



UNIVERSITATEA ECOLOGICĂ DIN BUCUREȘTI
FACULTATEA DE ECOLOGIE ȘI
PROTECȚIA MEDIULUI



**Program de studii universitare de master: Managementul Resurselor
Naturale**

Forma de învățământ: învățământ cu frecvență

Suport de curs pentru disciplina:
Resursele de ape subterane ale României

Titular de disciplină:
Conf. univ. dr. Florian Grigore - Rădulescu

București

CUPRINS

Introducere	5
a. Date privind titularul de disciplină	5
b. Date despre disciplină	5
c. Obiectivele disciplinei	5
d. Competențe acumulate după parcurgerea cursului	5
e. Structura cursului	6
f. Cerințe preliminare	6
g. Durata medie de studiu individual	6
h. Evaluarea	6
 UNITATEA DE ÎNVĂȚARE 1. DOMENIUL APELOR SUBTERANE	 7
1.1. Evoluția studiului și utilizării apelor subterane	8
1.2. Definirea și obiectul studiului apelor subterane	12
1.3. Legătura domeniului apelor subterane cu alte științe	13
 UNITATEA DE ÎNVĂȚARE 2. FACTORI NATURALI CE INFLUENȚEAZĂ REGIMUL APELOR SUBTERANE	 14
2.1. Distribuția și dinamica globală a apei	14
2.1.1. Elementele circuitului hidrologic și factori de influență a acestora	14
2.1.2. Regimul precipitațiilor	18
2.1.3. Regimul termic	18
2.1.4. Evapotranspirația	20
2.1.5. Alimentarea hidrostructurilor	22
 2.2. Legătura apelor subterane cu rețeaua hidrografică	 29
2.2.1. Factori ce influențează natura acestor legături – caracteristicile reliefului, apelor de suprafață și compoziției terenului	30
 UNITATEA DE ÎNVĂȚARE 3. RESURSELE DE APĂ SUBTERANĂ	 38
3.1. Apa disponibilă pentru activitățile umane	38
3.2. Specificul calității diferitelor surse naturale de apă	40
3.3. Apa subterană ca resursă și accesibilitatea acesteia	42

UNITATEA DE ÎNVĂȚARE 4. RESURSELE DE APĂ SUBTERANE DIN ROMÂNIA 46

4.1. Caracterizarea corpurilor de apă subterană 48

4.1.1. Identificarea, delimitarea și caracterizarea corpurilor de apă subterană 48

4.1.1.1. Interdependența corpurilor de apă subterană cu apele de suprafață și cu ecosistemele terestre..... 50

UNITATEA DE ÎNVĂȚARE 5. PROPRIETĂȚI FIZICE ALE TERENURILOR ȘI ALE APEI SUBTERANE 61

5.1. Caracteristicile substratului geologic 62

5.1.1. Granulozitatea 62

5.1.2. Porozitatea 62

5.1.3. Conținutul volumic de apă și densitatea aparentă 64

5.2. Caracteristicile apei subterane..... 65

5.2.1. Greutatea specifică și compresibilitatea apei 66

5.3. Caracteristicile interacțiunii terenului cu apa subterană..... 67

5.3.1. Umiditatea terenului 67

5.3.2. Fenomenul de capilaritate 68

5.3.3. Conductivitatea hidraulică..... 69

5.3.4. Capacitatea de înmagazinare/cedare a acviferelor 70

UNITATEA DE ÎNVĂȚARE 6. CARACTERISTICILE GENERALE ALE HIDROSTRUCTURILOR..... 72

6.1. Distribuția apelor subterane 72

6.1.1. Forme de apă din scoarța terestră 72

6.1.2. Zonarea umidității pe verticală 73

6.2. Acviferul 74

6.2.1. Identificarea geologică a acviferelor..... 74

6.2.2. Structura și funcțiile acviferului 80

6.2.3. Comportamentele acviferelor 81

6.2.4. Tipuri de acvifere..... 82

6.2.5. Zonalitatea verticală a acviferelor într-un bazin hidrogeologic 84

6.2.6. Cunoașterea acviferului 84

6.3. Hidrostructuri în diferite tipuri de formațiuni..... 85

6.3.1. Caracterizarea hidrogeologică a bazinelor sedimentare..... 85

6.3.2. Caracterizarea acviferelor aluvionare 85

6.3.3. Masivele vechi.....	86
6.3.4. Formațiunile vulcanice	86
6.3.5. Regiunile carstice.....	86
6.4. Geochimia apelor subterane.....	87
6.4.1. Generalități	87
6.4.2. Evoluția compoziției apelor subterane	93
UNITATEA DE ÎNVĂȚARE 7. CONCEPTE FUNDAMENTALE PRIVIND APLICAREA MODELĂRII ASISTATE DE CALCULATOR ÎN STUDIUL APELOR SUBTERANE	95
7.1. Schematizarea hidrostructurilor.....	97
7.2. Alegerea variantei optime.....	102
7.3. Studii de caz	107
7.3.1. Realizarea modelului de transport al poluanților miscibili la nivelul zonei nesaturate și a acviferului freatic din zona industrială Pantelimon.....	107
7.3.2. Delimitarea zonelor de protecție sanitară pentru captarea Vlădești.....	126
UNITATEA DE ÎNVĂȚARE 8. APLICAREA SISTEMELOR INFORMATICE GEOGRAFICE (GIS) ÎN STUDIUL APELOR SUBTERANE	134
8.1. Date utilizate în aplicații GIS.....	136
8.2. Hărți și date spațiale în cadrul GIS	137
8.2.1. Sisteme de coordonate	140
8.2.2. Proiecții cartografice	141
8.2.3. Datele spațiale – elementele de bază ale unui GIS.....	142
8.3. GIS – instrument pentru gestiunea resurselor de apă.....	146
UNITATEA DE ÎNVĂȚARE 9. UNITĂȚI HIDROSTRUCTURALE MAJORE.....	148
9.1. Carpații Orientali.....	149
9.2. Carpații Meridionali	151
9.3. Munții Apuseni	153
9.4. Depresiunea Transilvaniei	154
9.5. Podișul Moldovenesc	156
9.6. Depresiunea Getică.....	158
9.7. Depresiunea Panonică.....	159
9.8. Câmpia Română.....	160
9.9. Dobrogea.....	161

Introducere

Cursul este destinat studenților de la programul de studii universitare de master Managementul Resurselor Naturale ai Facultății de Ecologie și Protecția Mediului din cadrul Universității Ecologice din București – învățământ cu frecvență (IF).

a. Date privind titularul de disciplină

Nume și prenume:	Conf. univ. dr. Florian GRIGORE - RĂDULESCU
E-mail:	florian.grigore.radulescu@ueb.education

b. Date despre disciplină

Anul de studiu:	II
Semestrul:	1

c. Obiectivele disciplinei

Obiectivul general al disciplinei	Însușirea de către masteranzi a principalelor noțiuni legate de apele subterane ca resursă, particularitățile acesteia.
Obiectivele specifice	Însușirea noțiunilor fundamentale legate de resursele de apă subterană ale României, gestiunea resurselor naturale în general și a resurselor de apă în special.

d. Competențe acumulate după parcurgerea cursului

Competențe profesionale	- Cunoașterea, înțelegerea și utilizarea limbajului de specialitate; - Identificarea și utilizarea surselor de informații necesare pentru întocmirea aplicațiilor la noțiunile teoretice prezentate la curs. - Aplicarea noțiunilor teoretice în analiza studiilor de caz privind o eficientă gestiune a resurselor de apă subterană în contextul dezvoltării durabile; - Exprimarea clară a unui punct de vedere în privința importanței resurselor de apă subterană în contextul exploatării resurselor de apă la nivelul României, pentru categorii diverse de folosințe.
Competențe transversale	Aplicarea tehnicilor de muncă eficientă în echipă multidisciplinară pe diverse paliere ierarhice.

e. Structura cursului

Cursul de *Resursele de ape subterane ale României* este alcătuit din 9 capitole (fiecare capitol fiind aferent unei **unități de învățare**):

Cursul de *Resursele de ape subterane ale României* poate fi studiat atât în întregime, potrivit ordinii prestabilite a capitolelor, dar se poate și fragmenta în funcție de interesul propriu mai accentuat pentru anumite teme. Însă, în vederea susținerii examenului este obligatorie parcurgerea tuturor celor 9 capitole.

f. Cerințe preliminare

Pentru o mai bună înțelegere a materiei, este necesară coroborarea cunoștințelor dobândite în cadrul acestei discipline cu cele acumulate la *Managementul resurselor de apă de suprafață (1)* și la *Managementul resurselor de apă de suprafață (1)*, având în vedere că disciplina se studiază în anul II, semestrul 1.

g. Durata medie de studiu individual

Durata medie de învățare estimăm a fi de aproximativ 14 ore, iar pentru examen ar fi necesar un studiu de o săptămână.

Studierea fiecărui capitol necesită un efort estimat la 2 ore, astfel încât să se fixeze temeinic cunoștințele specifice acestui domeniu.

h. Evaluarea

Înainte de examen este indicat să parcurgeți din nou toată materia, cu atenție, durata estimată pentru această activitate fiind de aproximativ o săptămână.

Forma de evaluare (E-examen, C-colocviu/test final, LP-lucrări de control)		
Stabilirea notei finale (procentaje)	- evaluarea finală	60%
	- activități aplicative /laborator/lucrări practice/proiect etc.	30%
	- teste pe parcursul semestrului	10%
	- teme de control	

UNITATEA DE ÎNVĂȚARE 1.

DOMENIUL APELOR SUBTERANE



Cuprinsul unității de învățare 1

1.1. Evoluția studiului și utilizării apelor subterane	8
1.2. Definirea și obiectul studiului apelor subterane	12
1.3. Legătura domeniului apelor subterane cu alte științe	13

Apa, aerul, pământul și focul au fost considerate de antici ca cele patru elemente esențiale ale universului. Și astăzi, cu o oarecare nuanțare, putem afirma că aerul, apa, pământul și energia constituie cele patru elemente esențiale ale existenței umane.

În ambele cazuri de interpretare, apa, ca element determinant și esențial pentru existența umană, este prezentă.

Nu se poate concepe o activitate umană, existența unei forme de viață sau actualul echilibru al planetei pe care trăim fără apă.

Pe această direcție, a existat până nu demult convingerea că omenirea va dispune de infinite resurse de apă, că natura ne-a pus la dispoziție cu larghețe acest element.

Dar realitatea ultimelor decenii și în special a ultimilor ani a dovedit în chip alarmant că resursele de apă dulce pe Terra nu sunt deloc inepuizabile. Pare paradoxal, la prima vedere, în condițiile în care 2/3 din suprafața planetei este acoperită cu apă. Și totuși aceasta este realitatea.

Începând cu anii deceniului al VI-lea al secolului XX, omenirea își înscrie pe agenda problemelor ce se cer a fi rezolvate pe aceea a apei.

Trei factori se consideră că au condus la acesta:

- creșterea într-un ritm aproape necontrolabil a necesarului de apă, ca urmare a puternicei dezvoltări industriale, a exploziei demografice și a apariției marilor aglomerări urbane (orașe cu 10 - 15 - 20 milioane de locuitori);
- creșterea într-un mod îngrijorător a poluării surselor de apă; concentrații foarte mari, tipuri noi de impurificatori cu stabilitate ridicată;
- accesul la sistemul informațional și creșterea gradului de cunoaștere a milioane și milioane de oameni ce solicită un minim de grad de civilizație, iar accesul la o apă potabilă lipsită de

risc este unul din primii indicatori.

Problemele acute ale apei au generat adoptarea din partea factorilor de decizie a unei poziții active, de soluționare a asigurării cu apă a populației la un nivel corespunzător gradului de dezvoltare a societății umane.

Atât pe plan mondial, cât și pe plan intern, s-au realizat:

- adoptarea unei legislații privind protecția resurselor de apă; aplicarea și eficiența măsurilor de protecție este încă un deziderat al tuturor celor care lucrează în domeniul apelor;
- completarea periodică a normelor pentru apa potabilă cu noi indicatori de calitate pentru fiecare categorie de apă, în pas cu rezultatele cercetării științifice de specialitate;
- elaborarea și adoptarea de norme pentru cantități specifice de apă pentru populație, industrie, agricultură etc., ca o măsură eficientă în gospodărirea rațională a resurselor de apă;
- luarea de măsuri pentru combaterea eficientă a oricărei forme de risipă și pierderi de apă.

În abordarea tehnico-științifică a problematicii apei, ca punct de plecare se apreciază a conștientiza multiplele elemente specifice ale acesteia:

- prezintă trei stări de agregare (lichid, solid, gaz);
- este un factor de mediu determinant pentru echilibrul și viața planetei, dar și o resursă naturală fundamentală;
- prezintă două dimensiuni: cantitate și calitate;
- este purtătoare de energie: energie cinetică și energie potențială;
- poate fi considerată ca un factor benefic, dar și ca un factor distructiv;
- apa este o marfă, un produs, care poartă cu sine un cost, totuși accesul la o apă potabilă lipsită de risc tinde să devină un drept fundamental al omului.

Nu în ultimul rând, trebuie văzute multiplele implicații ale apei:

- sociale – acces la apă;
- tehnologice – aplicarea celor mai bune tehnologii de producere și utilizare a apei;
- economice – costurile implicate în managementul durabil al apei;
- de mediu – în vederea găsirii optimului între apa ca resursă și apa ca factor de mediu;
- politice – în tot mai multe zone accesul la apă constituie element de confruntare politică și chiar militară.

1.1. Evoluția studiului și utilizării apelor subterane

Cu toate că apa este o resursă regenerabilă și noi folosim puțin peste 10% din totalul surplusului de precipitații pentru aprovizionarea cu apă, activități agro-zootehnice și procese industriale, disponibilitatea este restrânsă, restricționată printr-o distribuție inegală, atât în timp, cât

și în spațiu. Din acest punct de vedere, nu este nicio diferență între cele mai vechi timpuri și prezent, societatea a avut mereu probleme cu apa: prea multă, prea puțină, prea poluată. De peste 6000 de ani omenirea a încercat să gestioneze aceste probleme ale apei; prin intervenția în cursul ei natural prin redistribuire, depozitări, și regularizări pentru a întâmpina cerințele pentru irigații, canalizare, protecția împotriva inundațiilor, apă potabilă, salubritate și generarea energiei.

Managementul și exploatarea au dus la o cunoaștere sistematică a comportamentului apei în condiții mai mult sau mai puțin controlate. Treptat, începând cu Renașterea, această cunoaștere empirică a fuzionat cu dezvoltările științifice, ducând la o înțelegere de bază a ciclului hidrologic și a mecanismelor apei curgătoare.

Dezvoltările științifice în domeniul hidrogeologiei au apărut la începutul secolului al XIX-lea în Europa de Vest, în special corelat cu încercarea de a găsi apă potabilă nepoluată pentru orașele aflate în dezvoltare și drenarea și desecarea terenurilor pentru construcții sau operațiuni miniere. Centrul progresului s-a mutat în Statele Unite ale Americii în secolul al XX-lea, în mod special datorită importanței apei subterane pentru dezvoltarea zonelor semiaride din zona central-vestică.

Managementul apei și știința apei înainte de secolul al XIX-lea

Cele mai vechi civilizații au apărut de cele mai multe ori în raport cu folosirea apei râurilor pentru irigarea culturilor în condiții climatice (semi-)aride. Cel mai probabil acest proces a început cu unități de irigare de mici dimensiuni, gestionate de comunități autonome și s-a extins treptat spre zone mai mari cu extinderea canalelor de alimentare, distribuție și sisteme de canalizare. Controlul acestor scheme a inclus aspecte tehnice cum ar fi construirea de canale și diguri și, de asemenea, probleme administrative legate de întreținere, taxe și legislație.

Cele mai vechi lucrări de canalizare și irigare la scară mare au debutat în anul 4000 î.H., între Tigru și Eufrat. Cele mai remarcabile structuri hidraulice ce datează dinaintea perioadei preeleneice sunt reprezentate de sisteme de alimentare cu apă (qanat – figura 1.1), galerii subterane alimentate de un izvor sau de una sau mai multe fântâni principale săpate într-un acvifer și conectate la suprafață prin canale de ventilare situate la intervale de câte 50 m. Aceste sisteme își aveau originea în Orientul Mijlociu, la începutul primului mileniu î.H. și s-au extins cu rapiditate în Africa de Nord, India și China. Zeci de mii de sisteme se folosesc încă, în special în Iran unde drenează conurile aluvionare mari care umplu văile ținuturilor muntoase aride.

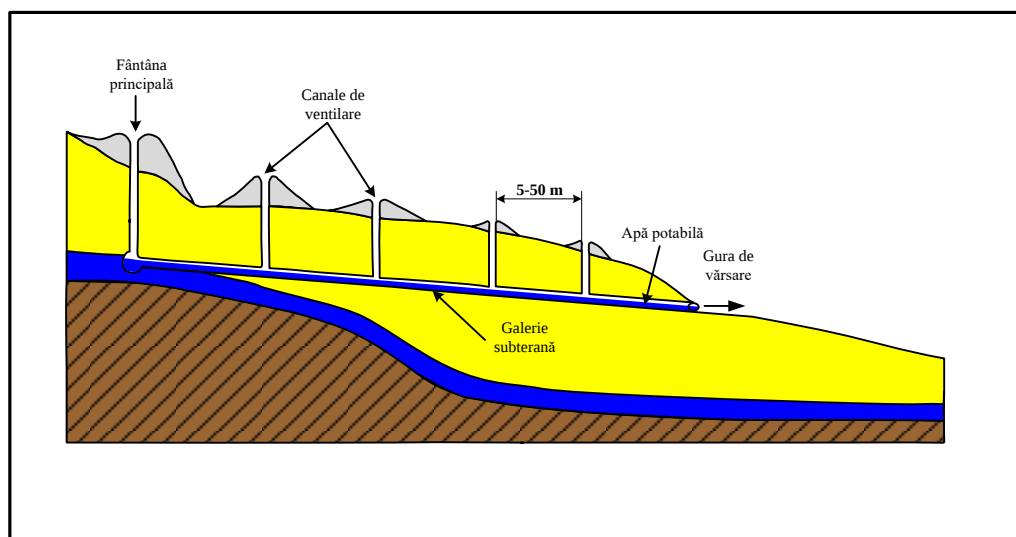


Figura 1.1 – Qanat

Una dintre cele mai vechi fântâni a fost descoperită în anul 1991 lângă satul german Erkelenz, în apropierea graniței dintre Germania și Olanda. Este un puț pătrat săpat la o adâncime de 15 m „tubat” cu lemn de stejar. Datarea dendro-cronologică a cadrului de lemn a estimat vârsta ca fiind în jur de anul 5300 î.H. Este cea mai veche structură în lemn cunoscută până la ora actuală (2004).

Civilizația romană a devenit faimoasă pentru dezvoltarea tehnologiei construcțiilor hidraulice. Cele mai remarcabile realizări romane au fost sistemele de transport al apei, cu apeducte ce aduceau apa din afara orașelor în rețele complexe de distribuție din interiorul acestora, similare schemelor moderne de transport al apei.

Perioada Renașterii a culminat cu formarea tabloului complet al ciclului hidrologic odată cu experimentele de evaporare realizate de astronomul Edmond Halley (1656-1742). El a concluzionat că evaporarea de la suprafața oceanelor este mai mult decât suficientă pentru a genera cantitatea de precipitații necesară alimentării râurilor (Brutsaert, 2005, p.583).

Secolul al XVIII-lea a surprins diferitele concepte hidraulice, îndreptându-se treptat către o teorie cuprinzătoare a hidrodinamicii bazată pe mecanisme newtoniene.

Progresele în hidrogeologie

Interesul pentru originea apelor subterane și mișcarea lor are o istorie lungă, în special în zonele aride unde a fost de cele mai multe ori singura sursă de apă potabilă. În zonele cu umiditate ridicată oamenii de știință au manifestat un interes deosebit pentru izvoarele și puțurile arteziene, despre care se credea că sunt conectate la artere puternice de apă subterană. O abordare mai științifică a hidrogeologiei a fost posibilă numai după ce au fost stabilite fundamentele geologiei la sfârșitul secolului al XVIII-lea. Interesul pentru apa subterană ca o sursă de apă potabilă a apărut în vest la începutul secolului al XIX-lea în special din cauza creșterii poluării apei de suprafață cauzată

de creșterea rapidă a populației și a activităților industriale în multe orașe din Europa și S.U.A. O abordare cantitativă a hidrogeologiei a început cu munca inginerului francez Henry Darcy. În timpul cercetării legate de sistemul de distribuție a apei potabile Dijon a realizat experimente de percolare folosindu-se de filtrele de purificare. Din aceste investigații a rezultat bine cunoscuta lege pentru relația liniară dintre gradientul hidraulic și fluxul subteran. Legea lui Darcy a permis problemelor de curgere a apei subterane să fie formulate sub formă de modele matematice și să le rezolve pentru condiții la limită.

Hidrogeologia s-a dezvoltat ca o știință empirică prin modul în care interacționează conceptualizarea și soluționarea matematică a cazurilor de curgere, pe de o parte, și evaluarea și observațiile caracteristicilor fizice și a comportamentului acviferelor și a bazinelor de apă subterană, pe de altă parte. Această abordare a fost legată de condiții ingineresti mai mult sau mai puțin controlate, ca extragerea apei subterane prin puțuri pentru asigurarea rezervei de apă, drenarea terenurilor, desecarea terenurilor pentru excavări sau construcții.

Abia în 1940 Marion King Hubbert a demonstrat caracterul macroscopic al legii lui Darcy. A demonstrat în mod explicit legătura dintre cota nivelului hidrostatic la un anumit punct și valoarea liniei echipotențiale care o intersectează. Se poate spune că tratatul riguros a lui Hubbert a consolidat, în final, baza științifică a hidrogeologiei în teoria generală a hidrodinamicii.

De la jumătatea anilor 1960 un număr mare de cărți de hidrogeologie a fost scris și au apărut jurnale internaționale specializate, fapt care reflectă interesul la nivel mondial în managementul resurselor de apă și recunoașterea hidrologiei ca o disciplină de sine stătătoare. Aceste realizări sunt de asemenea dovedite prin fondarea Asociației Internaționale a Hidrogeologilor în 1956 și stabilirea Decadei Hidrologice Internaționale a UNESCO, precursorul Programului Hidrologic Internațional.

Dezvoltarea conceptelor hidrogeologice și a instrumentelor matematice și chimice pentru descrierea și analiza comportamentului apelor subterane se pare că a atins un stadiu matur la începutul anilor 1980. Principala problemă este eterogenitatea mediului hidrogeologic și nelinearitatea proceselor hidrogeologice. Astfel, progresele din ultimul sfert al secolului al XX-lea au fost dominate de aplicarea abordării numerice prin modele de simulare pe computere digitale.

Una dintre marile provocări hidrogeologice viitoare este să rezolve problema semnificației geostatistice a parametrilor acviferului și dependența lor de scară. Este discutabil totuși, până la ce nivel vom fi capabili să caracterizăm mediul subteran cu litologia lui eterogenă și sistemul poros discontinuu. Referitor la interacțiunea dintre apa subterană și generarea scurgerii de suprafață, dezvoltarea modelelor hidrologice la scara bazinului reprezintă o provocare. O problemă principală a modelării realizate de calculator este că deseori a dus la simulări nerealiste, prin generarea unor parametri obținuți prin rezultate ce au fost optimizate.

1.2. Definirea și obiectul studiului apelor subterane

Din paleta vastă de științe ale naturii, un important segment este rezervat studiului *hidrosferei*. Acest termen definește întregul volum de apă liberă al planetei, în stare lichidă sau solidă, aflată la suprafață sau în subteran. Pe plan global, se apreciază că întregul volum de apă atinge $1400 \times 10^6 \text{ km}^3$. Din acest volum de apă, 97,3% ($1362,2 \times 10^6 \text{ km}^3$) îl reprezintă mările și oceanele, doar 2,7% ($37,8 \times 10^6 \text{ km}^3$), revine apei dulci. Din totalul apei dulci, 77,2% revine ghețarilor, 22,4% apei subterane, 0,35% lacurilor și mlaștinilor, 0,04% vaporilor de apă din atmosferă și doar 0,01% râurilor.

De studiul apelor de suprafață se ocupă *hidrologia*. Aceasta tratează aspectele dinamicii și distribuției apelor în timp și spațiu, proprietățile acestora (fizice, chimice și biologice), interacțiunea apelor de suprafață cu mediul. În această abordare, apa este privită și ca o resursă. Hidrologia are o serie de subdomenii de studiu care pot fi privite ca științe de sine stătătoare:

- *oceanologia* – ramură a hidrologiei care se ocupă cu studiul oceanului planetar;
- *limnologia* – ramură a hidrologiei care se ocupă cu studiul lacurilor;
- *potamologia* – ramură a hidrologiei care se ocupă cu studiul apelor curgătoare;
- *glaciologia* – știință care se ocupă cu studiul ghețarilor;
- *hidrometria* – ramură a hidrologiei care se ocupă cu determinarea debitului, vitezei, adâncimii, precum și a metodelor utilizate pentru acest scop.

Studiul complex al apelor subterane, este dedicat domeniului *hidrogeologiei*, care abordează problematica legată de originea acesteia, formele de zăcământ, dinamica și interacțiunea cu rocile, calitatea și valența de resursă a acesteia.

Hidrogeologia poate fi separată în trei subdiviziuni importante (*Scrădeanu D.*):

- *hidrogeologia generală*;
- *dinamica apelor subterane*;
- *hidrogeologia aplicată*.

Datorită faptului că acumulările de apă subterană sunt corpuri geologice complexe, cu dinamică naturală și variații cantitative și calitative, hidrogeologia aparține grupei științelor geologice.

1.3. Legătura domeniului apelor subterane cu alte științe

De-a lungul timpului, studiul apelor subterane trece prin faze specifice, generate de nevoile perioadei respective sau de limitările tehnice și conceptuale. În perioada actuală, tendința generală în știință este de abordate integrată și integratoare. Practica tratării secvențiale, sectoriale a componentelor mediului face loc studiului interacțiunilor, analizei sinergiilor dintre domenii aparent tot mai puțin înrudite.

Instrumentul matematic tot mai complex și apoi calculatorul a pătruns tot mai profund în practicile hidrogeologice – în rezolvarea tot mai multor probleme se apelează la construirea de modele, simulări etc. În ultimii ani studiul apelor subterane interacționează tot mai mult cu domenii „exotice”, în evaluări specifice sunt utilizate tehnicile satelitare, imaginile obținute prin teledetecție constituind deja instrumente curente în anumite interpretări. S-au făcut progrese spectaculoase în abordările interdisciplinare – microbiologie – geologie – chimie, sunt studiate interacțiunile componentei minerale, anorganice, cu structura celulară sau cu produșii metabolici, rezolvându-se astfel probleme de protecția mediului, biodegradare, bioremediere etc.

Revenind într-o zonă convențională, se poate considera că studiul apelor subterane este corelat atât cu domenii aplicative majore precum: agricultura, silvicultura, amenajarea teritoriului, construcțiile, gospodărirea apelor, turismul, dar și cu domenii științifice fundamentale – pedologie, biologia, geomorfologia, biogeografia, ecologia, chimia etc.

Natura și intensitatea acestor legături tot mai complexe între domenii se diversifică și sporește, odată cu tendința de abordare interdisciplinară deja subliniată anterior. Această tendință a stat la baza concepției prezentei lucrări, care relevă apa subterană într-o viziune completă, lucrarea având și un pronunțat caracter aplicativ.

UNITATEA DE ÎNVĂȚARE 2.

FACTORI NATURALI CE INFLUENȚEAZĂ REGIMUL APELOR SUBTERANE



Cuprinsul unității de învățare 2

2.1. Distribuția și dinamica globală a apei.....	14
2.1.1. Elementele circuitului hidrologic și factori de influență a acestora	14
2.1.2. Regimul precipitațiilor	18
2.1.3. Regimul termic	18
2.1.4. Evapotranspirația	20
2.1.5. Alimentarea hidrostructurilor	22
2.2. Legătura apelor subterane cu rețeaua hidrografică	29
2.2.1. Factori ce influențează natura acestor legături – caracteristicile reliefului, apelor de suprafață și compoziției terenului	30

2.1. Distribuția și dinamica globală a apei

Circuitul apei este denumirea dată fenomenelor complexe care descriu circulația apei în mediul denumit generic *hidrosferă*.

Hidrosfera – masa totală de apă de suprafață și subterană, în stare lichidă sau solidă, află în zona superficială a planetei (formată din oceane, mări, rețea hidrografică, ape subterane, ghețari, depozite nivale).

2.1.1. Elementele circuitului hidrologic și factori de influență a acestora

În natură există un ciclu hidrologic global (pe întreg spațiul planetei noastre), la care intră în joc precipitațiile atmosferice (P) și evaporarea apei (E) – figura 2.1.

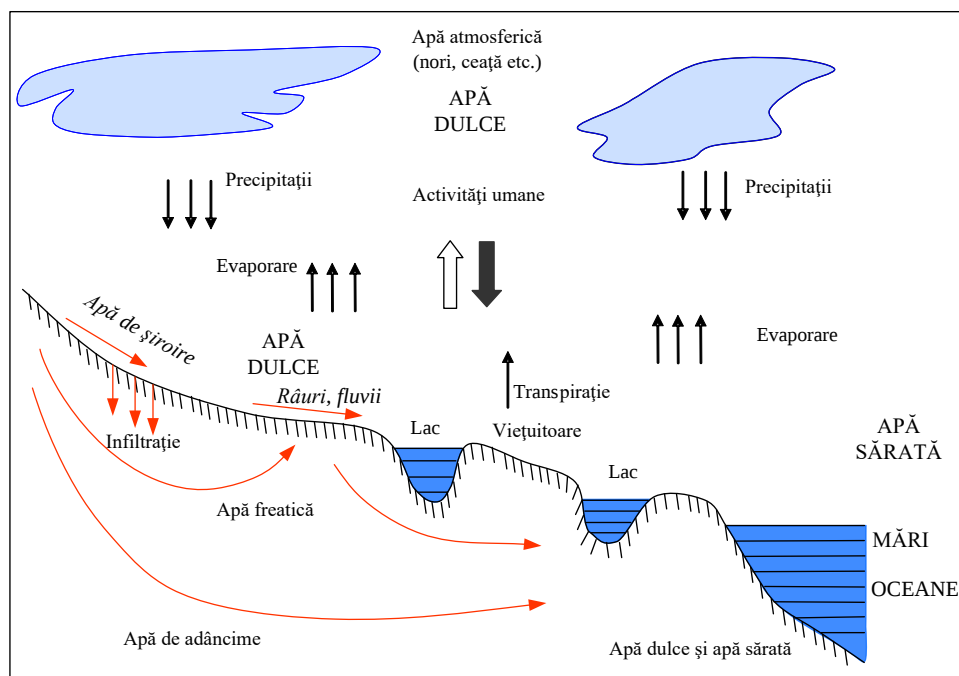


Figura 2.1 – Ciclul hidrologic global

Principala sursă de energie, care practic face posibilă existența circuitului apei, este energia solară. Trecerea apei dintr-o stare de agregare în alta este asociată cu schimbarea energiei termice a acesteia.

Particularitățile locale ale componentelor acestui circuit sunt determinate climatic, geomorfologic, geologic și pedologic. Ponderea pe care o au evaporarea, scurgerea de suprafață, curgerea subterană, infiltrarea etc. este condiționată de către caracteristicile locale.

În mod clasic, descrierea circuitului hidrologic, începe cu oceanul, în următoarea succesiune:

- apa din mări și oceane se evaporă (neuniform, în funcție de poziția geografică, care induce variabilitatea climatică) și ajunge în atmosferă, sub formă de vaporii;
- vaporii de apă prezenți în atmosferă, atunci când anumite condiții sunt îndeplinite, se transformă în precipitații, care ajung pe Pământ sau se evaporă înainte să ajungă pe suprafața acestuia;
- precipitațiile care ajung în mări și oceane, reintră în acest scurt ciclu descris, fără a parcurge etape intermediare. Precipitațiile care ajung pe suprafața uscatului pot parcurge o serie de etape:
 - evaporare directă de la suprafața terenului și revenire în atmosferă;
 - stocare la suprafața terenului, sub formă de apă în stare lichidă sau solidă (zăpadă, gheață);
 - scurgere de suprafață difuză sau organizată, în cadrul rețelei hidrografice;
 - infiltrare în subteran, în terenuri permeabile.

Apa care se infiltrează în formațiunile permeabile, în funcție de particularitățile geologice, climatice, pedologice, fitocenologice, poate urma mai multe căi:

- poate fi drenată de rădăcinile plantelor, este utilizată de acestea în procesele metabolice și apoi este eliminată în atmosferă prin transpirație;
- în situația în care sunt prezente intercalații impermeabile în zona superficială, poate lua naștere scurgerea hipodermică;
- evaporarea către suprafața terenului, atunci când temperatura este ridicată;
- excesul de apă este drenat gravitațional, dă naștere zonei saturate (acviferului) și formează scurgerea subterană. Poate ajunge la suprafața terenului sub formă de izvoare sau poate fi drenată de către rețeaua hidrografică.

Această descriere nu include apa implicată în circulația mai profundă care, în parte, participă la procesele petrogenetice. O parte din apa prezentă în sedimentele oceanice este antrenată în procesele de subducție, intrând în compoziția magmelor. Pe de altă parte, apa magmatică poate ajunge la suprafață, prin intermediul erupțiilor vulcanice, fiind astfel integrată în circuitul hidrologic.

În figura 2.2 este prezentată ecuația ciclului hidrologic aplicată la scară globală (A), la scară oceanică (B), la scară continentală (C), iar elementele componente sunt detaliate în tabelul 2.1.

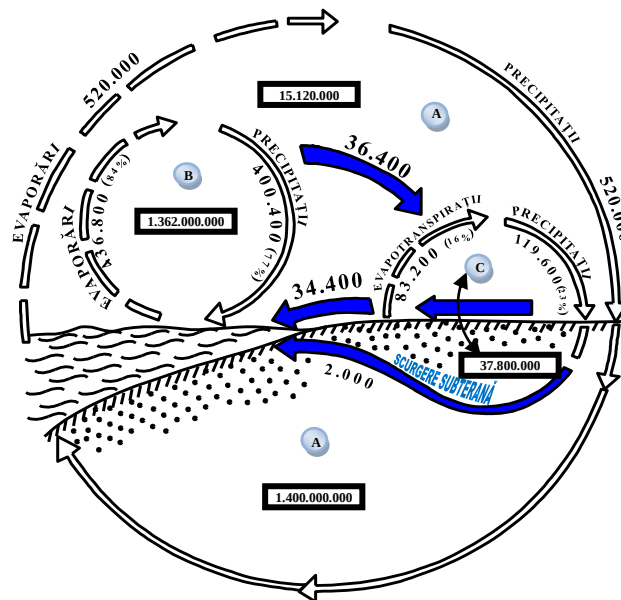


Figura 2.2 – Ecuația circuitului hidrologic
(numerele în casetă sunt exprimate în km^3 , restul în km^3/an ;
după Castany, 1980)

Elementele ecuației ciclului hidrologic

Tabelul 2.1

Dimensiune	Elemente	Volum (km ³ /an)
La scară globală (A)	- evaporări (E _A)	520.000
	- precipitații (P _A)	520.000
La scară oceanică (B)	- evaporări (E _B)	436.800
	- precipitații (P _B)	400.400
	- circuitul de vapor de apă, în atmosfera superioară, din domeniul oceanic către continente (A _B)	36.400
La scară continentală (C)	- evapotranspirații (E _C)	83.200
	- precipitații (P _C)	119.600
	- scurgerea de suprafață (A _C)	34.400
	- descărcare directă a apelor subterane în oceanul planetar (A _S)	2000

Bilanțul hidrologic exprimă diferența dintre aporturile și pierderile de apă de pe un teritoriu considerat. La nivel planetar, componentele principale ale bilanțului hidrologic sunt:

- cantitatea medie anuală de apă evaporată de pe suprafața oceanelor (**E_B**);
- cantitatea medie anuală de apă evaporată de pe suprafața continentelor (**E_C**);
- cantitatea medie anuală de precipitații căzută pe suprafața oceanelor (**P_B**);
- cantitatea medie anuală de precipitații căzută pe suprafața continentelor (**P_C**);
- cantitatea medie anuală de apă de suprafață scursă în ocean (**A_C**);
- cantitatea medie anuală de apă subterană descărcată direct în ocean (**A_S**).

În cadrul ciclurilor pe spații mari componente: oceanice, continentale sau mixte și cicluri regionale (țări, bazine hidrografice) intervin, pe lângă precipitații (**P**) și evaporări (**E**), și cantitățile de apă care circulă la suprafața Pământului sau în subsol (ape curgătoare) generic denumite aflux (**A**) și care intră sau ies din spațiul respectiv.

Circuitele locale, cantitativ, se exprimă prin relația:

$$E = P \pm A \quad (2.1)$$

Această ecuație poate fi detaliată pentru diferite domenii:

- oceanul planetar (B):

$$E_B = P_B + A_C + A_S \quad (2.2)$$

$$436.800 \text{ km}^3 = 400.400 \text{ km}^3 + 34.400 \text{ km}^3 + 2.000 \text{ km}^3$$

- domeniul continental (C):

$$E_C = P_C - (A_C + A_S) \quad (2.3)$$

$$83.200 \text{ km}^3 = 119.600 \text{ km}^3 - (34.400 \text{ km}^3 + 2.000 \text{ km}^3)$$

Totalizând aceste două ecuații se obține expresia bilanțului hidrologic la nivelul globului pământesc:

$$E_B + E_C = P_B + P_C \quad (2.4)$$

$$436.800 \text{ km}^3 + 83.200 \text{ km}^3 = 400.400 \text{ km}^3 + 119.600 \text{ km}^3$$

Practic, se consideră că volumul de apă reprezentat de precipitații este egal cu volumul de apă evaporată, intrările și ieșirile din sistem există, dar pot fi neglijate în acest bilanț.

2.1.2. Regimul precipitațiilor

Precipitațiile atmosferice – totalitatea produselor de condensare și cristalizare a vaporilor de apă din atmosferă, care ajung la suprafața Pământului sub formă lichidă sau solidă (reprezentate prin ploaie, ninsoare, burniță, grindină, lapoviță etc.). Distribuția spațio-temporală a precipitațiilor, atât cantitativ, cât și calitativ, prezintă o mare variabilitate. Această variabilitate este direct influențată de circulația generală a maselor de aer, radiația solară corespunzătoare diverselor latitudini, complexitatea reliefului.

Regimul apelor subterane este influențat de regimul local și regional al precipitațiilor (cantitate, manifestare în timp, natură etc.). Apa provenită, direct sau indirect (topirea acumulărilor de zăpadă și gheață, debitul tranzitat de rețeaua hidrografică), din precipitații, constituie sursa principală de alimentare a apelor subterane.

În raport cu poziția la nivel global, în corelație cu zonarea/etajarea climatică, precipitațiile sunt caracterizate prin: mod de formare, durată și intensitate, natură. În fiecare zonă, precipitațiile, alături de alți parametri, sunt monitorizate cantitativ și calitativ, prin intermediul rețelelor naționale de stații meteorologice. În România, această rețea este compusă din 160 de stații, dintre care 100 automate. Parametrii mășurați sau observați în cadrul acestor stații sunt: *temperatura aerului, presiunea atmosferică, direcția și viteza vântului, umezeala aerului, temperatura suprafeței solului, nebulozitatea, vizibilitatea orizontală a aerului, depunerile solide, grosimea și caracterul stratului de zăpadă, actinometrie, durata de strălucire a Soarelui, fenomenele meteorologice.*

Cantitatea de apă provenită din precipitații se exprimă prin grosimea/volumul stratului de apă acumulat în unitatea de timp, pe unitatea de suprafață (valoarea medie multianuală pentru România este 660 mm/an sau 660 l/m²an).

2.1.3. Regimul termic

Principala sursă de energie pentru procesele ce se desfășoară la suprafața planetei o constituie energia furnizată de *radiația solară*. În cadrul acestor procese complexe, putem încadra și circulația apei în contextul circuitului hidrologic global.

Intensitatea radiației solare recepționate de Pământ este variabil spațial și temporal în limite largi, o valoare medie caracteristică este de $0,30 \text{ cal/cm}^2$.

Această radiație incidentă, după ce suferă o serie procese – reflexie la nivelul atmosferei, la nivelul suprafeței terestre etc. –, este „responsabilă” de fenomenele și procesele definitorii pentru *regimul termic al aerului, regimul termic al solului, regimul termic al apei*.

La nivel global, regimul termic, corelat cu regimul precipitațiilor și cu dinamica maselor de aer, prezintă o variabilitate la nivel latitudinal (*zonarea climatică*) și la nivel altitudinal (*etajarea climatică*).

Această variabilitate evidențiază caracteristici specifice existenței unei zone de climat cald, unei zone temperate și uneia reci.

Zona caldă – cuprinde subzonele: ecuatorială, subecuatorială și tropicală, având o extindere între Ecuator și 30^0 latitudine nordică și sudică. Zona temperată – cuprinde subzonele: temperat caldă (mediteraneană), temperat propriu-zisă, temperat rece și temperat continentală de tranziție (subzonă în care se integrează și România). Zona rece – cuprinde subzonele: subpolară (de tundră) și polară.

Peste acest tipar climatic global se suprapune etajarea climei. Aceasta aduce, acolo unde este cazul, particularități specifice: etajul ghețarilor și zăpezilor permanente, etajul alpin, etajul subalpin, etajul pădurilor.

Tot acest complex climatic influențează direct dinamica și procesele ce au legătură cu apele subterane. Durata perioadei de îngheț, variația sezonieră a precipitațiilor, variația sezonieră sau diurnă a regimului termic; toate acestea impun condițiile de alimentare a apelor subterane, relațiile acestora cu rețeaua hidrografică, regimul de exploatare etc.

Caracterizarea climatică a teritoriului României

Poziția geografică a teritoriului României – desfășurarea latitudinală, distanța față de principalele elemente care influențează contextul climatic (mari întinderi de apă, lanțuri muntoase importante etc.) – conferă un *climat temperat de tip continental de tranziție*.

Parametrii climatici:

- regimul termic este caracterizat de valori medii anuale variind latitudinal între 11^0C în Lunca Dunării și $8,5^0\text{C}$ în Podișul Moldovenesc și altitudinal, între $9^0 - 11^0\text{C}$ la câmpie și $-2,5^0\text{C}$ la peste 2500 m. Variația spațială a regimului termic determină individualizarea a trei etaje distincte: un etaj de câmpie (valori medii de peste 10^0C), un etaj mediu de deal și podiș (valori medii între 10^0 și 6^0C) și un etaj de munte (cu temperaturi mai mici de 6^0C).

Caracteristice pentru acest regim termic sunt și valorile extreme: maxima absolută de $+44,5^{\circ}\text{C}$ la Ion Sion (lângă Brăila) la 10 august 1951 și minima absolută de $-38,5^{\circ}\text{C}$ la Bod (lângă Brașov) pe 25 ianuarie 1942;

- regimul precipitațiilor, este caracterizat de o variație altitudinală, precum și de o descreștere cantitativă de la vest către est, datorită diminuării influenței oceanice. Distribuția cantitativă a precipitațiilor este caracterizată de o zonare, după cum urmează:
 - sud-estul țării, sudul Dobrogei, Delta Dunării și litoralul Mării Negre – sub 400 mm/an;
 - Podișul Dobrogei, Bărăgan, sudul Câmpiei Olteniei, sudul și nord-estul Podișului Moldovei – 400 – 500 mm/an;
 - centrul și vestul Câmpiei Române, Câmpia de Vest, Depresiunea colinară a Transilvaniei, centrul și nord-vestul Podișului Moldovei – 500 - 700 mm/an;
 - Subcarpații, munții cu altitudini reduse din Carpații Occidentali și Orientali – 700 - 1000 mm/an;
 - Carpații Meridionali, la altitudini cuprinse între 1000 - 2000 m, în grupa nordică a Carpaților Orientali și în cea mai mare parte a Carpaților Occidentali, la altitudini cuprinse între 1000 - 1600 m – 1000 - 1200 mm/an;

În toate masivele muntoase la peste 2000 m altitudine – peste 1200 mm/an.

2.1.4. Evapotranspirația

Evapotranspirația este procesul complex de transformare a apei în vapori printr-o serie de procese fizice (evaporare sau sublimare) și biologice (transpirație).

Ponderea apei provenite din precipitații care se evaporă este utilizată de către organisme în procesele metabolice și este pierdută prin transpirație, se infiltrează sau formează scurgerea de suprafață, este determinată de condițiile climatice, litologice și pedologice, geomorfologice. În zonele de câmpie cu climat arid, cea mai mare parte a apei din precipitații se evaporă. Procesul de infiltrare este controlat de permeabilitatea terenului și de pantă, cu cât gradul de permeabilitate al terenului este mai mare și panta este mai redusă, cu atât este favorizat procesul de infiltrare. Pantele mari și/sau terenurile cu permeabilitate redusă (roci compacte, soluri argiloase etc.) favorizează scurgerea de suprafață și evacuarea apei din precipitații, prin intermediul rețelei hidrografice.

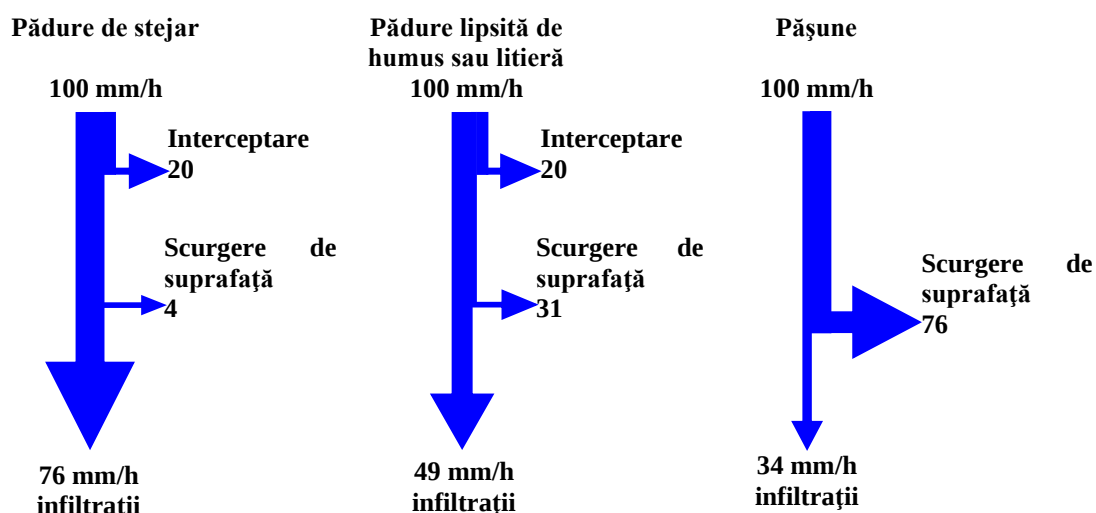


Figura 2.3 – Influența vegetației asupra capacității de infiltrare și a scurgerii (după Jones)

Evaporarea afectează toate formele de apă în stare lichidă, apa meteorică – din atmosferă sau de la suprafața terenului, corpurile acvatice – oceanul planetar, rețeaua hidrografică dezvoltată în domeniul continental, apa subterană din profilul de sol, zona vadoasă, zona capilară.

Transpirația este procesul fiziologic prin care apa existentă în profilul de sol se transformă în vapori prin intermediul vegetației. Procesul de transpirație este dependent atât de condițiile pedoclimatice, cât și de cele fiziologice – specia plantei, vârsta, stadiul de vegetație etc. În funcție de tipul de plantă, sistemul radicular se dezvoltă până la adâncimi de 0,3 – 1,5 m în cazul plantelor de cultură, putând ajunge la 10 m, în cazul arborilor.

Cantitativ, transpirația poate fi exprimată fie prin intermediul *coloanei de apă* (mm) pe un anumit interval de timp (între 400 – 1200 mm/an, în climat temperat), fie prin *coeficientul de transpirație*, aceasta fiind raportul dintre greutatea apei absorbite, tranzitate și evaporate de plantă și greutatea de biomasă uscată formată în perioada respectivă. Acest parametru variază între 250 – 1000 în cazul plantelor de cultură și 80 – 1200 în cazul arborilor.

Datorită dificultății de a determina separat cele două componente, în mod convențional, cantitatea totală de apă ce trece în stare de vapori la suprafața terenului se exprimă prin *evapotranspirație*. Acest parametru ia în considerare atât apa care se evaporă de la nivelul suprafețelor acvatice, de la nivelul solului, cât și cea pierdută de vegetație prin procese fiziologice specifice. Plecând de la acest parametru, au fost definite două componente distincte:

- evapotranspirația reală (ETR) care se raportează la disponibilitatea reală de apă dintr-o zonă;
- evapotranspirația potențială (ETP) se raportează la situația în care cantitatea de apă disponibilă este nelimitată într-un spațiu dat.

Temperatura aerului are cea mai semnificativă influență în procesul de evapotranspirație. Principala sursă de energie este cea solară. Din cantitatea totală de energie solară (100%), 14% este utilizată pentru încălzirea atmosferei, iar restul de 86% ajunge la nivelul solului. Din această cantitate, 43% este utilizată pentru încălzirea uscatului și 43% se reflectă în atmosferă (figura 2.4).

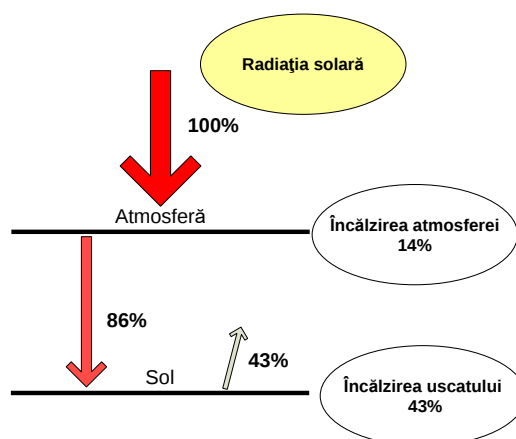


Figura 2.4 - „Utilizarea” radiației solare de către sistemul terestru

Cantitatea de vapori absorbită de atmosferă este determinată de temperatura aerului și de gradul de umiditate al zonei. S-a observat că limita de saturație a aerului cu vapori de apă și temperatura sunt direct proporționale (la -20°C saturația se atinge la $1,1\text{ g/m}^3$, la 0°C saturația ajunge la $4,8\text{ g/m}^3$ iar la 20°C , ajunge la $17,3\text{ g/m}^3$, Pișotă I., 2005)

Umiditatea aerului – este variabilă în timp și spațiu. Ea contribuie la alimentarea apelor subterane prin infiltrare. Exprimarea umidității aerului îmbracă mai multe forme: *umiditatea absolută* - reprezintă cantitatea de vapori de apă existentă în atmosferă la un anumit moment, *umiditatea de saturație* – cantitatea maximă de vapori de apă ce poate fi reținută în atmosferă la o anumită temperatură și *umiditatea relativă* – reprezentând raportul primelor două.

2.1.5. Alimentarea hidrostructurilor

O parte din apa provenită din precipitații care ajunge la suprafața terenului se infiltrează (figura 2.5). În funcție de condițiile climatice, precipitațiile au intensitate variabilă, putând fi lichide sau solide. Ponderea componentei care se infiltrează este determinată de litologia zonei, condițiile climatice (regimul termic, regimul precipitațiilor, mișcările maselor de aer etc.) caracteristicile reliefului, existența și natura vegetației, acțiunea organismelor, factorul antropic.

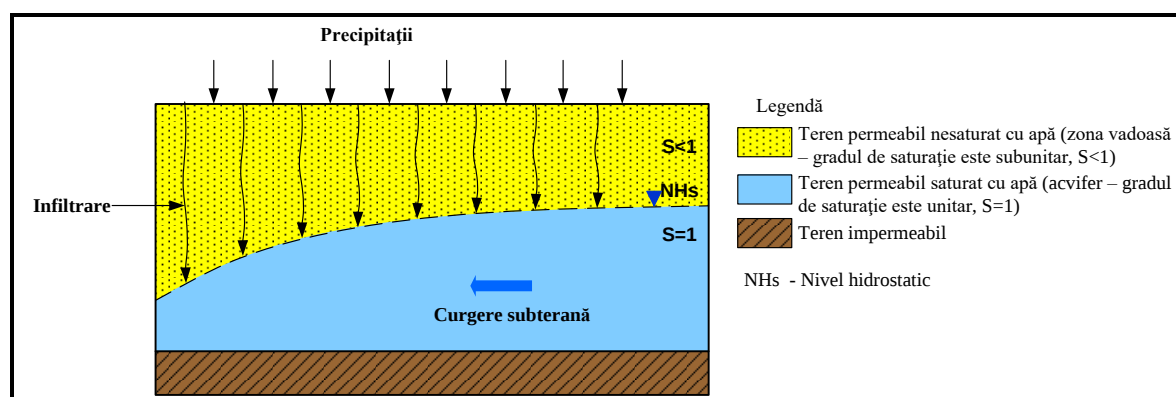


Figura 2.5 – Infiltrarea apei din precipitații

Gradul de saturație (S) este dat de relația:

$$S = \frac{V_a}{V_p} \quad (2.5)$$

Unde:

V_a – volumul apei;

V_p – volumul porilor.

Importanța contextului geologic – o condiție esențială pentru desfășurarea procesului de infiltrare o constituie permeabilitatea terenului. Larga variabilitate a caracteristicilor terenului este determinată de multitudinea fenomenelor și proceselor de natură geologică sau pedologică care au loc.

