

LUCRAREA NR. 10

MODELAREA ACVIFERELOR CONTAMINATE

10.1. Introducerea noțiunilor de model și modelare

Un *model* al unui sistem este creat pentru rezolvarea acestuia. Pentru aceasta, se impun datele provenite dintr-un set de date de bază, care, împreună cu pachetul de soluții *software*, dau *modelul de sistem* (soluția). Rezolvarea devine foarte simplă din punctul de vedere al parametrilor hidraulici.

Există, așadar, o strânsă legătură între *datele de bază*, *pachetul software* și *model* (figura 10.1). *Conductele* și *nodurile* reprezintă elementele de bază ale unui model (rețea/sistem).

Așa cum este reprezentat în fig. 10.2, procesul de modelare cuprinde patru stadii: **colectarea datelor, soluția de rețea (modelul inițial), calibrarea și analiza.**

Colectarea datelor este necesară pentru a realiza rețeaua (sistemul), măsurătorile din teren și datele fiind necesare pentru o simulare cât mai corectă a funcționării rețelei (sistemului).

Soluția de rețea (sistem) rezultă atunci când datele sunt organizate într-un set care impun alegerea pachetului de soluții. Acest pachet de soluții este executat pentru a calcula valorile parametrilor hidraulici.

Calibrarea este procesul de ajustare a datelor de intrare impuse până când datele de ieșire (rezultate) reflectă valorile din teren.

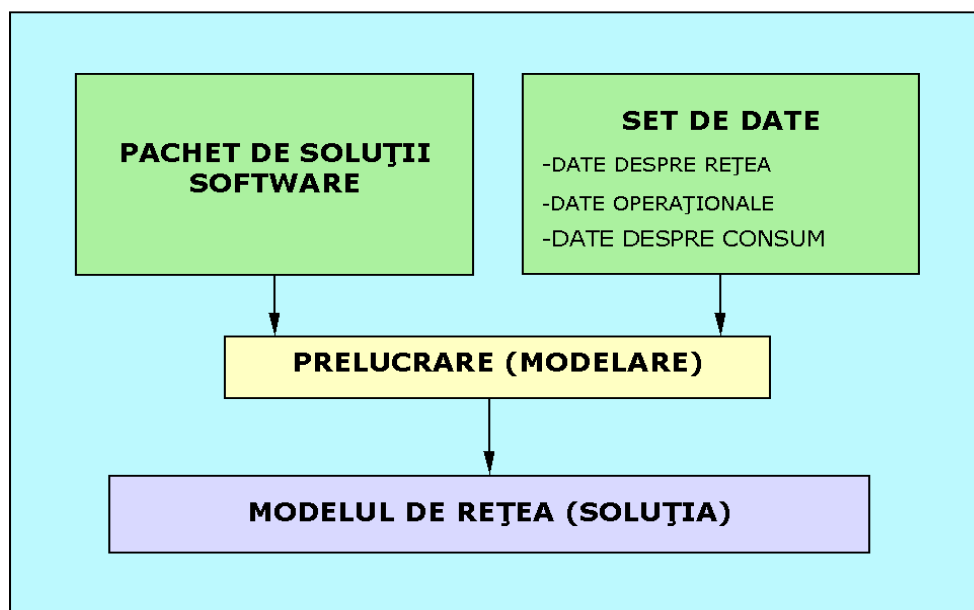


Fig. 10.1. Legătura între datele din teren și modelul final (Sursa: Agafiței Alina, 2020)

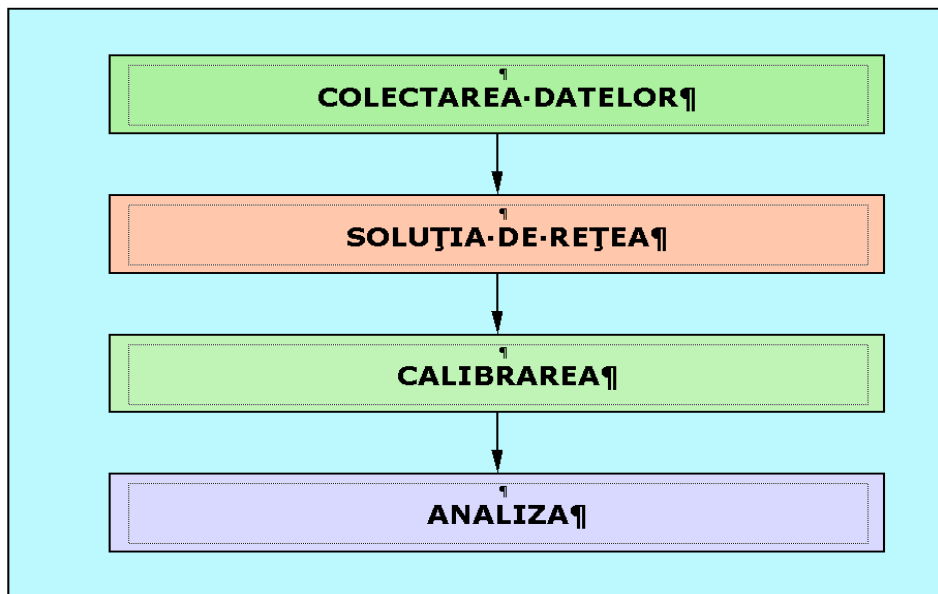


Fig. 10.2. Stadiile procesului de modelare (Sursa: Agafiței Alina, 2020)

Analiza constituie procesul de analizare și planificare a operațiilor pentru sistemul aflat în lucru, utilizând un model deja calibrat sau bazat, la rândul lui, pe un model calibrat.

