rețelei Hidrogeologice Naționale, din cadrul I.N.H.G.A. – A.N.A.R.. Informațiile colectate fac referire la litologia străbătută în timpul forării, rezultatele testelor de pompare și, în cazul forajelor de monitorizare, rezultatele analizelor chimice.

2.1. Modelul spațial

Schematizarea spațială a hidrostructurii constă în determinarea geometriei acviferului și a extinderii acestuia în plan vertical și orizontal.

Analiza a început prin realizarea a 11 secțiuni litologice, nouă transversale și două longitudinale. Acestea au fost concepute în trei etape: selecția forajelor pe care le vor traversa, analiza statistică a datelor litologice și reprezentarea grafică finală.

Datorită numărului mare de foraje studiate, a distribuției neuniforme a acestora și a informațiilor litologice incomplete, s-a realizat o primă selecție a punctelor de observație.

Conurile aluvionare sunt caracterizate de alternanțe de varii combinații litologice, în cazul prezentat fiind vorba de nisip, nisip și pietriș, nisip și bolovăniș, nisip cu pietriș și bolovăniș, pietriș, bolovăniș, nisip argilos, argilă nisipoasă, argilă, marnă, loess și sol. S-a realizat un studiu inițial cu toată complexitatea litologică, utilizând modele tridimensionale litologice. Pe acestea s-a observat faptul că nu sunt ușor de distins stratele poros-permeabile, datorită complexității structurale.

Scopul schematizării a fost delimitarea acviferului de mică adâncime. Prin gruparea formațiunilor în roci permeabile și roci impermeabile s-a putut delimita stratul de conductivitate hidraulică scăzută dintre freatic și Stratele de Cândești. Datorită faptului că punctele de observație

nu sunt distribuite uniform în aria de studiu și distanțele dintre unele foraje sunt considerabile, s-a decis să se analizeze statistic informațiile deținute pentru a se determina direcția de continuitate a litologiei pentru fiecare secțiune. Analiza are la bază variograma omnidirecțională cu rolul de a schematiza variabilitatea perechilor de puncte pe diverse distanțe și de a identifica un model structural în funcție de acestea.

Variograma de suprafață este rezultatul analizei anizotropiei structurii pe minim patru direcții (variograme direcționale). Informațiile caracteristice variogramelor direcționale au fost utilizate pentru realizarea acesteia, din care a rezultat diagrama razelor de influență care indică direcția de continuitate maximă a variabilei analizate. Utilizând raza de influență pe direcția de variabilitate minimă (R_m), raza de influență pe direcția de variabilitate maximă (R_M) și orientarea direcției de continuitate maximă (paralelă cu R_M) s-a putut modela variograma experimentală. Această analiză a direcțiilor de continuitate a permis alocarea unei ponderi corespunzătoare fiecărei valori din punctele de observație. Scopul final a fost acela de a se realiza o interpolare a informațiilor litologice cu un grad de încredere ridicat. Modelul variogramei experimentale a fost utilizat pentru a interpola variabilele utilizând metoda Kriging. Rezultatul este reprezentat de secțiunile statistice (Figura 1).

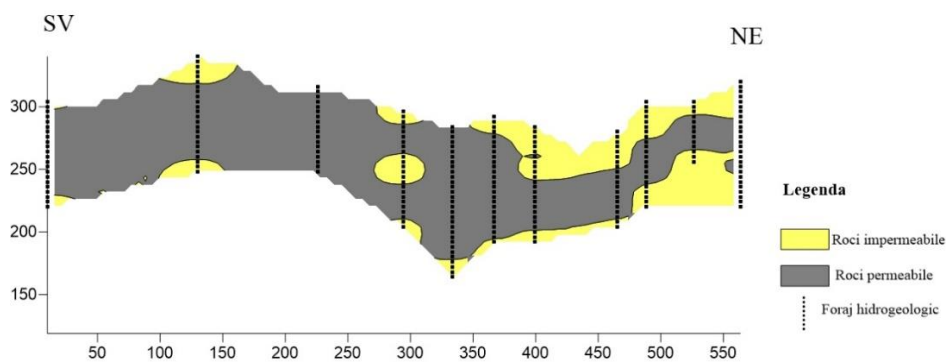


Figura 1 Secțiunea transversală T8-8' realizată prin analiză statistică

În continuare au fost utilizate secțiunile statistice rezultate, în combinație cu informațiile privind procesele de sedimentare dintr-un con aluvionar și influența personală, pentru a reprezenta grafic secțiunile geologice. Acestea au fost realizate utilizând programul AutoCAD (Figura 2). Rezultatele finale sunt 11 secțiuni litologice. Pe acestea s-a putut delimita culcușul acviferului freatic care a fost reprezentat prin harta conturală cu izohipse și harta cu izoadâncimi față de cota terenului.