Din întreaga paletă de roci, diferențiate din punct de vedere al genezei, categoria cea mai susceptibilă de a permite acumularea și circulația apei în subteran este reprezentată de *rocile sedimentare*. Acestea, spre deosebire de rocile *magmatice* sau *metamorfice*, se formează în condiții de presiune și temperatură comparabile cu cele ale mediului extern. Datorită presiunilor și temperaturilor mult mai reduse ce caracterizează procesele de sedimentare și/sau diageneză, sedimentele și rocile sedimentare au un grad mult mai ridicat de porozitate în raport cu alte tipuri de roci. Chiar dacă în sens strict, porozitatea se referă la terenul caracterizat de existența spațiilor interstițiale între granulele minerale (în general din categoria rocilor detritice - loessuri, nisipuri, pietrișuri, gresii, conglomerate), utilizarea termenului este extinsă și pentru rocile fisurate (de natură sedimentară sau nu). Din acest punct de vedere, deosebim o porozitate interstițială – caracteristică rocilor cu spații intergranulare și o porozitate fisurală ce caracterizează rocile masive, compacte (figura 2.6). Acesta din urmă are adesea un caracter secundar, rezultând în urma formării fracturilor, fisurărilor sau proceselor de dizolvare.

Capacitatea de infiltrare, definită ca viteza maximă de absorbție a apei, pe unitatea de suprafață, a unui tip de teren dat, în condiții specifice, este dependentă printre altele de umiditatea inițială a terenului. În timpul unor precipitații abundente, cantitatea inițială de apă care se infiltrează în sol este mult mai mare. Pe măsură ce porii terenului tind spre saturare cu apă, cantitatea de apă

infiltrată scade semnificativ. Când rata precipitațiilor depășește rata de infiltrare, apare fenomenul de băltire, fiind favorizată scurgerea de suprafață. Pentru toate aceste fluxuri, rata precipitațiilor, infiltrării, scurgerii de suprafață, alimentării de suprafață, evapotranspirației se exprimă cm/an.

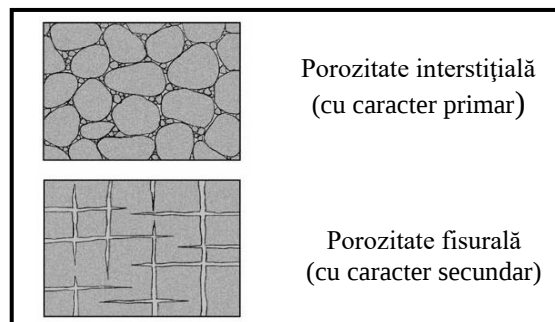


Figura 2.6 – Tipuri de porozități

Datorită neomogenității terenului permeabil și prezenței intercalațiilor cu permeabilitate mai scăzută, în paralel cu circulația verticală a apei, poate lua naștere o circulație superficială, orizontală, numită *scurgere hipodermică*.

Din totalul cantității de apă care se infiltrează, partea care traversează zona nesaturată, ajungând în acvifer, contribuie direct la alimentarea acestuia. Termenul de alimentare desemnează doar procentul care ajunge efectiv în acvifer. Aceasta se poate realiza fie din precipitații sau topirea gheții/zăpezii, din rețeaua hidrografică sau subordonat din surse artificiale – irigații, pierderi de apă din canale, conducte.

Rata de alimentare efectivă este determinată de o serie de factori dintre care:

- cantitatea de apă provenită din precipitații care pătrunde în subteran, în funcție de capacitatea de infiltrare a terenului;
- umiditatea inițială a terenului, care determină evoluția în timp a capacității acestuia de infiltrare;
- diferența de cotă între zona de alimentare și cea de descărcare a acviferului;
- conductivitatea hidraulică și gradientul hidraulic, parametri care determină practic dinamica apei subterane;
- intervențiile antropice asupra terenului sau apelor subterane și influența acestora (lucrări de drenaj, impermeabilizare etc.).

În cazul în care zona nesaturată are grosime mică, scurgerea hipodermică este neglijabilă, întregul flux de apă infiltrat contribuind la alimentarea acviferului.

În cazul prezenței unor terenuri cu permeabilitate ridicată, la alimentarea subterană poate contribui un procent de 50% din cantitatea de precipitații căzute. În cazul unor terenuri argiloase, cu permeabilitate scăzută, alimentarea poate reprezenta doar 1% din cantitatea de precipitații.

2.1.5.1. Elementele bazinului hidrografic

Termenul de *bazin hidrografic* se referă la suprafața de teren drenată de un sistem fluvial (un curs de apă împreună cu afluenții săi). Bazinul hidrografic este delimitat spațial de *cumpăna apelor*. Aceasta se evidențiază urmărind punctele de maximă cotă a terenului, corespunzătoare zonelor interfluviale ce delimitează cursul de apă. Determinarea cumpenei de ape și deci a bazinelor hidrografice se face cu ajutorul hărților topografice, prin observarea reliefului, în funcție de morfologia curbelor de nivel. Pentru caracterizarea cumpenei de ape pot fi luați în considerare o serie de parametri – lungimea acesteia, înălțimea medie, panta, gradul de sinuozitate etc.

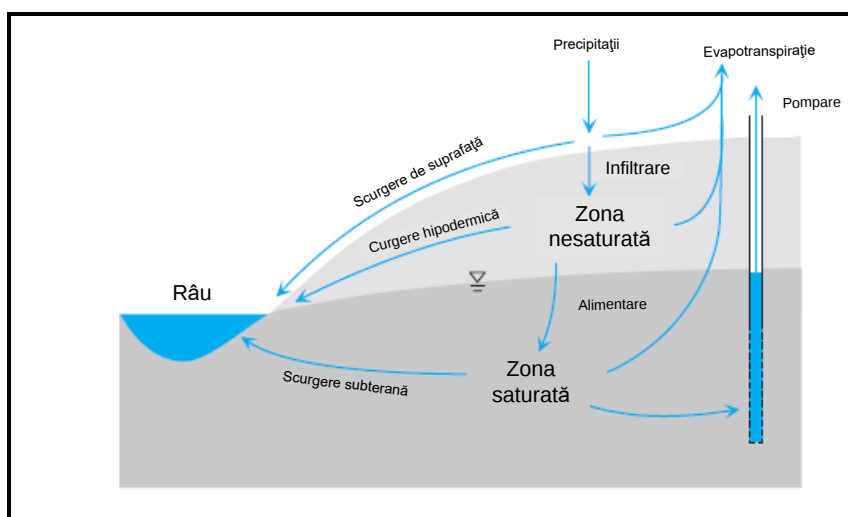


Figura 2.7 – *Principalele rezervoare și dinamica apei (după Charles R. Ritts)*

Caracteristicile specifice bazinului hidrografic scot în evidență o serie de informații foarte importante referitoare la gradul de evoluție a sistemului fluvial, procesele de eroziune și/sau acumulare din cadrul bazinului, corelații dintre litologie, structură geologică, date climatice ale zonei etc. Aceste caracteristici se cuantifică printr-o serie de parametri:

Suprafața bazinului hidrografic – reprezintă mărimea drenată de sistemul fluvial. Ca unitate de măsură se utilizează km^2 , iar domeniul de variație este $\sim 1 \text{ km}^2$ – mai mult de 1 milion km^2 .

Lungimea/lățimea bazinului hidrografic – sunt utilizate pentru caracterizarea dimensională a bazinului și definirea formei acestuia.

Coefficientul de asimetrie – oferă o imagine asupra modului în care suprafața bazinului este distribuită în raport cu axa principală de drenaj.

$$K_{as} = \frac{2(F_s - F_d)}{F} \quad (2.6)$$

Unde:

K_{as} – coeficient de asimetrie;

F_s – suprafața versantului stâng;

F_d – suprafața versantului drept;

F – suprafața totală a bazinului hidrografic.

Altitudinea bazinului hidrografic – este un parametru relevant datorită specificității proceselor geomorfologice în cadrul fiecărui sector al rețelei hidrografice (curs superior, curs mediu sau curs inferior), cât și în cadrul treptelor de relief. În mod frecvent se utilizează *altitudinea maximă*, *altitudinea minimă* și *altitudinea medie*, unitatea de măsură utilizată este m. Acesta din urmă se determină astfel:

$$H_{med} = \frac{\sum f_i h_i}{F} \quad (2.7)$$

Unde:

H_{med} – altitudinea medie;

f_i – suprafața parțială delimitată de două curbe de nivel;

h_i – media aritmetică a altitudinilor celor două curbe de nivel ce delimitează suprafața f_i .

Panta bazinului hidrografic – influențează în mod direct regimul de alimentare a apelor curgătoare și dinamica acestora. O pantă accentuată în cadrul bazinului va favoriza evacuarea apei provenite din precipitații, topirea zăpezilor, prin intermediul scurgerii de suprafață. O pantă redusă, corelată cu anumite caracteristici ale terenului (permeabilitate etc.), favorizează procesul de infiltrare. Acest parametru se determină astfel:

$$P_{med} = \frac{\sum \frac{l_i + l_{i+1}}{2} \Delta h_i}{F} \quad (2.8)$$

Unde:

P_{med} – panta medie;

f_i – suprafața parțială delimitată de două curbe de nivel;

l_i – lungimile curbilor de nivel;

Δh_i – diferențele de nivel dintre curbele de nivel considerate.

Densitatea rețelei hidrografice – este o măsură a gradului de fragmentare a reliefului, permite în același timp identificarea zonelor de concentrare a scurgerii. Datorită relațiilor ce se stabilesc între apele subterane și rețeaua hidrografică, densitatea acesteia permite implicit aprecierea gradului de drenare a acviferelor freatice de către apele de suprafață. Parametrul se determină prin raportarea sumei lungimii cursurilor de apă de pe o anumită suprafață la suprafața respectivă, are ca unitate de măsură km/km².

Alți parametri ce descriu bazinul hidrografic și procesele de la nivelul acestuia, cu rol în evaluarea dinamicii apelor subterane, sunt: *coeficientul de sinuozitate al rețelei hidrografice*; *coeficientul de compactitate*, *gradul de împădurire*, *gradul de acoperire cu lacuri și mlaștini*.

Coordonatele interacțiunii apelor subterane cu rețeaua hidrografică sunt determinate de contextul geologic al regiunii, de caracteristicile geomorfologice, climatice și de natură antropică.

2.1.5.2. Caracteristicile bazinului hidrogeologic

Bazinul hidrogeologic este domeniul acvifer, simplu sau complex, în care apele subterane curg spre același punct/linie de descărcare. Este delimitat de linia de separare/cumpăna apelor subterane. Este echivalentul subteran al bazinului hidrografic.

Pe cât de facilă este operațiunea de delimitare a bazinului hidrografic, pe atât de dificilă și uneori costisitoare este cea de delimitare a celui hidrogeologic, necesitând adesea lucrări ample de prospecțiune hidrogeologică.

Datorită complexității structurii geologice și a naturii corelațiilor acesteia cu morfologia terenului, se întâmplă rar ca bazinul hidrologic și cel hidrogeologic să coincidă spațial.

În continuare sunt prezentate schematic câteva situații posibile:

- în cazul acviferelor freatice formate în structuri permeabile omogene de natură sedimentară, având culcuș orizontal, drenate de către rețeaua hidrografică, bazinul hidrografic poate coincide cu bazinul hidrogeologic (figura 2.8);

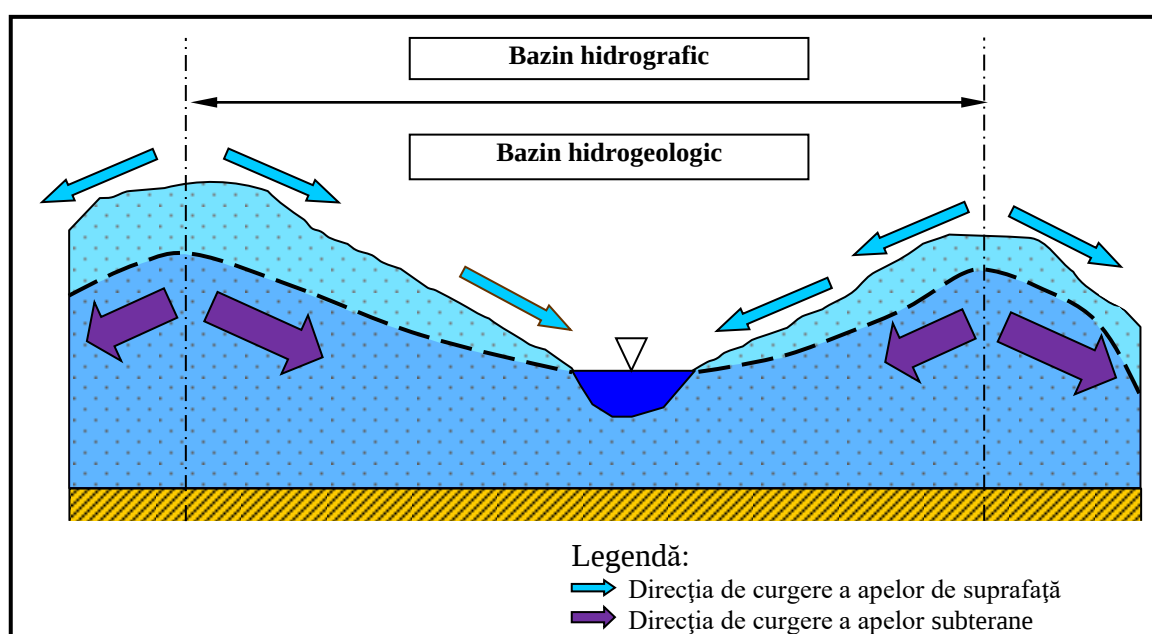


Figura 2.8 – Raportul dintre bazinul hidrografic și cel hidrogeologic în cazul unui acvifer freatic (după Scrădeanu D., Gheorghe Alex.)

- morfologia formațiunii permeabile (reprezentând tot un acvifer freatic) și a culcușului determină o extindere mai redusă a bazinului hidrogeologic în raport cu morfologia terenului care determină dezvoltarea bazinului hidrografic (figura 2.9);

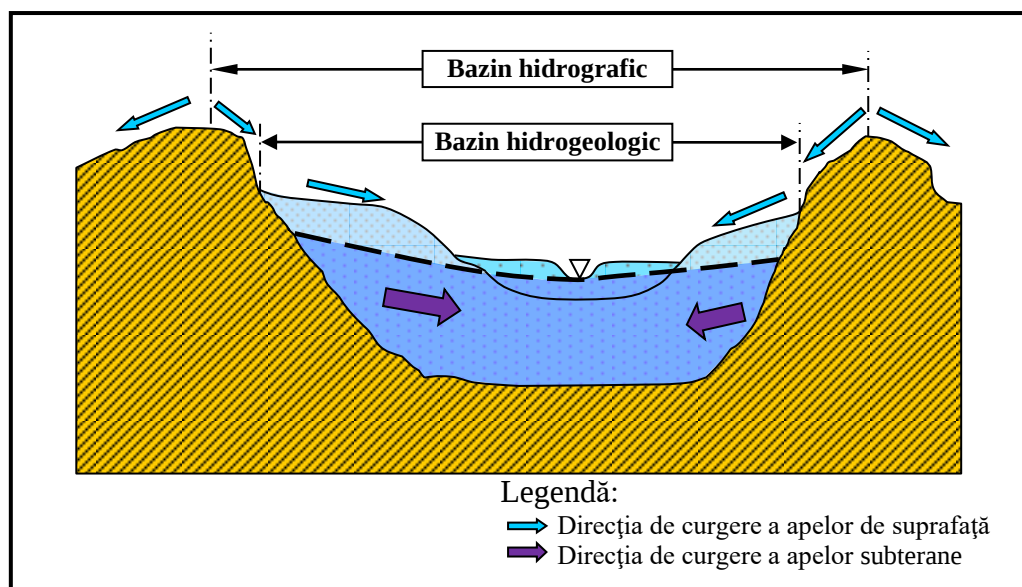


Figura 2.9 – Raportul dintre bazinul hidrografic și cel hidrogeologic în cazul unei hidrostructuri din lunca unui râu (după Scrădeanu D., Gheorghe Alex.)

- în situația în care acviferul – care poate fi parțial sub presiune – se dezvoltă pe structuri sinclinale sau anticlinale, extinderea acestuia nu este corelată cu morfologia suprafeței topografice și deci cu bazinul hidrografic (figura 2.10 și figura 2.11).

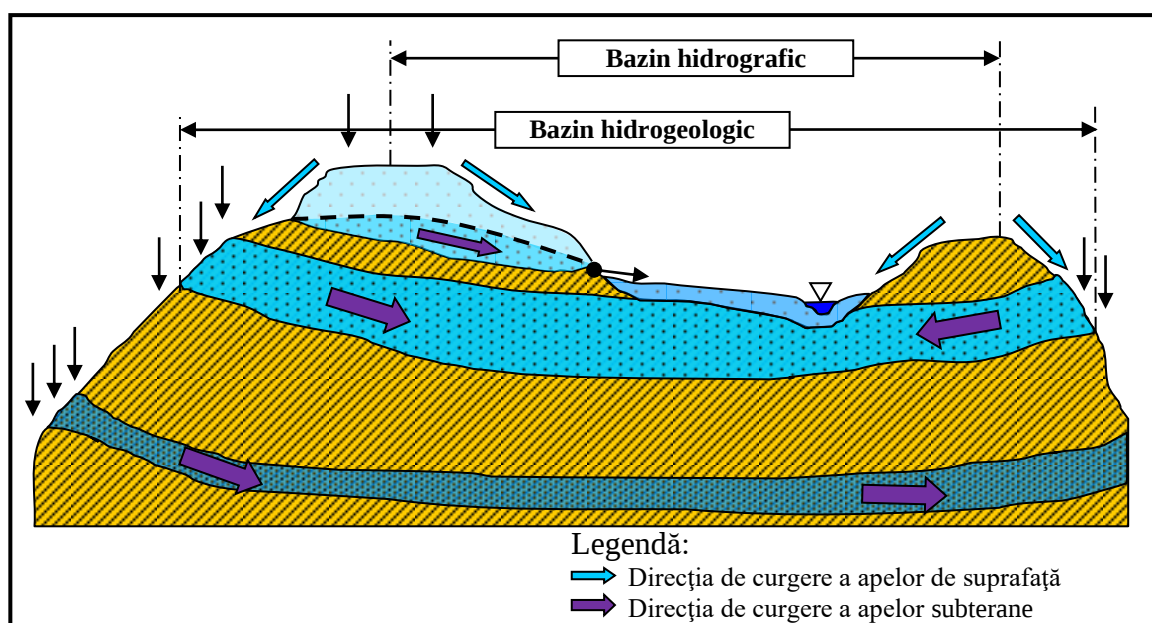


Figura 2.10 – Raportul dintre bazinul hidrografic și cel hidrogeologic în cadrul unei structuri sinclinale (după Scrădeanu D., Gheorghe Alex.)

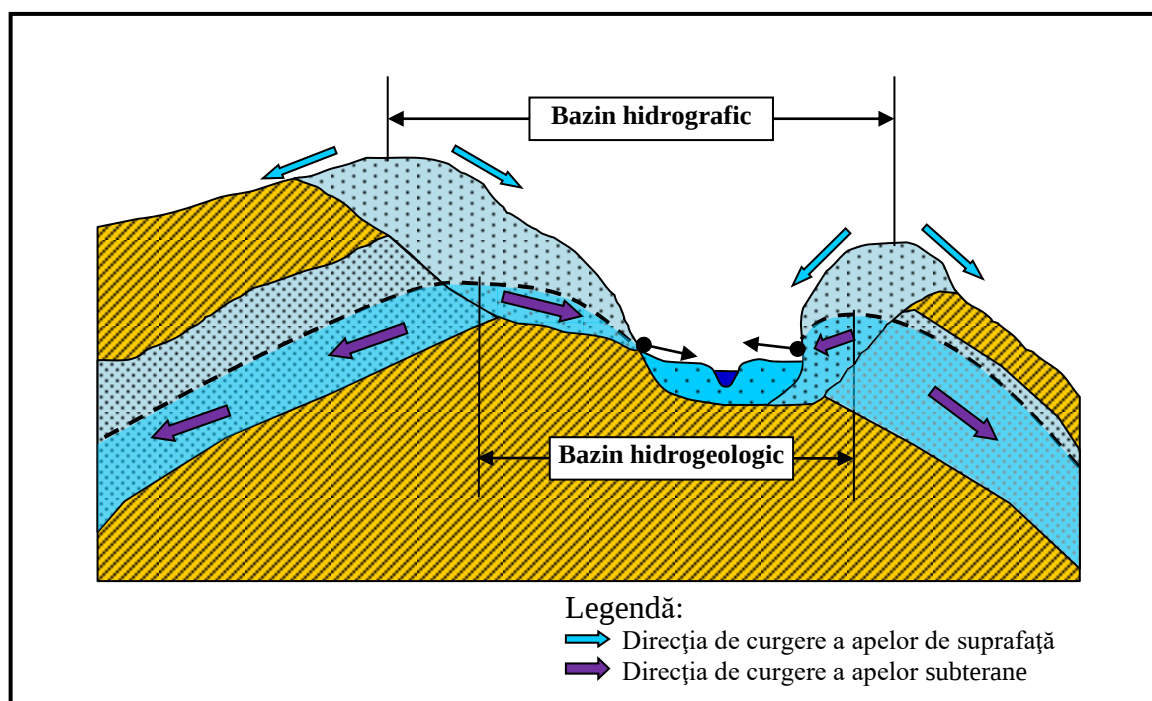


Figura 2.11 – Raportul dintre bazinul hidrografic și cel hidrogeologic în cazul unei structuri anticlinale (după Scrădeanu D., Gheorghe Alex.)

2.2. Legătura apelor subterane cu rețeaua hidrografică

În cadrul circulației generale a apei, descrisă convențional ca *circuit hidrologic global*, între cele două componente distincte – apa subterană și apa de suprafață (rețea hidrografică, bazine marine, oceanice) există legături hidraulice complexe, cu diferite specificități, fiind necesară o înțelegere unitară, integrată. Formarea structurilor acvifere în sedimente și în roci sedimentare, dezvoltarea acestora în cadrul bazinelor de sedimentare, permeabilitatea semnificativă a acestor terenuri conduc la existența unor legături active ale apei subterane, în special ale acviferelor freatice și rețeaua hidrografică. Natura acestor conexiuni este variabilă spațio-temporal: apele subterane pot constitui sursă de alimentare pentru apele de suprafață, dar în anumite situații specifice (ploi abundente, viituri), sensul acestor legături se poate schimba – acviferele fiind alimentate de către râurile care tranzitează temporar debite mari.

În funcție de aceste relații și de contextul specific al zonei, apa subterană poate constitui sursă de poluare pentru apa de suprafață sau invers.

Datorită dinamicii și particularităților specifice ale domeniului de curgere, este acceptat în general faptul că apa subterană are o calitate superioară în comparație cu apa de suprafață, mergând până la posibilitatea de a utiliza această resursă pentru alimentarea cu apă, fără o tratare prealabilă (fapt întâlnit frecvent în zonele rurale). Pe de altă parte, acviferele freatice din depozite cu permeabilitate ridicată, conductivități hidraulice mari, grosime redusă a zonei nesaturate au o

vulnerabilitate la poluare ridicată. În mod frecvent, acviferele de acest tip au conținuturi de compuși ai azotului, pesticide sau, după caz, hidrocarburi, ce depășesc *concentrațiile maxime admise*.

Apele de suprafață au o capacitate de atenuare naturală a contaminanților mult mai redusă în raport cu apa subterană. Pentru orice compus chimic care pătrunde în rețeaua hidrografică există teoretic riscul ca acesta să se regăsească în concentrații semnificative la distanțe mari de sursă, după intervale de timp relativ scurte.

Interacțiunile la interfața apă subterană – apă de suprafață joacă un rol esențial în cadrul zonelor ripariene. Asociațiile vegetale și restul organismelor din aceste areale sunt condiționate de calitatea apei. Amestecul apei de suprafață cu apa subterană poate avea un efect semnificativ asupra mediului acvatic, în situația în care unii parametri ca pH, temperatură conținut de oxigen dizolvat sunt modificați.

Fluxul care se creează între apele de suprafață și cele subterane dă naștere unui habitat specific pentru o serie de organisme, care în general sunt parte a unui lanț trofic care susține o comunitate ecologică. Aceste organisme pot furniza informații importante despre calitatea apei.

2.2.1. Factori ce influențează natura acestor legături – caracteristicile reliefului, apelor de suprafață și compoziției terenului

Un rol cheie în circulația subterană îl deține neomogenitatea terenului. Unitățile geologice cu permeabilitate diferită afectează atât intensitatea proceselor de infiltrare, cât și circulația subterană. Astfel, prin prezența intercalațiilor cu permeabilitate ridicată, apar direcții preferențiale de curgere a apei subterane.

Procese la interfață

Schimbarea condițiilor meteorologice poate afecta semnificativ „modelul” de infiltrare, în special în zona de mal, în raport cu apele de suprafață. Procese importante pot avea loc și la limita superioară a terenului permeabil, în vecinătatea suprafeței, datorită prezenței și activității sezoniere a vegetației.

În zona de mal, la contactul apei subterane cu apele de suprafață, zona nesaturată este absentă sau are grosimi foarte reduse. Apa care se infiltrează, traversează foarte rapid zona nesaturată cu grosime redusă, provocând la acest nivel o *alimentare concentrată*, provocând denivelări ale suprafeței piezometrice la nivel local. Aceste denivelări locale, din zona de mal, convexe din punct de vedere morfologic, sunt asociate episoadelor de ploi abundente (figura 2.12).

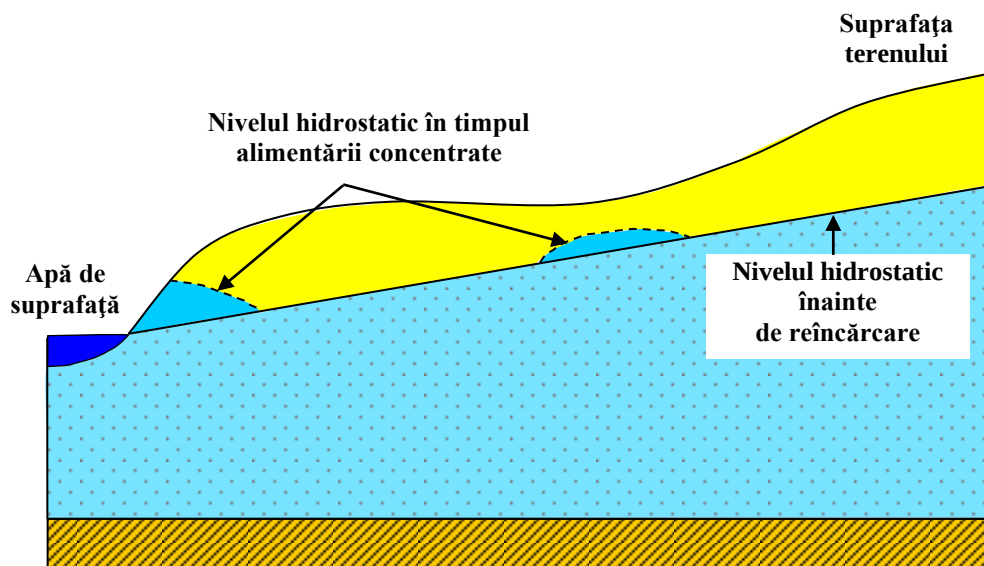


Figura 2.12 – Denivelări produse de alimentarea concentrată determinată de grosimea zonei nesaturate

În sens opus se manifestă acțiunea vegetației din aceste zone de interfață, care poate prelua cantități importante de apă din subteran, apă care este ulterior transferată atmosferei prin procesul de transpirație. Acest consum de apă provoacă local scăderea nivelului hidrostatic (figura 2.13). La limita cu apele de suprafață, această coborâre de nivel, poate determina schimbarea sensului de curgere în acvifer, apa de suprafață fiind drenată de către acesta. Toate aceste fenomene care se manifestă în zona de interfață, au efect vizibil doar asupra corpurilor de apă de suprafață de mici dimensiuni.

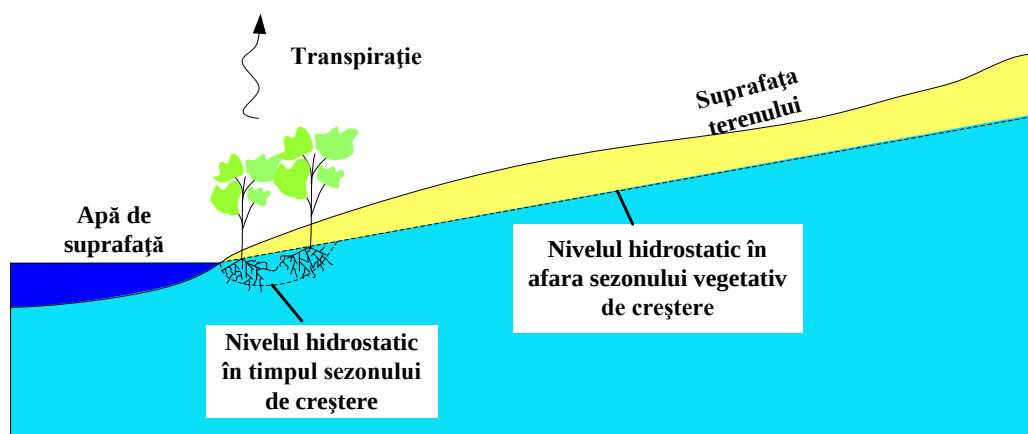


Figura 2.13 – Morfologia nivelului hidrostatic influențată de activitatea vegetativă, în timpul sezonului de creștere

Interacțiunea apelor subterane cu apele curgătoare.

Natura interacțiunii acviferelor cu apele curgătoare poate fi descrisă prin trei situații fundamentale:

1. *Cursuri de apă care drenează apele subterane* – acestea se află în legătură hidrolică cu acviferele riverane pe care le drenează (figura 2.14);

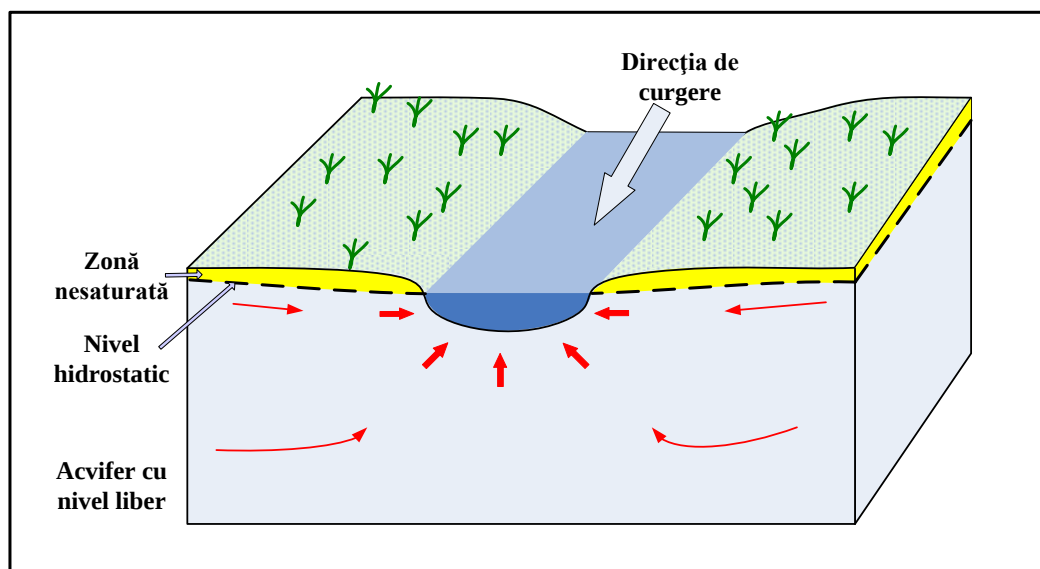


Figura 2.14 – Râu care drenează acviferul freatic

2. *Cursuri de apă care se infiltrează în subteran* – acestea alimentează acviferele riverane (figura 2.15);

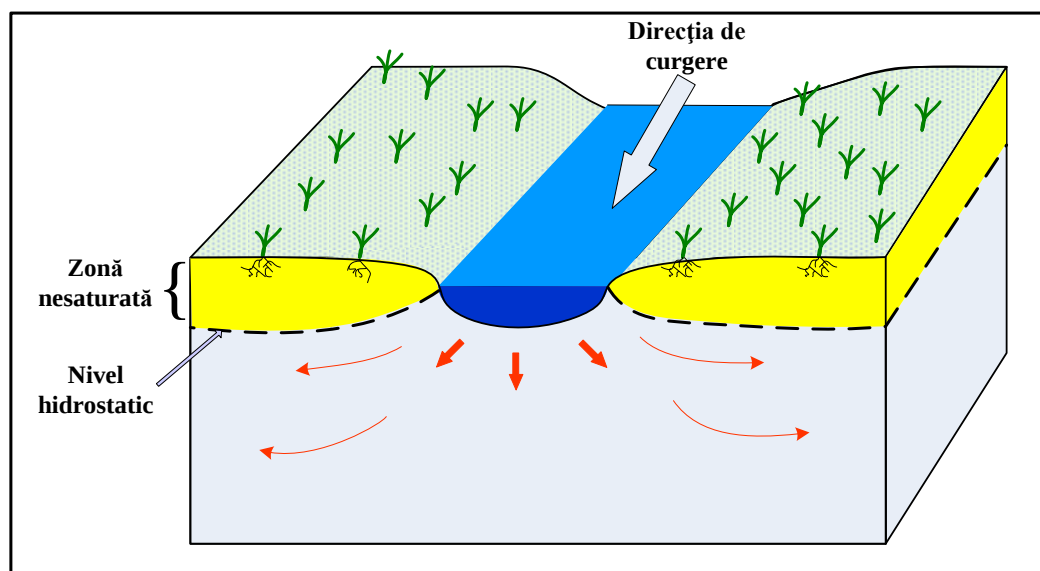


Figura 2.15 – Râu care se infiltrează în subteran

3. *Cursuri de apă independente* – datorită colmatării patului albiei, nu mai există o legătură hidrolică între aceasta și acvifer (figura 2.16).

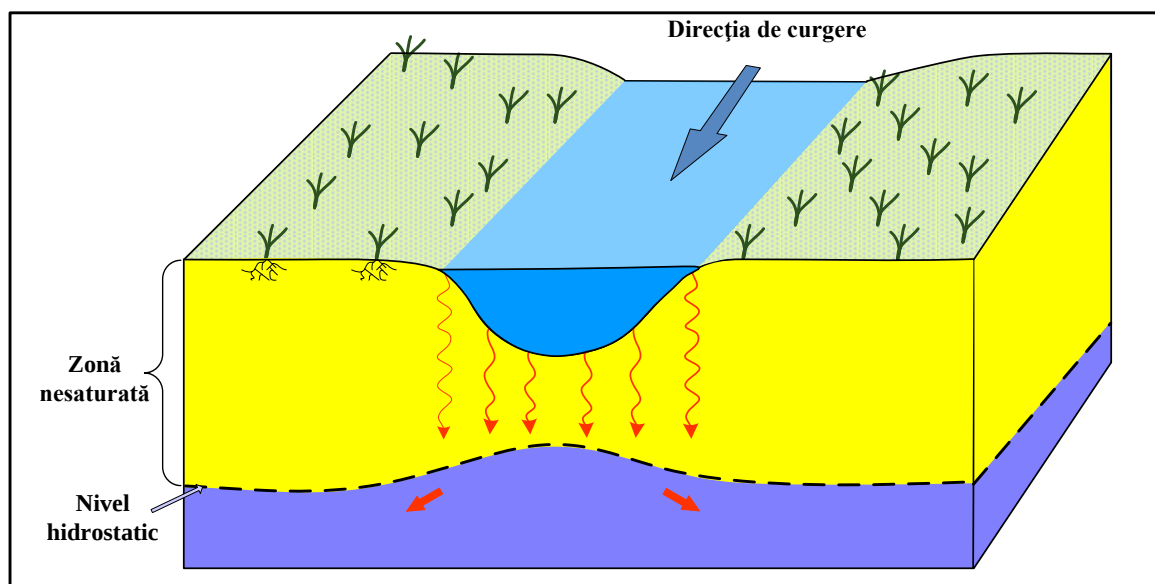


Figura 2.16 – Curs de apă independent în raport cu apa subterană

În cadrul succesiunii sezoniere, datorită cantității variabile de precipitații, topirii zăpezii și formării viiturilor pe rețeaua hidrografică, un curs de apă se poate afla succesiv în fiecare din stările 1 și 2. Natura relației hidraulice dintre cele două elemente este dictată de cota apei în albie și implicit de debitul de apă (figurile 2.17 și 2.18).

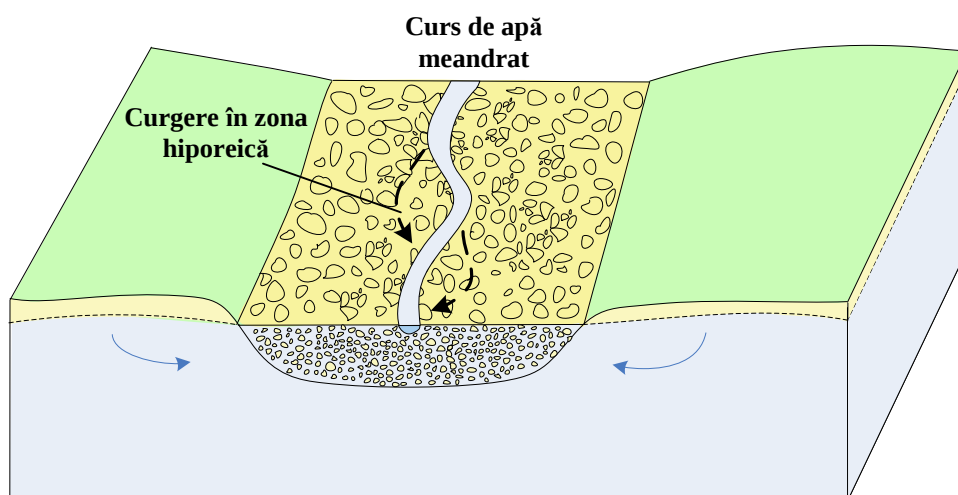


Figura 2.17 – Interacțiunea în cadrul zonei hiporeice la debite mici

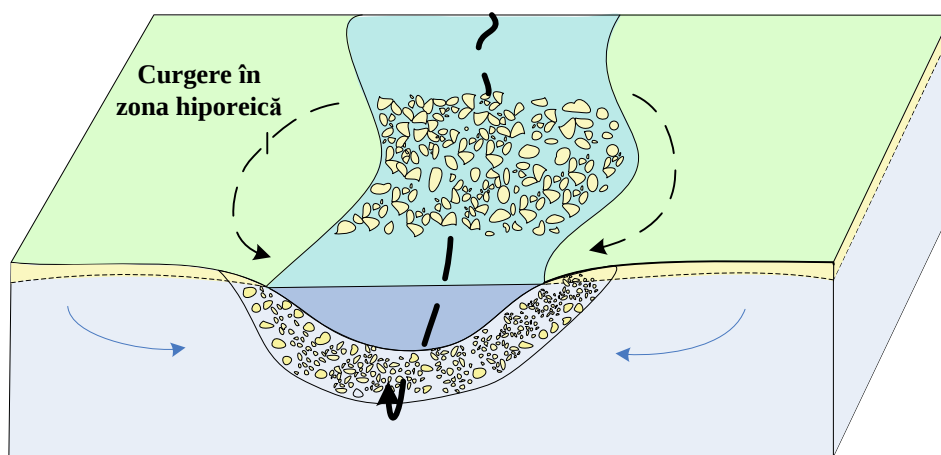


Figura 2.18 – *Interacțiunea în cadrul zonei hiporeice la debite mari*

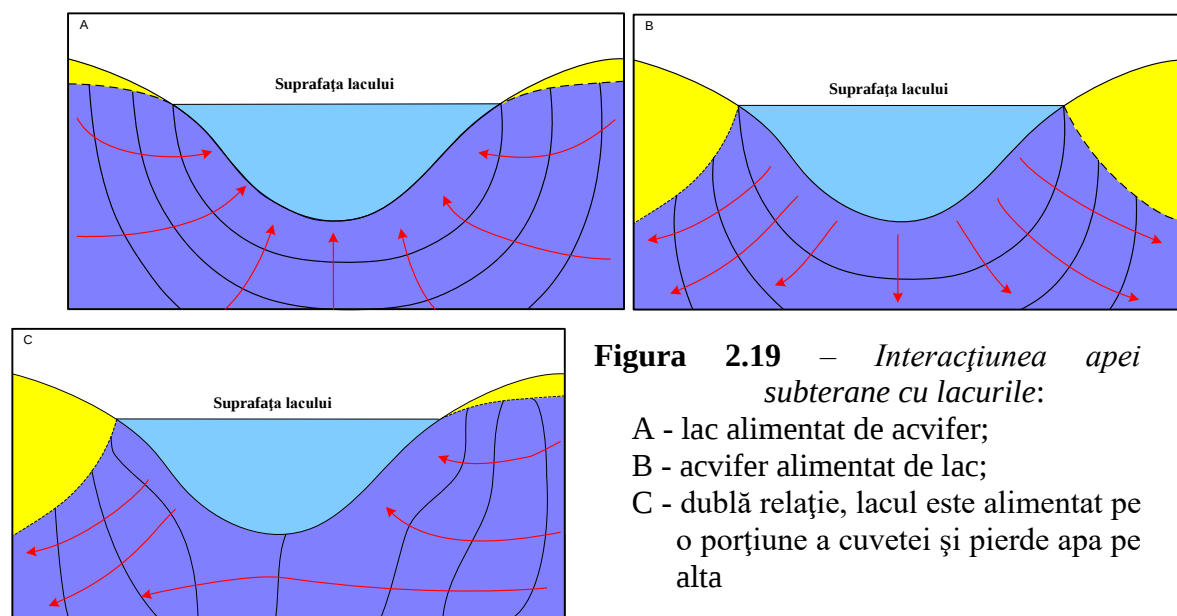
Exploatarea acviferelor freatice, aflate în legătură hidrolică cu apele de suprafață, influențează direct natura acestei legături. Pomparea unui debit mic de apă dintr-un foraj sau dintr-un grup mic de foraje are efecte locale asupra spectrului curgerii subterane, dar aceste efecte pot avea natură regională în situația în care debitele exploatate sunt mari și numărul forajelor crește semnificativ. Captarea acviferelor în vecinătatea rețelei hidrografice nu numai că privează local alimentarea acestuia din subteran, dar în anumite situații curgerea își schimbă sensul, apa de suprafață alimentând acviferul și în consecință forajul de captare.

Aceste aspecte sunt de mare importanță atunci când se urmărește calitatea apei subterane extrase. Dacă distanțele dintre foraje și apele de suprafață sunt foarte reduse, din punct de vedere calitativ, apa pompată din acvifer este comparabilă cu apa de suprafață. Conexiunea acviferului freatic cu apele curgătoare, precum și fluctuațiile de debit și de regim de curgere au un impact semnificativ în zona hiporeică. Organismele din această zonă sunt dependente de această relație și de cantitatea de apă existentă în materialul aluvionar, în imediata vecinătate a suprafeței terenului.

Interacțiunea apei subterane cu lacurile

Natura relației dintre apele subterane și lacuri poate fi descrisă prin considerarea următoarelor situații:

- lacuri care primesc aport de apă subterană pe toată suprafața cuvetei lacustre (figura 2.19, A);
- lacuri care pierd apă prin infiltrare (alimentează acviferul) pe toată suprafața cuvetei lacustre (figura 2.19, B);
- cea mai frecventă situație – lacuri care sunt alimentate în anumite zone ale cuvetei, dar care sunt drenate în alte zone (figura 2.19, C).



Spre deosebire de apele curgătoare, nivelul apei în lacuri (neamenajate antropic) este relativ constant, în cazul lor, un rol mai important îl are evaporarea apei. Datorită genezei diversificate pe care o pot avea lacurile (glaciare, tectonice, vulcanice, de baraj natural, fluviale, litorale etc.), acestea pot avea relații cu sisteme de curgere subterană foarte complexe. O altă caracteristică o constituie natura sedimentelor lacustre. În cazul acestora, ponderea mare pe care o are fracțiunea organică, cu permeabilitate mai redusă, poate reduce amplitudinea pe care o are comunicarea hidrolică cu subteranul, în raport cu rețeaua hidrografică.

Interacțiunea apelor subterane cu cele de suprafață, în cadrul zonelor umede

Zonele umede iau naștere în condiții de climat sau relief, caracterizate de o legătură activă cu apele subterane, în care drenajul rapid al apei de la suprafața terenului este împiedicat. Ca și în cazul lacurilor sau apelor curgătoare, natura relației apă subterană – apă de suprafață poate fi descrisă astfel: zone care primesc aport de apă din subteran, zone care alimentează structurile acvifere și zone în care relația se manifestă în ambele sensuri.

Spre deosebire de lacuri și ape curgătoare, un rol esențial în circulația apei în cadrul zonelor umede, îl joacă vegetația specifică acestora.

Interacțiuni de natură chimică între apele subterane și apele de suprafață

Caracteristicile chimice ale apelor în bazinele de drenaj au două elemente determinante fundamentale – *natura materialului geologic* din care este alcătuit terenul și *durata contactului* apei cu acest substrat.

Principalele reacții chimice care definesc caracteristicile biologice și geochemice ale unui bazin sunt:

- reacțiile acid-bază;
- precipitarea și dizolvarea mineralelor;

- sorbția și schimbul ionic;
- reacțiile de oxido-reducere;
- biodegradarea;
- disoluția și exsoluția gazelor.

În timpul procesului de infiltrare a apei, microorganismele din sol influențează semnificativ evoluția caracterului chimic al apei. Materia organică din sol este degradată de microorganisme, rezultând concentrații însemnate de dioxid de carbon dizolvat. Acest proces determină reducerea pH, prin creșterea concentrației de acid carbonic (H_2CO_3), care la rândul său determină o serie de reacții de alterare a mineralelor, rezultând anionul bicarbonat (HCO_3^-). Acolo unde timpul în care apa intră în contact cu terenul este relativ scurt – în cazul acviferului freatic, concentrația de solide dizolvate din apă este relativ redusă. În cazul acviferelor sub presiune, aflate la adâncimi mari, contactul apei subterane cu matricea minerală este mult mai îndelungat, concentrația solidelor dizolvate fiind mai mare. La aceste adâncimi, rolul important pe care îl au microorganismele este preluat de alterarea geochimică.

Reacțiile acid-bază – implică transferul ionilor de hidrogen (H^+) prin intermediul soluțiilor apoase, fiind afectată concentrația substanțelor dizolvate, datorită modificării concentrației de H^+ . O expresie a concentrației de H^+ este pH. Valori mici ale pH reprezintă concentrații mari de H^+ și, reciproc, valori mari ale pH reprezentând concentrații mici de H^+ . În general mobilitatea metalelor (capacitatea lor de a rămâne dizolvate) este condiționată de valori mici ale pH. Creșterea pH determină precipitarea metalelor.

Precipitarea sau dizolvarea metalelor – reacțiile de precipitare determină formarea mineralelor din ioni dizolvați în apă. Ca reacție inversă, dizolvarea este reprezentată de eliberarea în soluție a ionilor din minerale.

Sorbția și schimbul ionic – sorbția reprezintă procesul prin care ionii sau moleculele dizolvate în apă se atașează temporar sau permanent unor suprafețe solide. Exemplu de sorbție: atașarea ionilor cu sarcină pozitivă pe suprafața mineralelor argiloase. Eliberarea ionilor sau moleculelor sorbite în apă se numește desorbție.

Atunci când ionii atașați unei suprafețe sunt înlocuiți de către ioni prezenți în soluție, procesul este cunoscut ca schimb ionic. O grupă de minerale cunoscută pentru capacitatea lor de schimb ionic sunt zeoliții.

Reacții de oxido-reducere – sunt caracterizate de schimbul de electroni prin intermediul soluției. În această reacție, oxidarea (pierderea electronilor) unor elemente este însoțită de reducerea (acceptarea electronilor) de către alte elemente. Bacteriile pot utiliza energia rezultată din oxido-reducere, pentru procesele de descompunere a materiei organice.

Biodegradarea – este descompunerea substanței organice de către organisme, prin utilizarea enzimelor. Microorganismele transformă compușii organici, care furnizează energie și carbon pentru dezvoltarea acestora. Unii compuși, precum hidrocarburile petroliere, pot fi utilizați de către microorganisme direct ca surse de hrană, ele fiind astfel foarte rapid degradate. Rata de biodegradare a unui compus organic, este dependentă de structura sa chimică, de condițiile de mediu și de tipul microorganismelor implicate.

Disoluția și exsoluția gazelor – gazele sunt implicate direct în numeroase reacții geochimice. Unul din cele mai comune gaze este dioxidul de carbon (CO_2), spre exemplu stalactitele se formează în urma ieșirii CO_2 dizolvat din soluție, astfel este generată o creștere a pH și o precipitare a carbonatului de calciu. Alte gaze, care alături de CO_2 , sunt implicate în reacții chimice, sunt: oxigenul, azotul, hidrogenul sulfurat și metanul.

UNITATEA DE ÎNVĂȚARE 3.

RESURSELE DE APĂ SUBTERANĂ



Cuprinsul unității de învățare 3

<i>3.1. Apa disponibilă pentru activitățile umane</i>	38
<i>3.2. Specificul calității diferitelor surse naturale de apă</i>	40
<i>3.3. Apa subterană ca resursă și accesibilitatea acesteia</i>	42

3.1. Apa disponibilă pentru activitățile umane

Istoria dezvoltării civilizației umane este strâns legată de dezvoltarea tehnicilor și mijloacelor de procurare de către om a hranei și apei necesare.

Începând de la momentele din perioada primitivă, când exista tendința triburilor nomade de a se așeza pe malurile apelor, unde au apărut și primele civilizații și sfârșind astăzi, când sistemele de alimentare cu apă – ca parte integrantă a sistemelor de gospodărirea apelor – se întind pe zeci de kilometri, includ lucrări din ce în ce mai sofisticate, pentru a asigura debitul de ordinul zecilor de m^3/s marilor aglomerații urbane, etapele de dezvoltare a tehnicilor gospodăririi apelor coincid cu etapele dezvoltării civilizației umane.

O estimare a volumului de apă al Pământului (Mar del Plate, 1977) relevă că acesta este de cca $1,4 \times 10^9 \text{ Km}^3$ și este repartizat conform datelor din tabelul nr. 3.1.

De remarcat că volumul de apă existent în râuri și lacuri – așa-numitul volum de apă dulce, exploatabil la nivelul tehnicilor actuale de alimentare cu apă, este puțin sub 0,10% din volumul total de apă existent pe Pământ.

Dezvoltarea activității industriale, intensificarea folosirii apei în agricultură, creșterea numerică a populației și a gradului de civilizație sporesc în întreaga lume cerințele de apă.

Volumul total de apă pe Pământ

Tabelul 3.1

Sursă	Procent (%)	Observații
Apa oceanelor – apă sărată	97,30	Posibil a fi folosită pentru consum menajer, industrial sau agricol, numai după tratări costisitoare tehnic și economic. Poate fi o soluție, dar pe plan local.
Apă dulce,	2,70	
- din care:		
a. calotă de gheață și ghețari	77,20	Nu sunt puse încă la punct tehnici de folosire a acestora. Există doar idei.
b. apă subterană (din care peste 2/3 la adâncime mai mare de 750 m).	22,40	Este folosită, dar nu cât ar fi posibil. Presupune mari consumuri energetice.
c. atmosferă	0,04	
d. lacuri naturale	0,35	Acestea au constituit și încă constituie sursa principală de alimentare cu apă.
e. râuri	0,01	

Totuși, încă de pe acum se poate spune că domeniul gospodăririi apelor se confruntă cu mari probleme.

Soluționarea acestora a impus și impune o dezvoltare extensivă, cât și intensivă lucrărilor de gospodărirea apelor.

Sintetizând cele spuse până în prezent se poate afirma că apa constituie unul din elementele indispensabile vieții, ea asigurând condițiile de trai ale oamenilor, plantelor și animalelor totodată, intervenind în cele mai variate activități ale producției, fie ca izvor de forță motrice, sursă de materii prime, unealtă de lucru sau mediu de transport etc.

În același timp, însă, apele pot exercita forțe distructive uriașe. Ca element primordial al mediului înconjurător, apa exercită o influență considerabilă asupra întregii ambianțe.

În cadrul sistemului ecologic și în special în cadrul ecosistemului acvatic apa exercită următoarele funcțiuni care contribuie la menținerea echilibrului ecologic natural:

- *funcția de mediu de viață* pentru fauna și flora acvatică naturală;
- *funcția de alimentare* a faunei sălbatice (apa de băut pentru fauna respectivă);
- *funcția de asigurare a dezvoltării vegetației terestre*, această funcție este exercitată cu prioritate de apa subterană și apele meteorice;
- *funcția de îndepărtare a reziduurilor*, funcție rezultată în urma unor concepții de civilizație prost înțeleasă;
- *funcția de oferire a unor servicii* legate de prezența unor materiale (nisip, pietriș) sau faună (pește, moluște, raci).

În epoca modernă, omenirea a ajuns să solicite, în măsură din ce în ce mai mare resursele de apă, atât prin prelevări pentru diferite folosințe, cât și pentru utilizarea ca emisar pentru evacuarea reziduurilor. În acest stadiu s-a ajuns la constatarea că apa este intim legată de sistemul ecologic terestru, iar pentru menținerea echilibrului acestui sistem și pentru însăși supraviețuirea umanității sunt necesare măsuri de conservare și protecție a hidrosferei, pe plan mondial.