Un *model calibrat* este un model pentru care datele de ieșire simulează perfect condițiile naturale din teren. Procesul de calibrare a unui model este unul iterativ; în care se fac ajustări asupra datelor de operare după ce valorile rezultate (datele de ieșire) au fost generate, modelul fiind atunci rulat din nou pentru a obține noi rezultate.

Acest proces este repetat până ce rezultatul simulării este comparabil cu cerințele din teren. Modelul poate fi calibrat simulând orice secțiune a unei zile sau o perioadă de timp. Odată un model calibrat, el devine reper și, deci, alte simulări pot fi comparate cu el.

Un model este calibrat pentru (1) stabilirea unui model credibil, (2) crearea unui model reper, (3) stabilirea prognozelor asupra comportării rețelei (sistemului), (4) cunoașterea și înțelegerea modului de operare al sistemului și performanțele acestuia, (5) descoperirea erorilor sau a unor valori omise din teren.

Credibilitatea modelului este stabilită prin calibrare. Niciodată nu putem fi siguri că un model necalibrat reflectă condițiile reale din teren.

În practica ingierească nu se folosesc niciodată modele necalibrate, pentru că ele pot conduce la rezultate eronate.

Pentru un model calibrat, gradul de precizie cu care simulează funcționarea rețelei (sistemului) este știut, iar datele de intrare sunt ajustate după nevoi. Deci, calibrarea este, de fapt, o metodă de testare a prezumțiilor și a datelor.

Un model calibrat poate fi utilizat ca reper.

Parametrii hidraulici determinați de către modelul reper devin valori de bază, cu care vor fi comparate valorile parametrilor hidraulici obținute mai târziu, în cadrul procesului de calibrare, când se vor compara cele două modele.

Modelul calibrat poate fi folosit pentru determinarea parametrilor hidraulici în toate punctele și pentru orice interval de timp.

Aceste valori pot fi determinate pentru punctele unde nu se pot implementa în rețea (sistem) aparate de măsură a acestora.

Capacitatea de prognozare a unui model poate fi restrânsă utilizând modelul calibrat ca reper pentru compararea cu un model calibrat modificat.

Modelul modificat poate include de exemplu, în plus, instalații de pompare și rezervoare pentru diferite zone de presiune.

Este efectul prezicerii rezultatului schimbărilor din sistem. Valorile rezultate ale parametrilor hidraulici pot fi comparate cu acelea din modelul luat ca reper.

Calibrarea induce cunoașterea și înțelegerea sistemului și operațiilor.

Analizând datele, calibrând modelul și studiind sistemul, utilizatorul poate ajunge la o înțelegere perfectă a modului de funcționare a sistemului (rețelei).

Inginerul care utilizează modelul devine de fapt un operator de sistem.

Modelatorul poate simula majoritatea operațiilor pe care un operator le face și poate examina toate situațiile.

Calibrarea poate fi capabilă, totodată, să descopere erorile sau anumite date necunoscute din teren. Adesea în timpul calibrării, trebuiesc investigate condițiile de modelare din teren.

Procesul de calibrare este compus din mai multe etape (pași); unele sunt repetate până când se obțin valorile acceptabile.

După stabilirea intervalului de timp (fie o singură oră, fie o perioadă de 24 de ore sau un interval mai mare de timp), datele trebuie compilate, se revăd toate operațiile, se realizează simularea inițială a funcționării rețelei (sistemului), se ajustează datele și se finalizează modelul.

Etapile de ajustare, rularea modelului, revizuirea, realizarea ajustărilor în plus, din nou revizuirea, realizarea încă a unui set de ajustări și așa mai departe este o operație obișnuită. Acesta este așadar un proces iterativ.

Un proces iterativ folosește rezultatele dintr-o etapă (pas) și le impune ca date pentru următorul, până ce se obține rezultatul dorit.

Pachetul de soluții folosește, de asemenea, un proces iterativ pentru calcularea parametrilor hidraulici în noduri și bucle (ochiuri de rețea).

Procesul de ajustare și rularea modelului vor fi făcute de mai multe ori, înainte de a obține rezultatul dorit.

În fig. 10.3 este reprezentat procesul calibrării.

