

REZUMAT TEZA DE DOCTORAT

**OPTIMIZAREA CARACTERIZĂRII HIDROGEOLOGICE A MEDIULUI
SUBTERAN ÎN VEDEREA REALIZĂRII EPUISMENTELOR PENTRU
LUCRĂRILE DE EXCAVAȚII ADÂNCI**



Doctorand:
Ing. Nicoleta Călin

Coordonator Științific:
Prof. univ. dr. ing. Ioan Bica

București, 2019

Preambul

Lucrarea de față constituie rezultatul cercetărilor realizate de autor în perioada 2012-2018, ca student în ciclul III de studii din cadrul Școlii Doctorale a Universității Tehnice de Construcții București.

Informațiile și datele care au stat la baza elaborării lucrării de față fac parte din baza de date a Universității Tehnice de Construcții București, Departamentul de Hidraulică și Protecția Mediului, respectiv din cadrul Centrului de Cercetare Ingineria Apelor Subterane (www.simpa.utcb.ro). Au fost folosite de asemenea date rezultate din activitatea profesională a doctorandei, din lucrările de investigare hidrogeologică, proiectare și monitorizare realizate în perioada stagiului de doctorat.

Obiectivul principal al lucrării de cercetare constă într-o evaluare a caracteristicilor mediului hidrogeologic care influențează soluțiile și parametrii de dimensionare a sistemelor de epuisme folosite în cazul fundațiilor adânci.

În urma realizării cercetărilor dedicate acestei teze de doctorat au rezultat câteva lucrări științifice, publicate în cadrul unor conferințe sau reviste științifice:

- Nicoleta Călin, Ioan Bica (2017) - "Pumping test for groundwater aquifers in urban area Bucharest case study" - 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference-SGEM, Vol. 17, Issue 12, pp. 669-678, ISBN 978-619-7105-99-5, Albena, Bulgaria;
- Nicoleta Călin, Ioan Bica (2017) - "Comparative analysis of solutions for execution deep excavations" - 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference-SGEM, Vol. 17, Issue 17, pp. 135-142, ISBN 978-619-7105-99-5, Albena, Bulgaria;
- Nicoleta Călin, Ioan Bica, Cristian Radu (2017) - "Dewatering system of a deep of excavation in urban area - Bucharest case study" - Urban Subsurface Planning and Management Week, Procedia Engineering, Vol. 209, pp. 210-215,

*
* *

La elaborarea prezentei lucrări au participat cu idei, sfaturi, informații, prelucrări de date mai multe persoane, cărora aș dori să le mulțumesc pe această cale.

Domnului profesor dr. ing. Ioan Bica, coordonatorul științific al acestei lucrări, doresc să îi mulțumesc pentru răbdarea și sprijinul acordat pe parcursul perioadei de cercetare.

Colegilor din cadrul Centrului de Cercetare Ingineria Apelor Subterane, și în mod special domnului Dr. Dragoș Găitănuș și doamnei Dr. Irina Șerpescu, le mulțumesc pentru colaborarea, timpul și încrederea acordată.

CUPRINS

Preambul.....	2
1. INTRODUCERE	5
2. CARACTERISTICI ALE MEDIULUI SUBTERAN	7
2.1. Mediul subteran	7
2.2. Porozitatea.....	9
2.3. Geometria sistemului acvifer.....	9
2.4. Sarcina hidrolică	10
2.5. Gradientul hidrolic.....	11
2.6. Conductivitatea hidrolică.....	11
2.7. Omogenitate și eterogenitate	12
2.8. Izotropie și anizotropie	12
2.9. Capilaritatea.....	13
3. ANALIZA CANTITATIVĂ ȘI CALITATIVĂ A METODELOR DE INVESTIGARE A MEDIULUI SUBTERAN	13
3.1. Metode directe	14
3.1.1. Forarea manuală	15
3.1.2. Forarea în sistem uscat	15
3.1.3. Forarea în sistem hidrolic	17
3.2. Metode indirecte	18
4. SOLUȚII PENTRU CONTROLUL APEI SUBTERANE ÎN VEDEREA REALIZĂRII EXCAVAȚIILOR ADÂNCI	22
4.1. Epuismențe.....	25
4.1.1. Epuismențe Directe din groapa de excavație	25
4.1.2. Epuismențe Indirecte	27
4.2. Dimensionarea epuismențelor	29
4.3. Probleme legate de execuția lucrărilor de epuiment	32
5. ANALIZĂ CRITICĂ PRIVIND DIMENSIONAREA SISTEMELOR DE EPUISMENT	33
5.1. Studiu de caz 1 – Tunel Aerodinamic	33
5.2. Studiu de caz 2 – Complex rezidențial 3S+P+M+14E+15E.....	41
5.3. Studiu de caz 3 – Imobil cu destinație comercială	44
5.4. Concluzii privind analiza critica a dimensionării sistemelor de epuiment: ...	47

6. STUDIU PARAMETRIC AL CURGERII APEI SUBTERANE – SITE-UL EXPERIMENTAL COLENTINA	49
6.1. Zona de studiu	50
6.2. Investigații de teren.....	53
6.3. Testări hidrodinamice	53
6.4. Prelucrarea și interpretarea datelor hidrogeologice	61
7. STUDIU PRIVIND IMPACTUL GRADULUI DE ANIZOTROPIE ÎN COMPORTAMENTUL HIDRAULIC AL ACVIFERULUI	67
7.1. Model hidrogeologic conceptual - functional	68
7.2. Modelul geologic 3D al zonei studiate	68
7.3. Parametrizare model conceptual	72
7.4. Calibrarea modelului	75
7.5. Scenarii de modelare	76
7.5.1. Variația gradului de anizotropie	76
7.5.2. Variația debitului	77
7.6. Rezultate modelare.....	77
8. CONCLUZII	87
8. 1. Sinteza continut.....	87
8. 2. Contributii personale	91
BIBLIOGRAFIE	92

1. INTRODUCERE

Un rol important în evoluția vieții pe planeta noastră, îl are apa. Nici o altă substanță nu poate fi comparată cu apa în ceea ce privește influența ei asupra transformărilor pe care le-a suferit planeta noastră de-a lungul timpului. Mai întâi apa este importantă prin faptul că reprezintă o resursă de mare utilitate pentru majoritatea activităților umane, dar în același timp este importantă și prin problemele pe care le ridică proiectelor ingineresti dedicate dezvoltării infrastructurii.

Realizarea unei construcții presupune rezolvarea unor probleme tehnice foarte complicate, deoarece ea trebuie să satisfacă o serie de condiții, dintre care cele mai importante sunt: funcționalitatea, stabilitatea și rezistența, durabilitatea și economicitatea. Respectarea ultimelor trei condiții este strâns legată de evaluarea rezistenței și a stabilității terenului de fundare, care este o problemă dificilă, având în vedere diversitatea mare a rocilor care se pot întâlni în alcătuirea terenului de fundare și acțiunea în timp a diferiților factori care pot produce schimbări ale acestor condiții.

Multitudinea soluțiilor care se impun la executarea lucrărilor de fundații în funcție de natura terenului, mărimea diferită a încărcărilor, modul de acționare a acestora etc, fac în general dificilă o tipizare a soluțiilor de fundare, contribuind prin aceasta la mărimea duratei de execuție a ciclului zero, la creșterea costului și la o productivitate redusă.

Cea mai dificilă problemă pe care o are de rezolvat inginerul constructor la executarea fundațiilor este cea legată de prezența apei (atât cea de suprafață cât și cea subterană).

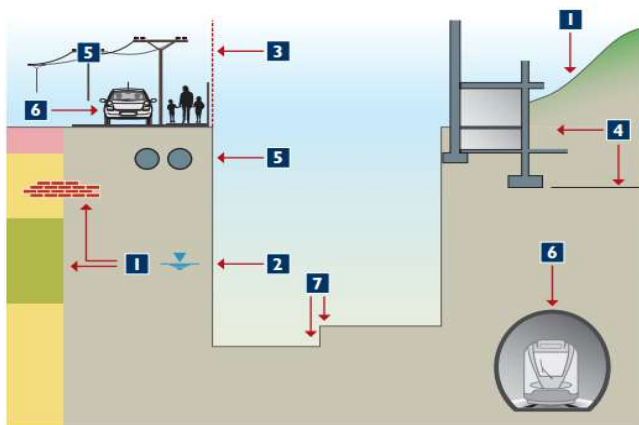
În prezent, tehnologia actuală oferă o gamă largă de metode pentru soluționarea acestor probleme însă utilizarea acestor metode trebuie făcută cu mare discernământ în funcție de condițiile specifice amplasamentului și lucrării.

Realizarea excavațiilor adânci în zonele urbane, pentru construcții multietajate și parcuri subterane, conduc la o serie de **probleme** legate de condițiile din teren, prezența apei subterane, clădiri învecinate, trafic, rețele de utilități, etc. (figura 1.1.a)

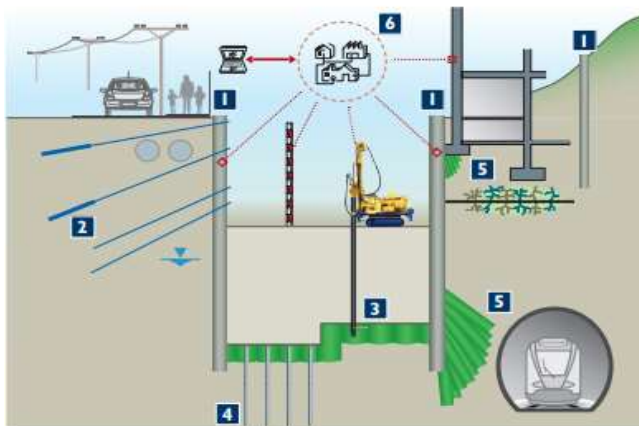
Există o multitudine de multe **soluții** pe care le putem aplica în vederea realizării excavațiilor adânci în prezența apei subterane pe amplasament. (figura 1.1.b).



Figura 1.1 (a) – Construcții multietajate – excavații adânci (SBR Soletanche Bachy Fundații)



1. Condiții de teren
2. Apa subterana
3. Limitări datorate vecinătăților
4. Clădiri existente
5. Rețea de utilități
6. Traficul
7. Variația cotei de excavaare.



1. Sisteme de sprijinire a excavațiilor adânci
2. Lucrări adiționale pentru structurile de sprijin
3. Radiere
4. Prevenirea apariției fenomenului de ridicare
5. Protecția construcțiilor existente

Figura 1.1 (b) – Construcții multietajate

Se poate observa în Figura 1.1. (a și b), care sunt marile probleme ce pot apărea în teren și de asemenea, o serie de factori de care trebuie să se țină cont la construirea unui sistem de epuizament. Principalele probleme care pot apărea sunt: condițiile dificile din teren, din punct de vedere litologic, în privința neomogenității structurilor geologice și hidrogeologice care poate atrage o variație a cotei de excavare, prezența apei subterane, care aduce dificultăți în procesul de excavare, clădirile învecinate, care pot „limita” alegerea unor soluții de epuizare a apei subterane, rețele de utilități, și uneori chiar și traficul în zona.

Chiar și cu probleme descrise mai sus, tehnologiile actuale, ne permit realizarea excavațiilor adânci în cele mai multe cazuri la adâncimea dorită, proiectată.

2. CARACTERISTICI ALE MEDIULUI SUBTERAN

Pentru analiza comportării unui fluid și descrierea mișcării acestuia într-un mediu poros este utilă definirea unor noțiuni care permit caracterizarea mediului subteran, pe de o parte, și înțelegerea dinamicii fluidului, pe de altă parte.

2.1. Mediul subteran

Mediul subteran este definit ca fiind un mediu complex, alcătuit din 3 faze: solid, apă și aer.

Mediul poros reprezintă un sistem neuniform și foarte complicat de canale de mărimi, geometrie și trasee variabile și arbitrare, care permit mișcarea fluidelor în interiorul lor. Această considerație duce imediat la concluzia că mișcarea apei subterane presupune de fapt existența a două medii: mediul solid (pământul) și mediul fluid (apa).

Din punct de vedere al stocării și curgerii apei în mediul subteran sunt importante următoarele formațiuni geologice: strat acvifer, acvitar, acviclud și acvifug.

O definiție sugestivă a formațiunilor hidrogeologice bazată pe relația acestora cu apa este propusă de D. Scrădeanu (2012), Tabelul 2.1.

Tabelul 2.1. Categoriile de medii hidrogeologice (Scrădeanu, 2002)

Denumire strat	Relația în raport cu apa		
	Stochează	Transferă	Cedează
Acvifug	-	-	-
Acviclud	+	-	-
Acvitar	+	+	-
Acvifer	+	+	+

Stratele acvifere se pot forma la diverse adâncimi în raport cu suprafața pământului.

Mediul subteran este constituit dintr-un mediu solid cu goluri sau fisuri; ca urmare este un mediu granular sau fisurat, în general fiind denumit mediu poros. Fracțiunea

dintr-un mediu poros neocupată de partea solidă este denumită spațiul porilor sau simplu pori. Acest spațiu conține aer sau apă în proporții variabile, spațial și temporal.

O analiză mai detaliată a structurării și definirii mediului subteran este prezentată în figura 2.1.

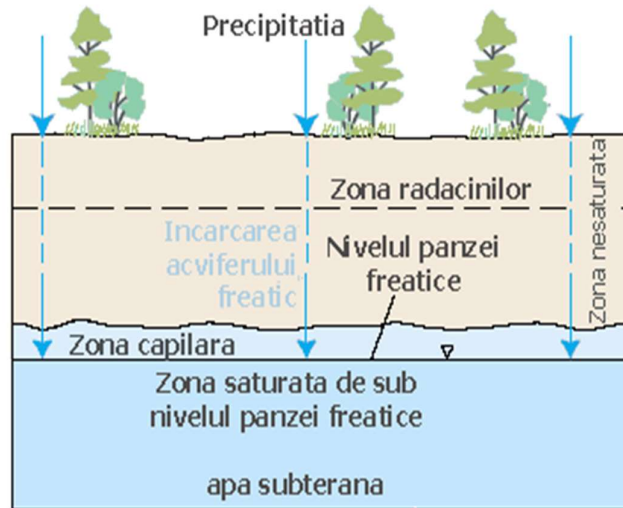


Figura 2.1. – Mediul subteran

Într-un mediu poros permeabil, apa se poate găsi în una din următoarele forme

- apă legată, sub formă de apă higroscopică și peliculară, reținută într-un strat foarte subțire în jurul particulelor solide prin forțe de adsorbție și de adeziune și care nu poate fi pusă în mișcare prin forțe gravitaționale
- apă capilară, reținută în porii mediului granular prin tensiune superficială
- apă gravitațională, umple golurile dintre particulele solide, constituind apa liberă, se supune legilor gravitației, constituie partea activă a apei subterane.

Mediul subteran se poate caracteriza prin următoarele proprietăți geometrice și hidraulice: (figura 2.2)



Figura 2.2. – Caracteristicile mediului subteran

2.2. Porozitatea

Este un parametru fundamental, important în studiul mișcării apei subterane, deoarece influențează într-o mare măsură caracteristicile de înmagazinare și drenare ale tuturor tipurilor de acvifere.

Porozitatea, n , este definită ca raportul între volumul porilor a unei probe de pământ, W_p , și volumul total, W_t , al probei respective:

$$n = W_p / W_t \quad (2.1)$$

Porozitatea este o mărime adimensională și se exprimă, de regulă procentual.

Porozitatea unui pământ este dependentă de o mulțime de factori (Dottridge ș.a 1993), printre care cei mai importanți sunt: compoziția granulometrică, modul de așezare a particulelor care alcătuiesc scheletul solid al pământului și respectiv structura internă a acestuia.

2.3. Geometria sistemului acvifer

Un acvifer este o formațiune geologică permeabilă care înmagazinează în golurile sale apa care circulă prin acestea și care este susceptibilă de a fi extrasă în cantități

În funcție de regimul hidraulic, acviferele pot fi cu nivel liber sau sub presiune. (Figura 2.3.)

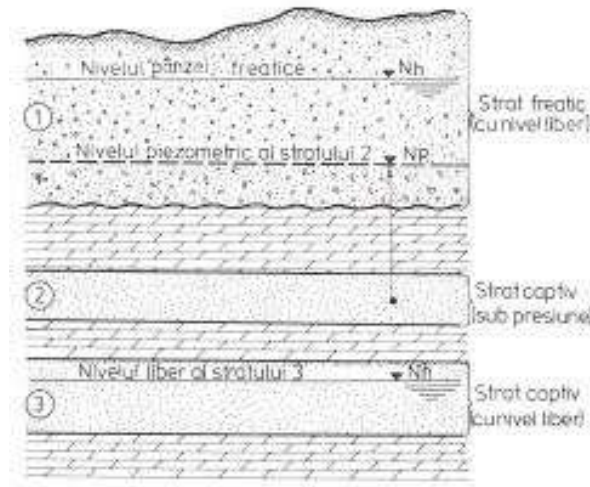


Figura 2.3. Acvifere: 1 – cu nivel liber; 2 – sub presiune

2.4. Sarcina hidrolică

În schema alăturată, Figura 2.4, îngăduie vizualizarea modului în care poate fi calculată energia totală, potențială și cinetică, a unui fluid care curge într-o conductă umplută cu nisip. Înălțimea la care urcă apa în acest tub este direct proporțională cu energia fluidului, astfel spus cu sarcina hidrolică a acestuia (Fetter, 1994).

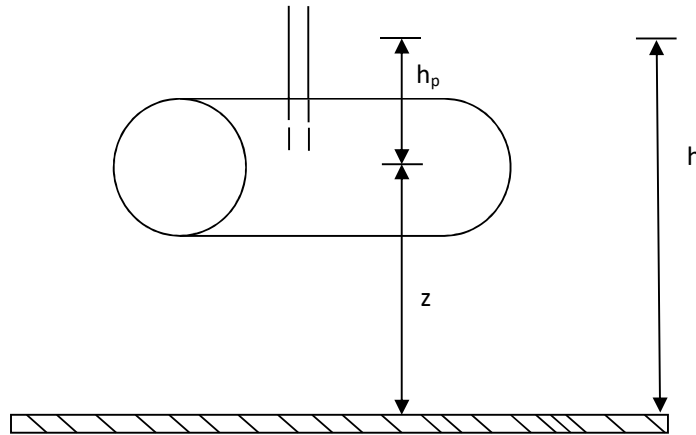


Figura 2.4. Schemă pentru determinarea sarcinii hidrolice

$$p = \rho * g * h_p \text{ sau } h = \frac{p}{\rho * g}, \text{ în care} \quad (2.2)$$

p este presiunea ($ML^{-1}T^{-2}$)

g – accelerația gravitațională (LT^{-2})

ρ - densitatea fluidului (ML^{-3})

h_p - înălțimea coloanei de lichid (L).

Sarcina hidrolică se poate calcula cu relația:

$$H = h = z + \frac{p}{\rho * g} \quad (2.3)$$

2.5. Gradientul hidrolic

Gradientul hidrolic reprezintă panta suprafeței libere a apei, în cazul acviferelor cu nivel liber sau panta nivelului piezometric în cazul acviferelor sub presiune.

Din punct de vedere fizic, reprezintă scăderea nivelului apei, raportată la unitatea de lungime a liniilor de curent.

Gradientul hidrolic reprezintă raportul între diferența de sarcină hidrolică între două puncte ale acviferului și distanța între aceste puncte.

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta x} = \frac{h_2 - h_1}{\Delta x} \quad (2.4)$$

Gradientul hidrolic este adimensional și se exprimă sub formă fracționară, zecimală sau sub formă procentuală.

Determinarea gradientului hidrolic, ca și a direcției de curgere, se poate face, cu destulă acuratețe, prin măsurarea nivelului apei în cel puțin trei puțuri de observație.

2.6. Conductivitatea hidrolică

Conductivitatea hidrolică k este o măsură a capacității unui mediu poros de a permite circulația fluidului. Este definită ca viteza cu care se deplasează apa la un gradient hidrolic unitar într-o secțiune unitară perpendiculară pe direcția de curgere. (dupa D.Scradeanu, anul??)

Conductivitatea hidrolică depinde de permeabilitatea intrinsecă a terenului (coeficientul de permeabilitate - K_p) și de caracteristicile fizice ale fluidului: greutate volumică (γ) și vâscozitate dinamică (μ).

$$K = K_p * \frac{\gamma}{\mu} [m / zi] \quad (2.5)$$

Se obișnuiește ca conductivitatea hidrolică a rocii să fie caracterizată prin coeficientul de permeabilitate Darcy, notat cu k și măsurat în m/zi sau cm/s.

Conductivitatea hidraulică pentru mediul saturat poate fi determinată pe probe în laborator sau pe modele pilot in situ, au fost deduse, de asemenea, o serie de relații empirice cu ajutorul cărora se poate estima, cu suficienta acuratețe, valoarea conductivității hidraulice funcție de caracteristicile formațiunii geologice.

2.7. Omogenitate și eterogenitate

Caracterizarea formațiunilor permeabile ca omogene/neomogene și izotrope/anizotrope este influențată determinant de scara la care este privit fenomenul

- la scara mică, majoritatea formațiunilor sunt neomogene și anizotrope
- de la o anumită scară, valorile medii ale caracteristicilor permit schematizarea mediilor permeabile ca omogene și izotrope.

Formațiunile geologice, prin modul în care s-au format, au valori diferite ale conductivității hidraulice pe două sau mai multe direcții, astfel, de regula, conductivitatea hidraulică este mai mare pe direcția orizontală, comparativ cu direcția verticală.

Stratele geologice pentru care coeficientul de permeabilitate, este independent de poziția punctului în cadrul formațiunii se numesc omogene, iar stratele pentru care acest coeficient este variabil se numesc eterogene.

Structura mediilor acvifere este foarte variabilă, existând probabil tot atâtea configurații ale eterogenității câte medii geologice. Eterogenitatea unui strat acvifer poate fi eterogenitate stratificată și eterogenitate direcțională.

2.8. Izotropie și anizotropie

Anizotropia este determinată de particularitățile structurale care de regulă, au caracter direcțional.

În cazul, în care conductivitatea hidraulică în jurul unui punct variază după direcția de curgere, stratul acvifer poartă numele de strat anizotrop. În cazul în care conductivitatea hidraulică este independentă de direcția de măsurare, respectiv are aceeași valoare indiferent de direcție, stratul acvifer se numește izotrop.

În plus, fata de neomogenitate, cunoașterea anizotropiei care influențează direcția de curgere a fluidelor, este importantă pentru soluția exactă în probleme de transport și de curgere în sisteme subterane. Raportul dintre valoarea maximă și minima a conductivității hidraulice este definit ca mărimea anizotropiei.

În general, formațiunile geologice, prin modul în care s-au format, au valori diferite ale conductivității hidraulice pe două sau mai multe direcții. Astfel, pentru stratele sedimentare, conductivitatea hidraulică este, de regula, mai mare pe direcție orizontală (k_x), comparativ cu direcția verticală (k_z).

2.9. Capilaritatea

Tensiunea superficială la care sunt supuse particulele fluide aflate la interfața apă subterană - aer, precum și forțele de atracție dintre lichid și faza solidă, reprezentată prin granulele care formează matricea pământului, determină creșterea nivelului apei subterane în raport cu suprafața liberă a acesteia. Acest fenomen este numit capilaritate.

$$\pi * d * \sigma * \cos \theta = \frac{\pi * d^2}{4} * h_c * \rho * g \quad (2.6)$$

și

$$h_c = \frac{4 * \sigma * \cos \theta}{\rho * g} * \frac{1}{d} \text{ sau } h_c * d = \frac{4 * \sigma * \cos \theta}{\rho * g} \quad (2.7)$$

Unde:

h_c – înălțimea capilară

σ - coeficientul de tensiune superficială al fluidului

θ - unghiul de contact al meniscului la peretele tubului (grade)

ρ - densitatea fluidului

g – accelerația gravitațională

d – diametrul tubului capilar.

3. ANALIZA CANTITATIVĂ ȘI CALITATIVĂ A METODELOR DE INVESTIGARE A MEDIULUI SUBTERAN

Ansamblul metodelor utilizate, specifice oricăror investigații în mediul geologic sunt adaptate la problematica urmărită, dar și la adâncimea la care se dorește să ajungă cunoașterea mediului geologic.

Este imperios necesar de precizat faptul ca nu există o metoda universală de foraj și întotdeauna trebuie aleasă cea adecvată în funcție de natura și adâncimea stratelor interceptate.

De-a lungul timpului, din practica inginerească, se poate observa că pentru traversarea formațiunilor acvifere există mai multe metode de investigare, dintre care

cea mai răspândită este cea a executării unor foraje, care traversează, în general, întreg acviferul ce urmează a fi captat.

Alegerea metodei de investigare are la bază o analiză asupra obiectivului urmărit și a condițiilor hidrogeologice specifice zonei în care se realizează lucrarea.

În cele ce urmează (figura 3.1) se prezintă o schematizare succintă a metodelor de investigare a mediului subteran, astfel:

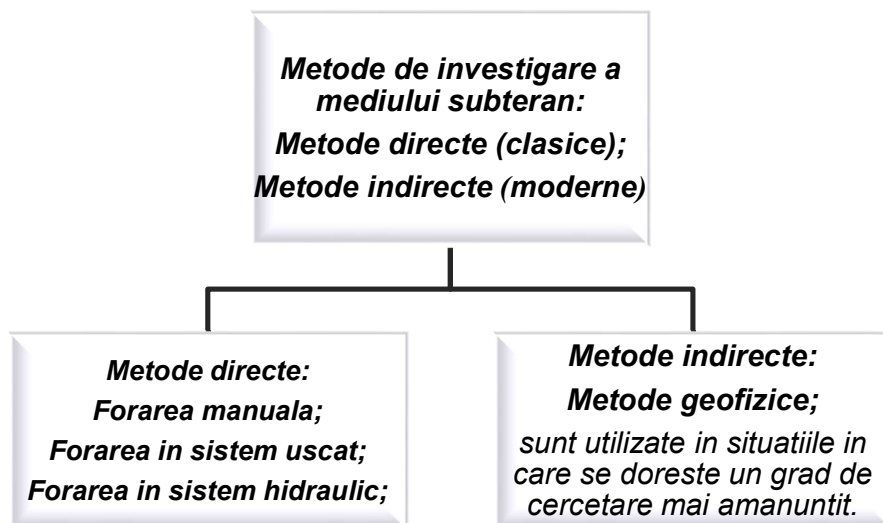


Figura 3.1 - Tipuri de forare utilizare în practica ingineriască
(Constantin Tudor, 1986)

3.1. Metode directe

Metodele directe de forare se caracterizează prin utilizarea unui echipament acționat manual sau semimecanizat alcătuit din tije metalice și o foreză montată în capătul primei tije care avansează în sol.

Prin foraj se înțelege o gaură verticală cu dimensiuni variabile, executată în scoarța terestră prin diverse sisteme, pentru diferite scopuri utilitare.

Utilajele și metodele de forare utilizate sunt uneori comune, dar de cele mai multe ori ele sunt specifice unui anumit gen de lucrare și anumitei categorii a rocii. Numai alegând corect utilajele în funcție de scopul urmărit și formațiunile geologice traversate prin foraj, se pot realiza randamente optime.

Metodele utilizate, specific oricăror investigații în mediul subteran sunt adaptate la problematica urmărită, dar și la adâncimea la care se dorește să ajungă cunoașterea acestuia. Investigarea se focalizează pe cunoașterea structurii geologice cercetate, identificând și urmărind toate elementele caracteristice necesare caracterizării calității naturale a mediului cercetat.

3.1.1. Forarea manuală

Forajele manuale se definesc ca fiind lucrări care se execută pentru extragerea/prelevarea probelor netulburate și tulburate necesare cunoașterii stratificației litologice precum și a nivelului de apariție a apei subterane. Ele se utilizează cu bune rezultate la prospectarea rocilor moi. Este foarte rentabilă la adâncimi mici.

Particularități:

- se realizează folosind diferite capete de foraj numite sape;
- viteza redusă de avansare în funcție de natura și adâncimea formațiunilor interceptate;
- adâncimea maximă investigată poate ajunge până la max. -20,0m;
- tubaj recuperabil acolo unde este cazul.

Aplicabilitate:

- în cazul pamanturilor coezive, cu consistență redusă, practic saturate.

Toate forajele manuale se realizează "în uscat" protecția găurii de foraj fiind realizată cu tubaj recuperabil, acolo unde este cazul.

3.1.2. Forarea în sistem uscat

Forajele în sistem uscat nu folosesc fluide de foraj pentru evacuarea detritusului. Roca sfărâmată se scoate la suprafață cu diferite scule. Pentru ca pereții forajului să nu se dărâme, este necesară, de obicei, tubarea cu burlane metalice denumite coloane de lucru.

Aplicabilitate:

- în cazul pamanturilor necoezive, sau cu coeziune redusă, cu gradul de plasticitate de la consistent la vârtos;

Executarea forajelor în sistem uscat presupune o tehnologie și echipamente adecvate, ceea ce face ca acest tip de foraj să se deosebească în multe privințe de forajul clasic realizat cu instalații de foraj mecanice echipate cu pompe de noroi.

Este foarte util și necesar ca forajele care se execută pentru realizarea studiilor geotehnice să se facă în sistem uscat, deoarece prezintă avantajul siguranței necolmatării straturilor acvifere; de asemenea fiecare strat întâlnit, oricât de slab, poate fi identificat imediat și uneori chiar probat, analizat prin probele de pământ care se prelevează din foraj.

Cazurile cele mai obișnuite în care se recurge la forajul în sistem uscat:

- **forajele geotehnice**

Forarea fără utilizarea fluidului de foraj este o condiție obligatorie în cazul realizării acestui tip de foraj, al cărui scop îl constituie recoltarea de probe de teren tulburate și/sau netulburate; acuratețea recoltării acestor probe (care ulterior se transportă în laboratoare specializate pentru determinarea unor proprietăți fizico-mecanice cum ar fi umiditatea, analiza granulometrică, permeabilitatea etc.) este esențială pentru specialiștii geotehnicieni.