3.2. Specificul calității diferitelor surse naturale de apă

Fiecare tip de sursă prezintă caracteristici proprii, fizico-chimice și biologice, variind de la o regiune la alta în funcție de compoziția mineralică a zonelor străbătute, de timpul de contact, de temperatură și de condițiile climatice etc., cu efect asupra alegerii tehnologiei de tratare adecvate. Pentru același tip de sursă se pot evidenția anumite caracteristici comune, după cum rezultă din cele de mai jos.

Apa de râu. Cursurile de apă (râuri și afluenți) sunt caracterizate, în general, printr-o mineralizare mai scăzută, suma sărurilor minerale dizolvate fiind sub 400 mg/l și formată din biocarbonați, cloruri și sulfatați de sodiu, potasiu, calciu și magneziu. Duritatea totală este, în general, sub 15 grade, fiind formată în cea mai mare parte din duritatea bicarbonată.

Concentrația ionilor de hidrogen (pH-ul) se situează în jurul valorii neutre, fiind cuprinsă între 6,8 și 7,8; dintre gazele dizolvate sunt prezente oxigenul dizolvat (cu saturație între 65 și 95%) și bioxidul de carbon liber (în general sub 10 mg/l).

Caracteristica principală a cursurilor de apă prezintă încărcarea variabilă (uneori apreciabilă) cu materii în suspensie și substanțe organice, încărcare legată direct proporțional de condițiile meteorologice și climatice. Acestea cresc în perioada ploilor, ajungând la un maxim în perioada viiturilor mari de apă și la un minim în perioadele de îngheț, deversarea unor efluenți insuficient epurați a condus la alterarea cursurilor de apă și la apariția unei game largi de impurificatori: substanțe organice greu degradabile, compuși ai azotului, fosforului, sulfului, microelemente (cupru, zinc, plumb), pesticide, insecticide organo-clorurate, detergenți etc.

De asemenea, în multe cazuri se remarcă impurificări accentuate de natură bacteriologică. O particularitate caracteristică a apei din râuri este capacitatea de autoepurare (epurare naturală). Această capacitate este datorată unor serii de procese naturale biochimice, favorizate de contactul aer - apă.

Apa de lac. Lacurile, formate, în general, prin bararea naturală sau artificială a unui curs de apă, prezintă modificări ale indicatorilor de calitate comparativ cu efluentul principal, datorită stagnării apei un anumit timp în lac, insolației puternice și fenomenelor de stratificare (vara și iarna) și destratificare (primăvara și toamna), termică și minerală.

Stagnarea apei în lac conduce la o decantare naturală a materiilor în suspensie, apa lacurilor fiind mai limpede și mai puțin sensibilă la condițiile meteorologice.

Stratificarea termică, combinată, la lacurile adânci, și cu o stratificare minerală, conduce, în perioada de vară și iarnă, la excluderea aproape completă a circulației apei pe verticală. Acest lucru atrage după sine scăderea concentrației oxigenului dizolvat în zona de fund și apariția proceselor de oxidare anaerobă, având drept efect creșterea conținutului în substanțe organice, în săruri de azot și fosfor și uneori apariția hidrogenului sulfurat la fundul lacurilor.

În perioadele de destratificare termică și minerală (primăvara și toamna), are loc o circulație a apei pe verticală și o uniformizare calitativă a apei lacului conducând la îmbogățirea cu substanțe organice și nutrienți (azot și fosfor) și a apei din zona fotică.

Conținutul de substanțe organice și nutrienți, combinat cu insolarea puternică, conduce la posibilitatea dezvoltării unei biomase fito și zooplanctonice apreciabile.

Din cele prezentate mai sus rezultă că apa lacurilor se caracterizează, în general, printr-un conținut mai ridicat în substanțe organice, nutrienți și biomasă planctonică, ce pot avea repercusiuni și asupra unor indicatori organoleptici și fizici: gust, miros, culoare, turbiditate, pH.

Din punct de vedere al tratării apei, acumulările au un efect favorabil asupra calității apei, și anume: reducerea conținutului de suspensii, asigurarea unei temperaturi scăzute și relativ constante, eliminarea pericolului înghețului și formării zaiului.

De multe ori apar și influențe defavorabile, dintre care se pot cita: dezvoltări masive de biomasă, apariția colorației apei, îmbogățire în substanțe naturale.

Tratarea unei astfel de ape trebuie, pe de o parte, să folosească avantajele staționării îndelungate a apei, iar pe de altă parte să rezolve și problemele corectării indicatorilor menționați mai sus.

Apa subterană. Sursele subterane sunt caracterizate, în general, printr-o mineralizare mai ridicată, conținutul în săruri minerale dizolvate fiind, în general, peste 400 mg/l și format, în principal, din bicarbonați, cloruri și sulfați de sodiu, potasiu, calciu și magneziu. Duritatea totală este cuprinsă, în general, între 10 și 20 grade G, fiind formată, în cea mai mare parte, din duritatea bicarbonată.

Concentrația ionilor de hidrogen (pH) se situează în jurul valorii neutre, fiind cuprinsă, în general, între 6,5 și 7,7.

Dintre gazele dizolvate predomină bioxidul de carbon liber, conținutul în oxigen fiind foarte scăzut (sub 3 mg O₂/l).

În funcție de compoziția mineralogică a zonelor străbătute, unele surse subterane conțin cantități însemnate de fier, mangan, hidrogen sulfurat și sulfuri, compuși ai azotului, etc.

S-a considerat a fi sugestivă prezentarea centralizată, pe câte o analiză generală (tabelul 3.2), a diferitelor categorii de apă întâlnite curent, și anume: apă distilată, apă de râu, apă de lac, apă subterană, apă din rețeaua de apă potabilă și apă minerală.

Compararea valorilor diferiților indici de calitate permite, chiar și unui nespecialist, evidențierea specificului diferitelor categorii de apă.

Caracteristicile fizico-chimice (tip) ale diferitelor surse de apă**Tabelul 3.2**

Indicator	Unitatea de măsură	Apă distilată	Apă râu	Apă lac	Apă subterană	Apă potabilă	Apă minerală
Temperatură	$^{\circ}\text{C}$	20	18	13,8	14	19	15
Turbiditate	grade Si O ₂	0	190	3,5	0,7	0	4
Culoare	mg Pt/l	0	17	35	0	0	0
pH	-	5,6	7,85	6,95	7,7	7,7	5,8
Reziduu fix	mg/l	15	325	124	429	235	2030
Suspensii	mg/l	0	395	9	0	1	10
Conductivitate	μS	20	488	231	593	348	3700
Alcalinitate „m”	mval/l	0,15	3,25	1,55	8,15	206	28,70
Alcalinitate „p”	mval/l	0	0,12	0	0	0	0
Duritate totală	grade	0	11,65	4,70	11,96	8,40	54,10
Duritate temporară	grade	0	9,18	4,34	11,96	5,77	54,10
Duritate permanentă	grade	0	2,47	0,36	0	2,63	0
O ₂ dizolvat	mg/l	1,80	8,96	9,66	1,26	7,20	-
Oxidabilitate	mgKMNO ₄ /l	1,58	48,33	28,77	15,24	5,69	8,80
CCO-Cr	mgO ₂ /l	1,30	26,80	9,06	4,04	2,40	9,70
CBO ₅	mgO ₂ /l	8,69	4,96	3,83	0,90	1,20	-
CO ₂ liber	mg/l	0	0	7,37	8,80	6,60	2970
Ca ²⁺	mg/l	0	56	21	39	48	242
Mg ²⁺	mg/l	0	17	8	28	7	88
Na ⁺ + K ⁺	mg/l	6	44	12	99	30	455
Fe ²⁺	mg/l	0	0	0	0,100	0	0
Fe total	mg/l	0	0,50	0,600	0,835	0,031	0,021
Mn	mg/l	0	0,025	0,025	0,100	0	0
Cl ⁻	mg/l	4	46	8	11	37	365
SO ₄ ²⁻	mg/l	0	60	19	6	50	5
HCO ₃ ⁻	mg/l	9	200	95	497	126	1750
CO ₃ ²⁻	mg/l	0	7	0	0	0	0
NH ₄ ⁺	mg/l	0,019	0,296	0,469	6,000	0,051	0,116
NO ₂ ⁻	mg/l	0,003	0,030	0,010	0,004	0	0,016
NO ₃ ⁻	mg/l	0	4,761	0,332	0,455	2,082	0,044
N total mineral	mg/l	0,016	1,314	0,443	5,125	0,510	0,105
PO ₄ ³⁻	mg/l	0,090	0,468	0,010	0,250	0,034	0
P total	mg/l	0,037	0,660	0,023	0,360	0,013	0
SiO ₂	mg/l	0,14	0,9	0,60	1,56	1,50	2,10
H ₂ S	mg/l	0	0	0	3,20	0	0
Fenoli	mg/l	0,0017	0,007	0	0	0,0086	0

3.3. Apa subterană ca resursă și accesibilitatea acesteia

Apele subterane, care prezintă interes pentru alimentarea cu apă, sunt de origine meteorică, ele reprezentând o etapă din ciclul hidrologic al apei în natură.

În timpul în care atmosfera și solul nu erau poluate, apele meteorice și cele de suprafață nu erau nici ele poluate și, ca urmare, nici apele subterane nu erau poluate.

În regim natural, existau ape subterane a căror mineralizare era determinată de natura rocilor ce constituie acviferul și de timpul de tranzit în subteran, dar nu existau modificări ale calității apelor din cauza intervenției omului.

Desigur, au existat întotdeauna factori de risc, așa cum erau closetele din gospodăriile individuale, care nu erau de tip fosă septică vidanjabilă, depozitele de bălegar din apropierea puțurilor domestice, puțurile oarbe în care erau aruncate cadavrele de animale sau gropile în care era pusă la topit cânepa, situații care se mai întâlnesc și astăzi.

Pe măsura industrializării și a chimizării agriculturii, a început poluarea din ce în ce mai intensă a apelor: în prima fază, a apelor de suprafață, iar în faza a doua, a apelor subterane.

În același timp s-a modificat și compoziția apelor de precipitații, constatându-se apariția ploilor acide, ca urmare a noxelor degajate de industrie în atmosferă.

Dacă asupra apelor de suprafață poluate se poate interveni într-o manieră eficientă într-un timp mai mult sau mai puțin scurt, în cazul apelor subterane, poluarea este mult mai complexă și mai gravă, de foarte multe ori imposibil de remediat.

Deosebit de grav este faptul că și multe soluri - prin care se produce infiltrarea apelor de precipitații sau a celor din irigații - ele însele sunt poluate și poluarea apelor subterane se declanșează din momentul în care încep să se producă infiltrațiile.

Dacă nu se intervine în mod ferm, eficient și în timp îndelungat, apa subterană potabilă va fi din ce în ce mai puțină, mai rară și mai scumpă, iar criza de apă potabilă va fi una din cele mai grave din istoria omenirii, cu consecințe greu de prevăzut.

În prezentarea acestor considerente, se au în vedere următoarele aspecte:

- infiltrația și alimentarea acviferelor freatice (granulare, fisural - carstice);
- geochimia apelor subterane în regim natural, aspect din care se poate deduce complexitatea fenomenelor și proceselor fizico-chimice și biologice care determină caracterul apelor subterane, fenomene și procese mult mai complexe și mai grave în cazul factorilor și agenților poluanți. Cum infiltrațiile începe să se producă prin sol, pe suprafața de impluvium, se va acorda atenția corespunzătoare solului.

În cazul în care precipitațiile au valoare mai mică decât capacitatea de infiltrație, apa este absorbită în teren și nu există șiroire.

Infiltrația este factorul cel mai important în hidrogeologie, dar și cel mai greu de evaluat, deoarece scapă măsurătorilor directe prin procedee simple (G. Castany).

Infiltrația deasupra unui prag pluviometric este în funcție de precipitații, iar pragul pluviometric este legat de evapotranspirația reală.

Capacitatea de câmp reprezintă volumul de apă pe care solul îl reține și de la care începe să se producă o curgere sub acțiunea gravitației.

Pluviometria are importanță deosebită, ea guvernând alimentarea în subteran:

- ploile de scurtă durată nu prezintă importanță deosebită pentru alimentarea acviferelor, importanță deosebită având șiroirea;
- mărimea ploilor zilnice: cu cât ploaia este mai de durată, fără a fi torențială și fără să se producă șiroire intensă, cu atât infiltrația este mai mare;
- în decursul unui an, mărimea și intensitatea ploilor variază: există perioade cu precipitații mai abundente și perioade cu precipitații mai reduse.

Există și o infiltrație continuă, care se datorează apelor de suprafață continentale cu regim permanent.

În timpul sezonului rece, infiltrația are valori minime sau este redusă.

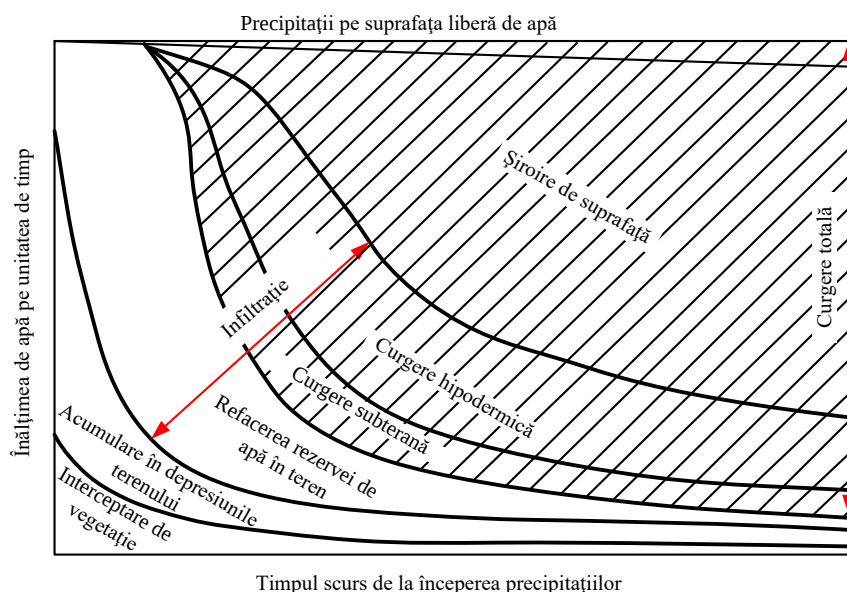


Figura 3.1 – Schema de repartitie a apelor de precipitații (după G. Castany)

În ceea ce privește separarea infiltrației de șiroire, aceasta este influențată de permeabilitatea terenului, de intensitatea și durata ploilor și rezistența la șiroire, întâmpinată la suprafața terenului (panta terenului, rugozitatea și gradul de acoperire cu vegetație).

Infiltrația reprezintă mișcarea apelor de la suprafața terenului și care pătrund în sol, străbaterea zonei nesaturate (cu subzonele de evaporație și tranziție) până la zona de saturație, iar mișcarea apei este predominant verticală.

Analizarea infiltrației evidențiază două aspecte:

- capacitatea de infiltrație sau infiltrația potențială reprezentând fluxul maximal de apă ce se poate infiltra traversând unitatea de suprafață a terenului sau reprezentând capacitatea maximă a unui anumit sol, într-o condiție dată de a absorbi apa de la suprafața terenului, dar numai în situația în care cantitatea de apă de la suprafața terenului este egală sau superioară capacității de infiltrare;
- infiltrația eficace este cantitatea de apă infiltrată de la suprafața terenului, care traversează zona nesaturată și ajunge efectiv la zona saturată: ea constituie fluxul de infiltrație și este componenta principală în bilanțul apelor subterane, cel mai greu de determinat.

La începutul ploii, capacitatea de infiltrare este relativ mare, dar, pe măsură ce umiditatea solului crește, capacitatea de infiltrație scade până la o valoare constantă, iar timpul în care se ajunge la o valoare constantă este variabil, de la minute la ore.

În procesul de infiltrație, apa trece din subzona de evaporație în subzona de tranziție numai în condiția în care capacitatea zonei de evaporație a fost satisfăcută.

Grosimea zonei de tranziție este variabilă, putând depăși 100 m. Ea este mai mare în terenurile foarte permeabile decât în cele cu permeabilitate redusă.

Viteza de infiltrație a apei prin zona de tranziție este guvernată de permeabilitatea terenurilor și de sarcina hidraulică, iar timpul de ajungere la nivelul apei subterane este în funcție și de grosimea zonei de tranziție.

UNITATEA DE ÎNVĂȚARE 4.

RESURSELE DE APĂ SUBTERANE DIN ROMÂNIA



Cuprinsul unității de învățare 4

4.1. Caracterizarea corpurilor de apă subterană.....	48
4.1.1. Identificarea, delimitarea și caracterizarea corpurilor de apă subterană	48
4.1.1.1. Interdependența corpurilor de apă subterană cu apele de suprafață și cu ecosistemele terestre	50

Gospodărirea apelor în România are o lungă tradiție, începând din anul 1924, iar în anul 1975 se pun bazele gospodăririi apelor pe bazine hidrografice, înființându-se Direcțiile de Apă pentru următoarele bazine/spații hidrografice: Someș-Tisa, Crișuri, Mureș, Banat, Jiu, Olt, Argeș-Vedea, Buzău-Ialomița, Siret, Prut-Bârlad, Fluviul Dunărea, Delta Dunării, SH Dobrogea și apele costiere.

Legea Apelor nr. 107/1996 cu modificările și completările ulterioare a definit la nivel național următoarele bazine/spații hidrografice pentru care se elaborează Planurile de Management, și anume: Someș-Tisa; Crișuri; Mureș; Banat; Jiu; Olt; Argeș-Vedea; Buzău-Ialomița; Siret; Prut-Bârlad; Dunăre, Delta Dunării, Dobrogea (inclusiv apele costiere).

Resursele de apă subterană reprezintă volumul de apă care poate fi extras dintr-un strat acvifer, deci volumul de apă exploatabilă. Această noțiune este complexă, deoarece cantitatea de apă ce poate fi furnizată de un strat acvifer depinde de volumul rezervelor și este limitată de posibilitățile tehnice și economice, de conservare și protecție a resurselor.

Rezervele de apă subterană reprezintă volumul de apă gravitațională înmagazinată într-o anumită perioadă sau într-un anumit moment dat într-un acvifer sau rocă magazin. Rezervele sunt condiționate astfel, de structura geologică, adică de geometria acviferului și de porozitatea eficace sau coeficientul de înmagazinare, factor care exprimă volumul de apă liberă în roca magazin.

Rezervele depind exclusiv de datele volumetrice și se exprimă în unități de volum (de regulă, în m³).

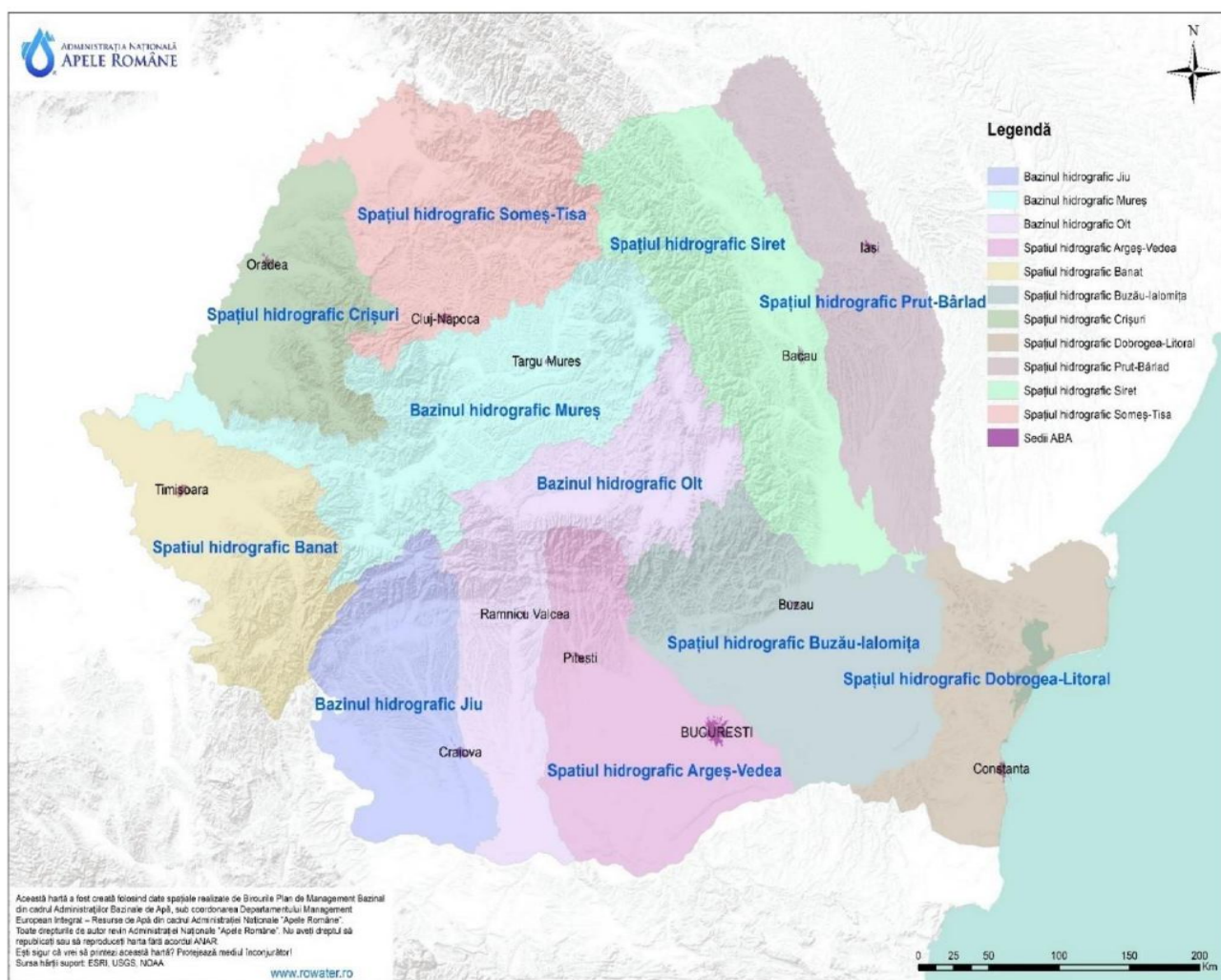


Fig. 4.1. Bazinele/Spațiile hidrografice pentru care se realizează Planurile de Management

Resursele totale de apă subterană din România au fost estimate la **9,68 mld. m³/an**, din care **4,74 mld. m³/an** apele freatice și **4,94 mld. m³/an** de apă subterană de adâncime.

În România, identificarea și delimitarea corpurilor de apă subterană s-a făcut în concordanță cu metodologia specifică de caracterizare a apelor subterane elaborată în cadrul Institutul Național de Hidrologie și Gospodărire a Apelor (INHGA), care a ținut cont de prevederile Directivei Cadru a Apei 2000/60/EC și de Ghidurile elaborate în cadrul Strategiei Comune de Implementare a Directivei Cadru Apă (DCA).

4.1. Caracterizarea corpurilor de apă subterană

4.1.1. Identificarea, delimitarea și caracterizarea corpurilor de apă subterană

Delimitarea corpurilor de apă subterană s-a făcut pentru zonele în care există acvifere semnificative ca importanță pentru alimentări cu apă și anume debite exploatabile mai mari de 10 m³/zi. În restul arealului, chiar dacă există condiții locale de acumulare a apelor în subteran, acestea nu se constituie în corpuri de apă, conform prevederilor Directivei Cadru Apă.

Criteriul geologic intervine nu numai prin vârsta depozitelor purtătoare de apă, ci și prin caracteristicile petrografice, structurale, sau capacitatea și proprietățile lor de a înmagazina apă.

Au fost delimitate și caracterizate astfel corpuri de apă subterană de tip poros-permeabil, fisural și carstic-fisural.

Criteriul hidrodinamic acționează în special în legătură cu extinderea corpurilor de apă.

Astfel, corpurile de apă subterană freatică au extindere numai până la limita bazinului hidrografic, care corespunde liniei de cumpănă a acestora, în timp ce corpurile de adâncime se pot extinde și în afara bazinului.

Starea corpului de apă (cantitativă și chimică) a constituit obiectivul central în procesul de delimitare, evaluare și caracterizare a unui corp de apă subterană.

Corpurile de apă subterană care se dezvoltă în zona de frontieră și se continuă pe teritoriul unor țări vecine au fost definite ca transfrontaliere.

Pe baza datelor obținute ca urmare a studiilor elaborate din anul 2016 până în prezent, în această etapă, a fost actualizată caracterizarea corpurilor de apă subterană prin includerea de noi informații; au rezultat grafice, hărți, modelele conceptuale și matematice de curgere a apei subterane (pentru o parte din corpurile de apă subterană freatică). A fost evaluat gradul de dependență dintre subteran și corpurile de apă de suprafață și ecosistemele asociate (terestre și acvatic), precum și impactul antropic asupra stării corpurilor de apă cu identificarea corpurilor de apă la risc de neatingerea a obiectivelor de mediu.

România, ca stat membru, are obligația realizării și transmiterii de rapoarte către Comisia Europeană, acestea având scopul de a contribui la identificarea unui management unitar al apelor subterane la nivel european. În acest sens, ca și în planurile de management anterioare (2009, 2015) toate corpurile de apă subterană sunt codificate astfel; *exemplu ROBA01: RO – codul României; BA - codul bazinului/spațiului hidrografic (Banat); 01 - numărul corpului de apă subterană din cadrul spațiului hidrografic Banat.*

În România au fost identificate, delimitate și caracterizate un număr de **143 de corpuri de apă subterană**, din care: **115 sunt corpuri de apă subterană freatică**, iar **28 sunt corpuri de apă subterană de adâncime; 17 din totalul acestora au caracter transfrontalier.**



Fig. 4.2. Corpurile de apă subterană la nivel național

Toate caracteristicile semnificative ale corpurilor de apă subterană din România, respectiv: caracteristicile geologice și hidrogeologice, gradul de protecție, modul de utilizare a apei, sursele de poluare și caracterul transfrontalier unde este cazul, sunt sintetizate în Tabelul 4.1. din Planul Național de Management actualizat (2021) al fiecărui bazin/spațiu hidrografic iar caracterizarea detaliată a corpurilor de apă subterană este prezentată în Anexa 4.1 a fiecărui Plan de Management actualizat al bazinului/spațiului hidrografic (2021).

4.1.1.1. Interdependența corpurilor de apă subterană cu apele de suprafață și cu ecosistemele terestre

Analiza interdependenței corpurilor de apă subterană cu apele de suprafață, a fost revizuită în cadrul elaborării *Planului Național de Management actualizat (2021)*.

În vederea corelării cu prevederile Directivei Cadru Apă și a Directivei privind Apele Subterane, pentru evaluarea relației dintre corpurile de apă subterană și ecosistemele terestre asociate a fost realizat studiul privind „Metodologia de analiză a interdependenței dintre corpurile de apă subterană și ecosistemele terestre cu identificarea ecosistemelor terestre direct dependente de apa subterană” (metodologie elaborată de Asociația Hidrogeologilor din România, în anul 2015). În cadrul studiului s-au avut în vedere corpurile de apă subterană la nivelul bazinelor/spațiilor hidrografice, siturile de importanță comunitară din rețeaua Natura 2000, habitatele naturale protejate conform Directivei 92/43/CEE privind conservarea habitatelor naturale și a speciilor de faună și floră sălbatică și tipurile de utilizare a terenului Corine Land Cover (CLC).

Rezultatele aplicării acestei metodologii, prezentate în Planul Național de Management actualizat 2015 și Planurile de Management actualizate ale bazinelor/spațiilor hidrografice 2015, aprobate prin HG nr. 859/2016, sunt incluse în *Anexa 4.2* ale Planurilor de Management actualizate ale bazinelor/spațiilor hidrografice (2021).

În anul 2018 această metodologie a fost completată prin studiul *"Dezvoltarea metodologiei privind ecosistemele terestre dependente de corpurile de apă subterană, precum și analiza interdependenței acestora în conformitate cu prevederile Directivei Cadru Apă 2000/60/EC și a Directivei 2006/118/EC privind protecția apelor subterane împotriva poluării și a deteriorării"* (elaborat de Asociația Hidrogeologilor din România). Pe baza acestui studiu s-a actualizat evaluarea relației dintre ecosistemele terestre și apa subterană având în vedere următorii indicatori:

- ❖ Regimul hidrodinamic al nivelului piezometric în timp (perioada 2000-2017) și spațiu, controlat de:
 - factori naturali:
 - precipitații,
 - temperatură,
 - evapotranspirație,
 - infiltrații etc.;
 - factori antropici:
 - debite exploatare în captări,
 - drenaje etc.

- ❖ Caracteristicile fizico-chimice ale apelor subterane (obținute din rezultatele monitorizării apelor subterane pentru o perioadă de 4 ani, respectiv intervalul 2014-2017) controlate de:
 - factori naturali: comunicarea cu apele de suprafață;
 - factori antropici: poluarea provenită din diverse tipuri de surse.

Aplicarea metodologiei a fost condiționată de datele disponibile pentru fiecare corp de apă subterană și cuprinde două faze/etape:

Faza I: *Evaluarea dependenței ecosistemelor terestre de regimul hidrodynamic al corpurilor de apă subterană;*

Parametrul esențial al regimului hidrodynamic al corpurilor de apă subterană este cota nivelului piezometric a cărui variație în timp și spațiu modifică gradul de dependență al ecosistemelor terestre de apa subterană. Cota nivelului piezometric determină adâncimea la care se află nivelul apei subterane și, în corelație cu adâncimea sistemului radicular, condiționează interdependența apă subterană-ecosistem terestru.

Evaluarea corelației între regimul nivelului piezometric cu ecosistemele terestre s-a realizat având în vedere două aspecte:

- ❖ variația nivelului piezometric în cadrul corpurilor de apă subterană freatiche, în timp și spațiu;
- ❖ corelarea între regimul nivelului piezometric și ecosistemele terestre.

Obiectivul primei părți a metodologiei a fost stabilirea zonelor în care variațiile nivelului piezometric sunt maxime, acestea fiind considerate zone de atenție, în care trebuie monitorizate ecosistemele dependente pentru a consemna modificările de stare semnificative. Astfel, a fost realizată zonarea gradului de dependență al ecosistemelor terestre pentru două poziții extreme ale adâncimii nivelurilor piezometrice (minim și maxim). Cele două adâncimi ale nivelului piezometric permit calculul amplitudinii maxime a variației nivelului hidrostatic pentru perioada analizată care a fost corelată cu prezența captărilor care utilizează apa din corpul de apă subterană studiat. Dacă amplitudinea maximă a variației este redusă se analizează doar harta cu izobate a adâncimii maxime pentru zonarea gradului de dependență al ecosistemelor de regimul hidrodynamic al corpului de apă subterană.

Suprapunerea hărților cu diferite tipuri de habitate peste hărțile cu variația adâncimii nivelului hidrostatic aflat în situațiile extreme (minim și maxim) din întreaga perioadă de analiză (2000-2017), a condus la identificarea ecosistemelor terestre, determinate anterior ca potențial dependente de subteran. Această analiză poate conduce la stabilirea unui program adecvat de monitorizare în vederea obținerii informațiilor necesare protejării/refacerii ecosistemelor terestre dependente de subteran și utilizarea stării acestora ca indicator al regimului hidrodynamic.

Faza a II-a: Evaluarea dependenței ecosistemelor terestre de regimul hidrochimic al corpurilor de apă subterană.

Obiectivul acestei etape este identificarea ecosistemelor terestre aflate în zone de posibil risc din punct de vedere al chimismului apei subterane pentru starea lor de conservare.

Analiza efectului posibil al chimismului apei subterane asupra habitatelor cu care se află în relație s-a bazat pe analiza variabilității spațio-temporale a caracteristicilor fizico-chimice ale apelor subterane care ar putea determina modificări comportamentale semnificative asupra ecosistemelor terestre.

Starea favorabilă/nefavorabilă a ecosistemelor a fost stabilită prin sistemul expert, fără măsurători parametrice realizate periodic într-un sistem de monitorizare stabil. Selectarea caracteristicilor fizico-chimice ale apelor subterane care pot afecta semnificativ ecosistemele este dificil de realizat deoarece nu se pot stabili valori prag pentru anumite caracteristici care să permită identificarea ariilor unde există risc pentru starea de conservare a unor ecosisteme (AHR, 2018).

În aceste condiții a fost utilizat "*Raportul sintetic privind starea de conservare a speciilor și habitatelor de interes comunitar din România*", realizat în anul 2015, în cadrul proiectului "*Monitorizarea stării de conservare a speciilor și habitatelor din România*" de către Institutul de Biologie București (IBB) - Academia Română în parteneriat cu Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor - Direcția Biodiversitate.

În vederea realizării celui de al II-lea obiectiv al metodologiei au fost prelucrate rezultatele analizelor chimice pentru perioada 2014-2017, pentru indicatorii care ar putea influența starea ecosistemelor terestre (AHR, 2018).

Tabel 4.1. Indicatorii care ar putea influența starea de conservare a ecosistemelor terestre

– Cadmiu dizolvat (µg/l);	– Cu dizolvat (µg/l);
– Mercur dizolvat (µg/l);	– Zn dizolvat (µg/l);
– Nichel dizolvat (µg/l);	– Cr dizolvat (Cr3+ + Cr6+) (µg/l);
– Plumb dizolvat (µg/l);	– As dizolvat (µg/l).

Riscul afectării stării de conservare a ecosistemelor crește în zonele unde depășirea valorilor de prag se suprapune peste amplitudinea maximă de variație a cel puțin unui element din cele selectate. Dacă dubla suprapunere este valabilă pentru mai mult de două elemente se impune stabilirea unui program special de monitorizare a ecosistemelor din zona respectivă.

Analiza relației dintre habitatele aferente siturilor de importanță comunitară (SCI) și corpurile de apă subterană a fost completată cu date referitoare la ariile de protecție specială avifaunistică (SPA) având în vedere aspecte prevăzute în Directiva 2009/147/CE privind

conservarea păsărilor sălbatice (Directiva Păsări), după o metodologie proprie, realizată în cadrul INHGA în anul 2020.

Rezultatele aplicării metodologiei la nivelul fiecărui bazin/spațiu hidrografic, respectiv identificarea dependenței dintre corpurile de apă subterană cu nivel liber și siturile de importanță comunitară (SCI), sunt detaliate în Capitolul 4 al *Planurilor de Management actualizate ale bazinelor/spațiilor hidrografice (2021)*.

În urma evaluării relației ecosistem terestru - apă subterană pe baza variației în timp și spațiu a regimului hidrodinamic al corpurilor de apă subterană (Faza I), a rezultat că un procent de 3,02 % din ecosistemele identificate sunt dependente de apă subterană, 27,5 % sunt dependente de apă subterană și de alte surse, 3,8 % prezintă o dependență probabilă de apă subterană și subordonat de alte surse, 1,3 % prezintă o dependență probabilă de alte surse și subordonat de apă subterană, 6,6 % sunt dependente de alte surse, iar pentru 57,6 % nu s-a putut identifica relația ecosistem terestru - apă subterană datorită informațiilor insuficiente (rezultatul analizei nu poate fi confirmat prin prezența unor foraje în cadrul sau imediata apropiere a sitului).

Concluzii privind evaluarea dependenței ecosistemelor terestre de regimul hidrochimic al corpurilor de apă subterană (Faza a II-a), pe baza rezultatelor analizelor chimice ale probelor prelevate în perioada 2014-2017 sunt detaliate pentru fiecare bazin/spațiu hidrografic.

În cazul Administrației Bazinale de Apă **Someș-Tisa**, **nu există ecosisteme aflate la “posibil risc”** deoarece nu există parametri pentru care să se fi înregistrat depășiri ale valorilor prag. În arealul habitatelor cu grad ridicat de dependență de subteran, amplitudinea concentrațiilor unor parametri este medie, valorile maxime situându-se în zone unde nu există habitate. În acest context rezultă ca habitatele care se află în relație cu subteranul nu se află la "posibil risc".

Pentru Administrația Bazinală de Apă **Crișuri**, **nu există ecosisteme aflate la “posibil risc”** deoarece nu există parametri pentru care să se fi înregistrat depășiri ale valorilor prag. În arealul habitatelor cu grad ridicat de dependență de subteran amplitudinea concentrațiilor parametrilor chimici care ar putea afecta starea de conservare a acestora este medie-ridică, valorile maxime situându-se în zone unde nu există habitate. Astfel, habitatele care se află în relație cu subteranul nu se află la "posibil risc".

În cazul Administrației Bazinale de Apă **Mureș**, habitatele care aparțin sitului de importanță comunitară ROSCI0108, aflate în relație cu apă subterană (ROMU20), **ar putea fi considerate la “posibil risc”** pentru starea lor de conservare. Conform metodologiei, în arealul acestora se îndeplinesc condițiile precizate, respectiv se suprapun arealele habitatelor cu cele unde se regăsesc amplitudini ușor mai ridicate ale unor indicatori (fără depășirea valorilor prag) și cu cele unde se înregistrează depășirea valorii prevăzute în standardul de calitate pentru azotați.

În cazul Administrației Bazinale de Apă **Banat**, habitatele care aparțin siturilor de importanță comunitară aflate în relație cu apa subterană **nu sunt considerate la “posibil risc”** pentru starea lor de conservare deoarece în arealul acestora nu sunt îndeplinite condițiile precizate în metodologie.

În urma analizei efectuate în cazul Administrației Bazinale de Apă **Jiu**, pe baza datelor de chimism pentru perioada 2014-2017, habitatele cu codul 91I0, 91F0 și 91M0 dependente de apa subterană (ROJI05) ce aparțin sitului de importanță comunitară ROSCI0045 și habitatele cu codul 91I0, 91F0 și 2160 dependente de apa subterană (ROJI06) ce aparțin sitului de importanță comunitară ROSCI0039 **ar putea fi considerate la “posibil risc”** pentru starea lor de conservare, având în vedere criteriile metodologice.

În cazul Administrației Bazinale de Apă **Olt**, **nu există ecosisteme aflate la “posibil risc”** deoarece nu există parametri pentru care să se fi înregistrat depășiri ale valorilor prag, pentru perioada de analiză 2014-2017. În arealul habitatelor cu grad ridicat de dependență de subteran amplitudinea concentrațiilor parametrilor chimici care ar putea afecta starea de conservare a acestora este medie. În acest context rezultă că habitatele care se află în relație cu subteranul **nu se află la "posibil risc"**.

În situația Administrației Bazinale de Apă **Argeș-Vedea**, habitatele care aparțin siturilor de importanță comunitară aflate în relație cu apa subterană **nu sunt considerate la “posibil risc”** pentru starea lor de conservare deoarece, în arealul acestora nu sunt îndeplinite condițiile metodologice.

În cazul Administrației Bazinale de Apă **Buzău-Ialomița**, habitatele aflate în relație cu apa subterană, **nu pot fi considerate la “posibil risc”** pentru starea lor de conservare deoarece, în arealul acestora nu se îndeplinesc condițiile precizate în metodologie.

În cazul Administrației Bazinale de Apă **Siret**, habitatul 91FO care aparține sitului de importanță comunitară ROSCI0103, aflat în relație de dependență cu apa subterană (ROSI05), **ar putea fi considerat la “posibil risc”** pentru starea lui de conservare. Se îndeplinesc condițiile metodologice prin care au fost identificate suprapuneri ale habitatului cu arealul în care au fost determinate amplitudini ușor mai ridicate la indicatorii amoniu, cupru și local la crom, mercur, nichel și zinc.

În urma analizei efectuate în cazul Administrației Bazinale de Apă **Prut-Bârlad** s-a constatat că zonele unde valorile parametrului azotați depășesc standardul de calitate nu se suprapun cu arealele în care amplitudinile concentrațiilor pentru indicatorii analizați au înregistrat valori maxime și nici cu habitatele dependente de apa subterană. La momentul prezentei analize, în cadrul Administrației Bazinale de Apă Prut-Bârlad, habitatele aflate în relație de dependență de subteran, analizate pe corpurile de apă subterană ROPR03 și ROPR06 **nu sunt considerate la “posibil risc”**

pentru starea lor de conservare. Variația concentrațiilor acestor indicatori se datorează fondului natural al stratelor acvifere și nu activității antropice.

În cazul Administrației Bazinale de Apă **Dobrogea-Litoral**, habitatele care aparțin siturilor de importanță comunitară aflate în relație cu apa subterană **nu sunt considerate la “posibil risc”** pentru starea lor de conservare deoarece, în arealul acestora nu sunt îndeplinite condițiile precizate în metodologie.

Completarea analizei relației dintre habitatele aferente siturilor de importanță comunitară (SCI) și corpurile de apă subterană cu date privind ariile de protecție specială avifaunistică (SPA).

Relația între corpurile de apă subterană și ariile de protecție specială avifaunistică (SPA) a fost realizată pe baza unei metodologii dezvoltată în cadrul INHGA.

Evaluarea dependenței SPA de corpurile de apă subterană a fost abordată în două moduri, ambele bazate pe variația valorilor maxime și minime ale adâncimii nivelului apei subterane; în timp (perioada 2000-2017) și spațiu (corpul de apă subterană), măsurată față de cota terenului:

- ❖ privind legătura SPA cu tipurile de utilizare a terenului (CLC);
- ❖ legătura SPA cu habitatele corespunzătoare siturilor de importanță comunitară (SCI).

Aplicarea primei metode a condus la determinarea gradului de dependență probabilă a ariilor de protecție specială avifaunistică de corpurile de apă subterană prin identificarea relației între tipurile de utilizare a terenului (pajiști, terenuri folosite pentru agricultură, zone cu vegetație naturală, păduri, arbuști) și subteran. Această relație este condiționată de prezența apei subterane între anumite limite în cazul fiecărui tip de utilizare a terenului.

Definiții și metodologie

Ariile de protecție specială avifaunistică (SPA) sunt ariile naturale protejate ale căror scopuri sunt conservarea, menținerea și, acolo unde este cazul, refacerea la o stare de conservare favorabilă a speciilor de păsări și a habitatelor specifice, desemnate pentru protecția de păsări migratoare;

În cadrul INHGA, a fost analizată evaluarea relației dintre corpurile de apă subterană și SPA, având în vedere că speciile avifaunistice pot fi dependente de habitatele specifice în care se dezvoltă. Astfel, dacă habitatele sunt posibil dependente de apa subterană, indirect SPA-urile sunt posibil dependente de corpurile de apă subterană.

Habitatele naturale sunt zonele terestre, acvatice sau subterane, în stare naturală sau seminaturală, ce se diferențiază prin caracteristici geografice, abiotice și biotice, iar habitatul unei specii reprezintă mediul definit prin factori abiotici și biotici, în care trăiește o specie în orice stadiu al ciclului biologic.

Hărțile de distribuție a habitatelor aferente siturilor de interes comunitar (SCI), conform clasificării Natura 2000, sunt caracterizate de o rețea cu celule de 10x10 km. În aceste celule, pe aceeași suprafață, se regăsesc mai multe categorii de habitate suprapuse, fapt care nu se întâlnește în realitate. În acest caz, ariile SPA, a căror relație probabilă cu apa subterană este evaluată funcție de habitatul specific în care trăiesc, sunt analizate în funcție de tipurile de utilizări ale terenului din lista Corine Land Cover (CLC) descrise în cadrul “Metodologiei de analiză a interdependenței dintre corpurile de apă subterană și ecosistemele terestre cu identificarea ecosistemelor terestre direct dependente de apa subterană în conformitatea cu prevederile DCA 2000/60/EC și D2006/118/EC”, realizată în anul 2015 de către Asociația Hidrogeologilor din România.

Tabel 4.2. Tipurile de utilizări ale terenului CLC și relația de dependență de apă subterană

Cod CLC	Tip de utilizare a terenurilor	Tip de dependență
231	Pajiști	A 0-2, B 2-4, C >4
243	Teren ocupat în mare parte de agricultura, cu zone semnificative de vegetație naturală	A 0-4, B 4-8, C >8
244	Zonele agro-forestiere	A 0-4, B 4-8, C >8
311	Păduri de foioase	A 0-10, B 10-20, C >20
312	Păduri de conifere	A 0-10, B 10-20, C >20
313	Păduri de amestec	A 0-10, B 10-20, C >20
321	Pajiști naturale	A 0-2, B 2-4, C >4
324	Zone de tranziție cu arbuști	A 0-4, B 4-8, C >8
331	Plaje, dune și nisipuri	A 0-2, B 2-4, C >4
333	Areale cu vegetație rară	A 0-2, B 2-4, C >4

Notă: Tipurile de dependență față de apa subterană determinate în funcție utilizările terenurilor:

- ❖ A - dependență probabilă;
- ❖ B - dependență puțin probabilă;
- ❖ C - dependență probabilă de alte surse.

Metodologia de determinare a interdependenței indirecte a ariilor SPA de apa subterană constă în următoarele etape:

- ❖ suprapunerea ariilor de protecție specială avifaunistică (SPA) peste corpurile de apă subterană freatiche;
- ❖ calculul suprafețelor corespunzătoare intersecției ariilor de protecție specială avifaunistică (SPA) cu corpurile de apă subterană freatiche;
- ❖ selectarea arealelor cu suprafețe mai mari de 10 km² (dintre cele rezultate din suprapunerea ariilor de protecție specială avifaunistică (SPA) cu suprafața corpurilor de apă subterane freatiche și suprapunerea acestora peste harta cu distribuția spațială a utilizării terenului (CLC)) care vor fi analizate în continuare;
- ❖ suprapunerea distribuției spațiale a arealelor care fac obiectul analizei peste harta cu zonarea adâncimii nivelului hidrostatic;

- ❖ identificarea utilizărilor terenului de pe suprafața fiecărui SPA și a condițiilor de dependență aferente;
- ❖ identificarea gradului de dependență a culturilor din cadrul utilizărilor terenului CLC de corpurile de apă subterană, astfel fiind determinată dependența ariilor de protecție specială avifaunistică.

A doua metodă a constatat în determinarea gradului de dependență a ariilor de protecție specială avifaunistică (SPA) de acviferele freatice, utilizând rezultatele obținute în studiul privind relația dintre habitatele aferente siturilor de importanță comunitară (SCI) și corpurile de apă subterană, realizat anterior. Concluziile obținute în urma acestei analize sunt prezentate în continuare:

A.B.A. Someș - Tisa

Pe teritoriul Administrației Bazinale de Apă Someș - Tisa s-au identificat 9 arii de protecție specială avifaunistică (SPA) aflate pe corpuri de apă subterană freatice; în urma analizei se observă că, din suprafața ariilor de protecție specială avifaunistică (SPA) 27.5 % ar putea fi în relație cu corpul de apă subterană și doar 10 % ar putea fi analizată pe baza informațiilor privind relația habitatelor aferente siturilor de importanță comunitară (SCI) cu apa subterană.

A.B.A. Crișuri

Pe teritoriul Administrației Bazinale de Apă Crișuri s-au identificat 14 arii de protecție specială avifaunistică (SPA) aflate pe corpuri de apă subterană freatice; din suprafața acestora 33 % ar putea fi în relație cu corpul de apă subterană și doar 13 % ar putea fi analizată pe baza informațiilor privind relația habitatelor aferente siturilor de importanță comunitară (SCI) cu apa subterană.

A.B.A. Mureș

Pe teritoriul Administrației Bazinale de Apă Mureș s-au identificat 26 de arii de protecție specială avifaunistică (SPA) aflate pe corpuri de apă subterană freatice.

În urma analizei se observă că, din suprafața ariilor de protecție specială avifaunistică (SPA), 7 % ar putea fi în relație cu corpul de apă subterană și doar 2,4 % ar putea fi analizată pe baza informațiilor privind relația habitatelor aferente siturilor de importanță comunitară (SCI) cu apa subterană.

A.B.A. Banat

Pe teritoriul Administrației Bazinale de Apă Banat s-au identificat 34 de arii de protecție specială avifaunistică (SPA) aflate pe corpuri de apă subterană freatice; din suprafața ariilor de protecție specială avifaunistică (SPA), 19 % ar putea fi în relație cu corpul de apă subterană și doar 8,5 % ar putea fi analizată pe baza informațiilor privind relația habitatelor aferente siturilor de importanță comunitară (SCI) cu apa subterană.

A.B.A. Jiu

Pe teritoriul Administrației Bazinale de Apă Jiu s-au identificat 13 arii de protecție specială avifaunistică (SPA) aflate pe corpuri de apă subterană freatică. În urma analizei se observă că, în cazul ABA Jiu, din suprafața ariilor de protecție specială avifaunistică (SPA), 41 % ar putea fi în relație cu corpul de apă subterană și doar 21,5 % ar putea fi analizată pe baza informațiilor privind relația habitatelor aferente siturilor de importanță comunitară (SCI) cu apa subterană.

A.B.A. Olt

Pe teritoriul Administrației Bazinale de Apă Olt s-au identificat 21 de arii de protecție specială avifaunistică (SPA) aflate pe corpuri de apă subterană freatică; **din suprafața** ariilor de protecție specială avifaunistică (SPA), 14 % ar putea fi în relație cu corpul de apă subterană și doar aproape 2 % ar putea fi analizată pe baza informațiilor privind relația habitatelor aferente siturilor de importanță comunitară (SCI) cu apa subterană.

A.B.A. Argeș - Vedea

Pe teritoriul Administrației Bazinale de Apă Argeș - Vedea s-au identificat 23 de arii de protecție specială avifaunistică (SPA) aflate pe corpuri de apă subterană freatică.

În urma analizei se observă că, în cazul ABA Argeș-Vedea, din suprafața ariilor de protecție specială avifaunistică (SPA), 20 % ar putea fi în relație cu corpul de apă subterană și doar 6 % ar putea fi analizată pe baza informațiilor privind relația habitatelor aferente siturilor de importanță comunitară (SCI) cu apa subterană.

A.B.A. Buzău – Ialomița

Pe teritoriul Administrației Bazinale de Apă Buzău-Ialomița s-au identificat 56 de arii de protecție specială avifaunistică (SPA) aflate pe corpuri de apă subterană freatică; **dintre acestea** 28 % ar putea fi în relație cu corpul de apă subterană și doar 11 % ar putea fi analizată pe baza informațiilor privind relația habitatelor aferente siturilor de importanță comunitară (SCI) cu apa subterană.

A.B.A. Siret

Pe teritoriul Administrației Bazinale de Apă Siret s-au identificat 17 arii de protecție specială avifaunistică (SPA) aflate pe corpuri de apă subterană freatică; **din suprafața** ariilor de protecție specială avifaunistică (SPA), 22 % ar putea fi în relație cu corpul de apă subterană și doar 6,6 % ar putea fi analizată pe baza informațiilor privind relația habitatelor aferente siturilor de importanță comunitară (SCI) cu apa subterană.

A.B.A. Prut - Bârlad

Pe teritoriul Administrației Bazinale de Apă Prut - Bârlad s-au identificat 32 de arii de protecție specială avifaunistică (SPA) aflate pe corpuri de apă subterană freatică.

În urma analizei se observă că, din suprafața ariilor de protecție specială avifaunistică (SPA), 73 % ar putea fi în relație cu corpul de apă subterană și doar 14,5 % ar putea fi analizată pe baza informațiilor privind relația habitatelor aferente siturilor de importanță comunitară (SCI) cu apa subterană.

A.B.A. Dobrogea Litoral

Pe teritoriul Administrației Bazinale de Apă Dobrogea Litoral s-au identificat 44 de arii de protecție specială avifaunistică (SPA) aflate pe corpuri de apă subterană freatică. **În urma analizei se observă că, din suprafața** ariilor de protecție specială avifaunistică (SPA), 14 % ar putea fi în relație cu corpul de apă subterană și doar 6 % ar putea fi analizată pe baza informațiilor privind relația habitatelor aferente siturilor de importanță comunitară (SCI) cu apa subterană.

Concluzii privind evaluarea dependenței ariilor de protecție specială avifaunistică (SPA) de corpurile de apă subterană

Aplicarea primei metode a condus la determinarea gradului de dependență probabilă a ariilor de protecție specială avifaunistică de corpurile de apă subterană prin identificarea relației între tipurile de utilizare a terenului (pajiști, terenuri folosite pentru agricultură, zone cu vegetație naturală, păduri, arbuști) și subteran. Această relație este condiționată de prezența apei subterane între anumite limite în cazul fiecărui tip de utilizare a terenului.

Prin selectarea ariilor de protecție specială avifaunistică care se suprapun pe o suprafață mai mare de 10 km² pe un corp de apă subterană freatic a rezultat un număr de 161 de SPA-uri care au fost analizate. În urma analizei efectuate a rezultat că 67 % dintre *ariile naturale protejate desemnate pentru protecția speciilor de păsări migratoare sălbatice sunt dependente probabil de apa subterană și subordonat de alte surse*, 9 % prezintă dependență probabilă de alte surse și subordonat de apa subterană, iar pentru 24 % informațiile au fost insuficiente.

A doua metodă a constatat în determinarea relației între ariile de protecție specială avifaunistică (SPA) și subteran pe baza identificării gradului de dependență dintre habitatele aferente siturilor de importanță comunitară (SCI) și corpurile de apă subterană, realizată anterior.

S-a observat faptul că anumite suprafețe din ariile de protecție specială avifaunistică (SPA) sunt suprapuse peste situri de importanță comunitară (SCI) pe care se află mai multe tipuri de habitate, cu grade diferite de dependență de subteran. Dificultatea întâmpinată în utilizarea rezultatelor analizei realizate anterior, respectiv evaluarea relației habitat-subteran, privind interacțiunea dintre ariile de protecție specială avifaunistică (SPA) și apa subterană, constă în faptul că în cazul unor situri de importanță comunitară (SCI), în același areal se pot afla mai multe tipuri de habitate (habitatele Natura 2000 sunt reprezentate printr-o rețea pătratică cu latura de 10 km) cu grade diferite de dependență de subteran.