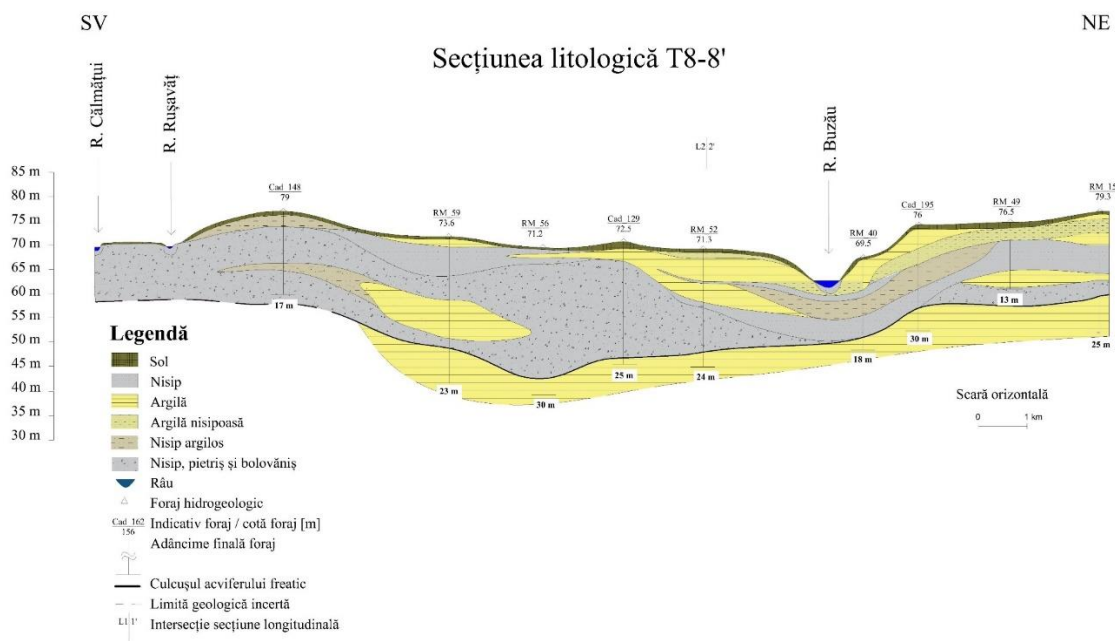


Figura 2 Secțiunea litologică T8-8'

Limitele conului aluvionar și ale acviferului freatic au fost definite pe baza hărții geologice 36 Ploiești (Săndulescu M. et al., 1968), utilizând informații colectate din studii anterioare întocmite în zona de studiu și pe baza secțiunilor litologice, respectiv a modelelor grafice tridimensionale realizate.

Conul aluvionar al râului Buzău are o suprafață de 294.4 km², iar acviferul freatic se regăsește până la adâncimi cuprinse între 3.0 și 37.0 m.

2.2. Modelul parametric

Modelul parametric al acviferului vizează schematizarea a două categorii de parametri ai hidrostructurii:

- conductivitatea hidraulică și transmisivitatea terenurilor permeabile;
- chimismul apelor subterane.

2.2.1. Conductivitatea hidraulică și transmisivitatea depozitelor poros-permeabile

În etapa de *schematizare parametrică* principalul parametru analizat a fost *conductivitatea hidraulică*. Valorile punctuale ale acesteia au fost calculate pe baza rezultatelor testelor de pompare realizate în forajele din cadrul Rețelei Hidrogeologice Naționale. Datorită faptului că

punctele de observație nu sunt distribuite uniform în zona de studiu, s-a ales să se realizeze o analiză statistică a variației conductivității hidraulice.

Inițial s-a studiat variabilitatea globală a conductivității hidraulice pentru a se determina reprezentativitatea valorilor acesteia. A rezultat că distribuția acestora este conformă cu modelul repartiției normale, ceea ce înseamnă că următoarele analize geostatistice nu au fost afectate de supraestimări sau subestimări. Concluzia analizei variabilității globale este că valoarea medie a conductivității hidraulice, cu o probabilitate de 90%, este cuprinsă în intervalul 13.13 m/zi și 13.15 m/zi.

În continuare s-a realizat analiza variabilității spațiale a valorilor conductivității hidraulice. În urma analizei variografice a rezultat că parametrul variază, pe teritoriul conului aluvionar, între 4.0 m/zi și 46.0 m/zi (Figura 3). Distribuția spațială obținută este conformă cu măsurătorilor din punctele de observație în proporție de 87 %.

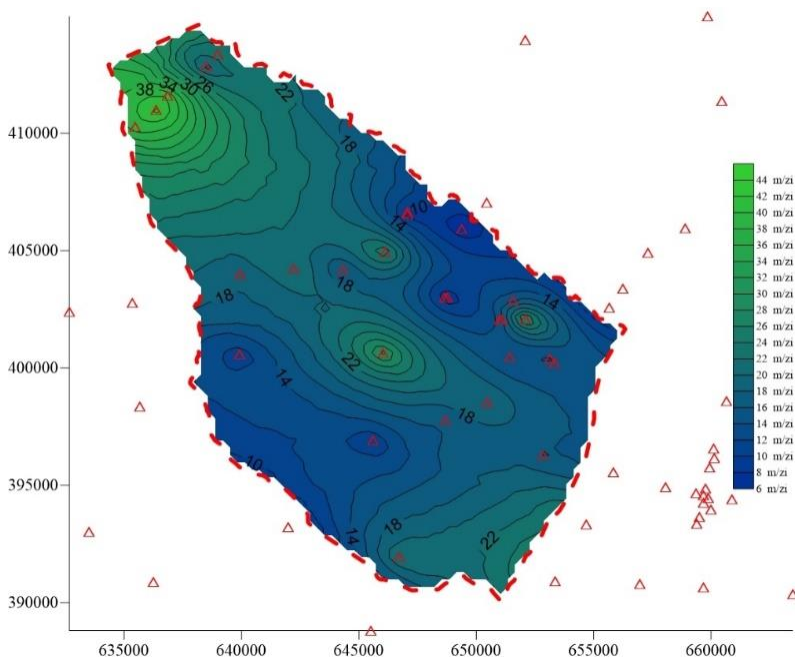


Figura 3 Variația conductivității hidraulice

Transmisivitatea depozitelor poros-permeabile a fost calculată utilizând conductivitatea hidraulică și grosimea acviferului freatic. A rezultat că acest parametru are valori cuprinse între 5.0 m²/zi (în vecinătatea râului Buzău, arie caracterizată de o grosimea redusă a acviferului) și 555.0 m²/zi, în centrul conului aluvionar.

2.2.2. Chimismul apelor subterane de mică adâncime din conul aluvionar

În continuare au fost analizate **caracteristicile chimice** ale apei subterane din acviferul freatic. Au fost prelucrate date calitative din perioada 2011 – 2017 colectate în 16 foraje din Rețeaua Hidrogeologică Națională. Într-o primă etapă s-au analizat raporturile dintre diferiți parametri chimici sub formă de diagrame Piper, Schoeller-Berkalof, SAR și s-a realizat o reprezentare a distribuției spațiale a cationilor/anionilor principali utilizând reprezentări de tip STIFF.

În a doua etapă s-au comparat concentrațiile medii ale parametrilor chimici, cu valorile prag și standardele de calitate în vigoare, pentru identificarea zonelor posibil contaminate.