- foraje geologice

În multe cazuri este necesar să se realizeze foraje geologice având drept scop identificarea de zăcăminte de minerale utile, când rocile ce urmează a fi traversate sunt consolidate și nu urmează a se intercepta formațiuni acvifere se poate utiliza sistemul de foraj uscat, utilizându-se instalații de foraj mecanic, iar ca fluid de foraj se folosește aer sub presiune, acest sistem fiind eficient numai în cazul forării în roci cu duritate scăzută și care nu conțin marne sau argile umede, care au tendința de lipire pe materialul tubular.

- forajele de drenaj

Realizarea acestor foraje este foarte asemănătoare (atât în privința cerințelor de calitate, cât și în privința modului de realizare) cu cea a forajelor hidrogeologice, diferența constând în scopul lucrării, ceea ce conduce și la specificul realizării acestor lucrări (diametre ale coloanei de definitivare, durata de funcționare, parametrii de funcționare etc.), în ceea ce privește scopul acestor lucrări putem aminti: crearea unor condiții normale de exploatare a unor zăcăminte de minerale sau de substanțe utile din subteran, prin scăderea presiunii apei din acvifer, realizarea unor incinte uscate în zona unei formațiuni acvifere de suprafață, în vederea asigurării condițiilor necesare realizării unor lucrări de construcții – montaj, în general fundații ale unor obiective industriale sau civile, captări ale unor ape de infiltrație în scopul îndepărtării lor sau utilizării pentru diferite cerințe.

La realizarea forării în sistem uscat, așa cum spune și denumirea metodei, nu se folosește fluid de foraj; astfel se crează condiții optime de recoltare a probelor de apă necesare determinării agresivității apei asupra betoanelor și metalelor; acest tip de determinări este impus de standardele în vigoare pentru elaborarea studiilor geotehnice.

Forarea în sistem uscat se realizează astfel: (Figura 3.2.)

- **rotativ**, acest procedeu se bazează pe rotația sculei învârtite de la suprafață cu ajutorul prăjinilor;
- **percutant**, este un sistem de foraj mecanic folosit în general în zonele care necesită traversarea unor formațiuni semitari sau tari. Forajul percutant se bazează pe sfărâmarea rocilor de către sapa care lovește talpa sondei,

detritusul rezultat este extras cu ajutorul unei linguri de curățat, care se introduce alternativ cu sapa.



Figura 3.2. Sisteme de forare în uscat

Forajele manuale se definesc ca fiind lucrari care se executa pentru extragerea/prelevarea probelor netulburate si tulburate necesare cunoasterii stratificatiei litologice precum si a nivelului de aparitie a apei subterane. Ele se utilizează cu bune rezultate la prospectarea rocilor moi. Este foarte rentabila la adancimi mici.

3.1.3. Forarea în sistem hidraulic

Forarea in sistem hidraulic cu utilizarea fluidului de foraj, are avantajul de a mari viteza de avansare, detritusul fiind evacuat continuu, și prin faptul că adâncimea de foraj nu mai este limitată de utilizarea coloanelor de lucru.

Un inconvenient al forajelor executate in sistem hidraulic este că, în anumite condiții, fluidul de foraj se colmatează puternic, stratele acvifere creează unele dificultăți mari la punerea în producție a sondelor. De asemenea, fluidul de foraj nu permite identificarea pe loc a stratelor acvifere întâlnite, aceasta putându-se realiza numai prin metode indirecte, pe baza analizei probelor litologice extrase și a cercetării diagramelor geofizice.

În cazul unei executări corecte, forajul hidraulic dă aceleași rezultate ca și forajul uscat, fapt care a dus la generalizarea folosirii lui.

Aplicabilitate:

- în cazul rocilor dure, puternic consolidate;

Dintre toate forajele care se execută, în general forajele hidrogeologice se realizează, în cele mai multe cazuri, folosind fluid de foraj. Aceasta datorită faptului ca cele mai multe dintre forajele hidrogeologice sau de alimentare cu apă au ca obiectiv exploatarea unor formațiuni acvifere, ale căror adâncimi nu permit aplicarea sistemului de foraj uscat, sau chiar în cazurile în care adâncimile sunt suficient de

mici încât să se poată săpa în uscat, criterii de ordin economic impun utilizarea forajului cu circulație. (Constantin Tudor, 1986)

În general, forajele de alimentare cu apă, care se executa în România au adâncimi ce nu depășesc 300 m 400 m.

Pentru a obține randamentele cele mai ridicate, în funcție de natura și adâncimea straturilor traversate, experiența a arătat că execuția forajelor (hidrogeologice, geotehnice etc) necesită utilizarea unei largi varietăți de scule și metode de foraj.

Metoda de investigare adoptată trebuie să asigure o durată cât mai scurtă de execuție și cheltuieli de foraj și punere în producție cât mai mici, care să conducă, în final, la un preț cât mai redus.



Figura 3.3. Sisteme de forare hidraulice

3.2. Metode indirecte

Cercetarea mediului subteran (geologic, hidrogeologic) cu ajutorul metodelor indirecte investighează zonele inaccesibile cu tehnologiile de foraj și miniere actuale. Prin foraje s-au investigat porțiuni din crustă până la o adâncime de cca. 15.000 m (foraj în pen. Kola), dar acestea sunt în număr foarte mic la scara Globului și, practic, sub 5000 m cunoașterea se realizează prin metode indirecte.

Utilizarea modelelor de cercetare geofizică în cercetarea mediului geologic cu aspecte de cunoaștere a stării fizico-chimice naturale sau antropice și a evaluării și prevenirii riscului conduce la obținerea de informații globale la gradul de detaliere dorit.

Metodele geofizice se bazează pe măsurarea valorilor câmpurilor naturale ale Pământului: gravific, magnetic, radioactiv, caloric, electric.

O contribuție destul de importantă la investigarea mediului geologic o are și utilizarea metodelor geofizice adaptate la specificul geologiei ingineresti, mai exact la problemele ingineriei construcțiilor.

*Optimizarea caracterizării hidrogeologice a mediului subteran în vederea realizării
epuizamentelor pentru lucrările de excavații adânci*

Aplicarea metodelor geofizice este uneori îngreunată de anumite particularități ale arealelor investigate precum obstacole, surse de zgomot geofizic, acces restricționat, modificări climatice. Astfel de dificultăți pot fi însă depășite prin alegerea dispozitivului optim de investigație și a tehnicilor de achiziție adecvate tipului de contrast al proprietăților fizice așteptat și adâncimii de investigație estimată.

Prin intermediul investigațiilor geofizice, calitatea mediului geologic, și implicit a apelor subterane poate fi, de asemenea, cunoscută și controlată.

O serie de caracteristici specifice fac ca aceste metode să fie mai avantajoase față de cele practice de investigare a mediului geologic (foraje, lucrări miniere, analize pe probe) atât în faza de cercetare regională, informativă, cât și de detaliu sau mare detaliu.

Metodele geofizice utilizate în scopul cercetării mediului subteran sunt: (Figura 3.9)

- metoda Georadar (GPR)
- metoda electrică
- metoda seismică

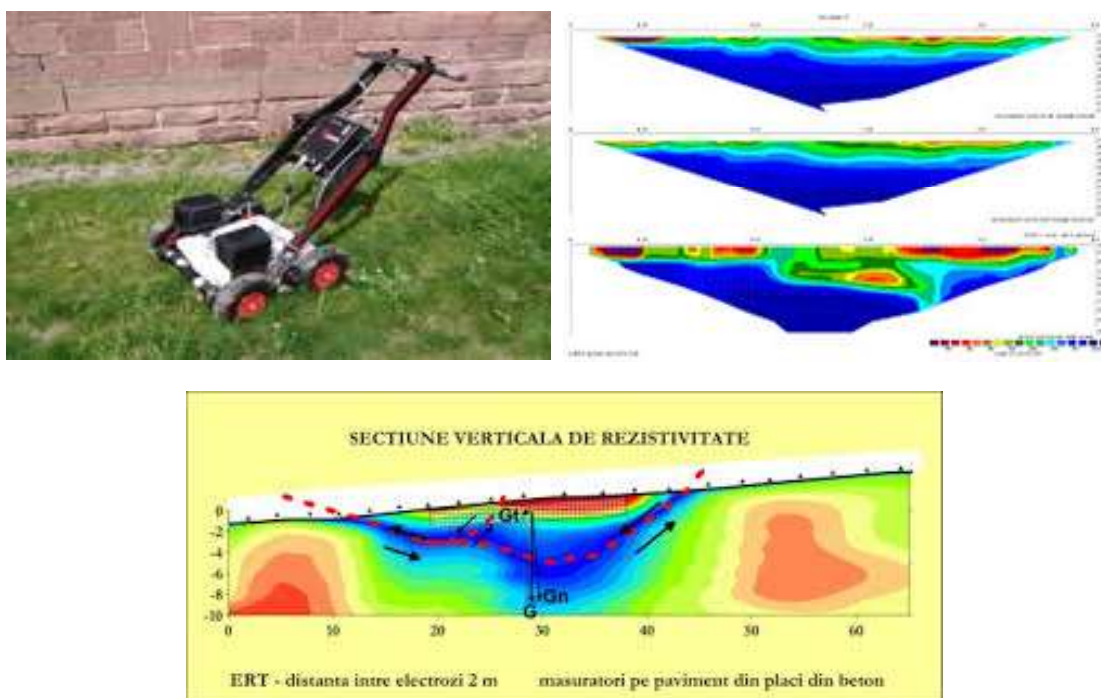


Figura 3.4. Metode geofizice

Particularitățile metodelor indirecte

- determinarea nivelului freatic, diferențierea formațiunilor geologice,
- posibilitatea aplicării acestor metode pe terenuri accidentate în care accesul cu utilaje mari nu este posibil.

Aplicabilitate

- aplicarea acestora este de cele mai multe ori alternativă, fiind utilizate ca o completare a metodelor directe, acolo unde acestea sunt ineficiente sau greu de aplicat;
- cele mai folosite metode geofizice pentru investigarea terenului de fundare sunt metoda seismică și metoda electrică;

Avantaje

- buna caracterizare a mediului subteran
- rapiditatea de realizare și procesare a măsurătorilor
- obținerea de profile 2D și 3D
- sunt metode neinvazive

Dezavantaje

- metode indirecte de investigare, datele obținute în etapa de măsurători nu pot fi utilizate “imediat”, ele necesită prelucrare și interpretare

Aceste metode se execută rapid cu aparatură portabilă de înaltă rezoluție; sunt repetabile; investigațiile sunt continue, acoperind suprafețe și volume mari de rocă, adâncimile de investigație variind de la metodă la metodă sau de la o tehnologie la alta, acoperă intervalul 0 – 200 m, interval de impact major al activităților umane; prețul de cost este redus în comparație cu alte tipuri de lucrări de investigație a mediului geologic.

Caracterul de repetabilitate rapidă și ușoară a măsurătorilor însoțit de reproductibilitatea foarte bună a acestora conferă ansamblului tehnicilor geofizice caracterul de instrument adecvat și potrivit pentru monitorizare spațio-temporară a subsolului și volumelor investigate.

Fiecare metodă geofizică are avantaje și limitări specifice. Utilizarea a doua sau mai multe metode geofizice în vederea realizării unei analize integrate a datelor reduce gradul de ambiguitate în interpretare.

În general, prin utilizarea metodelor de investigare a mediului subteran, fie ele directe sau indirecte, se dorește obținerea a cât mai multe informații legate de natura terenului, succesiunea litologică cât mai precisă, informații privind apariția nivelului de apă subterană adâncimea de apariție, nivelul stabilizat, strate acvifere interceptate, caracteristici hidrogeologice ale acviferului ce pot fi determinate cu ajutorul testelor hidro dinamice in situ.

O caracterizare geologică și hidrogeologică a mediului subteran prin utilizarea metodelor directe, implicit sistemele de forare, urmărește în mod special o descriere

Optimizarea caracterizării hidrogeologice a mediului subteran în vederea realizării epuimentelor pentru lucrările de excavații adânci

litologică a terenului cât mai precisă și detaliată, prin delimitarea din punct de vedere al adâncimii stratelor, dar și o descriere geologică reală a stratelor interceptate.

Mai jos, se prezintă o cuantificare a acestor parametri, funcție de metoda de investigare utilizată, scopul și rezultatele urmărite.

Estimarea calitativă și cantitativă, s-a efectuat funcție de gradului de certitudine, respectiv acuratețea informațiilor obținute pentru fiecare tip de investigare a mediului subteran, urmărindu-se îndeosebi o varietate largă a parametrilor determinați prin cercetarea directă, respectiv indirectă, care duc la o caracterizare hidrogeologică cât mai amănunțită și cât mai corectă.

Cuantificarea metodelor de investigare funcție de scop și rezultate urmărite:

	Investigații directe			Investigații indirecte	
Date necesare	Forare sistem uscat	Forare sistem hidraulic	GPR	Metoda seismică	Metoda electrică
Sucesiunea litologică	+++	++	+	+	+
Nivel apă subterană	+++	++	-	+	+
Strate acvifere	+++	+	-	-	-
Granulometrie	+++	+++	-	-	-
Teste hidrodinamice	+++	+++	-	-	-
Caracteristici hidrogeologice	++	+++	-	-	+
Legendă: - nu se aplică + satisfăcător ++ bun +++ Excelent					

Concluzii:

- o metodele de investigare a mediului subteran au ajuns la performanțe semnificative;
- o investigarea mediului subteran se realizează, în general, în conformitate cu gradul de detaliere al informațiilor urmărit;
- o tehnica și utilajul de foraj trebuie alese în funcție de condițiile locale (geologice și hidrogeologice) pentru a avea un randament optim și rezultate pertinente;

- prin utilizarea sistemului de foraj uscat sunt asigurate condiții pentru realizarea unor lucrări de calitate (delimitarea cu acuratețe a adâncimii la care se produce schimbarea de strat; posibilitatea de a recolta probe de teren din stratul acvifer permite efectuarea unor analize granulometrice de buna calitate, ceea ce asigură dimensionarea corectă a fantei filtrului și alegerea sortului filtrant; recoltarea probelor de apă în timpul săpării forajului; nu are loc fenomenul de colmatare a stratului acvifer etc);
- în privința metodelor geofizice, putem sublinia ca ele vin ca o completare, a caracterizării, acolo unde metodele clasice nu sunt suficiente, sau nu au o aplicabilitate eficientă.

4. SOLUȚII PENTRU CONTROLUL APEI SUBTERANE ÎN VEDEREA REALIZĂRII EXCAVAȚIILOR ADÂNCI

În prezent, în mediul urban excavațiile adânci sunt frecvent întâlnite, având în vedere lipsa de spațiu disponibil. În ceea ce privește realizarea excavațiilor adânci, acestea se execută mai adesea la adăpostul unei incinte executate cu ajutorul unor pereți de susținere îngropați care asigură protecția clădirilor învecinate și limitează intrarea apei subterane în incintă.

Rolul și importanța lucrărilor sub cota terenului natural decurg atât din funcția pe care o îndeplinesc în ansamblu construcțiilor, cât și din dificultatea proiectării și execuției acestor lucrări.

Într-adevăr, lucrările sub cota terenului natural, cu principala lor componentă fundația, trebuie să asigure conlucrarea perfectă a construcției cu terenul.

Metodologiile de lucru adoptate la realizarea excavațiilor în prezența apei subterane depind de o serie de factori printre care se menționează dimensiunile construcțiilor, adâncimea de fundare a acestora, natura terenului de fundare etc.

Apariția apei subterane pe amplasamentul excavației adânci reprezintă un factor care aduce numeroase surse de risc, de care trebuie să se țină seama la proiectarea și execuția lucrărilor.

Principala problemă pe care o are de rezolvat inginerul constructor la executarea fundațiilor este cea legată de prezența apei (atât de suprafață cât și cea subterană).

În prezent echipamentele tehnice și tehnologiile de lucru folosite în mod curent au atins mari performanțe, încât permit realizarea fundațiilor directe la adâncimi mari, în condiții geologice și hidrogeologice dintre cele mai dificile.

Alegerea tipului de excavație, îi revine proiectantului investiției respective. Acesta, de comun acord cu beneficiarul, stabilește tipul excavației, funcție de o serie de elemente care țin cont în principal de următoarele aspecte:

- prezența sau absența unor construcții în imediata vecinătate a obiectivului;
- regimul vibrațiilor, fie acelea transmise de echipamentele de lucru asupra obiectivelor din vecinătate, fie cele transmise de traficul din apropiere asupra incintei în lucru;
- natura terenului din amplasament (tipul de pământ) și prezența sau absența apei subterane;
- condiționarea impusă de unii factori tehnico-economici cum ar fi costurile generate de mișcări suplimentare de terasamente pentru săpături taluzate comparativ cu realizarea de săpături la taluzuri verticale sprijinite;
- perioada calendaristică în care se execută incinta excavată.

Tehnologia actuală oferă o gama largă de metode pentru soluționarea acestor probleme însă utilizarea acestora trebuie făcută cu discernământ în funcție de condițiile specifice amplasamentului și lucrării.

Criteriul de alegere a soluțiilor de evacuare a apei din săpături depinde în primul rând de valoarea coeficientului de permeabilitate „k”. (figura 4.1, Marchidanu, 2011)

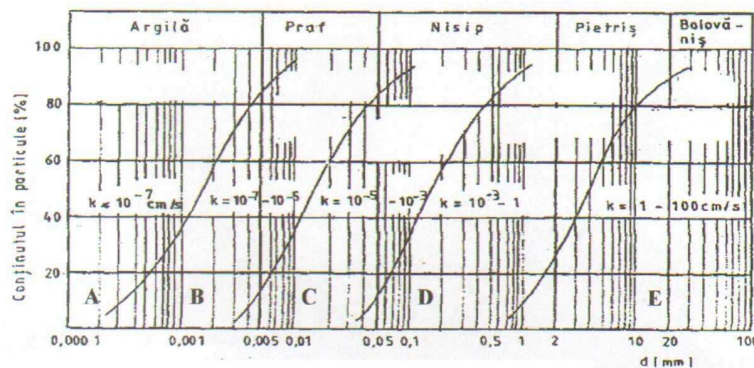


Figura 4.1. Grafic pentru alegerea tehnologiilor de coborare a nivelului apei subterane în funcție de granulozitatea și permeabilitatea pământurilor (Marchidanu, 2011).

- A. Drenaj impracticabil. Posibila evacuare prin pompare periodică a apei colectată în sapatură deschisă;
 - B. Filtre aciculare cu sau fără vacuum și electroosmoza;
 - C. Filtre aciculare;
 - D. Pompare din foraje echipate cu filtre;
 - E. Pomparea apei din foraje echipate cu filtre.
- executarea excavațiilor sub apă, cu dragline, graifere, instalații de dragare, etc;
 - evacuarea apei din incinte etanșe realizate din palplanse, piloni secant, pereți mulati, ecrane de injecție, etc;

- drenaj descendent prin foraje autodescargatoare, dacă există un strat inferior care să poată prelua debitul de scurgere gravitațională a apei din incintă.

Experiența vastă a multor lucrări a definit în mod general domeniul de aplicabilitate al diferitelor mijloace, după cum urmează:

- $k = 10^{-9}$ m/s evacuare cu mijloace manual (galeți, etc);
- $k = 10^{-9} \dots 10^{-7}$ m/s pompare intermitentă;
- $k = 10^{-7} \dots 10^{-4}$ m/s filtre aciculare vacuumate, drenare electroosmotică;
- $k = 10^{-4} \dots 10^{-1}$ m/s puțuri filtre;
- $k = 10^{-1} \dots 10$ m/s epuizamentul direct posibil pentru înălțimi de apă sub 3m;
- $k > 10$ m/s epuizarea apei nu este posibilă. (Marchidanu, 2011).

În cele ce urmează, se va prezenta clasificarea metodelor de depresionare a apei subterane:

Tip pamant	Diametrul mediu (mm)	K (m/sec)	Depresionarea aplicabila						
			4 m	8 m	12 m	16 m	20 m	24 m	28 m
Coarse gravel	60 ~ 20	> 1	▲				▲		
Medium gravel	20 ~ 6	> 1	▲					▲	
Fine gravel	6 ~ 2	$> 10^{-1}$	▲						▲
Coarse sand	2 ~ 0.5	$> 10^{-2}$	▲	▲					
Medium sand	0.5 ~ 0.2	$> 10^{-3}$	▲	▲	▲				
Fine sand	0.2 ~ 0.05	$> 10^{-4}$	▲	▲	▲	▲			
Coarse silt	0.05 ~ 0.02	$> 10^{-5}$	▲	▲	▲	▲	▲		
Medium silt	0.02 ~ 0.005	$> 10^{-6}$	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
Fine silt	0.005 ~ 0.002	$> 10^{-7}$	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
Clays	< 0.002	$< 10^{-7}$	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
Metoda de depresionare recomandata			A	B	C	D		E	F
			A. Gropi deschise B. Filtre aciculare C. Filtre aciculare vacuumate D. Electro-osmoza E. Puturi de adancime F. Puturi de adancime + pompe vacuumate						

Figura 4.2. Metode de depresionare

În figurile de mai sus, (Figura 4.1, 4.2) sunt prezentate metodele de depresionare a apei subterane, în funcție de granulozitatea și permeabilitatea corespunzătoare fiecărui tip de pamant.

4.1. Epuimente

În domeniul hidrogeologiei, lucrările care se execută în scopul captării și evacuării apei subterane din masivele de pământ sunt cunoscute sub diverse denumiri: epuiment, asecare, desecare, drenare. Scopul pentru care sunt executate aceste lucrări definește într-o oarecare măsură termenul folosit, fără însă a fi exclusiv sau limitativ.

Termenul de epuiment este utilizat în principal în domeniul construcțiilor civile și reprezintă un ansamblu de lucrări care se execută în amplasamentul construcțiilor cu fundare directă, sub nivelul pânzei freatice, pentru depresiunea nivelului apei astfel încât să se facă posibilă executarea în uscat a excavațiilor și a elementelor fundației. (după E. Marchidanu, 2011)

În vederea realizării unei lucrări de coborâre a nivelului apei subterane pentru o incintă sunt necesare următoarele informații:

- geologia zonei din care face parte amplasamentul construcției, apariția nivelului apei, tipul acviferului, parametrii hidrogeologici ai acestuia;
- date despre construcție;
- date privind construcțiile din zona adiacentă perimetrului destinat construcției ce urmează a fi executată.

În funcție de aceste caracteristici și informații cu privire la geologia și hidrogeologia amplasamentului cercetat, lucrările de epuiment se pot realiza sub diverse forme:

- rețele de foraje echipate cu filtre, pompe de aspirație sau pompe submersibile de diverse tipuri;
- filtre aciculare cu sau fără vacuum;
- electroosmoza;
- instalații de extragere și evacuare a apei prin sifonare;
- foraje autodescarcatoare cu descarcare descendentă sau ascendentă. (după Marchidanu, 2011)

În funcție de modul în care se face îndepărtarea apei de pe amplasament, epuimentul poate fi direct sau indirect. Epuimentul indirect este denumit și coborârea generală a nivelului apei subterane.

4.1.1. Epuimente directe din groapa de excavație

Condiții minime de aplicabilitate a epuimentelor directe:

- aflux de apă subterană mic;
- adâncime de excavare relativ mică;
- permeabilitate redusă;
- incinte neetanșe;
- pământuri slab coezive;

- nu există un strat permeabil sub presiune, sub fundul săpăturii.

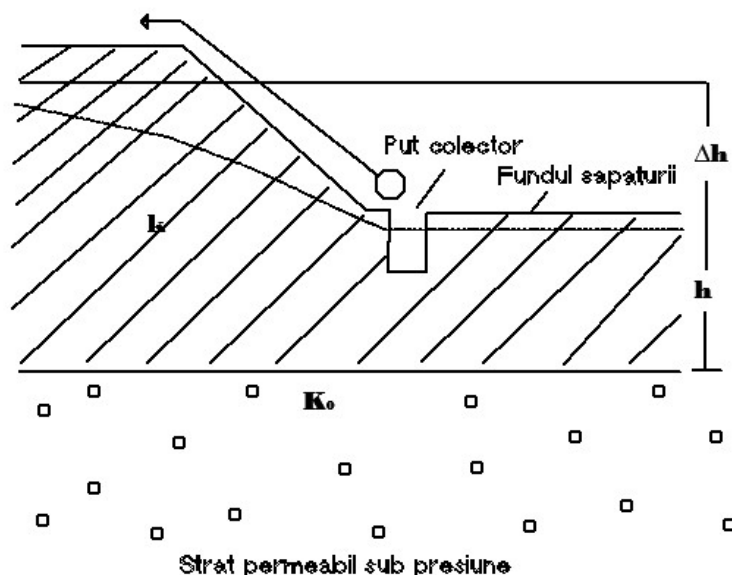


Figura 4.3. Epuiment direct

Ca și aplicabilitate, epuimentele directe se realizează pentru excavații în care afluxul de apă este mic, ca urmare a permeabilității reduse a terenului de fundare.

Pentru a putea fi aplicată metoda epuimentului direct, este necesar ca prin denivelarea creată în timpul evacuării apei din excavație să nu se creeze gradienti de curgere mai mari decât gradienti critici la care pământurile încep să fie antrenate hidrodinamic.

Metoda de îndepărtare a apei prin intermediul epuimentului direct constă în evacuarea apei care se acumulează pe fundul gropii de fundație. Accesul apei poate avea loc atât prin pereți cât și prin suprafața fundului, la săpături nesprizinite sau la săpături cu sprijiniri simple, neetanșe. În cazul sprijinirilor etanșe cu palplanșe apa pătrunde prin fundul gropii. (după Marchidanu, 2011).

Ca orice metodă, epuimentul direct prezintă un mare dezavantaj și anume antrenarea hidrodinamică sau sufozia. Acest fenomen se produce când forța curentului devine egală și de semn contrar cu greutatea pământului. În cazul săpăturii cu palplanșe (Figura 4.6), sufozia se manifestă prin ridicarea fundului săpăturii, puternica afânare a pământului și aducerea acestuia în stare de plutire.

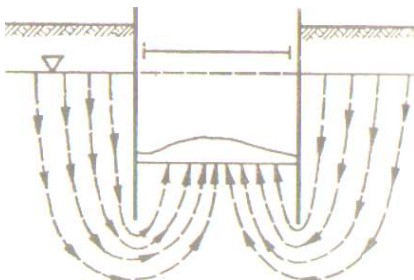


Figura 4.4. - Ridicarea fundului săpăturii prin antrenarea hidrodinamică (Iacint Manoliu, 1977)

În aceste condiții, continuarea pomparei apei nu mai are sens. Pentru a se putea ajunge la cota dată în proiect și a se executa fundația se poate alege una din următoarele soluții:

- se întrerupe pomparea până la umplerea gropii cu apă și apoi săparea pământului sub apă și betonarea sub apă;
- completarea lungimii fișei palplanșei pentru asigurarea unui coeficient de siguranță față de sufozie;
- adoptarea metodei epuismențului indirect.

Din punct de vedere al pământului interceptat, atât argilele, datorită coeziunii ridicate și permeabilității foarte reduse, cât și nisipurile mari sau pietrișurile, datorită dimensiunilor mari ale golurilor și ale particulelor, sunt puțin susceptibile de a ajunge în stare de plutire sub acțiunea hidrodinamică.

4.1.2. Epuismențe indirecte

Condiții minime de aplicabilitate a epuismențelor indirecte:

- condiții hidrogeologice complicate;
- aflux mare de apă;
- permeabilitate ridicată;
- adâncime de excavare mare;
- denivelari mari.

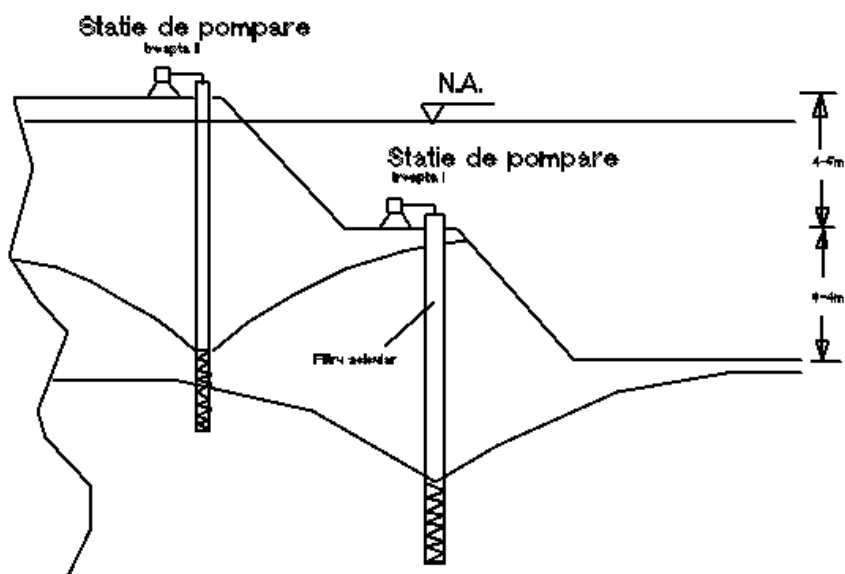


Figura 4.5. Epuisment indirect

Aceasta categorie de lucrări are rolul de a evacua apele subterane la lucrările de construcții hidrotehnice, prin foraje și pompare ale apei, denivelând nivelul apei din stratul freatic pe suprafețe mari și menținerea lui la un nivel scăzut permițând astfel executarea construcțiilor la adâncimi mari în perimetrele cu potențial acvifer ridicat.

Ele se pot realiza prin mai multe metode specifice, în funcție de condițiile existente ale terenului și ale apei subterane, de adâncimea de excavare și amploarea coborării nivelului piezometric .

Epuismentele indirecte se pot executa astfel:

- ❖ cu ajutorul puțurilor filtrante (foraje de epuismenț);
- ❖ cu filtre aciculare.