În urma analizei distribuției spațiale a ariilor de protecție specială avifaunistică a rezultat faptul că din suprafața de intersecție a SPA - urilor cu corpurile de apă subterană, doar pe 37 % sunt suprapuse situri de importanță comunitară (SCI) care ar putea conduce la determinarea relației SPA-subteran funcție de gradul de dependență al habitatelor care aparțin SCI-ului. **Din suprafața** ariilor de protecție specială avifaunistică (SPA), 18 % ar putea fi în relație cu corpul de apă subterană și doar 7 % ar putea fi analizată pe baza informațiilor privind relația habitatelor aferente siturilor de importanță comunitară (SCI) cu apa subterană.

Metodologia de lucru prezentată anterior, **bazată pe relația ariilor de protecție specială avifaunistică (SPA) cu tipurile de utilizări ale terenului (CLC 2000), conduce la obținerea informațiilor privind dependența indirectă a ariilor de protecție specială avifaunistică (SPA) de apa subterană.**

Toate informațiile privind relația corpurilor de apă subterană cu ecosistemele acvatice și terestre asociate, completate cu **date privind ariile de protecție specială avifaunistică** existente la nivelul bazinelor/spațiilor hidrografice din România sunt incluse în capitolele 4.1.1. ale *Planurilor de Management actualizate* ale bazinelor/spațiilor hidrografice (2021).

UNITATEA DE ÎNVĂȚARE 5.

PROPRIETĂȚI FIZICE ALE TERENURILOR ȘI ALE APEI SUBTERANE



Cuprinsul unității de învățare 5

5.1. Caracteristicile substratului geologic	62
5.1.1. Granulozitatea	62
5.1.2. Porozitatea	62
5.1.3. Conținutul volumic de apă și densitatea aparentă	64
5.2. Caracteristicile apei subterane	65
5.2.1. Greutatea specifică și compresibilitatea apei	66
5.3. Caracteristicile interacțiunii terenului cu apa subterană	67
5.3.1. Umiditatea terenului	67
5.3.2. Fenomenul de capilaritate	68
5.3.3. Conductivitatea hidraulică.....	69
5.3.4. Capacitatea de înmagazinare/cedare a acviferelor	70

Înțelegerea dinamicii și proceselor caracteristice necesită cunoașterea proprietăților fizice ale apei și ale substratului prin care aceasta se deplasează (mediul geologic).

Alături de caracteristicile climatice ale unei zone, proprietățile substratului geologic/pedologic (compoziție, tip genetic, structură, procese secundare care au afectat acel mediu) definesc activitatea apelor subterane în arealul respectiv.

Vor fi tratate, în mod distinct, proprietățile apei, proprietățile matricei minerale și cele care descriu interacțiunea fluidelor cu aceasta din urmă.

5.1. Caracteristicile substratului geologic

5.1.1. Granulozitatea

Granulozitatea terenurilor reprezintă variația dimensională a fragmentelor constitutive, clasele dimensionale se determină prin sitare, exprimându-se apoi ponderea procentuală a fiecărei clase. În cazul materialelor neconsolidate, dimensiunea granulelor minerale reprezintă o caracteristică fundamentală a terenului în corelație cu dinamica fluidelor. Dimensiunea și forma granulelor determină geometria porilor, care pot fi umpluți cu apă și prin care se efectuează circulația acesteia. În mod convențional, anumite clase granulometrice standard sunt definitorii în clasificarea sedimentelor, astfel:

- $> 2\text{ mm}$ – bolovăniș, pietriș, grohotiș (*Psefite*);
- $2\text{ mm} - 0,063\text{ mm}$ – nisipuri (*Psamite*);
- $0,063\text{ mm} - 0,004\text{ mm}$ – praf, loess (*Aleurite*);
- $< 0,004\text{ mm}$ – măr, argilă (*Pelite*).

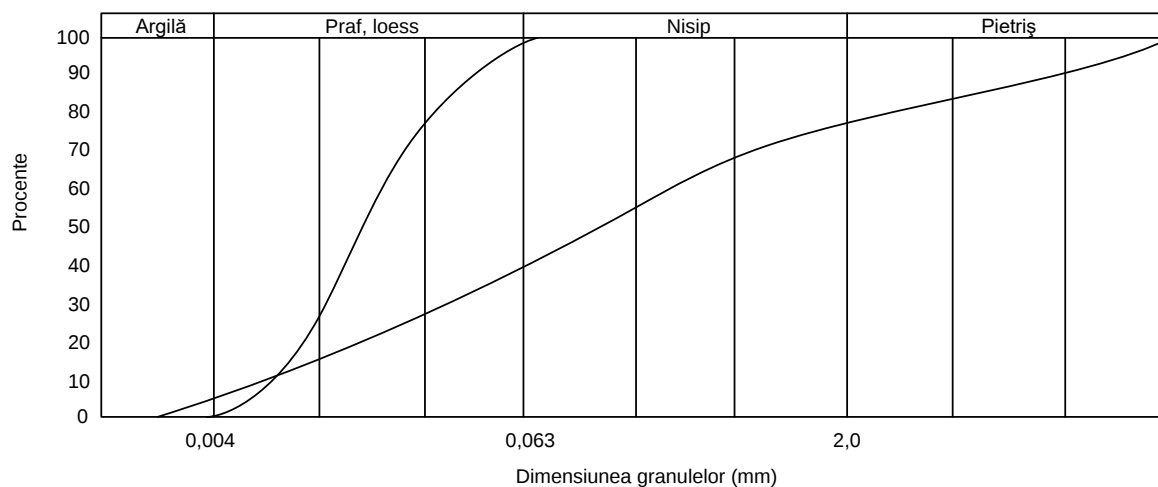


Figura 5.1 – Curba granulometrică pentru 2 probe

În afara dimensiunii fragmentelor ce formează terenul permeabil, o serie de alte caracteristici morfologice sunt determinante. Acestea sunt cuantificate printr-o serie de coeficienți sau parametri (coeficient de neuniformitate, coeficient de sortare, diametru efectiv, suprafață specifică etc.) care descriu mult mai fidel condițiile mediului depozitional și/sau contextul geologic în care s-au format depozitele sau rocile acvifere.

5.1.2. Porozitatea

Porozitatea unui teren sau a unei roci, este reprezentată de volumul total al golurilor existente în mediul respectiv, care, în mare parte, asigură permeabilitatea acestuia. Termenul, folosit inițial pentru a desemna spațiul intergranular din rocile sau depozitele detritice, a fost extins și asupra rocilor fisurate, de origine sedimentară, magmatică sau metamorfică (calcare, granite,

bazalte, andezite, micașturi etc.). Astfel, porozitatea reprezintă raportul dintre goluri și volumul total al terenului.

$$n = \frac{V_g}{V_t} \cdot 100 \quad (5.1)$$

Unde:

n – porozitate;

V_g – volumul golurilor;

V_t – volumul total.

Parametrul este adimensional, luând valori între 0 și 1; uneori este exprimată procentual (5.1).

În funcție de modul/momentul în care se formează, porozitatea poate avea un caracter *primar* – în cazul în care se ia naștere odată cu acumularea sedimentelor, diagenază etc., sau *secundar* – generată de fisurarea, fracturarea, dizolvarea, cristalizarea, deshidratarea constituenților terenului. Procesele ce determină porozitatea secundară pot acționa în sensul creșterii sau diminuării porozității în raport cu cea inițială, primară.

O parte din golurile existente în rocă nu sunt interconectate. Nu întregul volum al golurilor este disponibil pentru circulația fluidelor. În acest sens, se utilizează noțiunea de *porozitate activă*, ce definește raportul dintre volumul golurilor prin care se poate realiza circulația efectivă a apei și volumul total al terenului. Ea mai poate fi exprimată ca raport între volumul de apă liberă pe care un mediu poros saturat îl eliberează sub efectul unui drenaj complet și volumul total al terenului. Diferența dintre cele două porozități, cea totală și cea activă, este reprezentată de *porozitatea de retenție*, care cuantifică practic volumul golurilor între care nu există comunicare și care nu participă la formarea permeabilității.

$$n = n_a + n_c \quad (5.2)$$

Ponderea porozității de retenție crește cu reducerea granulației, o argilă cu porozitate de 50% poate avea o porozitate de retenție de 48% (Scrădeanu, D., Gheorghe, Alex.)

Valori tipice ale porozității pentru diferite materiale

Tabelul 5.1

Material	Porozitate n (%)
Silturi, nisipuri, pietrișuri slab sortate	30 - 50
Silturi, nisipuri, pietrișuri bine sortate	20 - 35
Argile	35 - 60
Gresii	5 - 30
Calcare, dolomite	0 - 40
Șist argilos	0 - 10
Roci cristaline	0 - 10

5.1.3. Conținutul volumic de apă și densitatea aparentă

Conținutul volumic de apă al terenului este raportul dintre spațiul ocupat de apă pentru un volum dat de material:

$$\theta = \frac{V_a}{V_t} \quad (5.3)$$

Unde:

θ - conținut volumic de apă;

V_a – volumul apei;

V_t – volumul total al materialului.

Ca și porozitatea, acest parametru este adimensional, el este exprimat uneori sub forma procentuală. În situația la limită în care terenul este saturat cu apă, conținutul volumic de apă este egal cu porozitatea, pentru terenuri nesaturate, acesta va avea întotdeauna valori inferioare.

Un alt parametru este *densitatea aparentă*, reprezentând raportul dintre masa părții solide și volumul acesteia:

$$\rho_a = \frac{m_s}{V_t} \quad (5.4)$$

Unde:

ρ_a - densitatea aparentă;

m_s – masa părții solide;

V_t – volumul total.

Densitatea aparentă totală (în stare umedă) este echivalentă cu cea în stare uscată, dar conține, alături de masa părții solide, și masa apei:

$$\rho_a = \frac{m_s + m_a}{V_t} \quad (5.5)$$

Unde:

m_a – masa apei.

O relație grafică între porozitate, capacitatea de retenție specifică, porozitatea eficace în funcție de diametrul granulelor este prezentată în figura 5.2.

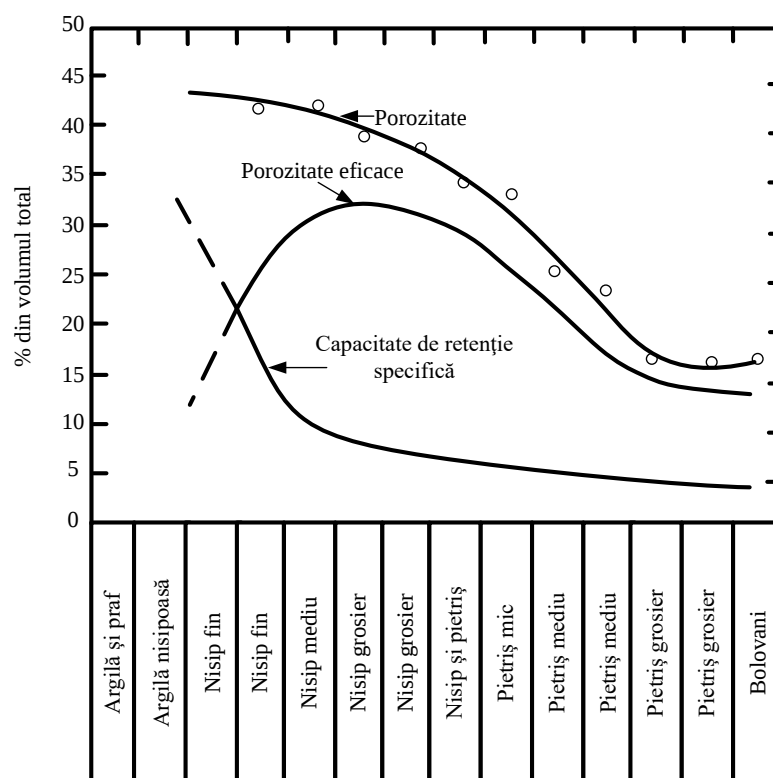


Figura 5.2 – *Variația porozității, a capacității de retenție specifică și a porozității eficace în funcție de diametrul granulelor (după Eckis din G. Castany)*

5.2. Caracteristicile apei subterane

Apa în stare naturală este formată din molecule de apă, conținând urme de ioni dizolvați sau molecule. Proprietățile fizice ale apei rezultă din interacțiunile existente la scară moleculară. Moleculele de apă au un caracter polar, sarcinile pozitive fiind localizate în vecinătatea atomilor de hidrogen, iar cele negative în vecinătatea atomului de oxigen (figura 5.3). Această asimetrie stă la baza forțelor de atracție ce caracterizează *legătura de hidrogen*. Polaritatea și forțele de atracție existente între moleculele de apă stau la baza caracteristicilor acestora din punct de vedere al *vâscozității*, *tensiunii superficiale* și *capilarității*.

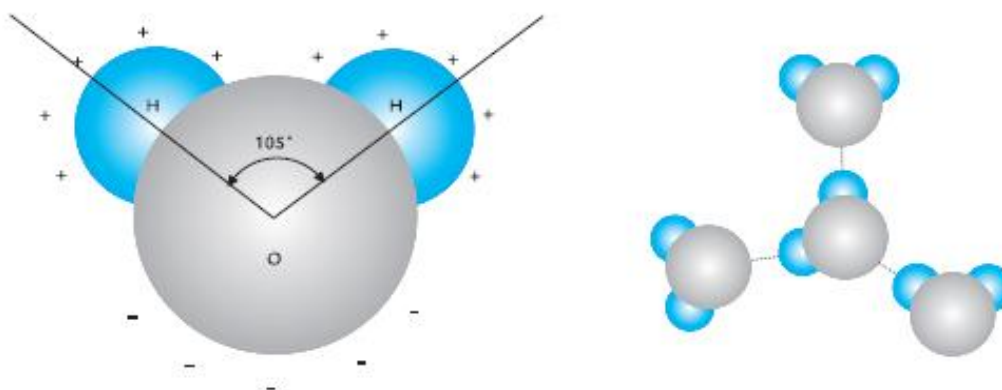


Figura 5.3 – *Geometria moleculei de apă și legăturile de hidrogen dintre molecule*

În scoarța terestră apa se găsește într-una din următoarele stări specifice:

- **În stare de vapori** – se găsește în zona vadoasă, dinamica ei fiind controlată de distribuția presiunilor.
- **Legată fizic** – menținută de forțele de atracție moleculară (de natură electrostatică), care se manifestă la contactul particulelor cu moleculele de apă. În funcție de nivelul energetic deosebim *apa higroscopică* și *apa peliculară*, aceasta din urmă se poate deplasa între particule în funcție de grosimea peliculei de apă din jurul fiecărei particule.
- **Legată chimic** – ea poate fi *apă de cristalizare*, caracterizată de prezența moleculei H_2O , și *apă de constituție*, caracterizată de prezența grupării hidroxil (OH). Mineralele hidratate cedează apa la temperaturi maxime de $300 - 400^{\circ}C$, iar mineralele hidroxilice pierd apa la temperaturi ce pot ajunge la $1300^{\circ}C$, odată cu distrugerea moleculei.
- **Apa capilară** – este menținută în pori și fisuri de către forțele de capilaritate. În funcție de poziția în profilul terenului și umiditatea acestuia deosebim: apă capilară suspendată; apă capilară mobilă; apă capilară discontinuă; apă capilară legată.
- **Liberă** – este considerată hidrodinamic activă și include *apa gravitațională* și *apa capilară mobilă*.
- **În stare solidă** – are un caracter sezonier și se formează până la *adâncimea de îngheț* (cca 0,4 m pentru București și cca 1,2 m în zonele montane din România).

5.2.1. Greutatea specifică și compresibilitatea apei

Greutatea specifică a unui fluid este reprezentată de produsul dintre densitatea acestuia și accelerația gravitațională a locului:

$$\gamma = \rho g \quad (5.6)$$

Unde:

□□□□ greutatea specifică

□□□□ densitatea

g – accelerația gravitațională.

Pentru apa pură, la $4^{\circ}C$, densitatea este egală cu $1g/cm^3$, la presiunea de 1 atmosferă. Densitatea apei, care atinge valoarea maximă, convențional, la $4^{\circ}C$, scade cu variația temperaturii (tabelul 5.2).

Valori tipice ale densității și volumului apei pentru diverse temperaturi (după G. Castany)

Tabelul 5.2

<i>Temperatura</i> [°C]	<i>Densitatea</i>	<i>Volumul</i>
0	0,99986	1,00013
4	1	1
10	0,99972	1,00027
20	0,99823	1,00177
30	0,99567	1,00434
40	0,99224	1,00782
50	0,98807	1,01207

Apa este considerată practic incompresibilă, în realitate are o compresibilitate scăzută. Sub acțiunea presiunii exercitate asupra ei, apa își modifică volumul după următoarea lege:

$$\frac{\Delta V}{V_0} \cdot \varepsilon = -\Delta p \quad (5.7)$$

Unde:

ΔV - variația volumului;

V_0 - volumul inițial;

ε - modulul de elasticitate al apei;

Δp - presiunea suplimentară produsă de reducerea volumului.

Inversul modulului de elasticitate este coeficientul de compresibilitate:

$$\beta = \frac{1}{\varepsilon} \quad (5.8)$$

Apele slab mineralizate au un coeficient de compresibilitate ce variază între $4,6 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$ și $5,0 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$.

5.3. Caracteristicile interacțiunii terenului cu apa subterană

5.3.1. Umiditatea terenului

Terenurile permeabile, în stare naturală, prezintă un conținut variabil de apă. În acvifer, umiditatea terenului este maximă, formațiunea fiind saturată cu apă. Umiditatea terenului în zona nesaturată depinde de o serie de factori, cei mai importanți sunt: capacitatea de infiltrare a acestuia și condițiile climatice ale zonei.

Umiditatea terenului se exprimă prin: umiditatea masică (w), umiditatea volumică (w_v) sau gradul de saturație (S_r).

Umiditatea masică reprezintă raportul dintre greutatea apei și greutatea rocii în stare uscată:

$$w = \frac{G_a}{G_s} \quad (5.9)$$

Unde:

w – umiditatea masică;

G_a – greutatea apei;

G_s – greutatea rocii în stare uscată.

Umiditatea volumică este raportul dintre volumul apei și volumul total al rocii:

$$w_v = \frac{V_a}{V} \quad (5.10)$$

Unde:

W_v – umiditatea volumică;

V_a – volumul apei;

V – volumul rocii.

Gradul de saturație reprezintă raportul dintre volumul apei din pori și volumul porilor:

$$S_r = \frac{V_a}{V_p} \quad (5.11)$$

Unde:

S_r – gradul de saturație;

V_a – volumul apei din pori;

V_p – volumul porilor.

Cel mai utilizat parametru pentru exprimarea umidității terenurilor este gradul de saturație.

Domeniul de variație al acestui parametru este 0 – 1 (0 pentru terenuri uscate, 1 pentru acvifere). În funcție de valoare, rocile pot fi clasificate în patru grupe (Scrădeanu, D., Gheorghe, Alex.):

- roci uscate – $S_r < 0,4$;
- roci umede – $0,4 < S_r < 0,8$;
- roci foarte umede – $0,8 < S_r < 0,9$;
- roci saturate – $0,9 < S_r < 1$.

5.3.2. Fenomenul de capilaritate

Fenomenul de capilaritate este condiționat de existența porilor cu diametrul mai mic de 0,5 mm, și a unui grad de saturație subunitar (caracteristic zonei nesaturate). Când aceste condiții sunt îndeplinite, datorită potențialului capilar diferit, se produce migrarea apei. Această migrație a apei se poate manifesta în orice direcție. Cea mai evidentă este ascensiunea capilară, ce apare în vecinătatea suprafeței piezometrice, care generează *zona capilară*. Grosimea acestei zone este

invers proporțională cu granulația terenului – se apreciază grosimi ale acestora de 2,5 cm pentru pietrișuri și 700 cm pentru silturi.

5.3.3. Conductivitatea hidraulică

Conductivitatea hidraulică este o proprietate a mediului poros saturat care determină relația, numită *legea lui Darcy*, între debitul specific și gradientul hidraulic care provoacă mișcarea.

Legea lui Darcy:

$$U = K \cdot i \quad (5.12)$$

Unde:

K – conductivitatea hidraulică;

i – gradientul hidraulic;

U – viteza de filtrare.

De aici rezultă semnificația atribuită în mod curent conductivității hidraulice – *viteza de filtrare la un gradient hidraulic unitar*.

Conductivitatea hidraulică este determinată de: permeabilitatea intrinsecă a formațiunii geologice, proprietățile fizice ale apei, gradul de saturație al formațiunii.

Pentru o formațiune geologică conductivitatea hidraulică K este:

$$K = \frac{K_p \gamma}{\mu} \quad (5.13)$$

Unde:

K_p – permeabilitatea intrinsecă;

γ – greutatea volumică a apei;

μ – vâscozitatea dinamică a apei.

Unitatea de măsură a acestui parametru este similară cu a vitezei (cm/s, m/zi), domeniul de variație al conductivității hidraulice este între 10^{-9} – 10^{-6} cm/sec. pentru argile și 10^{-2} – 1 cm/sec. pentru pietriș sortat (C.W. Fetter, 1994).

Un teren, atinge valoarea maximă a conductivității hidraulice în condiții de saturare. Valoarea acesteia este proporțională cu presiunea hidrostatică, care în mediul nesaturat este negativă.

În mod frecvent, mediul geologic este neomogen, această neomogenitate este generată de particularitățile procesului de sedimentare, multitudinea de procese postsedimentare etc. Datorită acestui aspect, în astfel de terenuri, conductivitatea hidraulică are caracter anizotrop (o variația a valorii parametrului cu direcția). În situația în care terenul permeabil este omogen, conductivitatea hidraulică are valoare constantă în toate direcțiile (comportament izotrop).

5.3.4. Capacitatea de înmagazinare/cedare a acviferelor

Volumul de apă acumulat într-un strat este proporțional cu porozitatea activă a acestuia, la care se adaugă volumul datorat compresibilității apei și terenului, datorită presiunii exercitate de apă.

Evaluarea capacității de înmagazinare/cedare se face prin intermediul coeficienților de înmagazinare/cedare absolută și eficace (M. Albu):

$$S = \frac{\partial}{\partial p}(\gamma \cdot n \cdot h) \quad (5.14)$$

$$S_e = \frac{\partial}{\partial p}(\gamma \cdot n_a \cdot h) \quad (5.15)$$

Unde:

p – presiunea;

γ greutatea specifică;

n – porozitatea totală;

n_a – porozitatea activă;

h – grosimea saturată cu apă.

În cazul *acviferelor freatice*, datorită efectului neglijabil al presiunii, volumul de apă acumulat este egal cu porozitatea activă.

$$S_e = n_a \quad (5.16)$$

În cazul *acviferelor sub presiune*, variația presiunii existente determină variații ale greutateii specifice, porozității și grosimii acviferului. Acestea nu pot fi neglijate. Coeficientul de înmagazinare va fi (Jacob, Cooper):

$$S = \rho_{apă} \cdot g(\alpha + n \cdot \beta) \cdot M \quad (5.17)$$

Unde:

$\rho_{apă}$ – densitatea apei;

g – accelerația gravitațională;

α - compresibilitatea scheletului mineral;

n – porozitatea totală;

β - compresibilitatea apei;

M – grosimea acviferului.

Dacă se raportează coeficientul de înmagazinare la unitatea de grosime a acviferului, acesta devine *coeficient specific de înmagazinare*, reprezentând cantitatea de apă pe unitatea de volum a acviferului care este înmagazinată/cedată datorită creșterii/reducerii unitare a presiunii:

$$S_s = \rho_{apă} \cdot g(\alpha + n \cdot \beta) \quad (5.18)$$

Unitatea de măsură uzuală este 1/m, având valori de ordinul $10^{-5} - 10^{-3} \text{ m}^{-1}$.

Coeficientul de înmagazinare/cedare se utilizează în evaluarea resursei elastice a acviferelor, semnificativă în cazul acviferelor cu extindere regională și presiuni mari.

UNITATEA DE ÎNVĂȚARE 6.

CARACTERISTICILE GENERALE ALE HIDROSTRUCTURILOR



Cuprinsul unității de învățare 6

<i>6.1. Distribuția apelor subterane</i>	72
6.1.1. Forme de apă din scoarța terestră	72
6.1.2. Zonarea umidității pe verticală	73
<i>6.2. Acviferul</i>	74
6.2.1. Identificarea geologică a acviferelor	74
6.2.2. Structura și funcțiile acviferului	80
6.2.3. Comportamentele acviferelor	81
6.2.4. Tipuri de acvifere	82
6.2.5. Zonalitatea verticală a acviferelor într-un bazin hidrogeologic	84
6.2.6. Cunoașterea acviferului	84
<i>6.3. Hidrostructuri în diferite tipuri de formațiuni</i>	85
6.3.1. Caracterizarea hidrogeologică a bazinelor sedimentare	85
6.3.2. Caracterizarea acviferelor aluvionare	85
6.3.3. Masivele vechi	86
6.3.4. Formațiunile vulcanice	86
6.3.5. Regiunile carstice	86
<i>6.4. Geochimia apelor subterane</i>	87
6.4.1. Generalități	87
6.4.2. Evoluția compoziției apelor subterane	93

6.1. Distribuția apelor subterane

6.1.1. Forme de apă din scoarța terestră

Apa subterană acumulată în scoarța pământului, în pori, fisuri sau în golurile rocilor și provine din infiltrarea precipitațiilor atmosferice sau a apelor curgătoare superficiale, precum și din condensarea subterană a vaporilor de ape din atmosferă sau din masele magmatice se găsește în diferite stări de agregare:

- apa în stare de vapori;

- apa legată fizic sau apa de retenție;
- apa legată chimic;
- apa capilară;
- apa liberă sau hidrodinamic activă;
- apa în stare solidă;
- apa în stare supracritică.

6.1.2. Zonarea umidității pe verticală

Într-o secțiune prin teren se deosebesc următoarele zone:

a. Zona nesaturată cu trei subzone:

- a.1 - *subzona de evaporație*, care conține aer și vapori de apă, cu grosime de 1-2m, la partea superioară a profilului de sol mișcarea apei fiind descendentă și ascendentă;
- a.2 - *subzona de tranziție*, ce cuprinde apa suspendată și apa peliculară; mișcarea apei este predominant descendentă;
- a.3. - *subzona franjurilor capilare* a zonei cu apa capilară.

Zona nesaturată corespunde zonei de oxidare sau de alterare în care au loc procese de dizolvare-diluție;

b. Zona de saturație, cu două subzone:

- b.1 - *subzona franjurilor capilare*, partea inferioară a ei, cu apă capilară;
- b.2 - *apa subterană*.

Figura 6.1 – Zonalitatea sol/apă subterană
(adaptare după B.R.G.M.)

Zona de saturație corespunde zonei de cimentare, o parte din substanțele dizolvate depunându-se sub formă de carbonat de calciu, dioxid de siliciu etc., producându-se o cimentare a golurilor din roci, îngreunând circulația apelor subterane.

6.2. Acviferul

Acviferul este zona saturată cu apă a unei formațiuni permeabile, prin care poate avea loc o curgere semnificativă (conductivitatea hidraulică, $K > 0,1 \text{ m/zi}$) a curentului de apă.

6.2.1. Identificarea geologică a acviferelor

Prin studiu geologic se identifică formațiunile litostratigrafice și condițiile structural-tectonice care pot oferi condiții pentru existența apelor subterane. Studiul completat cu informații asupra apelor subterane evidențiază formațiunile hidrogeologice.

Formațiunile geologice permeabile pot constitui zăcămintele de ape subterane sau acvifere, iar caracteristicile geochemice ale acviferului influențează și determină calitatea apelor.

Alimentarea, înmagazinarea și curgerea apelor subterane sunt generate - primordial - de condițiile geologice.

Identificarea unui acvifer se face pe bază de criterii geologice, hidro dinamice și hidrochimice.

Un acvifer este un sistem hidrogeologic, care se identifică prin:

- un domeniu spațial subteran limitat și continuu care constituie rezervorul;
- configurația lui: contur, volum, natura și limitele geologice;
- localizarea în profunzime: cota și adâncimea limitelor geologice;
- structura lui: constituția litologică și condițiile structural-tectonice.

Noțiunea „corp de apă” este insuficientă și ea nu poate înlocui noțiunea de „acvifer”.

Semnificativ în acest sens este exemplul de sistem acvifer multistrat din figura 6.2.

Ansamblul condițiilor geologice, hidrogeologice și hidrochimice permite identificarea și delimitarea unei formațiuni hidrogeologice: ea este o formațiune lito-stratigrafică având funcții globale vizavi de înmagazinarea și curgerea apelor subterane. În acest sens, se pot deosebi:

- o formațiune hidrogeologică simplă/elementară - un acvifer - constituită din roca magazin, un acoperiș - sau o zonă nesaturată - și un substrat (patul) impermeabil sau semipermeabil;
- o combinație de formațiuni hidrogeologice permeabile, semipermeabile sau impermeabile constituind un acvifer multistrat (stratele de Frățești);
- combinarea a numeroase formațiuni hidrogeologice care determină o structură hidrogeologică;
- hidrostructurile carstice ce constituie sisteme aparte datorită atât condițiilor de existență a apelor subterane, cât și regimului de curgere al apelor.

Caracteristica esențială a unei formațiuni geologice este gradul de permeabilitate, deosebindu-se trei categorii de roci: permeabile, semipermeabile și impermeabile.

Formațiunile permeabile pot constitui zăcămintele de ape subterane sau acvifere.

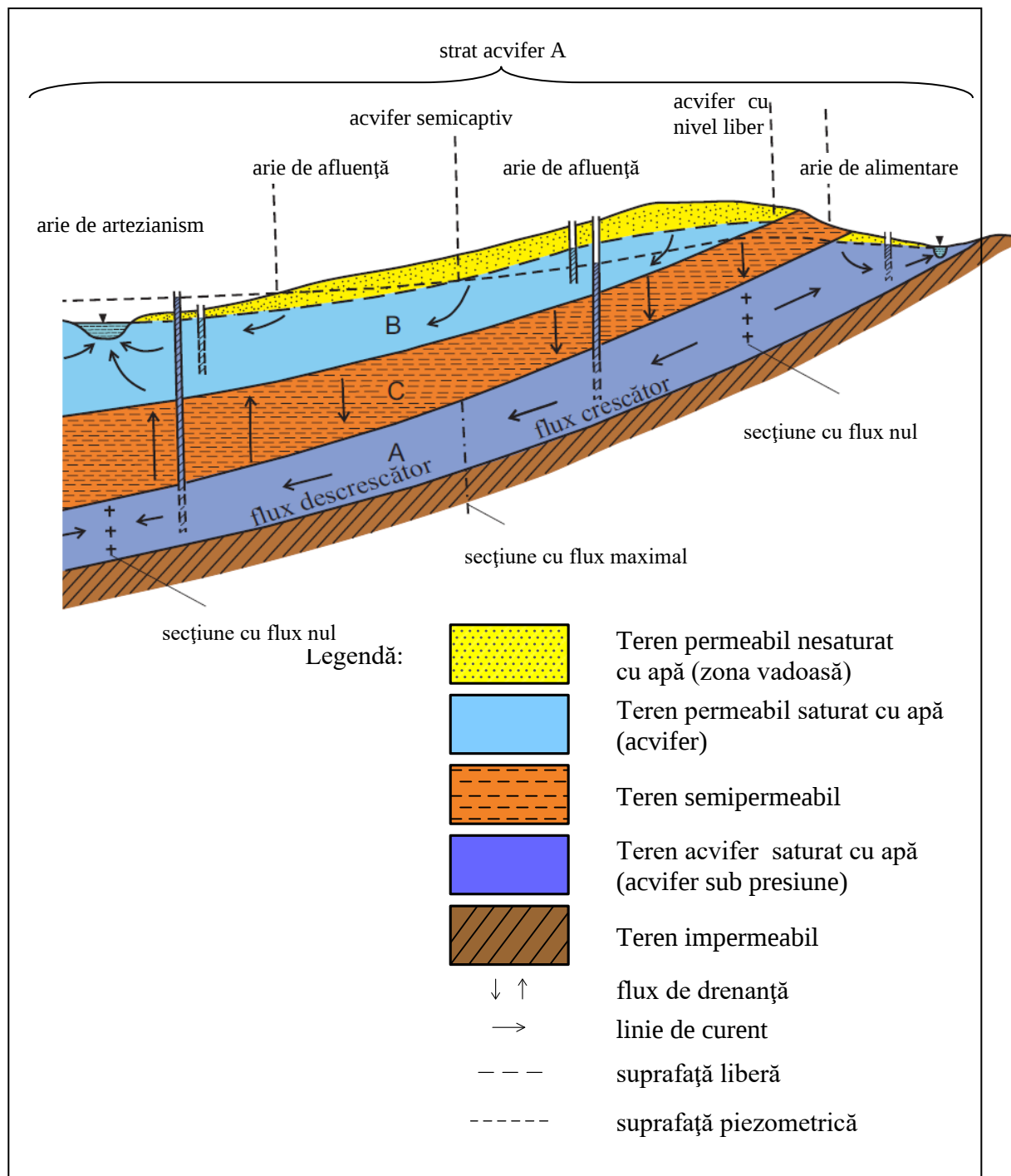


Figura 6.2 – Sistem acvifer multistrat. Exemplu de sistem cu două acvifere: cu acvifer A semicaptiv alimentat și care se descarcă numai prin drenanță prin intermediul stratului semipermeabil C dinspre sau înspre acviferul cu nivel liber B (adaptare după B.R.G.M.)

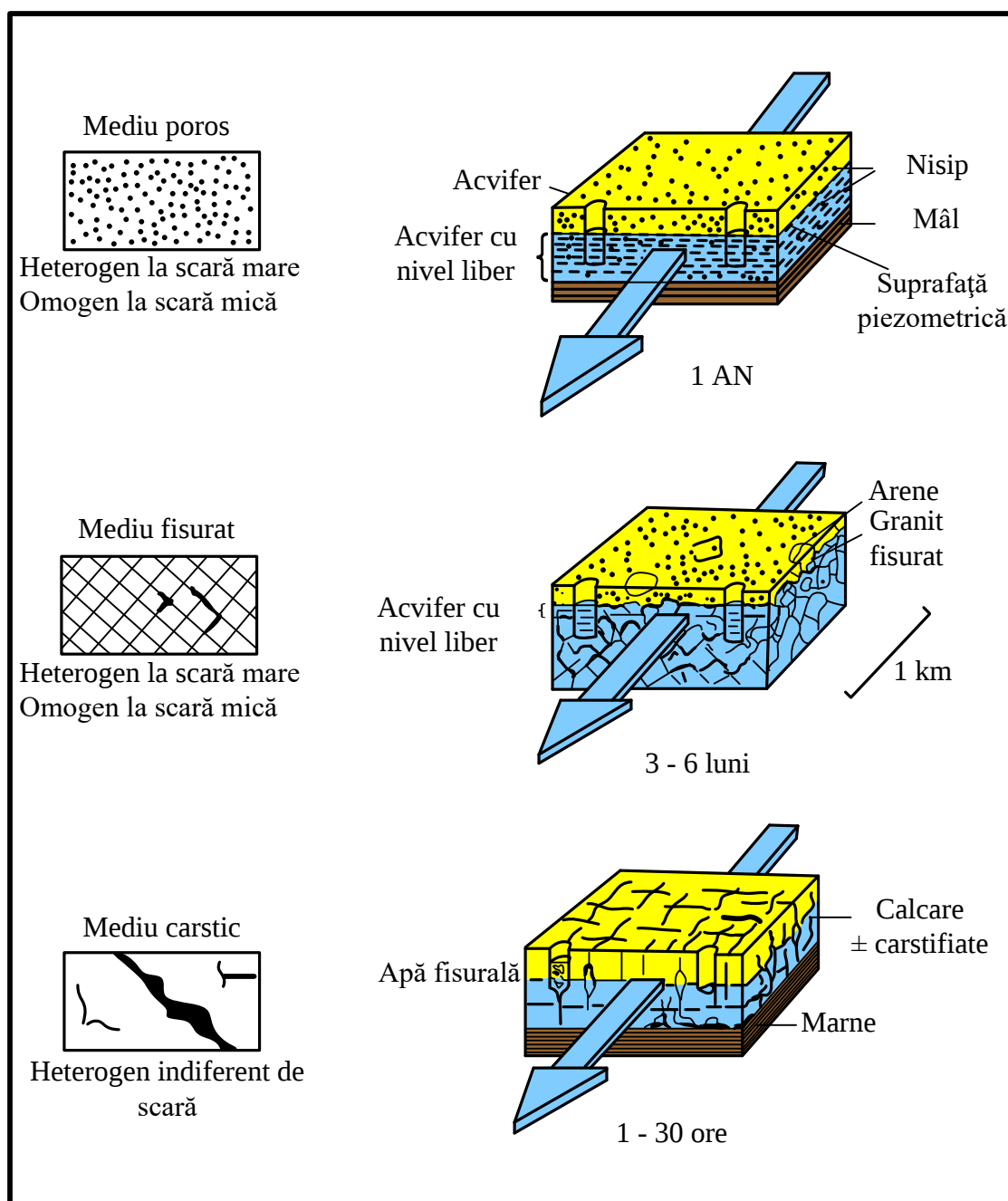


Figura 6.3 – Heterogenitatea fizică a acviferelor și variabilitatea vitezelor de curgere (după Drogué 1971 din A.L. Barrés și J.Cl. Roux)

Formațiunile impermeabile determină limitele geologice ale acviferelor.

Formațiunile semipermeabile sunt la originea acviferelor multistrat, ele favorizând drenanța.

În general, acviferele dintr-un bazin sedimentar constituie un complex unitar - bazinul hidrogeologic - în care circulațiile verticale sunt adesea importante, putând predomina asupra curgerilor laterale.

Structurile geologice din bazinele sedimentare (unități structural-tectonice, unități litofaciale) determină localizarea în profunzime a extensiei spațiale a acviferelor.

În acest sens, pentru localizarea în profunzime a acviferelor se analizează:

- coloana litologică: situarea în profunzime a acviferelor este determinată de succesiunea verticală, în alternanță, a formațiunilor permeabile, impermeabile și semipermeabile, așa cum se constată într-o coloana litostratigrafică;
- limitarea în profunzime a acviferelor: toate formațiunile geologice permeabile ale unui bazin sedimentar pot forma acvifere, iar exploatarea apelor subterane este limitată de adâncimea la care se găsesc, de condițiile de calitate și de considerente economice (zona Călugăreni-Uzunu).

Extensiunea spațială a acviferelor determină zone hidrogeologice, luându-se în considerare următoarele aspecte:

- extensiunea acviferelor este legată de cea a formațiunilor geologice permeabile. Un acvifer este identificat spațial printr-o parte din formațiunea geologică permeabilă dintr-un bazin, bazinul în totalitate sau mai multe formațiuni permeabile. Astfel, este evidentă necesitatea studiilor privind litologia, sedimentologia, paleogeografia și geologia structurală. În unele cazuri, sunt necesare prospecțiuni geofizice;
- caracteristicile geochemice ale acviferului care guvernează compoziția chimică a apelor subterane, determinând calitatea lor. Determinarea calității apelor limitează posibilitățile de exploatare a acviferului (sub adâncimea de 20 m apele minerale carbogazoase de la Bodoc nu mai pot fi exploatate deoarece sunt sărate).
- extensiunea acviferelor, caracteristicile geochemice ale acviferului și regimul de curgere a apelor subterane delimitează zonele hidrogeologice.

În ceea ce privește determinarea volumului util al rezervorului/acviferului, trebuie avute în vedere două caracteristici:

- grosimea utilă obținută prin însumarea formațiunilor permeabile, prin interpretarea coloanei litologice, iar în final prin grosimile formațiunilor permeabile determinate pe baza carotelor/probelor la sită extrase din foraj sau pe baza diagramei de carotaj geofizic;
- conținutul limită tolerat de săruri (CMA) dizolvate în apa subterană.

Acviferul este constituit din două faze: rezervorul și apa subterană și este caracterizat prin structură, funcțiile rezervorului și comportamentul/răspunsul lui la exploatare/solicitare.

Configurația și structura acviferelor permit să se separe trei tipuri hidrodinamic:

- cu nivel liber : acviferele aluvionare, cele din terase și interfluvii;
- semicaptive: pietrișurile de Colentina, nisipurile de Mostiștea, conurile de dejecție;
- captive: stratele de Frățești, Dobrogea de sud.

Rezervorul hidrogeologic are trei funcții:

- înmagazinare;
- conducere;
- mediu de schimb geochemic (faciesul hidrogeologic).

Rezervorul este caracterizat prin condițiile la limită și dimensiunile lui, care-i determină configurația, iar organizarea lui internă îi determină structura.

Procese interne sunt procese hidrodinamice, hidrochimice și hidrobiologice, corespunzătoare celor trei funcții menționate anterior.

Toate aceste aspecte au o variabilitate în spațiu și ele sunt și în funcție de timpul considerat: raportarea lor la o anumită dată sau la o durată medie.

Considerând toate aspectele și procesele care se constată și se produc într-un acvifer, se evidențiază o secvență a ciclului apei subterane în interacțiune cu mediul, ciclu ce caracterizează cuplul impuls - răspuns.

Rezultă că acviferul este o formațiune geologică permeabilă ce permite o curgere importantă a apei subterane prin ea și oferă posibilitatea de captare a unei cantități de apă, în condiții tehnico-economice acceptabile.

Revenind la cele trei tipuri hidrodinamice de acvifere menționate anterior, se va face o scurtă caracterizare a lor referitoare la nivelurile piezometrice caracteristice.

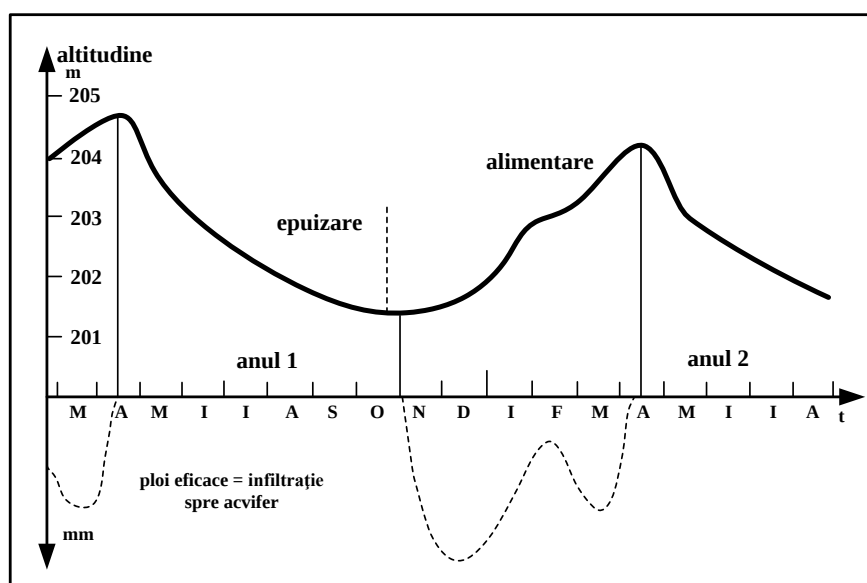


Figura 6.4 – Schema de alimentare și variațiile nivelului piezometric din acvifer (după L.E. Crémille din Andrée Lallemand Barrés și Jean Claude Roux)

Nivelul de apă al primului acvifer - cu nivel liber - este numit convențional nivel piezometric, nivel măsurat într-un foraj. Totalitatea nivelelor piezometrice, măsurate în diferite puncte la un moment dat, determină suprafața piezometrică, ea fiind reprezentată prin hărți cu izolinii, curbe de egal nivel piezometric sau hidroizohipse. Suprafața piezometrică constituie/reprezintă limita superioară a acviferului cu nivel liber/freatic, constituind o limită hidrodinamică, ce se poate coborî sau ridica liber în acvifer.

În acviferele profunde, apele subterane se găsesc în strate permeabile cuprinse între două formațiuni impermeabile: acoperișul și patul. Acviferul suferă o presiune, dirijată de sus în jos, egală cu greutatea coloanei de pământ a cărei densitate medie este 2,5, această presiune geostatică fiind echilibrată de presiunea stratului sau a porozității, care guvernează interiorul acviferului. Atunci când un foraj perforează acoperișul acviferului, înlocuirea greutății terenului printr-o coloană de apă antrenează/determină o scădere de presiune în acvifer, de unde rezultă o decompresiune a acviferului și a apei, care este expulzată, iar nivelul

ei se stabilizează la o altitudine ce reprezintă nivelul piezometric H, determinat prin diferența de sarcină între zona de alimentare și punctul considerat. Acest tip este acviferul sub presiune/captiv. Dacă nivelul piezometric se situează deasupra cotei terenului, apa țâșnește în mod natural și se spune că este arteziană. Ansamblul nivelurilor piezometrice permite să se traseze o suprafață piezometrică fictivă, dar ea nu arată adâncimea apei sub suprafața terenului.

În cazul acviferelor semicaptive - sau cu drenanță - acoperișul și/ sau acviferul sunt adesea constituite din formațiuni semipermeabile, care în anumite condiții hidrodinamice favorabile - diferențe de sarcină - permit schimburi de apă - sau de presiune - cu acviferul suprapus sau subiacent. Fenomenul este denumit drenanță și el implică existența unui acvifer semicaptiv.

În analiza marilor sisteme hidrogeologice și a acviferelor importante, trebuie să se aibă în vedere:

- limitele bazinului hidrogeologic;
- structura formațiunilor geologice și a acviferelor;
- variațiile laterale de facies, lacunele de sedimentare și penele stratigrafice, analizându-se importanța lor în determinarea condițiilor hidrogeologice;
- dispoziția formațiunilor permeabile, care determină marile zone hidrogeologice.

Înclinarea formațiunilor acvifere, cu căderi mici spre interiorul unui bazin sau al unei depresiuni și acoperirea lor succesivă au consecințe asupra regimului apelor subterane, determinând intrarea lor sub presiune, ele putând manifesta artezian în condiții morfologice corespunzătoare, așa cum se constată pe rama vestică a Depresiunii Bârsei la contactul cu munții Perșani.

Ca exemple de mari acvifere multistrat se menționează Straturile de Frățești și Pietrișurile de Gândești.

Din cele menționate anterior, reiese în mod clar că structura geologică o impune pe cea a rezervorului, care poate fi complexă, ca urmare a variațiilor laterale de facies, a prezenței formațiunilor semipermeabile, a lacunelor stratigrafice și a faliilor, care favorizează intercomunicările între acvifere (Dobrogea de sud), dar care pot forma și ecrane impermeabile (horstul Cumpăna - Agigea).

Caracteristicile hidrodinamice - mai ales permeabilitatea - subdivid și împart marile sisteme acvifere, împart și regroupează aceste unități în formațiuni hidrogeologice permeabile, semipermeabile și impermeabile.

Din cele menționate anterior, se constată faptul că, studiul hidrogeologic regional începe prin identificarea formațiunilor și structurilor geologice, acestea determinând proprietățile acviferelor. În mod special, se studiază hărțile litofaciale și hărțile structurale cu izohipse ale acoperișurilor și substraturilor/paturilor, precum și hărțile cu izopahite. Toate aceste elemente permit delimitarea rezervorului, iar pe harta hidrogeologică - din prima fază de studiu - se consemnează repartitia caracteristicilor hidrodinamice și hidrochimice ale acviferelor, date disponibile în faza de studiu preliminar.

6.2.2. Structura și funcțiile acviferului

Acviferul este un complex unic de două componente sau faze, strâns legate între ele și în interacțiune, la care, uneori, se adaugă a treia fază gazoasă (ex. CO₂):

- rezervorul: faza solidă, mediu poros sau fisurat, constituind scheletul solid;
- apa subterană: faza lichidă, a cărei fracțiune liberă (apa gravitațională) alimentează, izvoarele, râurile și captările de ape subterane.

Acviferul multistrat este o combinație/sucesiune de formațiuni semipermeabile intercalate în formațiuni permeabile, constituind un sistem hidrogeologic, deoarece fiecare acvifer semicaptiv nu poate fi considerat în mod independent. Acviferul multistrat prezintă o comportare hidrodinamică proprie.

Un acvifer multistrat, cu structură simplă și cu un mare volum, poate fi asimilat unui acvifer complex unic, el fiind identificat prin grosimea și volumul util al rezervorului.

Funcțiile rezervorului acvifer sunt multiple și ele sunt în interdependență:

- înmagazinare, asociată cu noțiunea de rezervă;
- conducere - traversare - propagare a influențelor, cu rol de conductă liberă în acviferele cu nivel liber și conductă forțată în acviferele sub presiune, asigurând:
 - transportul unor cantități de apă, prin curgere din zona/punctul de alimentare spre punctele/zonile de descărcare/exploatare;
 - transmiterea diferențelor de presiune sau sarcină;
- funcția de schimb, interacțiuni fizico-chimice permanente între rocă și apă, uneori având rol de filtru biologic, cu putere de autoepurare, funcție legată de calitatea apelor.

6.2.3. Comportamentele acviferelor

Comportamentele acviferelor prezintă o importanță deosebită, deoarece ele determină răspunsul la promovarea investițiilor pentru alimentare cu apă din subteran, aceste comportamente fiind impulsul, transferul și răspunsul acviferelor în funcție de condițiile la limită.

Impulsul are trei componente:

- hidrodinamic, legat de rezerva de apă subterană și de fluxul/aportul de cantități de apă sau variații de presiune și sarcină;
- hidrochimic, aport de căldură, substanțe minerale sau organice;
- hidrobiologic reprezentat prin microorganisme.

Este foarte important de reținut că, acviferul prezintă sensibilitate la impactul cu mediul, impact de cele mai multe ori negativ, determinând fie poluarea apelor subterane, fie modificând regimul lor hidrogeologic.

Referitor la comportamentul hidrodinamic, se constată că acviferul suferă la limită influențe hidrodinamice prin aportul unor cantități de apă sau prin variații de presiune/sarcină, de obicei intens și de scurtă durată (în funcție de forma de manifestare a alimentării în subteran). Acest comportament joacă rolul unui regulator/compensator în spațiu și timp, adică are funcții regularizatoare, mai ales pe perioade de timp mai mari -multianuale/decenale. Un an de alimentare excedentară, cu precipitații abundente, poate compensa mulți ani deficitari/secetoși.

Factorii ce influențează comportamentul hidrodinamic sunt:

- condițiile la limită: tipuri de limite, debitul aporturilor și al pierderilor, nivelurile piezometrice;

- variațiile stocurilor de apă sau rezervele regularizatoare, compensatoare;
- regimul de curgere al apelor subterane în acvifere;
- situația inițială și variațiile în timp ale factorilor menționați anterior (momentul zero):
 - istoricul debitelor;
 - istoricul nivelelor piezometrice;
 - istoricul rezervelor regularizatoare.

În ceea ce privește comportamentul hidrochimic, se știe că apa subterană, în timpul tranzitului subteran, suferă schimbări geochimice cu acviferul, în care sunt implicate:

- caracteristici fizice: T° , pH, conductivitatea;
- caracteristici chimice: dizolvarea sărurilor, precipitarea sărurilor, schimburi de ioni cu mineralele argiloase, originea modificărilor fizico-chimice ale apelor subterane.

Comportamentul hidrobiologic este important și se manifestă mai ales în zona nesaturată și - într-o anumită măsură - în acvifer, care are putere de autoepurare, asigurându-se protecția naturală a apelor subterane totală sau parțială, contra poluărilor bacteriene sau chimice.

6.2.4. Tipuri de acvifere

Acviferele continui cu nivel liber sunt extinse, ele fiind formațiuni hidrogeologice permeabile, relativ omogene, deschise la partea superioară, fiind în contact cu zona nesaturată. Ele sunt alimentate prin precipitațiile eficace, iar cele aluvionare prin infiltrații din râuri. Funcția conducătoare a rezervorului o domină pe cea de înmagazinare, care este totuși importantă.

Acviferele/rezervoarele sunt constituite din:

- roci mobile: nisipuri, aluviuni;
- roci compacte fisurate/carstificate.

În configurația acestui tip de acvifer se disting: limita superioară, substratul/patul, grosimea, extinderea, structura lui.

Acviferele discontinui cu suprafață liberă extinsă sunt formațiuni hidrogeologice permeabile, heterogene, fiind prezente roci carbonatate fisurate, adesea carstificate, cu structură tabulară. La volume mari, ele pot fi considerate omogene și sunt alimentate în special prin precipitații eficace.

Acviferele multistrat cu suprafața superioară liberă se deosebesc de precedentele prin prezența unui substrat/pat semipermeabil.

În ceea ce privește sistemul global acvifer - râu, acesta este constituit dintr-un acvifer continuu sau discontinuu, cu suprafața liberă, acviferul fiind constituit în general din aluviuni în intercomunicare cu un curs de apă. Ansamblul acvifer - apă de suprafață este un sistem hidrologic cantitativ și calitativ, caracterizat prin comportamente proprii. În regim natural, sensul de curgere al apelor subterane depinde de poziția suprafeței piezometrice a apelor subterane în raport cu nivelul apei din râu; drenarea apelor subterane este tipul obișnuit de curgere din acvifer spre râu (debitul de bază) sau infiltrare din râu, în perioadele de ape mari. Când este drenat, acviferul asigură debitul cursurilor de apă, în special debitele de etiaj. Acest sistem este foarte răspândit, el constituind o resursă importantă pentru alimentări cu apă.