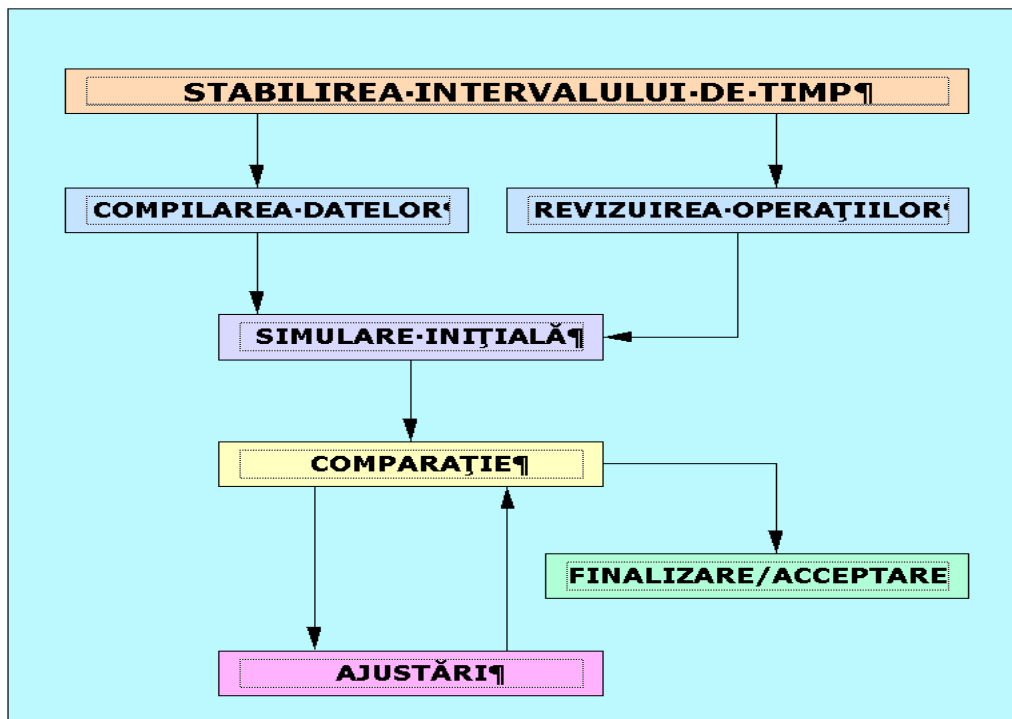


Fig. 10.3. Reprezentarea procesului iterativ de modelare (Sursa: Agafiței Alina, 2020)

Aplicarea modelului se face funcție de tipul de utilizare al modelului de rețea. Aproape toate aplicațiile au la bază un model calibrat.

Aplicațiile sunt limitate numai de către imaginația modelatorului.

Aplicațiile tipice includ analiza debitului de incendiu și a parametrilor hidraulici din noduri și conducte, precum și analiza dimensionării hidraulice a conductelor.

În practică, este posibil să se înregistreze variații ale rezultatelor pentru aplicarea aceluiași model calibrat.

Datele de intrare sunt schimbate pentru a obține schimbări dinainte stabilite în sistemul de alimentare cu apă.

Modelul este atunci executat pentru a produce rezultate.

Numărul de rulări – corespunzător modificărilor succesive ale modelului – poate crește până la obținerea rezultatului dorit.

Rezultatul poate fi comparat cu acel model calibrat care determină procesul de modificare.

De exemplu, diametrul unei conducte poate fi schimbat; presiunea rezultată poate fi comparată cu presiunea modelului calibrat, care a determinat necesitatea modificării.

În fig. 10.4. este prezentată schema bloc detaliată a procesului de modelare.

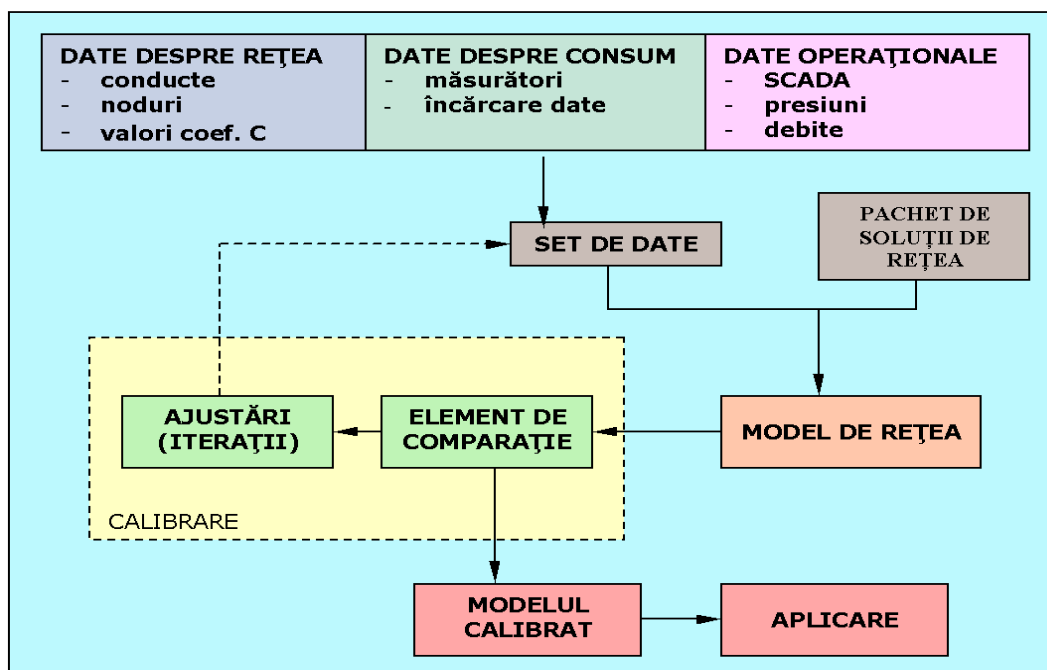


Fig. 10.4. Schema bloc a procesului de modelare (Sursa: Agafiței Alina, 2020)

10.2. Date necesare modelării și calibrării unui sistem

Tipurile esențiale de date pentru modelarea unei rețele (sistem) sunt: **datele de bază** despre rețeaua (sistemul) propriu-zisă, **datele de operare** și **consumul** pe care trebuie să-l satisfacă rețeaua (sistemul).

Două dintre cele mai importante caracteristici ale datelor care intră în procesul de modelare, sunt **complexitatea** și **exactitatea** datelor.

Complexitatea se referă la volumul de date inclus. Dacă datele cheie nu sunt incluse în datele de bază rezultatele generate de modelul de rețea (sistem) vor fi incomplete și posibil eronate. De exemplu, dacă un tronson (conductă) nu este inclus în setul de date sau dacă o vană de control a presiunii este omisă și se simulează o conductă simplă parametri hidraulici determinați de către model vor fi eronate.

