

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI
FACULTATEA DE HIDROTEHNICĂ

- TEZĂ DE DOCTORAT -

- REZUMAT -

**CERCETĂRI PRIVIND INFLUENȚA CĂILOR NAVIGABILE
AMENAJATE ASUPRA SURSELOR DE APĂ DIN ACVIFERELE
FISURAL - CARSTICE**

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:
PROF. UNIV. DR. ING. IOAN BICA

DOCTORAND:
ING. MATEI MOLDOVEANU

BUCUREȘTI
2022

CUPRINS

1. INTRODUCERE	6
2. CIRCULAȚIA APEI SUBTERANE ȘI MECANISME DE POLUARE	8
2.1. Caracteristici generale	8
2.2. Parametrii de curgere și ecuații generale.....	8
2.3. Aspecte privind mecanismele de poluare	8
3. CANALE NAVIGABILE ȘI INTERACȚIUNEA CU APELE SUBTERANE	9
3.1. Concepte constructive ale canalelor navigabile.....	9
3.1.1. Traseul canalelor navigabile	9
3.1.2. Profilul longitudinal.....	9
3.1.3. Secțiunea transversală.....	10
3.1.4. Protejarea taluzurilor	10
3.1.5. Impermeabilizarea canalelor navigabile	10
3.2. Canale navigabile existente în lume.....	11
Sunt prezentate principalele canale navigabile existente în lume: Marele Canal Chinezesc, Canal du Midi, Canalul Suez, Canalul Main – Dunăre și Canalul Panama	
3.3. Caracteristici constructive ale canalelor navigabile cercetate	11
3.3.1. Caracteristici constructive ale canalului navigabil Dunăre – Marea Neagră.....	11
3.3.2. Caracteristici constructive ale canalului navigabil Poarta Albă – Midia, Năvodari.....	11
4. CARACTERISTICILE DE MEDIU, GEOLOGICE ȘI HIDROGEOLOGICE ALE ZONEI STUDIAȚE.....	13
4.1. Condiții geologice și structural tectonice	13
4.2. Condiții geomorfologice	17
4.3. Condiții hidrologice.....	17
4.4. Condiții climatologice	17
4.5. Condiții hidrogeologice	18
4.5.1. Complexul acvifer Juristic superior – Cretacic inferior (inferior)	18
5. CERCETĂRI ÎN AMPLASAMENTUL CANALELOR NAVIGABILE.....	21
5.1. Elemente hidrodinamice ale acviferelor fisural – carstice	21
5.1.1. Elemente hidrodinamice specifice acviferelor carstice	21
5.1.2. Interacțiunea cantitativă dintre canalele navigabile și acvifer.....	22
5.1.3. Cercetări hidrogeologice în zona canalelor navigabile.....	22
5.2. Elemente hidrochimice ale acviferelor fisural – carstice din zona cercetată.....	24

5.2.1.	Evoluția calității apei subterane.....	24
5.2.1.1.	Studii hidrochimice realizate la scară regională în Dobrogea de Sud în perioada 1993 – 2015	24
5.2.1.2.	Studii hidrochimice realizate în zona cercetată în perioada 2000 - 2018	26
5.2.1.2.1.	Calitatea apei în canalele navigabile cercetate	27
5.2.1.2.2.	Calitatea apei în priza de apă Galeșu din canalul Poarta Albă – Midia, Năvodari .	28
5.2.1.2.3.	Calitatea apei în sursele de apă subterane din vecinătatea canalelor navigabile.....	28
5.2.2.	Interacțiune calitativă a canalelor navigabile cu acvifere.....	29
5.2.2.1.	Canalul navigabil Dunăre – Marea Neagră.....	29
5.2.2.2.	Canalul navigabil Poarta Albă – Midia, Năvodari.....	30
5.3.	Principalele surse subterane din zona cercetată.....	30
5.3.1.	Sursele de apă subterană vulnerabile.....	30
5.3.2.	Surse de apă subterană sigure în exploatare	31
6.	MODELAREA NUMERICĂ PE UN STUDIU DE CAZ.....	32
6.1.	Reprezentarea modelului.....	32
6.2.	Modelul utilizat.....	35
6.3.	Gridul modelului studiat	35
6.4.	Calibrare model.....	35
6.5.	Studiu de caz	38
6.5.1.	Ipoteza 1 – Creșterea debitelor	41
6.5.2.	Ipoteza 2 – Transport de poluant	42
6.5.3.	Ipoteza 3 – Propunerea a două noi captări subterane	44
6.6.	Model numeric local.....	45
6.6.1.	Ipoteza 1 – Creșterea debitelor	47
6.6.2.	Ipoteza 2 – Transport de poluant	47
7.	MĂSURI PROPUSE PENTRU REDUCEREA RISCURILOR.....	50
7.1.	Măsuri pentru proiectarea surselor de apă	50
7.2.	Măsuri pentru siguranța în exploatare	52
8.	CONCLUZII.....	54
8.1.	Contribuții personale și elemente de originalitate	55
	BIBLIOGRAFIE	57

LISTĂ DE TABELE

Tabel 5.1. Sinteza rezultatelor obținute în perioada 1993 – 2005	23
Tabel 5.2. Sinteza rezultatelor obținute în perioada 2000 – 2018	29
Tabel 6.1. Condiții la limită impuse	34
Tabel 6.2. Foraje de observație în zona studiată	35
Tabel 6.3. Debite exploatate din captările subterane	36
Tabel 6.4. Bilanț de debite ale modelului regional calibrat	42
Tabel 6.5. Bilanț de debite ale modelului regional după simularea ipotezei 1	44
Tabel 7.1. Măsuri preventive pentru siguranța în exploatare.....	54

LISTĂ DE FIGURI

Figura 3.1. Tipuri de secțiuni transversale pentru canale navigabile.....	10
Figura 4.1. Plan de situație al zonei cercetate.....	14
Figura 4.2. Hartă structurală a zonei cercetate.....	15
Figura 4.3. Secțiuni geologice 1-1' și 2-2' ale zonei cercetate.....	16
Figura 4.4. Hartă hidrodynamică a acviferului inferior Juristic – Cretacic din zona cercetată.....	19
Figura 4.5. Secțiune hidrogeologică 1-1' a zonei cercetate.....	20
Figura 5.1. Forme de relief întâlnite în carst.....	21
Figura 5.2. Dezvoltarea sistemului de drenaj în acvifere fisural – carstice	21
Figura 5.3. Conținuturi de poluanți peste limitele admisibile în acviferul Sarmășian (superior) – Dobrogea de Sud 1996.....	25
Figura 5.4. Conținuturi de poluanți peste limitele admisibile în acviferul Juristic – Cretacic (inferior) – Dobrogea de Sud 1996.....	26
Figura 5.5. Evoluție concentrații amoniu aval SE Poarta Albă – canal D.M.N.....	28
Figura 6.1. Model regional acvifer inferior Juristic – Cretacic.....	36
Figura 6.2. Secțiune orizontală 1 prin gridul modelului regional.....	37
Figura 6.2. Secțiune verticală 1 prin gridul modelului regional.....	37
Figura 6.3. Distribuția conductivității hidraulice utilizate pentru calibrarea modelului regional.....	38
Figura 6.4. Valorile conductivităților hidraulice utilizate pentru calibrarea modelului regional.....	38
Figura 6.5. Grafic nivele calculate vs nivele măsurate în forajele de observație în urma calibrării modelului regional.....	39
Figura 6.6. Hartă hidrodynamică a modelului regional calibrat.....	40
Figura 6.7. Direcțiile de curgere prin modelul regional calibrat.....	40

Figura 6.8. Zone de alimentare ale forajelor de captare.....	41
Figura 6.9. Zone delimitate pentru bilanțul de debite.....	42
Figura 6.10. Hartă hidrodinamică a modelului regional după simularea ipotezei 1.....	43
Figura 6.11. Zona contaminată de poluant după un timp de expunere de 30 ani în modelul calibrat.....	45
Figura 6.12. Zona contaminată de poluant după un timp de expunere de 30 ani în model după simularea ipotezei 1.....	45
Figura 6.13. Hartă hidrodinamică a modelului local.....	48
Figura 6.14. Direcțiile de curgere prin modelul local.....	48
Figura 6.15. Zone de alimentare ale forajelor de captare prin modelul local	49
Figura 6.16. Hartă hidrodinamică a modelului local după simularea ipotezei 1.....	49
Figura 6.17. Zona contaminată de poluant după un timp de expunere de 30 ani în modelul local	50
Figura 6.18. Zona contaminată de poluant după un timp de expunere de 30 ani în modelul local după simularea ipotezei 1.....	50
Figura 7.1. Schemă logică măsuri propuse pentru studii	52
Figura 7.2. Schemă logică măsuri propuse pentru proiectare.....	53

1. INTRODUCERE

Prezenta lucrare științifică și-a propus expunerea rezultatelor unor cercetări privind influența căilor de transport navigabile amenajate asupra surselor de apă din acviferele fisural – carstice.

Alegerea tematicii a fost determinată și de existența unui astfel de caz și în România, situat în Dobrogea de Sud, în care se exploatează canalele navigabile Dunăre – Marea Neagră, respectiv Poarta Albă – Midia, Năvodari, la a căror construcție a fost interceptat cel mai important acvifer fisural – carstic din țară, a cărui apă subterană este extrasă în cantități mari pentru alimentarea cu apă a populației din regiune.

Existența canalelor navigabile amenajate a produs modificări locale ale regimului de curgere și calității apelor subterane în sistemele acvifere fisural – carstice, atât în perioada de execuție, cât și după intrarea în exploatare.

Prin teza de doctorat, autorul și-a propus să evalueze influențele canalelor navigabile atât asupra regimului de curgere și calității apelor subterane din sistemul acvifer fisural – carstic, cât și asupra funcționării în siguranță a sistemelor de alimentare cu apă ale localităților, după o perioadă de exploatare de aproximativ 35 de ani.

Totodată, s-a analizat posibilitatea de identificare a unor metode de verificare sistematică a funcționării captărilor de apă subterană amplasate în vecinătatea canalelor navigabile, cu scopul de a preveni și reduce riscurile în exploatare.

Direcțiile principale de cercetare din prezenta lucrare sunt:

- Stadiul actual la nivel național și internațional al cunoașterii influenței/interferenței căilor navigabile amenajate asupra resurselor acvifere și, în special, asupra surselor de alimentare cu apă.
- Studiarea factorilor de interdependență identificați dintre canalele navigabile și acviferele fisural-carstice.
- Cercetări experimentale pe un studiu de caz din județul Constanța, cu următoarele componente de analiză: evaluarea, prelucrarea și interpretarea datelor existente pentru identificarea caracteristicilor geometrice, hidrofizice și hidrochimice ale mediilor analizate; corelații ale caracteristicilor identificate cu exploatarea canalelor și regimul de curgere a apelor subterane; criterii privind proiectarea și realizarea unui sistem de monitorizare a parametrilor cantitativi și calitativi ai apei subterane; efectuarea monitorizării, prelucrarea datelor, interpretarea rezultatelor, corelații posibile.
- Analiza soluțiilor de proiectare a căilor navigabile din punct de vedere al relațiilor hidraulice cu acviferul: evaluarea parametrilor de influență privind bilanțul calitativ și cantitativ al apelor subterane.
- Analiza soluțiilor de proiectare a captărilor de apă subterană (amplasament și caracteristici) ce exploatează acvifere fisural-carstice aflate în legătură hidraulică cu căile navigabile amenajate.

Rezultatele obținute în zona cercetată experimental, pot contribui la dezvoltarea cunoașterii acestui sector foarte important, care face parte dintr-o regiune cu importanță strategică atât pentru existența și protejarea celui mai important sistem acvifer fisural – carstic

din România, cât și pentru menținerea siguranței în exploatare a sistemelor de alimentare cu apă a sectorului litoral din județul Constanța.

2. CIRCULAȚIA APEI SUBTERANE ȘI MECANISME DE POLUARE

2.1. Caracteristici generale

Resursele de ape subterane carstice se găsesc cantonate în diverse tipuri de roci, prin care, în urma unor procese fizice sau chimice își creează diferite căi de circulație/tranzit. Stratele acvifere care înmagazinează volumele de apă pot fi neuniforme și neomogene, fapt ce generează dificultăți în exprimarea matematică a legilor de curgere.

Franciss analizează volumul elementar reprezentativ pentru masele de rocă cvasi-omogene, atât din punct de vedere fizic, cât și statistic, însă întotdeauna va fi asociat cu o clasă aleasă de caracteristici litologice sau structurale. Din punct de vedere fizic, dimensiunea minimă a unui volum analizat, din care se vor obține rezultate medii semnificative, ce, ulterior, se pot generaliza pentru întregul volum al unei mase de rocă cvasi-omogenă fracturată.

Mișcarea reală a apei subterane printr-un mediu discontinuu poros sau fisural este simplificată într-o mișcare aparentă printr-un mediu continuu (solid+goluri), impunându-se condiția că debitul ce trece prin secțiune să fie identic cu cel real. [61] Astfel, se introduce noțiunea de viteză de filtrație (viteză aparentă), definită de relația:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (1.1)$$

unde: Q – debitul ce trece printr-o secțiune
 A – suprafața totală a secțiunii

Mediul discontinuu se echivalează cu un mediu continuu utilizând medierea pe volumul elementar reprezentativ a caracteristicilor și fiind dependent de: [61]

- poziția punctului;
- caracteristica aleasă;
- extinderea domeniului spațial unde se realizează medierea.

2.2. Parametrii de curgere și ecuații generale

Sunt prezentați pe larg principalii parametrii de curgere: porozitate, permeabilitate, sarcină piezometrică și gradient hidraulic. Totodată au fost prezentate legile de curgere în medii poroase și fisural – carstice, respectiv ecuațiile de continuitate și de difuzivitate hidraulică.

2.3. Aspecte privind mecanismele de poluare

Sunt prezentate fenomenele de transport a poluanților miscibili: difuzie moleculară, advecție, dispersie mecanică și hidrodinamică, respectiv procesele de transformare, întârziere și atenuare a substanțelor dizolvate.

3. CANALE NAVIGABILE ȘI INTERACȚIUNEA CU APELE SUBTERANE

3.1. Concepte constructive ale canalelor navigabile

Termenul de „cale navigabilă” cuprinde întreg ansamblul de transporturi care se pot desfășura pe fluviu, râu, lac sau canal, ce nu aparține unei mări și care printr-un mod natural sau antropic permite navigația.

În funcție de tipul ambarcațiunilor care le vor parcurge, canalele navigabile se vor executa astfel încât să îndeplinească o lățime și o adâncime a apei optime desfășurării în condiții de siguranță a navigației. În funcție de cota terenului natural, canalele navigabile se pot executa în săpătură sau în umplutură. Pierderile de apă produse prin infiltrații pot fi reduse semnificativ prin impunerea unor măsuri de etanșare și de captușire a canalelor. [54]

Creșterea randamentului activității navale se poate realiza prin aplicarea unor metode constructive asupra cursurilor apelor naturale. Una dintre aceste metode este canalizarea cursurilor de apă și presupune bararea albiei în zone alese favorabil pentru a transforma curgerea naturală sub o pantă continuă într-o curgere în trepte. Deplasarea ambarcațiunilor prin aceste trepte se realizează prin intermediul ecluzelor sau ascensoarelor.

3.1.1. Traseul canalelor navigabile

Traseul optim al unui canal navigabil este caracterizat de o lungime minimă, preponderent liniară, fără multe sinuozități, aleasă astfel încât să aibă un volum de terasamente limitat și să genereze costuri de investiție cât mai mici.

În vederea unei exploatare în condiții optime și de siguranță a canalelor navigabile, la alegerea traseului ar trebui luate în considerare următoarele ipoteze: [54]

- Comportamentul pământului sub acțiunea apei;
- Posibilitatea producerii alunecărilor de teren a taluzurilor.

Alegerea traseului în cazul canalelor navigabile de anvergură se stabilește după o cercetare geologică prealabilă, ce cuprinde săparea unor foraje cu adâncimi variabile în funcție de condițiile hidrogeologice din amplasament.

3.1.2. Profilul longitudinal

Configurația profilului longitudinal al unui canal navigabil se determină în funcție de relieful terenului natural și de nivelul apelor subterane, astfel încât să permită pe cât posibil o curgere gravitațională a apei.

În cazul canalelor navigabile de mare anvergură, traseele vor fi structurate pe biefuri în trepte, iar dimensionarea se va face în funcție de următoarele specificații: [21]

- Lungimea biefurilor se recomandă a fi cât mai mare;
- Numărul treptelor de retenție se recomandă a fi cât mai mic și cu înălțimi egale;
- Configurația biefurilor trebuie să asigure viteze optime de navigație.

3.1.3. Secțiunea transversală

Secțiunea transversală a canalelor navigabile poate avea diferite forme: dreptunghiulară, trapezoidală, cu două pante, în formă de albie, semicirculară sau parabolică, prezentate grafic în figura 3.1.

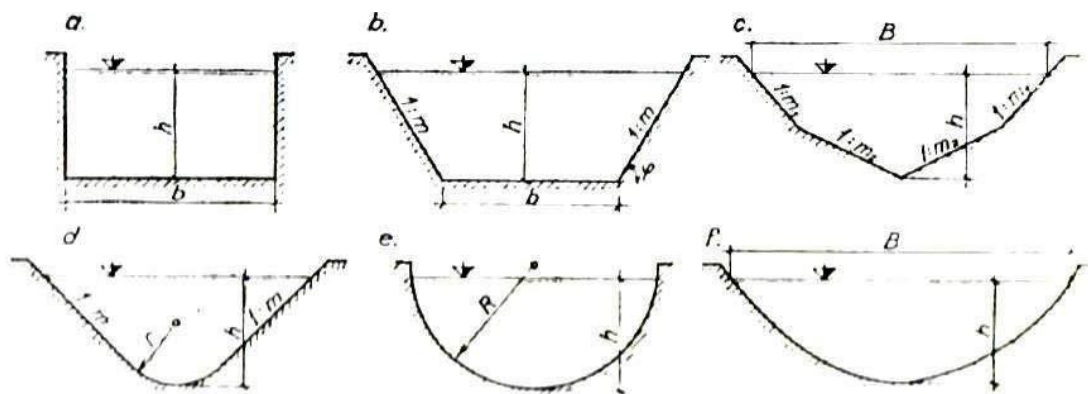


Figura 3.1. – Tipuri de secțiuni transversale pentru canale navigabile
a – dreptunghiulară, b – trapezoidală, c – cu două pante, d – în formă de albie, e –
semicirculară, f – parabolică [54].

În mod uzual, în practică se utilizează secțiunile transversale cu forme geometrice dreptunghiulare, trapezoidale sau parabolice, pentru că sunt optime din punct de vedere hidraulic și, totodată, se execută cu ușurință. “În figura 3.1, primele trei tipuri de secțiuni transversale (a, b, c) sunt utilizate pentru canalele executate în terenuri de pământ, în timp ce următoarele (d, e, f) sunt utilizate în terenuri stâncoase”. [54] Forma parabolică a secțiunii transversale se utilizează în cazul canalelor navigabile cu adâncimi mari, care necesită pante ale terenului cât mai line și care converg către fundul canalului pentru a asigura stabilitatea malurilor.

3.1.4. Protejarea taluzurilor

În mod uzual, taluzele canalelor navigabile sunt predispuse degradării în timp în special din cauza acțiunii climatice (temperatură și vânturi) și acțiunii valurilor produse de ambarcațiuni în timpul navigației. În scopul asigurării operării optime și în condiții de siguranță a canalelor navigabile, se impune adoptarea unor măsuri constructive de protecție a taluzurilor, care să împiedice producerea degradărilor și instabilităților panteilor.