Sistemul este delimitat de limitele versanților (teraselor sau altor forme de relief) și suprafața apei libere a râurilor, al căror pat este mai mult sau mai puțin permeabil. El este alimentat, în regim natural, prin precipitațiile eficace ale bazinului hidrogeologic și prin aflux din acviferele subiacente. Funcția conducătoare a rezervorului este predominantă, în detrimentul capacității de înmagazinare.

Exploatarea acviferului prin pompare provoacă inversarea relațiilor acvifer/râu: din alimentarea râului de către acvifer se ajunge la alimentarea acviferului de către râu, debitul pompat fiind un amestec de apă din acviferul aluvionar cu apă ce provine din râu.

Acviferele litorale sunt, în general, în comunicare cu marea, constituind sistemul global acvifer/mare. Apa subterană se scurge spre țărm și chiar se poate descărca în mare (izvoare submarine) sau avansarea ei este limitată de invazia apelor sărate marine, curent invers. Contactul este marcat de o interfață apă dulce/apă sărată, a cărei poziție este impusă/determinată de diferența de altitudine/sarcină între nivelul piezometric și nivelul 0 al mării.

Rezervorul poate fi heterogen și prezintă viteze diferite de curgere ale apelor subterane, fiind posibil să se producă intruziuni de apă sărată, care pot atinge mai mulți kilometri în interiorul uscatului. O exploatare intensivă, superioară debitelor de alimentare, scade suprafața piezometrică, diferența de sarcină scade și apa sărată pătrunde în interiorul acviferului. De aceea, exploatarea unor asemenea acvifere trebuie făcută cu deosebită atenție, pentru menținerea echilibrului.

În acviferele captive sau semicaptive, funcția principală este de înmagazinare, în timp ce cea de transport/conducere este redusă, greu de apreciat.

Limita superioară, sau acoperișul, este constituită de cele mai multe ori din roci impermeabile. Prezența unor formațiuni semipermeabile în acoperiș permite intercomunicații prin drenanță.

Substratul, patul, poate fi constituit din formațiuni impermeabile sau semipermeabile.

În cazul unei structuri multistrat, este necesar calculul „grosimii utile” a rezervorului, calculată ca suma nivelurilor permeabile.

Volumul util al rezervorului este limitat, pe de o parte, de grosimea utilă a lui, iar pe de altă parte de limitele laterale.

În cazul acviferelor captive sau semicaptive, accidentele tectonice pot provoca anomalii ale regimului hidrogeologic. Comportamentul hidrodinamic al acestor acvifere se analizează prin studiul morfologic al suprafeței piezometrice și al condițiilor la limită.

Acviferul compartimentat este constituit dintr-o structură hidrogeologică cu mai multe rezervoare de naturi litologice diferite, juxtapuse, formând un singur acvifer, așa cum este cazul aluviunilor ce stau pe calcare fisurate.

Acviferul stratificat, cu un strat conducător, este constituit dintr-o alternanță de strate cu permeabilități diferite. Orizonturile cu granulozitate mare și cu permeabilitate ridicată sunt sediul unor curgeri preferențiale.

Acviferele din zonele montane sunt fragmentate atât din cauza fragmentării reliefului, cât și a accidentelor tectonice, ele având dimensiuni reduse și fiind de interes local. Sunt de menționat, totuși, calcarele Jurasicului superior din infragetic, cu grosimi apreciabile și care formează mari unități

hidrostructurale între valea Jiului de vest și Izvoarele Cernei, calcarele din Motru Sec - Baia de Aramă, precum și calcarele de pe Pânza Getică din zona Reșița - Anina - Nera.

Condițiile la limită

Comportarea acviferelor este determinată de condițiile la limită ale lor: izvoare, linii de descărcare, malurile râurilor, ariile de alimentare.

În general, acviferele prezintă două tipuri de limite:

- limite geologice fixe, etanșe sau permeabile: patul, acoperișul, variațiile laterale de facies, pene, transgresiuni sau falii;
- limite hidrodinamice deschise, cu poziție variabilă în timp și spațiu, impuse de condițiile exterioare, identificate la un moment dat sau pe o durată medie, deosebindu-se trei tipuri:
 - limite cu flux impus sau cu condiții de debit nule, de alimentare sau descărcare;
 - limite cu potențial impus sau cu condiții de potențial, identificate prin curbele hidroizohipse ale suprafeței piezometrice;
 - suprafață piezometrică sau suprafață liberă, căreia îi corespund două condiții particulare:
 - presiune egală cu presiunea atmosferică;
 - flux nul.

În analizarea condițiilor la limită ale acviferelor multistrat, se va reține că drenanța este impusă de prezența rocilor semipermeabile și de diferența de potențial.

6.2.5. Zonalitatea verticală a acviferelor într-un bazin hidrogeologic

În funcție de distanța de la afloriment - limita de alimentare - pot fi identificate trei zone hidrogeologice, care prezintă caracteristici hidrogeologice și hidrochimice distincte:

- zona de alimentare (sau reîncărcare) corespunzând limitelor geologice ale acviferelor și eventual ariilor de drenanță, prelungindu-se spre centrul bazinului hidrogeologic. Fluxurile laterale sunt predominante;
- zona de tranziție sau amestec, ce marchează, trecerea progresivă de la zonele de alimentare spre cele de descărcare. Fluxul lateral scade progresiv pentru a deveni slab în zona de descărcare. Fluxul de drenanță devine mai important, predominând drenanța ascendentă;
- zona de descărcare sau de ieșire, care poate prezenta două tipuri:
 - una naturală, izvoare și linii de descărcare;
 - una artificială, reprezentată prin forajele de exploatare.

6.2.6. Cunoașterea acviferului

În cadrul studiilor ce se întocmesc privind vulnerabilitatea la poluare a sistemelor acvifere, instituirea zonelor de protecție sanitară, a perimetrelor de protecție hidrogeologică, precum și pentru stabilirea programului de monitorizare a calității apelor subterane, este necesar să se obțină cât mai multe informații hidrogeologice și cât mai precise asupra surselor și resurselor, fiind necesar să se cunoască:

- litologia acviferului și grosimea zonei saturate, care poate varia semnificativ la acviferele cu nivel liber;
- direcția de curgere reală: în mediu anizotrop direcția de curgere reală nu are legătură cu cea dedusă din hidroizohipse;
- viteza de curgere efectivă sau dedusă din legea Darcy;
- originea alimentării;
- zonele preferențiale de alimentare, pentru a delimita perimetrele secundare în mediu carstic (în situația de poluare difuză);
- zona de apel care poate fi de determinată:
 - pe baza nivelelor maxime și minime anuale;
 - cunoscând limitele etanșe ale acviferului, zonele de realimentare și relațiile acvifer/râu.

În cazul izvoarelor, este necesar să se cunoască:

- bazinul hidrogeologic, în funcție de tipul de izvor;
- variațiile sezoniere: temperatură, chimism/mineralizare, turbiditate;
- bilanțul hidrologic și infiltrația eficace.

6.3. Hidrostructuri în diferite tipuri de formațiuni

6.3.1. Caracterizarea hidrogeologică a bazinelor sedimentare

Se pot deosebi trei tipuri de acvifere:

- *acvifere monostrat cu nivel liber*: viteze de curgere variabile, fisurația poate coexista cu porozitatea. În nisipuri și gresiile slab cimentate, curgerea are loc prin pori și în general se realizează o filtrare bună. În acest tip de acvifere, influența poluării de la suprafață se resimte repede;
- *acvifere stratificate* - variate și heterogene - ades multistrat. Sistemul comportă, la partea superioară, un acvifer, cu nivel liber și în profunzime mai multe acvifere semicaptive (sub presiune, cu nivel piezometric ascendent). Riscul de propagare a poluării este în funcție de caracteristicile terenurilor care sunt în zona în care se produce poluarea. Chiar dacă poluarea se produce pe terenuri cu permeabilitate redusă, în timp poluarea se propagă prin stratele mai permeabile de sub acestea;
- *acvifere captive de adâncime*, în special nisipoase și gresoase, reprezentând tipul de acvifere arteziene clasice. Exploatarea lor intensă a determinat dispariția artezianismului (bazinul Parisului).

6.3.2. Caracterizarea acviferelor aluvionare

Pietrișurile și nisipurile de pe fundul văilor formează o rețea de culoare acvifere, mai mult sau mai puțin continui, fiind în legătură cu aluviunile recente ale cursurilor de apă de suprafață. De cele mai multe ori, acviferele sunt cu nivel liber, dar, uneori, sunt puse sub presiune de acoperișuri prăfoase - argiloase, mai

ales în sectoarele aval ale văilor, nu departe de gura de vărsare a lor, în special în cazul conurilor de dejecție (Ialomița, Dâmbovița, Someș, Mureș etc.).

Ele sunt mai permeabile - în cele mai multe cazuri - decât formațiunile litologice în care sunt săpate văile, aluviunile având rol de dren intermediar între acviferele de pe versanți și cursurile de apă.

Orice poluarea a apelor de suprafață se propagă în acviferul aluvionar (conul Prahovei, Conul Mureșului, aluviunile Bistriței la Cherărești), mai ales în cazul în care apele din acviferul aluvionar sunt pompate, cu atât mai mult cu cât colmatarea fundului și malurile cursului de apă nu asigură o bună filtrare a apei, respectiv a poluantului.

Captările din aluviuni sau prin infiltrații prin mal (drenuri, foraje, puțuri cu diametru mare) sunt cele mai expuse riscului de poluare permanentă sau temporară.

6.3.3. Masivele vechi

Sunt reprezentate prin formațiuni cristaline și șisturi cristaline, ele neconținând acvifere importante de mare extindere. Adesea, ele pot oferi debite importante, în zonele de alterare fizică ce pot atinge grosimi de zeci de metri, contribuind la alimentarea rețelei hidrografice - pâraiele din zonele montane - cu debite de 3-5 l/s/km. Izvoarele nu au debite mari, dar sunt destul de numeroase.

În masivele fracturate și fisurate, în diferite grade de intensitate, apele pot ajunge până la mai multe sute de metri adâncime și, uneori, până la distanțe apreciabile.

6.3.4. Formațiunile vulcanice

Aceste formațiuni prezintă o întrepătrundere de roci foarte poroase și lave fisurate, formând acvifere complexe, fiind posibilă o poluare rapidă, atunci când fisurile formează rețele acvifere locale.

6.3.5. Regiunile carstice

În unele masive carstice - mai ales în cazul celor de platformă - pot exista mici bazine de curgere subterană independente.

Heterogenitatea acviferelor/rezervoarelor carstice poate fi foarte mare.

Cadrul geologic poate fi constituit din formațiuni geologice cu întinderi, grosimi și constituții foarte diferite.

La suprafață, acviferul poate fi acoperit, mai mult sau mai puțin, de roci cu importanță deosebită în procesul de carstificare.

Apele evacuate printr-o resurgență sau exurgență carstică sau cele dintr-un foraj sunt de cele mai multe ori rezultatul unui amestec variabil - în funcție de anotimp - de volume de apă de origini diferite în timp și spațiu, de unde, poate, o mare variabilitate a compoziției chimice și bacteriologice a apelor carstice, în procesul de alimentare în subteran, de propagare și de eliminare a substanțelor transportate de apă.

De aceea, sursele carstice trebuie studiate minimum timp de un an hidrologic pentru a cunoaște atât variațiile de debit, cât și variațiile compoziției chimice și bacteriologice ale apei din sursa ce va fi captată.

În terenurile carstice, poluarea se propagă rapid (Fundătura Federi - Ohaba Ponor, Platoul Domogled - Barza - Toplet), filtrarea apei este ca și inexistentă și repercusiunile poluării de suprafață sunt imediate. Poluarea se poate propaga la mari distanțe și pe un front larg, date fiind divergențele posibile ale cursurilor de apă subterane.

Diferitele formațiuni geologice, în special cele sedimentare, constituie sisteme acvifere cu caracteristici geometrice și hidrodinamice foarte variate.

Parametrii hidrogeologici ai fiecărui acvifer variază, în multe cazuri, în limite largi: porozitatea și permeabilitatea variază mult în funcție de faciesurile locale (aluviuni, nisipuri mai mult sau mai puțin argiloase) sau în funcție de gradul de fisurării și distribuția fisurilor pe verticală (rocile carbonatate, eruptive, metamorfice). Creta este mai fisurată pe văi, deci mai transmisivă, decât pe platouri și mult mai puțin în profunzime, sub acoperiș (creta pe valea Carasu în zona Basarabi și pe traseul canalului Dunăre - Marea Neagră între Basarabi și Straja).

6.4. Geochimia apelor subterane

6.4.1. Generalități

Apa infiltrată poate să nu ajungă până la nivelul apei freatice, rămânând deasupra acesteia la o anumită înălțime, neexistând o legătură hidraulică între ele. În cazul în care apa infiltrată ajunge la nivelul apei subterane, se realizează o legătură hidraulică, modificându-se condițiile de infiltrație.

În terenurile fisurate, infiltrația se produce în mod diferit față de terenurile granulare, ea producându-se mult mai repede.

În aprecierea regimului infiltrațiilor, pe suprafețele în care se practică irigațiile, trebuie să se țină seama și de pierderile de apă din sistemele de irigații.

Cele mai importante pierderi, ca volum, se produc din canalele necăptușite, ele reprezentând 70-80% din totalul pierderilor din sistemele de irigații (I. Pleșa și alții).

Din canalele căptușite, pierderile de apă prin exfiltrații sunt determinate de tipul de căptușeală, densitatea și starea rosturilor, pierderile ajungând până la 210 l/m²/24h, pierderile pe la rosturi reprezentând 85-90% din totalul pierderilor.

Mărimea pierderilor de apă din canalele de irigații determină randamentul sistemului de irigații respectiv.

Exploatarea nerațională a sistemelor de irigații conduce la pierderi importante de cantități de apă, ajungându-se la situații de deteriorare gravă a mediului (lacurile Techirghiol, Amara, Nuntași, zone cu exces de umiditate, apariții de sărăturări, înmlăștiniri).

Apele de irigații au influențe fizice și chimice asupra solului.

Acțiunea chimică este complexă și ea depinde de proprietățile solului și de condițiile naturale ale suprafeței de irigat (I. Pleșa și alții).

Toți compușii chimici dizolvați se acumulează an de an. Solurile alcaline se pot transforma în soluri neutre, dacă apele de irigații conțin destul de puține săruri și dacă predomină calciul. Apele cu alcalinitate mai mare pot provoca, după o perioadă îndelungată de irigații, o alcalinizare a solului.

Când salinitatea apei de irigații este necorespunzătoare, în soluție fiind dizolvate săruri peste limita admisibilă, se impune mărirea normei de udare cu circa 10-20%, surplus ce trebuie evacuat prin rețeaua de drenaj (I. Pleșa și alții).

În sol, nitrații constituie unul din elementele minerale esențiale ale vegetalelor. Ei sunt consumați de vegetale și de aceea, în mod natural, ei se găsesc în cantități mici în apele subterane. NO_2 se află în cantități mai reduse, deoarece se oxidează repede și trece în NO_3 . Cantitatea lor a crescut în ultima vreme, ca urmare a folosirii în agricultură a îngrășămintelor pe bază de azot.

Apele soluțiilor de sol au conținuturi de CO_3 și CO_2 liber comparabile cu cele ale apelor subterane.

CO_2 din apele subterane provine din terenul arabil, prin activitatea microorganismelor, a vegetalelor și a degradării materiilor organice.

PO_4 se află în cantități mici, deoarece punerea lui în soluție se face greu, iar argilele fixează PO_4 .

Ionii de Cl^- și SO_4^{2-} sunt în general în cantități reduse în sol, ca urmare a spălării solului.

Ca se află în cantități apreciabile prin punerea în soluție a mineralelor ce conțin Ca, dar în terenurile acide se găsește în cantități mici.

Mg se găsește în cantități mai mici decât Ca.

În solurile carbonatate, Na se află în cantități mai mici decât Ca, dar în cele silicioase este invers.

Nici K nu se găsește în cantități importante, dar el este fixat de substanțele coloidale și de mineralele argiloase.

Fenomenele și procesele ce se produc în apele ce se infiltrează în pământ, străbătând solul și zona de tranziție până ajung la nivelul apelor subterane, sunt complexe și complicate, ele devenind mai complexe, mai complicate dar și foarte grave, corespunzător acțiunii agresive pe care o au agenții poluanți asupra rocilor și apelor subterane.

Trebuie reținut, de la bun început, că cele mai importante și mai intense fenomene și procese au loc în sol și în zona de tranziție până se ajunge la nivelul apelor subterane.

Compoziția și concentrația solului nu sunt rezultatul unui simplu proces de dizolvare a fazei solide în apa solului, ci al unui complex de procese fizico-chimice și biochimice cu caracter dinamic foarte accentuat (C. Chiriță).

Pentru înțelegerea acestor aspecte, legate de evoluția chimismului apelor subterane, se va face o scurtă prezentare privind geochimia apelor subterane, după H. Schoeller.

Apa de ploaie, ajunsă pe suprafața pământului, nu este absolut pură, ea având un anumit conținut de gaze și săruri.

În România, solurile poluate în special cu metale grele, fluor și dioxid de sulf, reprezintă cca 900.000 ha, iar în jurul termocentralelor pe cărbuni, al fabricilor de acid sulfuric și îngrășăminte chimice se constată fenomene de acidifiere pronunțată a unor soluri, ca efect al ploilor acide, formate pe seama oxizilor de sulf și azot.

S-a constatat că proporția de gaze din apa de ploaie nu este aceeași cu cea din atmosferă. Sărurile sunt destul de numeroase, în cantități mici, iar cantitățile de săruri variază de la începutul ploii spre finele ei, precum și în funcție de apropierea de mări sau de oceane, fiind deosebite de cele ce se produc în interiorul continentelor, unde sunt determinate de activitatea industrială.

În contact cu suprafața terenului, apa de ploaie se încarcă cu substanțe minerale.

Primul fenomen care se produce începând de la suprafața terenului este dizolvarea.

Cele mai multe fenomene și procese se produc în sol, în special pe primii 10 m. În sol, în general, au loc mișcări ascendente și descendente ale apei subterane, iar predominarea uneia sau alteia dintre mișcări este în funcție de anotimp și zona climaterică avută în vedere.

În condițiile climatului temperat, mișcarea descendentă predomină iarna, iar vara, cea ascendentă.

Este de reținut că, pentru combaterea pierderilor de apă din canalele de irigații (N. Ceașu), se menționează, ca măsură, tratarea solului cu substanțe chimice, în special cu NaCl, contribuind la reducerea pierderilor prin tratarea perimetrului udat al canalului cu NaCl, pe 10-15 cm adâncime, folosindu-se 2-5 kg/m² suprafață de canal, durata tratamentului fiind eficace 3-4 ani, după care trebuie reînnoit.

Nu trebuie omis faptul că în întreținerea canalelor de irigații, pentru combaterea vegetației, se folosește tratamentul cu erbicide (10-20 kg/ha), după cum pentru combaterea rozătoarelor se folosesc substanțe toxice solide sau gazoase.

În aceste condiții, apare evident că sistemele de irigații sunt responsabile de poluarea apelor subterane - în prima etapă a apelor freatice în zonele în care se practică irigațiile.

Apa soluțiilor din sol se deosebește foarte mult de apa de ploaie.

Apa din precipitații, pătrunzând în sol, diluează soluțiile și, dacă este depășită capacitatea de retenție a solului, începe să se producă trecerea apei din sol în zona de tranziție nesaturată. S-a

constatat că apele ce trec prin sol, infiltrându-se în profunzime, sunt mai diluate decât soluțiile din sol. În paralel cu diluția are loc și o modificare a compoziției chimice.

În zona de infiltrație, apa are o mare suprafață de contact cu atmosfera care o înconjoară, realizându-se un echilibru destul de stabil, deoarece aerul nu se îmbospătează prea repede, fiind în funcție de porozitatea solului.

Se menționează că, în rocile cu permeabilitate interstițială sau în cele fin fisurate, apele ajung mai repede la un echilibru de temperatură cu terenul, își pierd mai repede agresivitatea și se încarcă mai repede cu săruri dizolvate.

În sol, un rol foarte mare îl au microorganismele, prin reacțiile chimice pe care acestea le provoacă. Rolul lor este foarte important deoarece:

- afânează terenul, favorizând pătrunderea oxigenului - deci fenomenele de oxidare -, precum și infiltrarea apei;
- distrug materiile organice moarte, cu formare de CO_2 .

După H. Schoeller, în studiul geochimic al apelor subterane, trebuie avute în vedere următoarele aspecte:

- punerea în soluție primară a diverselor elemente;
- fenomenele care pot să modifice etapa de punere în soluție;
- fenomenele ce limitează saturarea în elemente;
- condițiile geologice care guvernează toate aceste relații;
- concluziile ce se desprind referitoare la ceea ce se poate produce în interiorul acviferelor și al apelor subterane.

Dizolvarea - punerea în soluție - este unul din fenomenele cele mai importante din chimia apelor subterane, fiind primul pas, prima etapă din evoluția chimică a apelor subterane.

Punerea în soluție se face prin dizolvare și prin atacarea substanțelor conținute în rocile prin care circulă apa. În rocile eruptive și cele metamorfice, punerea în soluție se realizează mai greu, în comparație cu rocile sedimentare.

În parcursul lor subteran și pe timpul rămânerii în subteran, apele pot fi în contact nu numai cu rocile, dar și cu gaze.

În zona de infiltrație, echilibrul dintre gazele dizolvate și cele atmosferice se realizează destul de repede, dar, dacă gazele depășesc nivelul apelor subterane - mai ales dacă gazele se află în regim dinamic -, se va realiza un anumit dezechilibru și, dacă mișcarea este permanentă - cazul exploatării apelor minerale carbogazoase -, gazele dizolvate și gazul atmosferic se vor găsi într-un echilibru dinamic.

Coeficientul de absorbție a gazelor (volumul de gaz dizolvat într-un volum de apă) scade odată cu creșterea temperaturii și a concentrației - creșterii - mineralizării.

În rocile sedimentare, apele subterane au un conținut în CO_2 liber relativ constant, cuprins între 20-50 mg/l, cu excepția apelor carbogazoase. De aceea, se admite că CO_2 liber implicat în disocierea carbonaților este cel din sol.

Cele mai multe gaze comune - N_2 , O_2 , H_2 , He - în contact cu apa au o solubilitate aproape egală, care nu variază decât de la simplu la dublu.

În ceea ce privește CO_2 , H_2S , NH_3 , acestea au o solubilitate mult mai mare, de la 40 la 200, ajungându-se la 600.000 pentru NH_3 .

În privința sărurilor, atât apele de infiltrație, cât și cele subterane, pe durata parcursului lor în sol și în acvifere, dizolvă un anumit număr de substanțe: CaCO_3 , $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaSO_4 , NaCl și KCl fiind cele mai comune în rocile sedimentare.

Mineralele considerate insolubile - silicea și silicații - sunt și ele dizolvate, dar în cantități mult mai mici, reduse.

În rocile sedimentare - în special - sunt dizolvate și microelemente.

În fenomenele de dizolvare a sărurilor un rol important îl are concentrația soluției.

Concentrația este cu atât mai mare cu cât diluția este mai mare, mai intensă, solubilitatea crescând cu temperatura. În unele cazuri, solubilitatea CaSO_4 scade peste o anumită temperatură, deoarece se produc modificări în rețeaua cristalină: gipsul trece în anhidrit, a cărui cantitate crește odată cu concentrația soluției.

Acest aspect trebuie reținut în cazul apelor subterane, în unele cazuri concentrația putând atinge valori foarte ridicate. Adesea, apele subterane ajung la saturație și unii termeni pot precipita.

Un alt aspect important este viteza de dizoluție, care poate explica multe fenomene ale chimismului apelor subterane: ea este proporțională cu deficitul de saturație, în sens fizico-chimic. Deficitul de saturație în baze reprezintă parte din capacitatea de schimb cationic a solului - respectiv a rocilor - ocupată de ionii schimbabili de hidrogen și aluminiu. Se exprimă sub forma de diferențe dintre capacitatea totală de schimb cationic (T) și suma bazelor schimbabile (S), exprimându-se prin simbolul (T-S). Se determină față de starea de saturație în baze a solului la $\text{pH} = 7,0$ sau 8,2, iar uneori la pH -ul solului.

În general, apele subterane nu sunt neutre, valoarea pH -ului variind.

Prin procesele de hidroliză, poate să apară fie o suplimentare de ioni H^+ , fie de ioni OH^- , modificând neutralitatea apei.

Aportul de ioni H^+ de către acizi va fi cu atât mai mare cu cât acidul este mai puternic, fapt ce va determina o scădere a pH -ului. Când soluția conține baze puternice, acidul poate să dispară, apar ionii OH^- și soluția prezintă un pH ridicat.

De o foarte mare importanță este atacul chimic, acesta având un caracter complex, el producându-se prin mai multe procese:

- *hidratarea* - pătrunderea apei în rețeaua cristalină, reprezentând o fază inițială. Ea se produce mai ales în cazul unor minerale de origine sedimentară: hidratarea anhidritului în gips, trecerea oligistului în limonit;
- *hidroliza* - care are un rol important mai ales în cazul silicaților, dar ea singură nu poate descompune repede mineralele, deoarece trebuie să se stabilească un echilibru între ea și reacțiile inverse. Pentru continuarea ei este necesară îndepărtarea cel puțin a unor elemente din mediul în care are loc hidroliza sau un aport de anumiți ioni, în timp ce alți ioni pot face ca hidroliza să regreseze. În general, substanțele cele mai supuse hidrolizei sunt sărurile bazelor puternice. În orice situație, punctul final al hidrolizei este o puternică punere în soluție;
- *oxidarea și reducerea* - au importanță deosebită. Fenomenele de oxidare sunt foarte importante mai ales în zonele traversate de apele de suprafață care se infiltrează, în tot intervalul dintre nivelul terenului și nivelul apelor subterane, în zona nesaturată. Fenomene de oxidare se produc și în acvifer, în zona saturată, dar cu un grad mai redus de intensitate.

Oxidarea privește în special:

- sulfurile, ca de exemplu piritele, rezultând oxizi de fier și acid sulfuric, care pot ataca carbonații, cu formare de sulfați ușor solubili și CO_2 ;
- sulfurile dizolvate, care pot fi transformate fie în sulfați, hiposulfiți sau S, mai ales sub influența bacteriilor;
- oxizii incomplet saturați de oxigen, precum magnetitul, care va da limonit;
- ionii feroși și manganoși;
- substanțele organice, care pot produce CO_2 .

Fenomenele de reducere au un rol important mai ales în cazul apelor de zăcământ. Din materiile organice supuse fenomenelor de reducere rezultă în general H_2 , H_2S , S^- , NO_2^- , NH_4 , Fe^{++} , Mn^{++} .

Există un echilibru de oxireducere în apă, care este influențat de:

- posibilitatea de sosire a oxigenului din atmosferă;
- consumul de oxigen de către substanțele ce pot suferi fenomene de reducere;
- *acizii* - au un rol foarte important în punerea în soluție. Aproape tot gazul carbonic din apele subterane (cu excepția celui din apele minerale, termale și din apele fosile) își are originea în sol, el provenind din activitatea organismelor și microorganismelor ca și din descompunerea materiei organice. Acestuia i se adaugă și cel provenit din atacarea carbonaților de către acizii din sol.

În sol, se mai găsesc acizi nitrici și nitroși, precum și acizi organici proveniți mai ales din descompunerea substanțelor organice.

În situația în care conținutul în gaz carbonic dizolvat în apă este inferior gazului carbonic de echilibru (cel care condiționează echilibrul carbonatului de calciu în apă), soluția nu se mai află în echilibru și carbonatul de calciu va precipita. Dacă însă acest conținut de gaz carbonic liber este superior gazului carbonic de echilibru, apa poate ataca carbonații de calciu și să-i dizolve;

- *agresivitatea unei ape* este capacitatea ei de a dizolva carbonatul de calciu. Ea se măsoară fie considerând CO_2 liber, fie concentrația în ioni H^+ . Agresivitatea este mai bine dată prin diferența de ioni $\langle \text{H}^+ \rangle$ a apei și concentrația de ioni $\langle \text{H}^+ \rangle$ corespunzător echilibrului de saturație (H. Schoeller).

Atacul silicaților are un rol important în geochimia apelor subterane și a celor de suprafață: deoarece la suprafața silicaților pot exista valențe nesatisfăcute, este posibilă o hidratare a acestora, având loc o hidroliză foarte importantă, iar anionii și cationii trec direct în adevărate soluții.

6.4.2. Evoluția compoziției apelor subterane

Ionii de Na^+ , Ca^{++} și Mg^{++} pot părăsi silicații și mediul de alterare fiind transportați de apele subterane.

O anumită cantitate de SiO_2 (sub formă de SiO_3^{--}) ar putea fi antrenată de apele cu $\text{pH} > 5$ și în cantități mai mari cu cât pH -ul este mai ridicat.

Silicații fiind mai greu atacați, substanțele dizolvate din ei nu se regăsesc în cantități mari în apele subterane, cu atât mai mult cu cât cea mai mare parte din Si și Al va fi fixată de mineralele argiloase.

Fe poate fi dizolvat în apă, în funcție de pH -ul apei. S-a constatat că ionii de Fe^{++} se găsesc în apă în cantități mai mari decât ionii Fe^{+++} , dar și ionii Fe^{++} sunt în cantități mai mici în ape cu $\text{pH} > 3$.

Punerea în soluție a fierului este legată mai ales de alterarea mineralelor fero-magneziene și în special a celor ferifere, mai mult în solul agricol sau imediat sub acesta, decât în stratele profunde. Numai după alterarea acestora, pot să apară și fenomenele de solubilizare.

În sol, punerea în soluție se face, în principal, prin activitatea microorganismelor, care produc de la început fenomene de reducere: microorganismele modifică mediul. Pentru aceasta este necesară prezența materiei organice, iar umiditatea mediului, împiedicând sosirea oxigenului, favorizează fenomenele de reducere.

Fierul solubilizat poate trece direct în apele subterane sau poate precipita sub formă de hidroxizi de fier, în funcție de valorile pH-lui, ale potențialului de oxireducere, a conținutului de CO_2 sau HCO_3^- . pH-ul scăzut permite punerea în soluție a unor importante cantități de fier. Cu cât potențialul de oxireducere este mai slab, cu atât punerea în soluție este mai importantă.

Apele din rocile carbonatate conțin fier în cantități mici, deoarece apele din rocile carbonatate au un pH superior lui 7.

Apele din zăcămintele de cărbuni sunt în general acide și de aceea conțin cantități apreciabile de fier în soluție; apele au un potențial de oxireducere slab.

Atunci când străbat roci piritoase, apele subterane conțin fier.

În evoluția calității apelor subterane, prezintă importanță reducerea sulfatilor.

S-a constatat o legătură aparentă între prezența materiei organice, pe de o parte, și scăderea conținutului în SO_4^- și prezența H_2S , a sulfurii și hiposulfidului, pe de altă parte. Acviferele ce conțin materii organice, turbă și cărbuni sunt caracterizate adesea printr-o reducere a sulfatilor și prezența H_2S .

Reducerea sulfatilor este însoțită și de o oxidare a compușilor organici, rezultând producerea de CO_2 , care se adaugă celui deja existent în apă.

Se admite că, reducerea sulfatilor se poate realiza numai în prezența microorganismelor.

În timpul parcursului subteran, apele intră în contact cu diferite substanțe, având loc un schimb de ioni între cei conținuți de substanțe cu cei conținuți în ape. Anumite substanțe au proprietăți de adsorbție în limite variabile.

UNITATEA DE ÎNVĂȚARE 7.

CONCEPTE FUNDAMENTALE PRIVIND APLICAREA MODELĂRII ASISTATE DE CALCULATOR ÎN STUDIUL APELOR SUBTERANE



Cuprinsul unității de învățare 7

7.1. Schematizarea hidrostructurilor	97
7.2. Alegerea variantei optime	102
7.3. Studii de caz	107
7.3.1. Realizarea modelului de transport al poluanților miscibili la nivelul zonei nesaturate și a acviferului freatic din zona industrială Pantelimon.....	107
7.3.2. Delimitarea zonelor de protecție sanitară pentru captarea Vlădești	126

Modelarea curgerii subterane și a transportului poluanților este un instrument frecvent utilizat pentru rezolvarea unor probleme multiple (studii pentru proiectarea sistemelor de alimentare cu apă, stabilirea zonelor de protecție sanitară pentru captări subterane, estimarea spațiotemporală a impactului poluanților de diverse tipuri, aplicarea unor măsuri de remediere a calității mediului etc.).

În acest capitol, vor fi utilizate noțiuni ca *model conceptual* sau *model matematic*. Pentru o mai bună înțelegere a aspectelor prezentate, vor fi definite aceste noțiuni:

Modelul conceptual – este o ipoteză asupra modului de operare a unui sistem sau a unui proces. Această ipoteză poate fi exprimată cantitativ ca model matematic.

Modelul matematic – este o abstractizare în care procesele sunt ecuații, proprietățile fizice constante sau coeficienți în aceste ecuații, iar parametrii determinați măsurați sunt variabile.

Majoritatea modelelor utilizate în prezent în cazul apelor subterane sunt *modele deterministice*. Acestea se bazează pe conservarea masei, momentului și energiei.

Procesul de modelare poate viza două obiective distincte – modelarea curgerii subterane și modelarea transportului (poluanților). Scopul simulării transportului îl reprezintă determinarea variației în timp și spațiu a concentrației substanțelor chimice în apa subterană.

Ca principiu, modificarea acestei concentrații este cauzată de patru procese distincte:

1. *advecția* – compușii dizolvați se deplasează împreună cu apa subterană;
2. *dispersia hidrodinamică* – difuzia moleculară, ionică și variațiile la scară mică ale vitezei de curgere în mediul poros cauzează abateri ale deplasării moleculelor și ionilor de la direcție generală de curgere adectivă;
3. *sursele fluidelor* – ape/fluide de compoziții diferite formează amestecuri;
4. *reacții specifice* – substanțe chimice dizolvate pot fi adăugate sau îndepărtate din apa subterană, ca urmare a reacțiilor chimice, fizice sau biologice din apă, dintre apă și matricea minerală sau dintre apă și alte faze fluide.

Ca principiu, realizarea acestor modele se reduce la utilizarea unor ecuații specifice, care descriu fiecare caz în parte, în funcție de o serie de particularități. Adesea problemele abordate au o asemenea complexitate, încât aplicarea instrumentului matematic nu este posibilă fără ajutorul unui calculator și a unor softuri specializate. La limită, sunt situații în care modelul ce se dorește a fi realizat este atât de simplist, încât un subiect cu experiență îl poate rezolva cu ajutorul unor simple calcule.

În mod fundamental, realizarea unui model, indiferent de varianta adoptată, presupune parcurgerea unor pași:

- documentarea, inventarierea și analiza tuturor datelor disponibile, care descriu sistemul acvifer, proprietățile acestuia, condiții la limită etc.;
- adoptarea unui model conceptual, care prin schematizare devine o imagine simplificată a sistemului real, dar care păstrează caracteristicile esențiale ale acestuia;
- realizarea modelului matematic pe baza modelului conceptual.

În abordarea actuală, sistemele acvifere pot avea o asemenea complexitate încât, indiferent de efortul depus pentru investigarea mediului geologic (prin foraje, pompări experimentale, probare etc.), volumul de informație obținut este redus.

Din cauza dificultății de a caracteriza sistemul real, construirea modelului conceptual este afectată de o serie de incertitudini. Distribuția complexă și neomogenitatea terenului este transpusă în modelul conceptual cu ajutorul unor regiuni/pachete omogene și izotrope la nivel local. Proprietățile acestor regiuni sunt astfel alese încât să fie reprezentative pentru comportamentul hidraulic al elementelor reale.

În multe situații, modelele matematice au o acuratețe scăzută în simularea modelelor conceptuale, cu toate acestea ele rămân cea mai bună alternativă în evaluarea problemelor de curgere subterană.

Alegerea variantei potrivite de modelare a ecuațiilor utilizate depinde de câteva aspecte:

- modelul se realizează pentru curgere în mediu saturat sau nesaturat;
- caracteristicile sistemului acvifer și scopul pentru care se realizează modelul determină alegerea unei variante uni, bi sau tridimensională;
- curgerea este apreciată ca fiind în regim staționar sau tranzitoriu;
- modelul se realizează pentru un acvifer cu nivel liber sau pentru unul sub presiune.

Un rol determinant în alegerea soluțiilor corecte ale modelului îl joacă impunerea condițiilor la limită ale modelului conceptual. Condițiile la limită conțin informații referitoare la cota nivelului hidrostatic la contactul cu apele de suprafață sau fluxurile în zonele de alimentare, descărcare (foraje, zone de percolare, suprafața de alimentare etc.).

Cele mai frecvent utilizate condiții la limită sunt: *sarcina piezometrică impusă* și *debit impus - tip Dirichlet* și *debit impus - tip Newmann*. În unele situații, impunerea condițiilor la limită presupune combinarea celor două tipuri enunțate.

7.1. Schematizarea hidrostructurilor

Schematizarea structurilor acvifere este de fapt o simplificare a complexității acestora, în scopul construirii modelului conceptual, în condițiile menținerii caracteristicilor reprezentative pentru: spațiul în care are loc curgerea, caracteristicile hidrofizice ale terenului, condițiile hidrodinamice ale curgerii la limite și în interiorul modelului (Scrădeanu, D.). Aceste elemente distincte pot fi definite ca etape ale schematizării (*spațială, parametrică și hidrodinamică*).

Reprezentativitatea modelului matematic depinde de reprezentativitatea modelului conceptual și de similaritatea reacției acestuia cu cea a structurii reale.

Prin schematizare practic se simplifică morfologia spațiului real în care are loc curgerea, se estimează variabilitatea principalilor parametri (porozitate, conductivitate hidraulică, coeficient de alimentare, coeficient de dispersie etc.) și se precizează condiții la limitele domeniului și în interiorul acestuia.

Simplificarea spațiului în care are loc curgerea este fundamentată pe date litologice, structurale, topografice etc., care provin din etapele de cartare, prospecțiune și documentare.

În cazul unui model conceptual suficient de simplu, rezolvarea modelului matematic asociat se poate reduce la o serie de calcule. În cazul unor modele conceptuale complexe, modelele matematice nu pot fi realizate decât cu ajutorul unor programe de calculator specializate.

Majoritatea programelor specializate utilizate în prezent de specialiști se bazează pe una din cele două metode: *metoda diferențelor finite* sau *metoda elementelor finite*.

Metoda diferențelor finite – este o metodă numerică foarte versatilă, fiind în prezent cea mai frecvent utilizată în modelarea curgerii.

Programul standard care utilizează metoda diferențelor finite este *Modflow*, program dezvoltat de U.S. Geological Survey. Adoptarea sa pe scară largă pentru rezolvarea acestui tip de probleme se datorează flexibilității sale, nivelului avansat de testare și bogatei documentații existente. Modflow este un program cu o construcție modulară, capacitatea sa putând fi extinsă ulterior.

Metoda diferențelor finite utilizează o serie de ecuații algebrice, bazate pe conservarea masei și pe legea lui Darcy. În cadrul acestei metode, domeniul de curgere este discretizat printr-o rețea rectangulară, domeniul de integrare în acest caz coincide cu rețeaua de discretizare. Ecuațiile algebrice capătă soluții, pentru diverși parametri, în nodurile rețelei. Variația parametrilor în cadrul domeniului este în acest caz discontinuă (discretă), aceștia luând valori doar în nodurile rețelei.

Unele scheme bazate pe metoda diferențelor finite plasează nodurile în centrele fiecărui bloc, iar altele în colțuri. Modflow utilizează plasarea nodurilor în centrul blocului.

În cazul acestei metode de discretizare, în cadrul fiecărui bloc, proprietățile domeniului sunt considerate omogene. Neomogenitatea generală a domeniului poate fi asigurată prin atribuirea valorilor diferite fiecărui nod (bloc).

Dimensiunea blocurilor este variabilă, rețeaua putând fi îndesită în zonele care necesită o acuratețe sporită. În cazul modelelor în diferențe finite, în regim tranzitoriu, este discretizat și timpul.

Metoda elementelor finite – în această situație, domeniul de integrare este diferit de rețeaua de discretizare. Ca și în cazul metodei anterioare, domeniul este discretizat cu ajutorul unei rețele de elemente și noduri, dar spre deosebire de metoda diferențelor finite, formele sunt mai flexibile în raport cu cele rectangulare. În mod frecvent sunt utilizate triunghiul (figura 7.1) sau trapezul în cazul modelelor bidimensionale sau prisma triunghiulară sau trapezoidală în cazul modelelor tridimensionale.

În cazul acestei metode, valoarea parametrilor este variabilă în interiorul domeniului, iar variația este continuă, datorită existenței unei funcții de interpolare asociată. Valoarea parametrilor poate fi calculată în orice punct al rețelei de discretizare, inclusiv între noduri.

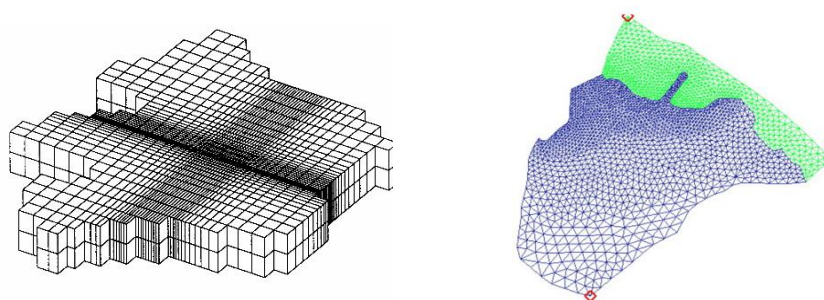


Figura 7.1 – Domeniile de discretizare specifice metodei diferențelor finite și elementelor finite

Din punct de vedere al parametrilor implicați în realizarea modelului numeric, schematizarea distribuției lor este justificată de variabilitatea spațială mare a condițiilor reale ce caracterizează structura acviferă. Cei mai frecvenți parametri implicați în realizarea modelelor de curgere sunt (Scrădeanu, D.):

- porozitatea activă;
- conductivitatea hidraulică și transmisivitatea;
- coeficientul de difuzivitate hidraulică și înmagazinare;
- coeficientul de realimentare;
- coeficientul dispersiei hidrodinamice.

Gradul de precizie al acestei etape a schematizării este dependent de variabilitatea parametrilor și de densitatea punctelor de observație.

Analiza variabilității parametrilor scoate în evidență următoarele situații distincte: din punct de vedere al variației valorii absolute, mediul poate fi omogen sau neomogen, iar din punct de vedere al variației valorii parametrului în raport cu direcția, mediul poate fi izotrop sau anizotrop.

Etapă de schematizare hidrodinamică presupune atribuirea unor *condiții hidrodinamice la limita modelului* și a unor *condiții hidrodinamice inițiale în interiorul domeniului*.

Limitele reale ale sistemului acvifer nu coincid de cele mai multe ori cu limitele modelului. Această distincție este importantă. Limitele modelului sunt determinate de extinderea zonei de interes, ele neavând în unele cazuri un corespondent fizic real.

Așa cum a fost precizat anterior, cele mai frecvent utilizate tipuri de condiții la limită sunt: limita tip sarcină piezometrică impusă și limita de tip debit impus.

Condiția la limită de tip *sarcină piezometrică impusă* caracterizează frontierele pentru care sarcina piezometrică este independentă de condițiile de curgere din interiorul domeniului.

Acest tip de condiție la limită se utilizează în următoarele situații:

- la frontiera dintre acvifer și o apă de suprafață fără dinamică (lac etc.) – sarcină piezometrică impusă *constantă* (figura 7.2);

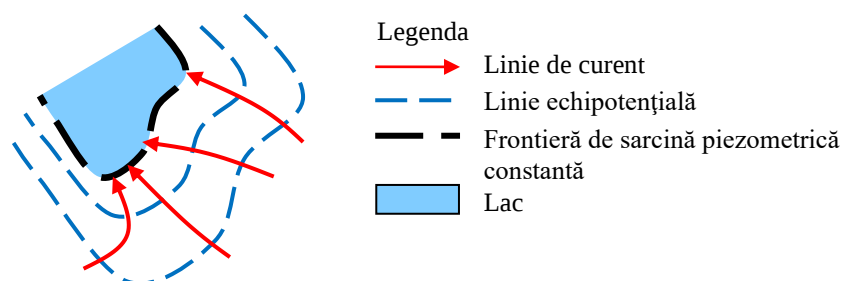


Figura 7.2 – Malul unui lac definit ca limită/margine de tip sarcină piezometrică constantă pentru acviferul drenat (după Scrădeanu, D.)

- la frontiera dintre un acvifer și o apă curgătoare – sarcină piezometrică impusă având caracter variabil (figura 7.3).

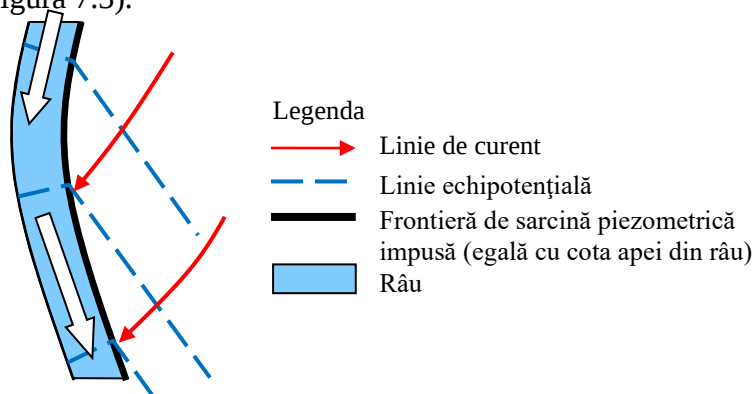


Figura 7.3 – Râu care drenează un acvifer, definit ca frontieră de tip sarcină piezometrică impusă (după Scrădeanu, D.)

- de-a lungul unei linii de izvoare – sarcină piezometrică impusă constantă (figura 7.4).

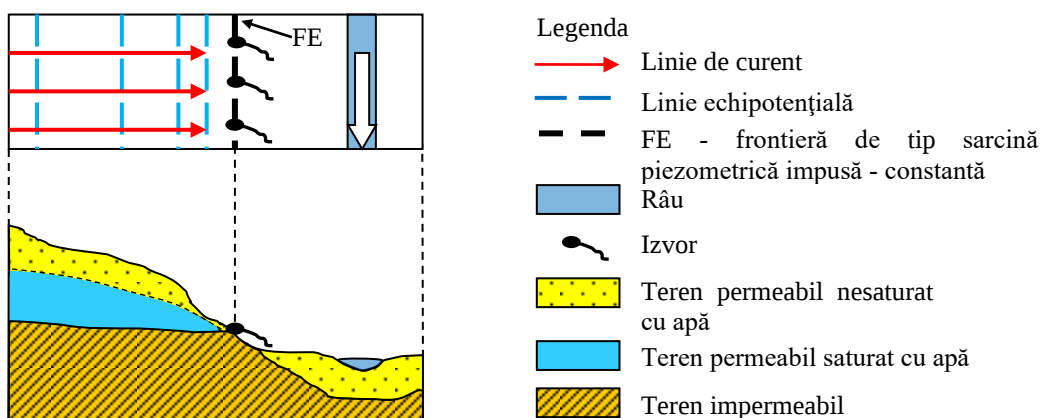


Figura 7.4 – Linie de izvoare descendente la baza aluviunilor, definită ca frontieră de tip sarcină piezometrică impusă (după Scrădeanu, D.)

Condiția la limită de tip *debit impus* reprezintă impunerea unui debit constant care se aplică pe frontierele acviferului. Se deosebesc două situații: *debit impus nul* și *debit impus nenul*.

- **frontieră tip debit impus nul** – limita este impermeabilă sau paralelă cu liniile de curent. Valoarea debitului care traversează acest tip de frontieră este 0. Această frontieră este impermeabilă. În mod practic, acest tip îl regăsim în cazul faliilor (figura 7.5), pereților subterani impermeabili (figura 7.6) sau culcușului impermeabil al acviferului.

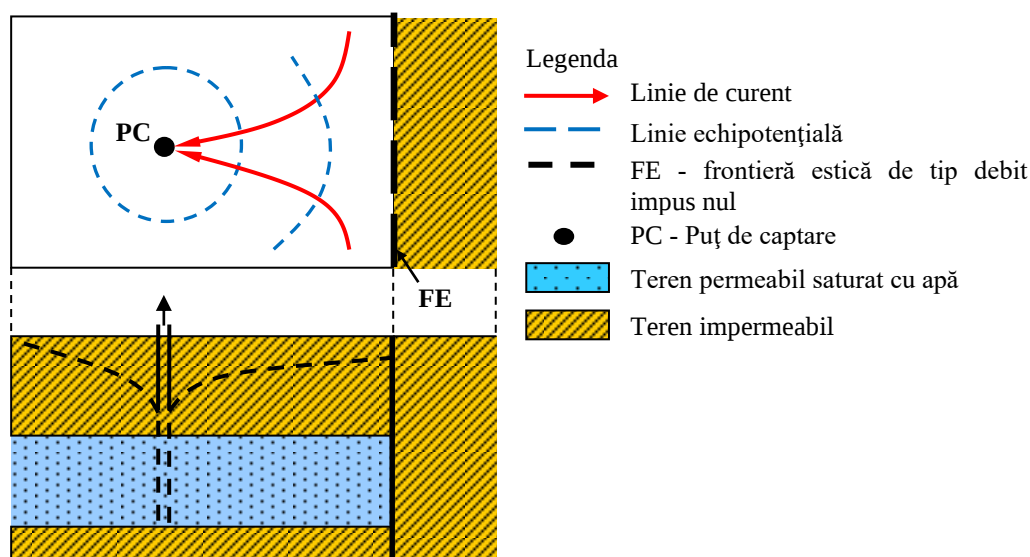


Figura 7.5 – Falie în vecinătatea unui puț de captare (PC), definită ca frontieră estică de tip debit impus nul (FE) (după Scrădeanu, D.)

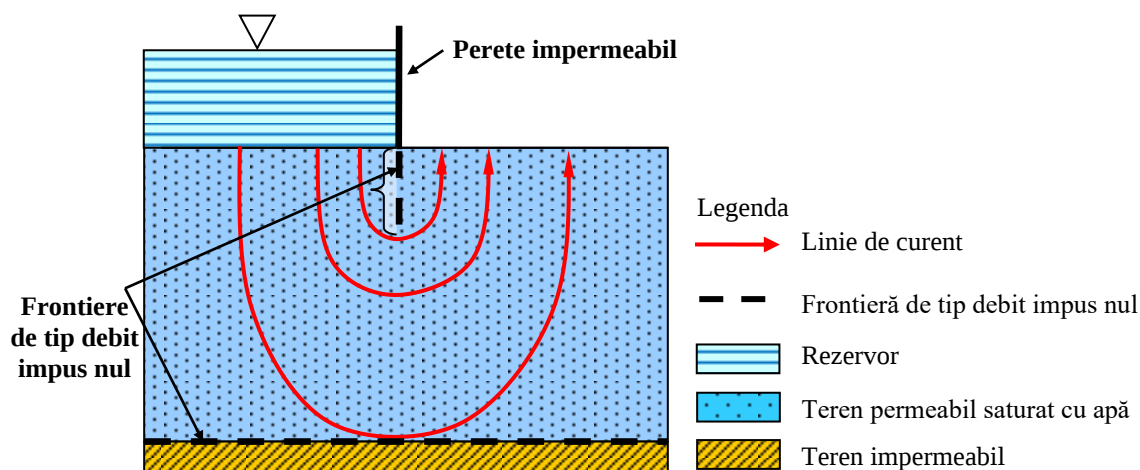


Figura 7.6 – Frontiere de tip debit impus nul pentru un acvifer în care a fost executat un perete impermeabil vertical (după Scrădeanu D.)

- **frontieră de tip debit nenul** – se aplică pe frontiere unde poate fi precizată distribuția debitului în spațiu și timp. Aceasta presupune fie aporturi de apă, fie pierderi de apă din acvifer (figura 7.7).

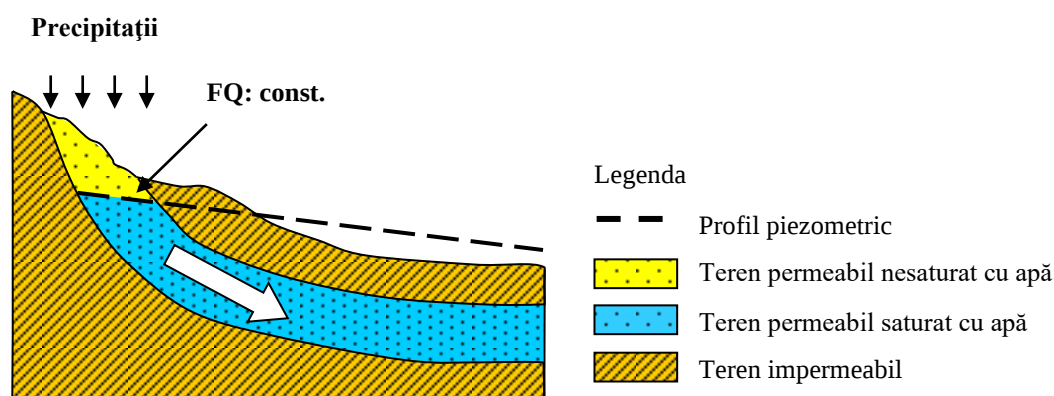


Figura 7.7 – Zonă de aflorare a unui acvifer alimentat prin infiltrații, frontieră de tip debit constant (după Scrădeanu, D.)