Totuși, se pot accepta goluri de informații asupra unor părți de mai mică importanță pentru rețea (sistem). De exemplu, în cazul unei rețele (sistem) existente (de alimentare cu apă ori de canalizare, spre exemplu) pentru care se dorește o simulare a funcționării și a comportamentului din punct de vedere hidraulic în timp, o conductă localizată la o distanță mare față de zona rețelei principale, poate avea un efect neglijabil în contextul întregii rețele (sistem).

Exactitatea este determinată de corectitudinea valorilor utilizate ca date. Chiar dacă toate conductele sunt reprezentate în setul de date de bază o parte din aceste informații pot fi inexacte, cum ar fi valorile pentru diametre (250 mm, de exemplu, în loc de 150 mm) sau nu se introduc

corect caracteristicile unei vane, se vor obține rezultate eronate care nu sunt conforme cu cele din realitate.

Datele necesare pentru modelarea unei rețele (sistem) se împart în două mari categorii: **date tradiționale (de bază)** și **date de tip avansat**.

Datele tradiționale (de bază) se referă la conducte, noduri (joncțiuni), vane, pompe, perioadă de simulare.

Datele despre conducte sunt: **date de bază** (numărul nodului inițial, numărul nodului final, lungime, diametru, coeficient de rugozitate) și **date opționale** (indicatorul unei conducte paralele, numele sau descrierea conductei, facilități pentru identificare, coeficienții de rezistență locală pentru diferite tipuri de singularități).

Datele despre noduri, **cele de bază** se referă la numărul sau definirea nodului, elevația (cota), tipul nodului (gradient hidraulic, nivel maxim și nivel minim al apei în rezervor și/sau cererea / necesarul de apă în nodurile de consum).

Datele despre vane sunt: **date de bază** (numărul nodului inițial, numărul nodului final, lungime, diametru, coeficient de rugozitate, indicatorul tipului de vană, setări pentru reducerea presiunii aval și/sau amonte) și **date opționale** (coeficientul de rezistență locală, schimbări de presiune).

Datele despre pompe sunt: **date de bază** (numărul nodului inițial, numărul nodului final, diametrul, sarcina (presiunea) de pompare sau curba de pompare (caracteristica $H = f(Q)$)).

Datele despre perioada de simulare cuprind: statutul (numărul de identificare al conductei, indicatorul închis-deschis sau parțial deschis), controlul (numărul de identificare al conductei, numărul nodului de control), coeficientul de multiplicare (numărul de identificare al nodului, factorul de multiplicare), timpul (durata simulării, mărimea intervalului, ora de începere a perioadei de simulare).

Datele de tip avansat se referă la costul investiției, grafică, încărcarea modelului, optimizarea diametrelor conductelor, calitatea apei.

Datele referitoare la **costul investiției** sunt: costul apei, costul energiei consumate, valoarea debitului (tratament și pompare), viteza operației de pompare, diametrul conductelor de aducțiune, curba eficienței pompării, puterea pompelor (motoarelor), corecții ale presiunii, setări de timp.

Grafica se referă la coordonatele (X, Y) ale nodurilor în plan cât și la cote (Z).

Încărcarea modelului se referă la localizarea prizei, zona de proiectare și la aria de influență (opțional).

Optimizarea diametrelor conductelor, se referă la datele despre standardul diametrelor, costul unitar al conductelor, factorul de inflație, parametrii de presiune.

Datele despre **calitatea apei** sunt: date despre conducte (rata coeficientului de reacție pentru dimensiunea și natura pereților conductei) și date despre nod (rata coeficientului de reacție pentru rezervor, calitatea inițială a apei, concentrația de bază, dimensiunile rezervorului (nodul sursă) și volumul (nodul sursă)).

Perioada de simulare se referă la intervalul de timp în care are loc simularea modelului respectiv, funcție de variația consumului. Simularea poate fi statică (*steady-state simulation*) sau continuă, *dinamică (extended-period simulation)*.

Simularea statică se referă la simularea modelului respectiv pe timp de noapte când rata debitului este constantă și deci cunoscută, ca și pozițiile vanelor reglatoare de debit sau de presiune și nivelul apei în rezervoare.

Simularea dinamică se referă la simularea pe tot timpul zilei (24 de ore).

Variația debitului trebuie cunoscută pe tot intervalul celor 24 de ore pentru a realiza calibrarea modelului. În acest caz, hidrograful cererii definește consumul de apă pentru fiecare oră a zilei.

Determinarea capacității de pompare și dimensiunile rezervoarelor sunt aplicații ale simulării dinamice.

Modelarea calității apei reclamă, de asemenea, simularea dinamică.

Analiza rețelelor (sistemelor) se referă la acele rețele (sisteme) modelate cu ajutorul programelor de calcul.

Modelul este folosit pentru a simula și analiza un sistem de distribuție a apei existent, precum și pentru planificarea și proiectarea de noi sisteme și simularea funcționării acestora. Un model de rețea are el însuși două componente: o **rezolvare matematică (soluție)** a rețelei și un **set de date** care să descrie sistemul.

Rezolvarea rețelei (sistemului) reclamă un program de analiză și un pachet de programe pentru rezolvare. Acesta calculează valorile presiunilor, debitelor, pierderilor de sarcină și ale vitezelor.

Un program de soluții pentru rețea (sistem) nu este folosit individual; acesta reclamă datele referitoare la rețea (sistem).

Setul de date este necesar a fi impus în cadrul pachetului de soluții pentru a rezolva rețeaua (sistemul). Setul de date stabilește sistemul de operare și condițiile din rețea (sistem) pentru un interval de timp dat.