Din punct de vedere al chimismului, apele subterane din conul aluvionar al râului Buzău prezintă mineralizații ridicate datorate fondului natural. Acestea sunt în principal de tip hidrogen-carbonat-sodic și clorurat (Figura 4). Pe diagramele STIFF s-au observat concentrații ridicate pentru elementul sodiu în zona centrală și sudică a conului aluvionar.

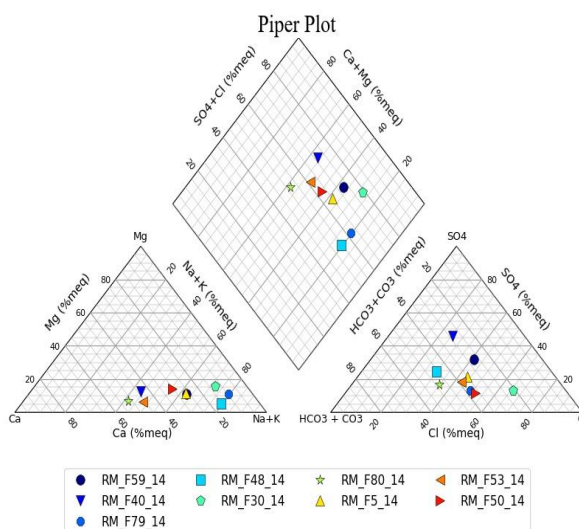


Figura 4 Diagrama Piper corespunzătoare măsurărilor din toamnă 2017

Din punct de vedere al ratei de adsorbție a sodiului apa subterană pare să fie corespunzătoare irigațiilor terenurilor în partea nordică a conului aluvionar. În rest conductivitatea electrică ridicată încadrează apa la un SAR mediu.

S-au înregistrat depășiri locale pentru elementele NH_4 , Cl , SO_4 și. O depășire a valorii prag pe o suprafață de 131.9 km^2 s-a înregistrat pentru fenoli. Este posibil ca această contaminare să fie rezultatul prezenței depozitelor de deșeuri amplasate în sudul orașului Buzău.

2.2.3. Modelul hidrodinamic

Schematizarea hidrodinamică, care este ultimul pas parcurs în realizarea modelului conceptual, a studiat dinamica apei subterane din acviferul freatic. În acest subcapitol s-a realizat spectrul hidrodinamic aferent acviferului freatic. Acesta s-a elaborat utilizând cotele nivelului hidrostatic măsurate în forajele Rețelei Hidrogeologice Naționale și pe râurile Buzău, respectiv Călmățui, în perioada 18-19 Iulie 2017. Acesta s-a realizat de asemenea prin analiză variografică. Direcția generală de curgere a apei subterane din acviferul freatic este NV-SE, iar gradientul hidrolic prezintă valori cuprinse între 1.3 ‰ în vecinătatea râului Călmățui și 2.8 ‰ în zona centrală a conului aluvionar și pe suprafața orașului Buzău (Figura 5).

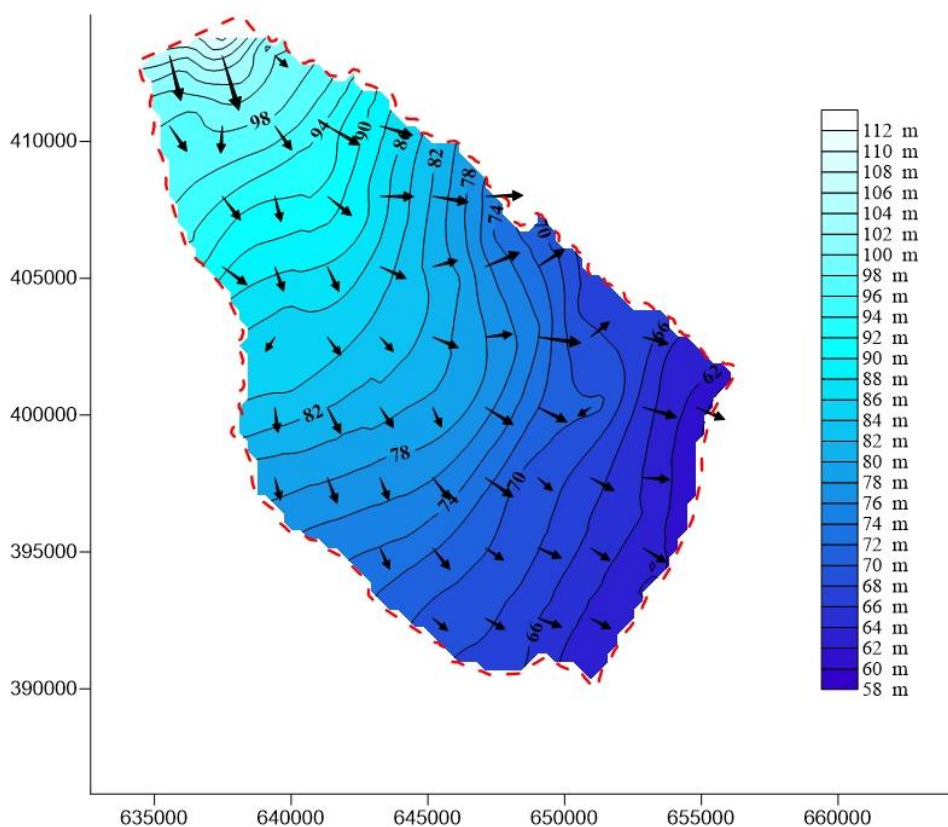


Figura 5 Spectrul hidrodinamic al acviferului de mică adâncime din conul aluvionar al râului Buzău

2.2.4. Modelul hidrogeologic tridimensional al acviferului freatic

Pe baza schematizării spațiale și a celei hidrodinamice s-a realizat modelul hidrogeologic tridimensional al acviferului freatic. Pe acesta se poate studia geometria acviferului și a zonei vadoase din conul aluvionar al râului Buzău (Figura 6).

Grosimea cea mai mare a depozitelor poros-permeabile (29.0 m) s-a regăsit în zona centrală a zonei studiate. În timp ce valorile scăzute se regăsesc în vecinătatea râului Buzău și în nordul conului aluvionar. Volumul depozitelor în care se află apa subterană este de 4.21 km³ și al zonei vadoase este de 2.15 km³.