În afara acestor condiții la limită uzuale, se mai utilizează: *frontiera tip debit dependent de sarcină piezometrică*, *frontiera de tip suprafață liberă* și *frontiera de tip suprafață de prelingere*.

7.2. Alegerea variantei optime

Succesul alegerii soluției optime de simulare depinde în primul rând de modul în care se definește natura problemei și scopul realizării modelului. Această alegere este direct legată de formularea modelului conceptual, care va sta la baza viitorului model matematic. În formularea acestui model conceptual, specialistul trebuie să evalueze importanța proceselor și gradul lor de relevanță în raport cu scopul propus. Unele procese pot avea o importanță deosebită la o anumită scară, dar pot fi irelevante la o altă scară de abordare. Importantă este și o decizie corectă asupra extinderii și rezoluției la care va fi dezvoltat modelul, decizie ce va lua în considerare și aspectele economice asociate acestei activități.

Tot în această fază, a dezvoltării modelului conceptual, se optează și pentru adoptarea unei variante unidimensionale, bidimensionale sau tridimensionale de modelare. Se va ține cont de faptul că o soluție unidimensională sau bidimensională nu va surprinde întregul spațiu în care potențial se desfășoară curgerea. În acest caz rețeaua de discretizare va fi orientată astfel încât să cuprindă dinamica relevantă a apei subterane. În cadrul proceselor de curgere nu vor exista intrări sau ieșiri semnificative, în raport cu linia sau planul de discretizare.

Sunt prezentate în continuare o serie de repere care pot fundamenta alegerea unei soluții:

- se vor utiliza *modelele analitice* dacă dinamica apei subterane sau procesele de transport sunt relativ simple sau dacă este necesară o evaluare inițială a condițiilor hidrogeologice sau evaluarea eventualelor soluții de remediere a calității terenului și apelor subterane.
- se vor utiliza *modelele numerice* dacă dinamica apei subterane sau procesele de transport sunt complexe, variația debitului, condițiilor hidrogeologice sau geochimice, precum și a altor caracteristici este foarte accentuată.
 - Vor fi utilizate modele hidrodinamice sau de transport *unidimensionale* dacă: se realizează o evaluare inițială, în care nu este cunoscut gradul de neomogenitate sau de anizotropie; un potențial receptor se află în imediata vecinătate a unei surse de poluare.
 - Vor fi utilizate modele hidrodinamice sau de transport *bidimensionale* dacă: zona de studiu cuprinde una sau mai multe zone de drenare sau aport de apă (puțuri, canale, cursuri de apă etc.); zona este caracterizată prin direcții de curgere ale apei subterane care au o evidentă distribuție bidimensională; se modelează migrarea poluanților,

efectul dispersiei transversale este semnificativ și este necesară evaluarea distribuției spațiale a frontului de poluare.

- Vor fi utilizate modele hidrodinamice sau de transport *tridimensionale* dacă: condițiile hidrogeologice sunt bine precizate; sunt prezente acvifere multiple sau acvifere multistrat; mișcarea apei și a contaminanților în plan vertical este semnificativă.

Datorită particularităților specifice, un subiect distinct îl constituie realizarea modelelor numerice pentru zona nesaturată. Caracteristicile zonei vadoase, alături de proprietățile poluanților, regimul de precipitații și adâncimea nivelului hidrostatic, influențează în mod direct cantitatea de poluant ce poate pătrunde în acvifer. Zona vadoasă poate constitui un adevărat tampon între suprafața solului și apa subterană.

Transportul contaminanților la nivelul zonei vadoase este determinat în primul rând de deplasarea apei. În regim staționar, mișcarea apei în mediul poros este descrisă de ecuația lui Darcy:

$$q = K(\theta) \frac{\partial H}{\partial z} \quad (7.1)$$

Unde:

q - volumul de apă ce curge prin unitatea de suprafață, în unitatea de timp ($\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{zi}$);

$K(\theta)$ - conductivitatea hidraulică în funcție de conținutul volumetric de apă θ ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$);

H - sarcina piezometrică (cm);

z - distanța (cm).

În mediu nesaturat, conductivitatea hidraulică descrește rapid odată cu scăderea conținutului de apă. Ritmul acestei descreșteri este determinat de caracteristicile solului și în special de tensiunea sol-apă. Astfel, cu creșterea tensiunii sol-apă, conductivitatea hidraulică scade exponențial, observându-se scăderi ale conductivității cu 10 sau chiar 100 ordine de mărime, pentru mici reduceri ale conținutului de apă.

Ecuația lui Darcy satisface doar regimul de curgere staționar, pentru regim tranzitoriu aceasta trebuie să fie combinată cu o ecuație de continuitate:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial q}{\partial z} \quad (7.2)$$

Unde:

t - timpul.

Din combinarea ecuației (7.1) cu (7.2) rezultă *ecuația lui Richards*:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] \quad (7.3)$$

Un alt element important în evaluarea conținutului de apă îl constituie infiltrarea acesteia în sol, ca urmare a precipitațiilor, activității de irigații etc. Infiltrarea este determinată frecvent cu ajutorul *ecuației lui Horton*:

$$i = At^{-1/2} \quad (7.4)$$

Unde:

i - rata de infiltrare (cm/zi);

A - parametru;

t - timpul.

Solurile cu un conținut inițial ridicat de apă au o conductivitate hidraulică ridicată și o capacitate de stocare redusă pentru apa infiltrată.

Transferul contaminanților

Transportul soluțiilor *nereactive* în sol este rezultatul a trei procese ce se desfășoară simultan: *advecția*, *difuzia* și *dispersia*.

Transportul advectiv (J_m) reprezintă mișcarea pasivă a unei soluții dizolvate în apă. Acest proces este descris de ecuația următoare:

$$J_m = qC \quad (7.5)$$

Unde:

q - reprezintă fluxul Darcy;

C - concentrația mediată de volum.

Transportul prin difuziune (J_D) este rezultatul mișcării termice naturale a ionilor și moleculelor dizolvate. Acest proces este descris de *lega lui Fick*:

$$J_D = \theta D_m \frac{\partial C}{\partial x} \quad (7.6)$$

Unde:

θ - conținutul volumetric de apă al mediului;

D_m - coeficientul de difuziune al mediului poros;

x - distanța.

Datorită caracterului sinuos al mediului poros, coeficientul de difuziune al acestuia va fi întotdeauna mai mic decât cel al apei.

Transportul dispersiv (J_h) este determinat de variațiile locale de viteză datorate mediului poros, care conduc la o dispersie mecanică.

Acest proces este descris de următoarea ecuație:

$$J_h = -\theta D_h \frac{\partial C}{\partial z} \quad (7.7)$$

Unde:

D_h - dispersivitatea.

Deoarece D_m și D_h sunt similari la nivel macroscopic, frecvent ei se însumează, rezultând:

$$D = D_m + D_h \quad (7.8)$$

D - coeficientul de dispersie longitudinală.

Combinând (7.4), (7.5), (7.6) și (7.7) rezultă fluxul de soluție J_s :

$$J_s = -\theta D \frac{\partial C}{\partial z} + qC \quad (7.9)$$

Ecuția (7.9) combinată cu ecuația de continuitate $\frac{\partial \theta C}{\partial t} = -\frac{\partial J_s}{\partial z}$ conduce la ecuația generală

a transportului într-o dimensiune:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - v \frac{\partial C}{\partial z} \quad (7.10)$$

Această ecuație evidențiază dependența transportului soluțiilor de difuziune, dispersie și advecție. Atunci când viteza apei în pori este mare, procesul predominant este advecția, iar când această viteză este redusă, predomină difuzia.

În cazul transportului soluțiilor *reactive* în sol, în afara proceselor prezentate anterior intervin și interacțiunile dintre soluție și particulele de sol. Aceste interacțiuni cresc capacitatea de retenție a solului și reduc viteza de deplasare a soluției în mediul poros.

Pentru soluțiile adsorbite ecuația de continuitate este următoarea:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\theta C + \rho S) = -\frac{\partial J_s}{\partial z} \quad (7.11)$$

Unde:

ρ - densitatea globală a solului.

Combinând (7.9) cu (7.11) rezultă:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\theta C + \rho S) = \frac{\partial}{\partial z} \left(\theta D \frac{\partial C}{\partial z} - qC \right) \quad (7.12)$$

Între concentrația adsorbită și concentrația soluției se poate stabili o relație, descrisă cu ajutorul unei izoterme. O izotermă utilizată este cea a lui *Freundlich*:

$$S = K_f C^n \quad (7.13)$$

Unde:

S - concentrație adsorbită;

C - concentrația soluției;

K_f - coeficient de sorbție;

n - este un parametru adimensional.

Un alt model frecvent utilizat este cel al lui *Langmuir*, aceasta pleacă de la următoarele ipoteze:

- adsorbția se desfășoară doar la nivelul unui singur strat la suprafața particulei și procesul nu se poate desfășura sub acest strat;
- toate pozițiile suprafeței de adsorbție sunt echivalente și ele nu pot găzdui decât un singur atom adsorbit;
- capacitatea moleculelor de a fi adsorbite într-o anumită poziție este independentă de starea pozițiilor vecine de pe suprafața de adsorbție.

Ca rezultat, acest model este descris de *izoterma Langmuir*:

$$\theta = \frac{N}{S} = \frac{KP}{1 + KP} \text{ și } K = \frac{k_a}{k_d} \quad (7.14)$$

Unde:

P - presiunea;

N - numărul de molecule adsorbite;

S - numărul de poziții de adsorbție;

k_a - constantă de adsorbție;

k_d - constantă de desorbție.

Plecând de la aceste procese generale ce guvernează transportul contaminanților în zona vadoasă, în condițiile specifice fiecărei zone, se pot imagina o serie de scenarii care pot lua în considerare existența unui mediu poros omogen sau neomogen și independent de acesta a unui regim de curgere a apei staționar sau tranzitoriu. Situațiile cele mai frecvente sunt caracterizate de existența unui mediu neomogen și a unui regim tranzitoriu determinat de variațiile de alimentare din precipitații, irigații etc.

În cazul anumitor poluanți, în special a celor biodegradabili (pesticide, hidrocarburi etc.), procesele descrise trebuie cuplate în realizarea unor modele cât mai veridice, cu procesele biologice ce se desfășoară în zona vadoasă.

7.3. Studii de caz

7.3.1. Realizarea modelului de transport al poluanților miscibili la nivelul zonei nesaturate și a acviferului freatic din zona industrială Pantelimon

Realizarea modelului pentru zona nesaturată

Pentru realizarea modelului a fost utilizat softul *WHI UnSat Suite 2201*, pachet de programe ce combină cele mai populare modele utilizate în simularea unidimensională a curgerii apei subterane și a transportului poluanților în zona vadoasă. Această simulare unidimensională se realizează utilizând un profil model reprezentat practic de o coloană subțire de sol ce are o structură definită.

Pachetul de programe *WHI UnSat Suite 2201* conține mai multe aplicații profesionale specifice: *SESOIL* – simulează transportul poluanților, în zona vadoasă, în intervale mari de timp, în condiții climatice variabile; *PESTAN* – utilizată pentru estimarea migrării pesticidelor în zona vadoasă; *VS2DT* – simulează procesele de curgere și de transport în zona vadoasă cu structură heterogenă; *VLEACH* – utilizată pentru predicția migrării hidrocarburilor volatile în zona vadoasă.

Pentru realizarea modelului propus va fi utilizată aplicația *VS2DT* (*Variably Saturated 2-D Flow and Transport Model*), aceasta reprezintă un model bazat pe metoda diferențelor finite, ce descrie transportul diferitelor tipuri de poluanți (proveniți din agricultură, industrie, radioactivi etc.) împreună cu curgerea apei în zona vadoasă.

Modelul oferă posibilități de lucru cu structuri multistrat, heterogene și permite simularea anizotropiei hidraulice.

Simularea curgerii se face funcție de cantitatea de apă infiltrată, de valoarea pentru evapotranspirația potențială (ETP) sezonieră etc.

Transportul poluanților se poate simula ținând cont de dispersie, perioadă de înjumătățire, adsorbție (pe baza izotermelor Freundlich și Langmuir) și schimb ionic.

Condițiile inițiale pot fi impuse sub formă de umiditate sau sarcină piezometrică pentru apă și sub forma concentrației pentru poluanți.

VS2DT dispune de o bază de date ce cuprinde diferite litologii, împreună cu proprietățile utilizate în realizarea simulării.

Pe baza informațiilor existente cu privire la acvifer și zona vadoasă, corelat cu datele climatice ale zonei și rezultatele analizelor efectuate pentru determinarea metalelor din apă și materialul haldat se vor realiza o serie de modele care să reprezinte diferite scenarii posibile, corespunzătoare unor perioade diferite de timp, unor litologii diferite.

a. Scenariul 1 este caracterizat de următoarele condiții inițiale:

- succesiunea litologică specifică coloanei F1 (sol vegetal (0,4 m), loess argilos (1,7 m), loess prăfos (0,9 m), loess argilos (2,9 m), loess prăfos (1,5 m), nisip fin (2,3 m), nisip mediu cu pietriș (3,2 m), argilă (2,1 m); *adâncimea forajului* – 15 m; *adâncimea nivelul hidrostatic* – 8 m;
- perioada maximă de simulare a fost de 20 ani, incluzând intervale specifice de: 90 zile, 180 zile, 270 zile, 1 an, 2 ani, 3 ani, 4 ani, 5 ani, 6 ani, 7 ani, 8 ani, 9 ani, 10 ani și 20 ani;
- condiții de curgere:
 - la limita superioară – în primul an de simulare au fost considerate fluxuri variabile sezonier (29 mm/an, 39 mm/an, 50 mm/an, respectiv 32 mm/an), iar pentru restul perioadei o valoare medie de 150 mm/an. Aceste valori ale infiltrației au fost calculate în acord cu particularitățile bilanțului hidrologic al zonei studiate;
 - la limita inferioară – sarcină piezometrică constantă;
- condiții de transfer:
 - la limita superioară – tip concentrație constantă (*cupru* – 2,36 mg/l; 28 mg/l; 0,144 mg/l; *plumb* – 0,908 mg/l; 0,619 mg/l; *zinc* – 5 mg/l; 25 mg/l; 0,713 mg/l; *aluminiiu* – 59 mg/l; 2,25 mg/l);
 - la limita inferioară – limită caracteristică suprafeței piezometrice;
- conținutul de umiditate inițial al solului a fost considerat variabil, în funcție de litologie (între 0,25 – 0,5 vol./vol.);
- simularea transferului poluanților s-a făcut ținând cont de adsorbție, pe baza izotermei lui Langmuir, iar funcția hidrolică a solului este Van Genuchten;
- pentru fiecare unitate litologică s-a ales o rețea de calculare a parametrilor simetrică și neuniformă. Aceasta este mai deasă în vecinătatea limitelor dintre diferitele formațiuni și mai rară în interiorul formațiunii. S-a ales această variantă pentru o mai fidelă evidențiere a modificării parametrilor la limita dintre litologii diferite. Utilizarea acestui tip de rețea generează anumite intervale (adâncimi) specifice pentru care sunt calculați parametrii modelați.

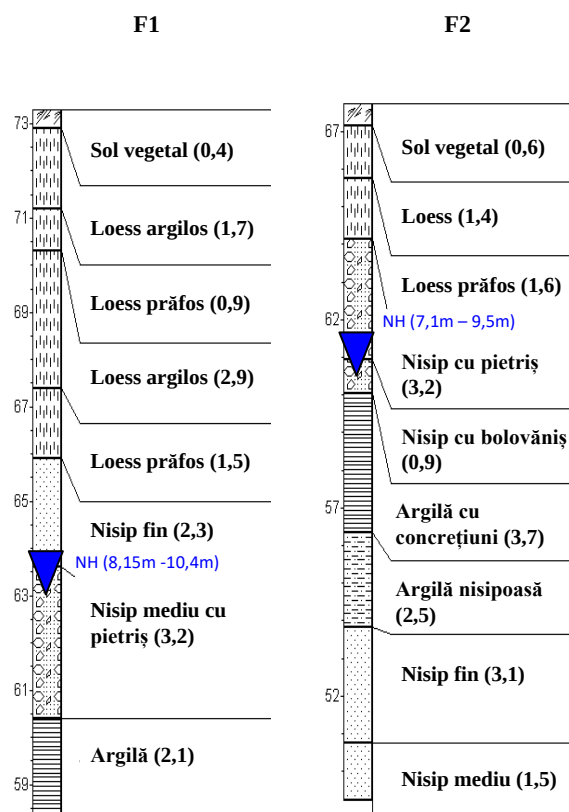


Figura 7.8 – Coloanele litologice ale forajelor F1 și F2
cu adâncimea nivelului hidrostatic

b. Scenariul 2 este caracterizat de următoarele condiții inițiale:

- succesiunea litologică specifică coloanei F2 (sol vegetal (0,6 m), loess (1,4 m), loess prăfos (1,6 m), nisip cu pietriș (3,2 m), nisip cu bolovăniș (0,9 m), argilă cu concrețiuni calcaroase (3,7 m), argilă nisipoasă (2,5 m), nisip fin (3,1 m) nisip mediu (1,5 m); *adâncimea forajului* – 18,5 m; *adâncimea nivelului hidrostatic* – 7 m;
- perioada maximă de simulare a fost de 20 ani, incluzând intervale specifice de: 90 zile, 180 zile, 270 zile, 1 an, 2 ani, 3 ani, 4 ani, 5 ani, 6 ani, 7 ani, 8 ani, 9 ani, 10 ani și 20 ani;
- condiții de curgere:
 - la limita superioară – în primul an de simulare au fost considerate fluxuri variabile sezonier (29 mm/an, 39 mm/an, 50 mm/an, respectiv 32 mm/an), iar pentru restul perioadei o valoare medie de 150 mm/an. Aceste valori ale infiltrației au fost calculate în acord cu particularitățile bilanțului hidrologic al zonei studiate;
 - la limita inferioară – sarcină piezometrică constantă;

- condiții de transfer:
 - la limita superioară – tip concentrație constantă (*cupru* – 28 mg/l; 0,148 mg/l; *plumb* – 0,908 mg/l; 0,032 mg/l; *zinc* – 0,713 mg/l; 25 mg/l; *aluminu* – 59 mg/l; 2,25 mg/l);
 - la limita inferioară – limită caracteristică suprafeței piezometrice;
- conținutul de umiditate inițial al solului a fost considerat variabil, în funcție de litologie (între 0,25 – 0,4 vol/vol);
- simularea transportului poluanților s-a făcut ținând cont de adsorbție, pe baza izotermei lui Langmuir, iar funcția hidraulică a solului este Van Genuchten;
- ca și în primul caz, pentru fiecare unitate litologică s-a ales o rețea de calculare a parametrilor simetrică și neuniformă.

În continuare sunt prezentate grafic:

- variația gradului de saturație cu apă;
- variația sarcinii hidraulice;
- variația concentrației de metal pe întreaga perioadă de simulare;
- curbele de restituție pentru întreaga perioadă de simulare.

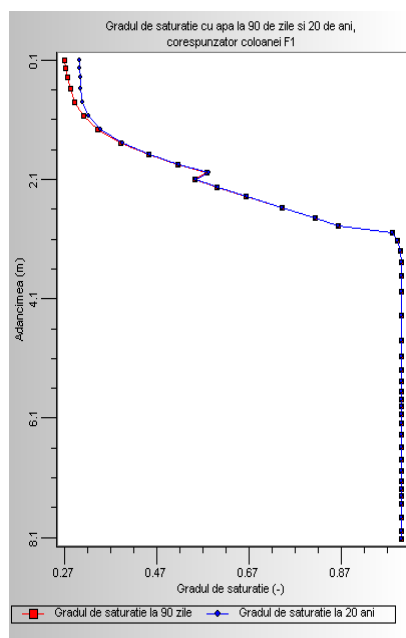


Figura 7.9 – Variația gradului de saturație cu apă la începutul și la sfârșitul simulării

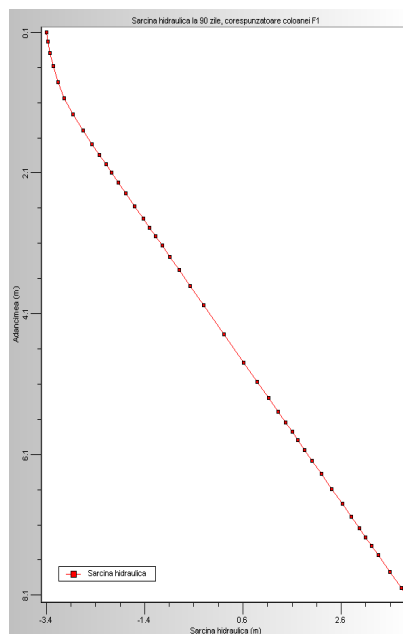


Figura 7.10 – Variația sarcinii hidraulice la începutul simulării

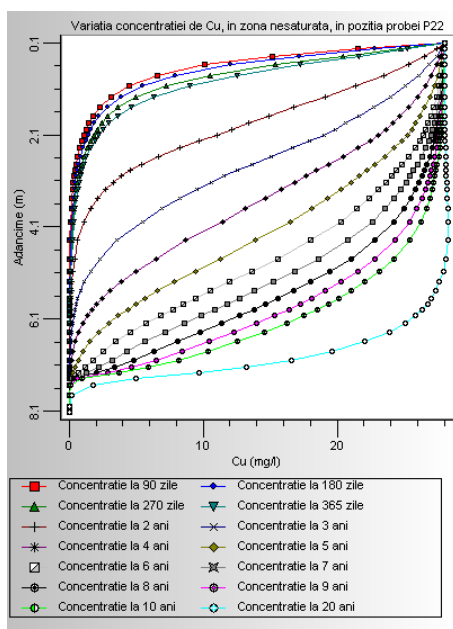


Figura 7.11 – Variația concentrației de cupru, de-a lungul profilului, pentru concentrații inițiale (infiltrate) de 28 mg/l (proba P22)

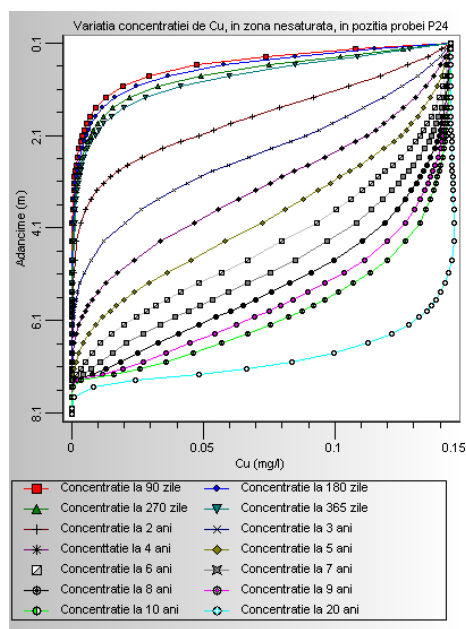


Figura 7.12 – Variația concentrației de cupru, de-a lungul profilului, pentru concentrații inițiale (infiltrate) de 0,144 mg/l (proba P24)

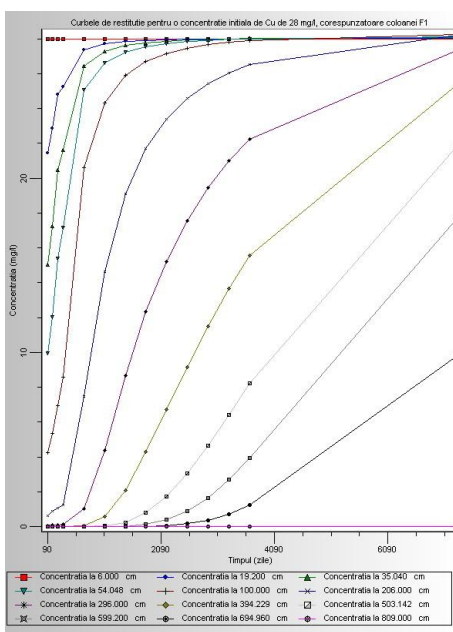


Figura 7.13 – Curbele de restituție corespunzătoare profilului F1, pentru concentrații inițiale de cupru de 28 mg/l

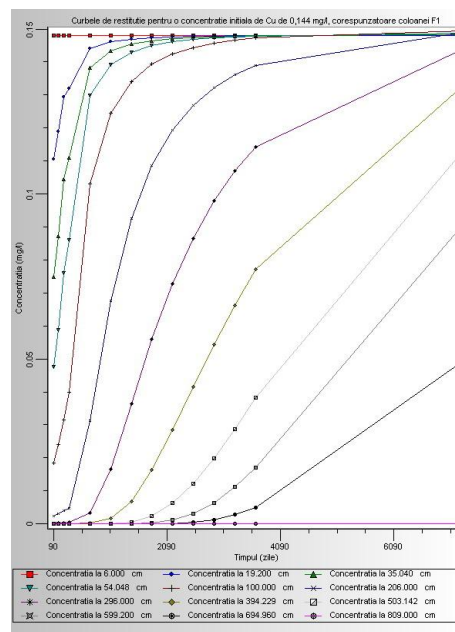


Figura 7.14 – Curbele de restituție corespunzătoare profilului F1, pentru concentrații inițiale de cupru de 0,144 mg/l (proba P24)

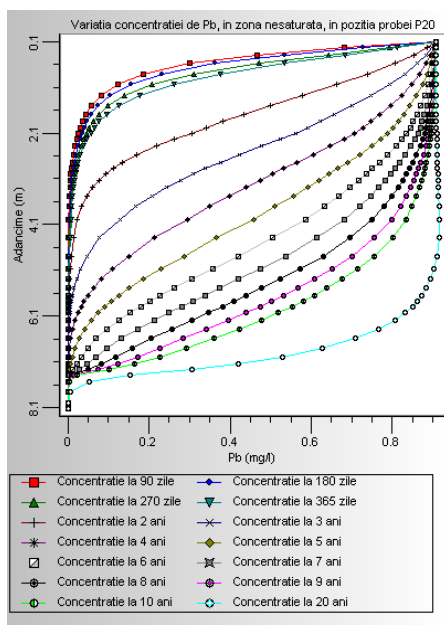


Figura 7.15 – Variația concentrației de plumb, de-a lungul profilului, pentru concentrații inițiale (infiltrate) de 0,908 mg/l (proba P20)

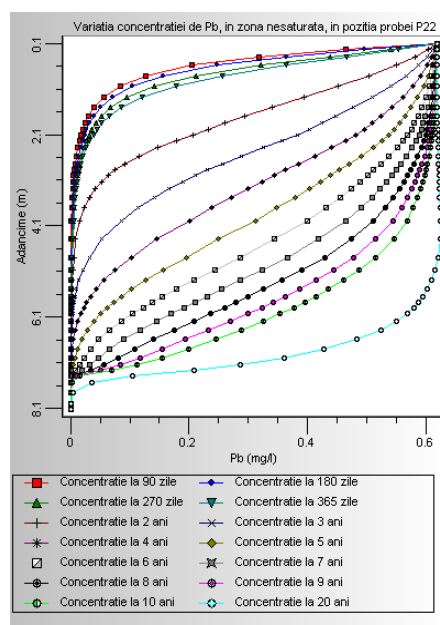


Figura 7.16 – Variația concentrației de plumb, de-a lungul profilului, pentru concentrații inițiale (infiltrate) de 0,619 mg/l (proba P22)

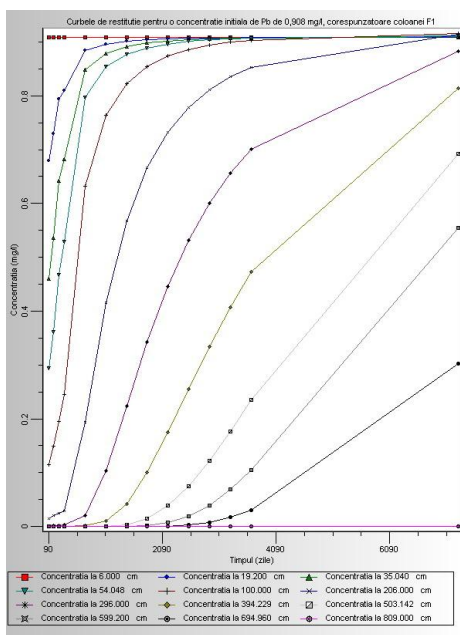


Figura 7.17 – Curbele de restituție corespunzătoare profilului F1, pentru concentrații inițiale de plumb de 0,908 mg/l (proba P20)

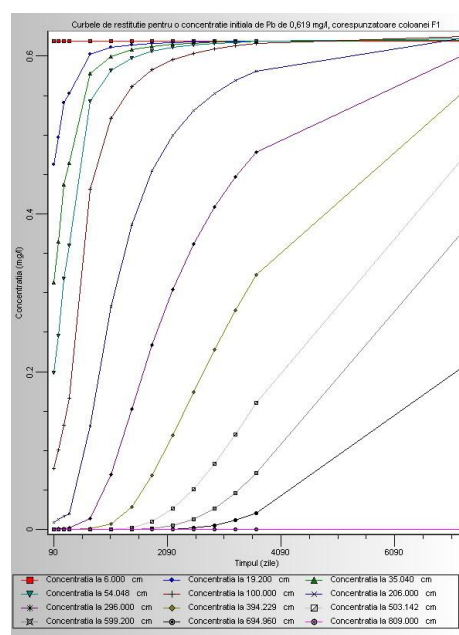


Figura 7.18 – Curbele de restituție corespunzătoare profilului F1, pentru concentrații inițiale de plumb de 0,619 mg/l (proba P22)

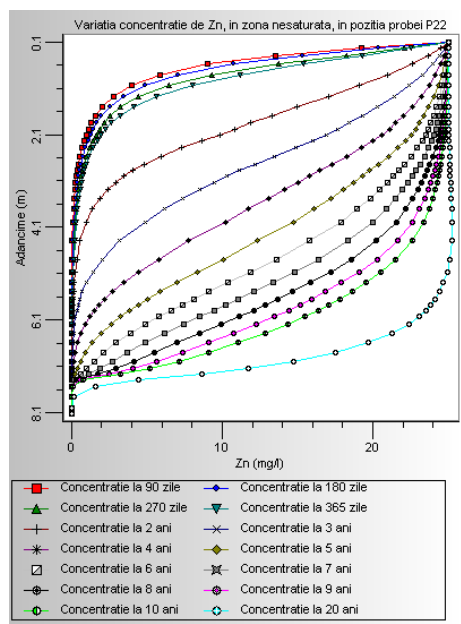


Figura 7.19 – Variația concentrației de zinc, de-a lungul profilului, pentru concentrații inițiale (infiltrate) de 25 mg/l (proba P22)

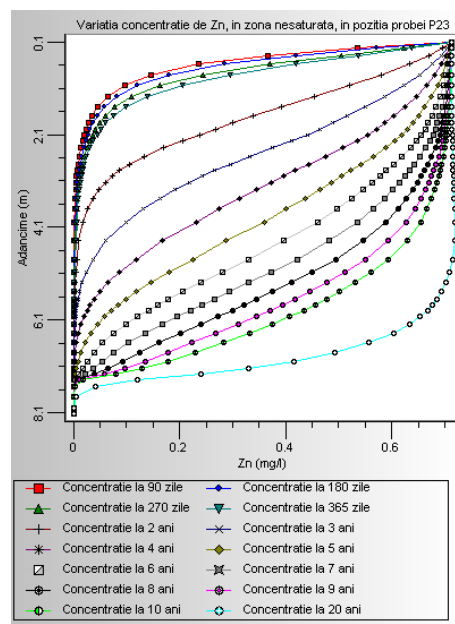


Figura 7.20 – Variația concentrației de zinc, de-a lungul profilului, pentru concentrații inițiale (infiltrate) de 0,713 mg/l (proba P23)

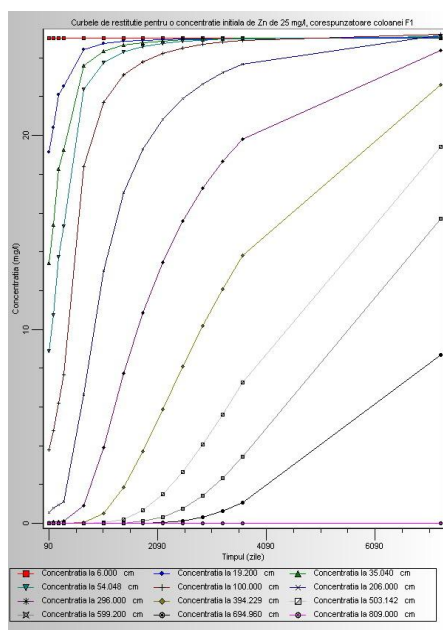


Figura 7.21 – Curbele de restituție corespunzătoare profilului F1, pentru concentrații inițiale de zinc de 25 mg/l (proba P22)

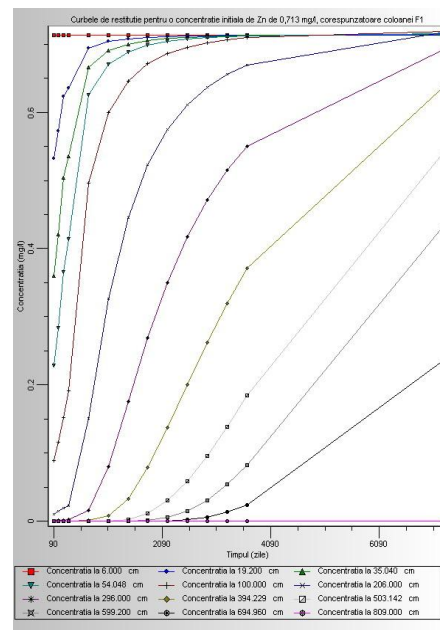


Figura 7.22 – Curbele de restituție corespunzătoare profilului F1, pentru concentrații inițiale de zinc de 0,713 mg/l (proba P23)

Scenariul 1

A fost realizat modelul de distribuție a poluantului în zona vadoasă, plecând de la ipotezele specificate anterior, pentru următoarele concentrații inițiale:

- cupru - $P_{22} = 28 \text{ mg/l}$ și $P_{24} = 0,144 \text{ mg/l}$;
- plumb – $P_{20} = 0,908 \text{ mg/l}$ și $P_{22} = 0.619 \text{ mg/l}$;
- zinc – $P_{22} = 25 \text{ mg/l}$ și $P_{23} = 0.713 \text{ mg/l}$.

Acestea au fost considerate concentrațiile sursei de poluare pentru profilul realizat, respectiv condiții de tip concentrație constantă, pentru transport, la limita superioară. Aceste concentrații au fost determinate în probele prelevate.

Au fost reprezentate grafic atât variația concentrației de cupru, plumb, zinc, plecând de la concentrațiile inițiale (infiltrate) pe întreaga perioadă de simulare (90 zile, 180 zile, 270 zile, 1 an, 2 ani, 3 ani, 4 ani, 5 ani, 6 ani, 7 ani, 8 ani, 9 ani, 10 ani și 20 ani), cât și curbele de restituție. Aceste curbe ce arată în detaliu variația în timp a concentrației de metal la diferite adâncimi specifice (6,00 cm; 19,200 cm; 35,040 cm; 54,048 cm; 100,00 cm; 206,00 cm; 296,00 cm; 394,23 cm; 503,14 cm; 599,20 cm; 694,96 cm și 809,00 cm).

Analizând atât reprezentarea grafică a variației concentrației cu adâncimea, cât și valorile efective ale acestor concentrații observăm:

- la începutul perioadei de simulare (90 zile) concentrația de metal atinge cca 25% din concentrația inițială la adâncimea de aproximativ 0,5 m, considerată adâncimea maximă la care pătrunde sistemul radicular al plantelor de cultură, precum și a arbuștilor de mici dimensiuni;
- frontul principal de poluare ajunge la sfârșitul perioadei de simulare (20 de ani) în baza depozitelor loessoide, la adâncimea medie a nivelului hidrostatic. La sfârșitul acestei perioade, concentrație atinge la adâncimea de cca 7 m, 50 % din concentrația inițială de la suprafață a poluantului.

Curbele concentrațiilor de metal la diverse intervale de timp, pentru întreaga perioadă de simulare, ilustrează sugestiv propagarea frontului de poluare la nivelul zonei vadoase, pentru structura litologică caracteristică zonei. Concentrațiile ridicate determinate în probele prelevate din acvifer pun în evidență caracterul istoric al poluării în această zonă industrială.

Curbele de restituție prezintă un maxim, la sfârșitul perioadei de simulare, până la adâncimea de 206,00 cm; nivel la care după această perioadă (20 ani) concentrație este similară celei inițiale. Apoi, datorită adsorbției și hidrodispersiei, concentrațiile maxime de la finalul perioadei, caracteristice diferitelor adâncimi, scad. La o adâncime situată sub nivelul de 8 m, concentrație de metal rămâne egală cu 0 pentru întreaga perioadă de simulare.

Se poate concluziona că datorită adsorbției, pentru întreaga perioadă de simulare, concentrație de metal rămâne mai mică în apa din sol decât în sursă (debitul infiltrat).

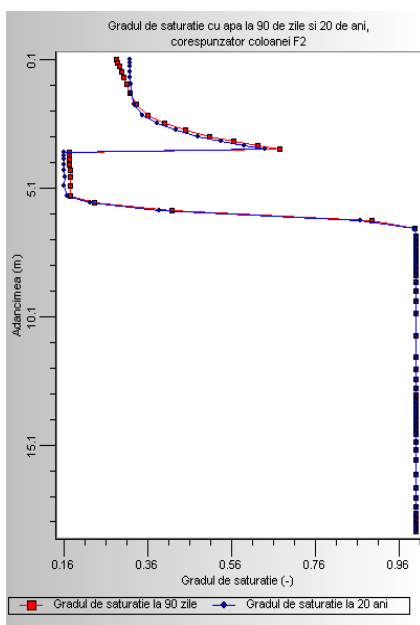


Figura 7.23 – Variația gradului de saturație cu apă la începutul și la sfârșitul simulării

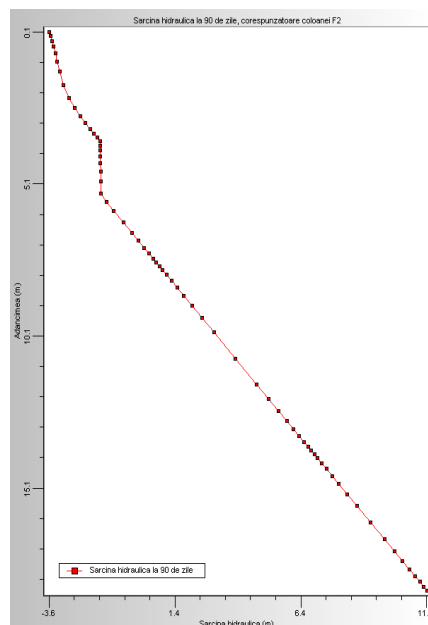


Figura 7.24 – Variația sarcinii hidraulice la începutul simulării

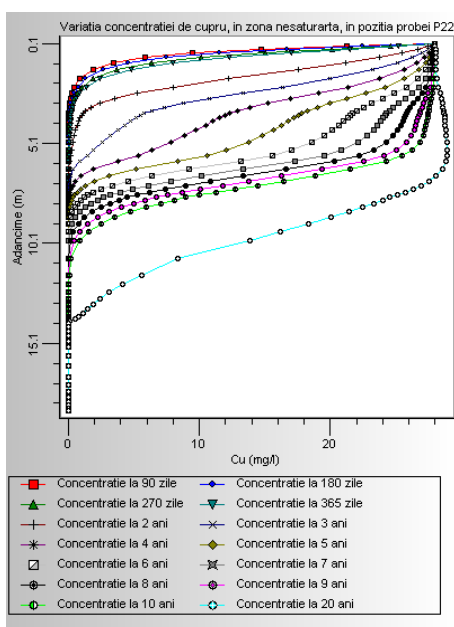


Figura 7.25 – Variația concentrației de cupru, de-a lungul profilului, pentru concentrații inițiale (infiltrate) de 28 mg/l (proba P22)

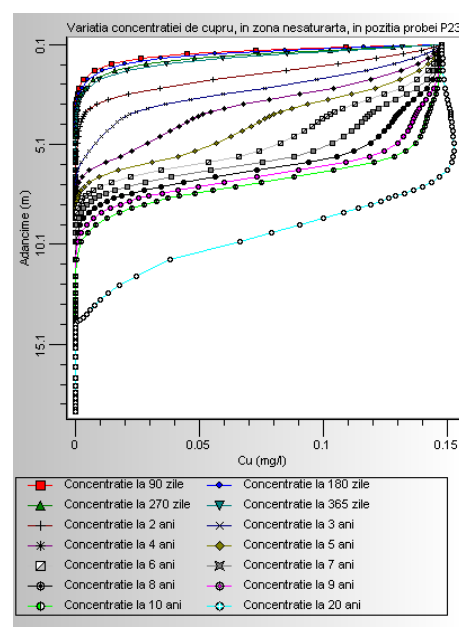


Figura 7.26 – Variația concentrației de cupru, de-a lungul profilului, pentru concentrații inițiale (infiltrate) de 0,148 mg/l (proba P23)

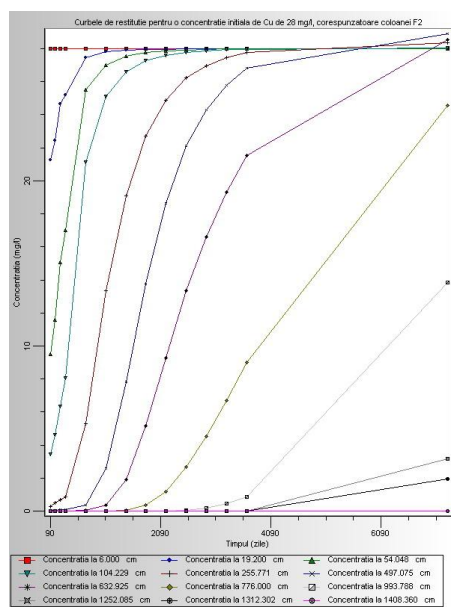


Figura 7.27 – Curbele de restituție corespunzătoare profilului F2, pentru concentrații inițiale de cupru de 28 mg/l (proba P22)

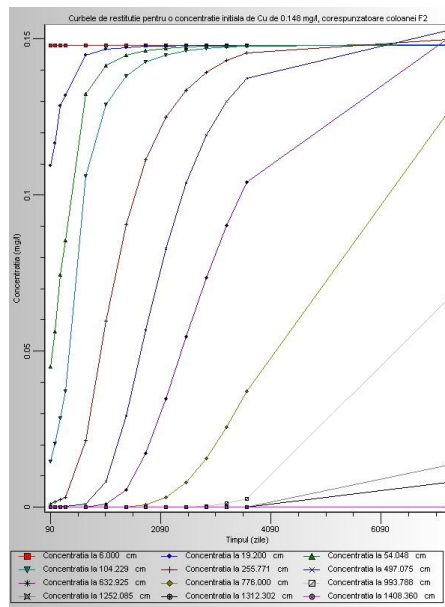


Figura 7.28 – Curbele de restituție corespunzătoare profilului F2, pentru concentrații inițiale de cupru de 0,148 mg/l (proba P23)

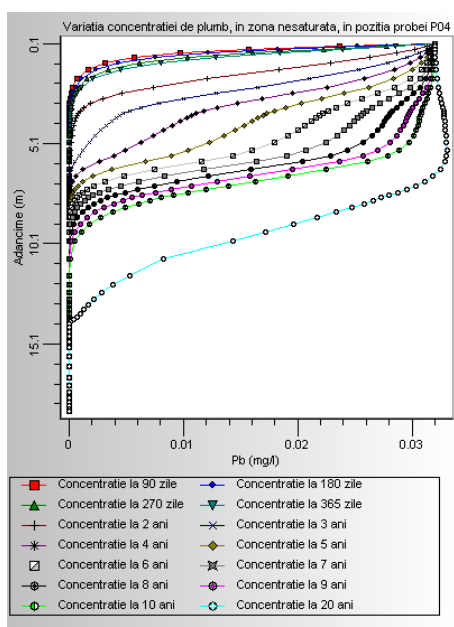


Figura 7.29 – Variația concentrației de plumb, de-a lungul profilului, pentru concentrații inițiale (infiltrate) de 0,032 mg/l (proba P04)

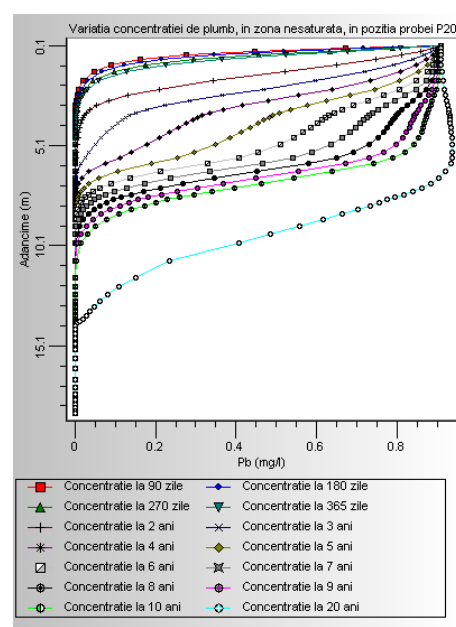


Figura 7.30 – Variația concentrației de plumb, de-a lungul profilului, pentru concentrații inițiale (infiltrate) de 0,908 mg/l (proba P20)

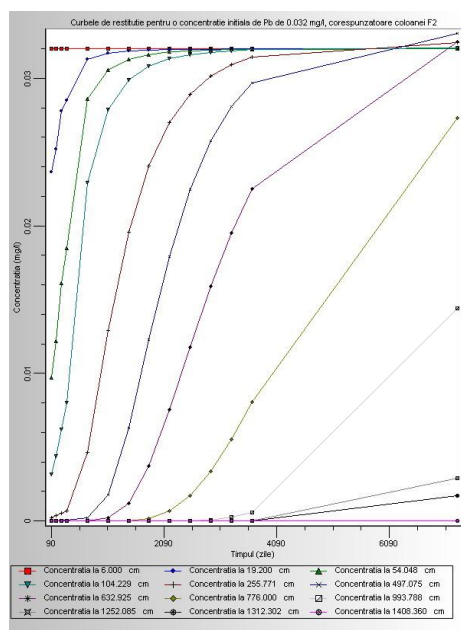


Figura 7.31 – Curbele de restituție corespunzătoare profilului F2, pentru concentrații inițiale de plumb de 0,032 mg/l (proba P04)

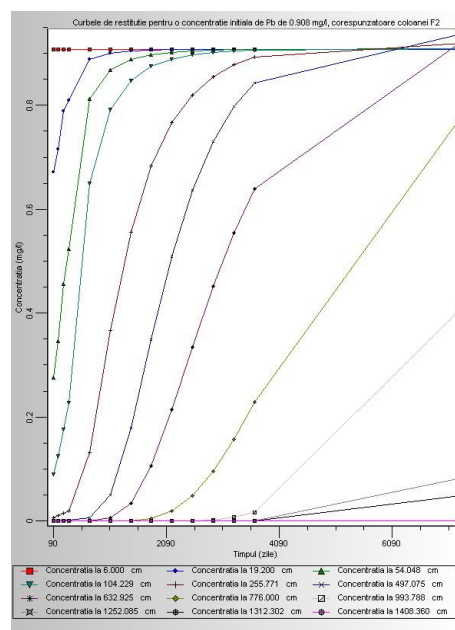


Figura 7.32 – Curbele de restituție corespunzătoare profilului F2, pentru concentrații inițiale de plumb de 0,908 mg/l (proba P20)

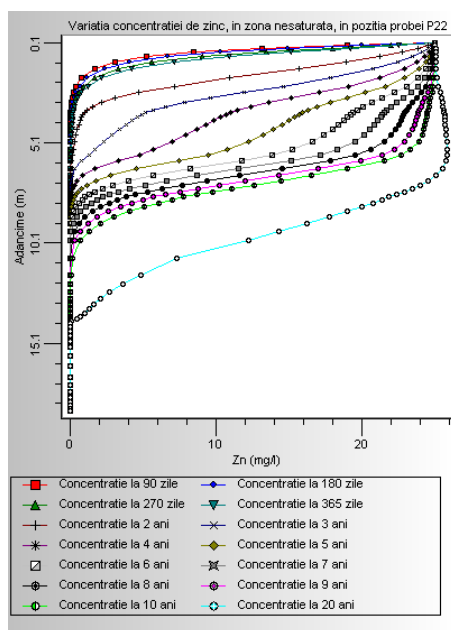


Figura 7.33 – Variația concentrației de zinc, de-a lungul profilului, pentru concentrații inițiale (infiltrate) de 25 mg/l (proba P22)

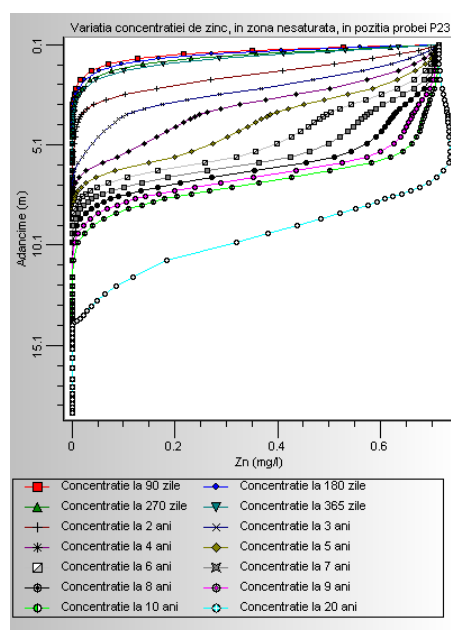


Figura 7.34 – Variația concentrației de zinc, de-a lungul profilului, pentru concentrații inițiale (infiltrate) de 0,713 mg/l (proba P23)

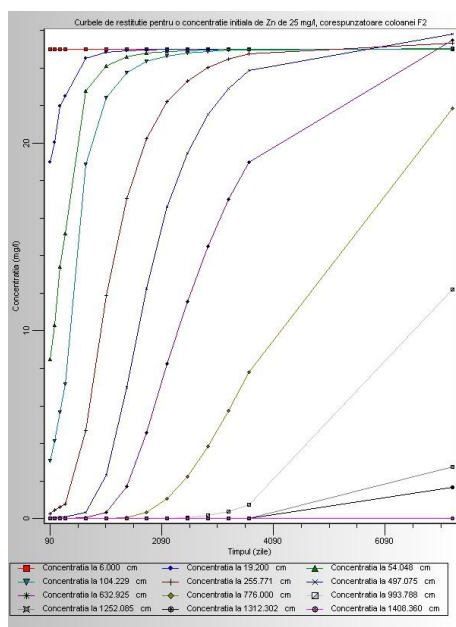


Figura 7.35 – Curbele de restituție corespunzătoare profilului F2, pentru concentrații inițiale de zinc de 25 mg/l (proba P22)

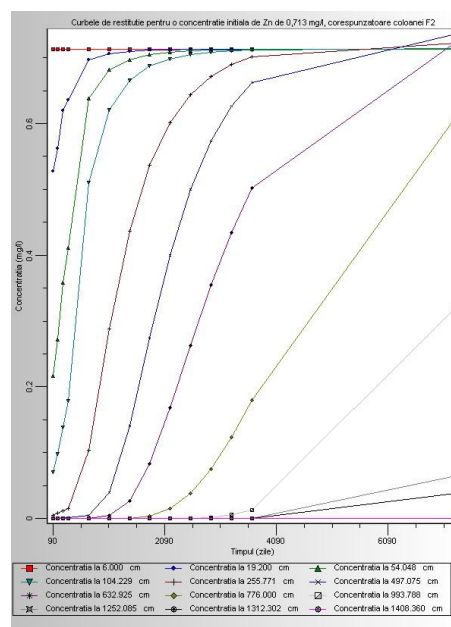


Figura 7.36 – Curbele de restituție corespunzătoare profilului F2, pentru concentrații inițiale de zinc de 0,713 mg/l (proba P23).

Scenariul 2

A fost realizat modelul de distribuție a poluantului în zona vadoasă, plecând de la ipotezele specificate anterior, pentru următoarele concentrații inițiale:

- cupru – P22 = 28 mg/l și P 23 = 0,148 mg/l;
- plumb – P20 = 0,908 mg/l și P04 = 0.032 mg/l;
- zinc – P22 = 25 mg/l și P23 = 0.713 mg/l).

Ca și în primul caz, acestea au fost considerate concentrațiile sursei de poluare pentru profilul realizat, respectiv condiții de tip concentrație constantă, pentru transport, la limita superioară. Aceste concentrații au fost determinate în probele prelevate.

Au fost reprezentate grafic atât variația concentrației de cupru, plumb, zinc, plecând de la concentrațiile inițiale (infiltrate) pe întreaga perioadă de simulare (90 zile, 180 zile, 270 zile, 1 an, 2 ani, 3 ani, 4 ani, 5 ani, 6 ani, 7 ani, 8 ani, 9 ani, 10 ani și 20 ani), cât și curbele de restituție. Aceste curbe ce arată în detaliu variația în timp a concentrației de metal la diferite adâncimi specifice, în acest al doilea caz - 6,00 cm; 19,200 cm; 54,048 cm; 104,23 cm; 255,77 cm; 497,07 cm; 632,92 cm; 776,00 cm; 993,79 cm; 1252,08 cm; 1312,30 cm; 1408,360 cm.