Setul de date trebuie să fie capabil să furnizeze date cel puțin despre conductele rețelei (sistemului), caracteristicile sistemului și consumul (cererea) de apă. Datele despre rețea (sistem) descriu caracteristicile fizice ale sistemului care urmează a fi simulat.

Lungimea conductelor, diametrele și coeficienții de rugozitate sunt date la fel de necesare ca și cotele nodurilor și datele referitoare la consum.

Sistemul caracteristic de date descrie presiunea și debitul pompelor, cota rezervoarelor și setările pentru vanele reglatoare de presiune aval (Agafiței Alina, 2020).

10.3. Studiu de caz

Sistemele acvifere supuse modelării sunt extrem de complexe, cu o mare variabilitate a parametrilor caracteristici. Fără procedura de simplificare, definirea caracteristicilor de bază, sintetizarea și armonizarea modelului cu natura complex, nu se poate aborda modelarea numerică.

Caracterul aplicativ al lucrării, descifrarea complexității condițiilor hidrogeologice și abordarea detaliată a cunoașterii structurii geologice a impus o schematizare cât mai fidelă a hidrostructurilor de mică și medie adâncime din subsolul Municipiului București – obiectul studiului de caz relatat în prezenta lucrare.

În mod sintetic, cele trei **etape** de lucru pot fi definite astfel:

- **schematizarea spațială** - configurarea geometrică a structurilor geologice prin care curge apa subterană;
- **schematizarea parametrică** – simplificarea distribuției spațiale a caracteristicilor hidrofizice ce descriu proprietățile acvifere ale terenurilor (porozitatea, conductivitatea hidrolică, transmisivitatea, recharge, conductanța râu-acvifer);
- **schematizarea hidrodinamică** – precizarea condițiilor hidrodinamice, atât pe frontierele domeniului modelat, cât și în interiorul acestuia.

Schematizarea parametrică reprezintă imaginea distribuției spațiale a parametrilor hidrogeologici.

Distribuția lor spațială este reprezentată, în general, sub formă de hărți rezultate în urma prelucrării valorilor determinate în diferite puncte (foraje, determinări de laborator a probelor prelevate etc.).

Potrivit experienței acumulate, în alcătuirea modelului conceptual, o importanță deosebită au datele achiziționate.

Măsurătorile de nivel piezometric au fost executate sistematic, în foraje distribuite pe zone ale orașului (carouri prestabilite), în perioade de timp foarte bine stabilite. Întodeauna, observațiile de nivel piezometric s-au realizat în aceleași puncte prestabilite și distribuite uniform în interiorul spațiului delimitat de șoseaua de centură a orașului.

10.3.1. Model spațial al sistemului acvifer de mică și medie adâncime

Schematizarea spațială trebuie să țină cont de extinderea în suprafață și adâncime a depozitelor poroase ce pot înmagazina apa subterană.

Această operațiune se realizează după analiza întregului volum de date de cunoaștere rezultat atât din cercetările geologice, lucrări geotehnice, investigațiile geofizice cât și din lucrări hidrogeologice sau de exploatare a apei subterane.

Prezentul studio s-a efectuat în municipiul București, pe corpul de apă ROAG03 (Colentina) și ROAG11 (Nisipurile de Mostiștea) (figura 10.5).

În urma sintetizării informațiilor obținute, au rezultat secțiuni hidrogeologice schematice și hărți structurale reprezentative.

Fidelitatea redării spațiului în care are loc curgerea apelor subterane depinde de acuratețea datelor care au stat la baza întocmirii hărților structurale.

În urma sintezei avansate s-au delimitat în mod schematic (figura 10.6) principalele elemente definitorii ale acviferelor din Pietrișurile de Colentina, Nisipurile intermediare și Nisipurile de Mostiștea.