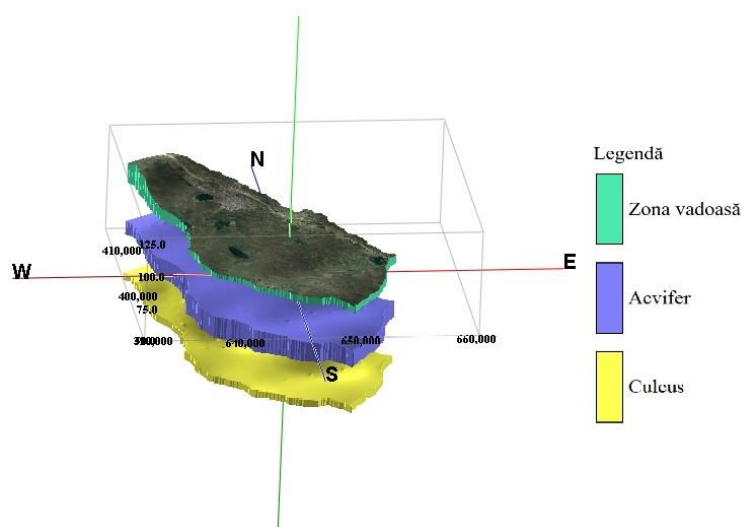


Figura 6 Modelul hidrogeologic tridimensional al acviferului freatic

3. Modelarea matematică a curgerii apei subterane

Primul pas în realizarea unui model matematic este reprezentat de identificarea scopului acestuia. În cazul acviferului freatic din cadrul conului aluvionar al râului Buzău, s-a realizat modelul numeric pentru îndeplinirea următoarelor obiective:

1. cunoașterea generală a dinamicii sistemului acvifer freatic;
2. observarea variației dinamicii acviferului în cazul modificării regimului de exploatare al captărilor de apă subterană ale orașului Buzău;
3. dimensionarea zonelor de protecție sanitară și a perimetrelor de protecție hidrogeologică a captărilor de apă subterană;

4. simularea dinamicii unui poluant;
5. determinarea rezervelor și resurselor din cadrul acviferului freatic.

Modelul conceptual realizat a fost în continuarea transpus sub forma unui model numeric utilizând programul FREEWAT. Pe baza spectrului hidrodinamic s-au definit condițiile pe frontieră ale modelului de curgere a apei subterane (Figura 7).

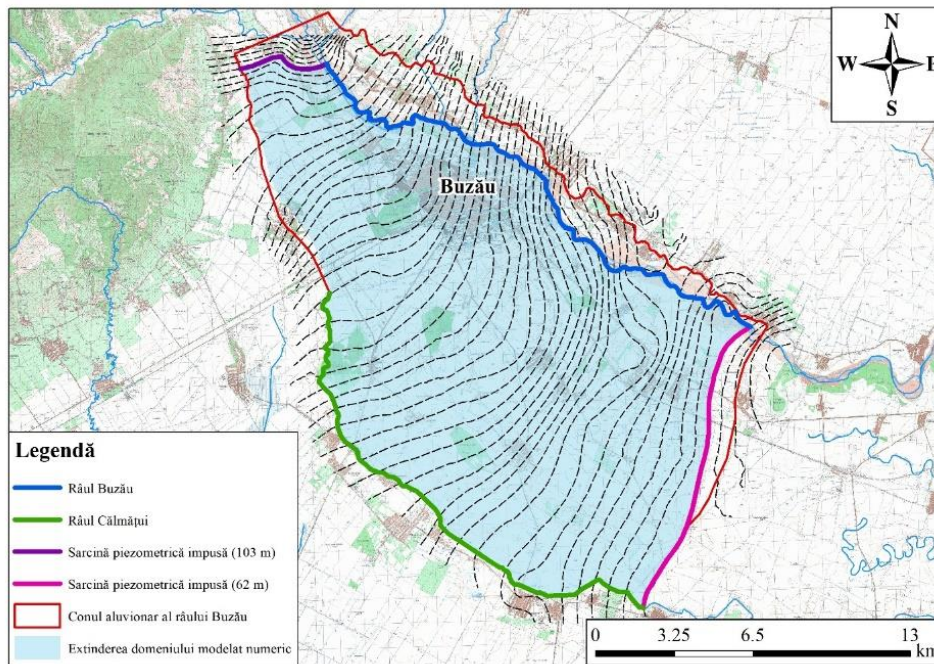


Figura 7 Condițiile la limită ale acviferului freatic din cadrul conului aluvionar al râului Buzău

Domeniul studiat a fost discretizat utilizând o rețea pătratică în celulele căreia s-au rezolvat ecuațiile de curgere utilizând metoda diferențelor finite. Modelul de curgere rezultat a fost calibrat utilizând forajele în care s-a măsurat cota nivelului hidrostatic. Au fost prezentate diferențele dintre ceea ce a fost măsurat și ceea ce a fost simulat pentru trei scenarii: în primul s-a rulat cu valoarea medie a conductivității hidraulice ($K = 13.14 \text{ m/zi}$) pe toată aria studiată, în al doilea s-a introdus efectul precipitațiilor și în al treilea s-a modificat conductivitatea hidraulică, fiind introdusă variația acesteia conform variogramei experimentale II (Figura 3). Parametrii modificați pentru a reduce valorile reziduale sunt alimentarea prin precipitații a acviferului freatic (recharge) și conductivitatea hidraulică. Modelul calibrat prezintă diferențe mai mici de 1.0 m, între valorile măsurate și cele simulate, în majoritatea punctelor de observație.

4. Managementul apelor subterane de mică adâncime din conul aluvionar al râului Buzău

Pentru realizarea managementului acviferului freatic s-a ales să se ruleze modelul de curgere a apei subterane în regim staționar, cât și în regim nestaționar. Scopul final este de a obține informații cu cel mai ridicat grad de reprezentativitate.

În modelul de curgere s-au introdus trei pași de timp:

- Prima perioadă este în regim staționar;
- A doua perioadă este în regim nestaționar, de-a lungul căreia s-au introdus intervale de o zi până la 10 ani. În aceasta se va introduce un stres extern care va acționa asupra acviferului;
- A treia perioadă este de asemenea în regim nestaționar, de-a lungul căreia s-au introdus intervale până la 10 ani. În aceasta se va observa comportamentul acviferului după încetarea acțiunii stresului extern.