De regulă, lucrările de protecție a taluzelor se execută cu îmbrăcămînți din beton și piatră, întrucât ambele materiale își conservă caracteristicile indiferent de condițiile climatice și de lucru.

3.1.5. Impermeabilizarea canalelor navigabile

Din punct de vedere constructiv, canalele navigabile se recomandă a fi impermeabilizate pentru a elimina riscurile produse de pierderile de apă prin infiltrații și de poluările accidentale ale apelor subterane în situația unei contaminări în canale.

De-a lungul timpului s-au utilizat o serie de lucrări pentru impermeabilizarea canalelor navigabile, cum ar fi: bitumare, injecții cu silicați sau alte substanțe chimice, tratarea cu ciment sau rășini, pozarea unor straturi impermeabile, utilizarea unor îmbrăcămînți, execuția unor ecrane de etanșare sau colmatarea patului canalului.

Pentru evitarea pierderilor de apă prin infiltrații din canal, se pot executa ecrane de etanșare, din argilă, beton etc., prelungite până la întâlnirea unui strat impermeabil. [40]

3.2. Canale navigabile existente în lume

Sunt prezentate principalele canale navigabile existente în lume: Marele Canal Chinezesc, Canal du Midi, Canalul Suez, Canalul Main – Dunăre și Canalul Panama

3.3. Caracteristici constructive ale canalelor navigabile cercetate

3.3.1. Caracteristici constructive ale canalului navigabil Dunăre – Marea Neagră

Canalul navigabil Dunăre – Marea Neagră a fost executat între Cernavodă (km. 299,3 pe fluviu) și vărsarea în Marea Neagră (portul Constanța Sud), totalizând o lungime de 64,41 km.

Din punct de vedere constructiv, pe traseul canalului au fost prevăzute două ecluze gemene, la Cernavodă și la Agigea. [7] Rolul acestor construcții hidrotehnice este de a asigura racordarea canalului navigabil cu nivelurile variabile a fluviului, respectiv de a permite comunicarea cu nivelul Mării Negre.

Canalul navigabil a fost structurat în trei biefuri, după cum urmează: [7]

- **Bieful I:** situat între Dunăre și capul amonte al ecluzei Cernavodă, care are o lungime de 4,105 km;
- **Bieful II:** situat între capul aval al ecluzei Cernavodă și capul amonte al ecluzei Agigea, ce însumează o lungime de 57,991 km;
- **Bieful III:** localizat între capul aval al ecluzei Agigea și punctul "0" din acvatoriul fluvio-maritim al portului Constanța Sud, cu o lungime de 1,510 km.

3.3.2. Caracteristici constructive ale canalului navigabil Poarta Albă – Midia, Năvodari

Canalul navigabil Poarta Albă – Midia, Năvodari a fost executat între Poarta Albă, de la bifurcația Dunării și portul Midia și însumează o lungime de 27,50 km. În ramura estică, traseul canalului se prelungește cu 5,0 km prin lacul Tașaul (Năvodari). [8]

Traseul canalului străbate Valea Adâncă (Nazarcea), trece prin platoul Ovidiu, prin zona carierei de calcar, ocolește prin vecinătatea nordică a lacului Siutghiol (Mamaia) și se varsă în portul Midia. O ramură a canalului ajunge în lacul Tașaul, până în portul Luminița. [8]

Din punct de vedere constructiv, pe traseul canalului au fost prevăzute două ecluze, la Ovidiu și la Midia – Năvodari. Rolul ecluzei de la Ovidiu este de a asigura trecerea de la cota de nivel a apei din bieful I + 7,50 mrMB la cota 1,25 mrMB din bieful II, care reprezintă nivelul mediu de exploatare al lacurilor Siutghiol și Tașaul. În zona de vărsare a canalului în mare, a fost prevăzută ecluza Midia – Năvodari, care asigură trecerea de la nivelul apei din canal la nivelul Mării Negre. [8]

Rolul acestor construcții hidrotehnice este de a asigura racordarea canalului navigabil cu nivelurile variabile a fluviului, respectiv de a permite comunicarea cu nivelul Mării Negre.

Canalul navigabil a fost structurat în trei biefuri, după cum urmează: [8]

- **Bieful I:** situat între desprinderea din bieful II al canalului Dunăre – Marea Neagră și capul amonte ale ecluzei Ovidiu, cu o lungime de 15,230 km;
- **Bieful II:** situat între capul aval al ecluzei de la Ovidiu și capul amonte al ecluzei Midia – Năvodari, cu lungimea de 10,041 km;
- **Bieful III:** localizat între capul aval al ecluzei Midia – Năvodari și portul maritim Midia, cu o lungime de 1,834 km.

4. CARACTERISTICILE DE MEDIU, GEOLOGICE ȘI HIDROGEOLOGICE ALE ZONEI STUDIAȚE

4.1. Condiții geologice și structural tectonice

Pentru efectuarea studiilor și cercetărilor, din zona de exploatare a canalelor navigabile, au fost reconsiderate condițiile geologice și structural tectonice la nivelul cunoașterii actuale.

Zona de cercetare este limitată la nord de falia structurală Capidava – Ovidiu, la sud de falia Rasova – Costinești, la vest de fluviul Dunărea și la est de Marea Neagră. Întreaga zonă studiată face parte din Dobrogea de Sud, iar din punct de vedere structural reprezintă un sector al Platformei Moesice.

Această zonă prezintă caracteristici tipice de platformă, iar prezența predominantă a rocilor calcaroase casante a permis fracturarea întregii cuverturi sedimentare în blocuri tectonice delimitate de falii verticale sau subverticale.

Reacția zonei la acțiunile mecanice de deformare a rocilor a fost de mișcare a blocurilor rezultate atât pe verticală, cât și pe orizontală.

Harta structurală a zonei cercetate (figura 4.2.) s-a realizat pe baza informațiilor obținute la executarea forajelor din amplasament și măsurătorilor geofizice specifice studiului structurilor geologice. Cu această ocazie au fost realizate și secțiuni geologice (figura 4.3.), care oferă posibilitatea înțelegerii condițiilor geologice ale zonei de amplasament a canalelor navigabile. Din punct de vedere structural tectonic se constată:

- Două sisteme de fracturi (falii) pe direcțiile NNE – SSV și VNV – ESE, care au generat separarea blocurilor tectonice cu diferite dimensiuni.
- Faliile cu orientare NNE – SSV sunt falii mai vechi care au suferit mișcări preponderent pe verticală.
- Faliile cu orientare VNV – ESE sunt falii mai noi și au atât mișcări pe verticală, cât și pe orizontală, ceea ce au generat fragmentarea și decalarea în spațiu a faliilor NNE – SSV.

Prin harta structurală și secțiunile geologice a zonei cercetate au fost puse în evidență 13 blocuri structurale majore, ce sunt caracterizate de grosimi și permeabilități diferite. Practic, aceste depozite carbonatate constituie roca care înmagazinează resurse semnificative de apă subterană (vezi harta structurală și secțiunile geologice). Configurarea structurii geologice, care pune în evidență existența blocurilor formate de falii, creează posibilitate interpretării corecte a condițiilor hidro dinamice ale zonei cercetate și a interacțiunilor locale dintre apele canalelor navigabile și hidrostructurile fisural – carstice existente.

PLAN DE SITUATIE



Legenda

- Puncte de prelevare din canale navigabile (C)
- Puncte de prelevare din foraje de observatie (F obs.)
- Puncte de prelevare din priza de apa din canal
- Puncte de prelevare din surse de apa subterana

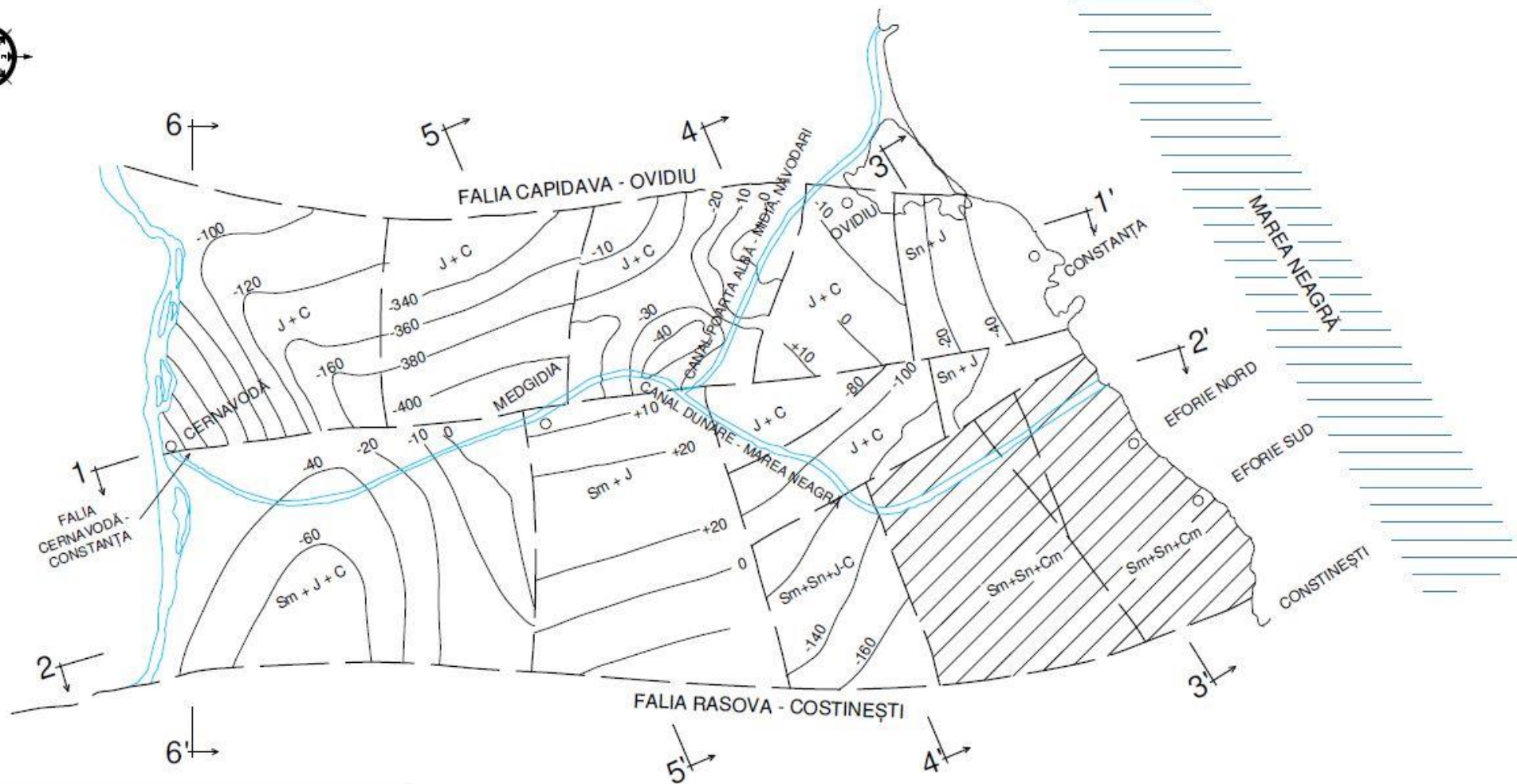
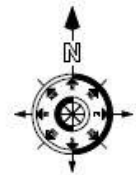
Traseu canale navigabile

Scara grafica

0km 1km 2km 3km 4km 5km

Figura 4.1. – Plan de situație al zonei cercetate [45]

HARTĂ STRUCTURALĂ



LEGENDĂ

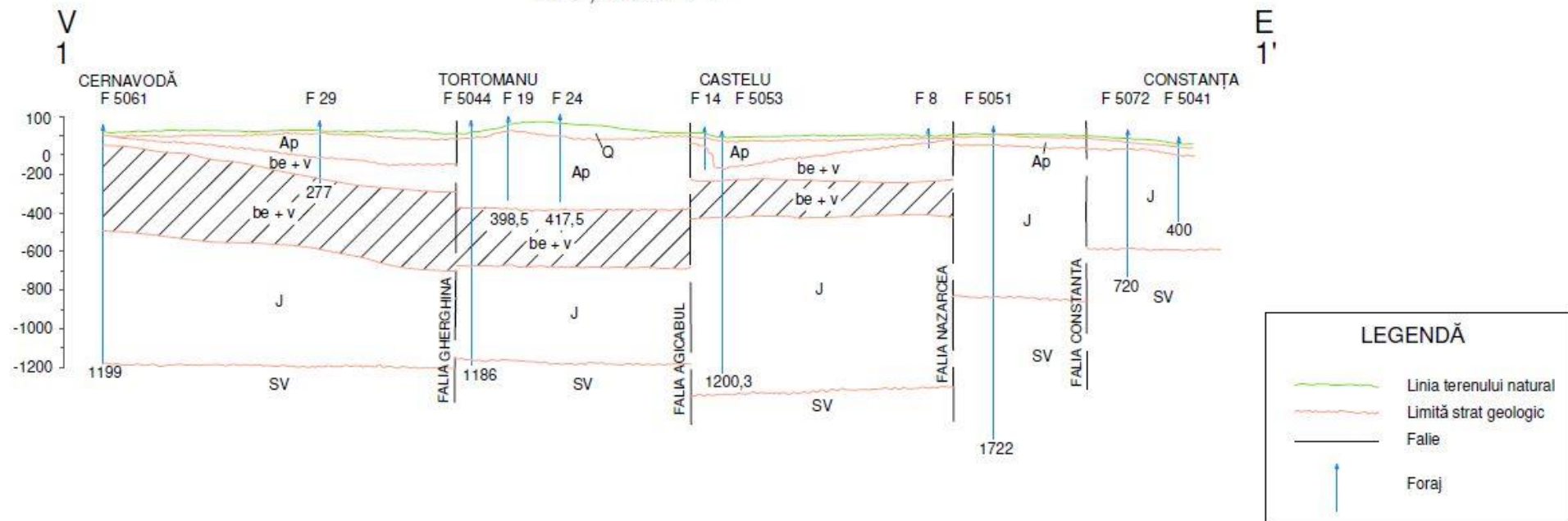
- Falie
- Izobată la acoperișul Cretacic
- Bloc tectonic fără Jurasic - Cretacic
- Secțiune geologică

0 2 4 6 8 10
km

Figura 4.2. – Hartă structurală a zonei cercetate [44]

SECȚIUNI GEOLOGICE

Secțiunea 1-1'



Secțiunea 2-2'

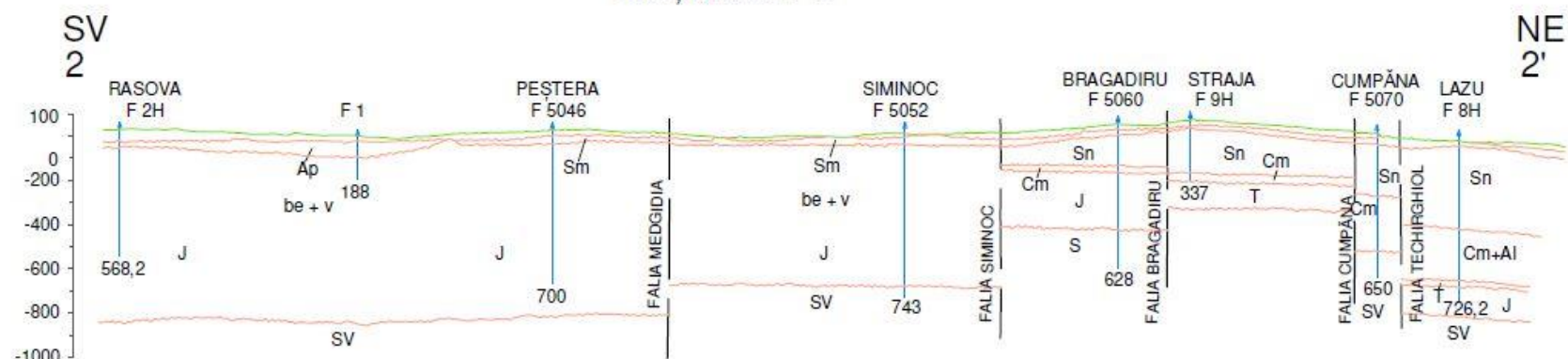


Figura 4.3. – Secțiuni geologice 1-1' și 2-2' ale zonei cercetate [44]

4.2. Condiții geomorfologice

Cea mai mare parte a teritoriului dobrogean, unde sunt amplasate canalele navigabile Dunăre – Marea Neagră și Poarta Albă – Midia, Năvodari, are aspectul unui platou a cărui altitudine descrește de la nord la sud, până în Valea Carasu, crescând apoi spre sud.

Zona depresionară din lungul văii Carasu, pe care este amplasat canalul Dunăre – Marea Neagră, se mai numește și Culuarul Carasu.

4.3. Condiții hidrologice

Din punctul de vedere al rețelei hidrografice, zona cercetată este în general slab dezvoltată. Văile sunt în majoritate lipsite de apă sau alimentate temporar de precipitații și din sistemele de irigații.

În această zonă rețeaua hidrografică este formată din următoarele cursuri de apă: Dunărea (pe o distanță de 137 km) și Valea Carasu, al cărui bazin hidrografic se întinde până la Palas (afluenții văii sunt seci în cea mai mare parte a anului).

În această zonă se întâlnesc o serie de lacuri naturale și lagune după cum urmează: Siutghiol, Tașaul, Corbu, Tăbăcarie, etc.

Lacul Siutghiol este alimentat din acviferul inferior (calcare jurasice) prin izvoare situate pe fundul lacului. Cuveta lacului s-a format în urma fenomenelor carstice din perioada post – jurasică. Alimentarea lacului din apa subterană se produce prin izvoare de-a lungul faliei Capidava – Ovidiu, care traversează lacul.

Canalele navigabile Dunăre – Marea Neagră și Poarta Albă – Midia, Năvodari au o importanță deosebită pentru regimul hidric al zonei. Construite în urmă cu 40 de ani, de-a lungul fostei văi Carasu, ele fac legătura Dunării cu Marea Neagră, de la Cernavodă la Agigea și Năvodari.

4.4. Condiții climatologice

Clima zonei cercetate este în proporție de 80 % din teritoriu de tip temperat – continentală, specific câmpiilor și aproximativ 20 % sub influența climatului maritim, specific zonelor litorale.

Temperatura medie anuală oscilează în jurul valorii de 11° C. Temperatura maximă absolută din zona cercetată s-a înregistrat la Cernavodă în data de 20 august 1945, de 42,2° C, iar temperatura minimă absolută la Murfatlar în data de 25 ianuarie 1941, de -33,2° C.

Precipitațiile medii anuale sunt repartizate neuniform în zona cercetată, totalizând sub 500 mm, respectiv 478 mm la Cernavodă și 467 mm la Constanța. Cea mai mare cantitate a precipitațiilor cade în sezonul cald, sub formă de averse. În perioada estivală, nebulozitatea este redusă, iar durata de strălucire a soarelui depășește 10 – 12 ore pe zi. [34]

4.5. Condiții hidrogeologice

Amplasamentul canalelor navigabile Dunăre – Marea Neagră și Poarta Albă – Midia, Năvodari este caracterizat din punct de vedere hidrogeologic de o diversitate de strate și complexe acvifere care se află într-o interacțiune continuă cu apele de suprafață și cu Marea Neagră.

Principalele criterii care au fundamentat inventarierea și studiul principalelor hidrostructuri sunt:

- gradul de extindere pe orizontală și verticală;
- importanța economică;
- gradul de cunoaștere a regimului hidrodinamic;
- calitatea apei subterane;
- gradul de cunoaștere a vulnerabilității la poluare.