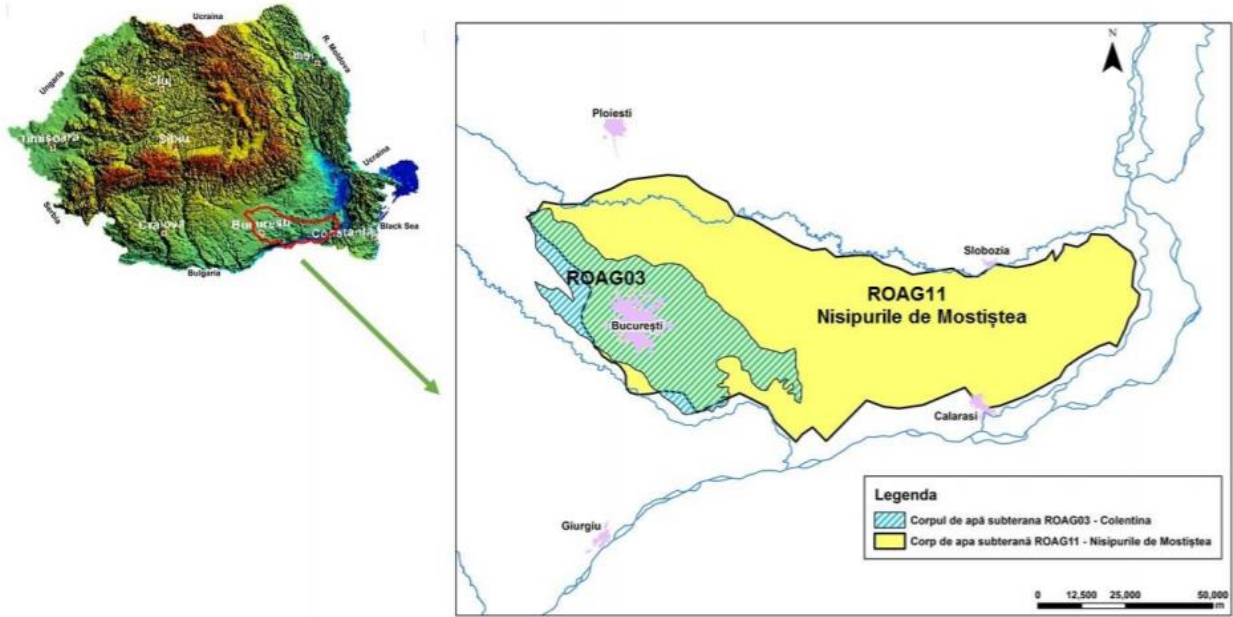


Fig. 10.5. Localizarea municipiului București în interiorul corpurilor de apă ROAG03 (Colentina) și ROAG11 (Nisipurile de Mostiștea) (Sursa: Neagu, D., 2017)

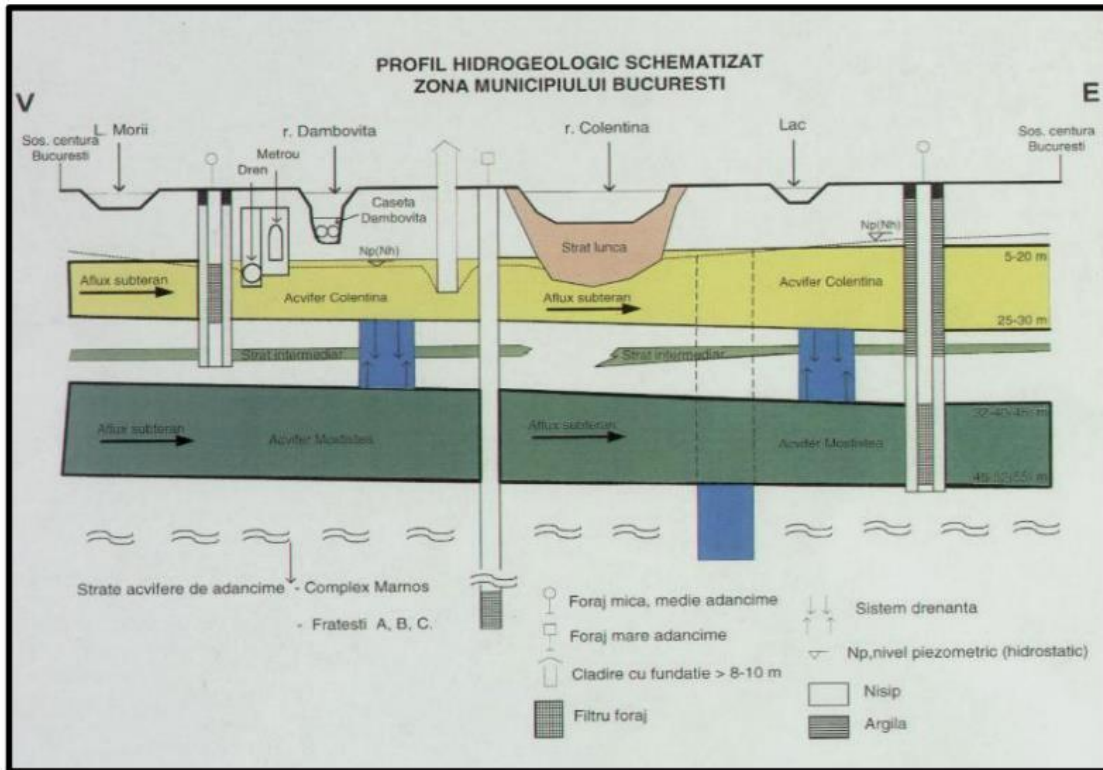


Fig. 10.6. Modelul schematizării hidrodinamice pentru acviferele din Nisipurile de Mostiștea și Pietrișurile de Colentina (Sursa: Neagu, D., 2017)

Întregul volum de informații analizat și validat a fost atașat bazelor de date, în care sunt specificate descrierile litologice, caracteristicile hidrogeologice și datele despre chimismul apelor.

Informațiile structurate au fost incluse în tabele specifice, pe baza cărora s-au construit o parte dintre componentele modelului conceptual cum ar fi secțiunile schematice (figurile 10.7 și 10.8) și elementele cartografice de tipul hărților geologice, a celor structurale, de variație a grosimii etc.

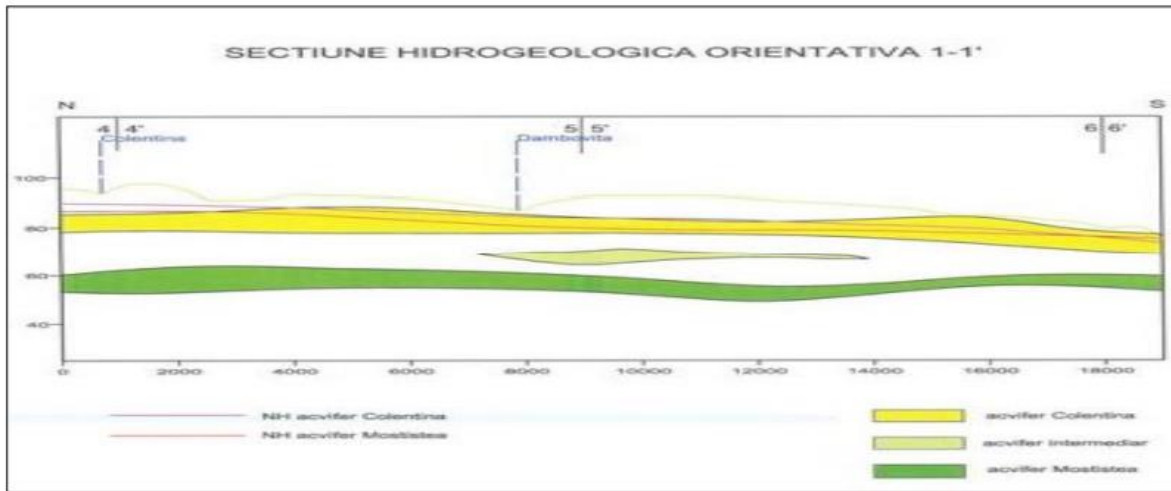


Fig. 10.7. Secțiune hidrogeologică schematică (N – S) (Sursa: Neagu, D., 2017)