Ambele metode mai sus menționate, se amplasează în afara conturului excavației, pe unul sau mai multe rânduri funcție de caracteristicile hidrogeologice și de denivelarea ce trebuie realizată, având rolul de a asigura lucrul în uscat și pot fi aplicate în condiții hidrogeologice mai complicate și pentru depresionări mai mari, având avantajul de a îndepărta pericolul de nestabilitate a fundului săpăturii; în cazul stratificației neomogene eficiența maximă se obține prin introducerea filtrelor în stratele cu permeabilitate mai mare.

Procedeele de epuismenț indirect, menționate anterior nu sunt restrictive. Se pot folosi și alte sisteme, în funcție de posibilitățile executantului și de eficiența lor tehnico-economică, avându-se în vedere studiile hidrogeologice sau recomandările din literatura de specialitate.

Pe baza celor descrise mai sus, se pot sintetiza următorii factori ce stau la baza condiționării unui sistem de epuiment, și anume:

- Condițiile de teren/suprafață teren (localizare amplasament);
- Adâncimea de excavare finală;
- Tipul de fundație adoptat pentru construcția respectivă;
- Prezența sau absența unor construcții în imediata vecinătate a obiectivului;
- Tipul incintei – cuvă etanșă (incintă de perete mulat, palplanșe, piloți secanți, cand debitele sunt mari) și incintă neetanșă (săpături deschise);
- Regimul vibrațiilor, fie cele transmise de echipamentele de lucru asupra obiectivelor din vecinătate, fie cele transmise de traficul din apropiere asupra incintei în lucru;
- Condiționarea unor factori tehnico-economici cum ar fi costurile generate de mișcări suplimentare de terasamente pentru săpături taluzate comparativ cu realizarea de săpături la taluzuri verticale sprijinite;
- Perioada calendaristică în care se execută incinta excavată;
- Modul de execuție și de exploatare a lucrărilor de depresionare: puțuri, filtre aciculare, depresionare direct din excavație;
- Volumul de apă necesar a fi evacuat.

Alegerea tipului de săpături se face funcție de importanța individuală și/sau interacțiunea combinată a elementelor precizate anterior.

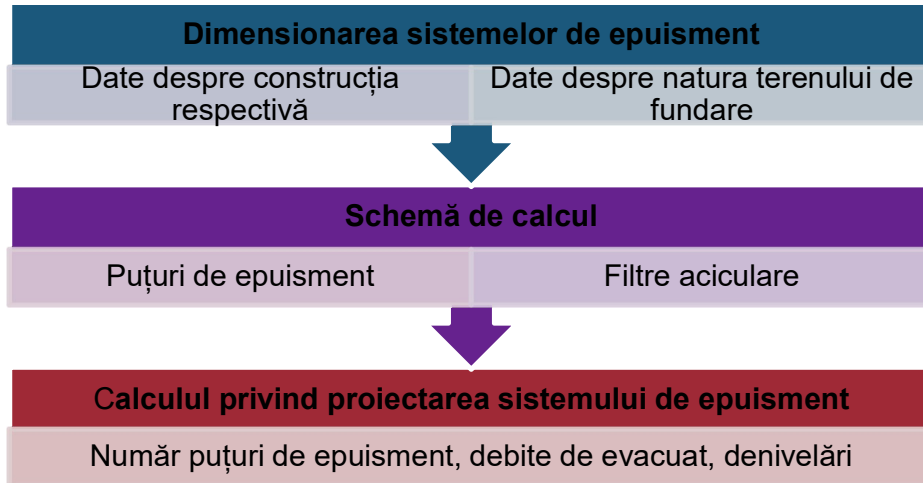
Un element important în alegerea soluției de realizare a incintelor excavate îl reprezintă natura terenului și prezența sau nu în amplasament a apei subterane pe parcursul lucrărilor. Astfel, în terenuri nisipoase uscate, excavațiile taluzate nu permit pante mai mici de 30° , iar în condițiile unui regim de vibrații, pantele trebuie să crească până la un factor de siguranță $F_s > 1,2$, sau taluzurile să fie sprijinite.

4.2. Dimensionarea epuismențelor

La dimensionarea unui sistem de epuiment în vederea depresionării stratului acvifer, este necesar să se dispună de un volum suficient de date privind parametrii hidrogeologici (conductivitatea hidraulică, debitul, grosimile și modul de repartizare a formațiunilor geologice analizate, nivelul apei etc).

Proiectarea sistemelor de epuimente se bazează pe condițiile geologice, geotehnice și hidrogeologice locale, caracteristicile tehnice ale facilităților subterane pentru care proiectul a fost elaborat, infrastructura subterană și de suprafață localizată în zona adiacentă a santierului.

La proiectarea sistemelor de epuimente se urmărește următoarele caracteristici:



- **Date despre construcție**

Pentru a structura un sistem de epuiment este necesar a se cunoaște tema de proiectare cu fundamentarea necesității și oportunității investiției respective. Amplasamentul pe care se va realiza construcția și importanța acesteia, precum și sistemul de fundare adoptat.

- **Date despre natura terenului de fundare**

Pentru stabilirea soluției de epuiment, este imperios necesar să se cunoască condițiile hidrogeologice ale amplasamentului, stratele acvifere interceptate, evaluarea parametrilor hidrogeologici ai acviferelor, nivelul de apariție al apei subterane etc.

Pentru evaluarea parametrilor hidrogeologici ai acviferului (k , a) și a parametrilor hidraulici ai puturilor (Δs , R) se realizează pomări experimentale.

- **Schema de calcul**

Este necesar ca sistemul de epuiment să asigure evacuarea volumului de apă cantonat în porii stratului acvifer.

Pentru fundarea oricărei construcții la adâncimea prevăzută în proiect, este necesară coborârea nivelului apei subterane sub cota de fundare.

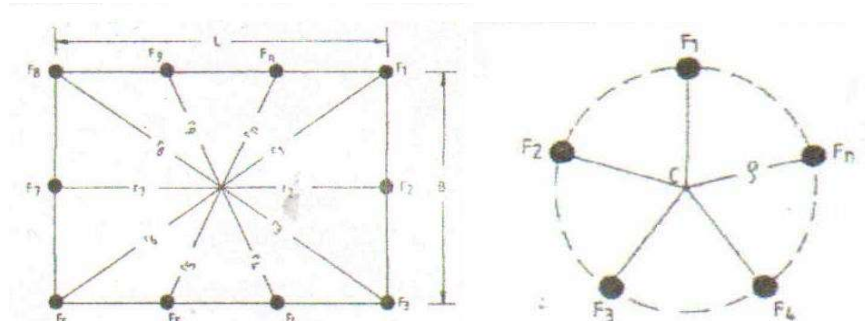


Figura 4.10. - Schema de dispunere a forajelor de epuismenț (Marchidanu, 2011)

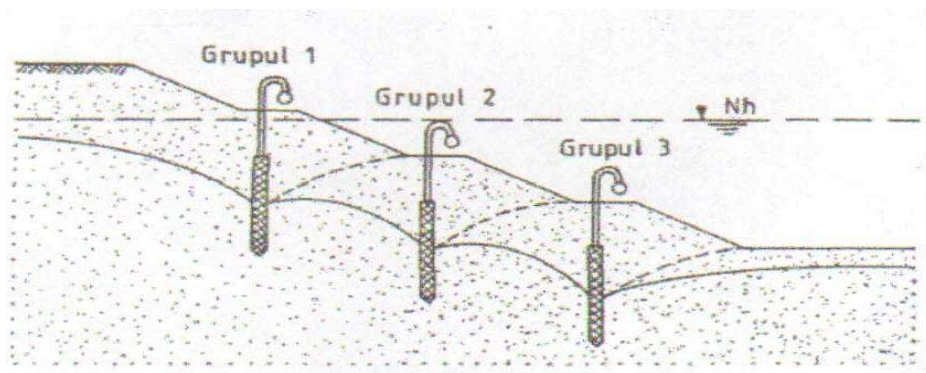


Figura 4.11. - Schema de amplasare a filtrelor aciculare dispuse în trepte (Marchidanu, 2011)

▪ **Calculul privind proiectarea sistemului de epuismenț**

Pentru calcul sistemului de epuismenț se vor utiliza parametri hidrogeologici obținuți în urma testelor de pompare.

Calcululele hidrogeologice se efectuează în ipoteza în care forajele de pompare lucrează simultan și intra în interferență.

Prima condiție este denivelarea impusă în centrul grupului de foraje.

Astfel parametri necesari calculului epuismențului pentru o denivelare impusă sunt:

- grosimea stratului acvifer – $[M]$;
- conductivitatea hidraulică a stratului acvifer – $[k]$;
- înălțimea coloanei de apă măsurată de la baza stratului acvifer $[H]$;
- denivelarea în centrul grupului de pompare $[s]$;
- raza forajului de pompare $[r]$;
- înălțimea coloanei de apă, în orice punct din incintă, în timpul depresionării $[h=H-s]$;
- distanțele de la fiecare foraj de pompare la punctele în care s-au verificat denivelările.

Pentru forajele care lucrează în interferență suprafața depresionată a acviferului, corespunzătoare grupului de foraje, va căpăta o formă mai complicată.

Cunoașterea ecuațiilor care definesc această suprafață este foarte importantă pentru proiectarea sistemelor de coborâre a nivelului apei subterane pentru executarea fundațiilor construcțiilor. (după Marchidau, 2011).

4.3. Probleme legate de execuția lucrărilor de epuiment

Principalele probleme puse de lucrările de epuimente și drenaj se referă la debitele de epuizat și evacuat, precum și la riscurile legate de efectele mecanice cum ar fi antrenarea hidrodinamică a particulelor fine, ruperea hidrolică a bazei excavației, tasări, reducerea rezistenței pasive înregistrate pe fișa lucrărilor de susținere îngropate.

- ✓ debite mari de epuizat și evacuat;
- ✓ riscuri legate de efecte mecanice - antrenarea hidrodinamică a particulelor fine;
- ✓ ruperea hidrolică a bazei excavației;
- ✓ tasări ale terenului;
- ✓ reducerea rezistenței pasive;
- ✓ impact asupra structurilor din zona de influență a excavației;
- ✓ probleme de subsidență;
- ✓ interacțiunea dintre apă subterană și lucrările subterane;

Toate aceste probleme pot apărea și pentru o proiectare și execuție corectă a unui sistem de epuiment - însă în cazul terenurilor consolidate slabe, sunt inevitabile, de multe ori aceste riscuri

Lucrările de epuiment pot provoca tasări în mai multe moduri:

- ❖ prin pompări din excavații deschise provocând sufozie și eroziune internă, pierderi de material din taluze;
- ❖ prin antrenarea de particule fine din teren spre puțurile sau filtrele aciculare folosite pentru coborârea nivelului apei subterane.

Totodată aceste fenomene pot duce la tasări ale terenului de sub clădirile adiacente.

Concluzii:

- orice sistem de evacuare a apei din pământ sau pentru micșorarea presiunii apei trebuie să se bazeze pe rezultatele unei investigații geotehnice și hidrogeologice;
- apa poate fi îndepărtată din teren prin pompare directă din foraje sau prin drenaj gravitațional. Sistemul adoptat depinde de condițiile existente ale terenului și ale apei subterane, de adâncimea de excavare și amploarea coborârii nivelului apei;

Este indicat ca sistemul de epuiment sa țină seama de următoarele elemente, atunci când este cazul:

- în cazul excavațiilor, fețele excavației să rămână tot timpul stabile sub efectul coborării apei subterane; de asemenea, să nu se producă umflarea excesivă sau ruperea bazei, ca de exemplu din cauza unei presiuni excesive a apei sub un strat mai puțin permeabil;
- să nu producă tasări excesive sau deteriorări construcțiilor învecinate;
- sistemul adoptat să evite pierderi excesive ale terenului prin curgerea apei prin pereți sau prin baza excavației;
- în cazul forajelor trebuie să se asigure un filtru eficient pentru a se evita transportul de pamant odată cu apa pompată;
- sistemul de epuiment să fie proiectat, dispus și instalat astfel încât să mențină nivelurile apei și presiunile în pori prevăzute în proiect fără fluctuații semnificative;
- să existe o rezervă corespunzătoare a capacității de pompare și o instalație de rezervă disponibilă în cazul unei avarii.
- eficacitatea epuimentelor trebuie să fie verificată prin urmărirea nivelului apei subterane, a presiunii apei în pori și a mișcării terenului, după caz. Datele obținute trebuie în mod frecvent examinate și interpretate pentru a determina efectele epuimentului asupra stării terenului și asupra comportării construcțiilor învecinate.

5. ANALIZĂ CRITICĂ PRIVIND DIMENSIONAREA SISTEMELOR DE EPUISMENT

Dimensionarea unui sistem de epuiment, diferă de la un caz la altul, prin prisma faptului că fiecare amplasament, fiecare excavație este caracterizată de condiții geologice diferite, de aria suprafeței diferite, parametri hidrogeologici diferiți, localizare a amplasamentului etc.

Plecând de la această ipoteză, în cele ce urmează sunt analizate câteva studii de caz, privind dimensionarea sistemului de epuiment, funcție de gradul detaliat de cunoaștere a factorilor ce țin de proiectare, de modul de exploatare și monitorizare.

5.1. Studiu de caz 1 – Tunel Aerodinamic

❖ Descriere generală a amplasamentului

Amplasamentul viitoarei construcții, are o suprafață de 3267m², cu formă poligonală, situat în județul Ilfov (Figura 5.1).

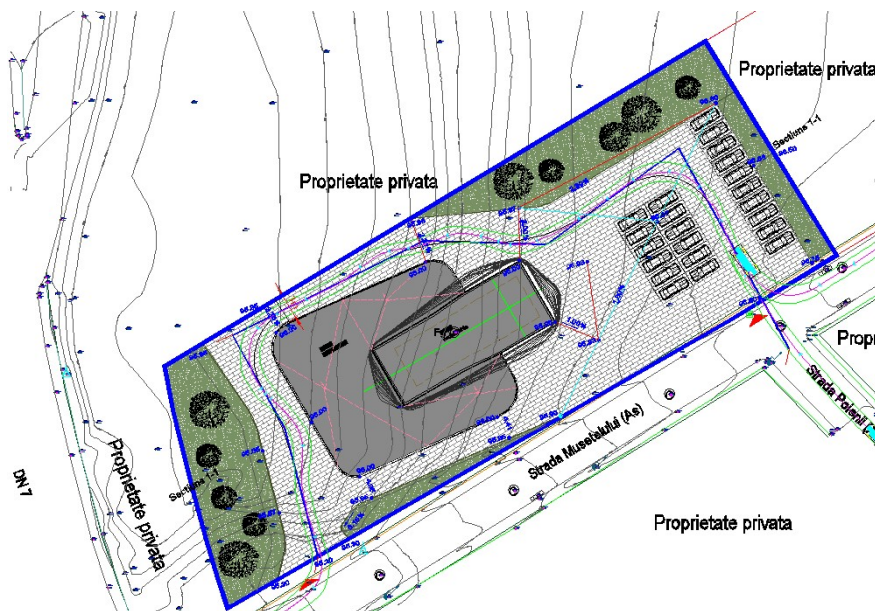


Figura 5.1. - Plan de situație

În vederea realizării lucrărilor de structură a tunelului aerodinamic, este necesară execuția unei incinte etanșe de sprijin a excavației. Investigarea geologica si hidrogeologica a amplasamentului este necesara pentru construirea unui tunel aerodinamic.

❖ Conditii geotehnice și hidrogeologice ale amplasamentului

Studiul geotehnic este bazat pe realizarea a două foraje geotehnice F1, F2, având lungimea de 25m.

Stratificația medie de calcul evidențiată de cele două foraje relevă o alternanță uniformă a stratelor, după cum urmează:

Interval adâncimi (m)	Descriere litologică
0.00m ... -0.65m	Pământ vegetal;
-0.65m ... -2.95m	Nisip prăfos, galbui-cafeniu cu concrețiuni calcaroase;
-2.95m ... -3.45m	Nisip argilos, galbui- cafeniu cu concrețiuni calcaroase;
-3.45m ... -13.05m	Pietriș cu nisip mare, galbui-cafeniu, mediu îndesat;
-13.05m ... -14.00m	Praf argilos, galbui-cafeniu cu intercalații ruginii și cenușii, plastic vartos;
-14.00m ... -15.85m	Nisip mediu cu pietriș, galbui-cenușiu;
-15.85m ... -17.20m	Argila prăfoasă, galbui-cafenie cu intercalații cenușiu-verzui și fragmente de concrețiuni calcaroase, plastic vâtoasă;
-17.20m ... -18.35m	Argilă galbui-cafenie cu intercalații cenușii verzui, cu fragmente de concrețiuni calcaroase;
-18.35m ... -19.20m	Praf argilos, galbui-cafenie cu intercalații cenușiu-verzui, fragmente de concrețiuni calcaroase, plastic vâtos;

-19.20m ... -23.15m	Argilă prăfoasă galbui-cafenie cu intercalații cenușii verzui, fragmente de concrețiuni calcaroase;
-23.15m ... -23.85m	Argilă prăfoasă galbui-cafenie cu intercalații cenușii verzui și fragmente concrețiuni calcaroase;
-23.85m ... -25.40m	Praf nisipos argilos, cafeniu cenușiu cu intercalații cenușiu-verzui și ruginii, fragmente de concrețiuni calcaroase, plastic vartos;

Stratificația detaliată în studiul geotehnic, întâlnită la executarea forajelor de epuiment precum și la executarea panourilor de perete mulat, se confirmă. Totodată, sub cota inferioară a forajelor geotehnice prezentate în studiul geotehnic, stratificația întâlnită se prezintă după cum urmează:

Interval adâncimi (m)	Descriere litologică
-25.40m ... -31.00m	Nisip grosier cu intercalații de nisip argilos;
-31.00m ... -35.00m	Argilă tare, cenușie.

Din cauza adâncimii de excavare (aproximativ 18.40m raportat la cota terenului natural) și a pătrunderii sub nivelul hidrostatic, precum și din cauza execuției lucrărilor de structură sub cota terenului, este necesară realizarea lucrărilor de excavație și de execuție a structurii în uscat.

Se diferențiază două secțiuni caracteristice, unde pereții de incintă vor avea dimensiuni variabile, în funcție de secțiunea de sprijinire.

Secțiunea 1: perete mulat cvasi-circular, având grosimea teoretică de 60cm, cota inferioară a panourilor -23.0m;

Secțiunea 2: perete mulat, având grosimea de 80cm, cota inferioară a panourilor -26.0m;

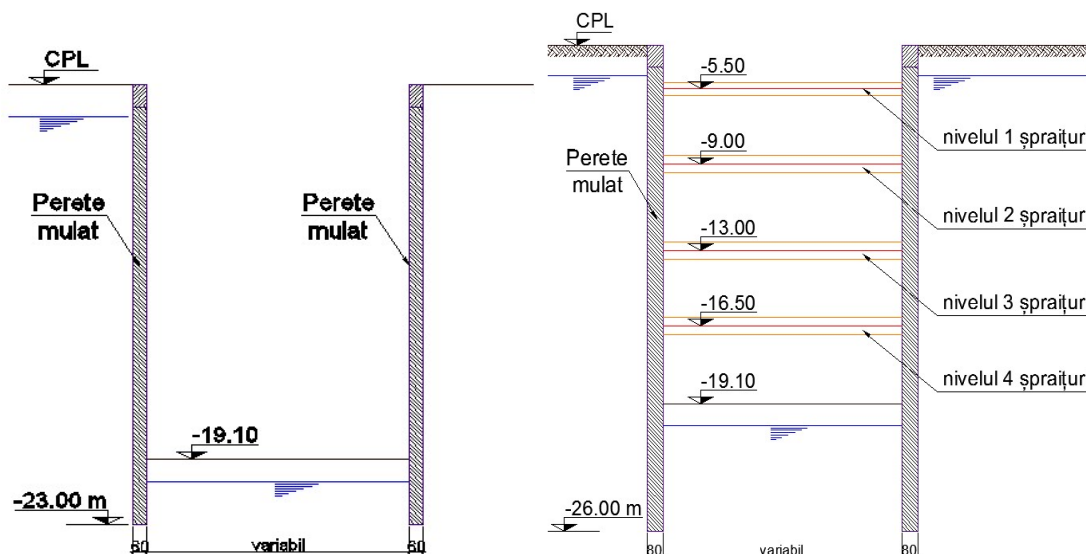


Figura 5.2. Secțiunea 1 – perete
autoportant, cvasi-circular

Figura 5.3. Secțiunea 2 – dispunerea
orizonturilor de spraituri metalice

❖ Dimensionarea sistemului de epuiment

În prima etapă au fost dimensionate 3 puțuri de epuiment care au fost amplasate în interiorul incintei, astfel:

DW1 – pentru acviferul 2

DW2 – pentru acviferul 1

DW3 - pus în funcțiune când excavația a ajuns la -17,0m

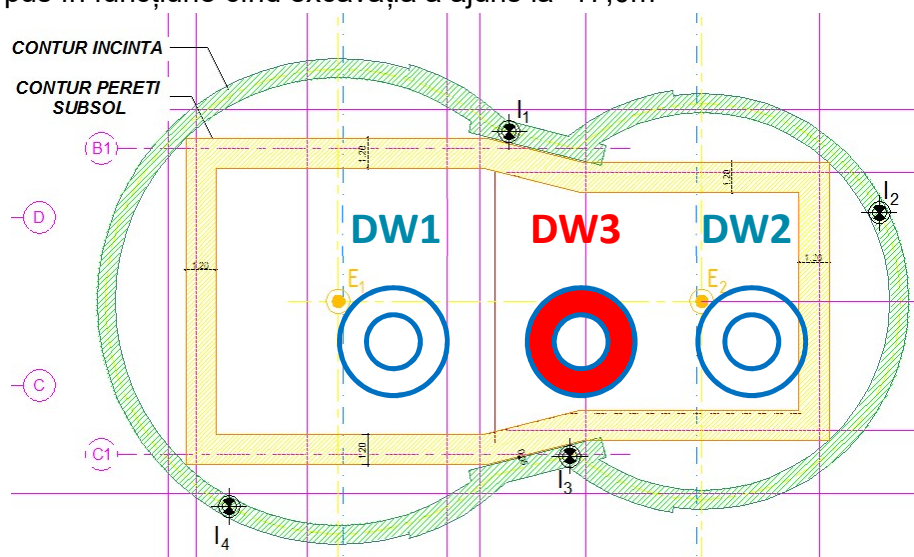


Figura 5.4. Plan pozitionare puțuri de epusiment

La momentul punerii în funcțiune a celor 3 puțuri și execuția în paralel a lucrărilor de excavație, au avut loc un incident, de rupere a vatrei săpăturii care a dus la inundarea incintei.

Optimizarea caracterizării hidrogeologice a mediului subteran în vederea realizării epuimentelor pentru lucrările de excavații adânci



În această situație, a fost necesară o “corectare” a sistemului de epuiment, prin mărirea numărului de puțuri și amplasarea corectă a acestora.

În cea de-a doua etapă au fost dimensionate încă 4 puțuri de epuiment pentru cel de-al doilea acvifer, precum și 2 piezometre pentru primul acvifer pentru a se verifica dacă cele două acvifere comunică între ele.

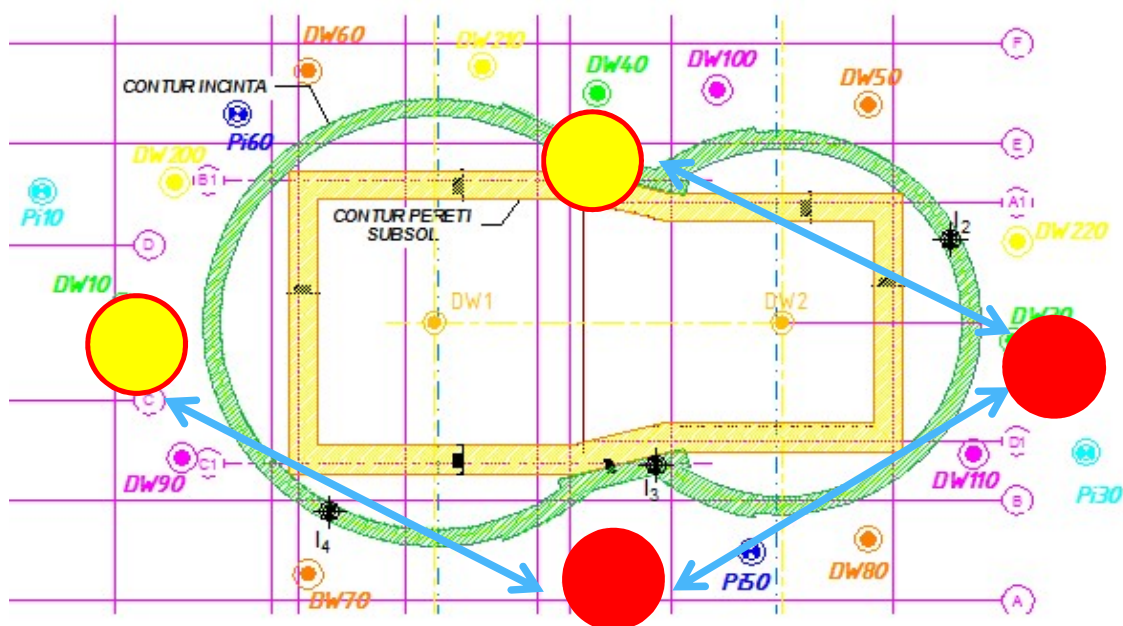


Figura 5.5. Plan poziționare puțuri de epuizament

În cea de-a treia etapă, pe măsura continuării etapelor de excavației, în paralel, se vor executa lucrări de amenajare a sistemului de epuizament în exteriorul incintei de pereți mulați.

Dimensionarea sistemului de epuizament a constat în executia a 14 foraje echipate hidrogeologic și 4 piezometre amplasate în jurul excavației (figura 5.5), având filtru dispus pe întreaga grosime a stratului acvifer de 8.0m, de la cota aproximativă - 24.0m până la cota -32.0m, izolând astfel primul acvifer.

Piezometrele au fost executate pentru monitorizarea influenței asupra acviferului superior, denumite Pi10, Pi30, Pi50 și Pi60. (Figura 5.6)

Optimizarea caracterizării hidrogeologice a mediului subteran în vederea realizării epuimentelor pentru lucrările de excavații adânci

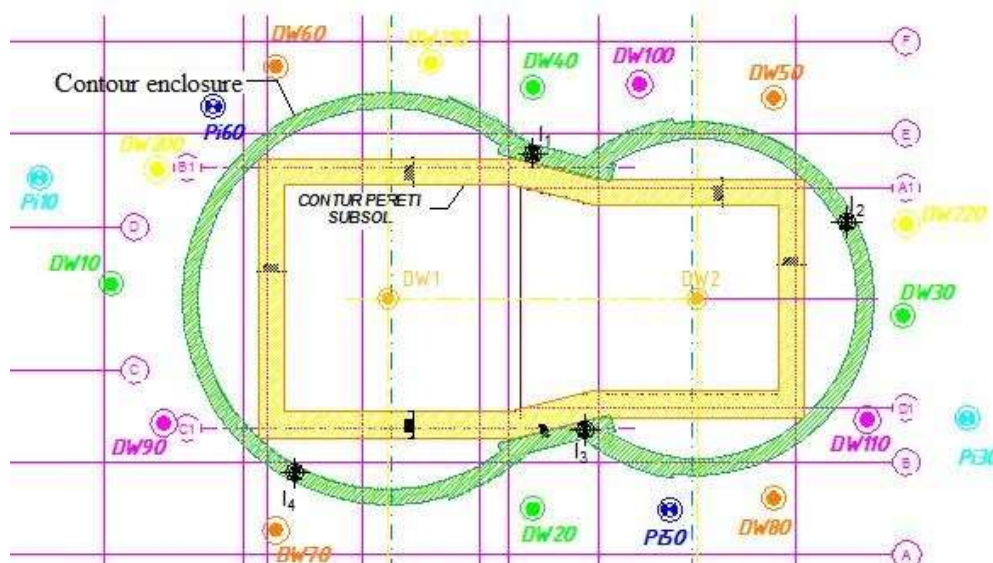


Figura 5.6. Plan dispunere puturi de epuiment

Forajele de epuiment executate au adancimi cuprinse între 25,0 ÷ 30,0m, iar cele 4 piezometre au fost executate la adancimea de 15,0m (figura 5.7).

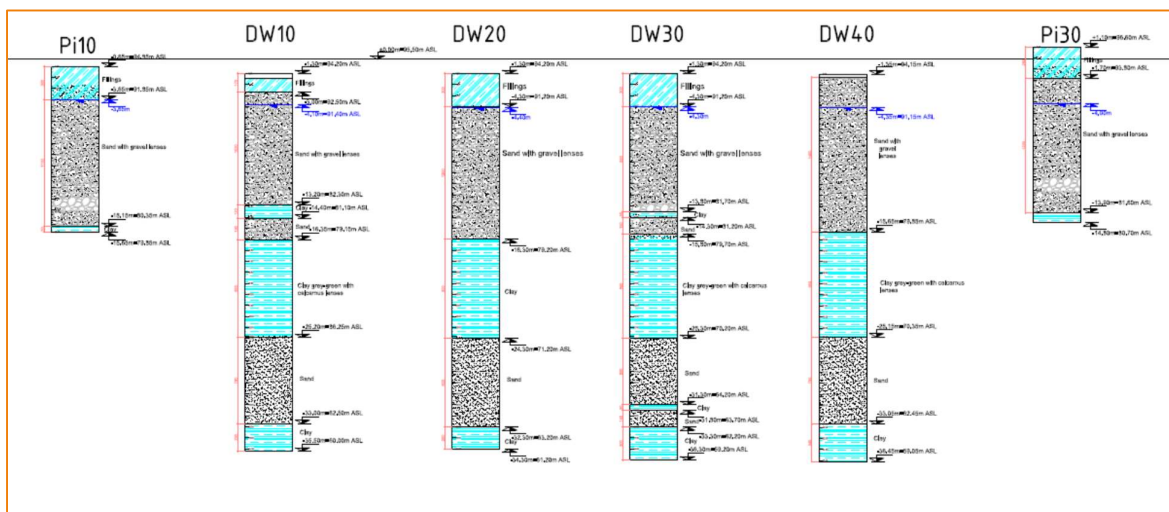


Figura 5.7. Foraje de epuiment

Durata necesară de funcționare a unui sistem de epuizment se extinde pe durata de execuție a lucrărilor de excavație și pe durata execuției lucrărilor la structură de rezistență, ulterior realizării integrale a etanșezării fundației.