Studiile hidrogeologice efectuate au pus în evidență complexitatea hidrogeologică existentă în zonă, dar simplificând se constată existența unui număr de cinci acvifere cantonate în roci: cuaternare, sarmațiene, eocene, senoniene și complexul acvifer jurasic superior – cretacic inferior.

4.5.1. Complexul acvifer Jurasic superior – Cretacic inferior (inferior)

Din punct de vedere al resurselor hidrodinamice este cel mai important complex acvifer din zonă, atât prin dezvoltare regională și grosime (depozitele fisural – carstice calcaroase pot ajunge până la 1200 m), cât și prin calitatea fizico – chimică și bacteriologică a apelor tranzitate.

În zona cercetată, acest complex acvifer funcționează sub presiune, cu excepția unui sector mic aflat în vecinătatea fluviului Dunărea. Prin urmare este un acvifer în mare parte protejat din punct de vedere al vulnerabilității la poluare.

Apa subterană circulă în condiții de presiune (prin canale, falii, fisuri mari, medii poroase, fisuri microcapilare) înaintând și măbind golurile prin procese chimice de dizolvare.

În ceea ce privește gradul de fisurație s-a constatat că este neuniform în spațiu. Pentru componenta verticală, s-a constatat pe baza pompărilor experimentale că în general fisurația este mai mare la partea superioară a formațiunilor carbonatate. “Valorile reale ale transmisivității complexului acvifer jurasic superior – cretacic inferior variază de la câteva zeci sau sute de m^2/zi până la peste 150000 m^2/zi ”. [50]

Limita nordică a acestui complex acvifer este falia structurală Capidava – Ovidiu, care separă Dobrogea de sud de Dobrogea centrală și este o limită etanșă.

Zonele de descărcare ale acestei hidrostructuri sunt reprezentate atât de lacul Siutghiol (în proporții mici), situat în zona costieră Constanța, cât și de Marea Neagră (în proporții mari).

HARTĂ HIDRODINAMICĂ A ACVIFERULUI INFERIOR
JURASIC - CRETACIC
Scara 1:200.000

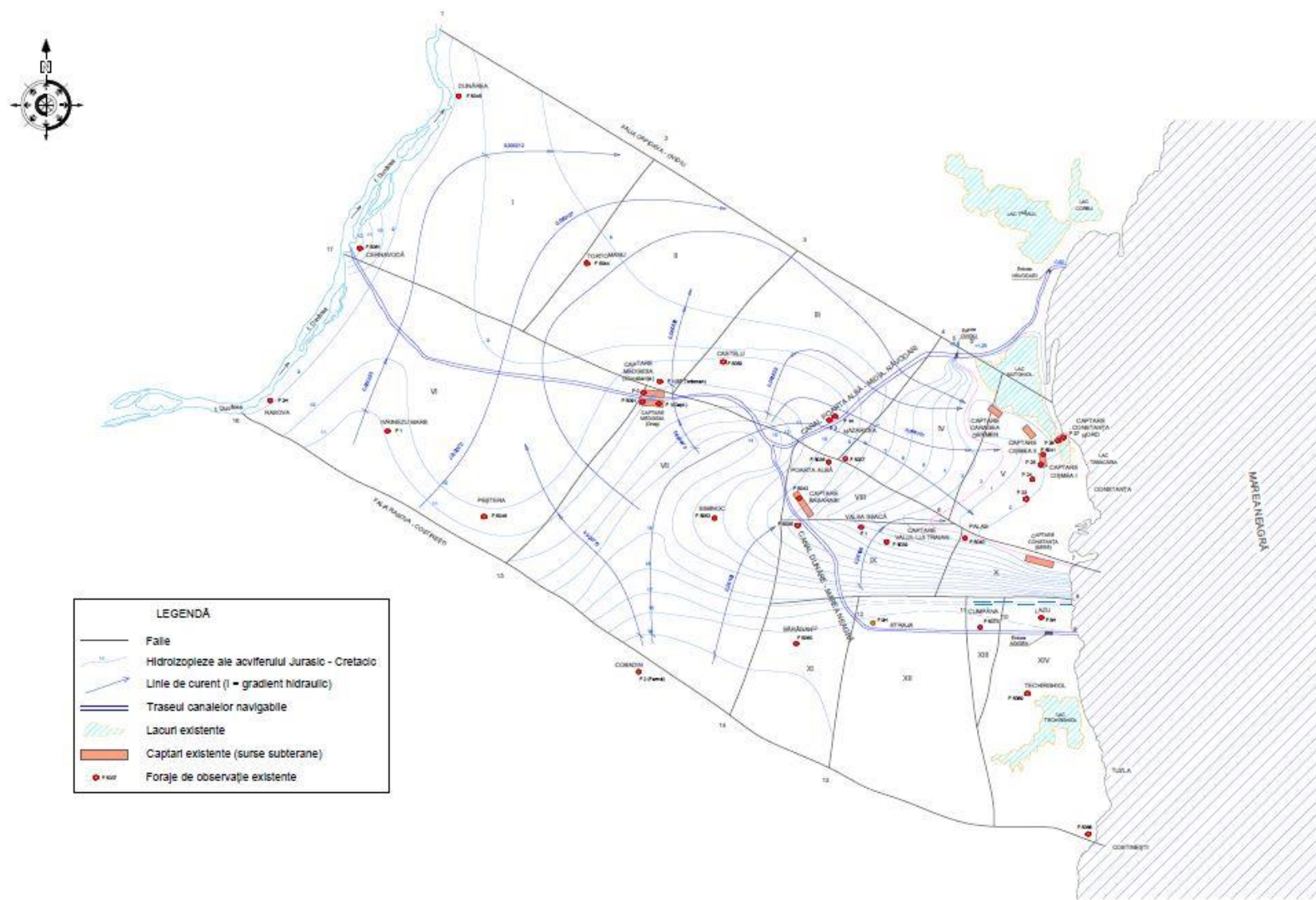


Figura 4.4. – Hartă hidrodynamică a zonei cercetate [44]

SECȚIUNE HIDROGEOLOGICĂ

LEGENDĂ

-  Capătiri existente Constața
-  Falii geologice
-  Linia terenului natural
-  Limită strate geologice
-  Nivel apă subterană în perioada de execuție a canalului navigabil
-  Nivel apă subterană după punerea în funcțiune a canalului navigabil
-  Foraje de observație (colț teren)
-  Strat geologic Cuaternar
-  Strat geologic Senonian
-  Strat geologic Juristic
-  Secțiune hidrogeologică

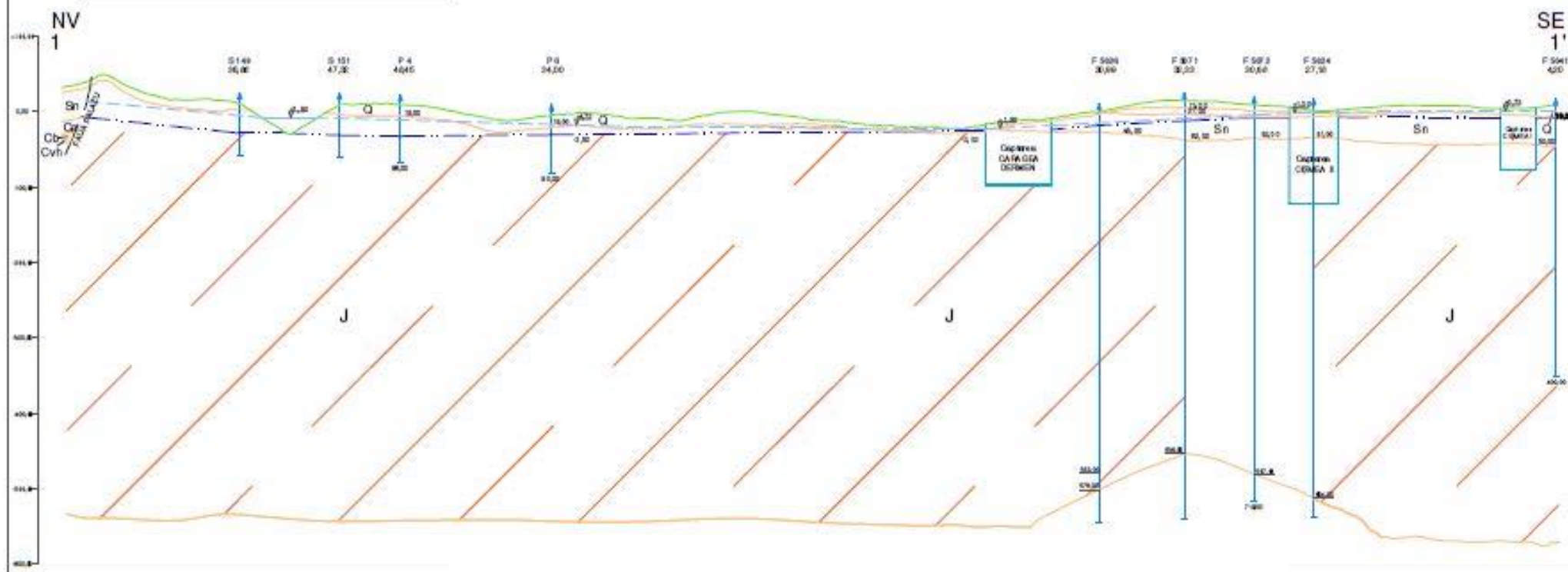


Figura 4.5. – Secțiuni hidrogeologică 1-1' a zonei cercetate [44]

5. CERCETĂRI ÎN AMPLASAMENTUL CANALELOR NAVIGABILE

5.1. Elemente hidro dinamice ale acviferelor fisural – carstice

5.1.1. Elemente hidro dinamice specifice acviferelor carstice

Acviferele fisural – carstice sunt cantonate în roci carbonatate (calcare, dolomite) și au o structură sub formă de rețea, ce s-a format în urma unor procese de dizolvare.

Fenomenul de carstificare a rocilor carbonatate se produce de la suprafața terestră, printr-o curgere superficială, și avansează prin procese de dizolvare în zonele fisurilor și falilor.

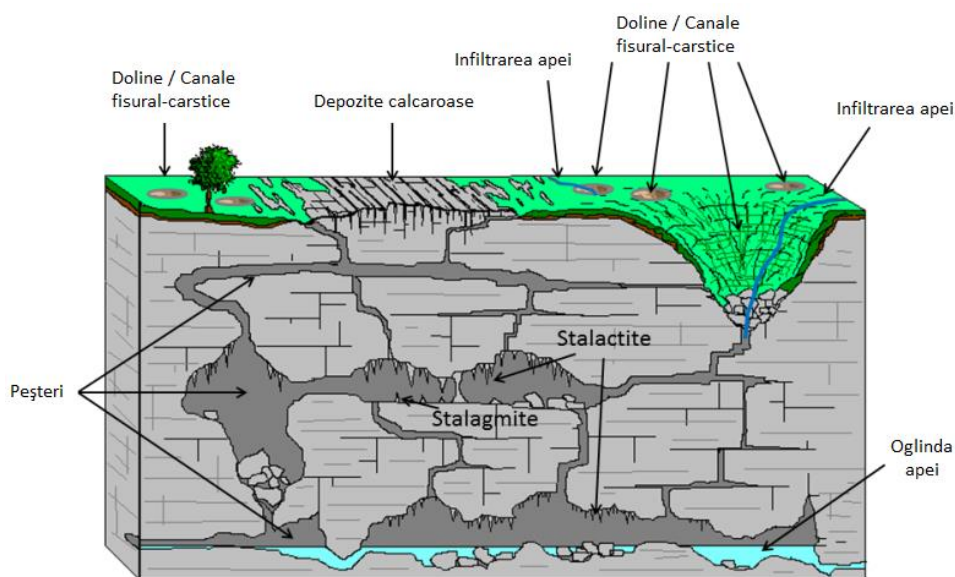


Figura 5.1. – Forme de relief întâlnite în carst [95]

Prin metode empirice s-a ajuns la concluzia că sistemele de drenaj din acviferele fisural – carstice se extind dinspre zonele de alimentare către cele de descărcare. Cu alte cuvinte, infiltrarea apei și procesele de dizolvare contribuie la lărgirea întregului sistem de fisuri amplasat în zonele adiacente de alimentare a acviferelor. Lărgirea sistemului de fisuri va scădea proportional cu avansarea apei către zonele de drenaj, iar în cele din urmă în zona de descărcare întregul debit va fi cumulat într-un număr redus de canale sau în anumite situații într-un canal, conform figurii 5.2. [59]



Figura 5.2. – Dezvoltarea sistemului de drenaj în acvifere fisural – carste [29] [59]

Circulația apei prin fisuri se desfășoară, de regulă, cu viteze reduse, curgerea realizându-se în regim laminar, iar odată cu mărirea golurilor carstice, circulația apei se va desfășura cu viteze mai mari, iar curgerea va fi în regim turbulent.

Din punct de vedere al vulnerabilității la poluare, acviferele fisural – carstice sunt predispuse la poluare în timpul evenimentelor majore de reîncărcare, atunci când o cantitate mare de apă freatică se infiltrează, iar regimul de curgere din acvifere poate suferi modificări radicale. [31]

5.1.2. Interacțiunea cantitativă dintre canalele navigabile și acvifer

Studiul interacțiunii cantitative dintre canalele navigabile și stratele acvifere se poate face prin adoptarea unor ipoteze în funcție de regimul de curgere natural din zona cercetată. În această zonă, la scară regională nu s-au constatat modificări semnificative ale datelor hidrologice și hidrogeologice de la punerea în funcțiune a canalelor navigabile (ultimii 30 de ani). În aceste condiții pentru studiul interacțiunii cantitative se adoptă ipoteza unei curgeri în regim staționar – conservativ și sunt prezentate expresiile matematice modificate ale ecuației generale a difuzivității hidraulice și adaptarea acesteia în cazul ipotezelor stabilite. Considerând că mediul de mișcare este izotrop (transmisivitatea este constantă indiferent de direcția de mișcare) expresia matematică se reduce la ecuația Laplace.

Sunt prezentate de asemenea particularizări ale ecuației generale a difuzivității hidraulice pentru curenți plan verticali cu mișcare uniformă, neuniformă și în regim hidraulic mixt (aplicabile în zona studiată).

Tot în această zonă, dar la nivel de studii locale ale interacțiunii cantitative dintre canale și complexul acvifer se poate adopta ipoteza curgerii în regim staționar – neconservativ (zona localității Murfatlar) și rezultă ecuația difuzivității hidraulice particularizată.

5.1.3. Cercetări hidrogeologice în zona canalelor navigabile

În zona studiată, necesarul de apă destinat populației este asigurat în proporție majoră din resursele de ape subterane ale complexului acvifer Jurasic – Cretacic (inferior).

Complexul acvifer Jurasic – Cretacic inferior se întinde pe întregul teritoriu al Dobrogei de Sud, ceea ce îi conferă un caracter unitar. Complexul acvifer se află sub presiune în proporție majoră la scara teritoriului Dobrogei de Sud (aproximativ 60% din teritoriu) și cu nivel liber în vecinătatea fluviului Dunărea și în partea sudică. În zonele în care este cu nivel liber, complexul acvifer poate fi încărcat direct prin infiltrații provenite din precipitații, canale de irigații și prin drenanță verticală din acviferul superior (Sarmațian).

Cercetările hidrogeologice efectuate în sectorul în care sunt amplasate canalele navigabile Dunăre – Marea Neagră și Poarta Albă – Midia, Năvodari, au impus necesitatea utilizării unor foraje hidrogeologice existente, atât pentru măsurători in situ, cât și pentru utilizarea datelor în scopul calculului transmisivităților.

Cercetările efectuate au avut la bază următoarele etape:

- selectarea unor foraje de studii sau chiar de exploatare, care să constituie o rețea de monitorizare a sistemului acvifer din zonă;
- inventarierea și reinterpretrarea datelor de la testele hidrodinamice anterioare (de la execuția forajelor), unde a fost luată în considerare imperfecțiunea după gradul de deschidere al acviferelor și rezistențele hidraulice ale curgerii verticale (fiind foraje cu adâncimi mari);
- calculul unor parametri hidrogeologici (în special transmisivitatea, necesară pentru cunoașterea resurselor de apă subterană);
- studiul variației debitelor specifice în funcție de adâncimi.
- întocmirea hărții hidrogeologice în zona de amplasament a canalelor navigabile.

În funcție de tipurile de date disponibile, selectarea forajelor pentru cercetarea acviferului Juristic - Cretacic s-a realizat luând în considerare mai multe criterii: amplasamentul forajelor, litologia terenului din momentul execuției forajelor, tipul de acvifere intersectate și testări hidrodinamice din timpul execuției.

Nr. Crt.	Localitate	Foraj obs.	Cota teren [m]	NHs (2018)
				Cote [m]
1	Basarabi (Murfatlar)	F 5035	15.88	7.10
2	Poarta Alba	F 5036	23.07	13.15
3	Poarta Alba	F 5037	27.33	9.60
4	Valul lui Traian	F 1 (5039)	32.60	5.82
5	Palas	F 5040	42.06	2.70
6	Constanta Cismea I	F 5041	4.21	0.57
7	Basarabi - capt	F 5042	18.00	9.82
8	Tortomanu	F 5044	33.00	8.80
9	Dunarea	F 5045	13.10	9.02
10	Pestera	F 5046	43.67	10.15
11	Castelu	F 5053	20.97	10.07
12	Baraganu	F 5060	77.63	16.75
13	Cernavoda	F 5061	14.30	12.01
14	Techirghiol	F 5069	15.50	14.01
15	Cumpana	F 5070	48.88	18.50
16	Medgidia - capt oras	F 5091	22.45	-
17	Nazarcea capt.	F 1H	44.67	10.15
18	Nazarcea ISCIP	F 2	46.74	10.80
19	Rasova	F 2H	17.49	9.12
20	Lazu	F 8H	14.29	-
21	Ivrinezu Mare	F 1	13.72	11.10
22	Medgidia - capt oras	F 1 (Car.)	13.28	9.81
23	Medgidia - SP Tortomanu	F 2	11.43	11.82
24	Valea Seaca	F 1	24.11	5.02
25	Medgidia - capt CT	P 0	16.11	11.68
26	Constanta	P 23	64.20	0.17
27	Constanta	P 24	43.06	1.42

Nr. Crt.	Localitate	Foraj obs.	Cota teren [m]	NHs (2018)
				Cote [m]
28	Constanta Cismea I	P 25	15.92	0.12
29	Constanta Nord	P 26	11.94	0.83
30	Constanta Nord	P 27	3.22	0.41

Tabelul 5.1. – Măsurători efectuate în foraje de observație

Calitatea apelor subterane cantonate în complexul acvifer inferior poate fi perturbată în special în zonele sudice, unde acviferul este cu nivel liber și local permite o interacțiune directă cu acviferul superior.

5.2. Elemente hidrochimice ale acviferelor fisural – carstice din zona cercetată

5.2.1. Evoluția calității apei subterane

Cercetarea evoluției calității apei subterane din zona examinată în prezenta lucrare s-a bazat pe studiul datelor colectate din mai multe perioade de timp, atât din acviferul Sarmațian (superior), cât și din acviferul Jurasic – Cretacic (inferior). Totdată, pentru o evaluare cât mai completă s-au luat în considerare analize de apă din canalele navigabile Dunăre – Marea Neagră, respectiv Poarta Albă – Midia, Năvodari, și din forajele de observație amplasate în vecinătatea canalelor.

Sunt prezentate detaliat modurile de eșantionare, prelevare și analiza a probelor de apă.