4.1. Simularea exploatărilor de apă subterană

Primul obiectiv abordat a fost analiza variației dinamicii acviferului freatic în cazul modificării regimului de exploatare al captărilor de apă subterană ale orașului Buzău. S-a simulat pomparea în forajele care captează acviferul freatic:

- Forajele F1-F3, F5-F8, F10 din frontul de captare Crâng;
- Forajele F10, F12, F14, F18, F20 din frontul de captare Zahăr I;
- Forajele F12, F13, F15 din frontul de captare Sud.

O pompare nerațională a fronturilor de captare poate produce supraexploatarea acviferului freatic. În acest caz debitul extras este mai mare față de capacitatea de alimentare a freaticului și începe să fie exploatată rezerva permanentă a acviferului.

Pentru a preveni acest scenariu, modelul de curgere al apei subterane, în regim staționar, a fost utilizat pentru determinarea debitului maxim cu care poate fi exploatată fiecare captare astfel încât nivelul dinamic să nu scadă sub o treime din coloana de apă (Figura 8).

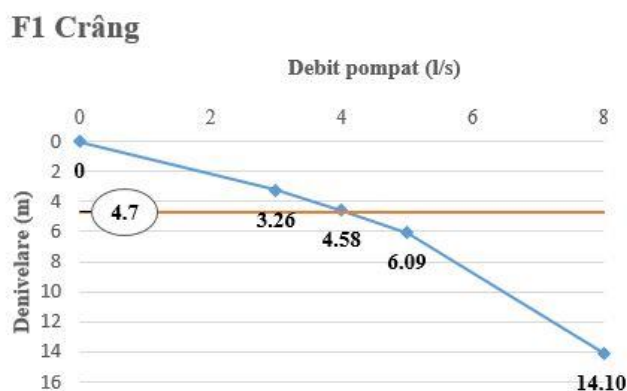


Figura 8 Determinarea debitului de exploatare maxim admisibil

Valorile rezultate au fost introduse pentru simularea exploatării forajelor din fronturile de alimentare ale orașului Buzău, pe perioade începând de la 90 de zile, până la 10 ani.

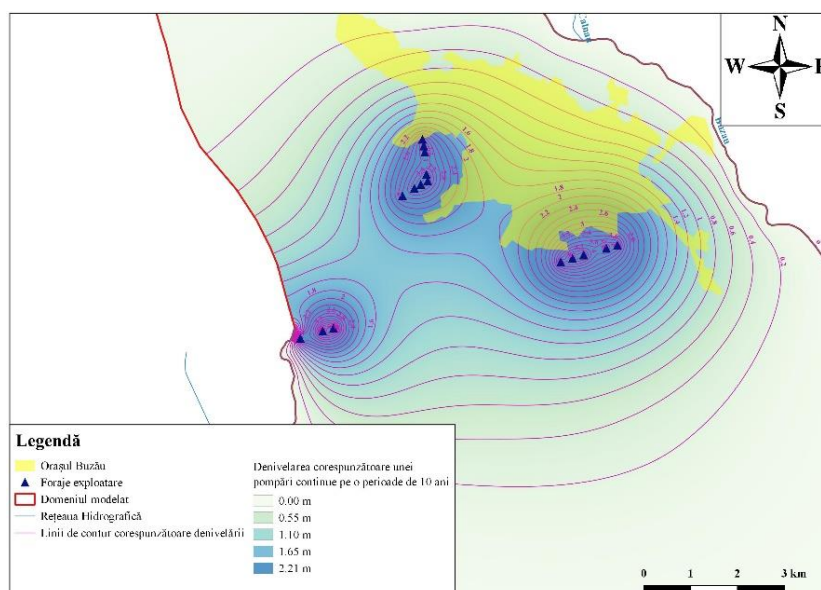


Figura 9 Conul de depresiune corezpunzător unei exploatări continue pe 10 ani

La 180 de zile de pompare, fronturile de captare prezintă conuri de depresiune cu razele cuprinse între 600.0 m (frontul de captare Crâng) și 752.5 m (frontul de captare Sud), cu o denivelare maximă de 3.34 m în forajul F13 Sud. În mai puțin de cinci ani aceste conuri s-au unit și au produs o scădere a nivelului apei subterane pe o suprafață de 60.1 km². În zece ani aceasta s-a mărit la 87.6 km² și acoperă orașul Buzău (Figura 9). Între captările Sud și Zahăr I nivelul apei subterane a scăzut cu 0.59 m în cinci ani, respectiv 1.26 m în zece ani (Figura 10). Această

modificare a adâncimii nivelului apei subterane poate duce la secarea unor fântâni sau foraje de mică adâncime din gospodării private.

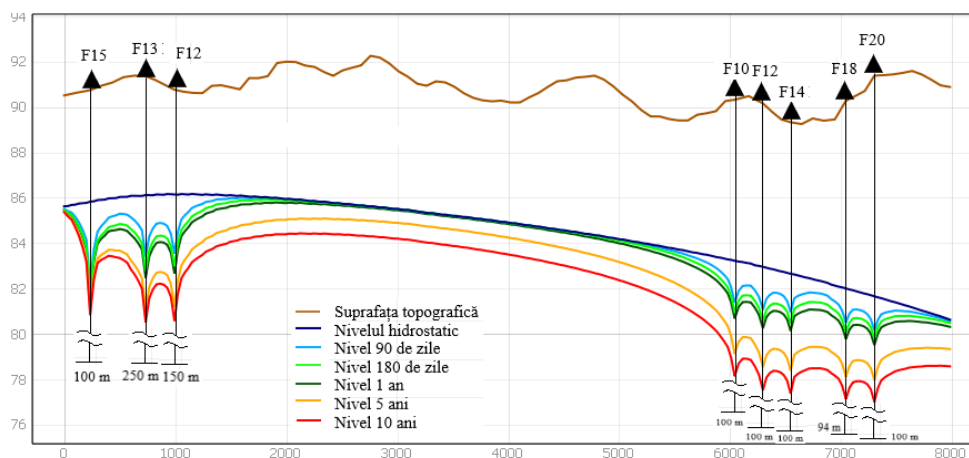


Figura 10 Variația nivelului dinamic în fronturile de captare Sud și Zahăr I

S-a analizat revenirea nivelului apei subterane la starea din regimul neinfluențat, în urma simulării unei exploatare cu debitul maxim admisibil pe o perioadă de 10 ani. S-a observat variația nivelului la o zi, un an și 10 ani după încetarea pomparei.