❖ **Exploatarea sistemului de epuiment și monitorizarea**

Cele 14 puturi de epuiment propuse au asigurat denivelarea apei subterane și menținerea nivelului hidrostatic sub cota excavației, astfel încât lucrările se vor executa în uscat. Debitul total de evacuat a fost de $160\text{m}^3/\text{h}$.

Denivelarea finală furnizată de sistemul de epuiment a fost de 12.0m, suficientă pentru a permite o execuție sigură și de dezvoltare a construcției în interiorul gropii de excavare, asigurând condiții împotriva ruperii vetrei excavației.

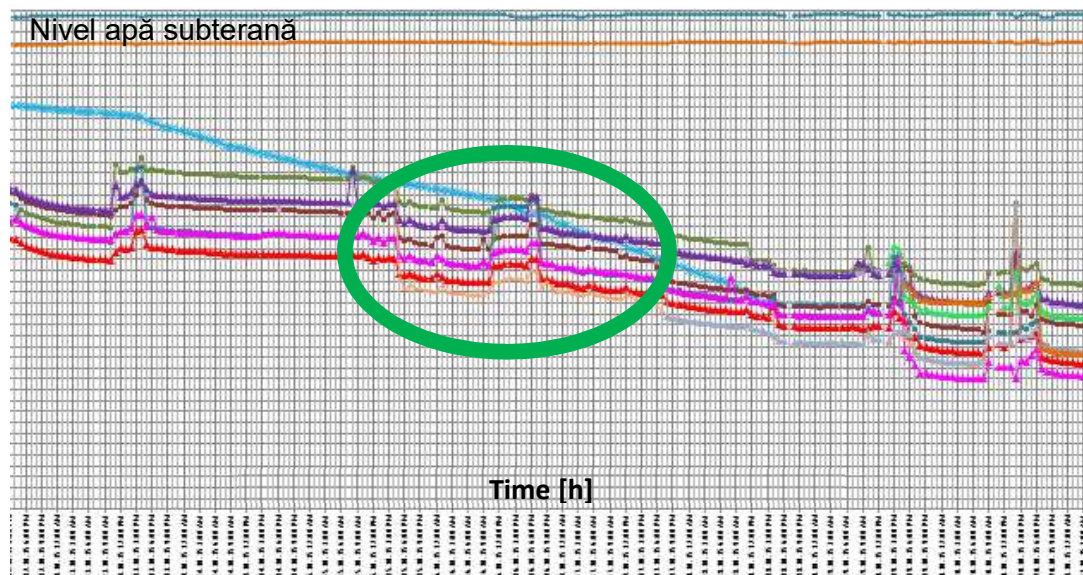


Figura 5.8. Evoluția nivelului apei subterane în perioada funcționării puturilor

5.2. Studiu de caz 2 – Complex rezidențial 3S+P+M+14E+15E

❖ Descrierea generală a amplasamentului

Terenul pe care se propune realizarea construcției este situat în intravilanul municipiului București, având o suprafață totală de 4596,83 m². (Figura 5.9).

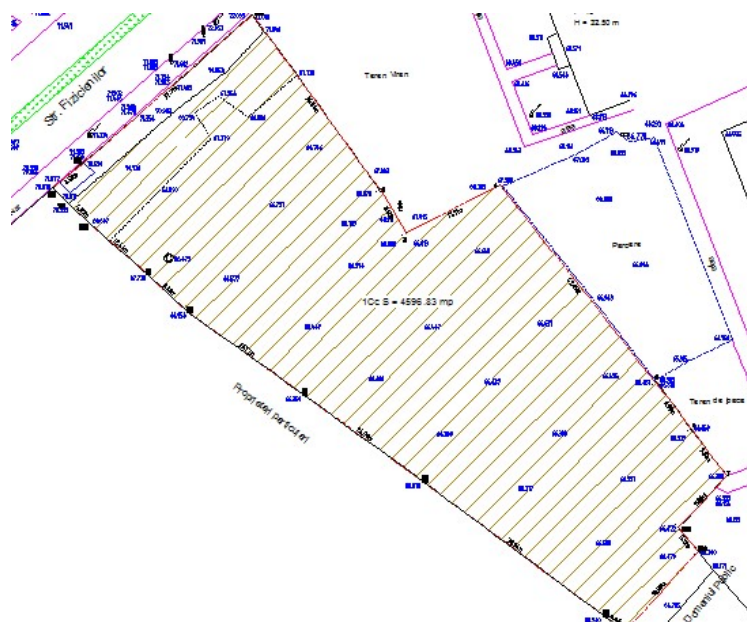


Figura 5.9. Plan de situație

❖ Caracterizarea geologică și hidrogeologică a amplasamentului

Din punct de vedere geologic, amplasamentul se afla în perimetrul marii unități denumită "Platforma Moesică" care reprezintă fundamentul cutat, aflat sub 2000 m adâncime, pe care s-au depus depozitele argilo-nisipoase și loessoide ce alcătuiesc "cuvertura sedimentară".

Din punct de vedere hidrogeologic, amplasamentul se găsește pe un teren caracterizat prin strate acvifere locale în roci cu granulație grosieră, de vârstă cuaternară: pietrișuri și nisipuri ("Pietrișuri de Colentina") și este străbătut de hidroizobata de 2 - 5 m. Forajele au interceptat acviferul de tip Colentina.

Nivelul hidrostatic a fost interceptat în jurul adâncimii de 4,10 m.

Nivelul freatic depinde în timp și spațiu de regimul hidrodinamic zonal.

Succesiunea litologică în amplasament a fost pusă în evidență de cele trei foraje de studii executate în amplasament, după cum urmează:

- strat de umplutură are grosimea de 2.70 m (F1)...5.10 m (F3);
- sub stratul de umplutură se găsesc strate de nisip fin și nisip fin-argilos submersate, susceptibile de afuiere în cazul unor epuimente directe;
- primul strat gros de nisip mediu-mare cu rar pietriș mic este mediu îndesat;
- al doilea strat gros de nisip mediu-fin este îndesat.

Necesitatea amplasării spațiilor tehnice precum și a unor spații de parcare, a condus la decizia de a executa trei niveluri subterane, fapt care a impus realizarea săpăturii generale la aproximativ -10,0m adâncime.

Soluția adoptată constă în realizarea unei incinte perimetrice din piloti secanți și realizarea sistemului de drenaj cu rolul de a cobora nivelul apei subterane din acviferul cantonat în pietrisurile de Colentina, astfel încât nivelul apelor subterane să fie menținut sub cota de -11,0 m în incinta.

Cota săpăturii este stabilită la – 10,05 m, față de cota terenului natural.

Dimensionarea sistemului de epuiment consta in urmatoarele componente:

- in prima etapa vor fi forate si echipate 10 puturi,
- se va incepe pomparea din fiecare put cu debite de 5 l/s, urmarindu-se continuu evolutia nivelului apei subterane in forajele de monitorizare; debitul de pompare va fi apoi marit progresiv pana la realizarea nivelului impus, respectiv depresionarea cu 2,0 m a nivelului apei in interiorul incintei; in orice caz debitul maxim al unui put nu va depasi 15 – 16 l/s;
- daca se va constata ca in acest fel nu asigura denivelarea impusa se vor fora si pune progresiv in exploatare puturile de rezerva;
- se vor executa 4 piezometre de observatie, în interiorul incintei.
- se va pompa apa din cele 10 foraje realizate în acviferul pietrisurilor de Colentina, urmărindu-se nivelurile în puțurile piezometrice propuse.

Debitul total preluat de sistemul de epuiment este de 168 l/s.

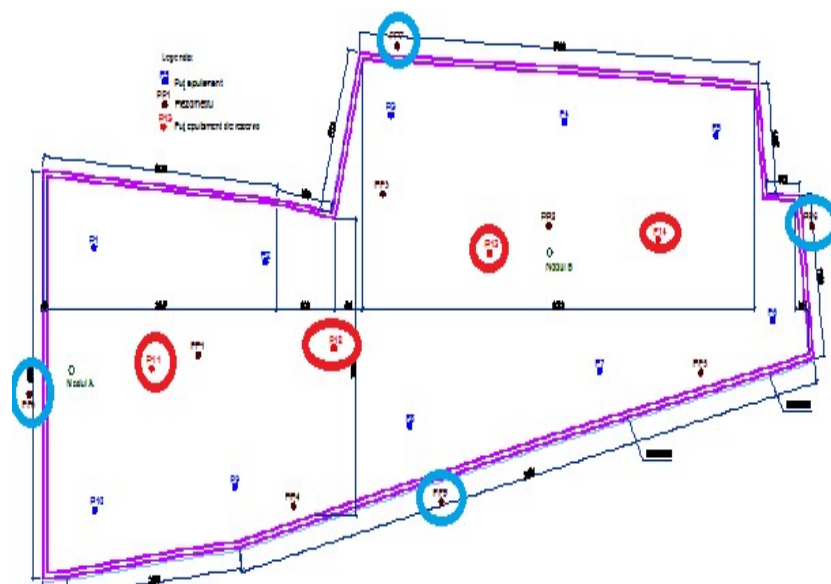


Figura 5.10. Plan de poziționare puțuri de epuiment

Forajele vor avea adancimea de 20 m, cu coloana perforata de 10 m si se vor echipa cu decantoare de 2,5 - 3 m si filtre de calitate superioară (Johnson).

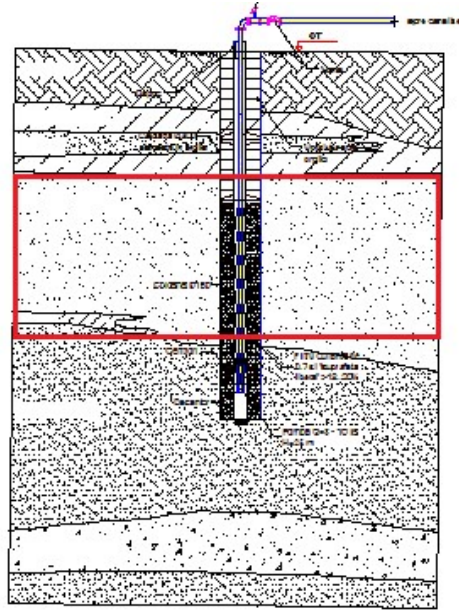


Figura 5.11. Puț de epuismment

Funcție de granulozitatea estimată a terenului, debitul capabil al unui foraj de epuizment ce funcționează în stratul acvifer al pietrisurilor de Colentina a fost estimat la 25 l/s. Totuși, având în vedere faptul că s-a dispus de date hidrogeologice mult prea sumare se recomandă ca puturile să nu fie exploatate la debite mai mari de 15 l/s. Coborârea nivelului apelor subterane la cota de -11,0 m se va face lent, fără salturi bruște.

❖ **Exploatarea sistemului de epuismnt**

Puțurile vor funcționa cu un debit de 5 l/s, denivelarea urmărită în forajele de monitorizare

Debitul se va mări progresiv pentru realizarea nivelului impus. Debitul maxim al unui puț de epuismenț nu va depăși 16 l/s.

Denivelările trebuie realizate lent, fără salturi bruște.

Este necesar ca pompările să se sincronizeze și să devanseze cu puțin etapele de execuție a excavațiilor, nefiind indicată o „solicitare-fortare” a acviferului mai mult decât este necesară lucrărilor de excavație.

Este obligatorie urmărirea zilnică a nivelului din interiorul incintei.

La momentul verificării eficienței sistemului de epuismenț, s-a constat că denivelarea impusă nu este asigurată. În această situație a fost necesară punerea în funcțiune a puturilor de rezervă sau mărirea debitului pentru puturile deja în funcțiune.

5.3. Studiu de caz 3 – Imobil cu destinație comercială

❖ Descrierea generală a amplasamentului

Amplasamentul este situat în intravilanul municipiului Sibiu. Investiția propusă cuprinde un imobil cu destinație comercială.

❖ Caracterizarea geologică și hidrogeologică a amplasamentului

Sucesiunea litologică în amplasament a fost pusă în evidență de cele nouă foraje de studii executate în amplasament, după cum urmează:

Interval adâncimi (m)	Descriere litologică
0.00m...-0,20m	Beton;
-0.20m...-1.70m	Umplutură: nisip, pietris, moloz;
-1.70m...-2.80m	Praf mălos, nisipos, negricios;
-2.80m...-4.30m	Nisip slab prăfos, galbui-cenusiu, cu rar pietriș mic;
-4.30m...-8.70m	Nisip cu pietriș, în matrice prăfoasă;
-8.70m...-20.00m	Marnă cenușie cu intercalații nisipoase, spre bază devine compactă

Conform stratificației interceptate în cele 9 foraje, stratul acvifer este alcătuit dintr-un aluvionar grosier (nisip cu pietriș în partea superioară cu matrice prăfoasă) care se dezvoltă între 6,40 - 8,80 m de la cota terenului amenajat, având un acoperis prăfos-nisipos, gros de 4,60 m, iar grosimea medie a stratului acvifer fiind 3,40 m.

Nivelele piezometrice întâlnite în cele nouă puncte de forare prezintă următoarele adâncimi, reprezentând valori medii anuale: F1 (2,80m), F2 (4,10m), F3 (2,30m), F4 (4,60m), F5 (3,50m), F6 (3,60m), F7 (3,90m), F8 (3,50m), F9 (3,10m).

Faptul că pentru construcția respectivă sunt necesare spații tehnice și spații de parcare, este necesară ca cota generală a excavațiilor să fie la -6,75 m față de cota terenului amenajat.

Dificultatea realizării excavației la cota -6,75m este amplificată de prezența apei freatice la cote cuprinse între 2,30 m și 4,60 m sub cota terenului actual, prezentând un caracter ușor ascensional.

Soluție adoptată constă într-un perete mulat etanș, încastrat în roca de bază și realizarea sistemului de drenaj cu rolul epuizării apelor din incintă.

❖ Dimensionarea sistemului de epuiment

Având în vedere grosimea redusă a stratului acvifer, necesitatea epuizării aproape în întregime a acestui strat (ramane o coloană de apă de aproximativ 1,00 m), permeabilitatea de asemenea scăzută a acestuia, rezulta că realizarea epuimentului prin puturi clasice de epuiment este ineficientă.

Ca urmare se propune ca epuimentul să se realizeze în următoarele etape, astfel:

Etapă I

- se va executa un număr de 4 foraje cu diametrul de 600 mm, cu filtre poziționate în stratul acvifer al nisipurilor și pietrișurilor, așa cum se specifică în Figura 5.12; puturile vor fi perfecte, penetrând în întregime stratul acvifer; decantorul putului va fi poziționat în stratul de bază – 1,5 m sub limita inferioară a stratului acvifer. Dispunerea puturilor de epuiment este prezentată în Figura 5.13.

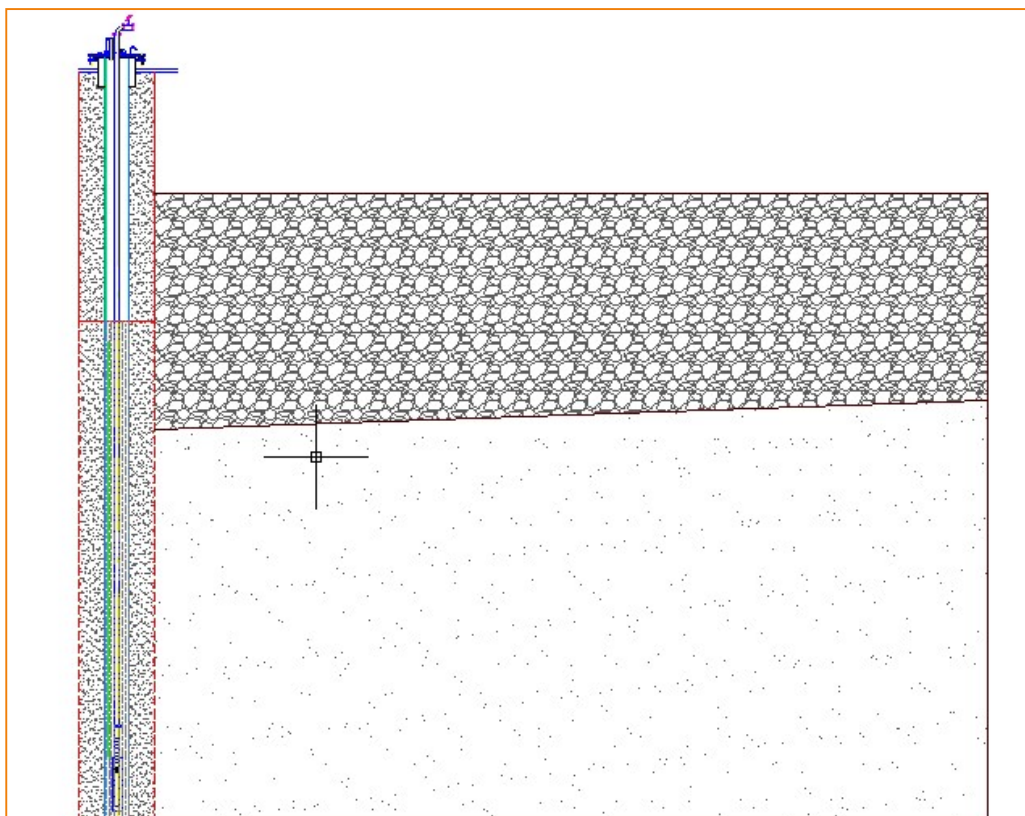


Figura 5.12 Put de epuiment (Tranșee drenantă)



Figura 5.13 Plan dispunere puturi de epuiment

- se va începe pomparea doar din două foraje, situate pe laturi opuse, în celelalte două urmărindu-se evoluția nivelului apei subterane, respectiv determinându-se raza de influență a acestora;
- este necesar ca pomparea să înceapă odată cu declanșarea excavațiilor sau chiar mai devreme, pentru a asigura timpul necesar de drenare a apei, ținând cont de faptul că în acest caz rolul principal al drenajului este de a asigura evacuarea apei cantonată în porii acviferului din incintă;
- în cazul în care rezultatele sunt satisfăcătoare, respectiv nivelurile apei asigură executia lucrărilor se va continua excavația fără alte lucrări, respectiv pomparea apei din cele două foraje;
- în cazul în care nu sunt obținute depresionările dorite, respectiv nivelul apei subterane în celelalte două foraje este modificat nesemnificativ se va începe pomparea și din aceste foraje;

Etapă II

- se vor executa apoi patru tranșee ce vor porni de la peretele fiecărui foraj menționat, spre axul incintei; adâncimea tranșeei va fi de aproximativ 1,5 – 2,0 m, cu panta de 1 – 2 ‰, spre foraj; aceste tranșee vor asigura depresionarea și transportul apei subterane spre foraj;
- pentru facilitarea executiei fără restricții a excavațiilor se vor umple tranșeele astfel realizate cu pietris-nisip (balast); se va impune condiția ca acest material să aibă o permeabilitate de cel puțin 20 m/zi;
- se va continua excavația; pe măsura avansării excavațiilor se va excava și materialul drenant pus în tranșee; se va asigura, pe cât posibil, ca acest material să fie recuperat, respectiv depozitat separat în incintă, întrucât va fi folosit în etapele următoare de drenare, pentru umplerea tranșeei ce vor fi realizate.

Etapă III

- dacă se constată că cele patru tranșee sunt insuficiente pentru realizarea epuizării apei din incintă se vor realiza încă două tranșee cu aceleași dimensiuni, reducând astfel distanța dintre ele, respectiv suprafața drenată de fiecare tranșee (vor porni din forajele puse la început în funcțiune spre axul

incintei, deviate cu un unghi de aproximativ 30 – 40 grade fata de primele transee);

- daca nivelurile apei scad prea lent comparativ cu ritmul de avansare al excavatiei vor fi realizate inca doua transee drenante simetrice cu cele realizate anterior; acest lucru va rezulta din analiza ritmului de drenare, comparativ cu ritmul de realizare al excavatiei (Figura 5.14);

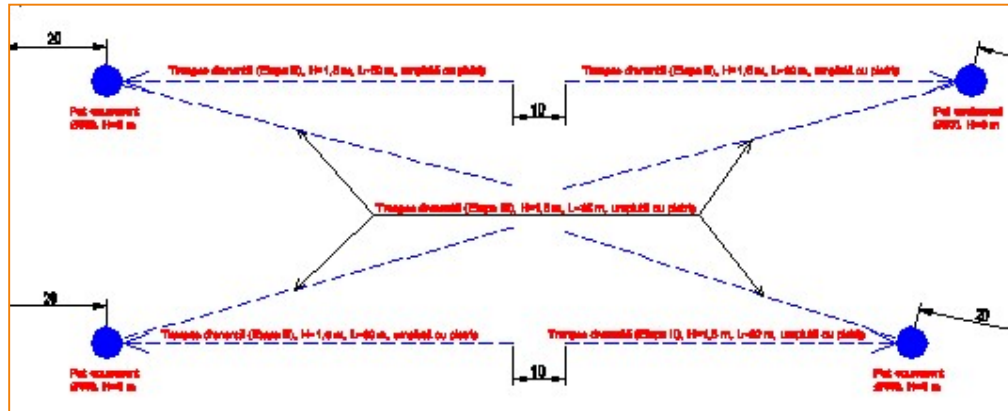


Figura 5.14 Plan dispunere puturi si transee etapa III

- pe masura ce excavatia va avansa se vor resăpa transeele pe aceleasi criterii si cu aceleasi caracteristici ca cele precedente; operatia se repeta pana la atingerea cotelor finale ale excavatiei.

❖ **Exploatarea sistemului de epuismenț**

De regulă, exploatarea se face la debite mai mici decât debitele admisibile, tocmai pentru a preveni fenomenul de antrenare hidrodynamică.

În cele mai multe cazuri, debitele se măresc progresiv pentru a se realiza denivelarea impusă. Dar nu se va depăși debitul admisibil.

Este necesar ca pompările să se sincronizeze și să devanseze cu puțin etapele de execuție a excavațiilor, nefiind indicată o „solicitare-forțare” a acviferului mai mult decât este necesară lucrărilor de excavație.

Este obligatorie urmărirea zilnică a nivelului din interiorul incintei.

Analizând studiile de caz prezentate mai sus, precum și modul de dimensionare și exploatare a sistemelor de epuismenț am evidențiat câteva concluzii.

5.4. Concluzii privind analiza critica a dimensionării sistemelor de epuismenț:

Plecând de la faptul, ca dimensionarea sistemelor de epuismenț diferă de la un caz la altul, putem evalua o clasificare a dimensionării, astfel:

5.4.1. Subdimensionarea lucrărilor de epuismenț

De multe ori, pentru dimensionarea și calculul unui sistem de epuismenț avem la dispoziție un număr minim de date de calcul, investigații de teren, respectiv o prelucrare și o interpretare a parametrilor hidrogeologici ai acviferului insuficientă.

Principalii factori ce sunt utilizați în schema de calcul a lucrărilor de epuiment sunt:

- ✚ Caracterizarea geologică și hidrogeologică insuficientă;
- ✚ Estimarea parametrilor de calcul pe baza literatur de specialitate (date generale);
- ✚ Date hidrogeologice limitate;
- ✚ Dimensionarea unui n puțuri insuficiente.

Toate aceste informații luate în schema de calcul a unui sistem de epuiment duc inevitabil rezultate nefavorabile, și anume:

- ❖ Nu se obțin denivelările dorite;
- ❖ necesitatea unor lucrări suplimentare, fie legate de puțurile de epuiment, fie de alte lucrări conexe;
- ❖ generarea de întârzieri privind lucrările conexe;
- ❖ costuri nedorite.

a. 5.4.2. Supradimensionarea lucrărilor de epuiment

- ✚ Schematizarea condițiilor hidrogeologice, funcție de valoarea coeficientului de permeabilitate – $k(f)$;
- ✚ Dimensionarea unui număr mai mare de puțuri de epuiment, funcție de condițiile hidrogeologice din teren, respectiv volumul de apă necesar a fi evacuat;
- ✚ Debite mici de exploatare, comparativ cu debitele admisibile ale puțului.

Toți acești parametri/factori ce intervin în calculul sistemului de epuiment, conduc la o serie de dezavantaje, cu privire la eficiența și exploatarea puțurilor, astfel:

- ❖ dimensionare unui număr mai mare de puțuri, ce implica o durată de execuție mai mare, respectiv costuri ridicate;
- ❖ realizarea unor puțuri de rezervă, fapt care duce la instalarea și funcționarea unui număr mai mare de pompe.

O dimensionare corectă și eficientă trebuie să conțină următoarele informații:

- **analiză detaliată a succesiuni litologice interceptate** – strate acvifere, nivel apă subterană, granulozitate;
- **teste hidrodinamice** – debite, conductivități hidraulice, denivelări, material în suspensie, nivelul apei în piezometre;

- **prelucrarea și interpretarea “riguroasa” a datelor rezultate din pompare**
- debite, parametri hidrogeologici, evoluția nivelurilor și stabilirea necesității unor adaptări ale proiectului;
- **volumul mare de apa ce trebuie pompat** - gasirea soluțiilor de descarcare a acestora poate fi o problema care sa conduca la necesitatea gasirii unei alte solutii, cum ar fi spre exemplu etapizarea realizarii fundatiilor constructiilor propuse;
- **necesitatea piezometrelor** - piezometrele sunt obligatorii pentru a înregistra eventualele neetanșeități ale incintei care ar conduce la coborârea nivelului sub construcțiile învecinate, cu eventuale antrenări de material fin, care ar putea determina efecte negative asupra fundațiilor acestor;
- **sistem de monitorizare a nivelurilor apei subterane**, care să funcționeze pe toată durata de menținere în funcțiune a sistemului de epuiment; rolul acestuia este de a monitoriza evoluția nivelurilor apei subterane în incintă și în exteriorul acesteia;
- **prelevarea de probe de apa din apa pompata pentru a determina continutul in particule fine antrenate din acvifer**; acest lucru pune in evidenta riscul antrenarii hidrodinamice, aspect ce va impune oprirea imediata a sistemului de epuimente.

6. STUDIU PARAMETRIC AL CURGERII APEI SUBTERANE – SITE-UL EXPERIMENTAL COLENTINA

Condițiile în care are loc curgerea apelor subterane, în cadrul acviferelor naturale, sunt de regulă complicate și diferențiate de la un caz la altul.

Schematizarea se referă atât la condițiile geologice și structurale ale depozitelor permeabile, cât și la cauzele care determină mișcarea apei.

Parametri hidrogeologici care caracterizeaza sistemul acvifer, evaluati, sunt:

- grosimea stratelor (m);
- structura hidrogeologica;
- omogenitate stratelor acvifere;
- izotropia acviferului;
- conductivitatea hidraulica a acviferului - [k];
- difuzivitatea hidraulica a acviferului - [a];
- raza de influenta a pomparii – [R]

Pentru a putea caracteriza un amplasament din punct de vedere geologic și hidrogeologic, trebuie realizate studii asupra succesiuni litologice interceptate, a caracteristicilor straturilor acvifere (straturi acvifere interceptate, nivel de apariție apă subterană etc) în vederea stabilirii condițiilor constructive pentru infrastructura obiectivului.

6.1. Zona de studiu

În acest context, pentru a aduce un aport mai mare al temei de cercetare în cuprinsul tezei de doctorat, am ales ca zona de studiu site-ul experimental din cadrul Complexului de laboratoare Colentina al UTCB pentru realizarea unui model geologic și hidrogeologic pe baza datelor de arhivă coroborate cu rezultatele testelor de pompare efectuate în cadrul unui program de determinări „in situ” pe care l-am efectuat în anul 2016 în zona pilot din zona menționată.

➤ Încadrarea zonală a amplasamentului

Sistemul de cercetare hidrogeologică prin foraje de studiu este amplasat într-un perimetru cvasirectangular, în partea de N-E a municipiului București, în interiorul Complexului de laboratoare Colentina, str. Rascoalei 1907, nr. 5, sector 2, București fiind delimitat de următoarele vecinătăți : (Figura 6.1)

- limita de est Universitatea Europei de Sud-Est Lumina;
- împrejur blocuri cu regim de înălțime 10 etaje;



Figura 6.1 – Localizare zona de studiu

➤ Considerații geologice și hidrogeologice

Municipiul București (cu suprafața totală de 228 km², reprezentând 0,09 % din suprafața României) este situat pe următoarele două subunități din Câmpia Vlăsiei: la nord, Câmpia Snagovului, iar la sud, Câmpia Bucureștiului.

Din punct de vedere geologic, depozitele care află pe teritoriul Bucureștiului aparțin următoarelor intervale cronostratigrafice (Murgeanu et al., 1966): Pleistocen superior (Pietrișuri de Colentina, definite de Liteanu în 1952, și depozite loessoide); Holocen inferior (depozite loessoide, nisipuri și pietrișuri din constituția terasei joase); Holocen superior (depozite loessoide, nisipuri și pietrișuri din lunci).

Din punct de vedere hidrogeologic, în zona Municipiului București este cantonat sistemul acvifer cuaternar reprezentat de trei structuri acvifere importante.

Hidrogeologic în zona orașului București au fost separate următoarele trei acvifere mai importante: acviferul freatic, complexul Nisipurile de Mostiștea-Formațiunea de Coconi și complexul Formațiunii de Frățești.

În prezent, mediul subteran devine din ce în ce mai complex, deși există secțiuni litologice reprezentative ce pun în evidență structurile acvifere, caracterizarea mediului subteran necesită o investigație amănunțită și de detaliu.