Un set de analize s-au efectuat în amplasamentul punctelor de prelevare (in situ), în timp ce restul analizelor s-au efectuat în laboratoare de specialitate. Probele de apă care se transportă în laboratoare sunt supuse unor tratamente cu reactivi chimici, specifici fiecărui indicator, în vederea conservării (stabilizării) calității apei din momentul recoltării.

In situ, în punctele de prelevare se pot determina următorii indicatori: temperatură, oxigen dizolvat, bioxid de carbon liber, pH, hidrogen sulfurat, clor rezidual, proprietăți organoleptice, fier bivalent.

5.2.1.1. Studii hidrochimice realizate la scară regională în Dobrogea de Sud în perioada 1993 – 2015

Într-o primă fază s-au cercetat rezultatele analizelor efectuate la scară regională în Dobrogea de Sud, în perioada 1993 – 2015. Aceste studii au relevat contaminări locale ale celor două acvifere (inferior și superior) cu substanțe chimice. Principalii indicatori chimici ale căror valori au depășit limitele maxim admisibile sunt: nitrați (NO_3), cloruri (Cl^-) și amoniu (NH_4).

Rezultatele analizelor obținute în anul 1996 s-au utilizat pentru întocmirea de autor a două hărți în care se prezintă distribuția spațială a contaminanților înregistrați ce depășesc valorile maxim admisibile legal în cele două acvifere (superior și inferior).

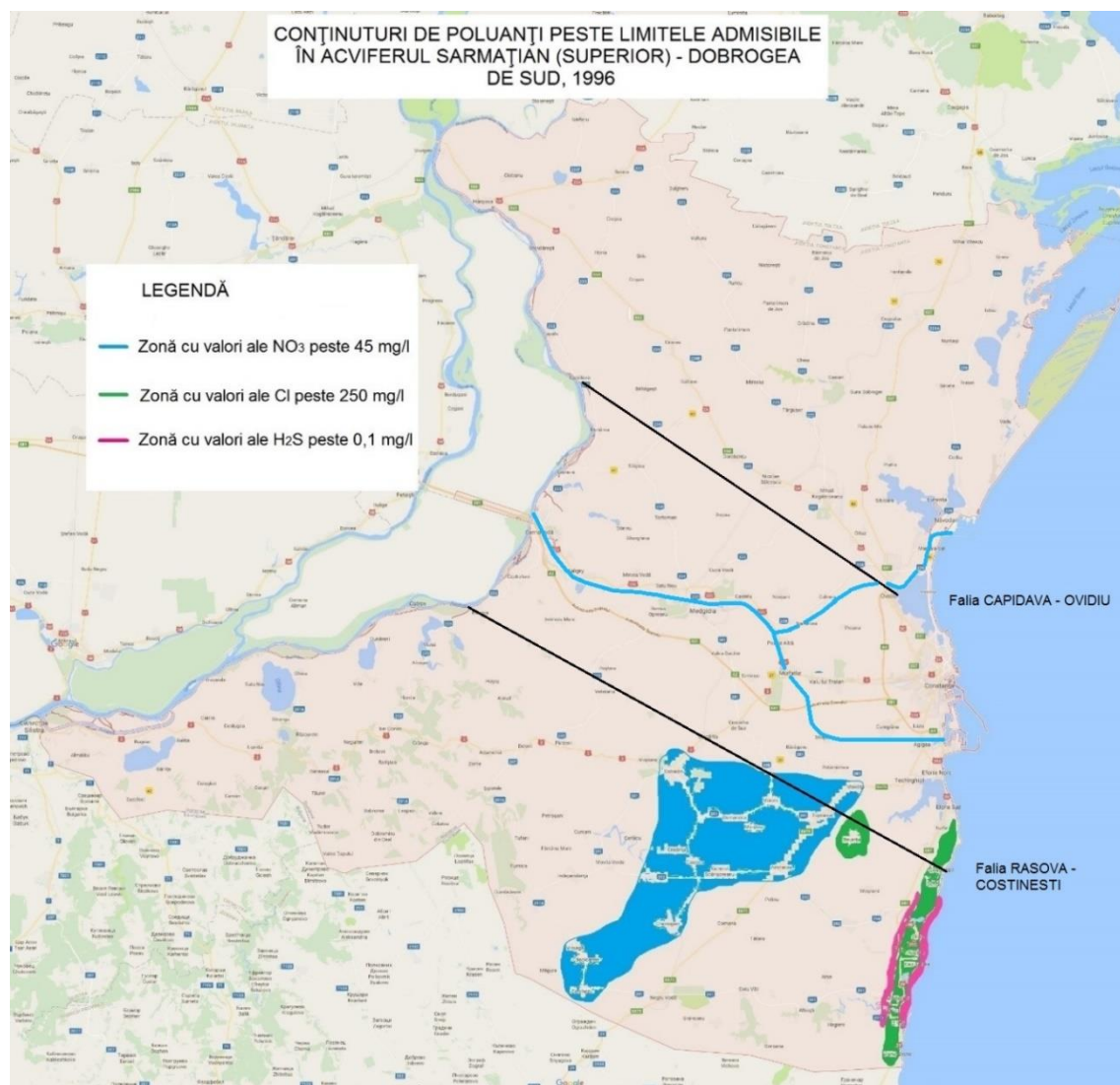


Figura 5.3. – Conținuturi de poluanți peste limitele admisibile în acviferul Sarmațian (superior) - Dobrogea de Sud 1996 [43]

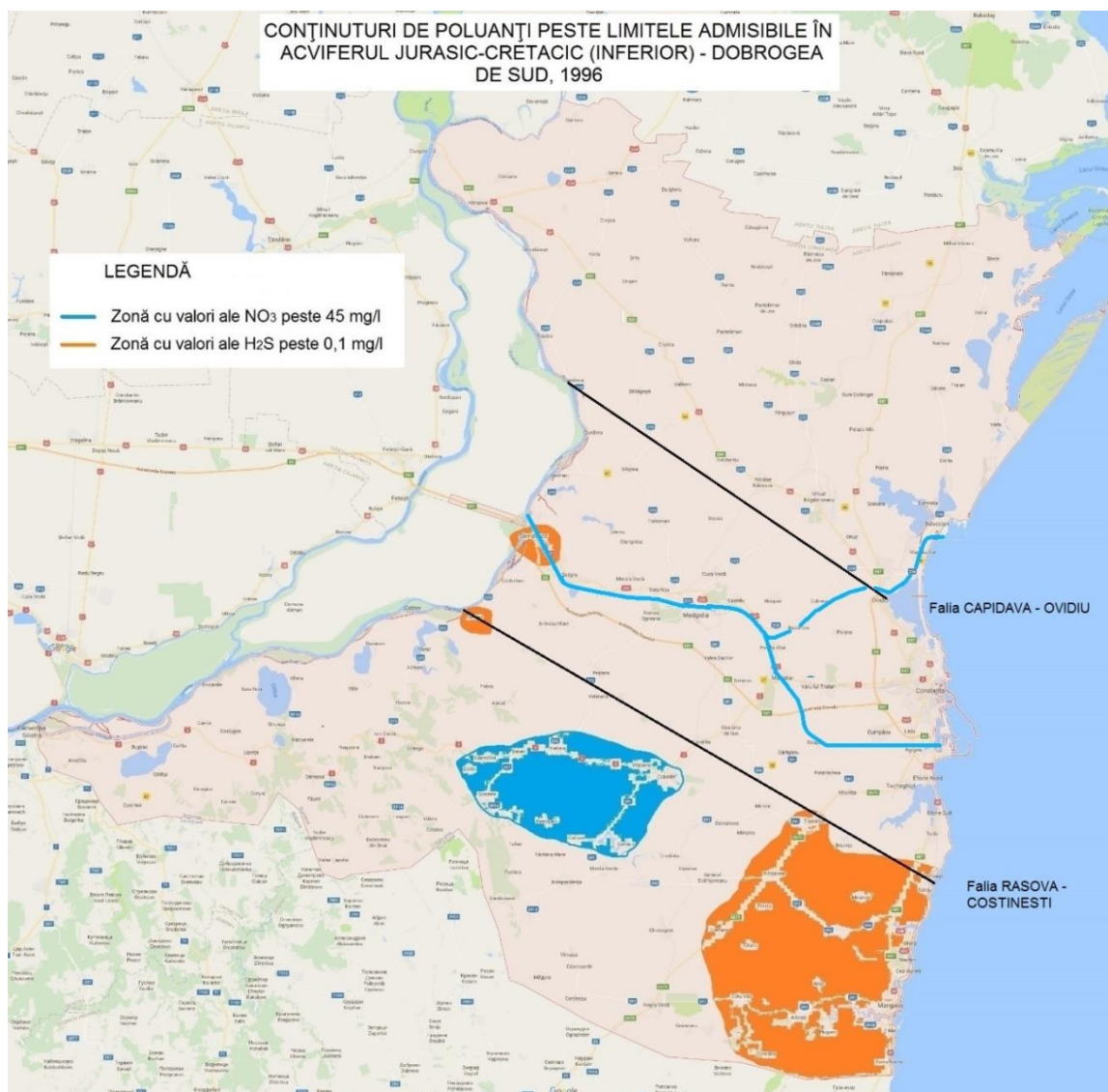


Figura 5.4. – Conținuturi de poluanți peste limitele admisibile în acviferul Jurasic – Cretacic (inferior) - Dobrogea de Sud 1996 [43]

În anul 2015 s-a realizat o campanie de măsurători care a relevat atât o creștere a concentrațiilor de nitrați, cât și o distribuție spațială mai mare în acviferul superior (Sarmațian). Astfel, s-a înregistrat o prezență masivă a concentrațiilor de nitrați ce depășesc limitele admisibile legal pe întinderi mari din sudul Dobrogei de Sud.

5.2.1.2. Studii hidrochimice realizate în zona cercetată în perioada 2000 - 2018

Studiul evoluției calității apei din zona cercetată în această lucrare s-a efectuat pe baza unor analize fizico – chimice și bacteriologice efectuate de operatorul de apă RAJA Constanța și de Administrația Națională Apele Române pe o perioadă de timp cuprinsă între anii 2000 – 2018.

În scopul determinării influențelor dintre canalele navigabile și principalele acvifere din zonă cu o acuratețe cât mai bună, au fost prelevate și analizate atât probe de apă subterană, cât și probe de apă de suprafață din următoarele amplasamente:

- puncte de prelevare a apei din canalele navigabile;
- forajele de observație situate de-a lungul canalelor navigabile;
- priza de apă Galeșu, situată în canalul Poarta Albă – Midia, Năvodari;
- sursele de apă subterană situate în vecinătatea canalelor navigabile: Caragea Dermen, Murfatlar I, Murfatlar II, Medgidia Sud, Medgidia Nord.

Buletinele de analiză ale probelor de apă prelevate au oferit informații despre o gama mai larga de parametri fizico – chimici, însă s-a analizat evoluția parametrilor care pot provoca riscuri semnificative atât pentru mediu (strate acvifere, canale navigabile), cât și pentru consumul de apă al populației.

5.2.1.2.1. Calitatea apei în canalele navigabile cercetate

Din buletinele analizelor efectuate rezultă că valorile concentrațiilor de nitrați sunt cuprinse între 1,57 – 14,59 mg/l în priza de apă Galeșu și între 0,09 – 10,88 mg/l în sectorul Luminița – pentru canalul Poarta Albă – Midia, Năvodari; respectiv între 3,34 – 13,57 mg/l în aval de stația de epurare Poarta Albă – pentru canalul Dunăre – Marea Neagră.

Valorile concentrațiilor de cloruri rezultate sunt cuprinse între 2,50 – 92,30 mg/l în priza de apă Galeșu și între 35,5 – 316,0 mg/l în sectorul Luminița – pentru canalul Poarta Albă – Midia, Năvodari; respectiv între 14,4 – 106,5 mg/l în aval de stația de epurare Poarta Albă – pentru canalul Dunăre – Marea Neagră.

Valorile concentrațiilor de amoniu sunt cuprinse între 0,037 – 0,267 mg/l în priza de apă Galeșu și între 0,010 – 0,458 mg/l în sectorul Luminița – pentru canalul Poarta Albă – Midia, Năvodari; respectiv între 0,015 – 0,78 mg/l în aval de stația de epurare Poarta Albă – pentru canalul Dunăre – Marea Neagră.

Valorile de pH sunt cuprinse între 7,23 – 8,76 în priza de apă Galeșu și între 7,05 – 9,10 în sectorul Luminița – pentru canalul Poarta Albă – Midia, Năvodari; respectiv între 7,11 – 8,74 în aval de stația de epurare Poarta Albă – pentru canalul Dunăre – Marea Neagră.

Calitatea apei din punct de vedere al parametrilor analizați în intervalul de timp 2010 – 2018 se încadrează în general în limitele admisibile legal. În două din cele trei puncte de prelevare a probelor de apă s-au constatat depășiri ale concentrațiilor de cloruri și amoniu peste limitele impuse de legislația în vigoare.

Aval de stația de epurare Poarta Albă, în canalul Dunăre – Marea Neagră s-a observat o depășire a concentrației de amoniu peste limita admisibilă legal (0,78 mg/l - Martie 2015), conform figurii 5.23. (Sursa de poluare SE Poarta Albă).

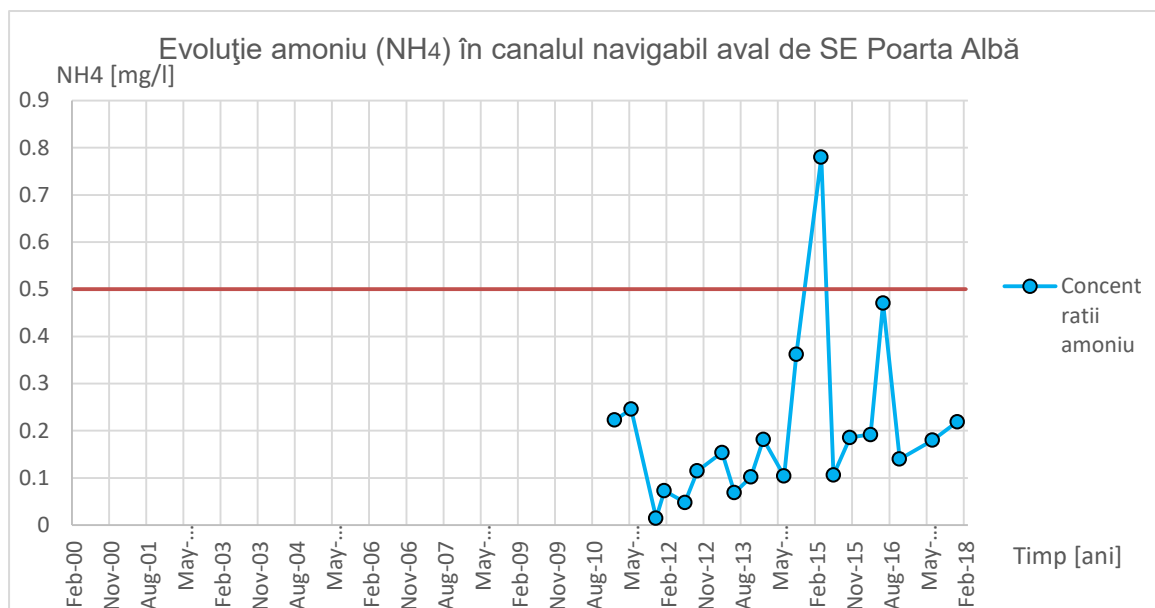


Figura 5.5. – Evoluție concentrații amoniu aval de SE Poarta Albă – canal D.M.N. (analize ANAR)

În canalul Poarta Albă – Midia, Năvodari în sectorul Luminița s-au observat depășiri succesive ale concentrației de cloruri peste limita admisibilă legal (sursa fiind ecluza).

5.2.1.2.2. Calitatea apei în priza de apă Galeșu din canalul Poarta Albă – Midia, Năvodari

Priza de apă Galeșu ($Q=4,5$ mc/s) este situată în canalul Poarta Albă – Midia, Năvodari, la km. 6+398.

În general, parametrii analizați se încadrează în limitele admisibile legal. Cu toate acestea, s-a înregistrat un eveniment în luna Iunie 2014 în care concentrația de amoniu (1,131 mg/l) a depășit limita admisibilă legal.

5.2.1.2.3. Calitatea apei în sursele de apă subterane din vecinătatea canalelor navigabile

Evaluarea calității apei din sursele de apă subterane amplasate în vecinătatea canalelor navigabile Dunăre – Marea Neagră, respectiv Poarta Albă – Midia, Năvodari s-a realizat pe baza analizelor fizico – chimice efectuate de operatorul de apă RAJA Constanța.

Sintetiza informațiilor obținute din buletinele de analize efectuate atât de operatorul de apă RAJA Constanța, cât și de Administrația Națională Apele Române în intervalul de timp 2000 – 2018, este prezentată în tabelul 5.2., de mai jos. Acest tabel prezintă evoluția calității apei subterane în acviferul Juristic – Cretacic (inferior) pentru cei patru parametri analizați:

<i>Acviferul Jurassic - Cretacic (inferior)</i>	
NO_3^-	Valoriile concentrațiilor de nitrați din probele de apă subterană și de suprafață prelevate se află în general sub valorile maxim admisibile legal. Există câteva excepții în care au fost depistate depășiri ale valorilor concentrațiilor de nitrați peste limitele legale (Caragea Dermen – 110,60 mg/l în 2003 și Murfatlar I – 50,40 mg/l în 2008 și 70,40 mg/l în 2012).
Cl^-	Din analizele efectuate, în general valorile concentrațiilor de cloruri din probele de apă subterană și de suprafață prelevate se află în sub valorile maxim admisibile legal, nexistând depășiri. Se observă prezența concentrațiilor de cloruri peste limitele legale cu precădere în zonele litorale, în canalul Poarta Albă – Midia, Năvodari, în sectorul Luminița și în forajul de observație Agigea, din vecinătatea canalului Dunăre – Marea Neagră, din cauza producerii fenomenului de ecluză.
NH_4^+	În linii mari, valorile concentrațiilor de amoniu înregistrate s-au încadrat în limitele legal admisibile. Totuși, s-au depistat evenimente izolate, în care s-au depășit limitele legal admisibile în canalul Dunăre – Marea Neagră, aval de stația de epurare Poarta Albă (0,78 mg/l în Martie 2015); în forajul de observație Straja (3,315 mg/l în Mai 2015) situat pe traseul canalului Dunăre – Marea Neagră și în canalul Poarta Albă – Midia, Năvodari, în priza de apă Galeșu (1,131 mg/l în Iunie 2014).
pH	Valorile de pH au o evoluție între valorile admisibile legal, nexistând depășiri pentru nici o probă de apă analizată.

Tabel 5.2. – Sinteza rezultatelor obținute în perioada 2000 – 2018

5.2.2. Interacțiune calitativă a canalelor navigabile cu acvifere

Prin analize s-au obținut informații privind calitatea probelor de apă prelevate într-un interval de timp de 18 ani, cuprins între anii 2000 – 2018. Totodată, s-au realizat corelații între rezultate analizelor efectuate în canalele navigabile, forajele de observație amplasate adiacent și captările subterane care exploatează acviferul inferior (Jurasic – Cretacic).

5.2.2.1. Canalul navigabil Dunăre – Marea Neagră

Un eveniment a fost înregistrat în luna Martie a anului 2015, când apă insuficient epurată deversată în canal a provocat o depășire a concentrației de amoniu (0,78 mg/l) peste limita admisibilă legal. Fenomenele de transport a poluanților au contribuit la deplasarea și dizolvarea poluantului în apa canalului navigabil. În forajul de observație Straja, amplasat pe malul drept al canalului navigabil a fost înregistrată o creștere semnificativă a concentrației de amoniu (3,315 mg/l), mult peste limita admisibilă legal, depistată în luna Mai a anului 2015. Corelând aceste rezultate, se observă că poluantul a parcurs o distanță de aproximativ 14 km prin canalul navigabil până la forajul de observație Straja într-un interval de timp de aproximativ 2 luni și jumătate.