Analizând atât reprezentarea grafică a variației concentrației cu adâncimea, cât și valorile efective ale acestor concentrații observăm:

- La începutul perioadei de simulare (90 zile) concentrația de metal atinge cca 25% din concentrația inițială la adâncimea de aproximativ 0,5 m, considerată adâncimea maximă la care pătrunde sistemul radicular al plantelor de cultură, precum și al arbuștilor de mici dimensiuni;
- Frontul principal de poluare ajunge la sfârșitul perioadei de simulare (20 de ani) la o adâncimea medie de 9,5 – 10 m aflată sub nivelul hidrostatic. La sfârșitul acestei perioade, concentrație atinge, la această adâncime, 50 % din concentrația inițială de la suprafață a poluantului.

Curbele concentrațiilor de metal la diverse intervale de timp, pentru întreaga perioadă de simulare, ilustrează sugestiv propagarea frontului de poluare la nivelul zonei vadoase, pentru structura litologică caracteristică zonei. Concentrațiile ridicate determinate în probele prelevate din acvifer pun în evidență caracterul istoric al poluării în această zonă industrială.

Spre deosebire de primul caz (scenariul 1), ritmul de creștere al concentrației este mai rapid, iar procesul de adsorbție este mai diminuat, concentrațiile mai ridicate de metal înregistrându-se la adâncimi mai mari, situate sub adâncimea nivelului hidrostatic. Acest aspect poate fi pus pe seama grosimii inferioare a depozitelor loessoide din zona vadoasă (3 m, spre deosebire de 7 m în primul caz).

Astfel protecția oferită acviferului de către zona vadoasă, în cazul scenariului al doilea, este net inferioară. O reducere a grosimii depozitelor loessoide la jumătate determină apariția concentrațiilor ridicate de metal (cca 50% din concentrația inițială) la adâncimi mai mari cu cca 3 m față de primul caz.

Este important de semnalat că adâncimea nivelului hidrostatic era comparabilă în cele două situații.

Curbele de restituție prezintă un maxim, la sfârșitul perioadei de simulare, până la adâncimea de 632,92 cm; nivel la care după această perioadă (20 ani) concentrația este similară celei inițiale. Apoi, datorită adsorbției și hidrodispersiei, concentrațiile maxime de la finalul perioadei, caracteristice diferitelor adâncimi, scad. La o adâncime situată sub nivelul de 14 m, concentrația de metal rămâne egală cu 0 pentru întreaga perioadă de simulare.

Spre deosebire de scenariul 1, se poate observa o propagare mult mai profundă a poluantului, adâncimea la care influența acestuia este redusă la 0 prin adsorbție, la sfârșitul perioadei de simulare (20 ani), este net inferioară – cca 14 m în loc de cca 8 m.

Realizarea modelului de transport al poluanților în zona saturată

Atât pentru realizarea modelului hidrodinamic al acviferului freatic din zona studiată, cât și pentru studiul distribuției metalelor grele, a fost utilizat programul Visual MODFLOW. Programul permite realizarea de modele numerice pentru curgere și transport în mediul saturat, utilizând metoda diferențelor finite, printre altele, având integrate modulele MODFLOW, MODPATH și MT3D. Acesta din urmă constituie un instrument complex de modelare a transportului soluțiilor cu simularea advecției, dispersiei și a reacțiilor chimice ale contaminanților în apele subterane.

Modelul poluării zonei saturate din zona Neferal – Acumulatorul

Atât pentru realizarea modelului hidrodinamic al acviferului freatic din zona studiată, cât și pentru studiul distribuției metalelor grele, a fost utilizat programul Visual MODFLOW. Programul permite realizarea de modele numerice pentru curgere și transport în mediul saturat, utilizând metoda diferențelor finite, printre altele, având integrate modulele MODFLOW, MODPATH și MT3D. Acesta din urmă constituie un instrument complex de modelare a transportului soluțiilor cu simularea advecției, dispersiei și a reacțiilor chimice ale contaminanților în apele subterane.

Modelul hidrodinamic

În condițiile particulare ale sistemului acvifer din zona Pantelimon avem un acvifer freatic cu grosime constantă, drenat de lacul Cernica, într-un regim de curgere staționar, plan-orizontal.

Acviferul freatic într-o primă aproximare va fi considerat omogen și izotrop, cu o conductivitate de 50 m/zi și o porozitate activă de 25%.

Zona studiată este delimitată (figura 7.37):

- în plan orizontal:
 - la nord de o linie de sarcină piezometrică constantă, orientată V – E, de-a lungul hidroizohipsei de 63 m;
 - la sud de o linie de sarcină piezometrică constantă reprezentată de conturul lacului Cernica (+54 m la vest de baraj și +48 m la est de baraj);
- în plan vertical:
 - în culcuș, formațiuni impermeabile (fără alimentare prin drenanță);
 - În acoperiș, (alimentare din infiltrații prin depozitele loessoide ale zonei vadoase cu valori de 150 mm/an).

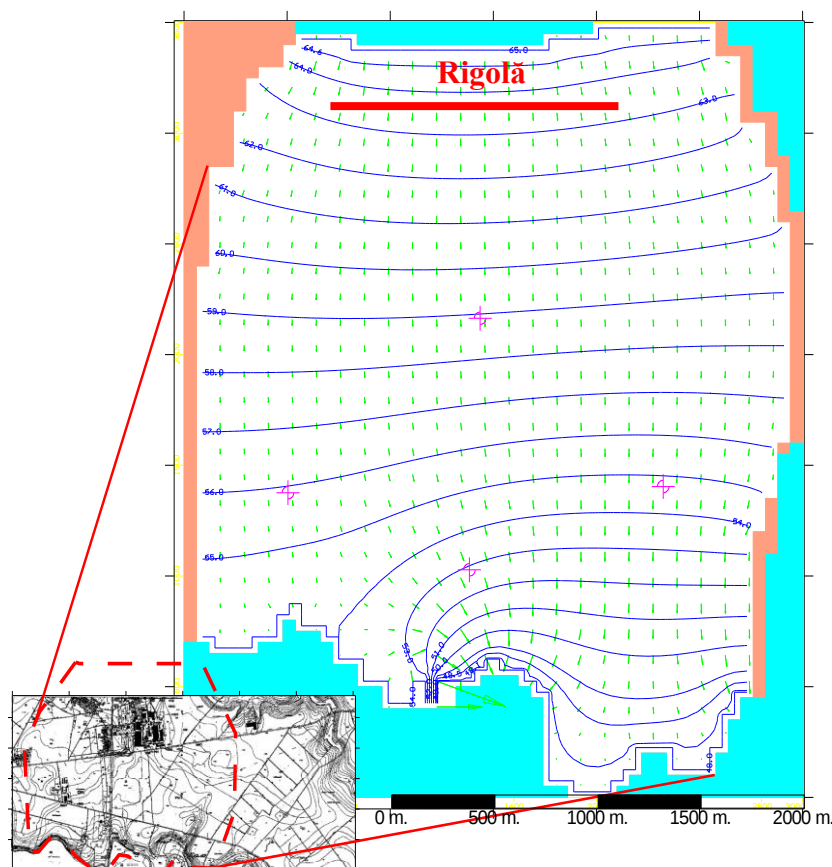


Figura 7.37 – Modelul hidrodinamic al acviferului freatic din zona studiată, delimitarea arealului pentru care s-a realizat modelul, harta cu echipotențiale și direcții de curgere a apei subterane

Spectrul hidrodinamic rezultat indică o direcție principală de curgere orientată nord-sud. În vecinătatea lacului Cernica, datorită barajului și deversorului se produce o perturbare locală a direcțiilor de curgere și o creștere a vitezelor de curgere.

O analiza statistică globală a vitezelor de curgere indică o distribuție lognormală a vitezelor de curgere cu o asimetrie de 10,14. Logaritizarea valorilor vitezei conduce la o reducere a asimetriei la -1,88.

Valoarea medie a vitezei este de 1,54 m/zi, cu o dispersie de 1,08 și o eroare de estimare de 1,01. Valorile extreme ale vitezelor de curgere sunt:

- VALOAREA MINIMĂ: 0,07 m/zi;
- VALOAREA MAXIMĂ: 17,95 m/zi.

Curgerea în acviferul freatic, pe toată perioada modelată este considerată staționară, deoarece variațiile nivelului piezometric sunt reduse în raport cu grosimea acestuia.

Modelul hidrochimic

Modelul hidrochimic are ca fundament modelul hidrodinamic al curgerii apelor subterane din acviferul freatic.

Sursa de poluare este de tip linear (pe traseul rigolei) și de concentrație constantă pe toată perioada de calcul. Legătura hidrolică dintre rigolă și acviferul freatic se face prin infiltrare verticală pe grosimea de 7 m a zonei vadoase. Concentrațiile luate în considerare sunt cele ajunse în acvifer după 20 de ani de migrare prin zona vadoasă.

**Concentrațiile metalelor grele în apa din acvifer, utilizate
la modelarea poluării cu metale grele**

Tabelul 7.1

Elementul	Concentrații în apa rigolă [mg/l]	
	Amonie haldă	Aval haldă
Aluminiu	2,13	57,000
Cupru	0,140	26,910
Plumb	0,030	0,860
Zinc	0,675	23,98

Pentru modelarea variațiilor concentrațiilor metalelor grele selectate s-au utilizat următorii parametri:

- concentrația inițială a poluantului 0,0 mg/litru;
- un coeficient de difuzie de $1 \text{ m}^2/\text{zi}$;
- dispersivitatea de 100 m cu un raport de anizotropie de 0,1 între cea longitudinală și cea transversală;
- izotermă de tip Langmuir pentru toate metalele, parametrii izotermelor fiind stabiliți în perioada de calare:
 - pentru aluminiu: $0,15 \text{ m}^3/\text{kg}$ și $0,01 \text{ kg/kg}$;
 - pentru cupru: $0,15 \text{ m}^3/\text{kg}$ și $0,039 \text{ kg/kg}$;
 - pentru plumb: $0,15 \text{ m}^3/\text{kg}$ și $0,029 \text{ kg/kg}$;
 - pentru zinc: $0,09 \text{ m}^3/\text{kg}$ și $0,0228 \text{ kg/kg}$.

Cu acești parametri s-a modelat distribuția metalelor grele la diferite momente de la momentul ajungerii din rigolă în acvifer: 1 an, 5 ani, 10 ani, 20 ani și 25 ani (și aluminiului).

Momentul zero al modelului hidrochimic este anul 1985, când poluanții au ajuns în acvifer.

Distribuțiile metalelor grele la momentele 1, 5, 10 și 20 ani corespund intervalului 1985 - 2005 când sunt disponibile concentrațiile măsurate în piezometrele utilizate pentru calarea modelului.

Distribuțiile de la momentul 25 de ani corespund anului 2010 și sunt o prognoză care va trebui verificată pe baza măsurătorilor.

Fiecare din reprezentările realizate au marcate limitele conținuturilor minime admisibile, în conformitate cu stasul de potabilitate din România.

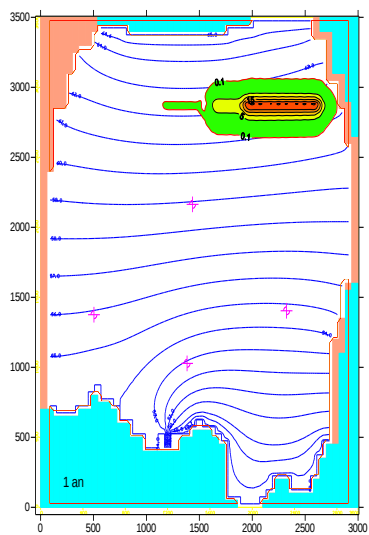


Figura 7.38 – Evoluția distribuției concentrației de cupru, la nivelul acviferului, după 1 an (în mg/l)

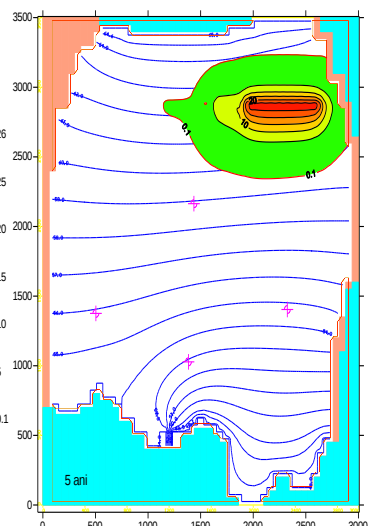


Figura 7.39 – Evoluția distribuției concentrației de cupru, la nivelul acviferului, după 5 ani (în mg/l)

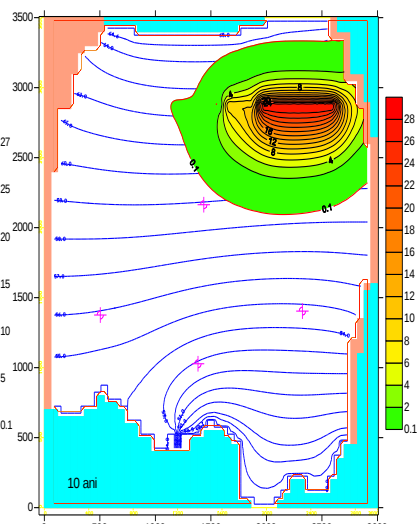


Figura 7.40 – Evoluția distribuției concentrației de cupru, la nivelul acviferului, după 10 ani (în mg/l)

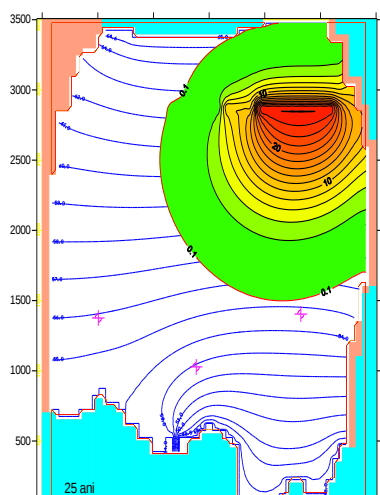


Figura 7.41 – Evoluția distribuției concentrației de cupru, la nivelul acviferului, după 20 ani (în mg/l)

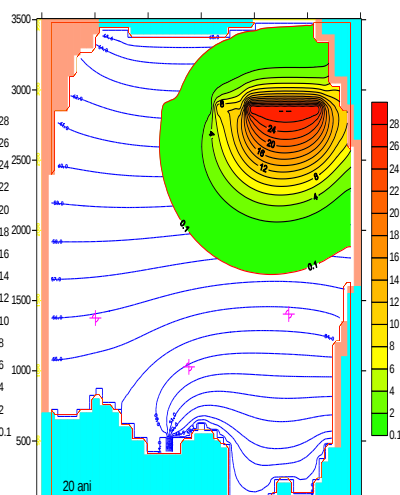


Figura 7.42 – Evoluția distribuției concentrației de cupru, la nivelul acviferului, după 25 ani (în mg/l)

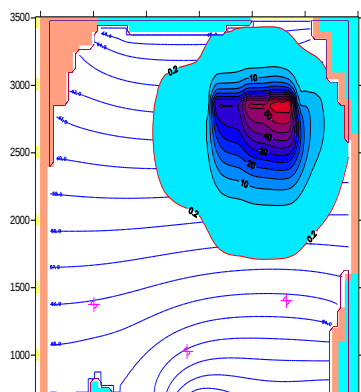


Figura 7.43 – Evoluția distribuției concentrației de aluminiu, la nivelul acviferului, după 1 an (în mg/l)

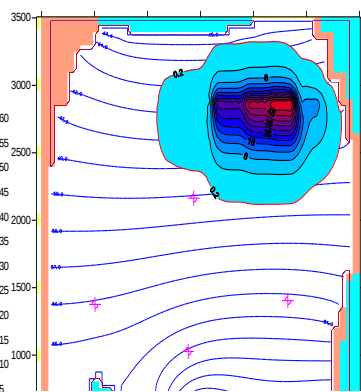


Figura 7.44 – Evoluția distribuției concentrației de aluminiu, la nivelul acviferului, după 5 ani (în mg/l)

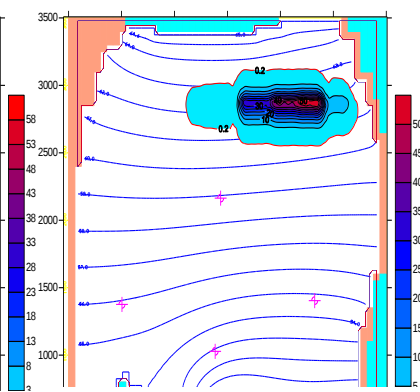


Figura 7.45 – Evoluția distribuției concentrației de aluminiu, la nivelul acviferului, după 10 ani (în mg/l)

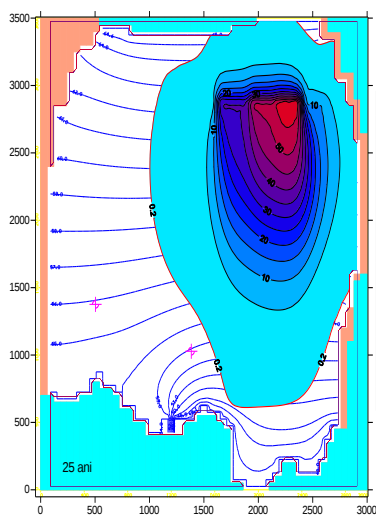


Figura 7.46 – Evoluția distribuției concentrației de aluminiu, la nivelul acviferului, după 20 ani (în mg/l)

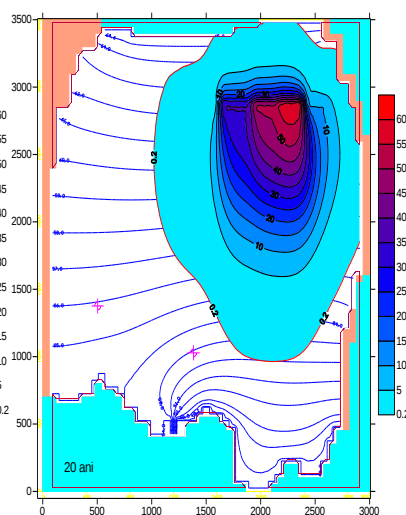


Figura 7.47 – Evoluția distribuției concentrației de aluminiu, la nivelul acviferului, după 25 ani (în mg/l)

Așa cum a fost precizat, întreaga perioadă pentru care s-au realizat modelele acoperă intervalul 1965 – 2010. Modelul transferului în zona vadoasă s-a realizat pentru 20 de ani (1965 – 1985), începând din momentul în care a luat ființă întreprinderea Neferal, în timp ce modelul de transfer în acviferul freatic, pe un interval de 25 de ani – 1985 – 2010.

Prin calarea modelelor, realizată cu ajutorul concentrațiilor determinate în apa recoltată din acviferul freatic, au fost evaluați parametrii specifici ai proceselor de migrare a contaminanților:

- coeficientul de difuzie - $1 \text{ m}^2/\text{zi}$;
- dispersivitatea de 100 m cu un raport de anizotropie de 0,1 între cea longitudinală și cea transversală;
- izotermă de tip Langmuir pentru toate metalele:
 - pentru aluminiu: $0,15 \text{ m}^3/\text{kg}$ și $0,01 \text{ kg}/\text{kg}$;
 - pentru cupru: $0,15 \text{ m}^3/\text{kg}$ și $0,039 \text{ kg}/\text{kg}$;
 - pentru plumb: $0,15 \text{ m}^3/\text{kg}$ și $0,029 \text{ kg}/\text{kg}$;
 - pentru zinc: $0,09 \text{ m}^3/\text{kg}$ și $0,0228 \text{ kg}/\text{kg}$.

Distribuția concentrațiilor tuturor elementelor studiate pune în evidență diferența de mobilitate a elementelor la nivelul acviferului, astfel cel mai mobil este zincul. Acesta, plecând de la concentrații la sursă mai mici decât în cazul cuprului și aluminiului, concentrația zincului ajunge, după perioada maximă de simulare (25 ani), la limita sudică a domeniului la valori de cca $1 \text{ mg}/\text{l}$, net superioare celorlalte elemente în poziția specificată. Mobilitatea cea mai redusă o au plumbul și cuprul.

Pe hărțile prezentate au fost evidențiate prin intermediul unor curbe de izoconcentrație de culoare roșie valorile pentru *concentrația maximă admisă* (CMA) în apa potabilă, pentru fiecare element studiat. Prin utilizarea acestor hărți rezultate în urma modelării transferului metalelor în zona saturată, este posibilă o evaluare ulterioară a impactului asupra mediului pe termen lung, generat de depozitul de deșeuri industriale din zonă.

Vitezele mici de curgere ale apei subterane, în zona rigolei, calculate în urma realizării modelului hidrodinamic al acviferului (cca $0,07 - 0,1 \text{ m}/\text{zi}$), raportate la coeficientul de difuzie mediu de cca $1 \text{ m}^2/\text{zi}$, determină și o propagare spre nord, în amonte, a metalelor, aspect evidențiat clar și de hărțile cu izoconcentrații ale elementelor. Astfel, după un interval de 25 de ani, frontul de poluare se propagă în direcția nordică, raportat la limitele CMA pentru fiecare element, până la distanțe de 300 – 500 m față de sursă.

- ✓ *pârâul Olănești* este principala apă de suprafață din zona captării Vlădești, fiind al doilea afluent principal al Oltului de la intrarea în județul Vâlcea. *Debitul* mediu multianual al pârâului Olănești este estimat între 3,8 și 4,2 m³/s. Lățimea șesului aluvial variază între 200 și 500 m, uneori chiar mai mult;
- ✓ *râul Olt* este principalul curs de apă din județul Vâlcea, având un *debit* mediu multianual, în dreptul localității Râmnicu Vâlcea de 140 m³/s. În lunile foarte ploioase debitul poate ajunge la 1400 m³/s, la viitura din 1975 Oltul având debitul maxim de 2000 m³/s;
- ✓ în dreptul localității Râmnicu Vâlcea, respectiv în zona stației de tratare a apei, râul Olt este regularizat.

Acviferele freatice, în zona cercetată, sunt acumulate în depozite grosiere (pietrișuri și nisipuri) cu grosimi cuprinse între 8 și 15 m. *Conductivitatea hidraulică* a depozitelor permeabile este cuprinsă între 60 și 600 m/zi (valori determinate în forajele de captare realizate în zona Râmnicu Vâlcea).

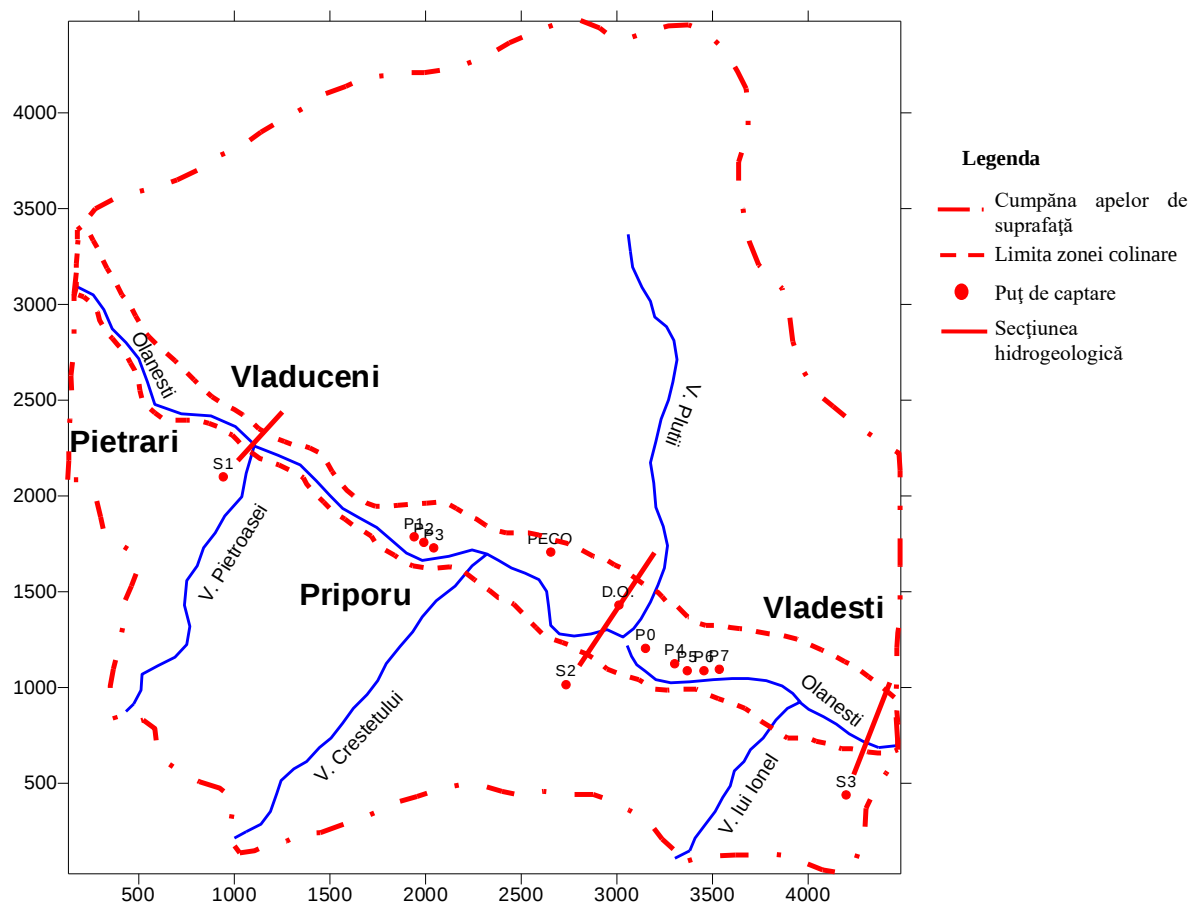


Figura 7.49 – Elemente de schematizare a condițiilor hidrogeologice pentru captarea Vlădești

Nivelele hidrostatice sunt la adâncimi cuprinse între 0,5 și 2,5 m, acviferele freatice fiind în legătură hidraulică directă cu rețeaua hidrografică. Legătura hidraulică directă cu rețeaua hidrografică are drept consecințe:

- creșterea potențialului de debitare al acviferului prin alimentare de mal;
- creșterea vulnerabilității la poluare a acviferului;
- *calitatea apei* din acviferele freatice este dependentă de calitatea apei din rețeaua hidrografică.

Modelarea matematică a acviferului captat la Vlădești are ca obiective:

- calculul direcțiilor și vitezelor de curgere ale apei subterane în zona captării;
- simularea unor scenarii de poluare a acviferului, cu efect imediat asupra calității apei captate.

Delimitarea spațială a modelului hidrodinamic s-a realizat prin linia de cumpănă a apelor de suprafață care se încheie:

- în amonte, la confluența *pârâului Cornetului* cu *pârâul Olănești* (secțiunea S1);
- în aval, la 250 m de confluența *pârâului lui Ionel* cu *pârâul Olănești* (secțiunea S3).

Pentru precizarea *grosimii* (9-10 m) și *lățimii* acviferului freatic în acest areal s-au realizat trei secțiuni hidrogeologice schematice (S1, S2, S3)

- *Condițiile pe conturul modelului hidrodinamic* au fost alese de tip *sarcină piezometrică impusă (Dirichlet)*, din lipsa unor informații privind alimentarea din infiltrații a acviferului freatic și a conductanței talvegului pârâului Olănești. Acest tip de condiții pe conturul modelului va introduce o supraestimare a potențialului de debitare a acviferului.
- *Conductivitatea hidraulică* medie utilizată este $K = 60 \text{ m/zi}$, iar *porozitatea activă* $n_a = 25\%$.

Curgerea este considerată *staționară* și *plan orizontală*, realimentarea prin infiltrații fiind considerată neglijabilă, din cauza extinderii reduse a șesului aluvionar și evapotranspirației potențiale mari din zonă.

Modelul a fost încadrat într-un pătrat cu latura de 4550 m. Pentru rezolvarea numerică a fost utilizată metoda diferențelor finite într-o rețea pătratică de:

- 10000 celule pentru curgerea în regimul natural;
- 17000 celule pentru curgerea în regim influențat (pentru îndesirea rețelei în zona puțurilor de captare și a drenului orizontal.

Modelul hidrodinamic în regim natural

Regimul natural de curgere al acviferului freatic indică o drenare a acestuia de pârâul Olănești. Pentru zona acviferului freatic s-au calculat 813 valori ale vitezei de curgere cuprinse între 0,8 și 8,73 m/zi.

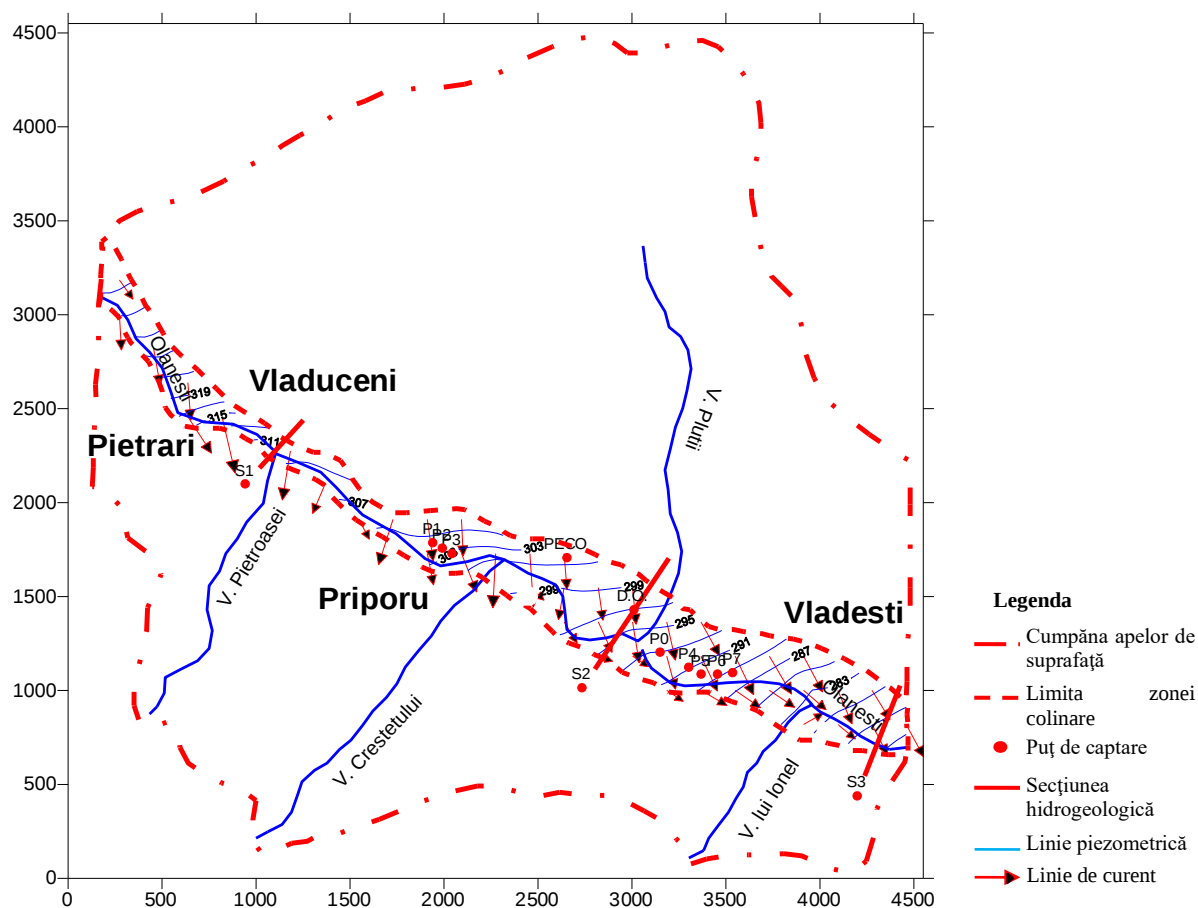


Figura 7.50 – Spectrul hidrodinamic al acviferului freatic din zona captării Vlădești, în regim natural

Modelul hidrodinamic în regim influențat

Regimul natural de curgere al acviferului freatic este influențat de captarea Vlădești, care din cele șapte puțuri verticale și un dren orizontal pompează în rețeaua de alimentare a comunei Vlădești între 100 și 130 m³/zi.

Pe baza acestor debite și a nivelelor dinamice măsurate în puțurile captării s-a calculat spectrul hidrodinamic în regim influențat.

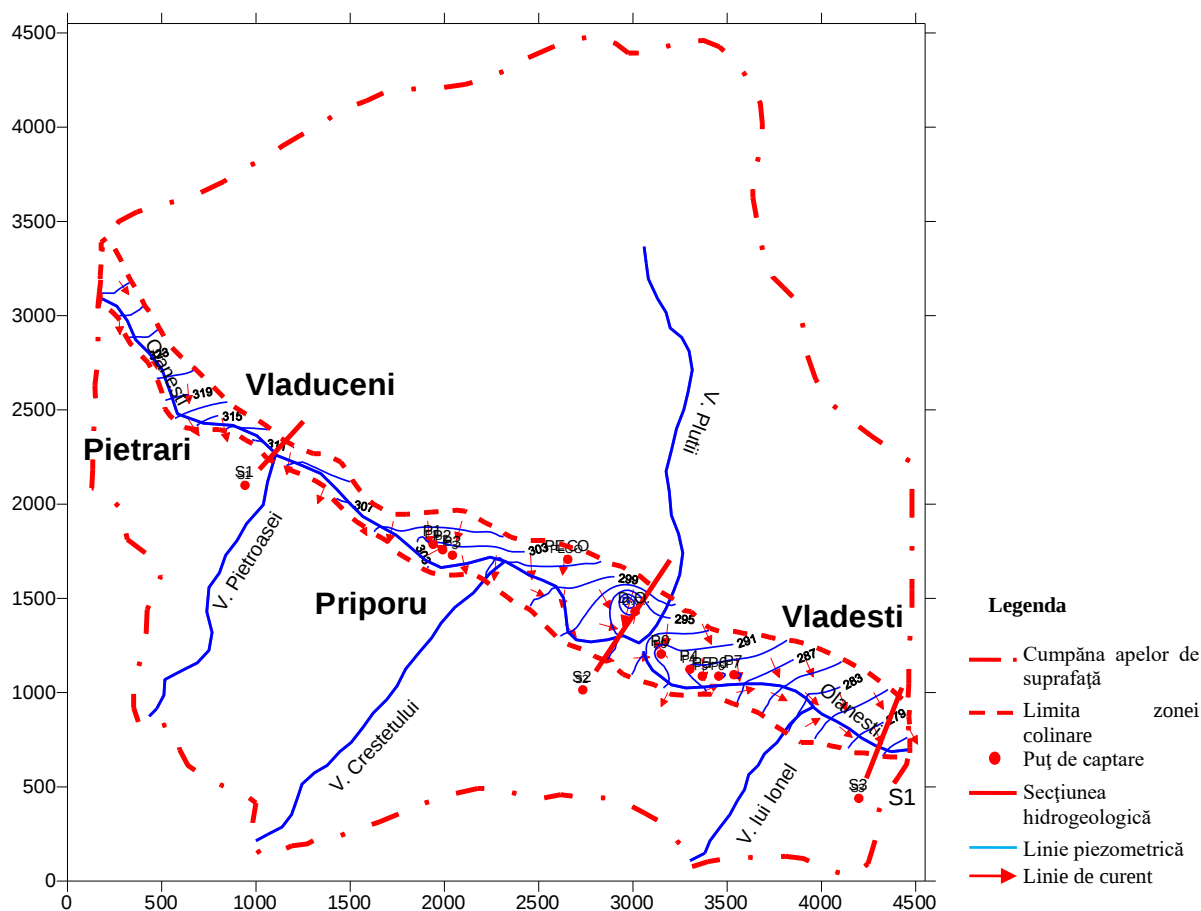


Figura 7.51 – *Spectrul hidrodinamic al acviferului freatic din zona captării Vlădești, în regim influențat*

Se remarcă o **drenare accentuată a râului de către acvifer în zona de influență a puțurilor și drenului.**

Vitezele de curgere au valori cuprinse între 0,004 și 60,2 m/zi.

- ✓ Dimensionarea zonelor de protecție sanitară cu regim sever și cu regim de restricție - criteriul *timpu mediu de tranzit al unei particule de apă hidrodinamic active*, folosindu-se în calcule parametrii acviferului și rezultatele obținute cu ajutorul modelului hidrodinamic.
- ✓ Mărimea zonei de protecție sanitară cu regim sever - să fie asigurată o durată de parcurgere de minimum 20 zile pentru orice picătură de apă presupusă contaminată care s-ar infiltra la limita acestei zone și ar ajunge la locul de captare a apei.
- ✓ Mărimea zonei de protecție sanitară cu regim de restricții - asigură protecție față de contaminarea bacteriană și impurificarea chimică, luând în considerare o durată de 50 zile pentru parcurgerea distanței de la punctul de infiltrare până la limita zonei de protecție sanitară cu regim sever.

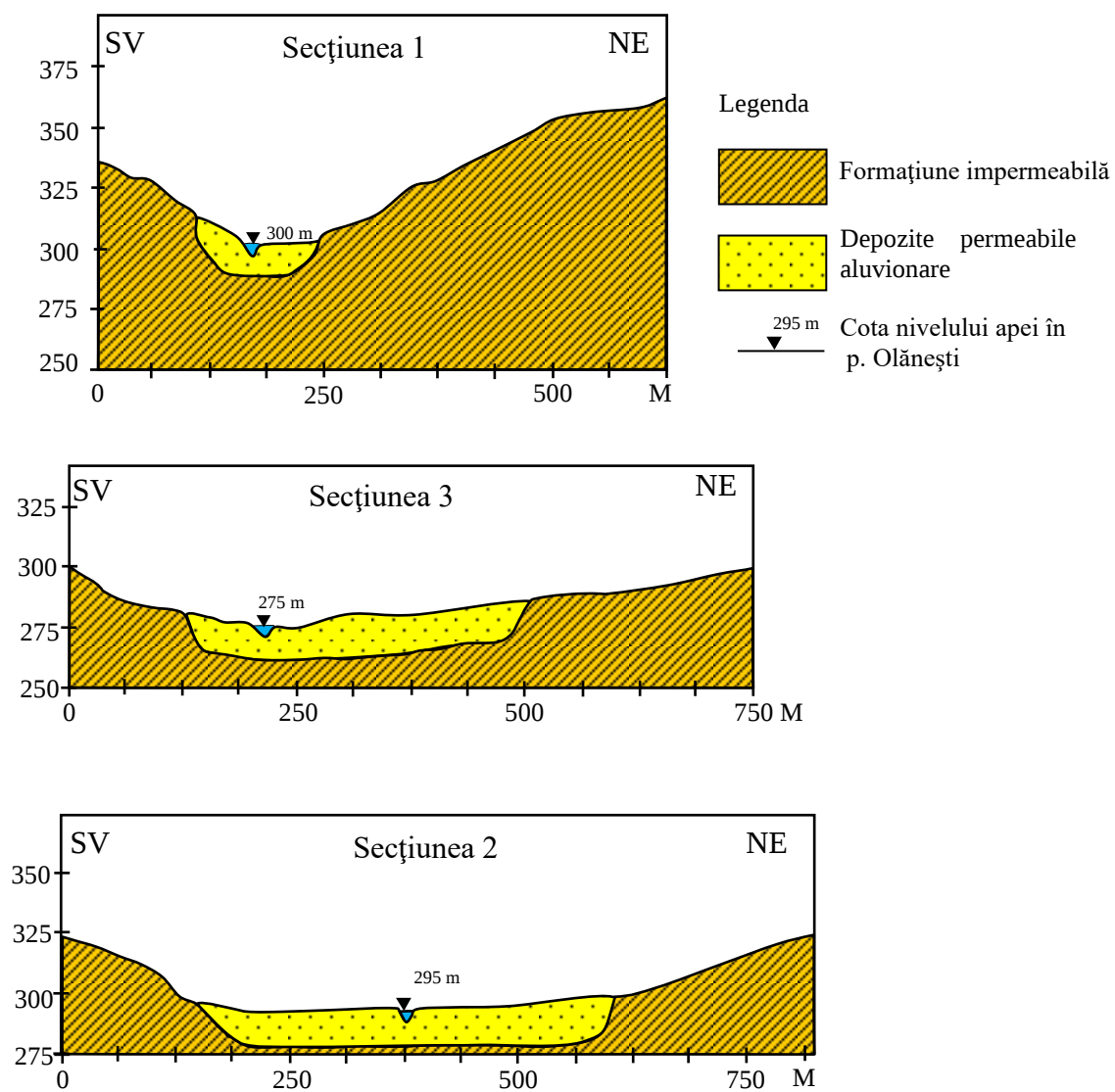


Figura 7.52 – Secțiuni hidrogeologice în zona captării Vlădești

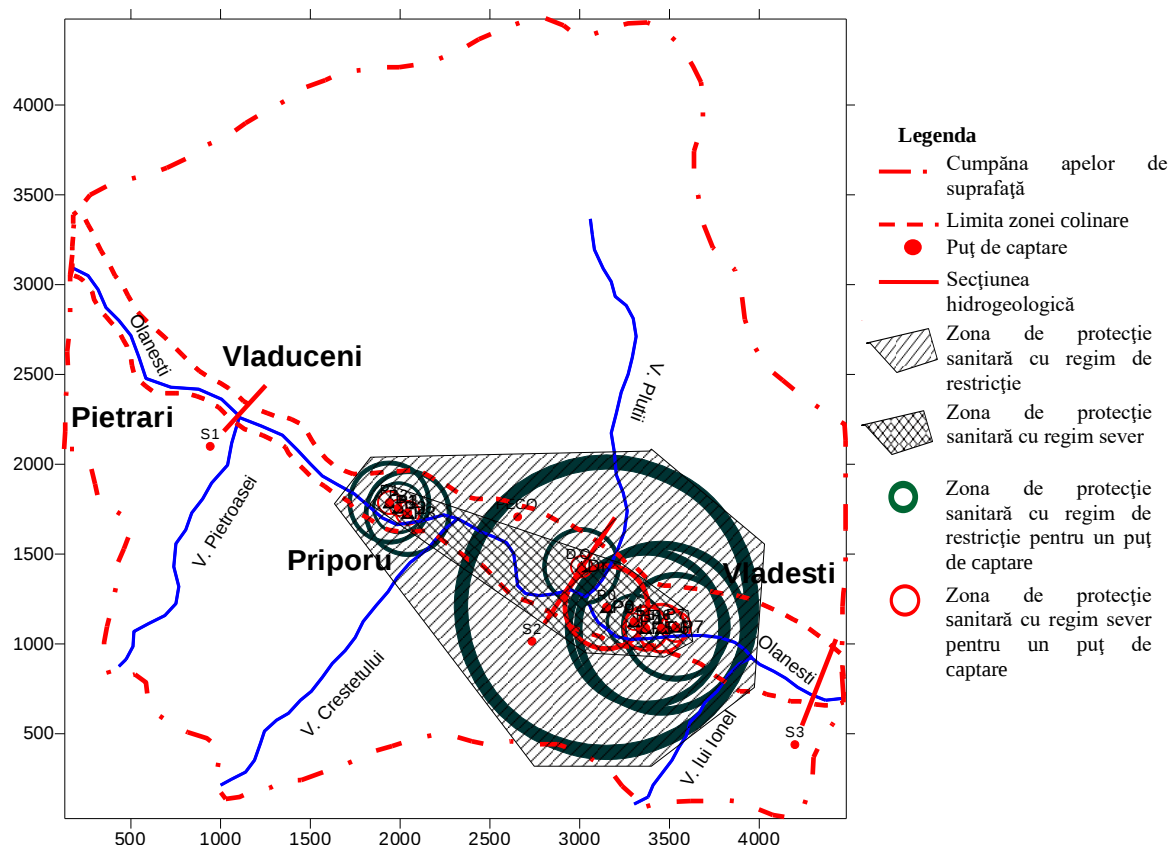


Figura 7.53 – Zone de protecție sanitară propuse cu elementele fiecărui puț al captării

Pentru evaluarea impactului produs de aceste potențiale surse de poluare

- **Simularea sursei instantanee concentrată pe rețeaua hidrografică** este justificată de existența a două potențiale surse de poluare plasate pe pârâul Olănești în amonte de captarea Vlădești (tăbăcăria din Păușești-Măglași și stația de epurare Olănești).
- **Sursa difuză de la limita zonei colinare** devine periculoasă în perioadele ploioase când crește debitul scurgerii de suprafață și al infiltrațiilor. În restul timpului evapotranspirația ridicată reduce riscul unei poluări a acviferului freatic din bazinul versant stâng al pârâului Olănești. Este necesar un control riguros al depozitării deșeurilor menajere în acest versant.
- **Sursă continuă concentrată** poate deveni stația de carburanți proiectată la limita zonei de protecție sanitară cu regim sever, la nord-vest de drenul orizontal al captării.

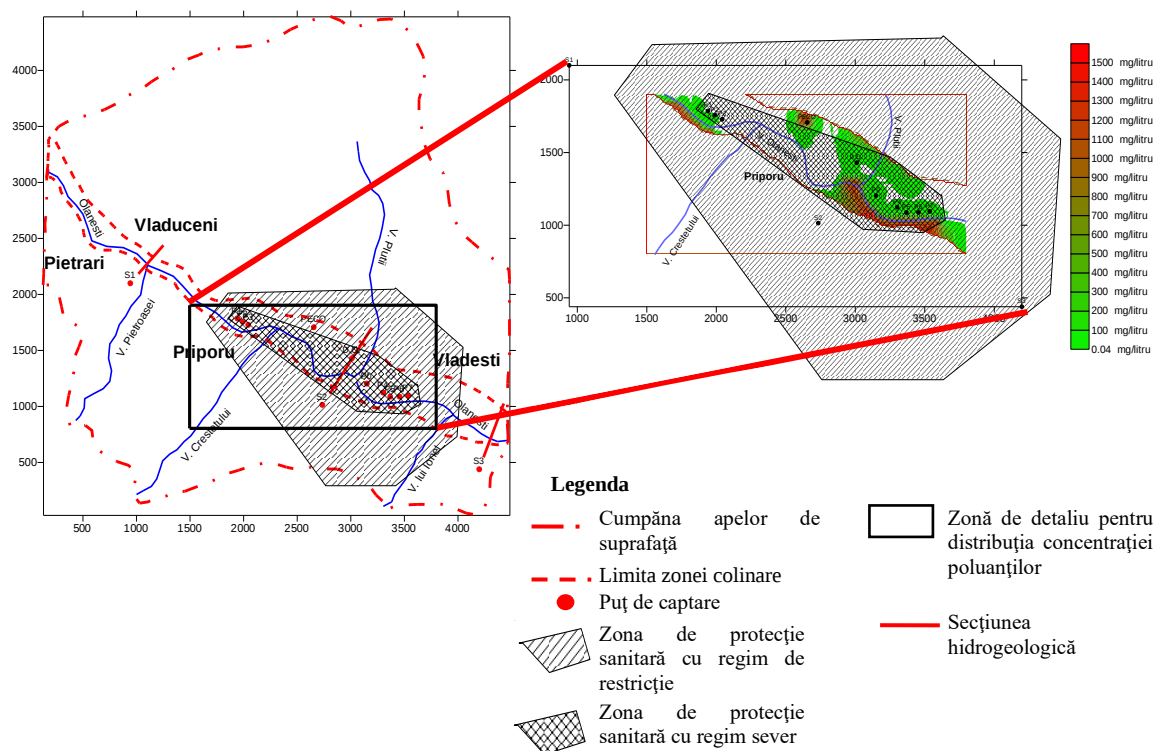


Figura 7.54 – Zone de protecție sanitară propuse (simplificat)

UNITATEA DE ÎNVĂȚARE 8.

APLICAREA SISTEMELOR INFORMATICE GEOGRAFICE (GIS) ÎN STUDIUL APELOR SUBTERANE



Cuprinsul unității de învățare 8

8.1. Date utilizate în aplicații GIS	136
8.2. Hărți și date spațiale în cadrul GIS	137
8.2.1. Sisteme de coordonate.....	140
8.2.2. Proiecții cartografice	141
8.2.3. Datele spațiale – elementele de bază ale unui GIS.....	142
8.3. GIS – instrument pentru gestiunea resurselor de apă	146

GIS (*Geographic Information Systems*) este definit ca un sistem de achiziție, stocare, verificare, integrare, manipulare, analiză și afișare a datelor georeferențiate. Acestea implică existența unei baze de date referențiată spațial și a unei aplicații software specializate.

Precizăm că în această lucrare va fi utilizat termenul de GIS, preluat din limba engleză. Cu toate că în literatură este întâlnită și abrevierea provenită din limba română – SIG (Sisteme Informatic Geografice), datorită consacrării la nivel global și a documentației extrem de bogate în limba engleză, este preferată preluarea acestei variante.

Un *sistem informatic geografic* integrează componenta hardware și componenta software în scopul manipulării și analizei bazelor de date referențiate geografic, pentru a produce noi hărți și date tabelare. GIS include capacități ale sistemelor de proiectare asistată de calculator și a sistemelor de management a bazelor de date, în același timp, este mai mult decât o combinație a acestor sisteme.

GIS – domeniu interdisciplinar

GIS se află la intersecția domeniilor tehnologice cu disciplinele tradiționale. Fiecare domeniu asociat, furnizează o parte din tehnologiile care în esență alcătuiesc un sistem informatic geografic. O parte din aceste domenii sunt în fapt instrumente de colectare a datelor, care prin GIS

sunt integrate, modelate și analizate. Ca domeniu integrator, GIS se recomandă a fi *știința informației spațiale* (Shahab Fazal, 2008).

Domenii asociate direct GIS sunt:

- *Geografia* – furnizează tehnici pentru realizarea analizei spațiale, punând de asemenea cercetarea într-o perspectivă spațială.
- *Cartografia* – se ocupă cu afișarea datelor spațiale. În prezent, sursa principală a datelor de intrare pentru GIS, sunt hărțile. Cartografia computerizată furnizează metode pentru reprezentarea digitală, manipularea caracteristicilor cartografice, precum și metode de vizualizare.
- *Teledetecția* – această tehnică, reprezentată de captarea imaginilor satelitare, constituie astăzi sursa majoră de date geografice. Avantajul principal a datelor interpretate, provenind din teledetecție, îl constituie posibilitatea fuzionării cu alte straturi tematice în cadrul unui proiect GIS.
- *Fotogrametria* – fotografiile aeriene sunt utilizate datorită posibilității de a efectua măsurători precise pe baza lor. Fotogrametria este sursa majorității datelor de topografie.
- *Topografia* – se ocupă cu determinarea de precizie a poziției obiectelor la suprafața terestră. Ea furnizează GIS-ului date de înaltă calitate, referitoare la poziția diferitelor elemente de interes.
- *Statistica* – este importantă în cadrul GIS pentru că ajută la înțelegerea problematicei erorilor și a incertitudinii ce afectează operarea cu date.
- *Matematica* – unele ramuri ale sale, în special geometria și teoria grafurilor, sunt utilizate în analiza datelor spațiale.

Domenii de aplicare a GIS:

- *utilități* – gestiunea rețelelor de apă, gaz, electricitate, telecomunicații etc. Acest gen de aplicații necesită hărți foarte precise;
- *mediu* – într-o primă variantă, produsele GIS sunt folosite pentru inventarierea teritoriilor afectate de poluare (ape, sol, așezări). La un nivel mai ridicat se pot face studii privitoare la procesele de eroziune, alunecări de teren, studii de impact, studiul calității apei etc.;
- *amenajarea teritoriului* – GIS pot fi utilizate în monitorizarea terenului, planuri de amenajare urbanistice, comunale, județene, regionale;
- *agricultură și silvicultură* – inventarierea solurilor însoțită de datele atribut referitoare la tipul de sol, calitate, utilizare. Monitorizarea terenurilor în vederea obținerii de producții

maxime. Inventarierea pădurilor, a zonelor protejate etc. Proiectele GIS din acest domeniu sunt dublate de prelucrarea imaginilor luate prin teledetecție;

- *resurse naturale* – în ultimii ani se investește tot mai mult în proiecte care conduc la depistarea resurselor naturale (minereuri, petrol, gaz, apă) utilizând produse GIS. Și această activitate este dublată de prelucrarea imaginilor digitale sau aeriene;
- *transport* – GIS are un potențial considerabil în gestiunea și optimizarea transportului urban sau regional (trasee optime pentru autobuze, tramvaie, trenuri, la care se adaugă determinarea numărului optim de mijloace de transport în diferite intervale de timp). Alegerea traseelor optime pentru mașinile de intervenție (salvare, pompieri, poliție). În transportul maritim hărțile electronice le înlocuiesc tot mai des pe cele clasice, iar poziționarea se face cu instrumente specializate (GPS – sisteme de poziționare globală), acestea fiind direct legate de hărțile digitale;
- *demografie* – baze de date referitoare la populație (structură pe vârste, religii, profesii, învățământ, sănătate) asociate cu hărți administrative la nivel de așezare;
- *marketing* – Cu o hartă a unui oraș, asociată cu o bază de date ce conține recensăminte, plus localizările firmelor etc., se pot face corelații între clienți și ofertanții de servicii;
- *cadastru* – inventarierea și întreținerea datelor spațiale și atribut ale terenurilor.

8.1. Date utilizate în aplicații GIS

Data - descriere simbolică a unui obiect, a unui fenomen sau a unei acțiuni. Simbolurile urmează o structură bazată pe o sintaxă prestabilită, înregistrată pe un suport material și care poate fi prelucrată manual, electronic sau combinat.

Din punct de vedere al formei pe care o au, datele pot fi numerice/cantitative (valori pentru temperatură, presiune, concentrații ale unor substanțe chimice, aspecte morfometrice etc.) sau alfanumerice/calitative (tip de rocă, mineral, specii animale sau vegetale, direcția predominantă a vântului etc.). În afara acestor două categorii, ce au cea mai mare pondere, mai sunt utilizate uneori date exprimate grafic, prin simboluri care apar frecvent în cadrul diferitelor hărți tematice. Se utilizează pictograme sau culori/nuanțe care au o anumită semnificație acceptată convențional și clarificată prin legenda ce însoțește orice hartă.