Heterogenitatea stratificată a mediului este definită ca fiind :

- complexă
- informații punctiforme, prin realizarea forajelor de investigație care pun în evidență delimitarea straturilor formațiunilor litologice,
- prin corelarea informațiilor din foraje se realizează secțiunile litologice, care ajută la delimitarea orizonturilor/secvențelor litologice.

Optimizarea caracterizării hidrogeologice a mediului subteran în vederea realizării epuimentelor pentru lucrările de excavații adânci

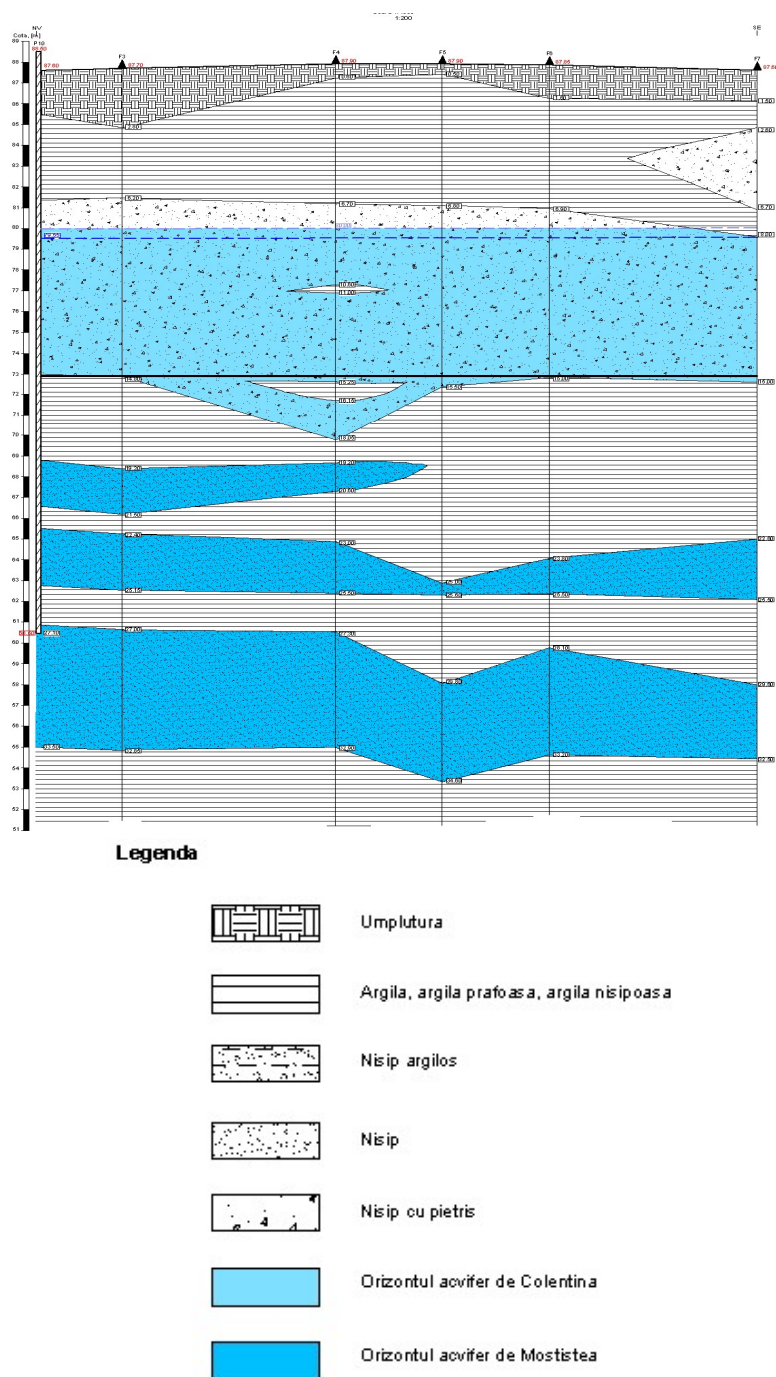


Figura 6.2. - Secțiune litologică caracteristică

6.2. Investigații de teren

➤ Metodologia de cercetare a site-ului experimental

Cercetarile hidrogeologice care ofera rezultate cat mai veridice constau in determinari in situ, pentru obtinerea cat mai corecta a parametrilor hidrogeologici fundamentali pentru procesul de modelare al apelor subterane.

Platforma experimentală Colentina este alcătuită/compusă din:

- 5 foraje cu adâncimea de 25,0m echipate ca foraje hidrogeologice pentru executia pomparilor experimentale;
- 2 foraje cu adâncimea de 15,0m echipate ca foraje piezometrice.

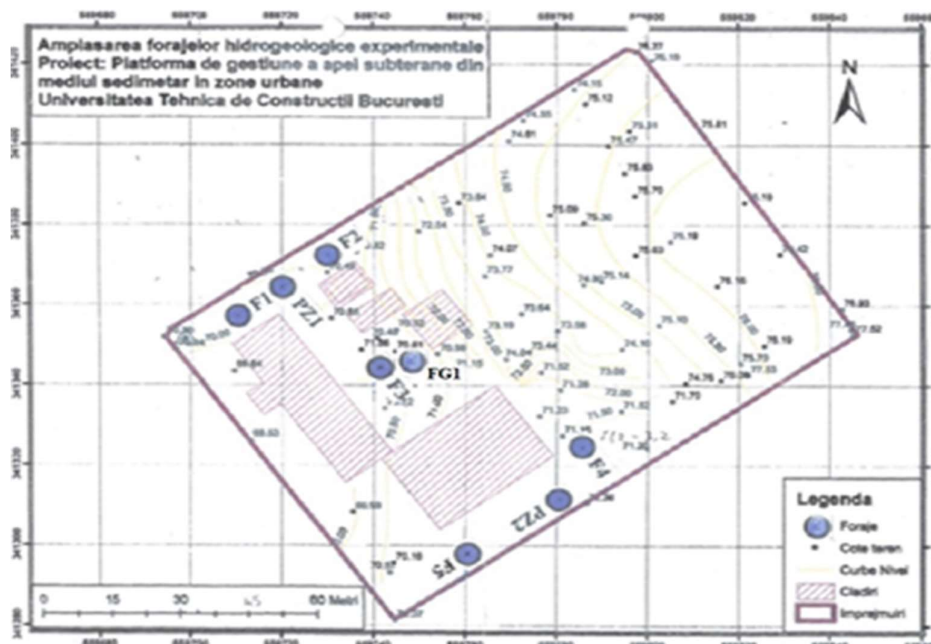


Figura 6.4. Plan cu poziționarea forajelor de studiu, site Colentina

6.3. Testări hidrodinamice

➤ Program experimental de determinări “in situ”

i) Testul de pompare I:

Testul de pompare efectuat în forajul F1 (25.0m) echipat ca foraj hidrogeologic, din care s-a pompat cu un debit de 1.14 l/s (98.50 m³/zi)

Testul de performanță în forajul F1, este realizat pentru determinarea următoarelor caracteristici:

- pompare cu un debit constant de 1,14l/s (98.50m³/zi), pe o durată de 24h, timp în care nivelul apei a scăzut continuu;

- monitorizarea denivelării în forajele F1, F2, F3, F4, F5 și în cele 2 piezometre PZ1, PZ2; intervalele de măsuratori au fost de 10s;
- revenirea nivelului monitorizată în toate forajele până la atingerea nivelului cvasi-stationar.

În timpul testului de pompare au fost utilizate următoarele dispozitive de monitorizare/măsurare:

- Debitul de apă a fost măsurat, așa cum s-a aratat mai sus, cu ajutorul apometrului instalat la capătul țevii de refulare;
- Traductor de presiune automat - pentru monitorizarea continuă a sarcinii piezometrice în timpul pomparei.
- Traductorul utilizat - denumit și *Diver Hidrogeologic* - produs de Schlumberger Water Services, CTD-Diver, este dispozitivul ce se configurează automat pentru citirea presiunii hidrostatice, a temperaturii și a conductivității electrice a apei. Pentru testul de pompare efectuat a fost setat un pas de timp de 10s pentru măsurători. Dispozitivul a fost introdus în puț la adâncimea de 5,0 m.

În tabelul 6.3, sunt date adâncimile nivelului apei subterane înainte de pompare precum și cotele acestora:

Tabelul 6.3. Denivelările măsurate în foraje după pompare

Nr. crt	Numar foraj	Adancime foraj [m]	Cota foraj [m]	Adancime fata de cota burlan NHs [m]	Cota NHs [m]	Cota burlan [m]
1	F1	25,00	70,15	2,80	67,05	0,30
2	F2	25,00	70,50	3,10	67,10	0,30
3	F3	25,00	70,60	3,00	67,30	0,30
4	F4	25,00	71,15	3,58	67,27	0,30
5	F5	25,00	70,40	2,90	67,20	0,30
6	PZ1	15,00	70,30	2,69	67,31	0,30
7	PZ2	15,00	70,80	1,12	69,38	0,30

Pomparea a durat 24 ore cu un debit constant de 1,14 l/s, perioada în care nivelul apei din forajul de pompare a scăzut continuu, urmând un timp de revenire de 24 ore, cu măsuratori de nivel în forajele de observație, perioada în care nivelul a revenit la circa 0.5-1cm sub nivelul inițial.

Datele de pompare / revenire sunt reprezentate grafic (semi-logaritmice) în Figurile 6.7., 6.8, 6.9.

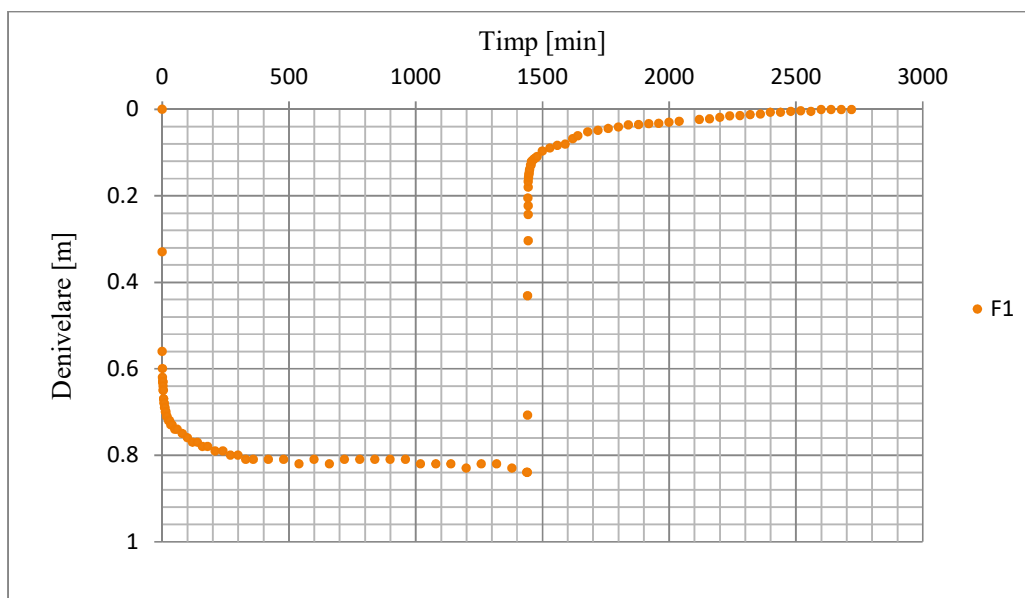


Figura 6.7. Test de pompare în forajul F1

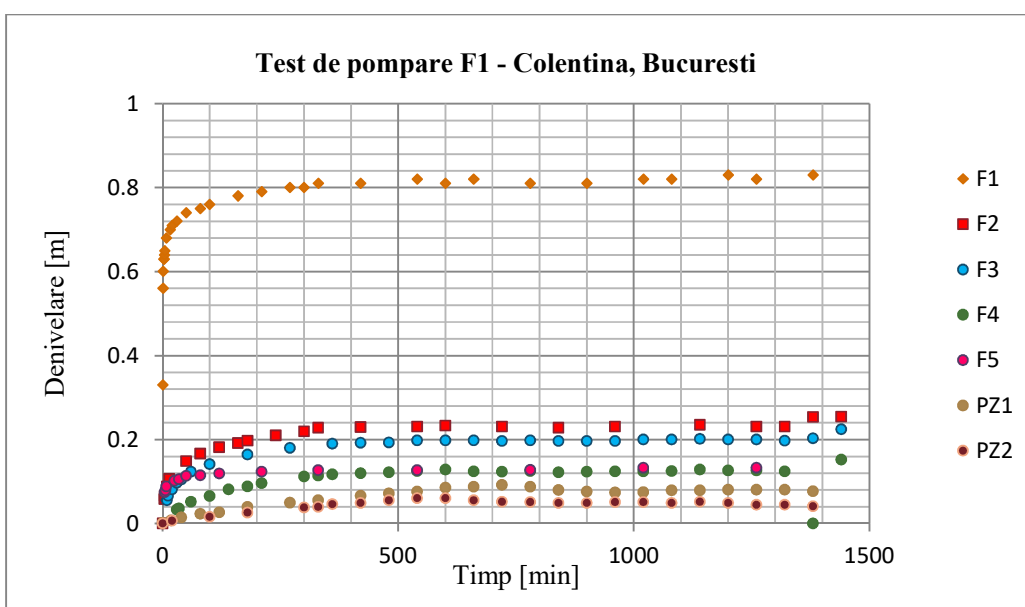


Figura 6.8. Test de pompare în forajul F1 - Evoluția denivelărilor în forajul de pompare și forajele de observație (F2, F3, F4, F5, PZ1, și PZ2).

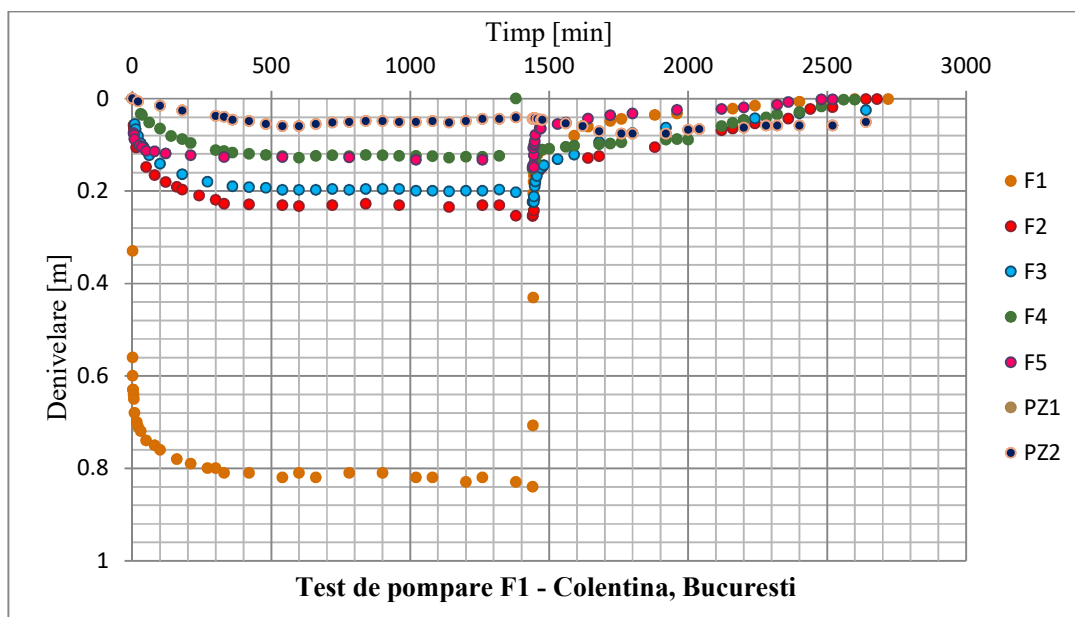


Figura 6.9. Test de pompare, inclusiv revenire în forajul F1 - Evoluția denivelărilor în forajul de pompare și forajele de observație (F2 F3, F4, F5, PZ1, si PZ2).

Menționez faptul că în testul de pompare efectuat a fost atins regimul de curgere cvasistaționar înaintea momentului opririi pompei.

Tabelul 6.4. Denivelările masurate in foraje dupa pompare

Nr. foraj	F1	F2	F3	F4	F5	PZ1	PZ2
s (m)	0.84	0.25	0.22	0.15	0.15	0.08	0.04

ii) Testul de pompare II:

Testul de pompare efectuat in forajul F1 (25.0m) si forajul F3 (25.0m) echipate ca foraje hidrogeologice, din care s-a pompat cu un debit de 1.14 l/s (98.50 m³/zi) – F1 si cu un debit de 2.56 l/s (221.18 m³/zi).

Test de performanta in forajul F1 si F3, urmareste urmatoarele caracteristici:

- pomparea in interferenta efectuata in forajele F1 cu un debit constant de 1,14l/s (98.50m³/zi) si F3 cu un debit constant de 2.56 l/s (221.18m³/zi), pe o durata de 24h, timp in care nivelul apei a scazut continuu;
- monitorizarea denivelari in forajele F1, F2, F3, F4, F5 si in cele 2 piezometre PZ1,PZ2; intervalele de masuratori au fost de 10s;
- revenirea nivelului monitorizat in toate forajele pana la atingerea nivelului cvasi-stationar.

În timpul testelor de pompare au fost utilizate următoarele dispozitive de monitorizare/măsurare:

- Debitul de apă a fost măsurat cu ajutorul apometrului instalat la capătul țevii de refulare, în forajul F1, iar în forajul F3 s-a înregistrat automat;
- Traductori de presiune - pentru monitorizarea continuă a sarcinii piezometrice în timpul pomparei atât în forajele din care s-a pompat cât și în forajele de observație.
- Traductori utilizați - diver hidrogeologic - produs de Schlumberger Water Services, CTD-Diver, este dispozitivul ce se configurează automat pentru citirea presiunii hidrostatice, a temperaturii și a conductivității electrice a apei. Pentru testele de pompare efectuate a fost setat un pas de timp de 10s pentru măsurători în fiecare foraj. Dispozitivul a fost introdus în puț la adâncimea de 5,0 m.

În tabelul 7.5 sunt date adâncimile nivelului apei subterane înainte de pompare precum și cotele acestora:

Tabel 6.5. Niveluri apă subterană

Nr. crt	Numar foraj	Adâncime foraj [m]	Cota foraj [m]	Adâncime fata de cota burlan NHs [m]	Cota NHs [m]	Cota burlan [m]
1	F1	25,00	70,15	2,71	67,14	0,30
2	F2	25,00	70,50	3,01	67,19	0,30
3	F3	25,00	70,60	2,93	67,37	0,30
4	F4	25,00	71,15	3,51	67,34	0,30
5	F5	25,00	70,40	2,81	67,29	0,30
6	PZ1	15,00	70,30	2,63	67,37	0,30
7	PZ2	15,00	70,80	2,14	68,36	0,30

Testul de pompare în interferență în forajele F1 cu un debit de 1,14l/s și forajul F3 cu un debit de 2,56l/s. Pomparea a durat 24 ore până la ora 10:39 (02 septembrie 2015), perioada în care nivelul apei în forajele de pompare și cele de observație a scăzut continuu, urmând un timp de revenire de 24 ore, cu măsurători de nivel în forajele de observație, perioada în care nivelul a revenit la cel inițial.

Datele de pompare / revenire sunt reprezentate grafic (semi-logaritmice) în figurile 6.11, 6.12.

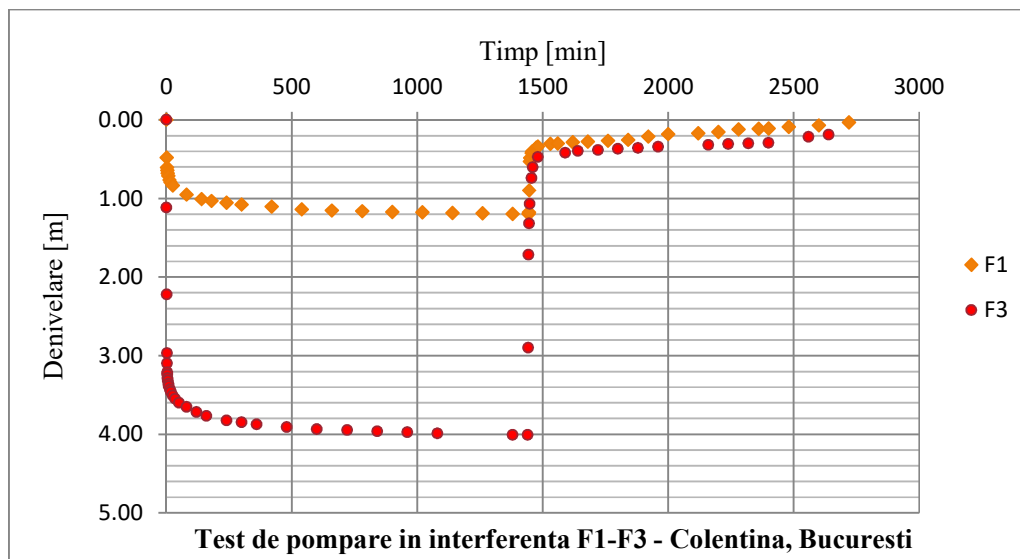


Figura 6.11. Test de pompare în interferență în forajele F3 și F1 - Evoluția denivelărilor în forajele de pompare.

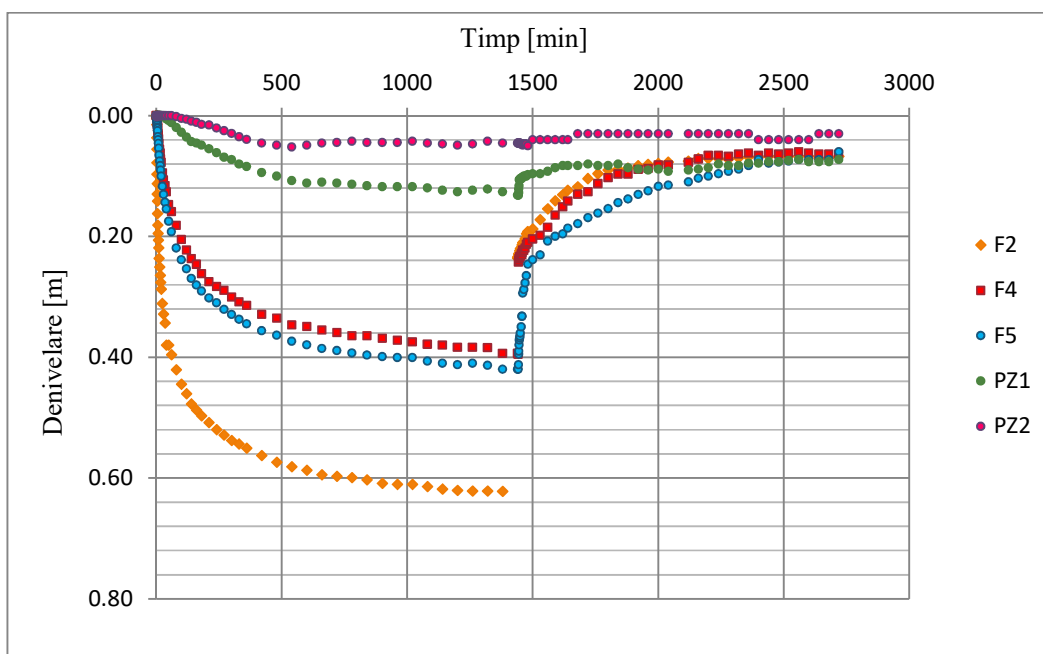


Figura 6.12. Test de pompare în interferență în forajele F3 și F1 - Evoluția denivelărilor în forajele de observație.

Menționez faptul că în testul de pompare efectuat a fost atins regimul de curgere cvasistaționar înaintea momentului opririi pompei.

Tabel 6.6. Denivelările măsurate în foraje

Nr. foraj	F1	F2	F3	F4	F5	PZ1	PZ2
-----------	----	----	----	----	----	-----	-----

s (m)	1.20	0.24	4.00	0.40	0.42	0.13	0.03
--------------	------	------	------	------	------	------	------

iii) Testul de pompare III:

Ultimul test de pompare realizat în cadrul programului experimental, s-a realizat tot în interferența a 3 foraje, F1, F3 și F5 din care s-a pompat debite diferite pe o durată de 12 ore. Deși perioada de pompare s-a micșorat, în forajele F1 și F3 s-au înregistrat aceleași denivelări obținute și la testul de pompare II.

Testul de performanță în forajul F1, F3 și F5, urmărește următoarele caracteristici:

- Pomparea în interferență efectuată în forajele F1 cu un debit constant de 1,14 l/s (98.50 m³/zi), F3 cu un debit constant de 2.56 l/s (221.18 m³/zi) și F5 cu un debit constant de 1.20 l/s (103.68 m³/zi), pe o durată de 12h, timp în care nivelul apei a scăzut continuu;
- monitorizarea denivelării în forajele F1, F2, F3, F4, F5 și în cele 2 piezometre PZ1, PZ2; intervalele de măsurători au fost de 10s;
- revenirea nivelului monitorizată în toate forajele până la atingerea nivelului cvasi-stationar.

În timpul testelor de pompare au fost utilizate următoarele dispozitive de monitorizare/măsurare:

- Debitul de apă a fost măsurat cu ajutorul apometrului instalat la capătul țevii de refulare, în forajul F1 și F5, iar în forajul F3 s-a înregistrat automat;
- Traductori de presiune - pentru monitorizarea continuă a sarcinii piezometrice în timpul pomparei atât în forajele din care s-a pompat cât și în forajele de observație.
- Traductori utilizați - *Diver Hidrogeologic* - produs de Schlumberger Water Services, CTD-Diver, este dispozitivul ce se configurează automat pentru citirea presiunii hidrostatice, a temperaturii și a conductivității electrice a apei. Pentru testele de pompare efectuate a fost setat un pas de timp de 10s pentru măsurători în fiecare foraj. Dispozitivul a fost introdus în puț la adâncimea de 5,0 m.

În tabelul 6.7, sunt date adâncimile nivelului apei subterane înainte de pompare precum și cotele acestora.

Tabel 6.7. Niveluri apă subterană

Nr. crt	Numar foraj	Adancime foraj [m]	Cota foraj [m]	Adancime fata de cota burlan NHs [m]	Cota NHs [m]	Cota burlan [m]
----------------	--------------------	---------------------------	-----------------------	---	---------------------	------------------------

1	F1	25,00	70,15	2,82	67,03	0,30
2	F2	25,00	70,50	3,10	67,10	0,30
3	F3	25,00	70,60	3,01	67,29	0,30
4	F4	25,00	71,15	3,59	67,26	0,30
5	F5	25,00	70,40	2,90	67,20	0,30
6	PZ1	15,00	70,30	2,65	67,35	0,30
7	PZ2	15,00	70,80	2,13	68,37	0,30

Testul de pompare în interferență a fost efectuat în forajele F1 cu un debit de 1,14l/s, forajul F3 cu un debit de 2,56l/s și forajul F5 cu un debit de 1,20 l/s. Pomparea a durat 12 ore, perioada în care nivelul apei în forajele de pompare și cele de observație a scăzut continuu, urmând un timp de revenire de 12 ore, cu măsuratori de nivel în forajele de observație, perioada în care nivelul a revenit aproape de nivelul inițial.

Pe parcursul testului de pompare s-a înregistrat o denivelare maximă de 1,20m în forajul F1, o denivelare maximă de cca. 4,00m în forajul F3, iar o denivelare de 1,80m în forajul F5. Pe parcursul desfășurării testului a fost monitorizat nivelul hidrodynamic cu ajutorul traductorului de presiune automat.

Datele de pompare / revenire sunt reprezentate grafic (semi-logaritmic) în Figurile 6.14, 6.15.

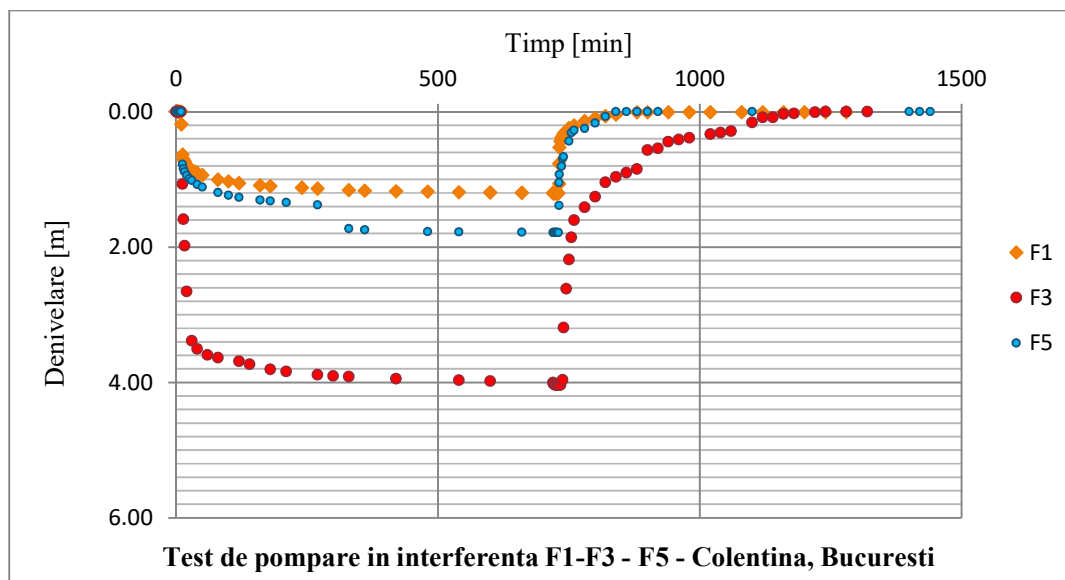


Figura 6.14. Test de pompare în interferență în forajele F3 și F1 - Evoluția denivelărilor în forajele de pompare.