În această perioadă de timp (Martie – Mai 2015) în captările Murfatlar I și II, care exploatează acviferul inferior Jurasic – Cretacic și sunt amplasate pe ambele maluri ale canalului Dunăre – Marea Neagră, între Poarta Albă și Straja nu s-au înregistrat creșteri ale concentrației de amoniu.

Acest lucru induce ideea că sursa poluantă a fost resimțită local doar în apele canalului și adiacent acestuia, în stratele freatiche (de suprafață), neafectând calitatea apei din acviferul inferior.

5.2.2.2. Canalul navigabil Poarta Albă – Midia, Năvodari

Pe un tronson cuprins între ecluza Ovidiu și amonte 3 km față de aceasta, canalul este săpat în roca magazin a acviferului inferior Jurasic – Cretacic.

În concluzie, interacțiunea calitativă între apele din canalul navigabil Poarta Albă – Midia, Năvodari și stratele acvifere se manifestă în general local, pe tronsonul cuprins între ecluza Ovidiu și până la vărsarea în Marea Neagră. În situația unei poluări accidentale pe tronsonul cuprins între Poarta Albă și ecluza Ovidiu, există un risc de contaminare a acviferului inferior Jurasic – Cretacic în zona în care canalul este săpat în roca magazin. În anumite condiții, acest lucru poate aduce consecințe grave asupra surselor de apă care exploatează acviferul inferior.

5.3. Principalele surse subterane din zona cercetată

5.3.1. Sursele de apă subterană vulnerabile

❖ Sursele de apă subterană ale municipiului Constanța

Municipiul Constanța dispune de patru captări subterane, amplasate la sud de canalul Poarta Albă – Midia, Năvodari, și anume: Caragea Dermen, Cișmea I, Cișmea II și Constanța Nord.

În perioada de execuție a canalului Poarta Albă – Midia, Năvodari (1983 – 1988), captările subterane ale municipiului Constanța beneficiau de 75 de puțuri și exploatau stratele cu adâncimi cuprinse între 25 și 300 m. Regimul de exploatare al captărilor era determinat de caracterul sezonier al consumurilor de apă, ce presupunea variații mari între vară și iarnă. În total, aceste captări furnizau un debit mediu anual de aproximativ 3000 l/s.

Scăderea nivelelor piezometrice din întreaga zonă cercetată în anul 1987 este efectul nerefacerii suficiente a acviferului în perioada noiembrie 1987 – februarie 1988, după o perioadă de intensă solicitare (martie – octombrie 1987), când s-au extras din toate captările municipiului Constanța debite medii lunare de peste 4000 l/s.

La nivel regional, sarcina piezometrică impusă într-o primă fază de lucrările de epuizament efectuate la execuție și ulterior după punerea în funcțiune a canalului (cota nivel apă în canal +7,5 m, amonte de ecluza Ovidiu) au influențat în mod semnificativ și nivelele hidrostatice din acviferul Jurasic – Cretacic (inferior). După punerea în funcțiune, canalul a reprezentat o sursă de alimentare a acviferului inferior pe un tronson de aproximativ 3 km, situat amonte de ecluza Ovidiu.

❖ Sursele de apă ale orașului Murfatlar (Basarabi)

Sursele de apă Murfatlar I și II (foste Basarabi) sunt amplasate pe valea Carasu, între localitățile Basarabi și Poarta Albă, pe ambele maluri ale canalului navigabil Dunăre – Marea Neagră. Cele două surse au fost dimensionate inițial să asigure o capacitate de captare de aproximativ $Q = 900 \text{ l/s}$, iar în prezent furnizează 532 l/s , care asigură necesarul de apă pentru localitățile Murfatlar, Poarta Albă și Galeșu.

De-a lungul timpului, s-a constatat că în exploatarea captărilor Murfatlar au intervenit doi factori ce au influențat condițiile hidrodinamice și calitative ale apei subterane:

- execuția canalului principal de irigații între stația de pompare Poarta Albă și stația de pompare Basarabi – pădure, pus în funcțiune în 1970;
- execuția canalului Dunăre – Marea Neagră resimțită mai puternic în perioada 1980 – 1983 și punerea acestuia în folosință după 1983.

După punerea în funcțiune a canalului, nivelele hidrostatice au înregistrat o creștere treptată în acviferul freatic, până la cota $+7,00 \text{ m}$. Întrucât calitatea apei din forajele de captare era influențată de calitatea apei din canal, s-au executat alte forajele de captare cu adâncimi cuprinse între $60 - 150 \text{ m}$, care să exploateze în proporție majoră acviferul Juristic – Cretacic (inferior).

Deși între cele două acvifere freatic și inferior se întâlnesc depozite de crete senoniene care de regulă opresc comunicarea între acvifere, în anumite condiții, în care se exploatează debite mari și nivelurile piezometrice scad, se produce fenomenul de drenanță verticală descendentă.

5.3.2. Surse de apă subterană sigure în exploatare

❖ Sursa de apă Medgidia Nord

În anul 1987 s-a pus în funcțiune această sursă de apă formată din 12 puțuri forate la adâncimi de $350 - 500 \text{ m}$ ($Q = 1000 \text{ l/s}$). Pentru eliminarea riscurilor de poluare, primii 150 m de foraj au fost prevăzuți cu coloană definitivă cimentată în spate, iar de la această adâncime până la talpa forajului a rămas gaură liberă în calcare și dolomite.

În prezent, două dintre puțurile de exploatare au fost conectate la noua aducțiune de apă pentru alimentarea orașului Cernavodă, care beneficiază astfel de apă potabilă stabilă chimic și bacteriologic.

Un puț de exploatare a fost conectat la sistemul de alimentare cu apă a municipiului Medgidia pentru preluarea vârfurilor de consum din sezonul de vară.

Având în vedere că sursele de apă ale localităților litorale din sudul județului au suferit contaminări grave datorită substanțelor poluante provenite din agricultură, operatorul de apă RAJA Constanța a luat decizia de a introduce în programul de investiții utilizarea a nouă puțuri de exploatare, din captarea Medgidia Nord, pentru asigurarea consumului de apă potabilă.

6. MODELAREA NUMERICĂ PE UN STUDIU DE CAZ

Modelarea numerică efectuată prin intermediul programelor de calcul, constituie un instrument util în studierea și evaluarea sistemelor acvifere subterane, precum și în proiectarea și creșterea eficienței în exploatare atât a resurselor de ape subterane, cât și a diferitelor construcții hidrotehnice.

Orice caz natural analizat poate fi conceptualizat, prin simplificarea sistemului natural și adoptarea unor ipoteze, care să simuleze cazul cu o precizie cât mai apropiată cea reală. Gradul de acuratețe al rezultatelor obținute este direct proporțional cu gradul de acuratețe al datelor și ipotezelor introduse în modelul numeric.

6.1. Reprezentarea modelului

Modelul conceptual construit în prezenta lucrare s-a dorit a fi utilizat pentru cercetarea acviferului carstic Jurasic – Cretacic inferior, prezent în zona studiată, județul Constanța, România.

Zona studiată este situată în nordul Dobrogei de Sud, în regiunea cuprinsă între faliile Capidava – Ovidiu și Rasova – Costinești, fluviul Dunărea și Marea Neagră (conform Figură 4.1. - Plan de situație al zonei cercetate).

Perimetrul zonei studiate prezintă următoarea geometrie în plan: 68 km – lungime, respectiv 32 km – lățime. Întreaga suprafață a modelului a fost discretizată într-o rețea de celule cu dimensiuni variabile în funcție de zonele de interes analizate. Astfel, dimensiunile orizontale ale celulelor de discretizare sunt în general de 1000 m x 1000 m, însă se remarcă o discretizare mai fină de 500 m x 500 m în zonele cu captări subterane, pentru o acuratețe mai mare a rezultatelor. Înălțimile celulelor de discretizare sunt egale cu grosimile acviferului inferior Jurasic – Cretacic, interceptate în foraje, și sunt cuprinse între 12,80 m și -1205,33 m.

Construirea modelului de curgere al acviferului inferior Jurasic – Cretacic s-a realizat prin introducerea datelor litologice, a condițiilor la limită, a forajelor de observație și a forajelor de captare în programul de calcul.

Litologia acviferului inferior Jurasic – Cretacic a fost determinată prin interpolare, utilizând ca date de bază grosimile acviferului depistate în fiecare foraj de observație.

Condițiile la limită impuse pentru crearea modelului de curgere au fost determinate prin interpolare, pe baza hărții piezometrice a acviferului inferior Jurasic – Cretacic. [28] În modelul numeric au fost introduse condiții la limită de tip sarcină impusă, prezentate sintetic în tabelul 6.2. prezentat mai jos. Frontiera Nordică a modelului, reprezentată de falia Capidava – Ovidiu s-a considerat a fi frontieră etanșă. De asemenea, atât lacului Siutghiol, cât și tronsonului de canal Poarta Albă – Midia, Năvodari, care se află în contact direct cu acviferul inferior Jurasic – Cretacic li s-a impus sarcină de tip potențial impus de +1,25 m. Totodată, amonte de ecluza Ovidiu, pe un tronson de aproximativ 3 km din canal, s-a impus sarcină de tip potențial impus +7,50 m.

Nr. Crt.	Fronieră	Tronson	Lungime [m]	Tip potențial	Potențial impus
1	Nordică	-	-	etansa	-
2	Vestică	1 - 2	4234	variabil	9.2 - 9.0
		2 - 3	7076	liniar	9
		3 - 4	3244	variabil	9 - 12
		4 - 5	6640	liniar	12
		5 - 6	2448	variabil	12 - 10
		6 - 7	3528	variabil	10 - 9.5
		7 - 8	8702	variabil	9.5 - 9
3	Sudică	8 - 9	3230	variabil	9 - 10
		9 - 10	1802	variabil	10 - 11
		10 - 11	2750	variabil	11 - 12
		11 - 12	6282	variabil	12 - 11.5
		12 - 13	7156	variabil	11.5 - 12
		13 - 14	10032	variabil	12 - 19
		14 - 15	8808	variabil	19 - 21
4	Estică	15 - 16	27278	variabil	21 - 18.7
		16 - 17	16242	variabil	18.7 - 18
		17 - 18	718	liniar	18
		18 - 19	4802	variabil	18 - 11
		19 - 20	18670	variabil	1 - (-1)
5	lac Siutghiol	20 - 21	1062	liniar	0
6	sector 3 km amonte ecluza Ovidiu - canal PAMN		3000	liniar	1.25

Tabel 6.1. – Condiții la limită impuse

Datele forajelor de observație situate în zona studiată sunt centralizate în tabelul 6.2.

Coordonatele în plan (x, y) pentru fiecare foraj de observație au fost determinate prin intermediul unui sistem local de coordonate amplasat astfel:

- Originea sistemului se află pe fluviul Dunărea, la Sud – Vest față de localitatea Rasova;
- Axa Ox este situată pe direcția faliei Rasova – Costinești;
- Axa Oy este situată pe direcția fluviului Dunărea.

Cotele nivelelor hidrostatice din forajele de observație au fost determinate în urma măsurătorilor efectuate în anul 2018.

Nr. Crt.	Localitate	Foraj	Coordonate locale (model)		Cota teren [m]	NHs (2018)
			x [m]	y [m]		Cote [m]
1	Basarabi (Murfatlar)	F 5035	37099.7666	13297.7436	15.88	7.1
2	Poarta Alba	F 5036	36537.8339	18090.6771	23.07	13.15
3	Poarta Alba	F 5037	37556.9580	19075.2914	27.33	9.6
4	Valul lui Traian	F 1 (5039)	42984.6574	15528.7713	32.60	5.82
5	Palas	F 5040	47493.1840	18578.3388	42.06	2.7
6	Constanta Cismea I	F 5041	49111.6481	26373.5305	4.21	0.57
7	Basarabi - capt	F 5042	36200.4523	14975.6964	18.00	9.82
8	Tortomanu	F 5044	15104.7347	21323.5673	33.00	8.80
9	Dunarea	F 5045	1450.8971	26676.9677	13.10	9.02
10	Pestera	F 5046	18142.6074	2535.9964	43.67	10.15
11	Castelu	F 5053	26773.8997	20373.3085	20.97	10.07
12	Baraganu	F 5060	41266.8374	6212.6580	77.63	16.75
13	Cernavoda	F 5061	1090.6785	14058.5439	14.30	12.01
14	Techirghiol	F 5069	56808.4853	11582.8823	15.50	14.01
15	Cumpana	F 5070	51621.6116	13809.2180	48.88	18.5
16	Medgidia - capt oras	F 5091	23417.9633	15069.3299	22.45	-
17	Nazarcea capt.	F 1H	35353.2144	21151.8841	44.67	10.15
18	Nazarcea ISCIP	F 2	35160.0076	20717.7792	46.74	10.8
19	Rasova	F 2H	1255.5474	1255.5474	17.49	9.12
20	Lazu	F 8H	54878.5903	16583.3787	14.29	-
21	Ivrinezu Mare	F 1	9328.8705	4165.0696	13.72	11.1
22	Medgidia - capt oras	F 1 (Car.)	24450.7068	15561.6760	13.28	9.81
23	Medgidia - SP Tortomanu	F 2	23698.4415	16915.4534	11.43	11.82
24	Valea Seaca	F 1	40934.3303	15499.6499	24.11	5.02
25	Medgidia - capt CT	P 0	23145.1936	15675.1893	16.11	11.68
26	Constanta	P 23	49711.2935	23106.0808	64.20	0.17
27	Constanta	P 24	49379.4343	24512.7633	43.06	1.42
28	Constanta Cismea I	P 25	49340.3607	25701.3087	15.92	0.12
29	Constanta Nord	P 26	49462.7947	27715.9392	11.94	0.83
30	Constanta Nord	P 27	49714.5058	28109.8365	3.22	0.41

Tabel 6.2. – Foraje de observație în zona studiată

Valorile debitelor medii exploatate din captările de apă subterană aflate în zonele adiacente canalelor navigabile, ce alimentează municipiul Constanța, orașele Medgidia, Murfatlar și comuna Valul lui Traian sunt prezentate în tabelul 6.3. și au fost furnizate de către operatorul de apă RAJA Constanța.

Nr. Crt.	Captare de apă	Debit exploatat	
		[mc/zi]	[l/s]
1	Caragea Dermen	55119.74	637.96
2	Cișmea I	133505.97	1545.208
3	Cișmea II	29926.20	346.368
4	Constanța Nord	18066.24	209.1
5	Basarabi I	39391.49	455.92
6	Basarabi II	6092.93	70.52
7	Valul lui Traian	16321.00	188.9
8	Medgidia oraș	38880.00	450
9	Medgidia pentru oraș Constanța	17280.00	200

Tabel 6.3. – Debite exploatate din captările subterane

6.2. Modelul utilizat

Construcția modelului de calcul al zonei studiate și simulările numerice pentru diferite scenarii de curgere s-au efectuat cu ajutorul pachetului de programe GMS.

Acest model a fost creat pentru a evalua interacțiunea dintre canalele navigabile Dunăre – Marea Neagră, respectiv Poarta Albă – Midia, Năvodari cu sursele de apă subterane, amplasate în acvifere fisural – carstice.

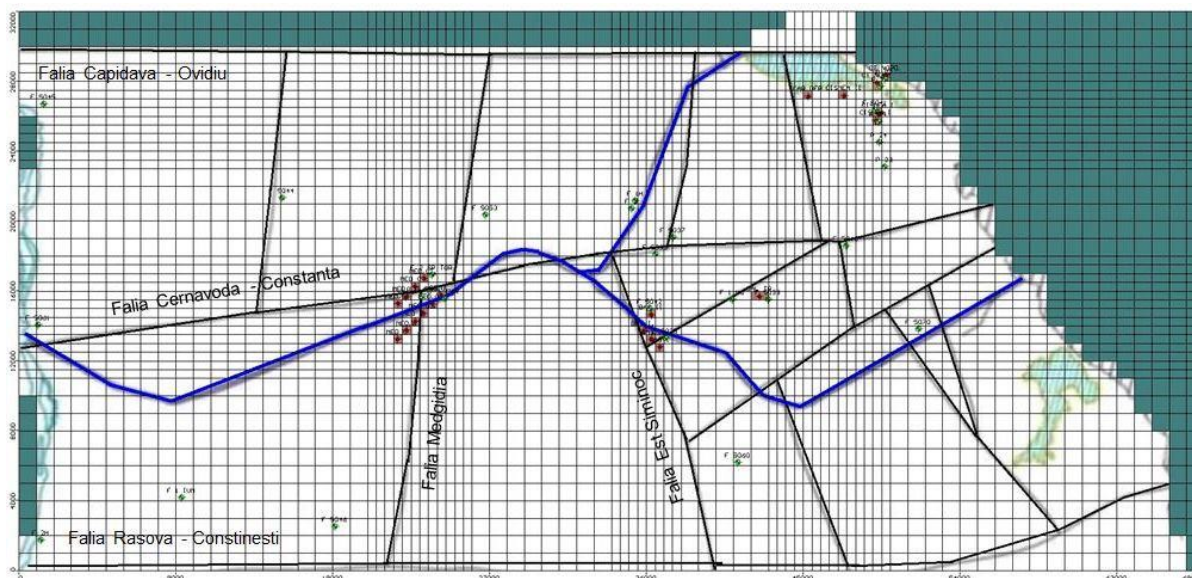


Figura 6.1. – Model acvifer inferior Jurasic – Cretacic

6.3. Gridul modelului studiat

Litologia acviferului studiat (Jurasic – Cretacic) a fost creată de către programul GMS, prin interpolare, după introducerea grosimii acviferului în fiecare foraj de observație. În figurile de mai jos sunt prezentate două secțiuni transversale orizontale și verticale ale acviferului inferior Jurasic – Cretacic creat de program.

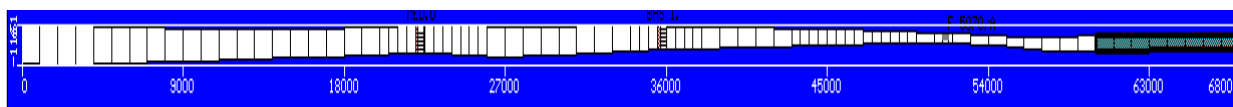


Figura 6.2. – Secțiune orizontală 1 prin gridul modelului regional

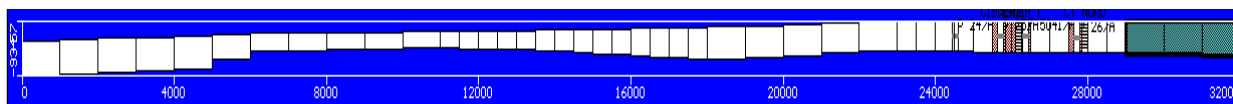


Figura 6.3. – Secțiune verticală 1 prin gridul modelului regional

6.4. Calibrare model

Calibrarea modelului de curgere a fost realizată în regim staționar, pe baza cotelor nivelurilor hidrostatice din foraje de observație, măsurate în anul 2018. Condițiile la limită utilizate au fost de tip sarcină impusă și debit impus. Condițiile de tip sarcină impusă au fost

stabilite prin interpolare pe baza hărții piezometrice a acviferului inferior Jurasic – Cretacic, în timp ce pentru condițiile de tip debit impus, s-au utilizat datele furnizate de operatorul de apă RAJA Constanța.