Particularitatea unui GIS constă în punerea în comun a datelor spațiale și a datelor atribut, prin integrarea acestora obținându-se *datele geografice*. Din prelucrarea acestor date se obține *informația geografică*, informație care aduce un plus de cunoaștere specialistului care utilizează aceste instrumente. Datele geografice au o *dimensiune temporală* (data, momentul producerii unui anumit eveniment), o *dimensiune tematică* (descrierea efectivă a evenimentului produs) și o

dimensiune spațială (poziția evenimentului produs). În sensul adaptării acestor elemente la structura specifică a unui GIS, dimensiunea temporală și cea tematică corespund *datelor atribut*, iar dimensiunea spațială corespunde datelor spațiale.

Mijloacele de achiziție a datelor utilizate în cadrul acestor aplicații depind de natura specifică a datelor. Datele atribut se obțin în cadrul etapei de documentare, prin analize specifice sau prin utilizarea rețelelor de monitorizare. Datele spațiale în format digital, pot fi obținute direct sau indirect. Datele obținute direct constau în achiziții care se fac în format digital, prin utilizarea unor senzori specifici, cel mai relevant exemplu în acest sens îl constituie imaginile satelitare. În mod indirect aceste date se obțin prin transpunerea specifică a datelor în format analogic (hărți, planuri, aerofotograme, supuse procedurii de scanare sau digitizare).

8.2. Hărți și date spațiale în cadrul GIS

Într-o definiție simplificată, dar cuprinzătoare, o hartă reprezintă distribuția spațială a unui parametru sau fenomen. În esență, componentele unei hărți pot fi clasificate în două categorii principale:

- elemente grafice, care, prin schematizare, simbolizează elementele, parametrii sau fenomenele reale din teren, sugerând dinamica sau evoluția lor, acolo unde este cazul, prin mijloace specifice (izolinii, variație de culori sau nuanțe etc.):
 - elemente izolate, punctuale, asimilabile unui *punct* (dimensiunea reală, precum și suprafața este neglijabilă) – ex.: arbori izolați, marcaje, foraje, puncte de prelevare a probelor, clădiri importante – școli, biserici, primărie etc.;
 - elemente cu dezvoltare unidimensională, asimilabile reprezentării prin intermediul liniilor – ex.: cursuri de apă, drumuri, linii de înaltă tensiune, canale de irigații, frontiere etc.;
 - elemente cu dezvoltare bidimensională, asimilabile unor poligoane/contururi – ex.: suprafețe agricole, păduri, localități, curbe de nivel, lacuri etc.;
- elemente numerice sau alfanumerice care constituie elementele atribut asociate.
 - denumiri sau caracteristici ale elementelor reprezentate pe hartă - utilizarea sau caracteristicile terenului, cote, toponime etc.

Scara și rezoluția hărților

Prin scara hărții se înțelege practic relația care se stabilește între distanța de pe hartă și distanța corespunzătoare, reală, din teren. Există două forme de reprezentare a scării la nivelul hărților: cea numerică și cea grafică. Reprezentarea numerică constă în asocierea raportului care se stabilește între dimensiunea din teren și cea de pe hartă, sub forma 1:xxx (1:25.000, 1:1.000.000,

etc.). Scara grafică constă într-o linie poziționată în partea de sud a hărții, divizată în părți egale echivalente cu distanțele reale (m, km); corespunde unei diviziuni.

Hărțile în format analogic sunt clasificate în funcție de scară și conținut, după cum urmează – după scară:

- hărți geografice (scara $< 1:1.000.000$);
- hărți regionale (scara $1:1.000.000 - 1:200.000$);
- hărți topografice (scara $1:200.000 - 1:25.000$);
- planuri topografice (scara $1:25.000 - 1:5.000$);
- planuri de situație (scara $> 1:2.500$).

Diferența dintre planuri și hărți se referă la scară și la detalii de conținut. Planul este practic o hartă topografică la scară mare, mult mai bogată în detalii.

În funcție de conținut deosebim:

- hărți generale – care cuprind elementele topografice caracteristice de planimetrie și nivelment, la nivel de detaliere în funcție de scara hărții;
- hărți speciale (tematice), care, în afara unui fond minim de detalii topografice, redau repartitia unor elemente de specialitate, în funcție de temă.

În cazul hărților digitale (reprezentări computerizate ale suprafețelor de teren, diferitelor fenomene sau variabilității parametrilor) și în special a imaginilor satelitare, termenul de scară a hărții nu mai are semnificație, deoarece dimensiunea acestora nu este fixă. Această noțiune, de scară, este substituită în acest caz cu cea *rezoluție* sau *rezoluție spațială*.

În majoritatea cazurilor, datele spațiale în format digital sunt în format *raster*. Acesta este sistemul în care sunt furnizate hărțile scanate, imaginile satelitare etc. Unitatea de bază din reprezentarea raster este *pixelul*. El reprezintă entitatea de bază căruia i se poate atribui o culoare sau o nuanță. Sub acest nivel nu mai pot fi decelate detalii ale imaginii. Imaginea de ansamblu (harta, imaginea satelitară, aerofotograma etc.) este formată din asocierea mulțimii pixelilor de valori diferite. Pixelul are o dimensiune care este asociată unei suprafețe de teren. Dimensiunea suprafeței de teren acoperită de un pixel este practic rezoluția imaginii (în general exprimată în metri). Sub această dimensiune (rezoluție) detaliile din teren nu mai sunt decelabile. Așa cum scara hărții, în format analogic (tipărit), determină gradul de detaliere posibil, precum și extinderea regiunii acoperite, în aceeași măsură rezoluția imaginii digitale determină extinderea și nivelul la care se poate interpreta detalii din teren.

Alături de rezoluție, calitatea unei hărți este determinată și de gradul de *precizie* al acesteia. În termeni specifici, precizia hărții digitale este descrisă de următoarele elemente:

- *precizia absolută* – se referă la relația dintre poziția geografică a unui element pe hartă și poziția reală a elementului respectiv la suprafața terestră;

- *precizia relativă* – se referă la deplasarea între două puncte aflate pe hartă, comparată cu deplasarea între aceleași puncte în teren. Precizia relativă este importantă deoarece adesea este dificilă determinarea preciziei absolute din cauza necunoașterii poziției absolute a elementelor de pe hartă;
- *precizia atribut* – se referă la precizia unei baze de date asociată unui element de pe hartă. Dacă baza de date asociază adrese, parametri, este important cât de fidel și de corect sunt aceștia asociați elementelor;
- *actualitatea hărții* – se referă la gradul în care harta este actualizată la zi, în conținutul ei;
- măsura în care o hartă este *completă* – acest aspect se referă la conținutul/volumul informației asociată hărții.

Elementele hărții

În mod standard, hărțile în format analogic conțin o serie de elemente specifice, după cum urmează:

- indicativul hărții exprimat în nomenclatura caracteristică proiecției Gauss-Krüger. Acesta cuprinde un indicativ propriu-zis, specific scării respective, precum și localizarea foi, prin așezarea principală. De exemplu: L-35-73-D-d (Mogoșanii de Jos);
- coordonatele geografice sunt înscrise în colțurile chenarului și sunt marcate pe chenarul exterior prin segmente de minute;
- coordonatele rectangulare – în proiecția Gauss-Krüger axa Y corespunde cu linia ecuatorului, de la care înregistrarea valorilor se face spre nord și sud (reprezentând de fapt distanțele în km, de la ecuator); axa X este paralelă cu meridianul axial, care – pentru pozitivare – a fost majorat cu 500.000 km;
- orientarea planului se poate face în mod exact prin intermediul unui desen, pe care sunt figurate, în ordine:
 - linia de caroi rectangular;
 - direcția meridianului geografic;
 - direcția meridianului magnetic;
- scara numerică și grafică este înscrisă în subsolul chenarului de jos al foi;
- graficul pantei înscris tot sub chenarul de jos (dreapta) indică valoarea pantei în funcție de echidistanța curbelor de nivel.

Nomenclatura hărților

Hărțile topografice editate în proiecția Gauss-Krüger folosesc o nomenclatură simplă formată din cifre și litere, care constituie un indicativ propriu fiecărei scări, cu ajutorul căreia se poate localiza orice foaie, pe scheletul general al hărții. Elementul de bază este reprezentat de fusul

de 6°, obținut prin proiectarea transversală a globului pe cilindrul de proiectare, fus al cărui meridian axial este tangent la acest cilindru. Numărul total al fuselor rezultate este de 60, numerotate de la V la E, începând cu meridianul de 180°, care trece prin mijlocul Oceanului Pacific.

Fiecare hartă 1:1.000.000 poate fi defalcată într-un număr variabil de foi prin indicative legate direct de harta 1: 1.000.000. Se obțin astfel:

- 4 foi la scara 1:500.000 notate de la A la D
- 36 foi 1:200.000 notate de la I la XXXVI
- 144 foi 1:100.000.

Pentru hărțile la scări mai mari se pornește tot de la indicativul scării 1:1.000.000, dar prin intermediul unei foi de 1:100.000, care este împărțită astfel:

- pentru 1:50 000 în 4 notate de la A la D;
- pentru 1:25 000 în 4 x 4 notate de la a la d;
- pentru 1:10 000 în 4 x 4 x 4 notate de la 1 – 4.

Pentru toate aceste scări, indicativul cuprinde succesiv și indicativul scării imediat mai mici.

Pentru scara 1:5.000 harta 1:100.000 se împarte în 256 foi notate 1 – 256, iar pentru scara 1:2.000 se împarte în 256 x 9 foi, notate de la a la i. Indicativul 1:5.000 derivă direct din harta 1:1.000.000, iar al foi 1:2.000 trece prin intermediul hărții 1:5.000.

Scara grafică se redă sub forma unei construcții grafice, în care distanța de pe plan este reprezentată în mod grafic, iar cea de pe teren este înscrisă prin valoarea ei reală.

8.2.1. Sisteme de coordonate

Sistemul de referință spațial

O cerință fundamentală a activității de cartare o constituie posibilitatea de a raporta poziția obiectelor sau elementelor la un sistem de referință. În mod uzual, acest obiectiv poate fi atins prin utilizarea *coordonatelor geografice* sau *carteziene*.

Înainte de descrierea celor două sisteme de coordonate, facem unele precizări referitoare la convențiile ce definesc forma Pământului. Prin termenul de *geoid* se înțelege forma generată de suprafața mărilor și oceanelor, în stare liniștită, prelungită sub continente. Datorită faptului că geoidul este o formă complicată, se face apel la forma geometrică de referință asimilată acestuia, care este *elipsoidul*. Spre deosebire de geoid, elipsoidul este o suprafață descriptibilă matematic, utilizată în realizarea proiecțiilor ce au drept rezultat final hărțile.

Coordonatele geografice - se exprimă într-un sistem de referință cu originea în centrul Pământului, axa fundamentală fiind axa de rotație, iar planul fundamental – planul ecuatorial. Meridianul Greenwich este meridianul de referință și ecuatorul este paralela de referință.

Latitudinea este reprezentată de unghiul format de planul ecuatorului terestru cu verticala locului și *longitudinea* este reprezentată de unghiul format de meridianul inițial cu meridianul locului.

În cazul coordonatelor geografice, altitudinea este exprimată față de nivelul mării, ca suprafață de referință.

Coordonate carteziane - în plan sunt proiecțiile razei vectoare pe cele două axe, iar în spațiu proiecțiile razelor vectoare pe trei axe. Cele bidimensionale comportă o origine arbitrară, care de obicei este astfel aleasă: în partea stângă, jos, a hărții, astfel încât să avem numai valori pozitive pentru axele ox și oy . În reprezentarea tridimensională originea este considerată în centrul Pământului, axa oz confundându-se cu axa de rotație. Coordonatele unui punct sunt exprimate prin proiecțiile sale pe cele trei axe (x, y, z).

8.2.2. Proiecții cartografice

O proiecție cartografică este un sistem prin care elementele aflate pe suprafața curbă terestră sunt afișate pe o suprafață plană, în acord cu o serie de reguli.

În funcție de raportul dintre suprafața terestră și suprafața de proiecție deosebim:

- *proiecțiile azimutale* – punctele aflate pe suprafața terestră sunt proiectate pe o suprafață plană, tangentă la cea terestră. Deosebim două categorii de proiecții azimutale: *perspective* și *neperspective*. Proiecțiile perspective sunt: ortografice, stereografice, centrale și exterioare, iar cele neperspective – Postel și Lambert, cu variantele: polară, ecuatorială sau oblică.
- *proiecțiile conice* – punctele de pe suprafața terestră sunt proiectate pe o suprafață conică care poate fi tangentă sau secantă la globul terestru. Acestea pot fi: drepte, oblice sau transversale. Exemple de proiecții conice: *proiecția conică echivalentă Albers*, *proiecția conică conformă Lambert*;
- *proiecțiile cilindrice* – se obțin prin proiectarea punctelor de pe suprafața terestră pe suprafața unui cilindru care apoi se desfășoară. Aceste proiecții pot fi: drepte, oblice sau transversale, tangente sau secante. Cel mai cunoscut exemplu este *proiecția Gauss-Krüger*.

Din cauza dificultăților care apar în momentul proiectării elipsoidului de referință pe o suprafață în final plană, apar deformări ale suprafețelor, unghiurilor sau distanțelor. Diferitele tipuri de proiecții utilizate au calitatea de a conserva unele din aceste elemente. Deosebim din acest punct de vedere:

- *proiecții conforme* – păstrează nedeformate unghiurile, fiind deformate suprafețele și distanțele;

- *proiecții echivalente* – nu deformează suprafețele, păstrând corespondență între suprafețele de pe elipsoid și cele din planul de proiecție;
- *proiecții echidistante* – nu deformează lungimile pe direcția meridianelor și paralelelor, dar deformează unghiurile, suprafețele și distanțele pe celelalte direcții;
- *proiecții arbitrare* – toate elementele sunt deformate.

Proiecții cartografice utilizate în România de-a lungul timpului:

- *proiecția cilindrică echidistantă Cassini* – a stat la baza realizării hărții topografice la scara 1:2.000, între anii 1873 – 1900;
- *proiecția pseudoconică echivalentă Bonne* – a fost utilizată pentru hărțile cadastrale între anii 1900 – 1917;
- *proiecția conică dreaptă pe un con secant, modificată Lambert – Cholesky* – a fost introdusă în anul 1917. Fiind o proiecție conformă, ea conservă unghiurile;
- *proiecția azimutală stereografică* – a fost adoptată în anul 1930, varianta cu plan tangent având punctul central situat în zona Brașov;
- *proiecția cilindrică transversală Gauss – Krüger* – a fost introdusă în 1951. Este o proiecție cilindrică, axa cilindrului coincide cu axa ecuatorială și este perpendiculară pe planul meridianului. Este o proiecție conformă.
- *proiecția azimutală stereografică oblică în plan secant 1970* – a fost introdusă pentru întocmirea planurilor topografice de bază la scările: 1:2.000, 1:5.000 și 1:10.000. Este o proiecție conformă. Formatul foilor de hartă este trapez, nomenclatura acestora fiind cea din Gauss-Krüger.

8.2.3. Datele spațiale – elementele de bază ale unui GIS

Datele pe care le introducem în sistem și care stau la baza unui proiect GIS pot fi clasificate în două categorii: *date spațiale* și *date atribut*. Datele spațiale constituie baza geografică (referința spațială, poziționarea elementelor), iar datele atribut constituie datele tabelare, asociate celor spațiale, și care descriu cantitativ sau calitativ elementele reprezentate.

Formatul datelor spațiale – sistemul raster și sistemul vector.

Reprezentarea internă a unei hărți digitale de realizează prin utilizarea sistemului *raster* sau sistemului *vector*. Fiecare din aceste două sisteme are atât avantaje și dezavantaje, cât și segmente specifice de utilizare.

În sistemul *raster*, imaginea este construită din *pixeli*. Pixelul fiind definit ca unitatea de bază din cadrul unei imagini, fiind cel mai mic element căruia i se poate atribui individual o intensitate sau o culoare. Sistemul de calcul codifică fiecare pixel, codul corespunzând unei culori sau nuanțe. Rezultă astfel un model matricial în care un element de pe hartă (un curs de apă, un lac,

o localitate etc.) constituie de fapt o mulțime de pixeli de valori apropiate sau similare. Sistemul raster este mare consumator de resurse (o imagine format A4, reprezentată cu o rezoluție a unei imprimante laser, este formată din aproximativ 9 milioane de celule). Modelul raster este un model simplu, format din două entități – celula și imaginea.

Modelul raster este utilizat atunci când:

- se optează pentru utilizarea transpunerilor digitale după aerofotograme, imagini satelitare, hărți analogice scanate etc.;
- când nu este necesară analiza caracteristicilor din cadrul hărții;
- când sunt utilizate hărți ca fundal/suport.

Avantajele sistemului raster:

- structură simplă a datelor;
- suprapunere facilă a straturilor de date (hărților);
- compatibilitatea cu imaginile satelitare;
- variabilitatea spațială este reprezentată eficient;
- simplitate în operațiunile de programare;
- aceluiași celulă li se pot asocia mai multe atribute.

Dezavantajele sistemului raster:

- stocarea dificilă datorită dimensiunilor uneori foarte mari;
- erori în cazul formelor și perimetrelor;
- dificultăți în analiza rețelelor;
- transformări de proiecție inefficiente;
- pierderi în informație la utilizarea rezoluțiilor mici.

În sistemul *vector* harta este construită din puncte și linii. Punctele, precum și extremitățile liniilor sunt definite prin perechi de coordonate. Asociind aceste elemente de bază, putem forma *arce*, *suprafețe* sau *volume* (în cazul în care introducem și cea de-a treia coordonată). Sistemul vector se bazează pe *primitive grafice*. Primitiva grafică este cel mai mic element reprezentabil grafic utilizat la crearea și stocarea unei imagini vectoriale și recunoscută ca atare de sistem. Sistemul vectorial se bazează pe cinci primitive grafice: *punctul*, *arcul* - sau linia care unește puncte, *nodul* - punct care marchează capetele unui arc sau care se află la contactul dintre arce, *poligonul* - arie determinată de arce, *corpul* - volum determinat de suprafețe. Obiectele cartografice simple sunt alcătuite din primitive iar obiectele geografice mai complexe sunt formate din combinarea obiectelor simple.

Modelul vector este utilizat atunci când:

- aplicațiile necesită o precizie foarte mare;
- este importantă dimensiunea fișierului (fișierul format vector are dimensiune mult mai mică față de cel format raster);
- caracteristici individuale din cadrul hărții necesită analiză;
- trebuie stocate informații descriptive.

Avantajele sistemului vector:

- structura compactă a datelor;
- eficiență în analiza rețelelor;
- transformări de proiecție eficiente;
- hărți de ieșire precise.

Dezavantajele sistemului vector:

- structură complexă a datelor;
- dificultate în operația de suprapunere a straturilor de informație;
- variabilitatea spațială este inefficient reprezentată;
- incompatibilitate cu imaginile satelitare.

Din punct de vedere al suportului pe care se află înregistrată informația, deosebim două tipuri de hărți: hartă în format analogic - hartă imprimată, în general pe suport de hârtie și hartă în format digital – reprezentare internă a sistemului de calcul, în format specific, care poate fi afișată pe un monitor, tipărită la o imprimantă/plotter etc.

Pentru a putea construi baza de date spațială, pe care se bazează orice aplicație GIS, suntem uneori în situația de a transpune hărțile analogice în hărți digitale. Cele mai uzuale mijloace de realizare a acestei conversii sunt: *scanarea* și *digitizarea*.

Scanarea este procesul de bază prin care datele existente în format analogic (fotografii, documente, hărți etc.) sunt convertite în format digital. Procesul este oarecum similar fotocopierii, cu diferența că în urma scanării rezultă un fișier grafic cu structură matricială. Cele mai uzuale formate de fișiere grafice sunt: *.jpeg – format graphic specific definit de *Joint Photographic Experts Group*, *.bmp – fișier grafic în format *Microsoft*, *.tiff – fișier grafic utilizat în general în industria tipografică, denumirea rezultă din *Tagged Image File Format* etc.

Calitatea imaginii scanate și implicit domeniul ei de utilizare este dependentă de rezoluția sa, parametrul caracteristic al scannerului, exprimată uzual în *dots per inch* (dpi) – număr de puncte pe unitate de suprafață (inch).

După scanare, urmează faza de editare, în care, după determinarea celor trei categorii de date: *date utile* (puncte, linii, poligoane), *simboluri* (adnotații sau semne convenționale) și *zgomot*. În mod standard se procedează la următoarele operațiuni:

- îndepărtarea zgomotului;
- îndepărtarea simbolurilor (daca este necesar);
- vectorizarea;
- adăugarea de date suplimentare (dacă este necesar);
- corecția erorilor;
- geocodificarea;
- crearea topologiei;
- georeferențierea.

Digitizarea constă în transpunerea datelor grafice din format analogic în format digital. Această operație se execută cu ajutorul unui digitizor. Fișierul rezultat în urma digitizării va conține coordonate carteziane sau coordonate geografice. Aceste două tipuri de coordonate pot fi convertite.

Înainte de a începe, trebuie să stabilim scopul, să alegem hărțile care deja există pe suport de hârtie și să definim straturile. Scopul va decide și alegerea caracteristicilor hărților – temele, gradul de detaliere, scara, sistemul de coordonate. După fixarea temei vom decide câte straturi vor fi necesare.

Procesul de digitizare propriu-zis presupune următoarele etape:

Fixarea punctelor de control și apoi digitizarea lor. După această operațiune se va afișa o eroare calculată prin metoda celor mai mici pătrate. Dacă aceasta este acceptată, se trece la pașii următori:

- fixarea dimensiunilor hărții;
- digitizarea punctelor;
- digitizarea arcelor;
- digitizarea poligoanelor (dacă este permis în acel strat);
- salvarea fișierului.

Georeferențierea

Precizarea poziției geografice, constituie principalul element care face distincția dintre datele spațiale și cele fără referință spațială. Metoda prin care este precizată poziția pentru datele geografice, în raport cu o hartă, poartă numele de georeferențiere. Condițiile de bază pentru georeferențiere constau în: unicitatea datelor asociate unor georeferințe, precum și constanța lor în timp.

Georeferențierea unei imagini constă în raportarea ei la un sistem de coordonate definit, practic matricei de pixeli i se atribuie coordonate în sistemul ales. Fiecare pixel din imagine va corespunde unei poziții geografice.

8.3. GIS – instrument pentru gestiunea resurselor de apă

Specialiștii care lucrează în domeniul managementului resurselor de apă utilizează un mare volum de date provenite din diverse categorii de surse, pentru activități ca: evaluarea calității apei, evaluarea surselor de alimentare, prevenirea inundațiilor, gestiunea problemelor de mediu etc. GIS este un instrument ce se bucură de o largă utilizare în studiul apelor de suprafață. Instrumentele sale specifice vin în întâmpinarea soluționării unor aspecte precum: caracterizarea spațială și temporală a scurgerii în cadrul rețelei hidrografice, gestiunea resurselor în cadrul bazinului hidrografic, modelarea și predicția fenomenelor sau proceselor asociate scurgerii de suprafață, analiza și corelarea modelelor digitale ale terenului cu dinamica în cadrul bazinului.

ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.), lider mondial al pieței de produse și servicii GIS, a dezvoltat opțiunea *Arc Hydro* tocmai pentru a veni în întâmpinarea hidrologilor și hidrogeologilor.

Natura complexă a legăturilor ce se stabilesc între apele de suprafață și cele subterane impune o abordare integrată a celor două categorii. Posibilitățile de analiză și corelare între date privind morfologia terenului, aspectele pedologice, litologice, climatice, de utilizare a terenului, de repartiție a vegetației etc. extind utilizarea instrumentelor GIS, de la domeniul general al datelor de mediu la cel specific al apelor subterane.

În esență, *Arc Hydro* este un model de date geospațiale și temporale, dezvoltat pentru gestiunea resurselor de apă, care operează cu produsul *ArcGIS*. *Arc Hydro* conține un set de instrumente dedicate analizelor hidrologice. Acesta reprezintă o structurare a datelor creată în scopul simulării modelelor hidrologice, fără a constitui un model de simulare în sine.

Arc Hydro descrie și caracterizează sistemele acvatice naturale, el nefiind construit pentru a fi aplicat în cadrul sistemelor rezultate în urma unor amenajări specifice (canale de irigații, conducte etc.). Cu toate că acest sistem operează cu elemente specifice unor domenii conexe (ecologie acvatică, geomorfologie etc.), acestea nu reprezintă un scop în sine.

Utilizarea acestor sisteme devine eficientă în cazul în care proiectul vizează acoperirea unor suprafețe extinse, prelucrarea unui volum de date provenite din surse diferite și implicând modele conceptuale complexe.

Odată cu apariția produsului Arc Hydro, a fost definit un nou concept, acela de *sisteme informatice hidrologice*, reprezentând o sinteză a datelor geospațiale și temporale, servind ca suport pentru analiza hidrologică și realizarea modelelor.

Plecând de la o structurare stratificată (pe layere) a datelor spațiale, specifică produselor GIS, Arc Hydro operează cu date având o structură similară. Acestea sunt:

- *harta rețelei hidrografice* – este utilizată ca suport pentru alte hărți tematice, are în general format vector;
- *harta punctelor hidrografice importante* – reprezentând stații hidrologice, baraje etc., are format vector;
- *harta bazinelor hidrografice* – reprezentând suprafețele bazinale în acord cu rețeaua hidrografică, plecând de la morfologia terenului, are format vector;
- *reprezentarea albiei prin intermediul secțiunilor transversale și longitudinale*;
- *modelul suprafeței terenului sau harta topografică* – rezultând din modelul digital de elevație sau din hărți topografice format raster;
- *harta răspunsului la precipitații* – servește la estimarea condițiilor de inundații sau de secetă, rezultă din corelarea unor alte hărți tematice (hartă pedologică, harta vegetației, harta utilizării terenului etc.) și are format vector;
- *ortofotoplanuri sau imagini satelitare* – utilizate ca fundal, ca bază pentru prelucrări și interpretări specifice, au format raster.

Arc Hydro vine cu instrumente de structurare și analiză a acestor date tematice specifice gestiunii resurselor de apă.

Cu toate că aplicațiile GIS posedă componente care permit dezvoltarea modelelor, capacitățile de modelare în domeniul apelor subterane sunt limitate în raport cu programele specializate. În acest sens *ESRI* a creat în cadrul extensiei de *analiză spațială* o serie de instrumente dedicate curgerii subterane, acestea sunt: *Darcy flow analysis*, *Particle tracking* și *Dispersion modeling with Porous Puff*.

Punctele forte ale unui sistem informatic geografic sunt integrarea datelor având structură diversificată, prelucrarea și analiza specifică a informației și posibilitatea interogării bazei de date plecând de la o interfața grafică (hartă etc.).

UNITATEA DE ÎNVĂȚARE 9.

UNITĂȚI HIDROSTRUCTURALE MAJORE



Cuprinsul unității de învățare 9

9.1. Carpații Orientali	149
9.1.1. Condiții hidrogeologice	149
9.1.2. Tipuri de hidrostructuri	150
9.2. Carpații Meridionali	151
9.2.1. Condiții hidrogeologice	151
9.2.2. Tipuri de hidrostructuri	152
9.3. Munții Apuseni.....	153
9.3.1. Condiții hidrogeologice	153
9.3.2. Tipuri de hidrostructuri	154
9.4. Depresiunea Transilvaniei	154
9.4.1. Condiții hidrogeologice	154
9.4.2. Tipuri de hidrostructuri	155
9.5. Podișul Moldovenesc	156
9.5.1. Condiții hidrogeologice	156
9.5.2. Tipuri de hidrostructuri	157
9.6. Depresiunea Getică	158
9.6.1. Condiții hidrogeologice	158
9.6.2. Tipuri de hidrostructuri	159
9.7. Depresiunea Panonică	159
9.7.1. Condiții hidrogeologice	159
9.7.2. Tipuri de hidrostructuri	160
9.8. Câmpia Română	160
9.8.1. Condiții hidrogeologice	160
9.8.2. Tipuri de hidrostructuri	161
9.9. Dobrogea	161
9.9.1. Condiții hidrogeologice	161

9.1. Carpații Orientali

- Unitatea structurală și geomorfologică cu cea mai complexă constituție geologică;
- Lungime de peste 500 km;
- Lățime medie de 100 km;
- Altitudini medii între 1000 – 1300 m;
- Energie de relief de 500 – 600 m.

9.1.1. Condiții hidrogeologice

- Predominarea rocilor impermeabile (roci metamorfice, roci vulcanice, gresii, marnocalcare, marne și argile);
- Slaba dezvoltare a rocilor permeabile (conglomerate și calcare) care să permită infiltrarea precipitațiilor și a apelor de suprafață precum și circulația corespunzătoare în subteran.
- Intervalul Paleogen-Miocen, în special Oligocenul, molasa miocenă nu prezintă condiții favorabile pentru existența apelor subterane;
- Contextul tectonic de compresiune (șariaj, falii inverse) nu permite o circulație activă pe pantele rupturale, cu excepția unor falii din cristalini;
- Prezența fenomenelor postvulcanice, în zona de manifestare a magmatismului corespunzător liniei de coliziune dintre placa intraalpină, placa eurasiatică și microplaca Mării Negre. Această zonă, reprezentând cea mai bogată provincie hidrominerală din România (sursă de ape minerale carbogazoase)
- Alterarea mineralelor din rocile eruptive și metamorfice determină prezența fierului în cantități mari în apele subterane;
- O mare energie de relief, care în condițiile existenței rocilor impermeabile și a unor precipitații intense, conduce la curgeri medii specifice mari;
- Prezența depresiunilor posttectonice și de eroziune, care constituie unități hidrostructurale de interes pentru alimentarea cu apă (acvifere multistrat sub presiune în depresiunile posttectonice, acvifere în depozite aluvionare în depresiunile de eroziune);
- Existența în zona subcarpatică a conurilor de dejecție, cu importanță hidrogeologică deosebită;
- Văile râurilor pot prezenta nivele de terasă suficient de extinse și grosimi ale aluviunilor destul de mari pentru a fi luate în considerare pentru alimentări cu apă;

- Terasale și luncile prezintă aluviuni formate predominant din roci ce intra în constituția flișului și mai puțin din elemente de cristalin și calcare mezozoice;
- În general, rețeaua hidrografică își păstrează debitele, semnalându-se diminuări de debit numai în zona de curbură, unde râurile curg pe pietrișurile de Căndești, determinând o alimentare în subteran, între valea Troțului și valea Buzăului;
- Regimul hidrogeologic, la nivelul luncilor și al teraselor este influențat de amenajările hidrotehnice.

Carpații Orientali, constituie o unitate structurală ce nu prezintă în general interes hidrogeologic major.

9.1.2. Tipuri de hidrostructuri

Fără a evidenția debitele sau calitatea apelor ci doar prezența lor, în acest sector se disting 5 tipuri de hidrostructuri:

- ❖ **Hidrostructuri de descărcare** – situate deasupra nivelului de bază, constituite în general din conglomerate. Apele subterane se manifestă sub formă de izvoare, la limita cu un strat impermeabil, sau prin deschiderea orizontului sau fisurilor acvifere datorită eroziunii. Alimentare este de tip pluvio-nival, debitele fiind dependente de regimul de precipitații. Acest tip de structură a fost evidențiată în zona flișului.
- ❖ **Hidrostructuri carstice** – în general se dezvoltă deasupra nivelului de bază, dar în anumite zone ajung sub nivelul de bază. Alimentarea este pluvio-nivală, dar în anumite sectoare participă și rețeaua hidrografică. Descărcarea apelor subterane se face prin resurgente (izvor carstic cu insurgență cunoscută) sau exurgente (izvor carstic a cărui insurgență nu este cunoscută). Atunci când se află sub nivelul de bază, apele sunt sub presiune.
- ❖ **Hidrostructuri depresionare tectonice** – acvifere sub presiune (cu caracter ascensional sau artezian) de tip multistrat. Acviferele sunt de tip granular, cu o variabilitate granulometrică accentuată, de la foarte fin la grosier. Alimentarea se face în general din rețeaua hidrografică și subordonat pluvio-nival.
- ❖ **Hidrostructuri fisurale** – în formațiuni metamorfice sau ale flișului cretacic-paleogen. Alimentare în general pluvio-nivală. În general apele subterane sunt sub presiune, având un caracter ascensional.
- ❖ **Hidrostructuri aluvionare** – în lunci, terase și conuri de dejecție, în general având nivel liber, cu alimentare din rețeaua hidrografică dar și pluvio-nivală. Acviferele din nivelele superioare de terasă se pot descărca prin aliniamente de izvoare.

9.2. Carpații Meridionali

- Constituie unitatea structurală cea mai masivă, cu excepția zonelor formate din roci carbonatice. Este unitatea care prezintă cea mai mică importanță hidrogeologică. Altitudinile mari explică prezența celui mai dezvoltat relief glaciatic. Din punct de vedere structural, ei sunt străbătuți de numeroase falii.
- Altitudini maxime ce depășesc 2500 m;
- Energie de relief ce variază între 500 și 1000 m;
- Valori ridicate ale densității rețelei hidrografice (versantul nordic al Făgărașului – 1 – 1,4 km/kmp);
- Număr mare de zile cu îngheț sau strat de zăpadă.

9.2.1. Condiții hidrogeologice

- predominanța formațiunilor metamorfice și eruptive în fața celor sedimentare;
- predominanța rocilor impermeabile în fața celor permeabile;
- energie de relief accentuată, crescând de la est la vest;
- scurgere medie specifică cu valori de 10 – 40 l/s/kmp în est și 5 – 30 l/s/kmp în vest;
- forme glaciare bine dezvoltate, mai ales între valea Cernei și valea Râul Mare;
- lipsa fenomenelor postvulcanice;
- prezență magmatismului ofiolitic;
- depresiuni posttectonice mai vechi decât cele din Carpații Orientali, cu mai mică importanță hidrogeologică, cu excepția Culoarului Timișului și a Depresiunii Hațeg
- depresiunile de eroziune slab dezvoltate;
- falii cu rol în apariția apelor termale;
- nu au fost evidențiate ape minerale carbogazoase;
- dezvoltarea pe mari suprafețe a hidrostructurilor carstice;
- structurile hidrocarstice permit transferuri de debite dintr-un bazin hidrografic în altul, funcție de contextul structural-tectonic;

- perimetrele de protecție ale resurgențelor carstice captate trebuie instalate la distanțe mari în funcție cu punctele de insurgență sau zonele de infiltrare difuză;
- rețeaua hidrografică, cu excepția zonelor de carst, își păstrează individualitatea și nu-și diminuează debitele;
- alimentarea acviferelor este de tip pluvio-nival, în zonele de carst de o importanță deosebită fiind aportul rețelei hidrografice;
- terasele sunt slab dezvoltate în zona montană.

Carpații Meridionali oferă condiții hidrogeologice favorabile numai în zona de dezvoltare a calcarelor carstificate și în zonele intramontane în care s-au format conuri de dejecție importante.

9.2.2. Tipuri de hidrostructuri

Principalele tipuri de hidrostructuri din Carpații Meridionali sunt:

1. **Hidrostructurile carstice** – prezente mai ales în partea vestică. Datorită grosimii mari a calcarelor, ele se dezvoltă atât deasupra cât și sub nivelul de bază, întâlnindu-se atât descărcări descendente cât și sub presiune, precum și debite mari (peste 1 mc/s). Pentru structurile dezvoltate deasupra nivelului de bază, alimentarea este pluvio-nivală, iar cele dezvoltate sub nivelul de bază se alimentează din rețeaua hidrografică.
2. **Hidrostructuri tip depresiuni tectonice** – cu ape sub presiune, uneori tip acvifer multistrat. Acviferele în general au granulație mare. Alimentarea este predominant din rețeaua hidrografică și subordonat pluvio-nivală;
3. **Hidrostructuri aluvionare din conurile de dejecție și lunci** – având în general nivel liber și alimentare din rețeaua hidrografică;
4. **Hidrostructuri fluvio-glaciare** – se găsesc la cote superioare formând uneori mai multe nivele. Ca urmare a granulației grosiere și a gradientilor mari, descărcarea este destul de rapidă și debitul scade rapid. Alimentarea este predominant nivală, din circurile glaciare.
5. **Hidrostructuri fisurale** – sub presiune, cu alimentare mixtă, în care au fost puse în evidență mai ales ape minerale și termale.

9.3. Munții Apuseni

- mișcările laramice au determinat o intensă fragmentare și deformare tectonică a Munților Apuseni. Se evidențiază o mare varietate a manifestărilor magmatice, prezența unor bazine posttectonice neogene, ample zone carstice, linii rupturale orientate nord – sud, absența reliefului glaciatic pleistocen.
- precipitații între 1000 și 1300 mm/an;
- durata stratului de zăpadă variază între 60 – 90 zile;
- valoarea densității rețelei hidrografice este cuprinsă între 0,6 – 1,0 km/kmp, în ansamblu prezentând cea mai mare densitate a rețelei hidrografice, cu o valoare medie de 0,67 km/kmp;
- curgerea medie specifică între 10 – 30 l/s/kmp.

9.3.1. Condiții hidrogeologice

- singurele roci permeabile cu importanță hidrogeologică majoră sunt rocile carbonatice carstificate, localizate în partea de vest a Apusenilor de nord;
- energie de relief mai mică decât în cazul Carpaților Orientali sau Meridionali;
- valoarea precipitațiilor cuprinsă între 700 – 1200 mm/an, fiind mai mare în partea vestică, unde rocile carbonatice ocupă suprafețe mari;
- scurgerea medie specifică este cuprinsă între 5 și 40 l/s/kmp, ea fiind influențată de infiltrațiile masive produse în zona carstică;
- depresiunile de eroziune sunt slab dezvoltate;
- marea dezvoltare a rocilor carbonatate carstificate imprimă un caracter azonal apelor subterane, constatându-se neconcordanțe între bazinele hidrografice și cele hidrogeologice;
- terasele sunt slab dezvoltate în zonele montane;
- conurile de dejecție din depresiuni nu au importanță hidrogeologică deosebită;
- aluviunile râurilor nu au grosimi mari în zonele montane;
- formele glaciare și periglaciare aproape lipsesc;

- între Apusenii de nord și Apusenii de sud există deosebiri geologice, cu implicații asupra condițiilor hidrogeologice;
- marea dezvoltare a flișului cretacic în Apusenii de sud față de cei de nord;
- depresiunile tectonice din munții Apuseni de nord sunt mai reduse și mai vechi decât în partea sudică;
- în munții Apuseni de sud se constată prezența apelor termale și a celor minerale carbogazoase;
- hidrostructurile carstice din Munții apuseni de nord sunt drenate mai ales spre Depresiunea Pannonică, iar cele din Munții Bihor sunt drenate spre Depresiunea Transilvaniei.

9.3.2. Tipuri de hidrostructuri

Principalele tipuri de hidrostructuri din Carpații Meridionali sunt:

- ❖ **Structuri hidrocarstice** – dezvoltate atât deasupra cât și sub nivelul de bază, realizându-se descărcări ascendente sau sub presiune, sub formă de izbucuri sau descărcări lineare. Insurgențele sunt difuze sau punctuale. Alimentarea se face atât din rețeaua hidrografică cât și pluvio-nival;
- ❖ **Hidrostructuri fisurale** – în roci eruptive, cristaline sau sedimentare, cu alimentare mixtă;
- ❖ **Hidrostructuri ale depresiunilor tectonice** – dacă acestea sunt umplute cu roci detritice groșiere și când beneficiază de o alimentare abundentă. Acviferele pot fi multistrat și sub presiune. Alimentarea este mixtă;
- ❖ **Hidrostructuri aluvionare** – de-a lungul văilor, în general cu nivel liber, alimentate de rețeaua hidrografică

9.4. Depresiunea Transilvaniei

- formată prin scufundarea neuniformă a unui masiv cristalino-mezozoice.

9.4.1. Condiții hidrogeologice

- în cuprinsul depresiunii, nu apar roci eruptive și nici roci metamorfice;
- formațiunile geologice sedimentare sunt predominant argilo-marnoase, cu grosimi mari, fiind practic impermeabile;
- energia de relief este mică iar valoarea scurgerii medii specifice este de 1-5 l/s/kmp;

- prezența evaporitelor și a rocilor disodiliforme imprimă o mineralizație ridicată a apelor subterane;
- formațiunile mezozoice, susceptibile de a fi acvifere, se află la adâncimi mari;
- condiții la limită insuficiente pentru acviferele sub presiune, mai ales în partea estică, unde produsele vulcanice acoperă formațiunile sedimentare;
- alimentare mixtă, pluvială, din rețeaua hidrografică în zonele aluvionare și mai puțin nivală;
- acviferele piemontane prezintă alimentare pluvio-nivală și din rețeaua hidrografică;
- pentru acviferele fluviatile, este importantă alimentarea din rețeaua hidrografică, care în unele zone este deficitară, datorită colmatării albiilor;
- la suprafață se întâlnesc numai roci carbonatice paleogene;
- pot prezenta interes hidrogeologic depresiunile de contact cu caracter hidrogeologic depresiunile de contact cu caracter tectonic, în special de la contactul cu Carpații Meridionali;
- în zona estică, apele minerale pot avea și caracter carbogazos;
- în zonele cu gradient geotermic ridicat se întâlnesc și ape termale.

9.4.2. Tipuri de hidrostructuri

Dintre unitățile lito-stratigrafice care pot prezenta interes hidrogeologic, se menționează următoarele:

Unități hidrostructurale

- hidrostructurile aluvionare, inclusiv conuri de dejecție, terase și formațiuni piemontane – în lunci și în conurile de dejecție, apele subterane pot fi sub ușoară presiune;
- hidrostructurile granulare din depresiunile de contact, probabil cu ape sub presiune, putând forma acvifere multistrat;
- hidrostructuri carstice, dezvoltate și sub nivelul de bază, cu descărcare sub formă de izbuc;
- hidrostructuri de adâncime, granulare sau fisurale, în regim monoclinal.

9.5. Podișul Moldovenesc

- Alcătuit din trei componente: Platforma Moldovenească, Depresiunea Bârladului și orogenul nord-dobrogean de la nord de Dunăre. Prezintă interes hidrogeologic numai ciclurile de sedimentare Cretacic-Eocen, Tortonian – Pleistocen inferior.
- Din punct de vedere genetic, podișul a fost o câmpie fluvio-lacustră și fluvio-marină. Treptele de eroziune din cadrul bazinelor hidrografice au altitudini diferite, ca urmare a mișcărilor din fazele cuaternare. Vârsta treptelor de relief corespunde cu cea a rețelei hidrografice.
- Înălțimile medii, sunt cuprinse între 400 – 500, cu valori maxime de 600 m.

9.5.1. Condiții hidrogeologice

- Lipsa formațiunilor metamorfice și eruptive;
- Lipsa manifestărilor postvulcanice;
- Lipsa depresiunilor posttectonice;
- prezența depresiunilor de contact și a celor de eroziune;
- valoare redusă a energiei de relief;
- scurgerea medie specifică are valori de 1 – 2 l/s/kmp în zona nordică și 1 l/s/kmp în zona sudică;
- podișul prezintă un bilanț deficitar, având un indice de ariditate ridicat;
- în partea nordică a podișului, rețeaua hidrografică are direcție de scurgere NV-SE iar în podișul Bârladului, direcția de curgere este N-S
- râurile seacă frecvent;
- formațiuni mai vechi decât Sarmațianul, nu aflurează decât pe un sector restrâns, în malul Prutului, în nordul podișului;
- formațiunile antecuatnare prezintă variații de facies, fiind mai grosiere la nord și mai fine la sud;
- predomină faciesurile litoral-neritice și fluvio-lacustre;
- structura este monoclinală cu cădere spre partea sudică;
- râurile situate la est de Siret au aluviuni cu granulometrie mai fină, cele de la vest de Siret, formează conuri de dejecție cu importanță hidrogeologică;

- în structura podișului, câmpiile fluviatile au fost evidențiate numai în partea de est;
- terasele au o mare dezvoltare, prezentând importanță hidrogeologică;
- apele subterane de adâncime, prezintă interes numai în zonele de dezvoltare a formațiunilor dacian-pleistocene;
- carstul nu prezintă importanță hidrogeologică;
- apele subterane din structurile antedaciene, situate sub nivelul de bază, prezintă mineralizații ridicate;
- o importanță deosebită pentru alimentarea locală cu apă, o constituie nivelele de oolite, gresii și nisipuri Sarmațiene

Podișul Moldovenesc, nu prezintă condiții hidrogeologice deosebite, cu excepția câmpiei fluviatile a Siretului, a conurilor de dejecție din zona siretului și a zonei de dezvoltare a formațiunilor dacian-pleistocene din bazinul inferior al Bârladului.

9.5.2. Tipuri de hidrostructuri

Unități hidrostructurale

- Hidrostructuri de descărcare tip acvifer multistrat, uneori dezvoltate sub nivelul de bază. Alimentarea este de tip pluvio-nival. Debitele depind de mărimea hidrostructurii și de intensitatea fragmentării reliefului;
- Hidrostructuri de descărcare tip interfluviu, al căror orizont acvifer se află în baza depozitelor loessoide. Alimentare lor este de tip pluvio-nival;
- hidrostructuri aluvionare ale conurilor de dejecție, din zona Siretului, având debite semnificative. Local pot fi sub presiune, alimentarea se face predominant din rețeaua hidrografică;
- Hidrostructuri aluvionare de terasă, cu alimentare pluvio-nivală și din rețeaua hidrografică. În general au nivel liber dar local pot fi ușor sub presiune;
- Hidrostructuri aluvionare, care oferă debite importante, situate la vest de Siret, în general cu nivel liber, alimentate predominant din rețeaua hidrografică.
- Hidrostructuri de profunzime, situate sub nivelul de bază, reprezentate de depozite dacian-pleistocene, de tip acvifer multistrat, cu grosimi apreciabile și ape sub presiune, având caracter artezian. Sunt alimentate în general din rețeaua hidrografică dar și pluvio-nival pe interfluvii.

9.6. Depresiunea Getică

- energie de relief cuprinsă între 50 și 800 m.

9.6.1. Condiții hidrogeologice

- o mare dezvoltare a rocilor detritice grosiere;
- energie de relief moderată;
- absența formațiunilor eruptive și metamorfice;
- absența manifestărilor postvulcanice;
- un context tectonic caracterizat de prezența anticlinalelor și sinclinalelor în zona centrală, monoclinală în restul depresiunii;
- existența unor zone de subsidență neotectonică, care au determinat apariția unor convergențe neotectonice;
- la ieșirea din zona montană, râurile mai importante au format conuri de dejecție dezvoltate;
- în zonele de dezvoltare a Pietrișurilor de Căndești pe interfluvii, apele se găsesc la adâncimi mari;
- în zonele în care râurile curg pe nisipuri pliocene sau pe Pietrișurile de Căndești, ele își pierd o parte din debite, uneori secând în totalitate;
- local, terasele prezintă interes hidrogeologic prin izvoarele existente în baza lor;
- depozitele pliocene conțin importante rezerve de ape subterane sub presiune;
- local, prezența evaporitelor și a rocilor disodiliforme, condiționează mineralizarea ridicată a apelor subterane;
- prezența apelor asociate zăcămintelor de hidrocarburi, ape cu mineralizații foarte ridicate și uneori caracter termal;
- pentru apele subterane din formațiunile antecuatere, prezintă importanță alimentarea lor din rețeaua hidrografică;
- izvoarele din acviferele Pietrișurilor de Căndești, de pe terase și interfluvii, au alimentare pluvio-nivală;
- zona mai puțin favorabilă pentru existența apelor subterane – între valea Oltului și Valea Argeșului (Platforma Cotmeanca).

9.6.2. Tipuri de hidrostructuri

Unități hidrostructurale

- structuri aluvionare în lunci, inclusiv terasele și conurile de dejecție, cu ape subterane aflate local sub o ușoară presiune;
- hidrostructuri de adâncime cu ape sub presiune și manifestare arteziană pe văi.

9.7. Depresiunea Panonică

- Formată prin scufundarea unui teritoriu Carpat în Miocen. Limita cu orogenul carpatic este sinuoasă, evidențiindu-se numeroase golfuri.
- În zona de piemont, se constată o uniformitate a energiei reliefului, în zona de contact cu munții, energia de relief are valori de 100 – 150 m.

9.7.1. Condiții hidrogeologice

- formațiunile metamorfice și cele eruptive nu apar în cuprinsul Depresiunii Panonice decât izolat;
- activitatea postvulcanică este susținută de prezența CO₂ în apele minerale carbogazoase;
- în zonă, sunt prezente ape termale atât în roci granulare cât și în roci calcaroase;
- tectonica fundamentului influențează condițiile hidrogeologice zonale;
- energia de relief scade de la est spre vest;
- toate râurile au format conuri de dejecție la intrarea în zona derpesionară;
- valori ale precipitațiilor mai ridicate față de alte zone de podiș sau câmpie;
- scurgerea medie specifică cu valori de până la 2 l/s/kmp;
- din cauza drenajului de suprafață și subteran inefficient, există mari suprafețe cu exces de umiditate;
- aluviunile râurilor sunt constituite predominant din roci metamorfice, eruptive și calcare;
- alterarea mineralelor mafice determină conținuturi ridicate de fier în apele subterane;

9.7.2. Tipuri de hidrostructuri

Unități hidrostructurale

- Hidrostructuri carstice de adâncime, alimentate din rețeaua hidrografică în zona de aflorare a calcarelor, acvifer aflat sub presiune cu caracter artezian;
- Hidrostructuri granulare de adâncime, cu caracter multistrat, cu ape sub presiune, alimentare atât pluvială cât și din rețeaua hidrografică;
- Hidrostructuri aluvionare din conuri de dejecție, cu ape sub presiune, alimentate din rețeaua hidrografică – debite foarte mari;
- Hidrostructuri aluvionare ale luncilor, alimentate de râuri;
- Hidrostructuri aluvionare ale teraselor, alimentate mai ales din precipitații, la contactul dintre nivelele de terasă apar linii de izvoare.

9.8. Câmpia Română

- Energie de relief cuprinsă între 40 și 100 m, scade până la valori de 10 – 20 m în partea estică;
- Structural se suprapune pe: Platforma Moesică, Depresiunea Pericarpatică și Depresiunea Predobrogeană

9.8.1. Condiții hidrogeologice

- absența totală a rocilor eruptive și metamorfice;
- energie de relief slabă;
- valori mici ale scurgerii specifice;
- cu excepția zonelor de terasă, structurile de adâncime prezintă continuitate pe mari suprafețe;
- pietrișurile de Căndești și cele de Frățești, formează hidrostructuri de mare importanță ecologică;
- faciesurile fluviatile prezintă un interes economic deosebit, ele pot asigura debite mari exploatabile;
- alimentarea se realizează în general prin infiltrări din rețeaua hidrografică;
- climatologic, regimul este deficitar;

- conurile de dejecție reprezintă structuri hidrogeologice de prim ordin, în flancul nordic;
- calitatea apelor subterane este afectată de utilizarea chimicalelor în agricultură;
- în anumite sectoare din vecinătatea Dunării, sunt prezente acvifere sub presiune, în calcare carstificate, presiunea fiind condiționată de variațiile de nivel ale Dunării;
- structural, zona se afundă de la vest spre est, pietrișurile de Căndești apar la zi în vest și nord, iar cele de Frătești apar la zi în vest și în partea sudică;
- pietrișurile de Frătești sunt alimentate de rețeaua hidrografică în sudul Olteniei, din bazinul inferior al Argeșului și în bazinul Ialomiței;
- în perioadele cu precipitații abundente, zonele slab drenate sunt inundate, datorită ridicării nivelului hidrostatic;
- nu se cunosc ape minerale în zonă.

9.8.2. Tipuri de hidrostructuri

Unități hidrostructurale

- Stratele de Căndești;
- Stratele de Frătești;
- Nisipurile de Mostiștea;
- Pietrișurile de Colentina.

9.9. Dobrogea

- Unitate distinctă din punct de vedere morfologic și geologic;
- 3 unități distincte: Dobrogea de nord, Dobrogea centrală (zona șisturilor verzi), Dobrogea de sud (ce aparține structural Platformei Moesice).
- energie de relief cuprinsă între 100 – 400 m;

9.9.1. Condiții hidrogeologice

- rocile acvifere sunt în general de natură carbonatică (dolomite, calcare, crete, lumașele, calcare grezoase, gresii calcaroase);
- regiunea cu cele mai mici cantități de precipitații din țară;

- Dobrogea centrală reprezintă o barieră hidrogeologică între Dobrogea de nord și cea de sud;
- în Dobrogea de nord, prezintă interes hidrogeologic doar zona Tulcea (calcare triasice) și bazinul Babadagului;
- Acviferele din zona Tulcea, sunt alimentate din precipitații și doar local prin aportul Dunării;
- în zona Dobrogei de nord, se exploatează prin foraje cele mai vechi hidrostructuri de profunzime (calcarele triasice);
- în Dobrogea de sud, acviferele antecuatere (Jurasic-Cretacic și parțial Sarmatian) sunt alimentate din sud, dinspre Platforma Prebalcanică;
- nu se cunosc manifestări postmagmatice;
- Apele termale din zona Hârșova – Topalu sunt legate de fală Dunării, iar cele din zona Neptun-Mangalia, de faliile ce afectează această zonă;
- importanța hidrogeologică a acviferelor cuaternare este mai redusă decât în alte unități hidrostructurale, pot prezenta interes doar structurile aluvionare;
- lacurile subterane cu fundament calcaros, au o alimentare subterană importantă