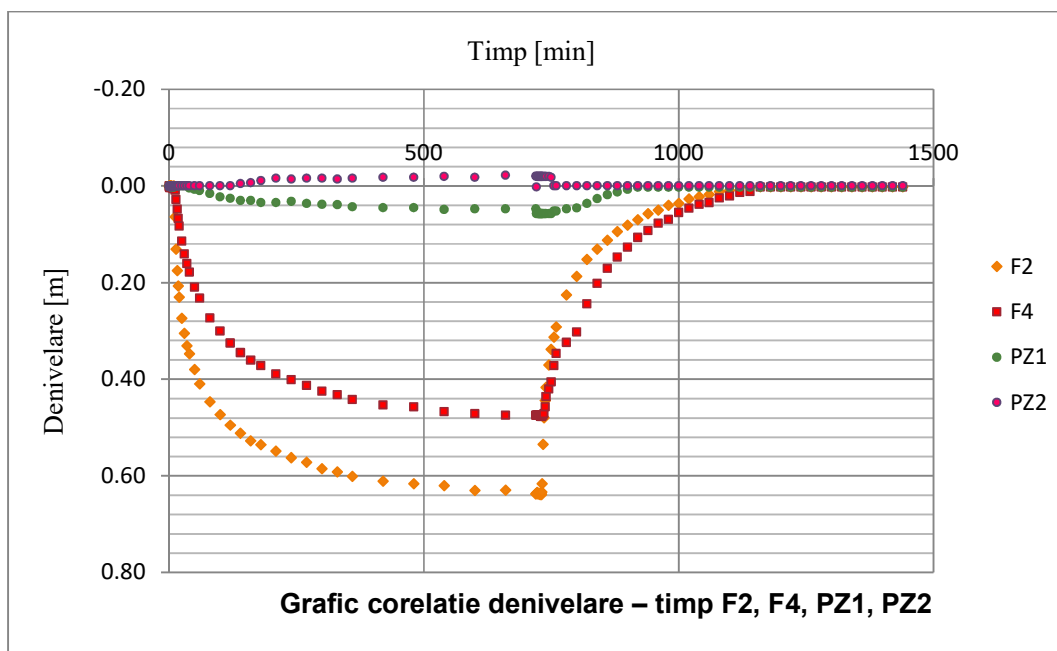


Figura 6.15. Test de pompare în interferență în forajele F3 și F1 - Evoluția denivelărilor în forajele de observație.

Tabel 6.8. Denivelările măsurate în foraje

Nr. foraj	F1	F2	F3	F4	F5	PZ1	PZ2
s (m)	1.21	0.63	4.04	0.47	1.79	0.05	0.02

6.4. Prelucrarea și interpretarea datelor hidrogeologice

Testarea hidrodinamica a acviferelor prin pompari experimentale

Pentru testarea hidrodinamica a celor 2 acvifere (mica și medie adancime) interceptate în zona de studiu, au fost efectuate :

- Test de pompare în F1 cu un debit de 1.14l/s, 24 ore, urmat de testul de revenire (27.08.2015);
- Test de pompare în interferența în F1 cu un debit de 1.14l/s și în F3 cu un debit de 2,56l/s, urmat de testul de revenire (01.09.2015);
- Test de pompare în interferența în forajele F1 cu un debit de 1,14l/s , F3 cu un debit de 2,56l/s și F5 cu un debit de 1,20l/s (11.09.2015)

Parametrii hidrogeologici ai acviferului de mica adancime (Colentina), au fost determinați pe baza măsurătorilor de debit (Q) și denivelare (s) obținute la pomparile experimentale în regim de echilibru al curgerii apei subterane.

Determinarea parametrilor hidrogeologici in regim stationar

Cu datele obtinute pe teren prin pompari experimentale in foraje, in functie de schema hidrogeologica a acviferului si a forajelor in care s-au efectuat testarile, se determina parametrii hidrogeologici ai mediului acvifer.

Caracteristicile hidrofizice ale terenurilor acvifere în regim staționar se referă la următorii parametri:

- K – conductivitatea hidraulică (m/zi);
- T – transmisivitatea (m²/zi);

Caracteristicile hidraulice ale unui foraj sunt:

- R – raza de influență (m);
- Δs – saltul piezometric (m);
- ζ₀ – rezistența hidraulică (-).

Calculul transmisivitatii - T:

- Transmisivitatea în regim staționar se calculează cu formula:

$$T_{ij} = \frac{Q}{2\pi(s_i - s_j)} \ln \frac{r_j}{r_i} \quad (6.4)$$

unde:

- T = transmisivitatea (m²/zi);
- Q = debitul forajului (m³/zi);
- s = denivelare (m);
- r = distanța de la foraj la piezometru, respectiv raza forajului (m).

Tabel 6.9. Calculul transmisivității

Foraje	s ₀ (m)	s ₁ (m)	s ₂ (m)	s ₃ (m)	s ₄ (m)	Q (m ³ /zi)	T (m ² /zi)
Testul 1 - pompare in forajul 1 cu un debit de 1,14 l/s							
F0-F1	0,84	0,24	0,22	0,15	0,14	98,50	147,08
F0-F2	0,84	0,24	0,22	0,15	0,14	98,50	149,93
F0-F3	0,84	0,24	0,22	0,15	0,14	98,50	154,29
F0-F4	0,84	0,24	0,22	0,15	0,14	98,50	152,87

Foraje observatie	s₀ (m)	s₁ (m)	s₂ (m)	s₃ (m)	s₄ (m)	Q (m³/zi)	T (m²/zi)
Testul 1 - pompare in forajul 1 cu un debit de 1,14 l/s							
F1-F2	-	0,24	0,22	0,15	0,14	98,50	235,66
F1-F3	-	0,24	0,22	0,15	0,14	98,50	202,40
F1-F4	-	0,24	0,22	0,15	0,14	98,50	187,64
F2-F3	-	0,24	0,22	0,15	0,14	98,50	192,90
F2-F4	-	0,24	0,22	0,15	0,14	98,50	175,64
F3-F4	-	0,24	0,22	0,15	0,14	98,50	54,82

Datele utilizate pentru calculul în regim stationar (metoda Thiem) precum și rezultatele obținute sunt incluse în Tabelul 6.9. Diferențele rezultate între transmisivitățile calculate pe baza forajului de pompare și oricare din forajele de observație și cea calculată pe baza datelor din forajele de observație se datorează în principal rezistențelor hidraulice (și implicit saltului piezometric) din forajul de pompare. Astfel, pentru caracterizarea hidrogeologică a orizonturilor acvifere deschise se va lua în considerare valoarea transmisivității medii calculate pe baza forajelor de observație, deoarece acolo se simte cel mai puțin influența forajului.

Calculul razei de influență – R

În situația dată, raza de influență poate fi determinată cu datele forajelor de observație, folosind formula analitică dedusă din ecuația lui Dupuit:

$$\ln R = \frac{s_1 * \ln r_2 - s_2 \ln r_1}{s_1 - s_2} \quad (6.5)$$

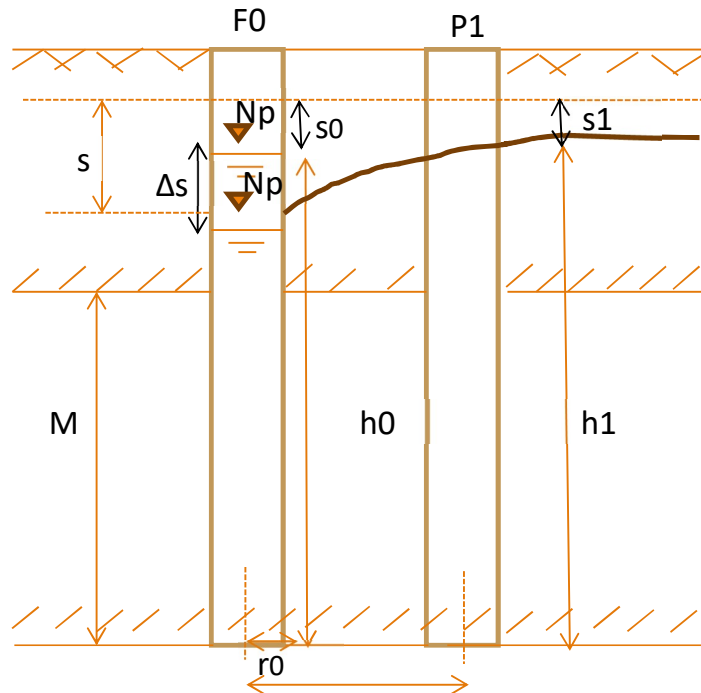
Tabel 6.10. Calculul razei de influență

Foraje observatie	s₁ (m)	s₂ (m)	s₃ (m)	s₄ (m)	r₁ (m)	r₂ (m)	r₃ (m)	r₄ (m)	R (m)
F1-F2	0,24	0,22	0,15	0,14	24,99	33,75	79,83	82,67	906,87
F1-F3	0,24	0,22	0,15	0,14					553,13
F1-F4	0,24	0,22	0,15	0,14					441,32

Estimarea corectă a razei de influență pentru forajele hidrogeologice este necesară atât pentru determinarea celorlalți parametri hidrogeologici, cât și pentru calculul hidrodinamic al sistemelor de captare și drenaj.

Saltul piezometric – Δs

- reprezintă pierderea de sarcină suplimentară dată în principal de rezistența hidraulică totală a forajului experimental (ΔS),
- diferența de nivel de la interceptația curbei de depresiune cu pereții forajului până la nivelul piezometric (stabilizat);



Se calculează astfel:

- acvifere sub presiune:

$$\Delta S = - \zeta_0 (S_n - S_{n+1}) / 2,3 \lg r_{n+1} / r_n ; \quad (6.6)$$

ζ_0 – rezistența hidraulică a forajului;

S_n – denivelarea măsurată în piezometrul 1; $n = 0, 1, 2, 3, \dots$;

S_{n+1} – denivelarea măsurată în piezometrul 2;

r_{n+1} – distanța de la forajul experimental la piezometrul 2;

r_n – distanța de la forajul experimental la piezometrul 1.

- acvifere cu nivel liber

Se poate calcula cu formula lui Ciarnai – Sestacov:

$$\Delta S = Q/k/2h_0 + \Delta S * (0,73 \log \sqrt{Q/k/r_0} - 0,51); \text{ unde:} \quad (6.7)$$

k – conductivitatea hidraulică a acviferului;

Q – debitul pompat din forajul experimental;

h_0 – grosimea inițială a acviferului cu nivel liber;

r_0 – raza forajului experimental.

Obs. Valoare negativă a rezistenței totale a forajului experimental indică o creștere a permeabilității pe o anumită rază în jurul forajului, peste valoarea naturală, deci îmbunătățirea proprietăților filtrante ale acviferului.

Plecând de la formula de calcul a rezistenței hidraulice dată de Gheorghe Alexandru:

$$\zeta_0 = 2\pi(s_0 - s_1)kM/Q - 2,3 \lg r_1/r_0 \quad (6.8)$$

(unde: kM = transmisivitatea);

$$Q = 2\pi kM (s_1 - s_2) / \ln r_2/r_1 = 2\pi kM (s_1 - s_2)/2,3 \lg (r_2 / r_1)$$

$$\zeta = 2\pi (s_0 - s_1) kM / Q - 2,3 \lg r_1 / r_0$$

$$\zeta = 2\pi (s_0 - s_1) kM / 2\pi kM (s_1 - s_2) / 2,3 \lg (r_2 / r_1) - 2,3 \lg r_1 / r_0$$

$$\zeta = 2\pi (s_0 - s_1) kM * 2,3 \lg r_2 / r_1 / 2\pi kM (s_1 - s_2) - 2,3 \lg r_1 / r_0$$

$$\zeta = s_0 - s_1 / (s_1 - s_2) * 2,3 \lg r_2 / r_1 - 2,3 \lg r_1 / r_0$$

$$\zeta = 2,3 (s_0 - s_1 / s_1 - s_2 \lg r_2 - r_1 - \lg r_1 / r_0).$$

Rezultă formula rezistenței hidraulice dată de Normativ privind proiectarea sistemelor de epuiment dată de E. Marchidanu.

Rezistența hidraulică - ζ_0

Este un coeficient adimensional al rezistențelor hidraulice suplimentare totale calculat cu relația:

$$\zeta_0 = 2\pi T_{12} * \frac{s_0 - s_1}{Q} - \ln \frac{r_1}{r_0} \quad (6.9)$$

Tabel 6.11. Calculul saltului piezometric și al rezistenței hidraulice

Foraje	Q (m ³ /zi)	s ₀ (m)	s ₁ (m)	s ₂ (m)	s ₃ (m)	s ₄ (m)	Δs (m)	ξ ₀ (-)
F0-F1	98,50	0,84	0,24	0,22	0,15	0,14	0,224	3,38

F0-F2	98,50	0,84	0,24	0,22	0,15	0,14	0,225	3,39
F0-F3	98,50	0,84	0,24	0,22	0,15	0,14	0,238	3,57
F0-F4	98,50	0,84	0,24	0,22	0,15	0,14	0,245	3,69

Se poate observa că pe măsură ce crește denivelarea măsurată, cresc și saltul piezometric și rezistența hidraulică. Într-un foraj perfect Δs și ξ_0 sunt nule, deci pentru ca un foraj să funcționeze la parametri optimi, acestea două marimi ar trebui să fie cât mai apropiate de 0.

Calculul conductivității hidraulice - k:

Tabel 6.12. Calculul conductivității hidraulice

Foraje	s ₀	s ₁	s ₂	s ₃	s ₄	Q (m ³ /zi)	k
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m/zi)
F1-F2	0,84	0,24	0,22	0,15	0,14	98,50	21,3
F1-F3	0,84	0,24	0,22	0,15	0,14	98,50	26,2
F1-F4	0,84	0,24	0,22	0,15	0,14	98,50	29,6
F1-F5	0,84	0,24	0,22	0,15	0,14	98,50	32,4

Plaja de valori obținute pentru parametru de conductivitate hidraulică este 20÷35m/zi.

Cu ajutorul relației de calcul Dupuit, au fost obținute următoarele valori de conductivitate hidraulică între forajele de observație, respectiv valorile de transmisivitate.

Conductivitatea hidraulică între forajele de observație

$$\text{➤ } k = \frac{Q}{2\pi M(s_1 - s_2)} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (6.10)$$

Tabel nr. 6.13 Valori de calcul pentru conductivitatea hidraulică și transmisivitate

Foraje de observație	K (m/zi)	T (m ² /zi)
F2-F3	28,69	235,25
F2-F4	25,38	208,13
F2-F5	22,18	181,84
F3-F4	24,44	200,38
F3-F5	20,55	168,49

Din rezultatele obținute, se poate vedea ca valorile de conductivitate hidraulică obținute între forajele de observație pe aceeași direcție, sunt descrescătoare, în raport cu distanțele între forajele, ceea ce arată ca parametrul de conductivitate hidraulică, poate fi considerat punctual, și de aceea este necesar ca printr-un număr de mai multe foraje de observație, să fie determinat, pentru o mai bună corelare și mai mult, o valoare cât mai "reală".

În acest caz, valoarea medie a conductivității hidraulice, a fost obținută prin media aritmetică, astfel:

$$k = \frac{28,69 + 25,38 + 22,18 + 24,44 + 20,55}{5} = 24,25 \text{ m / zi.}$$

De regulă, în practică, în calculele de proiectare a sistemelor de epuismenț se ia valoarea medie a conductivității hidraulice.

Calculul acestui parametru hidrogeologic, de conductivitate hidraulică, trebuie să se facă cu discernământ, dat fiind faptul că valoarea obținută este importantă în alegerea sistemului de depresiune proiectat.

7. STUDIU PRIVIND IMPACTUL GRADULUI DE ANIZOTROPIE ÎN COMPORTAMENTUL HIDRAULIC AL ACVIFERULUI

În vederea analizei influenței gradului de anizotropie asupra mediului acvifer, a fost realizat un model hidrogeologic de curgere a apei subterane folosind ca date acviferul Colentina pentru care s-au realizat măsurătorile prezentate în capitolul precedent.

O primă etapă în modelarea comportării unui acvifer o reprezintă construirea modelului conceptual al mediului hidrogeologic analizat. Acesta constă în stabilirea unui set de ipoteze care reduc problema reală și domeniul real la o versiune simplificată.

Aceste ipoteze trebuie să se refere la (Radu Gogu, 2014):

- geometria frontierelor domeniului acvifer;
- tipul materialului acviferului (omogenitate, izotropie);
- tipul de curgere (unidimensional, bidimensional, tridimensional, orizontal);
- regimul de curgere (laminar, turbulent);
- proprietățile apei (referiri la omogenitate și compresibilitate);
- surse și puțuri de extracție apă în domeniu;

- condițiile pe frontieră, care exprimă interacțiunea domeniului acvifer cu zonele limitrofe.

În cadrul dezvoltării unui model hidrogeologic sunt analizate două componente principale:

- *componenta naturală fiind reprezentată de:*
 - sistemul acvifer;
 - precipitații;
 - apele de suprafață (rauri și lacuri nemodificate antropice).
- *componenta antropică, reprezentată de:*
 - rețeaua de alimentare cu apă;
 - rețeaua de canalizare.

7.1. Model hidrogeologic conceptual - functional

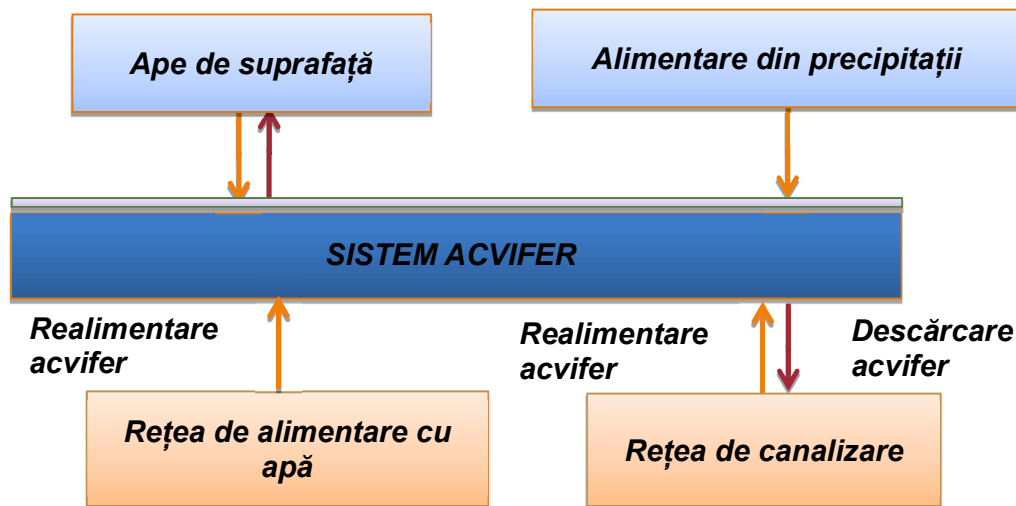
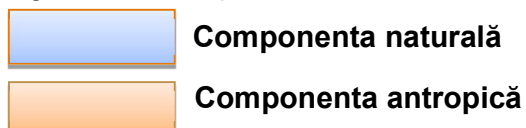


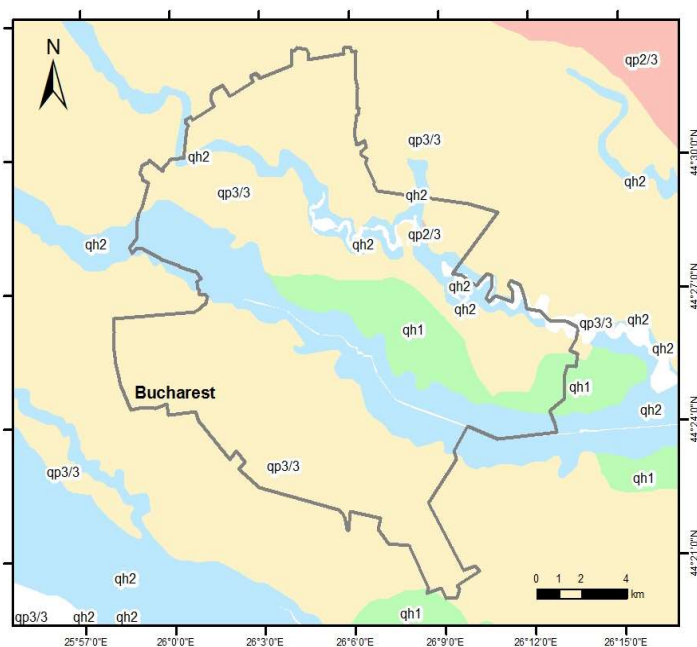
Figura 7.1. Componentele modelului conceptual



7.2. Modelul geologic 3D al zonei studiate

Pe baza investigațiilor de teren, cercetare prin foraje și a analizelor de laborator, pe baza probelor recoltate din foraje, a fost stabilită stratificația detaliată a terenului, fiind prezentată în profilele forajelor.

Optimizarea caracterizării hidrogeologice a mediului subteran în vederea realizării epuimentelor pentru lucrările de excavații adânci



Age		Depth (m)	Thickness (m)	Lithology		Hydrogeological units
Period	Epoch					
QUATERNARY	Holocene	qh2	0-15	5-10	Loess, clay	Superficial deposits
		qh1	4-25	5-25	Gravels & sands	Colentina
		qp ₃ ³	15-30	5-10	Clay	Intermediary deposits
	Pleistocene	qp ₃ ²	20-50	10-20	Sand	Mostiștea
		qp ₂	45-100	20-120	Marl, clay, silt with sand intercalations	Coconi strata
		qp ₁	70-280	15-115	Gravels & sands with clayey intercalations	Frătești
NEOGENE	Pliocene	qp ₁ - ro				

Figura 7.2 Geologia zonei de studiu

Au fost elaborate secțiuni geologice și interpretate pe baza datelor litologice utilizând extensia de modelare geologica a soft-ului GMS.

În urma analizei și corelării datelor geologice și geotehnice din forajele de avute la dispoziție, s-a realizat modelul hidrogeologic 3D al zonei de studiu.

În figurile următoare (Figura 7.3 , 7.4, 7.5 (1) si (2) sunt prezentate spațial limitele modelului geologic, cu indicarea profilelor geologice între forajele ce descriu modelul geologic 3D al zonei de studiu.

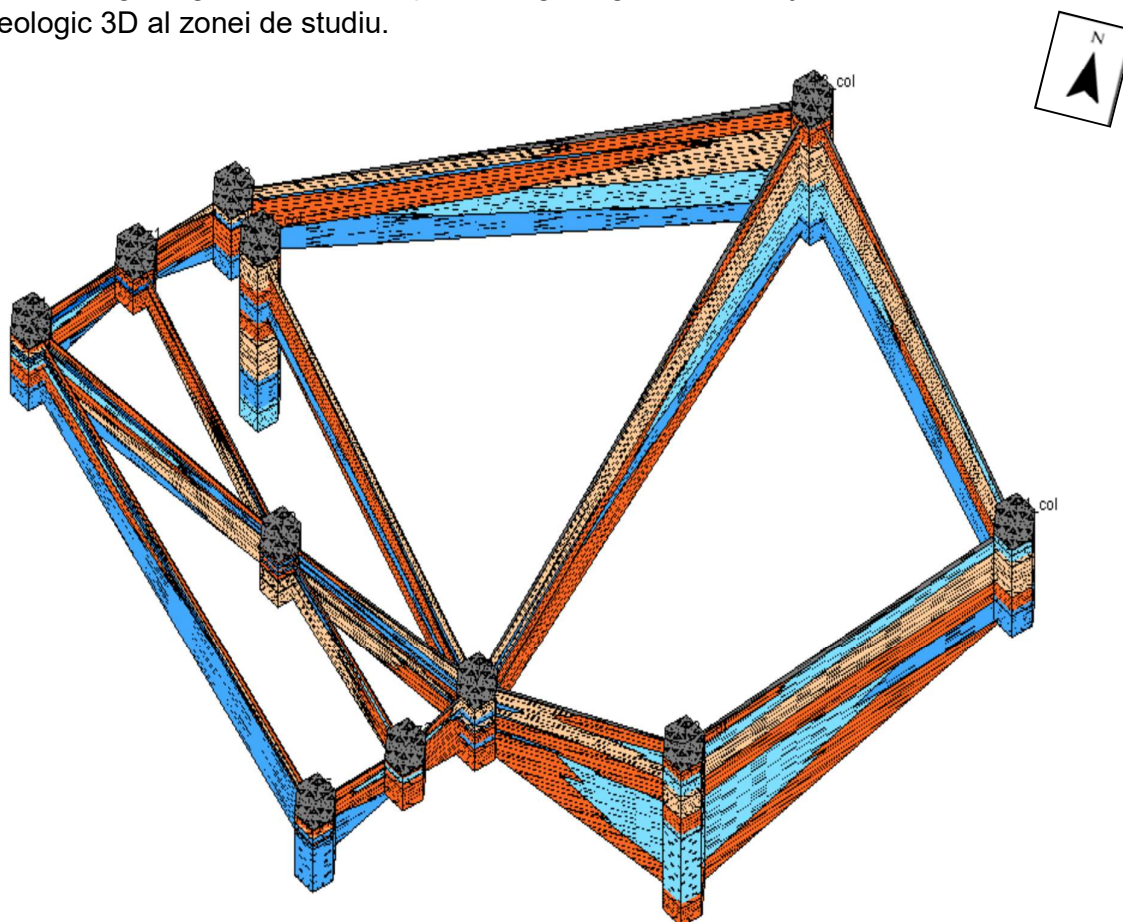
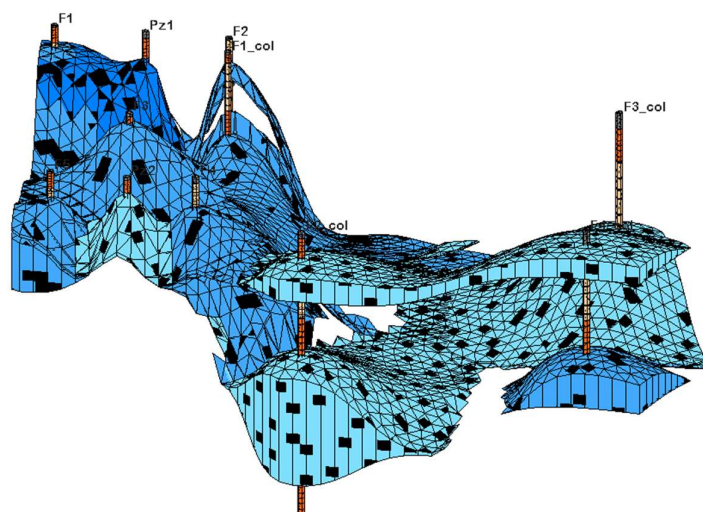
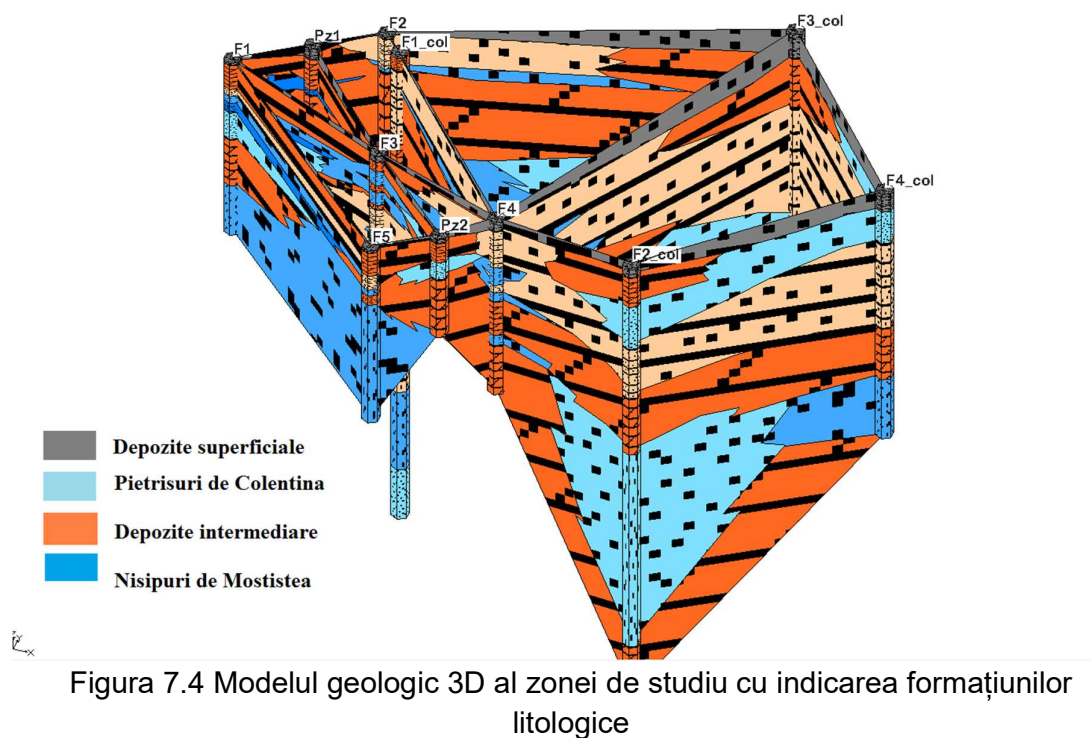


Figura 7.3. Profile geotehnice în zona de studiu



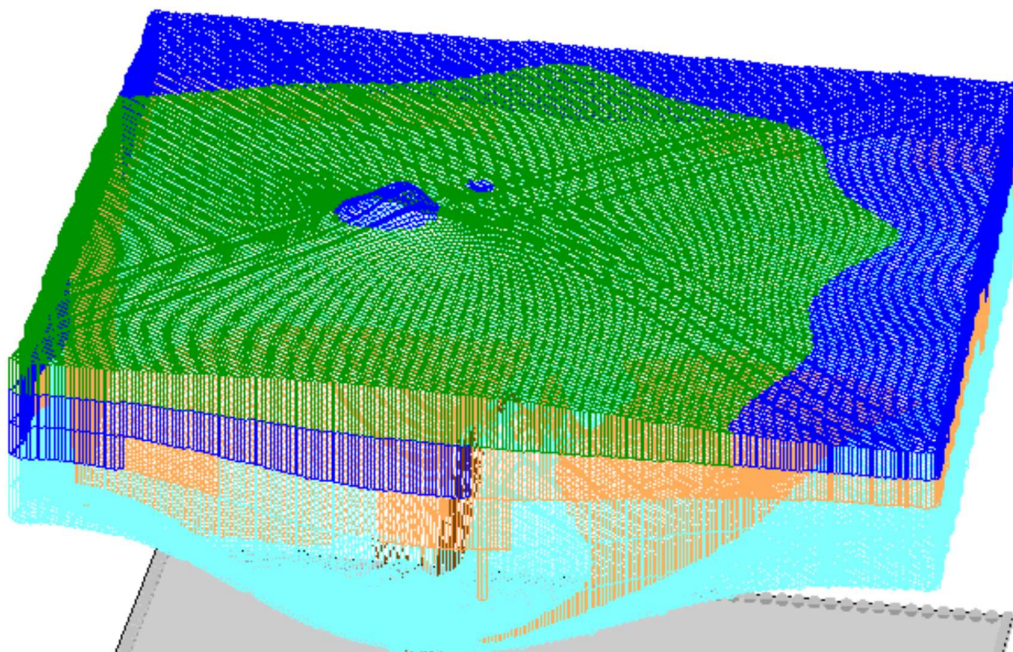


Figura 7.6 Block diagram pentru zona de studiu (2)

7.3. Parametrizare model conceptual

❖ Sistemul acvifer

a. Caracterizarea stratelor acvifere

Din punct de vedere hidrogeologic, în zona Municipiului București este cantonat un sistem acvifer cuaternar reprezentat de trei structuri acvifere importante.