Cotele nivelului apei în canalele navigabile Dunăre – Marea Neagră, respectiv Poarta Albă – Midia, Năvodari au valori diferite în funcție de biefuri, în conformitate cu prevederile din regulamentele de exploatare și întreținere ale canalelor navigabile.

Condițiile la limită de tip debit impus se referă la debitele captate din acviferul inferior. În modelul numeric, captările orașelor Constanța, Murfatlar și Medgidia, dar și captarea comunei Valu lui Traian au fost reprezentate prin forajele de pompare din care se extrag diverse debite (figura 6.1.).

Procesul de calibrare a modelului a fost realizat prin metoda încercărilor succesive, prin intermediul ajustării valorilor conductivităților hidraulice până la momentul în care nivelele calculate în toate forajele de observație au fost apropiate de nivelele măsurate. [27]

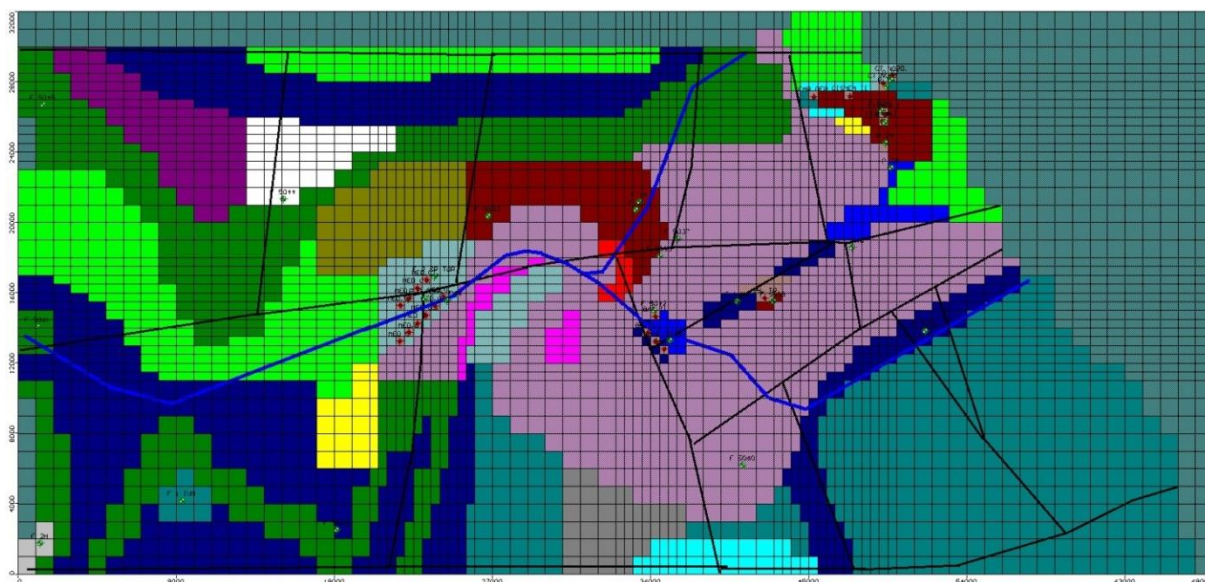


Figura 6.4. – Distribuția conductivităților hidraulice utilizate pentru calibrarea modelului

Zone	K _x [m/d]	K _y [m/d]	K _z [m/d]	Active	Distribution Array
1	50	50	5	☒	☐
2	100	100	10	☒	☐
3	1	1	0.1	☒	☐
4	500	500	50	☒	☐
5	350	350	35	☒	☐
6	80	80	8	☒	☐
7	30	30	3	☒	☐
8	0.01	0.01	0.001	☒	☐
9	120	120	12	☒	☐
10	150	150	15	☒	☐
11	250	250	25	☒	☐
12	10	10	1	☒	☐
13	20	20	2	☒	☐
14	200	200	20	☒	☐
15	600	600	60	☒	☐
16	0.05	0.05	0.005	☐	☐
17	0.5	0.5	0.05	☐	☐
18	800	800	80	☒	☐
19	400	400	40	☒	☐
20	4	4	0.4	☒	☐
21	300	300	30	☐	☐

Hydraulic conductivity in X-direction Value = 50

Export Reset Order Clean Up Advanced >> OK Cancel

Figura 6.5. – Valorile conductivităților hidraulice utilizate pentru calibrarea modelului

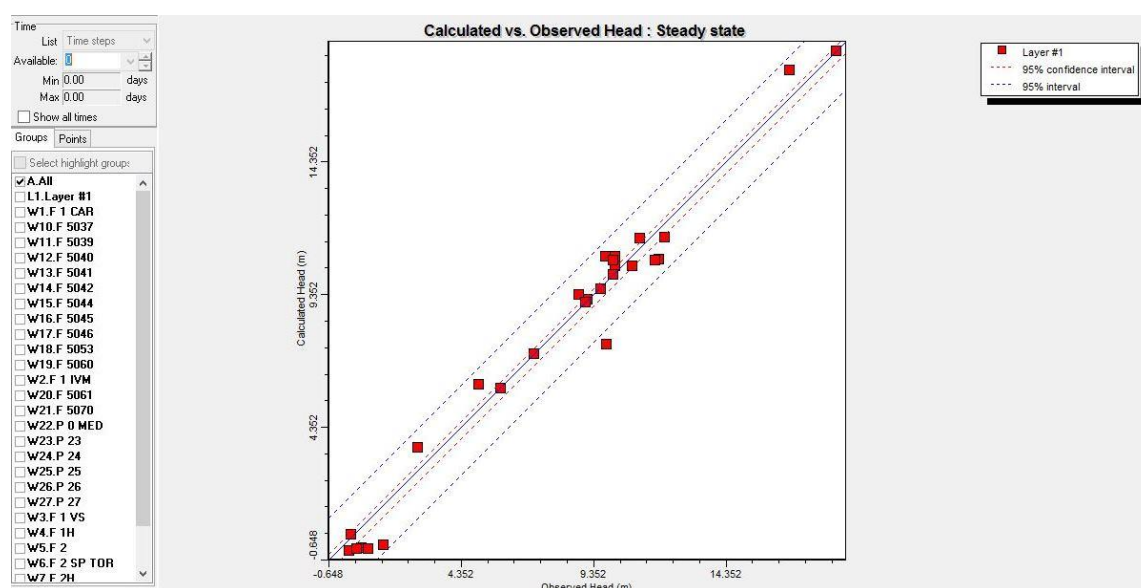


Figura 6.6. – Grafic nivele calculate vs nivele măsurate în forajele de observație în urma calibrării modelului

În general, un model numeric se consideră a fi bine calibrat dacă diferența dintre nivelele calculate și cele măsurate în toate forajele de observație este de cel mult 1,0 m. [27] În cazul acestui model, s-au constatat diferențe mai mari de 1,0 m, între nivelele calculate și cele măsurate, în două foraje de observație (F 5042 Basarabi – 2,33 m și F 24 Constanța – 1,47 m).

Cu toate acestea, având în vedere că acest model a fost creat în scopul cercetării, la o scară regională (68.000 m x 32.000 m), iar unele măsurători pot avea mici incertitudini, modelul se poate considera calibrat.

După finalizarea procesului de calibrare a modelului, a rezultat distribuția conductivităților hidraulice ale acviferului (figura 6.11.), ale căror valori sunt cuprinse între 0,01 m/zi, local, pe un sector din jurul forajului F 2H Rasova și 800 m/zi în zona orașului Medgidia, cu precădere în zona fronturilor de captare Medgidia oraș, respectiv Medgidia Nord pentru orașul Constanța. Valorile ridicate ale conductivităților hidraulice din zona cercetată indică ideea că acviferul fisural carstic inferior prezintă sectoare puternic carstificate, cu goluri subterane mari.

Sistemul de falii verticale și orizontale din zona analizată a generat o serie de blocuri tectonice neuniforme din punct de vedere al conductivității hidraulice.

6.5. Studiu de caz

După finalizarea procesului de calibrare și rularea modelului regional, a rezultat harta hidrodinamică a acviferului inferior Jurasic – Cretacic, prezentată în figura 6.7.

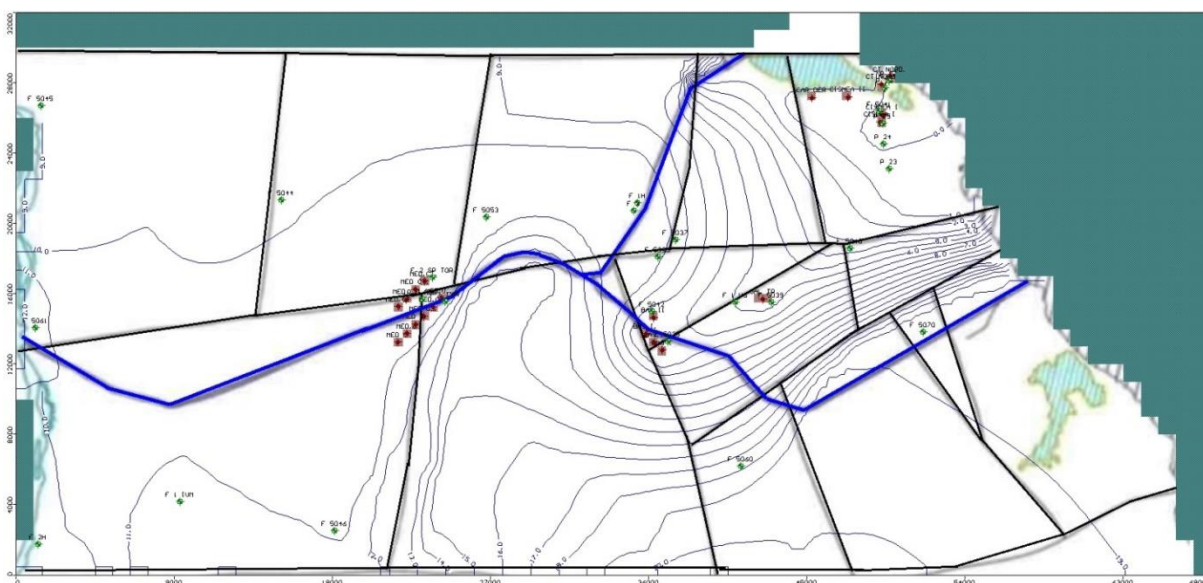


Figura 6.7. – Hartă hidrodinamică a modelului calibrat

De asemenea, programul a generat direcțiile de curgere prin modelul calibrat și zonele de alimentare a forajelor de captare.

Direcțiile de curgere rezultate în urma calibrării sunt orientate preponderent Sud-Vest – Nord-Est, conform figurii 6.8. Local, în zona delimitată de faliile Lazu – Cumpăna și Cernavodă – Constanța, conductivitățile hidraulice au valori reduse, iar direcțiile de curgere sunt orientate Sud – Nord. La Nord de falia Cernavodă – Constanța, revin la direcțiile de curgere Sud-Vest – Nord-Est.

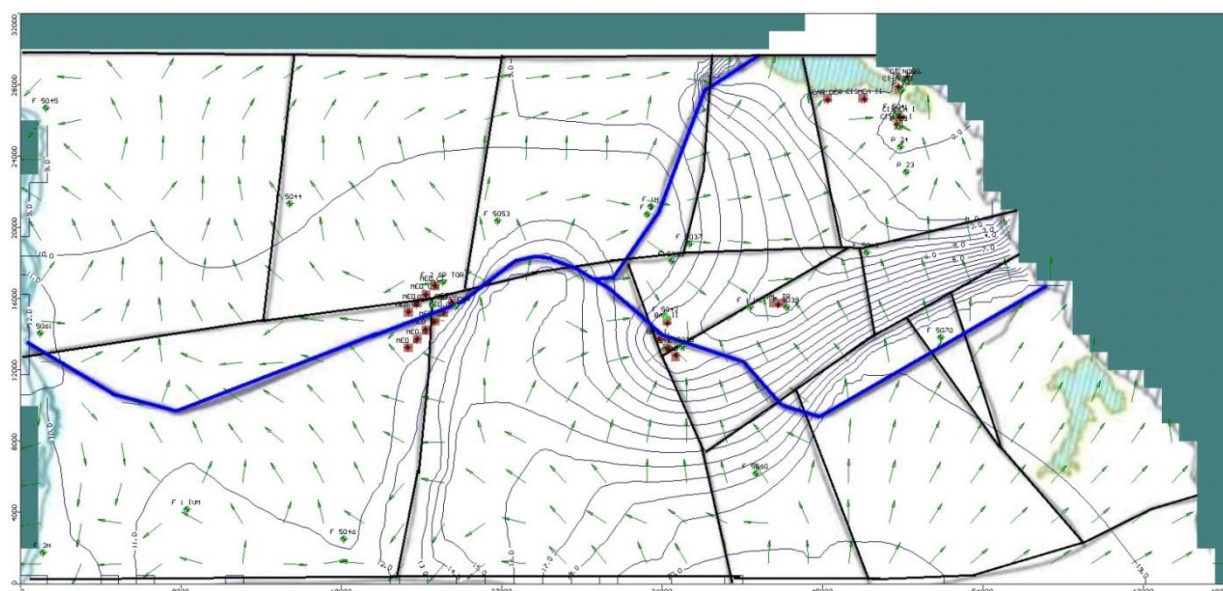


Figura 6.8. – Direcțiile de curgere prin modelul calibrat

În zona ecluzei Ovidiu, din canalul Poarta Albă – Midia, Năvodari, s-a observat o perturbație locală, determinată de legătura hidraulică directă dintre apa din canalul navigabil și acvifer. Totodată, s-a constatat apariția unor perturbații în zona captărilor municipiului Constanța, Murfatlar, Valul Lui Traian și Medgidia.

În figura 6.9. se poate constata că majoritatea forajelor de captare sunt alimentate dinspre frontiera sudică a domeniului, cu excepția forajelor din captările Constanța Nord, Cismea II și parțial Cismea I, care sunt alimentate din frontiera nordică și uneori din lacul Siutghiol.

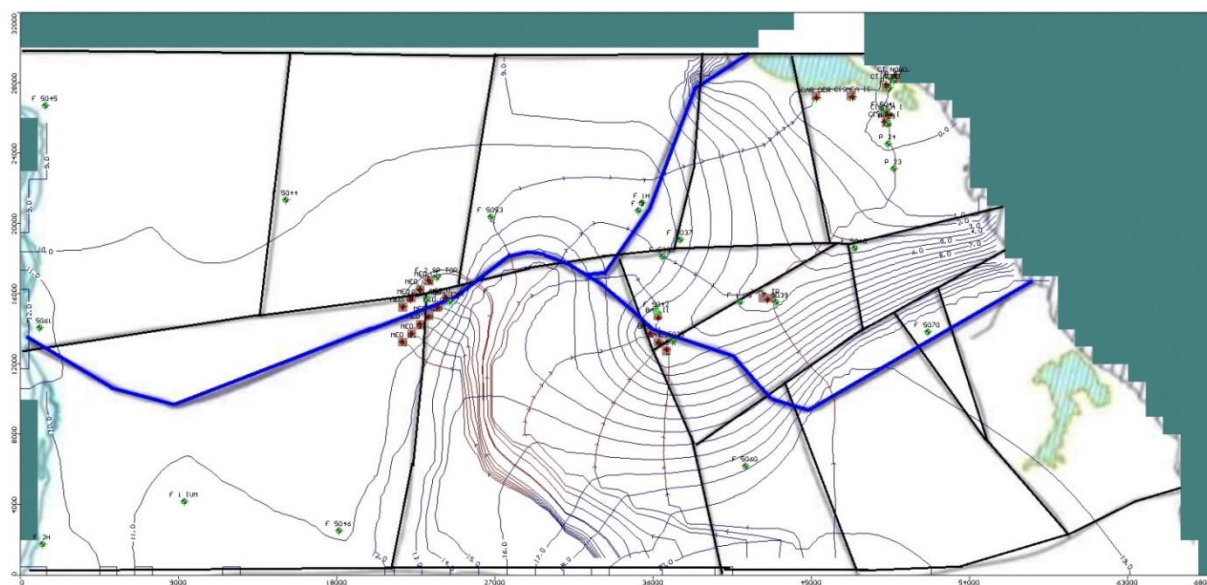


Figura 6.9. – Zone de alimentare a forajelor de captare

În conformitate cu figura 6.9., dacă se studiază posibilitatea de contaminare a acviferului inferior și se adoptă ipoteza unui transport de poluant advectiv, respectiv deplasarea poluantului se realizează doar în urma antrenării sale de către curgerea apei, modelul arată ca nu există în prezent pericolul contaminării forajelor de captare cu apa provenită din canalul Poarta Albă – Midia, Năvodari.

Pe baza modelului regional calibrat s-au trasat anumite zone pe frontierele estică, sudică și vestică pentru crearea unui bilanț de debite.

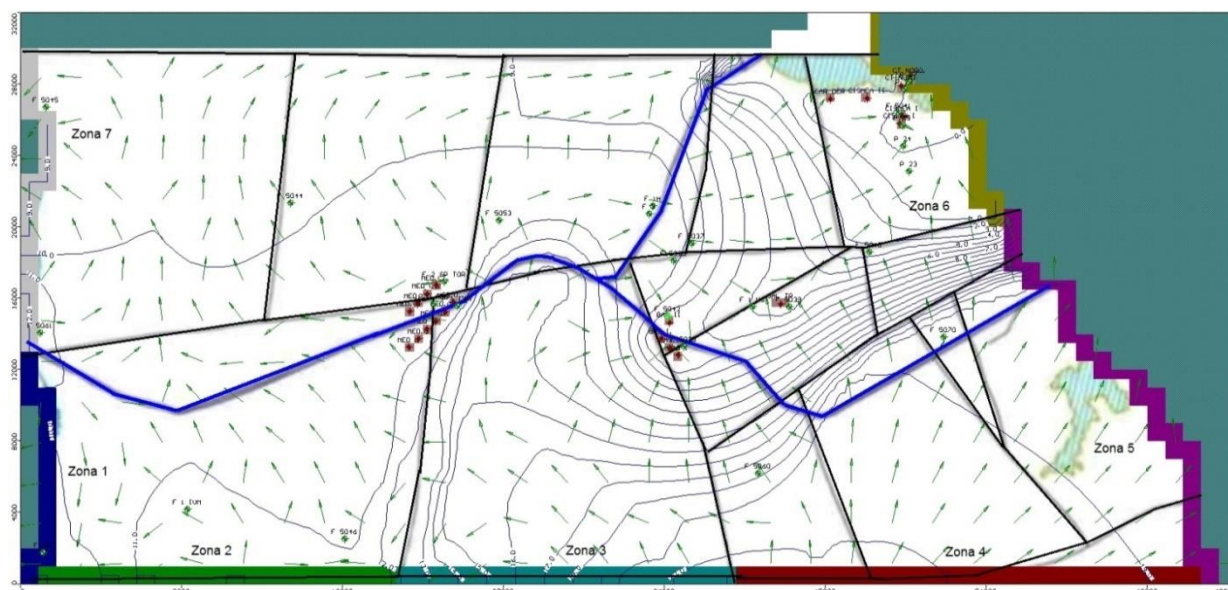


Figura 6.10. – Zonele delimitate pentru determinarea bilanțului de debite

Nr. Crt.	Fronieră	Intrare mc/zi	Iesire mc/zi
1	lac Siutghiol + tronson canal PAMN (ecluza Ovidiu - 3 km amonte)	91180	21014
2	Captari	0	345550
3	Zona 1	75296	10133
4	Zona 2	39667	53862
5	Zona 3	483650	348500
6	Zona 4	474800	0
7	Zona 5	12840	366340
8	Zona 6	152160	939070
9	Zona 7	287610	353520

Tabel 6.5. – Bilanț de debite al modelului regional calibrat

Modelul regional calibrat a fost utilizat în continuare pentru simularea a trei ipoteze:

- ipoteza 1: creșterea debitelor captate din captările municipiului Constanța de la 2740 l/s (în prezent) la 4000 l/s;
- ipoteza 2: transport de poluant din zona amonte de ecluza Ovidiu;
- ipoteza 3: propunerea a două captări subterane în localitățile Ivrinezu Mare și Peștera.