La o zi de la oprirea exploatareii conul de depresiune prezintă o lungime de 14.2 km și o lățime de 10.3 km. Lungimea acestuia continuă să crească la 14.4 km (1 an), la 10 ani după încetarea pomparei ajungând să aibă aproximativ 16.0 km. Lățimea conului rămâne constantă, acesta continuând să acopere toată partea centrală a conului aluvionar.

Denivelarea scade treptat, de la maximum de 4.3 m din forajul F12 Zahăr I (la o zi după încetarea pomparei) până la valoarea minimă de 0.2 m din F15 Sud (la 10 ani după încetarea pomparei).

4.2. Dimensionare zonelor de protecție sanitară și a perimetrelor de protecție hidrogeologică

În continuare modelul de curgere a apei subterane a fost utilizat pentru dimensionarea zonelor de protecție sanitară și a perimetrelor de protecție hidrogeologică conform legislației în vigoare. Această etapă s-a realizat pentru debitele maxim admisibile determinate anterior, prin reprezentarea drumului parcurs de o particulă de apă în 20 de zile (corespunzătoare zonei de protecție sanitară cu regim sever), respectiv 50 de zile (corespunzătoare zonei de protecție sanitară cu regim de restricție) până a ajuns la foraj. A rezultat că aceste arii prezintă raze cuprinse între

30.0 - 60.0 m, pentru cele cu regim sever, respectiv între 45.0 - 120.0 m, pentru regimul de restricție. Perimetrele de protecție hidrogeologică au fost dimensionate pentru un timp de tranzit de 3650 de zile, rezultând suprafețe cuprinse între 2.0 km² (frontul de captare Sud) și 5.4 km² (frontul de captare Zahăr I).

4.3. Migrarea contaminanților

Un alt scenariu simulat prin intermediul modelului numeric a fost transportul de poluanți. S-a ales să se simuleze o contaminare continuă cu sulfatți. Acest parametru a prezentat o depășirea a valorii prag (250.0 mg/l) în sud-estul orașului Buzău, în apropierea unui depozit de deșeuri.

Contaminarea s-a simulat pe o perioadă de 10 ani cu o concentrație de 1000.0 mg/l, în zona în care este amplasat depozitul de deșeuri. Rezultatul final este reprezentat de o pană de contaminant extinsă pe o lungime de 2171.1 km, cu o suprafață de 1800 m² (Figura 11). În continuare s-a studiat mișcarea acestei arii pe 10 ani, fără o nouă contaminare. Pana de poluant a ajuns la râul Buzău în mai puțin de 5 ani, iar concentrația maximă a scăzut la 510.6 mg/l în 10 ani.

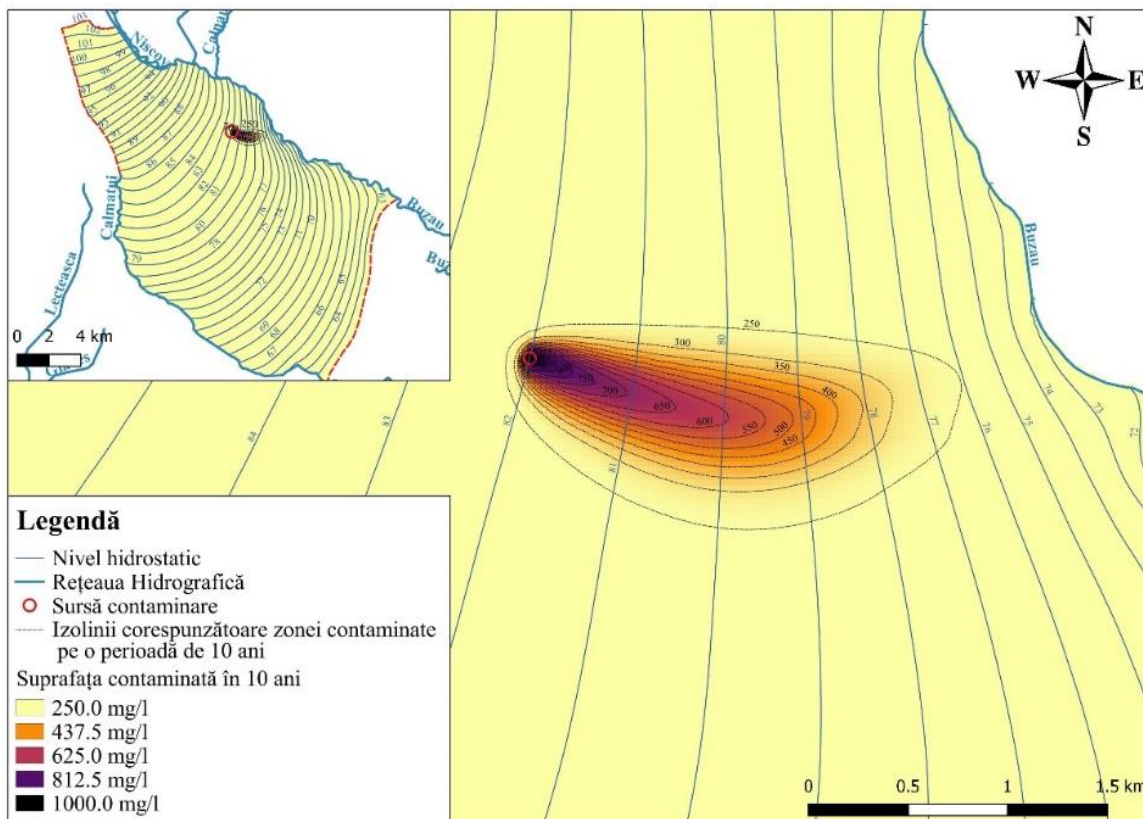


Figura 11 Extinderea penei de contaminant după zece ani de poluare

4.4. Rezervele și resursele din acviferul freatic din conul aluvionar al râului Buzău

Modelul conceptual împreună cu modelul numeric au fost utilizate, în final, pentru determinarea rezervelor și resurselor de apă subterană freatică.