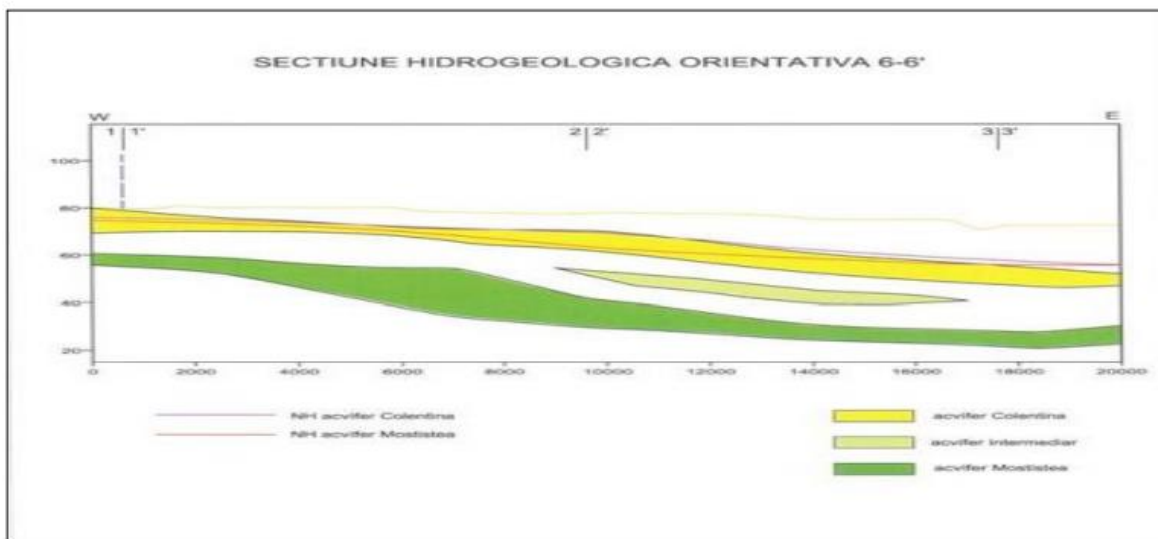


Fig. 10.8. Secțiune hidrogeologică schematică (W - S) (Sursa: Neagu, D., 2017)

Modelul stratigrafic 3D al hidrostructurii de mică și medie adâncime (figura 10.) a fost realizat cu programul Rockworks 15, utilizând informațiile din 60 de foraje. Pe baza acestora, s-au delimitat în plan vertical acviferul din Pietrișurile de Colentina, acviferul intermediar, acviferul din Nisipurile de Mostiștea și straturile impermeabile dintre acestea.