6.5.1. Ipoteza 1 – Creșterea debitelor

Din cauza faptului că în perioada estivală, consumul de apă este foarte ridicat în zona litorală, iar debitele exploatate din captările municipiului Constanța pot ajunge la valori foarte ridicate, s-a urmărit comportarea acviferului inferior Jurasic – Cretacic în cazul exploatării cu valorile ridicate ale debitelor. Astfel, s-a impus ca suma debitelor extrase din captările Caragea Dermen, Cismea I, Cismea II, Constanța Nord să ajungă la 4000 l/s, față de debitele exploatate în prezent, care însumate ajung la aproximativ 2740 l/s.

După aplicarea ipotezei 1 și rularea modelului, a rezultat harta hidrodynamică a acviferului inferior Jurasic – Cretacic, prezentată în figura 6.11.

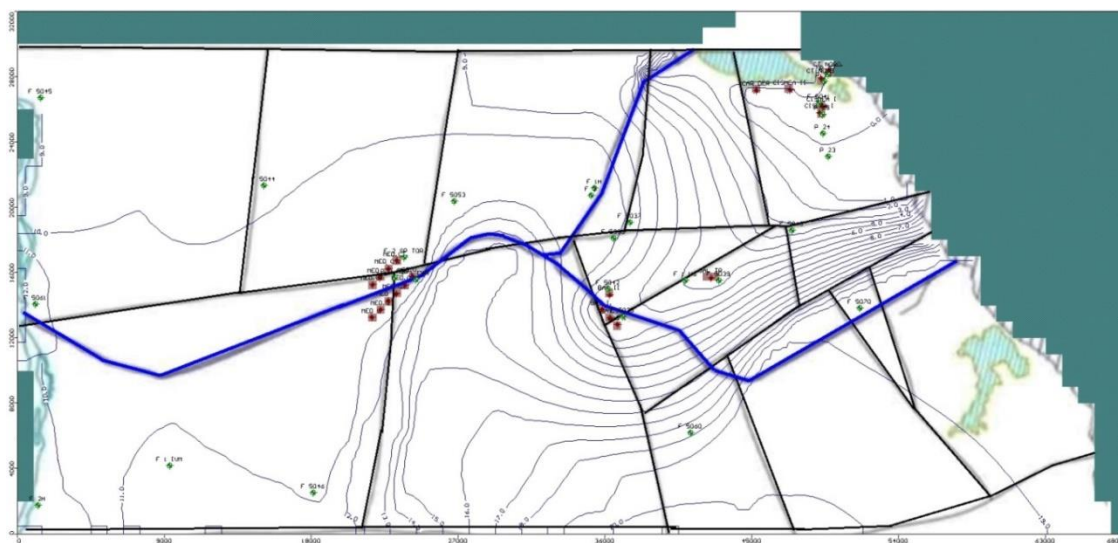


Figura 6.11. – Hartă hidrodynamică a modelului după simularea ipotezei 1

Direcțiile de curgere rezultate în urma rulării modelului cu ipoteza 1 au aceleași orientări ca cele rezultate după simularea modelului calibrat.

Zonele de alimentare a forajelor de captare rezultate în urma rulării modelului cu ipoteza 1 sunt identice cu cele rezultate după simularea modelului calibrat.

Bilanțul de debite rezultat în urma rulării modelului cu ipoteza 1 este prezentat mai jos:

Nr. Crt.	Fronieră	Intrare mc/zi	Iesire mc/zi
1	lac Siutghiol + tronson canal PAMN (ecluza Ovidiu - 3 km amonte)	961330	20911
2	Captari	0	450420
3	Zona 1	75322	10129
4	Zona 2	39675	53843
5	Zona 3	483710	348450
6	Zona 4	474880	0
7	Zona 5	12852	366280
8	Zona 6	172540	904470
9	Zona 7	287650	353450

Tabel 6.6. – Bilanț de debite al modelului regional după simularea ipotezei 1

6.5.2. Ipoteza 2 – Transport de poluant

Modelul numeric regional realizat a fost utilizat în continuare pentru simularea transportului de poluant, ținând cont și de dispersie. Au fost simulate mai multe scenarii de poluare accidentală, în cadrul cărora un poluant a fost introdus în zona ecluzei Ovidiu, din canalul navigabil Poarta Albă – Midia, Năvodari. Simulările de transport al poluantului s-au efectuat în această zonă deoarece pe tronsonul cuprins între ecluza Ovidiu, respectiv 3 km amonte pe canalul Poarta Albă – Midia, Năvodari, acviferul inferior Jurasic – Cretacic se află în contact direct cu apele din canalul navigabil. Simulările au fost făcute pentru o perioadă de maxim 30 ani, considerând regimul de curgere cvasi-staționar, în timp ce debitele de exploatare din captările subterane au avut atât o variantă cu valorile furnizate de operatorul RAJA Constanța, cât și altă variantă cu valorile calculate pentru un debit total exploatat din sursele Municipiului Constanța (conform ipotezei 1) de 4000 l/s. Poluantul cercetat a avut o concentrație de 100 mg/l, în timp ce dispersivitatea mediului a fost variată.

Rezultatele simularilor transportului de poluant pentru modelul calibrat sunt prezentate la diferiți timpi de expunere: după 10 zile, după 1 an, după 10 ani și figura 6.12 - după 30 de ani.

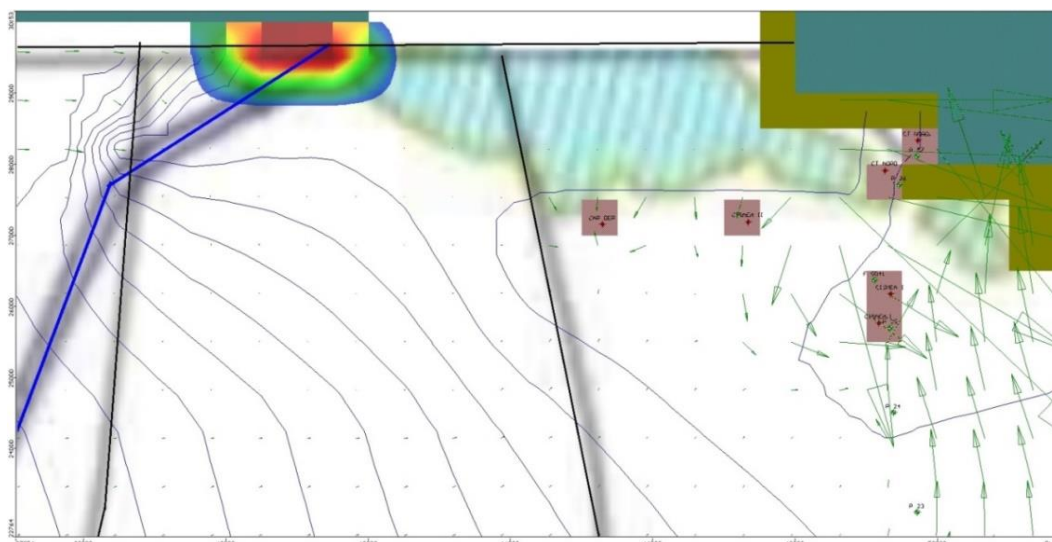


Figura 6.12. – Zona contaminată după un timp de expunere de 30 ani (model calibrat)

Simularea transportului de poluant pentru modelul calibrat a arătat că, indiferent de valoarea concentrației (până la limita de 100 mg/l azot) și a dispersivității, după 30 de ani, efectul poluării se manifestă doar pe o zonă restrânsă din jurul sursei de poluare. Poluantul a fost introdus chiar și pe toată lungimea tronsoanelor din canalul Poarta Albă – Midia, Năvodari aflat în contact direct cu acviferul inferior Jurasic – Cretacic. Chiar și în aceste condiții și pentru dispersivități ridicate (de 20 m și 30 m), simulările efectuate au arătat că, după 30 de ani, efectul poluării se resimte local, pe o zonă restrânsă. Acest lucru se datorează condițiilor hidrogeologice din zonă (gradienți hidraulici mici spre captări și lacul Siutghiol).

Ulterior s-au repetat aceleași simulări modificând debitele de exploatare conform ipotezei 1 (suma debitelor captate din sursele municipiului Constanța sa fie 4000 l/s).

Astfel, rezultatele simulărilor transportului de poluant după aplicarea ipotezei 1 sunt prezentate la diferiți timpi de expunere: după 10 zile, după 1 an, după 10 ani și figura 6.13 – după 30 de ani.

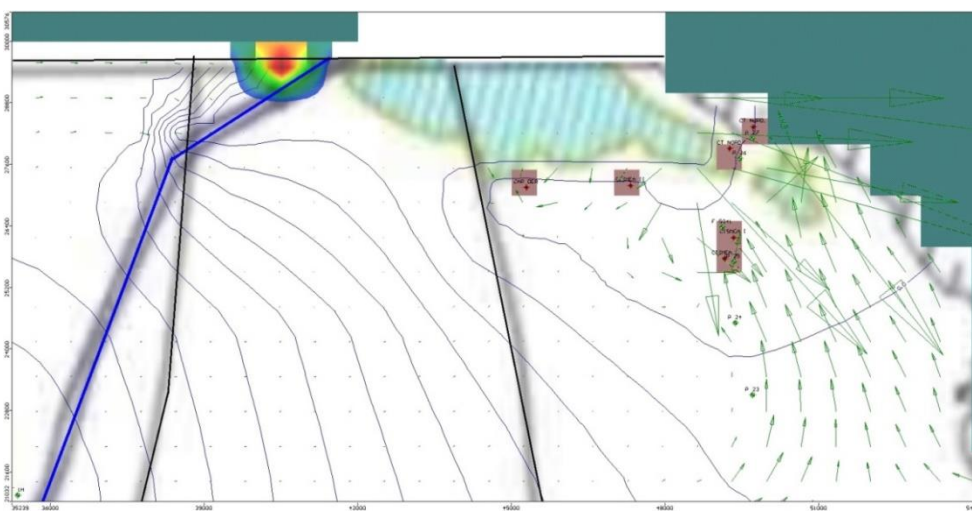


Figura 6.13. – Zona contaminată după un timp de expunere de 30 ani (model regional, ipoteza 1 de simularea)

Modelul de transport după mărirea debitelor de exploatare conform ipotezei 1, a arătat că, indiferent de valoarea concentrației (până la limita de 100 mg/l azot) și a dispersivității, după 30 de ani, efectul poluării se manifestă doar pe o zonă restrânsă din jurul sursei de poluare. Poluantul a fost introdus chiar și pe toată lungimea tronsonului din canalul Poarta Albă – Midia – Năvodari aflat în contact direct cu acviferul inferior Jurasic – Cretacic. Chiar și în aceste condiții și pentru dispersivități ridicate (de 20 m și 30 m), simulările efectuate au arătat că, după 30 de ani, efectul poluării se resimte local, pe o zonă restrânsă.

Simulările efectuate arată faptul că o poluare accidentală în canalul Poarta Albă – Midia, Năvodari nu se extinde în acviferul inferior Jurasic – Cretacic, ci se resimte local, în zonă de contact direct cu acviferul. De asemenea, calitatea apei exploatare prin fronturile de captare ale municipiului Constanța nu este alterată nici în condițiile unui debit total extras din fronturile de captare majorat cu aproximativ 45% față de regimul curent de exploatare.

6.5.3. Ipoteza 3 – Propunerea a două noi captări subterane

Pentru creșterea siguranței în exploatare și crearea unei flexibilități a sistemului de alimentare cu apă la scară regională s-au propus excutarea a două surse noi de apă.

În blocul tectonic VI s-au constatat condiții hidrogeologice bune din forajele de observație F 5046 – Peștera, respectiv F1 – Ivrinezu Mare pentru a se putea capta apa din acviferul inferior Jurasic – Cretacic. În aceste condiții s-au simulat două noi captări subterane cu următoarele caracteristici:

- Peștera: front de captare 4 foraje, adâncime foraje $H = 500$ m, debit captat $Q = 300$ l/s;
- Ivrinezu Mare: front de captare 7 foraje, adâncime foraje $H = 500$ m, debit captat $Q = 500$ l/s;

După introducerea datelor în modelul regional și efectuare simulărilor, au rezultat harta hidrodinamică regională, prezentată în detaliu în figura 6.14, respectiv direcțiile de curgere în zonele celor două captări, prezentate în figura 6.15.



Figura 6.14. – Detaliu hartă hidrodinamică calculată - captări propuse (model regional)

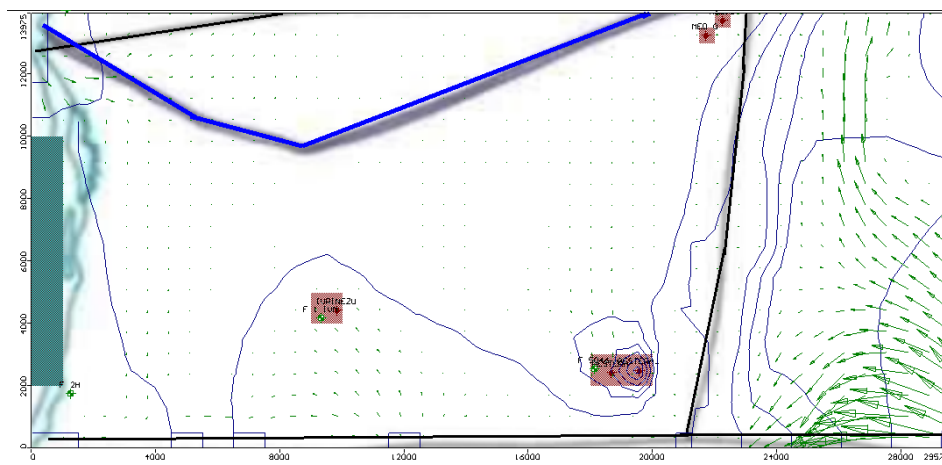


Figura 6.15. – Direcții de curgere calculate - captări propuse (model regional)

În urma simulărilor efectuate s-a constatat că cele două surse de apă propuse conferă siguranță în exploatare sistemului regional de alimentare cu apă din zonă, eliminând riscurile date de vulnerabilitatea la poluare din anumite zone și, totodată, conferind flexibilitate sistemului.

6.6. Model numeric local

În scopul cercetării mai detaliate a interacțiunii dintre canalul navigabil Poarta Albă – Midia, Năvodari și acviferul inferior Juristic – Cretacic a mai fost creat un model numeric local. Acest model studiază regiunea cuprinsă între faliile orizontale Capidava – Ovidiu și Cernavodă – Constanța, falia verticală Nazarcea și Marea Neagră.

Modelul local a fost realizat pentru o suprafață determinată de: 16 km – lungime, respectiv 10 km – lățime, ce a fost discretizat într-o rețea de celule cu dimensiuni de 100 m x 100 m. Înălțimile celulelor de discretizare sunt la fel ca la modelul regional, egale cu grosimea acviferului inferior Juristic – Cretacic.

Construcția modelului local de curgere al acviferului inferior s-a realizat în mod similar cu construcția modelului regional.

După rularea modelului local, a rezultat harta hidrodinamică a acviferului inferior Juristic – Cretacic, prezentată în figura 6.16.

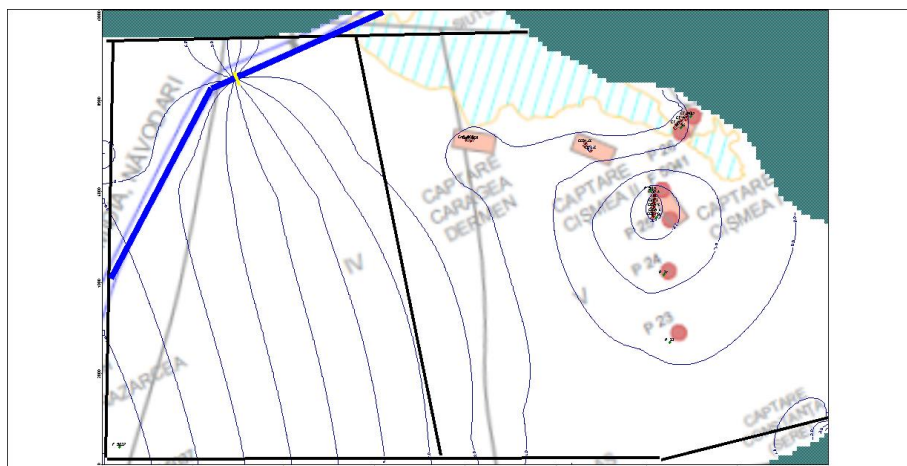


Figura 6.16. – Hartă hidrodynamică a modelului local

Direcțiile de curgere rezultate în modelul local sunt orientate, la fel ca în modelul regional, preponderent Sud-Vest – Nord-Est, conform figurii 6.17.

În zona ecluzei Ovidiu, pe modelul local se observă mai bine perturbația locală determinată de legătura hidraulică directă dintre canalul navigabil și acviferul inferior. De asemenea, se pot observa mai detaliat perturbațiile din zona captărilor municipiului Constanța.

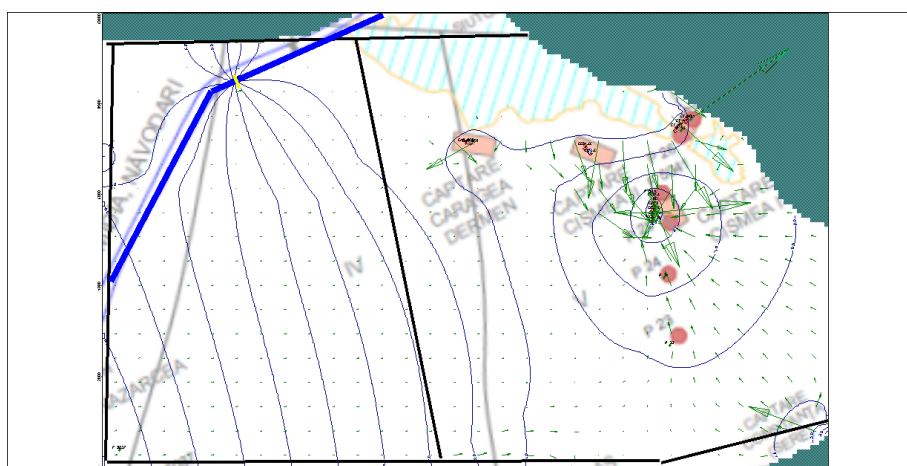


Figura 6.17. – Direcțiile de curgere prin modelul local

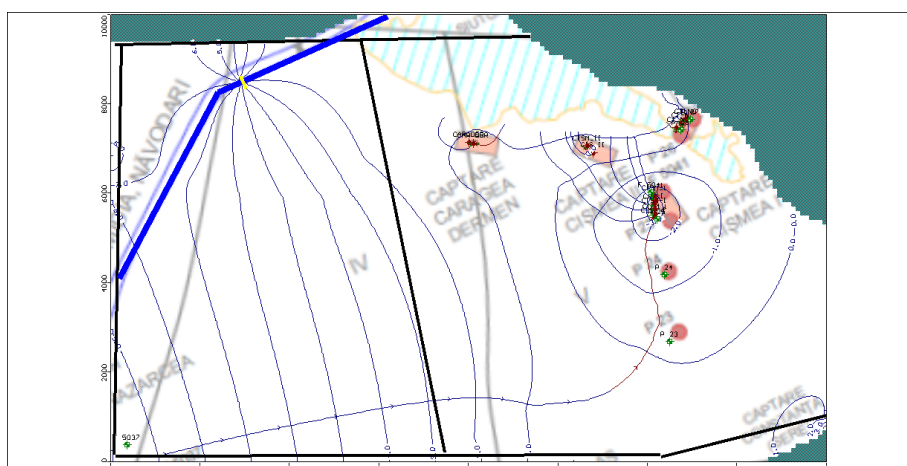


Figura 6.18. – Zone de alimentare ale forajelor de captare prin modelul local

Zonele de alimentare ale forajelor de captare la scară locală indică o legătură directă cu apa din lacul Siutghiol. Astfel se constată că în situația extragerii unor debite mari care să depășească regimul optim de exploatare, pot apărea scăderi ale nivelului apei în lac.