Rezervele au fost calculate pe baza unui model tridimensional realizat în programul RockWorks. În acesta a fost reprezentat acviferul delimitat de culcuș și nivelul hidrostatic minim (volumul în care se regăsesc rezervele permanente) și zona cuprinsă între nivelul minim mediu și nivelul maxim mediu (volumul în care se regăsesc rezervele reglatoare). Valorile minime și maxime medii ale nivelului hidrostatic au fost calculate pe baza măsurătorilor realizate în perioada 2010 – 2017. Volumul rezervelor totale ale acviferului freatic este de 2.03 km³, din care 1.97 km³ reprezintă rezerva permanentă și 0.059 km³ rezerva reglatoare.

Resursele au fost calculate utilizând modelul de curgere a apei subterane și reprezintă volumul de apă care circulă prin zona modelată într-o unitate de timp. Resursa totală este de 82494.8 m³/zi, din care principala sursă de apă sunt precipitațiile cu un debit de 55315.5 m³/zi. Din bilanțul hidric se poate observa faptul că râurile sunt alimentate din subteran, ele introducând în domeniu un debit de 226.4 m³/zi și pe ele ieșind din hidrostructură un debit de 40323.8 m³/zi.

5. Concluzii

Prezenta teză a adus următoarele contribuții spre cunoașterea apelor subterane de mică adâncime din conul aluvionar al râului Buzău:

- Prima prelucrare geostatistică a informațiilor geologice și hidrogeologice din aria conului aluvionar al râului Buzău, bazată pe informații prelucrate din 377 de foraje hidrogeologice, finalizată printr-un *model conceptual complet*;
- Delimitarea acviferului freatic din conul aluvionar al râului Buzău în plan vertical;
- Elaborarea unui prim model litologic și hidrogeologic tridimensional al acviferului freatic din conul aluvionar al râului Buzău;
- Determinarea variabilității globale și spațiale a conductivității hidraulice în acviferul freatic;
- Interpretarea calitativă a resurselor de apă subterană de mică adâncime la nivelul perioadei 2011-2017, conform Directivei 2006/118/CE, Ord. nr. 621/2014;

- Elaborarea unui **model numeric funcțional pentru transport de energie și masă** în acviferul freatic din conul aluvionar al râului Buzău, calibrat pe măsurători caracteristice perioadei 18-19 Iulie 2017;

- Simularea în diferite variante de stres hidrodinamic a curgerii apei subterane înmagazinate în aluviunile conului aluvionar al râului Buzău;

- Dimensionarea zonelor de protecție sanitară și a perimetrelor de protecție hidrogeologică utilizând modele matematice, conform H.G. nr. 930/11.08.2005, Ord. nr. 1278/20.04.2011;

- Calculul rezervelor și resurselor de ape subterane de mică adâncime din conul aluvionar utilizând reprezentări volumetrice tridimensionale și modelare numerică.

Subiectul abordat în această teză de doctorat este de actualitate și rezultatele, respectiv modelările, obținute pot reprezenta baza unor viitoare studii.

În aria conului aluvionar se dezvoltă situl de importanță comunitară ROSCI0103 – Lunca Buzăului în care se regăsește habitatul 91FO – Păduri mixte cu *Quercus robur*, *Ulmus laevis*, *Fraxinus excelsior* sau *Fraxinus angustifolia*, riverane marilor fluvii. (Palcu M. et al., 2015) Modelul de curgere realizat poate fi suportul pentru studiul dependenței acestui habitat de apele subterane, de efectele pe care le pot avea fluctuațiile nivelului hidrostatic sau posibilele contaminări asupra ecosistemului.

Studiul ariei se poate continua prin îmbunătățirea modelului matematic cu măsurători recente cantitative și calitative, pentru a se studia evoluția în timp a acviferului. Un alt aspect care poate fi abordat este legat de măsurile economice și tehnice care se pot aplica pentru protecția și conservarea resurselor de apă subterană, respectiv pentru îmbunătățirea stării chimice a apei subterane, în ariile contaminate.

Bibliografie selectivă

- Armstrong M., 1989**, *Geostatistics*, Vol 1 și 2, Kluwer Academic Publishers;
- Albu M., 1981**, *Mecanica apelor subterane*, Editura Tehnică, București;
- Anastasiu N., 1998**, *Sedimentologie și petrologie sedimentară*, Editura Universității din București;
- Anderson M.P., Woessner W.W., Hunt R.J., 2015**, *Applied Groundwater Modeling – Simulation of Flow and Advective Transport*, Editura Elsevier;
- Bear J., 2004**, *Mathematical models of flow and contaminant transport in saturated porous medie*, Eolss Publishers;
- Bica I., 1998**, *Poluarea acviferelor - Tehnici de remediere*, Editura H*G*A*, București;
- Borsi I., De Filippis G., 2019**, *FREEWAT User Manual – Volume 2, Heat and Solute Transport ind Subsurface Water Flow*, Proiect U.E. HORIZON 2020;
- Bretotean M., Macaleț R., Țenu A., Tomescu G., Munteanu T., Radu E., Drăgușin D., Radu C., 2006**, *Delimitarea și caracterizarea corpurilor de apă subterană din România*, Revista Hidrotehnica, Vol.50, nr. 10, p.33-39, București;
- Cineti F. A., 1990**, *Resursele de ape subterane ale României*, Editura Tehnică, București;
- Coarnă L., 2017**, *Îndrumar pentru prelucrarea datelor de la stațiile hidrogeologice*, I.N.H.G.A.;
- Crețu I., 1971**, *Hidraulică generală și subterană*, Editura Didactică și Pedagogică, București;
- Danchiv A., Stematiu D., 1997**, *Metode numerice în hidrogeologie*, Editura didactică și Pedagogică, București;
- De Filippis G., Ghetta M., Neumann J., Cardoso M., Cannata M., Borsi I., Rossetto R., 2019**, *FREEWAT User Manual – Volume 1, Groundwater modeling using MODFLOW-OWHM*, Proiect U.E. HORIZON 2020;
- Eilango L., 2011**, *Hydraulic Conductivity – Issues, determination and applications*, Editura InTech, Rijeka, Croația;
- Enermark T., Peeters Luk J.M., Mallants D., Batelaan O., 2019**, *Hydrogeological conceptual model building and testing: A review*, Journal of Hydrology, Vol. 569, pg. 310-329, Editura Elsevier;
- Feru M., 1965**, *Prospecțiuni hidrogeologice pentru ape industriale în zona Buzău*, Arhiva Institutului de Geologie al României, București;
- Fetter C.W., 1993**, *Contaminant Hydrogeology*, Editura Macmillian, New York;
- Fetter C.W., 2001**, *Applied Hydrogeology*, Editura Prentice-Hall, New Jersey;
- Foglia L., Toegl A., De Filippis G., Mehl S., 2019**, *FREEWAT User Manual – Volume 6, MODFLOW OBServation process*, Proiect U.E. HORIZON 2020;
- Frășineanu M., 2008**, *Râurile României*, Editura Fundației România de Măine, București;