Site-ul experimental Colentina, unde se dezvoltă modelul hidrogeologic a interceptat cele 2 acvifere de mică și medie adâncime, Colentina și Mostiștea.

Acviferul de mică adâncime - Pietrișurile de Colentina

Prezența nisipurilor și pietrișurilor din depozitele holocene și pleistocene au o importanță deosebită din punct de vedere hidrogeologic, în ele fiind acumulate surse mari de apă.

Orizontul pietrișurilor de Colentina este constituit din elemente psamo-psefitice, provenite din cuarțuri, gnaise, gresii, și mai rar calcare, prinse într-o matrice nisipoasă în care se poate recunoaște o stratificație torontală.

b. Comportamentul hidraulic

Plecând de la faptul ca modelul hidrogeologic prezinta un regim de curgere permanent, caracterizarea hidraulica a sistemului acvifer se realizeaza prin conductivitate hidraulica.

Valorile de conductivitate hidraulica au fost obtinute astfel:

- acviferul Colentina

Regim de curgere permanent, august 2016

- cuantificarea conductivității hidraulice prin teste de pompare

Pentru estimarea conductivității hidraulice, s-au efectuat pompări experimentale în forajele de studiu.

Pe baza datelor rezultate din pompare și cu ajutorul formulelor empirice au rezultat valorile de conductivitate hidraulică pentru acviferul Colentina.

Valoarea medie a conductivității hidraulice introduse în model pentru acviferul Colentina a fost de 35,0m/zi.

c. Realimentarea acviferului din precipitații

Regimul precipitațiilor din zona Municipiului București înregistrează maxime între lunile aprilie și octombrie. Acestea reprezintă aproximativ 2/3 din cantitatea de precipitații medie multi-anuală de 600mm/an.

Tabelul 7.1. Valori ce reprezintă debitul de realimentare a acviferului din precipitații

Tip zona	Realimentare (m/zi)
Parc	0.00015
Sosea	0.00001
Zona construita	0.00003

Valorile din tabel reprezintă debitul de realimentare a acviferului din precipitații.



Figura 7.7. Realimentarea din precipitații

d. Apele de suprafață

Apele de suprafață din zona de studiu sunt cele 2 lacuri, respectiv lacul Plumbuita și lacul Fundeni, situate pe cursul râului Colentina.

Pentru a putea realiza modelul au fost necesare impunerea unor condiții la limită și anume:

Dirichlet (sarcina hidrolică impusă) :

Nivelul apei în lacurile Plumbuita și Fundeni, măsurate în perioada septembrie 2016.

Tabelul 7.2. Nivelul apei în lacuri

Denumire	Nivel apă în lac (m)
Lac Plumbuita	68.89
Lac Fundeni	64.50

Ca ipoteză simplificatoare, pentru realizarea modelului, s-a considerat nivelul apei în aceste lacuri a fi constant pe întreaga suprafață a lacurilor.

e. Rețeaua de alimentare cu apă

Pierderile totale ale întregii rețele de alimentare cu apă a orașului București sunt estimate, de către operatorul de apă S.C. Apa Nova București S.A., la aproximativ $2,42\text{m}^3/\text{s}$. Aceste pierderi provin din următoarele subsisteme ale sistemului de alimentare cu apă al Municipiului București: (Constantin Radu, 2014)

Tabelul 7.3. Pierderi din rețeaua de alimentare cu apă

Tipul ocupării solului	Factorul de realimentare
Parcuri, strazi	20-25% din precipitații
Zone construite	0% din precipitații

7.4. Calibrarea modelului

Calibrarea s-a realizat prin metoda numerică, a diferențelor finite, utilizând softul Modflow, de la USGS (Harbaugh et. Al. 2000)

Softul Modflow este unul dintre cele mai utilizate programe de calcul pentru modelarea curgerii apelor subterane. Programul constă în integrarea ecuației de difuzivitate în condiții de frontieră impuse, prin metoda diferențelor finite.

Metoda de calcul utilizată

Metodologia întocmirii modelului hidrogeologic a necesitat parcurgerea următoarelor etape:

a. Procurarea datelor de bază necesare efectuării modelului

- date geologice și hidrogeologice
- date topografice

b. precizarea domeniului în care se extinde modelul de calcul

Domeniul în care se extinde modelul de calcul este determinat de condițiile specifice amplasamentului, urmărindu-se în special poziția construcțiilor proiectate.

Limitele domeniului de mișcare a apei subterane pot fi:

- limite obiective, care au un corespondent fizic în natură cum ar fi suprafața terenului natural, contururile construcțiilor etc.;
- limite alese arbitrar care nu au corespondent fizic în natură, impuse de necesitatea realizării unui domeniu finit.

c. Discretizarea domeniului în elemente finite

La discretizarea domeniului s-a ținut cont de poziția construcției și de prezența elementelor constructive care au necesitat o discretizare mai fină în vederea îmbunătățirii preciziei.

- d. Analiza datelor de bază și precizarea valorii de calcul, pentru diferiți parametri cum este conductivitatea hidraulică, debite, nivele, etc.

Parametrii de calcul, conductivitatea hidraulică, nivelele de apă subterană, debite au fost determinate, prelucrate și interpretate în urma testelor de pompare experimentale efectuate în zona de studiu.

- e. Stabilirea condițiilor de margine

Condițiile de margine sunt de tip sarcină hidraulică impusă.

- f. Calibrarea modelului

Distribuția conductivității hidraulice a fost considerată constantă, $k=35\text{m/zi}$, reprezentând valoarea medie calculată din testele de pompare.

Raportul de anizotropie care s-a utilizat la calibrare a fost $k_v/k_h=1$.

7.5. Scenarii de modelare

Cum de altfel stim, un element foarte important în comportarea și curgerea apei subterane este conductivitatea hidraulică, dependentă de direcția de curgere după care s-a făcut măsurătoarea.

Caracterizarea formațiunilor permeabile ca omogene/neomogene și izotrope/anizotrope este influențată determinant de scara la care este privit fenomenul:

- la scara mică, majoritatea formațiunilor sunt neomogene și anizotrope;
- ca de exemplu, de la o anumită scară, caracteristicile medii permit schematizarea mediilor permeabile ca omogene și izotrope.

Anizotropia este determinată de particularitățile structurale care de regulă, au caracter direcțional.

7.5.1. Variația gradului de anizotropie

Eterogenitatea mediului este caracterizată ca fiind stratificată și direcțională, astfel

- o în cazul terenurilor necoezive (nisipuri și pietrișuri), analizând din punct de vedere al raportului de anizotropie, se constată o variație mică a gradului de anizotropie, valoare apropiată de 1, datorită granulelor de dimensiuni mari și a modului de distribuție în scheletul mineral
- o în cazul terenurilor coezive și slab coezive (argile, prafuri argiloase, loessuri), se constată o variație mare a gradului de anizotropie, supraunitară, dat fiind

faptul ca aceste tipuri de roci detritice, macroporice, cu aspect poros, avand in constitutia sa, in mare parte nisip fin (20-50%) si praf argilos, este permeabil.

7.5.2. Variația debitului

Debitul este un parametru important în alegerea, respectiv dimensionarea și exploatarea sistemelor de epuiment.

În curpînsul modelului, în scenariile de modelare, debitul a fost variat pe o plaja de valori de la 10 la 100m³/zi.

Prin variația crescatoare a debitului, s-au putut urmări denivelările înregistrate și suprafețele piezometrice rezultate în urma pomparii, mai ales în zona de influență a forajului.

Denivelările maxime/suprafețe piezometrice mari au fost obținute la debite mari de pompare.

Pentru a putea analiza influenta coeficientului de anizotropie, am efectuat scenarii de modelare pentru debite de pompare ($Q=10\div 100$) diferite, la diferite grade de anizotropie ($k_v/k_h=0,1\div 1$)

Simulările de calcul au fost efectuate pentru 100 de scenarii, fiecărei valori de debit i s-a atribuit o valoarea a raportului de anizotropie, din care au rezultate valori ale nivelelor piezometrice, pentru care am facut diferențe între suprafețele piezometrice obținute pentru fiecare scenariu, respectiv ipoteză de calcul.

7.6. Rezultate modelare

Modalități de interpretare:

❖ Varianta 1

Această varianta de interpretare ia în considerare următoarele: (debite variabile, la diferite grade de anizotropie), atât grafic cât și numeric se poate constata:

- la grade de anizotropie mari ($k_v/k_h=0,1\div 0,4$), denivelările sunt mari;
- acest lucru este pus în evidența în vecinătatea forajului de pompare, fata de forajul de observatie, putându-se observa și în tabelul 7.4:

Tabelul 7.4. Denivelările obținute pentru rapoarte de anizotropie

Raport de anizotropie (k_h/k_v)	Denivelarea s (m)
0,1	1,96
0,2	1,89

Optimizarea caracterizării hidrogeologice a mediului subteran în vederea realizării epuimentelor pentru lucrările de excavații adânci

0,3	1,78
0,4	1,35
0,5	1,24
0,6	1,12
0,7	1,03
0,8	0,98
0,9	0,95
1	0,88

Valorile de denivelare obținute au fost reprezentate grafic în figura 7.11.

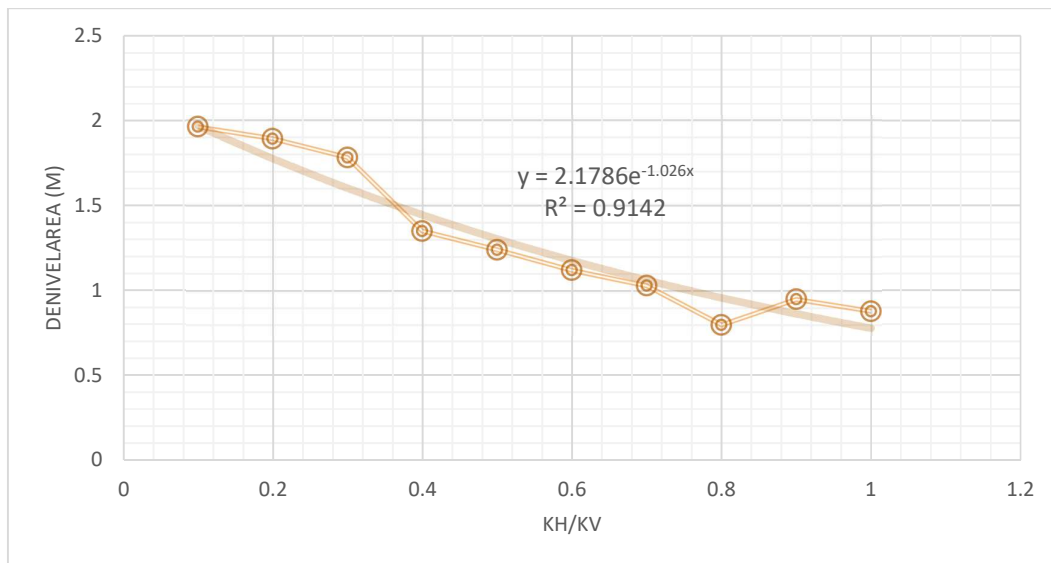


Figura 7.11. Reprezentare grafică a valorilor de denivelare obținute

În figura 7.11 se poate observa corelația liniară dintre rapoartele de anizotropie și denivelările obținute în urma pomparilor.

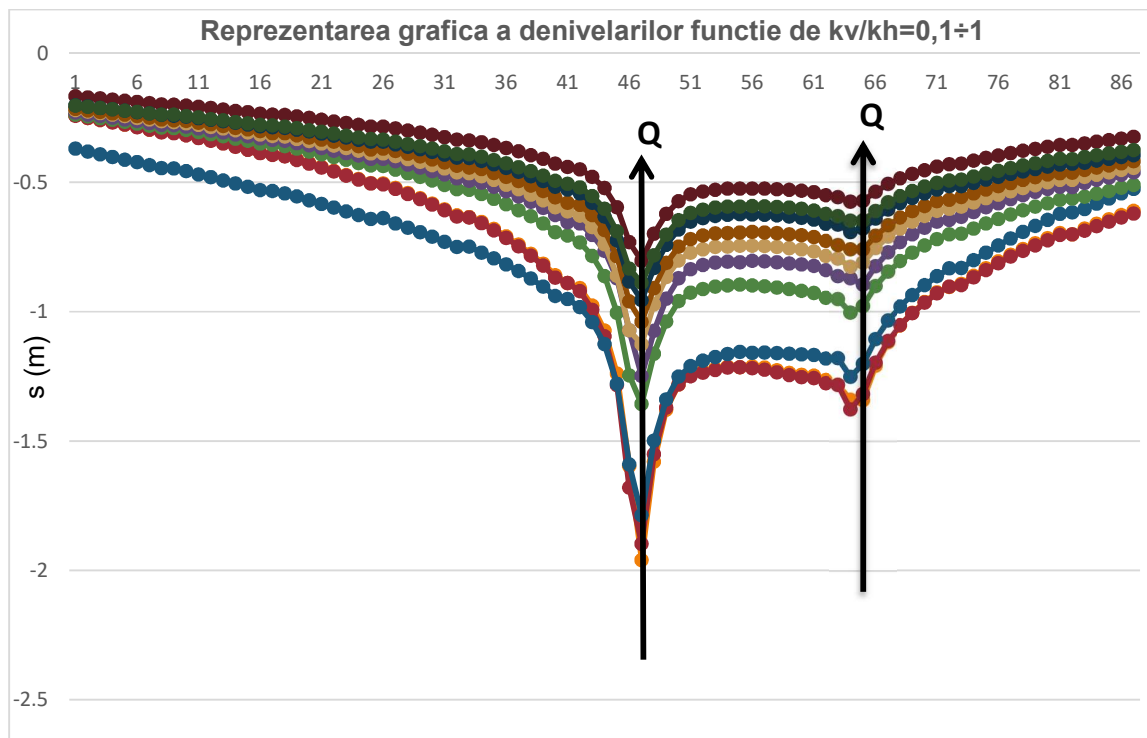


Figura 7.12. Reprezentare grafică denivelări

Deasemenea, în figura 7.12, se poate observa evoluția denivelarilor obținute la anumite grade de anizotropie, la grade de anizotropie mari se constată o creștere semnificativă a valorilor denivelarilor înregistrate comparativ cu gradele de anizotropie apropiate de valoarea raportului de 1. După cum se observă în punctul de inflexiune al graficelor există o scădere semnificativă a valorii denivelării, la grade de anizotropie mari

Varianta 2:

Printr-o altă variantă de interpretare, utilizând același algoritm de calcul, adică variația celor 2 parametri, de această dată, debitul și raportul de anizotropie, am reprezentat matricial valorile denivelarilor obținute.

Tabelul 7.5. Matricea denivelarilor

Hani (kv/kh)	Q=10	Q=20	Q=30	Q=40	Q=50	Q=60	Q=70	Q=80	Q=90	Q=100
1	0,116	0,235	0,354	0,471	0,591	0,710	0,711	1,368	0,915	1,114
0,9	0,127	0,246	0,372	0,497	0,624	0,749	0,879	1,001	1,131	0,9414
0,8	0,133	0,26	0,394	0,524	0,524	0,792	0,925	1,06	1,198	0,9993
0,7	0,133	0,274	0,409	0,551	0,692	0,834	0,976	1,122	0,96	1,0534
0,6	0,145	0,29	0,453	0,594	0,745	0,897	1,05	1,049	1,032	1,1399
0,5	0,157	0,323	0,482	0,652	0,803	0,971	1,137	0,989	1,122	1,2469
0,4	0,177	0,358	0,534	0,718	0,898	1,097	0,963	1,103	1,255	1,3698
0,3	0,342	0,546	0,746	0,951	1,159	1,075	1,237	1,398	1,553	1,7214
0,2	0,24	0,478	0,72	0,961	1,218	1,114	1,319	1,514	1,711	1,92381
0,1	0,236	0,48	0,724	0,964	1,212	1,129	1,312	1,516	1,714	1,90536

Analizând matricea denivelărilor în centrul de greutate, pentru coeficientul de anizotropie la debitele crescătoare, se pun în evidență 3 zone/situații:

- **zona 1** - [B1 – caracterizată prin debite mici] - **kv/kh** are o influență “mică” asupra calculului sistemului de epuismenț, deoarece variația denivelărilor observată în model este scăzută raportat la faptul că debitele sunt crescătoare;
- **zona 2** - [B2 – caracterizată prin debite medii] - **kv/kh** are o influență “medie” asupra calculului sistemului de epuismenț;
- **zona 3** - [B3 – caracterizată prin debite mari] - **kv/kh** are o influență “mare” asupra calculului sistemului de epuismenț, se remarcă o influență accentuată a creșterii denivelării, la coeficienți mari de anizotropie, și debite mari;

Varianta 3:

Pentru a analiza eficiența sistemului de epuismenț al cărui efect principal este denivelarea (**s**), s-a efectuat o corelație, la o scară normalizată a parametrilor (**kv/kh/Q** și **s**), astfel a rezultat graficul cu efectul celor 2 parametri asupra denivelării produse de pompă:

- **kv/kh/Q**, respectiv raportul celor doi coeficienți de conductivitate hidraulică raportat la randul lui la debitul pompat
- **s** = denivelarea în centrul de greutate al pomparii

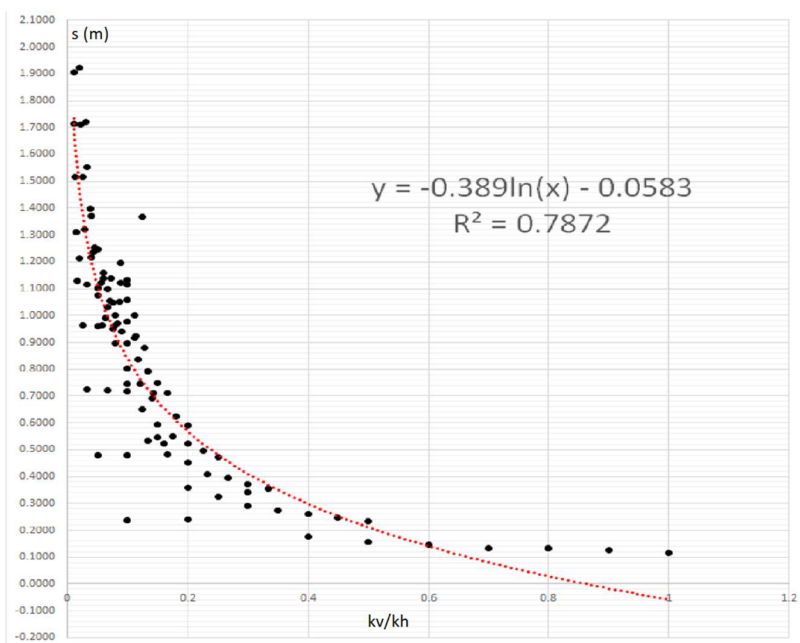


Figura 7.13.Reprezentarea grafică a kv/kh/Q si s

Analizând reprezentarea grafică, se poate constata:

- sau obținut denivelări mari, pentru valori ale raportului kv/kh mici, la debite mari, de unde rezultă că influența raportului de anizotropie este scăzută
- la denivelări mici, valorile raportului kv/kh sunt mari, iar debitele mici, rezultă o influență puternică a anizotropiei

Datele din Tabelul 7.5, reprezentând denivelări, au fost prelucrate suplimentar cu scopul de a se obține mai multe informații care să pună în evidență importanța acestor parametri în definirea denivelărilor rezultate ca urmare a depresionării prin pompare a nivelului apei subterane. Pentru a nu încărca figurile această analiză s-a făcut doar pentru 50% din cele 100 variante studiate, acest lucru ne perturbând analiza făcută.

În figura 7.13 sunt reprezentate denivelările obținute în centrul de greutate al incintei pentru care s-a făcut simularea. În abscisa s-a reprezentat gradul de anizotropie, respectiv raportul celor doi coeficienți de conductivitate hidraulică iar în ordonată denivelările obținute în urma pompărilor; așa cum s-a prezentat mai sus, pentru fiecare grad de anizotropie s-au modelat zece valori pentru debitul pompat. Concluziile care se desprind din analiza graficelor din figura 7.13 sunt:

- Pentru grade de anizotropie mici, mai mici de 0,5 această caracteristică nu are influență asupra denivelării obținute; ea capătă semnificație pentru grade de anizotropie care diferențiază cele două conductivități cu un ordin de mărime (0,1);

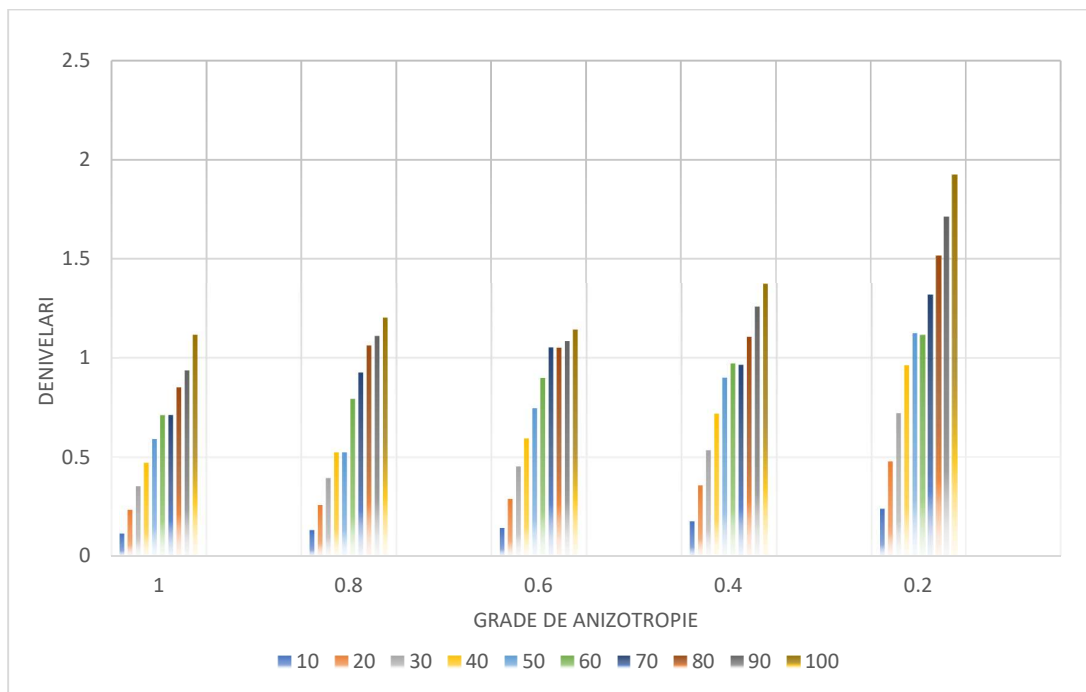


Figura 7.13. Influenta anizotropiei asupra denivelarii apei subterane.

- Așa cum era de așteptat, debitul pompat influențează denivelarea creată atât pentru mediu izotrop cat si pentru cel anizotrop; legea de variație a denivelărilor funcție de debitul pompat pare sa fie similara pentru oricare grad de anizotropie.

În figura 7.14 s-a reprezentat distribuția denivelărilor secvențiale (pe fiecare ecart de variație a gradului de anizotropie) funcție de debitul pompat. Este de fapt o reprezentare cumulativă a denivelărilor pentru gradele de anizotropie analizate, luând ca reper un același debit pompat.

Se pune mai clar în evidență observația de mai devreme, respectiv că variația denivelărilor se distribuie după aceeași lege pentru toate debitele luate în analiză.

De asemenea, diagramele obținute pun în evidență faptul că pentru grade de anizotropie mici denivelările nu variază, indiferent de debitul pompat, și că abia pentru anizotropii mai mari de 0,6 influența acestuia este pusă în evidență, mai pregnant pentru debite de pompare mari. Această concluzie a fost observată de altfel și în analiza figurii precedente.

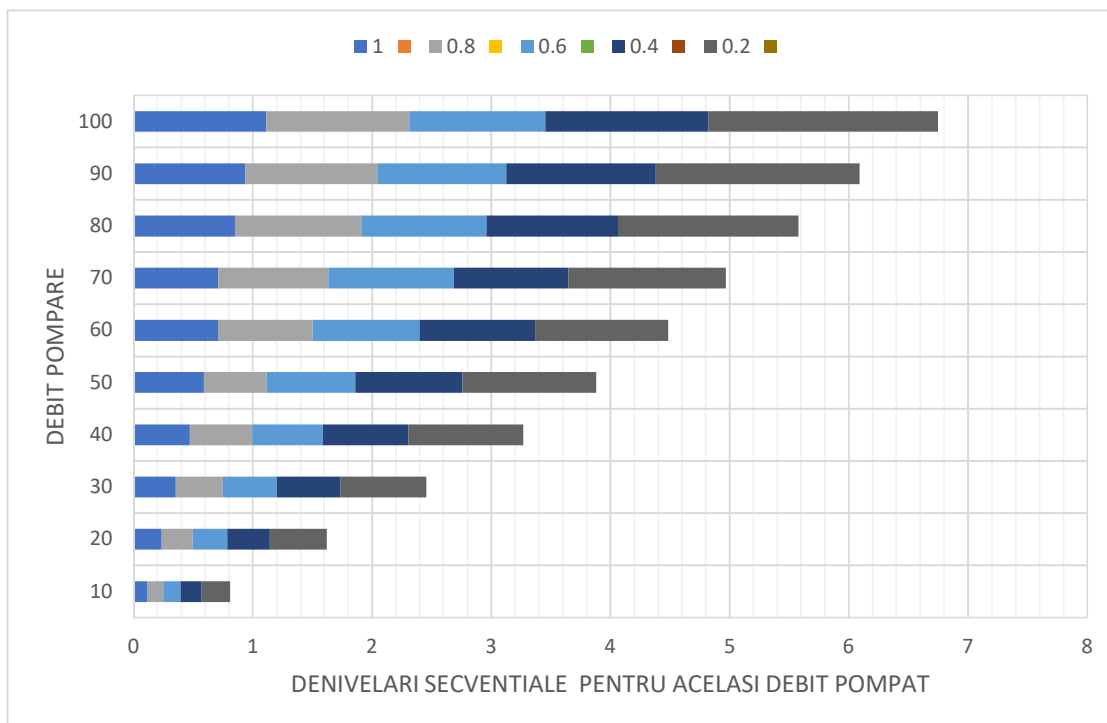


Figura 7.14. Influenta anizotropiei asupra denivelarii apei subterane (valori secventiale).

În figura 7.15 s-a reprezentat distribuția denivelărilor relative secvențiale funcție de debitul pompat. Pentru această analiza a fost calculat raportul între denivelările obținute pentru mediu anizotrop, cu cele 10 valori de anizotropie luate în analiză, respectiv mediu izotrop și s-au reprezentat pentru fiecare debit pompat. Reprezentarea din figura 7.15 permite formularea următoarelor observații:

- Pentru grade mici de anizotropie (mai mici de 0,6) raportul denivelărilor rămâne în vecinătatea valorii 1, pentru orice debit pompat, ceea ce demonstrează că la aceste valori anizotropia este nesemnificativă.
- Valoarea relativă a denivelării, în cadrul aceluiași grad de anizotropie, nu este influențată de debitul pompat.
- La debite mari, gradul de anizotropie influențează denivelarea relativă; graficul pune în evidență o ușoară reducere a denivelării relative în acest caz.

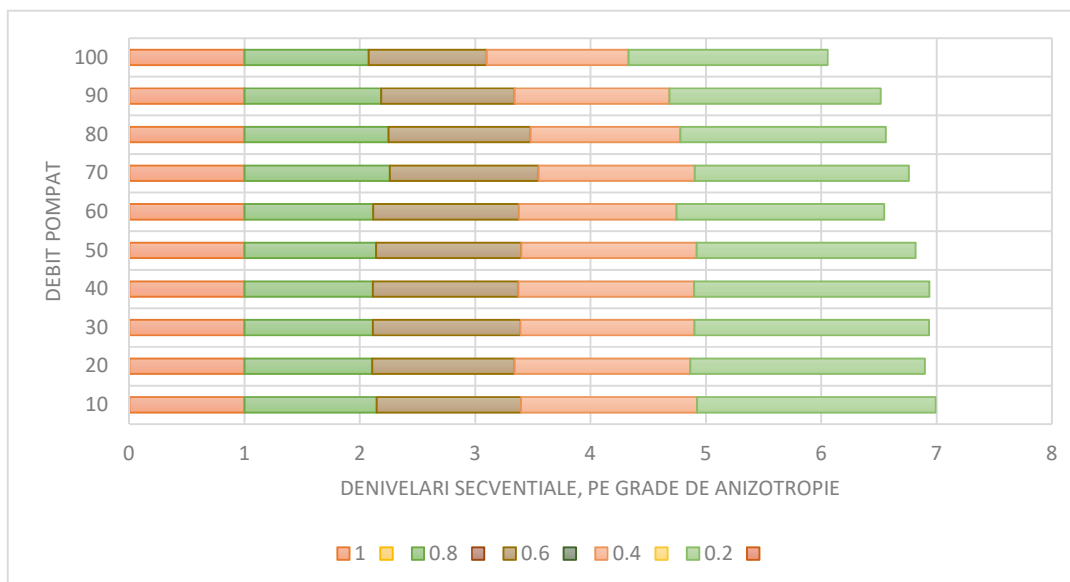


Figura 7.15. Influenta anizotropiei asupra denivelarii secvențiale relative.