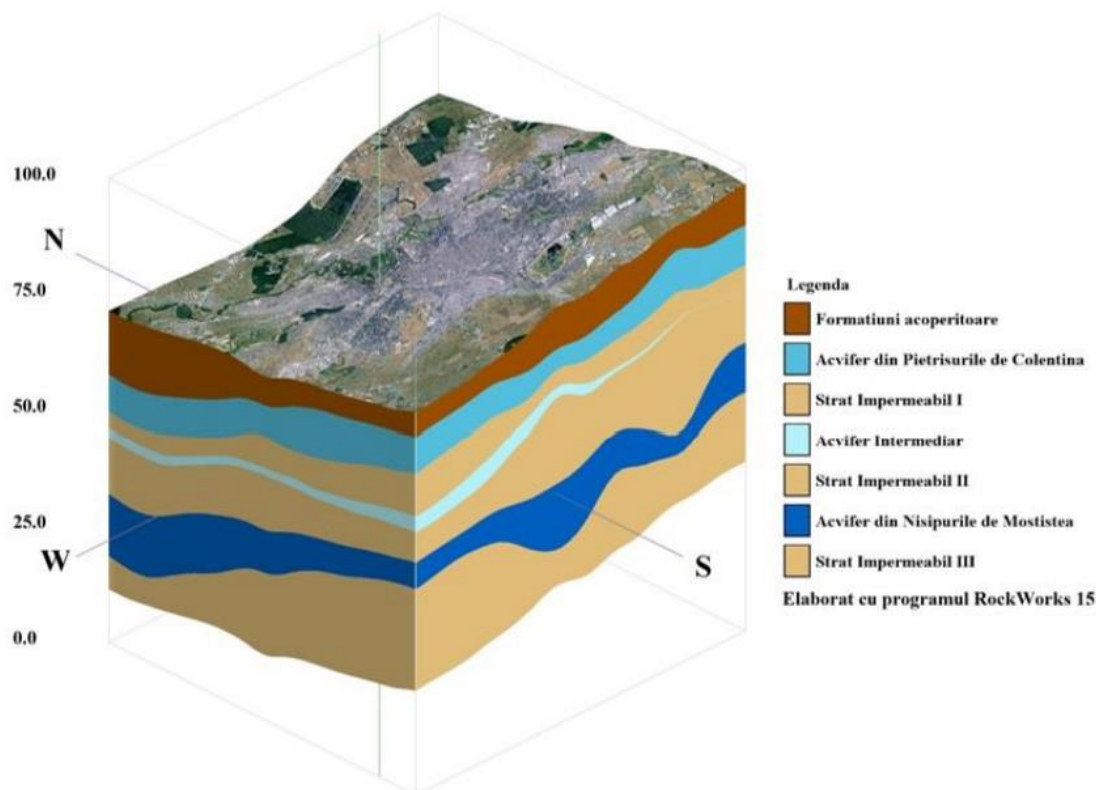


Fig. 10.9. Modelul stratigrafic 3D al corpurilor permeabile și impermeabile în care a fost generată hidrostructura de mică și medie adâncime din zona Municipiului București (Sursa: Neagu, D., 2017)

Schematizarea hidrodinamică a sistemului acvifer de mică și medie adâncime

Prin reprezentarea schematică a celor două structuri hidrogeologice s-a ținut seama de simplificarea modelelor spațiale, a celor porozimetrice și permeametrice, a condițiilor de curgere, a modului natural de încărcare și descărcare precum și a factorilor de stress hidrodinamic și calitativ ce pot afecta resursele de apă subterană.

În cazul acviferului cu poziție spațială superioară, simplificarea (figura 10.6) a luat în considerare procesul de alimentare din precipitații și schimbul hidric cu apele de suprafață, sau cu acviferele aluvionare dezvoltate în zona acestora, modificarea regimului hidric din cauza amenajărilor hidrotehnice sau altor categorii de lucrări de anvergură (canalizarea și acumulările pe râul Dâmbovița, acumulările de pe râul Colentina, lucrările asociate metroului, rețeaua de canale, alte lucrări de construcții și excavații subterane, lucrări de drenare, de alimentare cu apă, etc.), precum și transferul hidric vertical ce se manifestă preponderent prin percolare fie din

infiltrarea apei de precipitație, fie din acvifere intermediare în zone cu roci semipermeabile sau în arii cu lacune de sedimentare.

În cazul sistemului acvifer mai adânc, încărcarea și descărcarea se produce în afara ariei București și a împrejurimilor acestora, procesul de curgere fiind cu precădere influențat (figura 10.6), fie de drenarea apei subterane prin anumite lucrări ce necesită detensionarea acestei structuri hidrogeologice, fie prin sisteme de foraje de alimentare cu apă în diferite scopuri.

Dacă pentru acest acvifer alimentarea din precipitații sau din apă de suprafață nu poate fi luată în considerare în zona București, transferul hidric vertical în anumite condiții favorizante poate avea valori semnificative.

Modelul energetic al curgerii apelor subterane este influențat în mod direct de cunoașterea condițiilor de margine. Impunerea corectă a acestora este determinantă în evaluarea corectă a procesului curgerii.

Condițiile de tip Dirichlet sau cele de sarcină impusă se regăsesc cu precădere în cazul acviferului din Pietrișurile de Colentina prin conturarea ariilor de alimentare și descărcare, a impunerii de sarcini pe zonele în care între structura acviferă și apele de suprafață există interdependență sau în zonele în care sarcinile piezometrice sunt cunoscute cu valori sigure.

În cazul acviferului din Nisipurile de Mostiștea, condițiile de sarcină se impun după analiza hidrogeologică atentă, în așa fel încât procesul de curgere să nu fie modificat de alegerea subiectivă a acestor impunerii.

Condițiile de tip Neuman sunt impuse acolo unde se cunosc volumele de apă extrase prin lucrările de drenare.

La nivelul Municipiului București sunt o multitudine de lucrări de drenare sau de alimentare cu apă care au solicitat sau solicită hidrodinamic cele două hidrostructuri.

Referitor la ariile de alimentare, sistemele acvifere sunt încărcate prin infiltrațiile pe capete de strat și prin zonele nesaturate.

În cazul hidrostructurii de mică și medie adâncime, cele două acvifere sunt alimentate potrivit:

- a) transferului hidric lateral;
- b) precipitațiilor atmosferice;
- c) schimbului cu apele de suprafață;
- d) prin drenanță prin roci semipermeabile sau ferestre litologice sau prin drenanță indusă (foraje care deschid eronat acvifere diferite, izolări nereușite, accidente tehnice, etc.).

• Reîncărcarea prin infiltrare directă cu 5% din volumul de apă rezultat din precipitații reprezintă cca. 13.9×10^6 m³ /an sau un debit de ordinul a 448 l/sec.

Un rol important în alimentarea cu apă a acviferului din Pietrișurile de Colentina îl are schimbul de ape dintre acvifer și râurile Colentina și Dâmbovița.

Analiza acestui schimb de ape s-a realizat delimitând câte trei sectoare pe cele două râuri și calculând aporturile sau pierderile din sistemele hidrice de suprafață.

Transferul hidric vertical reprezintă o componentă importantă în procesul de încărcare sau de cedare a volumelor de apă din cele două structuri acvifere.

În zona Municipiului București se produc următoarele tipuri de schimuri de apă prin transfer vertical:

- între apele de suprafață (lacuri, râul Colentina) și acviferul din Pietrișurile de Colentina;
- între acviferele de mică și cele medie adâncime;
- între acviferul superior din Stratele de Coconi (Complexul Marnos) și hidrostructura de mică și medie adâncime (Neagu, D., 2017).