Frugină E., 1969, *Studiu hidrogeologic asupra zonei conului de dejecție – Buzău,* Studiu științific, I.M.H., București;

Juravle D.T., 2009, *Geologie României, Volumul I – Geologie Terenurilor Est-Carpatice (Platformele și Orogenul Nord-Dobrogean),* Editura STEF, Iași;

Liteanu E., Ghenea C., Bandrabur T., Mihăilă N., Ghenea A., Giurgea P., 1969, *Harta hidrogeologică a României, 1:1 000 000,* Institutul Geologic;

Liteanu E., Feru M., Andreescu I., Bandrabur T., 1971, *Studii de hidrogeologie – Cercetări geologice în regiunea Buzău de la contactul morfologic al colinelor cu câmpia,* Institutul Tehnic, București, p. 7-36;

McDonald M.G., Harbaugh A.W., 1984, *A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model,* U.S. Government;

Minea I. S., 2011, *Râurile Bazinului Buzău – Considerații hidrografice și hidrologice,* Editura Alpha MDN, Buzău;

Mutihac V., Ionesi L., 1974, *Geologia României,* Editura Tehnică, București;

Palcu M., Scrădeanu D., Iordache V., Scrădeanu M., 2015, *Studiu privind metodologia de analiză a interdependenței dintre corpurile de apă subterană și ecosistemele terestre cu identificarea ecosistemelor terestre direct dependente de apa subterană în conformitate cu prevederile Directivei Cadru Apă 2000/60/EC și Directivei 2006/118/EC,* Asociația Hidrogeologilor din România, București;

Piper A., 1944, *A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analysis,* Transactions, American Geophysical Union 25, p. 914-928;

Pollock D.W., 2016, *User guide for MODPATH Version 7 - A particle-tracking model for MODFLOW,* U.S. Geological Survey Open-File Report 2016-1086;

Posea G., 2005, *Geomorfologia României,* Editura Fundației România de Măine, București;

Radu E., Manea V., 2017, *Studiul hidrogeologic privind redimensionarea zonelor de protecție sanitară și a perimetrelor de protecție hidrogeologică, în conformitate cu H.G.930/2005 și Ord. M.M.P. 1278/2011, aferente fronturilor de captare pentru alimentarea cu apă potabilă a municipiului Buzău, jud. Buzău,* I.N.H.G.A., București;

Săndulescu M., 1984, *Geotectonica României,* Editura Tehnică, București;

Săndulescu M., Ghenea C., Motaș I., Bandrabur T., 1968, *Harta Geologică scara 1:200000, L-35-XXVII, 36. Ploiești, Notă explicativă,* Comitatul de Stat al Geologiei, Institutul Geologic, București;

Scrădeanu D., 1996, *Modele geostatistice în hidrogeologie,* Editura Didactică și Pedagogică, București;

Scrădeanu D., 2001, *Geostatistică Aplicată – Estimarea structurilor spațiale,* Editura Universității din București;

Scrădeanu D., Gheorghe A., 2007, *Hidrogeologie generală,* Editura Universității din București;

Serrano-Juan A., Criollo R., Velasco V., Riera C., Vázquez-Suné, 2019, *FREEWAT User Manual – Volume 4, AkvaGIS (Hydrochemical Analysis Tools and Hydrogeological Analysis Tools)*, Proiect U.E. HORIZON 2020;

Șerban P., Stănescu V.A., Roman P., 1989, *Hidrologie dinamică*, Editura Tehnică, București;

Tomescu G., 1979, *Evaluarea resurselor exploatabile de ape subterane pentru conul aluvionar Buzău*, Studiu științific, I.M.H., București;

Trufaș V., Trufaș C., 1975, *Hydrochimie*, Tipografia Universității din București;

Zamfirescu F., 1997, *Elemente de bază în dinamica apelor subterane*, Editura Didactică și Pedagogică, București;

***** 2005, *Hotărârea Guvernului nr. 930 din 11 August 2005 pentru aprobarea Normelor speciale privind caracterul și mărimea zonelor de protecție sanitară și hidrogeologică*, Monitorul Oficial nr. 800 din 2 Septembrie 2005;**

***** 2011, *Ordinul nr. 1278 din 20 aprilie 2011 pentru aprobarea Instrucțiunilor privind delimitarea zonelor de protecție sanitară și a perimetrului de protecție hidrogeologică*, publicat în Monitorul Oficial, partea I nr. 334 din 13 mai 2011;**

***** 2014, *Ordinul nr. 621/2014 privind aprobarea valorile de prag pentru apele subterane din România*, publicat în Monitorul Oficial, partea I, nr. 535 din 18 iulie 2014;**

***** 2016, *Planul de Management Actualizat al Spațiului Hidrografic Buzău-Ialomița*, M.M.A.P., A.N.A.R., A.B.A. Buzău-Ialomița;**