În figura 7.16 s-a reprezentat distribuția denivelărilor relative secvențiale funcție de gradul de anizotropie. Pentru fiecare grad de anizotropie sunt reprezentate denivelările relative pentru cele zece valori ale debitului pompat.

Reprezentarea din figura 7.16 permite formularea următoarelor observații:

- La grade de anizotropie de peste 0.6 denivelarea variază cu mai puțin de 25% fata de cazul mediului izotrop;
- La un grad de anizotropie de 0.4 denivelarea variază cu valori de aproximativ 40-50%;
- Debitul pompat nu aduce modificări relevante asupra valorii relative a denivelării, în cadrul aceluiași grad de anizotropie;

La grade de anizotropie mai mici de 0.2 denivelarea relativa se dublează pentru mediul anizotrop, comparativ cu cel izotrop (modificări de 100%); influența debitului pompat este însă ne semnificativa și în acest caz (în limita a 10 – 15 %).

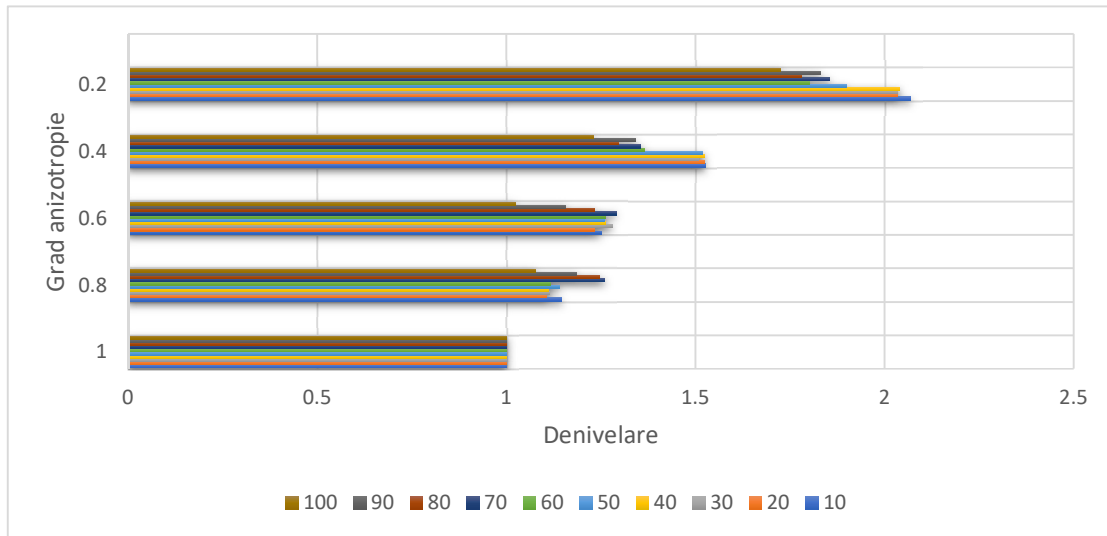


Figura 7.16. Dependenta denivelarilor relative functie de gradul de anizotropie.

În figura 7.17 s-a reprezentat distribuția denivelărilor cumulate funcție de debitul pompat, pentru cinci din gradele de anizotropie modelate – materializate prin cele cinci curbe din graficul menționat.

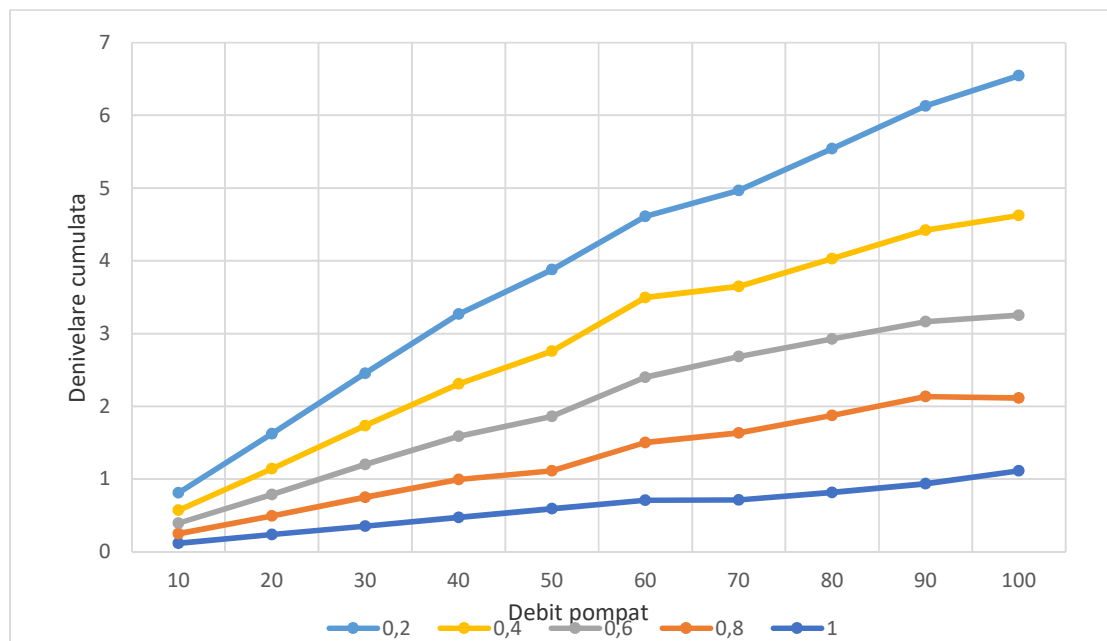


Figura 7.17. Dependenta denivelarilor relative functie de debitul pompat.

Reprezentarea din figura 7.17 confirmă și accentuează concluziile formulate în precedentele analize, respectiv:

- Debitul pompat influențează dominant denivelarea apei subterane;

- Creșterea denivelărilor la creșterea debitului este relativ liniară, aceasta fiind accentuată de nivelul anizotropiei.

În figura 7.18 s-a reprezentat distribuția denivelărilor cumulate funcție de gradul de anizotropie pentru fiecare valoare a debitului pompat.

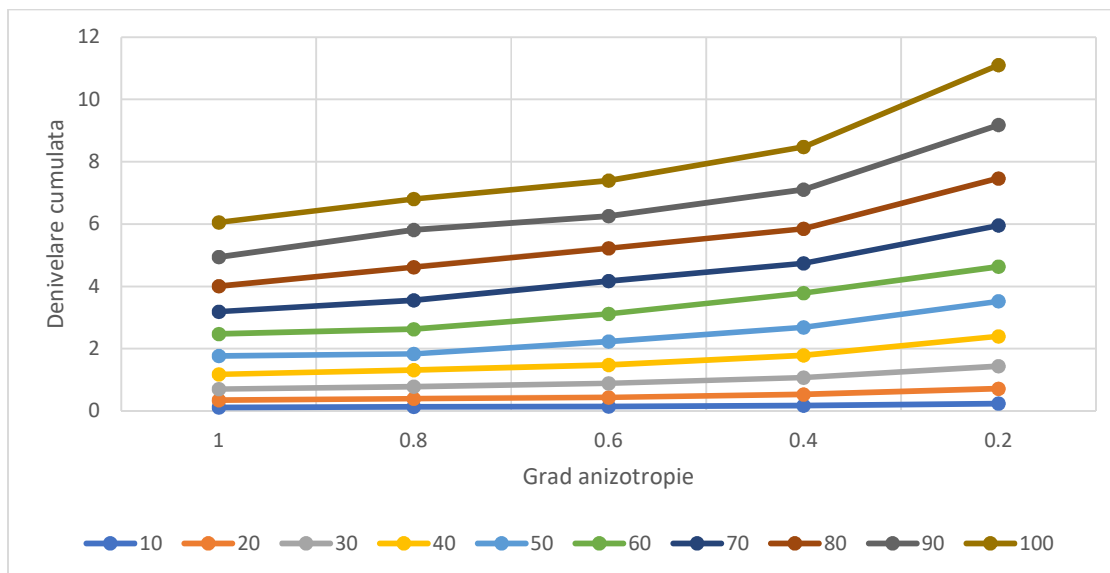


Figura 7.18. Dependenta denivelarilor cumulate funcție de gradul de anizotropie.

Si această prelucrare a datelor obținute prin modelare confirmă și accentuează concluziile formulate în precedentele analize, respectiv:

- Grade reduse ale anizotropiei au influență nesemnificativă asupra denivelărilor;
- Influența anizotropiei este importantă la valori ale acesteia mai mari de 0,2.

Reprezentarea din figura 7.19 sinterizează observațiile de mai sus și pune în evidență o relație de legătură în gradul de anizotropie (β) și denivelări (Δh):

$$\Delta h = 0.7402 \beta^2 - 1.5983 \beta + 1.545 \quad (7.8)$$

Relația pune în evidență faptul că la grade de anizotropie mici denivelarea este redusă, și crește pe măsură ce anizotropia crește. Dar din nou se poate trage concluzia că doar pentru grade de anizotropie care pun în evidență un ordin de mărime între cele două conductivități hidraulice, depresionarea nivelului este semnificativă.

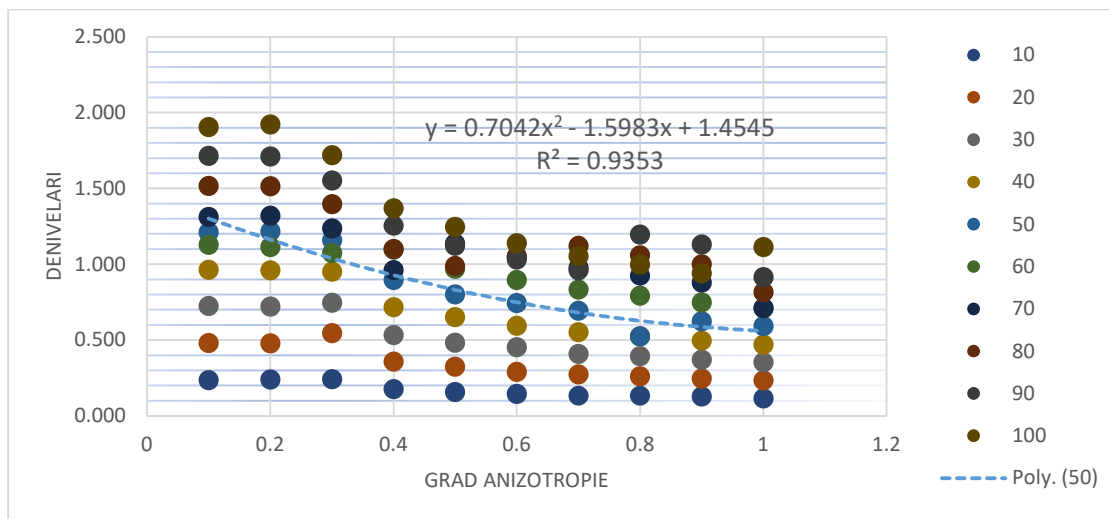


Figura 7.19. Dependenta denivelarilor de gradul de anizotropie.

8. CONCLUZII

Teza tratează un subiect de actualitate în domeniul realizării sistemelor de epuismenț în medii din ce în ce mai complicate și complexe, având în vedere dezvoltarea investițiilor în construcții.

Exigențele analizei acțiunii apei subterane asupra infrastructurii unei construcții sunt strict legate de corectitudinea, volumul de date și veridicitatea caracteristicilor geologice și hidrogeologice alese de către proiectant.

8. 1. SINTEZA CONTINUT

Obiectivul principal al lucrării de cercetare constă într-o descriere și evaluare a caracterizării mediului hidrogeologic pentru realizarea corectă și eficientă a lucrărilor de epuismenț.

Într-o primă secțiune a lucrării, în **Introducere**, am subliniat problemele legate de prezența apei subterane, în structurile hidrogeologice dar și multitudinea de soluții care ne permit executarea fundațiilor la adâncimile proiectate.

Capitolele 1 și 2 cuprind o descriere a mediului subteran și a interdependenței caracteristicilor ce îl definesc, respectiv: porozitatea, conductivitatea hidraulică, sarcina hidraulică, geometria acviferului, omogenitatea și eterogenitatea, izotropia și anizotropia mediului acvifer.

Caracteristicile mediului subteran sunt interdependente și ele guvernează comportamentul hidraulic al mediului subteran, interacțiunea apei subterane cu mediul, precum și comportamentul mediului în prezența apei, indiferent de forma în care aceasta se găsește în subteran: capilară, legată, dar mai ales cea gravitațională.

În Capitolul 3 al tezei s-a realizat un studiu bibliografic (analiză) al metodelor de investigare a mediului subteran pentru principalele lucrări de specialitate în hidrogeologie, privind particularitățile, modul de aplicabilitate, avantajele și dezavantajele fiecărei metode, dar și cuantificarea acestora cu privire la gradul de cunoaștere și informațiile pe care le poate oferi.

Sunt prezentate succint metodele de investigare hidrogeologica a mediului subteran, în funcție de natura terenului cercetat, de nivelul de cunoaștere cerut precum și de scopul urmărit. În timp practica ingineriasca a dezvoltat mai multe metode de investigare pentru traversarea formațiunilor acvifere, dintre care cea mai răspândită este cea a executării unor foraje, care pot fi realizate manual sau mecanic în funcție de gradul de investigare urmărit, respectiv funcție de natura și adâncimea straturilor interceptate.

Capitolul 4 al lucrării cuprinde o analiză a soluțiilor de control a nivelului apelor subterane. În cuprinsul acestui capitol sunt prezentate pe scurt soluțiile/metodele de depresiune a apei subterane, pentru execuția excavațiilor adânci, impactul acestora asupra mediului subteran precum și influența soluțiilor de realizare a fundațiilor adânci asupra condițiilor hidrogeologice. Sunt sintetizate o serie de metode uzuale de execuție a fundațiilor sub nivelul apei subterane, condițiile minime de aplicabilitate ale acestora și factorii care trebuie luați în seamă la alegerea și dimensionarea unui sistem de epuiment.

Utilitatea acestui capitol constă în prezentarea sistematică a acestor date, cu privire la adoptarea soluției de efectuare a epuimentelor dar și al eficienței și a modului corect de execuție.

Totodată, în cuprinsul acestui capitol, s-au evidențiat condițiile esențiale de care depinde un sistem de epuiment.

Capitolul 5 cuprinde o analiză critică privind dimensionarea sistemelor de epuiment, pentru lucrările de excavații care necesită execuția unor subsoluri sau parcuri subterane.

Plecând de la această ipoteză, sunt analizate trei studii de caz, privind dimensionarea sistemelor de epuiment, funcție de gradul de cunoaștere a factorilor ce tin de proiectare, a modului de exploatare și monitorizare.

Pentru fiecare studiu sunt specificate datele constructive ale investiției, datele geologice și hidrogeologice, precum și cele referitoare la proiectarea, exploatarea și monitorizarea sistemelor de epuimente.

Din păcate, sunt și situații, în care eficacitatea epuimentelor nu este conformă, și poate crea probleme.

Din această analiză, au fost descrise/detaliat situațiile în care sistemele de epuiment nu au rezultate eficiente și pot genera costuri și întârzieri în execuție.

O dimensionare corectă și eficientă are nevoie de informații precise despre succesiunea litologică, strate acvifere, nivel apă, acuratețe în realizarea testelor

hidrodinamice și prelucrarea datelor rezultate din pompare, o estimare precisă a volumului de apă ce trebuie pompat, realizarea piezometrelor, dar și de un sistem de monitorizare a apei subterane, funcționabil pe toată perioada de viață a epuishmentelor.

Capitolul 6, conține un studiu experimental, referitor la determinarea parametrilor hidrogeologici ai acviferului Colentina pentru un amplasament din București, respectiv site-ul experimental Colentina.

Site ul experimental ce face obiectul studiului este alcătuit din 7 foraje deja executate, din care 5 foraje cu adâncimea de 25,m au fost echipate ca foraje hidrogeologice pentru execuția pompărilor experimentale și 2 foraje cu adâncimea de 15,0m echipate ca piezometre de monitorizare a evoluției nivelului apei subterane.

Cunoscând toate aceste caracteristici constructive ale forajelor și implicit acviferele interceptate și nivelele apei subterane, am realizat un program de determinări in situ, prin pompări experimentale, în scopul determinării parametrilor hidrogeologici necesari efectuării modelului hidrogeologic al zonei de studiu.

Programul experimental de determinări “in situ” cuprinde 3 teste de pompare.

Datele rezultate din monitorizarea pomparii, au permis realizarea unor grafice de denivelare în timp, atât pentru perioada de pompare cât și pentru cea de revenire a fiecărui foraj în parte.

Pentru interpretarea datelor de pompare și de revenire din forajele hidrogeologice au fost folosite metode standard specifice condițiilor hidrogeologice identificate în zona de studiu.

Folosind datele din capitolul 6, se construiește un model conceptual în **Capitolul 7** care cuprinde o analiză a influenței coeficientului de anizotropie în comportamentul hidraulic al acviferului.

În procesul de modelare a fost analizată fiecare componentă a modelului conceptual și datele utilizate în cadrul fiecărei componente ce face parte din model.

Pe baza informațiilor obținute din forajele executate în teren, și ulterior prin analiza probelor de laborator a fost stabilită stratificatia detaliată a terenului care este prezentată în profilele forajelor.

Au fost elaborate secțiuni geologice și interpretate pe baza datelor litostratigrafice utilizând extensia de modelare geologică a soft-ului GMS. Au fost evidențiate cele 2 acvifere: acviferul de mică adâncime reprezentat de Pietrișurile de Colentina și acviferul de medie adâncime, Nisipurile de Mostiștea.

Modelul hidrogeologic prezintă un regim de curgere permanent, caracterizarea hidraulică a sistemului acvifer s-a realizat prin parametrul de conductivitate hidraulică. Distribuția spațială a conductivității hidraulice pentru acest model a avut o valoare de 35m/zi. Valorile de conductivitate hidraulică obținute în urma pompărilor

În cele 3 foraje, pentru care au fost aplicate formulele empirice din literatura de specialitate în vederea estimării punctuale a conductivității hidraulice.

Cu ajutorul acestui model, mai ales pe zona de studiu, se urmărește a se analiza influența raportului de anizotropie în pomparea acviferului.

Pentru a putea analiza influența coeficientului de anizotropie, am efectuat scenarii de modelare pentru debite de pompare ($Q=10\div 100$) diferite, la diferite grade de anizotropie ($k_v/k_h=0,1\div 1$)

Simulările de calcul au fost efectuate pentru 100 de scenarii, fiecărei valori de debit i s-a atribuit o valoare a raportului de anizotropie, din care au rezultate valori ale nivelelor piezometrice, pentru care am făcut diferențe între suprafețele piezometrice obținute pentru fiecare scenariu, respectiv ipoteză de calcul.

S-au realizat prelucrări ale datelor astfel:

- a. reprezentarea denivelarilor în centrul de greutate al incintei pentru care s-a făcut simularea, în raport cu gradul de anizotropie;

Din analiza graficelor rezultată faptul că pentru grade de anizotropie mici, mai mici de 0,5 aceasta caracteristică nu are influența asupra denivelării obținute; ea capătă semnificație pentru grade de anizotropie care diferențiază cele două conductivități cu un ordin de mărime (0,1);

- b. reprezentarea distribuției denivelarilor secvențiale în funcție de debitul pompat, mai exact reprezentarea cumulativă a denivelarilor pentru grade de anizotropie la același debit pompat;

Analiza diagramele obținute pun evidența faptului că pentru grade de anizotropie mici denivelările nu variază, indiferent de debitul pompat, și că abia pentru anizotropii mai mari de 0,6 influența acestuia este pusă în evidență, mai pregnant pentru debite de pompare mari.

- c. distribuția denivelarilor relative secvențiale în funcție de gradul de anizotropie; pentru fiecare grad de anizotropie s-au reprezentat denivelările relative pentru cele zece valori ale debitului pompat;

Din reprezentarea acestora rezultă că:

- La grade de anizotropie de peste 0,6 denivelarea variază cu mai puțin de 25% față de cazul mediului izotrop;
- La un grad de anizotropie de 0,4 denivelarea variază cu valori de aproximativ 40-50%.
- Debitul pompat nu aduce modificări relevante asupra valorii relative a denivelării, în cadrul aceluiași grad de anizotropie;

- La grade de anizotropie mai mici de 0.2 denivelarea relativă se dublează pentru mediul anizotrop, comparativ cu cel izotrop (modificări de 100%); influența debitului pompat este însă ne semnificativă și în acest caz (în limita a 10 – 15 %).

Reprezentările mai sus evidențiate, respectiv analiza datelor, subliniază faptul că, grade reduse ale anizotropiei au influență nesemnificativă asupra denivelărilor, iar Influența anizotropiei este importantă la valori ale acesteia mai mari de 0,2.

8. 2. CONTRIBUȚII PERSONALE

În cadrul acestei lucrări contribuțiile proprii sunt următoarele:

- Realizarea unui studiu bibliografic privind metodele de investigare ale mediului subteran, ce cuprinde descrierea detaliată privind particularitățile, și modul de utilizare funcție de scopul și gradul de detaliere urmărit;
- Elaborarea unui studiu de sinteză pentru situații reale privind dimensionarea sistemelor de epuiment, exploatarea, și monitorizarea acestora;
- Efectuarea unei campanii de măsurători în foraje (măsuratori de nivel în foraje de studiu, denivelari);
- Realizarea unui program experimental de determinări “in situ”, care a constatat în teste de pompare pentru determinarea parametrilor hidrogeologici ai mediului acvifer, studiu de caz, complex experimental Colentina;
- Realizarea calculului parametrilor hidrogeologici pentru acviferul Colentina, în regim permanent, prelucrarea și interpretarea datelor obținute;
- Elaborarea modelului 3D al zonei de studiu în vederea obținerii informațiilor referitoare la limitele ce definesc principalele unități hidrostratigrafice;
- Elaborarea unui model conceptual al zonei de studiu,;
- Realizarea unor ipoteze de modelare privind analiza coeficientului de anizotropie asupra comportamentul hidraulic al acviferului;

Teza de doctorat, aduce un aport de noutate, în ceea ce privește parametrul de conductivitate hidraulică în proiectarea sistemelor de epuiment, și nu numai.

Mărimea acestuia, în modelarea și dimensionarea unui epuiment, are un aport mare, dat fiind faptul că este caracteristica/parametrul elementar în alegerea soluției de epuizare a apei subterane din excavații.

Problemele curgerii într-un domeniu anizotrop poate fi transformat în cele din urmă într-un domeniu izotrop echivalent folosind anumite relații.

Odată ce soluțiile de analiză sunt obținute pentru domeniul izotrop echivalent, ele pot fi înapoi transformate în domeniul anizotrop original utilizând inversul acestor relații.

BIBLIOGRAFIE

- Liteanu E. – *Hidrogeologie aplicata*, Ed. Tehnică, Bucuresti, 1953.
- Zamfirescu F. – *Elemente de bază în dinamica apelor subterane*, Ed. Didactică și pedagogică, R.A., București 1997.
- R. Ciocardel – *Hidrogeologie*, Ed. Tehnică, 1952.
- Bica I - *Remediarea siturilor contaminate*. Editura Orizonturi Universitare Timișoara, ISBN 978-973-638-580, 2014.
- Constantin T. – *Îndrumător pentru executarea forajelor de apă*, Ed. Ceres București, 1986
- Albu Ghe. – *Prelucrarea și sinteza datelor hidrogeologice*, Ed. Tehnică, București.
- Ivan C. – *Calculul sistemelor de drenaj*, Ed. Tehnică, București, 1985.
- Juvale D. T. – *Geologia mediului subteran*
- Albu M. - *Drenanța în regimul apelor subterane*. Hidrotehnica, Vol. 15, nr. 4, p. 202-208 București, 1970
- Albu M. - *Mecanica apelor subterane*, Ed. Tehnică, București, 1981
- Bear J. - *Hydraulics of Groundwater*. McGraw-Hill, New York, 567 p., 1979
- Chapuis, R.P., Gill, D.E., Baass, K. - *Laboratory permeability tests on sand: influence of the compaction method on anisotropy*. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 26, pp. 614–622, DOI: 10.1139/t89-074, 1989
- Constantinescu, Gh. P. - *Captările de ape subterane din România*. Editura Tehnică, 1980.
- Chossat J. C. - *La mesure de la conductivite hydraulique dans les sols*, Editions TEC&DOC, rue Lavoisier, 2005
- Kasenow, M. - *Determination of Hydraulic Conductivity from Grain Size Analysis*, Water Resources Publications, LLC, Highlands Ranch, Colorado, 97p., 2002
- CCIAS - *Modelul geologic 3D pentru principalele suprafețe stratigrafice ale sistemului aluvionar Moesic*. Raport în cadrul proiectului PLATFORMA DE GESTIUNE A APEI SUBTERANE DIN MEDIUL SEDIMENTAR ÎN ZONE URBANE, Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti, Bucuresti, 2012.
- Krumbein, W.C., Monk, G.D. - *Permeability as a function of the size parameters of unconsolidated sands*. Transaction of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Vol. 151, pp. 153-163, 1943

Păunescu. M., Pop V., Silion T. – *Geotehnică și fundații*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1982.

Manoliu I. - *Fundații și procedee de fundare*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1977.

Siminea I. - *Geotehnică și fundații*, Ed. Bren, București, 2000.

Ivan C. - *Calculul sistemelor de drenaj*, Ed. Tehnică, București, 1985.

Păunescu M., Haida V., Gruia A. – *Fundații*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1986.

Société Canadienne de Géotechnique. Manuel Canadien d'ingénierie des foundations- Second

Manoliu I., N. Rădulescu – *Geotehnică și fundații*, Ed. Tehnică București, 2000.

Marchidanu E. - *Normativ privind proiectarea geotehnică a lucrărilor de epuismențe*, Ed. Tehnică București, 2011.

Albu Ghe. - *Prelucrarea și interpretarea datelor hidrogeologice*, Ed. Tehnică București, 1986.

N. Dimache, I. Iancu – *Elemente generale de hidraulică*, Editura Tehnică București, 2012.

Frunza G. - *Modelarea fenomenelor de interacțiune dintre apele subterane și structurile geotehnice subterane*, 2013.

Chetan L. - *Cercetări privind proiectarea sistemelor de epuismenț pentru fundații adânci, pe teritoriul municipiului București*, București, 2011

Marchidanu E. - *Hidrologia în ingineria construcțiilor*, Ed. Tehnică București 11, 1996.

Scrădeanu D., Albu. Gh. - *Hidrogeologie Generală*, Ed. Universității din București, 2007.

Albu M. - *Mecanica apelor subterane*, Ed. Tehnică, București, 1981.

Zamfirescu F. – *Elemente de bază în dinamica apelor subterane*, Editura Tehnică București, 1997.

Cooper, H.H. and C.E. Jacob, 1946. - *A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history*, Am. Geophys. Union Trans., vol. 27, pp. 526-534.

Domenico, P.A. and F.W. Schwartz, 1990. - *Physical and Chemical Hydrogeology*, John Wiley & Sons, New York, 824 p.

Giurconiu, M. et al – *Construcții și instalații hidroedilitare*, Editura de Vest, Timișoara, 2002.

Albu Ghe. – *Aplicații și probleme de hidrogeologie*, Universitatea București, Facultatea de Geologie-Geografie, 1983.

Pietraru V. – *Calculul infiltrațiilor*, Editura Ceres, București, 1977.

Radulescu N. – *Fundații de adâncime. Modelarea analitică a interacțiunii fundație teren*, Editura Matrixrom, București, 2001.

Raileanu P. – *Geotehnica și Fundații. Exemple de calcul*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1986.

Simionescu A. – *Tehnologii pentru excavarea lucrărilor de construcții subterane*, Editura Tehnică, București, 1985.

Preda I. – *Geologie inginerască*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1965.

Botezatu R. – *Metode geofizice de cercetare a subsolului*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1964.

Stanciu A, Lungu I. – *Fundații*, Editura Tehnică, București, 2005.

Gheorghe A, Bomboe P. – *Hidrogeologie miniera*, Editura Tehnică, București, 1963.

Maier N, Paunescu M. – *Geotehnica și fundații*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1967.

Liteanu E. – *Geologia zonei orașului București*, 1952.

Stanculescu I. – *Curs de geotehnica și fundații*, partea I-a, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1961.

Constantin R.G. – *Soluții viabile în hidrogeologia urbană*, Editura Conspress, București, 2014.

*****Stas SR 1629-2 – *Alimentări cu apă, Captarea apelor subterane prin puțuri, Prescripții de proiectare*

*****NP 133 – *Normativ privind proiectarea, execuția și exploatarea sistemelor de alimentare cu apă și canalizare a localităților*, Partea I-a Sisteme de alimentare cu apă a localităților, 2013

******Normativ privind cerințele de proiectare și execuție a excavațiilor adânci în zone urbane, indicativ NP 120, 2006*

*****S.T.A.S. – *Captarea apelor subterane prin puțuri*.

Studii hidrogeologice realizate de către I.N.C.D.I.F. – ISPIF București, 2016.