Modelul local s-a utilizat de asemenea pentru simularea a două ipoteze: creșterea debitelor exploatare din captările municipiului Constanța până la 4000 l/s, respectiv transport de poluant din zona amonte de ecluza Ovidiu.

6.6.1. Ipoteza 1 – Creșterea debitelor

După aplicarea ipotezei 1 și rularea modelului local, a rezultat harta hidrodynamică a acviferului inferior Juristic – Cretacic, prezentată în figura 6.19.

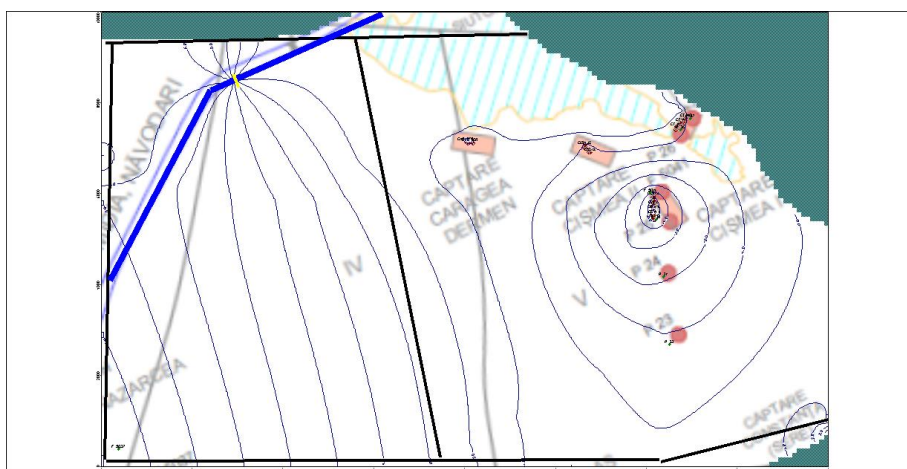


Figura 6.19. – Hartă hidrodynamică calculată (model local, ipoteza 1 de simulare)

Direcțiile de curgere rezultate în modelul local simulat cu ipoteza 1 sunt orientate, de asemenea, preponderent Sud-Vest – Nord-Est.

Zonele de alimentare ale forajelor de captare la scară locală după aplicarea ipotezei 1 indică aceeași legătură directă cu apa din lacul Siutghiol.

6.6.2. Ipoteza 2 – Transport de poluant

Modelul numeric local realizat a fost utilizat în continuare pentru simularea transportului de poluant, ținând cont și de dispersie. Totodată, s-au efectuat aceleași simulări ca și în modelul regional, pentru mai multe scenarii de poluare accidentală. Un poluant a fost, de asemenea, introdus în zona ecluzei Ovidiu, din canalul navigabil Poarta Albă – Midia, Năvodari, pe tronsonul aflat în contact hidrolic direct cu acviferul inferior. Simulările au fost făcute pentru o perioadă de maxim 30 ani, considerând regimul de curgere cvasi-staționar, în timp ce debitele de exploatare din captările subterane au avut atât o variantă cu valorile furnizate de operatorul RAJA Constanța, cât și altă variantă cu valorile calculate pentru un debit total exploatat din sursele Municipiului Constanța (conform ipotezei 1) de 4000 l/s. Poluantul cercetat a avut o concentrație de 100 mg/l, în timp ce dispersivitatea mediului a fost variată.

Rezultatele simularilor transportului de poluant pentru modelul local utilizând debitele de exploatare furnizate de operatorul RAJA Constanța sunt prezentate la diferiți timpi de expunere - după 1 an, după 10 ani și figura 6.20 - după 30 de ani.

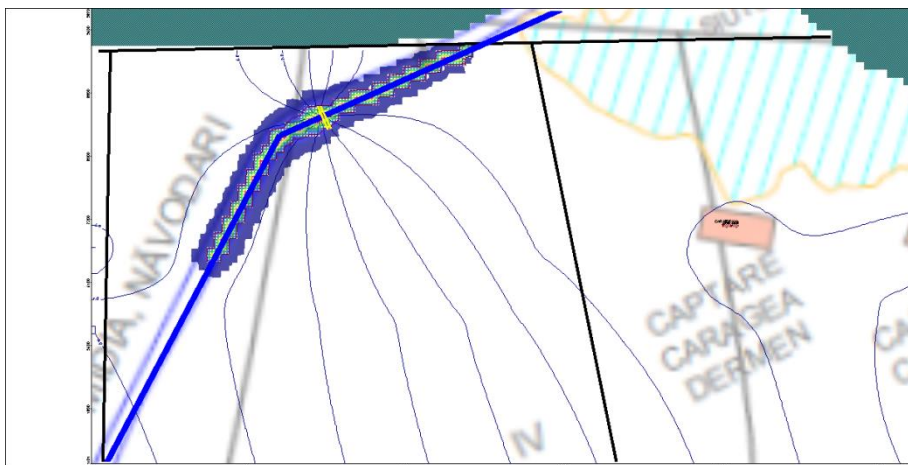


Figura 6.20. – Zona contaminantă după un timp de expunere de 30 ani (model local)

După simulările transportului de poluant efectuate pentru modelul local, se observă că indiferent de valoarea concentrației (până la limita de 100 mg/l azot) și a dispersivității, după o perioadă de 30 de ani, efectul poluării se manifestă pe o zonă relativ restrânsă din jurul sursei de poluare

Ulterior s-au repetat aceleași simulări modificând debitele de exploatare conform ipotezei 1 (suma debitelor captate din sursele municipiului Constanța sa fie 4000 l/s).

Astfel, rezultatele simularilor transportului de poluant după aplicarea ipotezei 1 sunt prezentate la aceiași timpi de expunere..

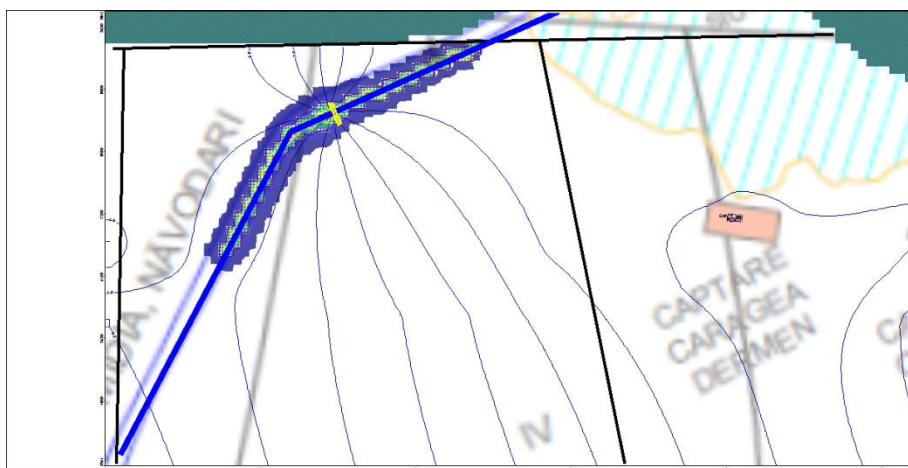


Figura 6.21. – Zona contaminantă după un timp de expunere de 30 ani (model local, ipoteza 1 de simulare)

Și după creșterea debitelor de exploatare conform ipotezei 1 în modelul local, s-a constatat că la valori ale concentrației până la limita de 100 mg/l azot și a diverselor dispersivități, după 30 de ani, efectul poluării se manifestă doar pe o zonă relativ restrânsă din jurul sursei de poluare. Poluantul a fost introdus chiar și pe toată lungimea tronșului din canalul

Poarta Albă – Midia – Năvodari aflat în contact direct cu acviferul inferior Jurasic – Cretacic. Chiar și în aceste condiții și pentru dispersivități ridicate (de 20 m și 30 m), simulările efectuate au arătat că, după 30 de ani, efectul poluării se resimte local, pe o zonă restransă. Acest lucru se datorează condițiilor hidrogeologice din zonă (gradienți hidraulici mici spre captări și lacul Siutghiol) și în special a drenajului apei în tronsonul aval de ecluza Ovidiu, unde sarcina impusă este de + 1,25 m.

Simulările efectuate în modelul local evidențiază ideea desprinsă și din modelul regional, că o poluare accidentală în canalul Poarta Albă – Midia, Năvodari nu se extinde în acviferul inferior Jurasic – Cretacic, ci se resimte local, în zonă de contact direct cu acviferul. De asemenea, calitatea apei exploatate prin fronturile de captare ale municipiului Constanța nu este sensibil alterată nici în condițiile unui debit total captat din fronturile de captare majorat cu aproximativ 45% față de regimul curent de exploatare.

7. MĂSURI PROPUSE PENTRU REDUCEREA RISCURILOR

Urmare a activității de cercetare prezentate se propun o serie de măsuri recomandabile pentru reducerea riscurilor din activitățile de alimentare cu apă a populației.

7.1. Măsuri pentru proiectarea surselor de apă

Exploatarea surselor de apă subterană amplasate în vecinătatea canalelor navigabile pot genera riscuri de modificare a regimului de curgere în stratele acvifere interceptate (fisural – carstice), precum și riscuri de modificare a calității apelor subterane cantonate în acestea, dacă nu se adoptă o serie de măsuri de protecție particularizate pentru fiecare amplasament.

În zona cercetată în prezenta lucrare, există și sunt exploatare captări de apă subterană care asigură alimentarea cu apă a localităților litorale. Fiind o zonă turistică, particularitatea principală în exploatare este că în sezonul de vară cerințele de apă potabilă cresc spectaculos, iar în unele situații sursele de apă sunt forțate în a exploata debite foarte mari, peste valorile calculate. În zona cercetată, studiile efectuate de diverși autori au indicat o valoare a resursei hidro dinamice a acviferului Juristic – Cretacic inferior de ordinul 8,0 m³/s. [50]

Pentru a proiecta și executa noi surse de apă subterană potabilă este necesară efectuarea unor studii hidrogeologice, geofizice, hidro dinamice, topografice etc. în conformitate cu schemele logice prezentate.

MĂSURI PENTRU ELABORAREA STUDIILOR ȘI PROIECTELOR PENTRU SURSELE PROPUSE

➤ FAZA STUDII

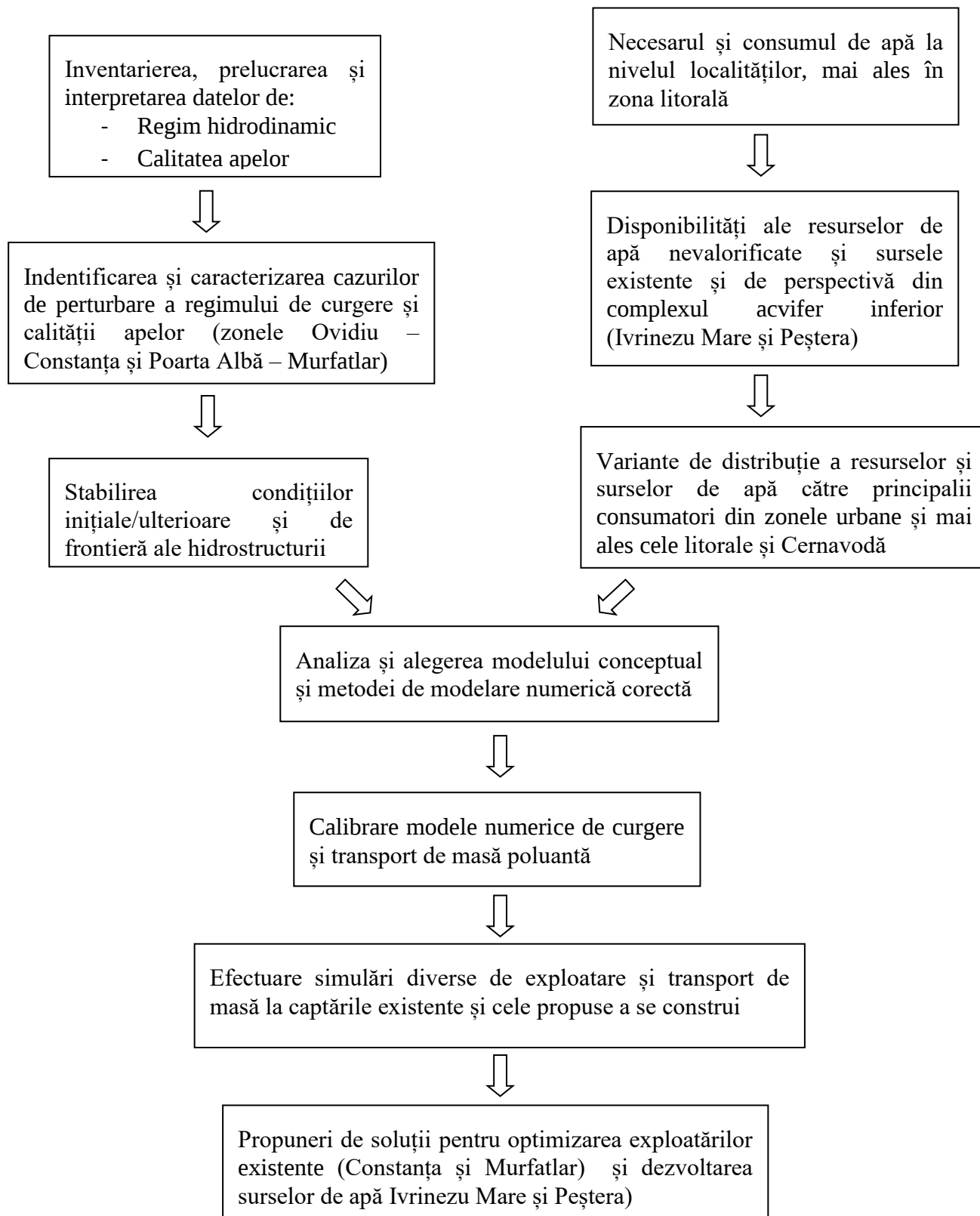
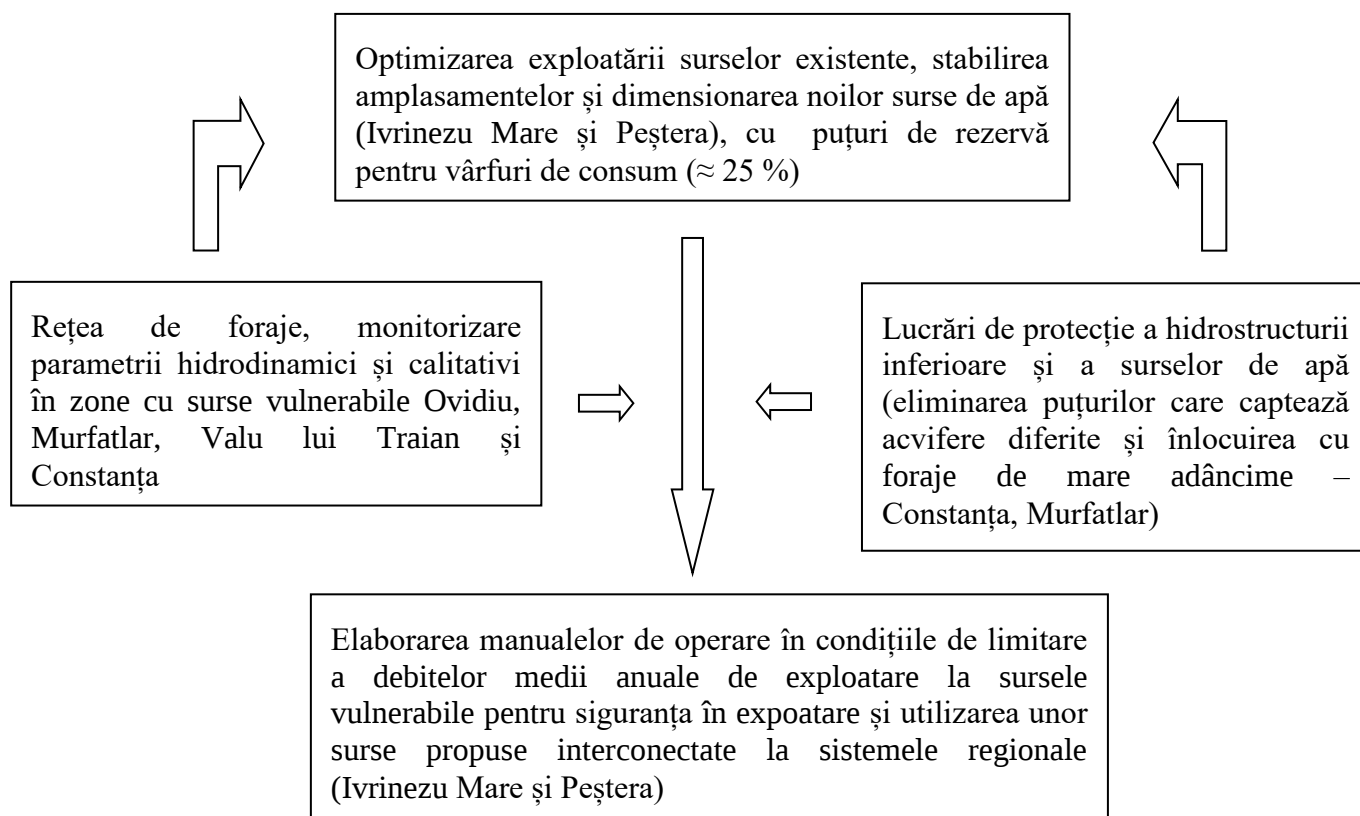


Figura 7.1. – Schemă logică măsuri propuse pentru studii

➤ **FAZA PROIECTARE TEHNOLOGICĂ****Figura 7.2.** – Schemă logică măsuri propuse pentru proiectare**7.2. Măsuri pentru siguranța în exploatare**

Zona cercetată în prezenta lucrare este cunoscută ca o zonă aridă și cu o rețea hidrografică redusă.

În mod justificat în zona cercetată s-a recurs la sisteme de alimentare regionale, interconectate, prevăzute cu multe surse de apă subterană de bună calitate și stabile în timp. Urmare a execuției și exploatării unor investiții de mare anvergură (sisteme de irigații, canale navigabile, captări de apă subterană) în ultimii ani s-au înregistrat modificări importante ale regimului de curgere și calității apelor subterane și de suprafață.

Impactul activităților umane se manifestă nefavorabil atât asupra resurselor de apă exploatabile și echilibrului ecologic din zonă, cât și a siguranței în exploatare a sistemelor de alimentare cu apă pentru populație.

Prezentarea sintetică a măsurilor preventive pentru siguranța în exploatare a sistemului de alimentare cu apă din zona cercetată este descrisă în tabelul de mai jos:

MĂSURI PREVENTIVE PENTRU SIGURANȚA ÎN EXPLOATARE

CAUZE	MĂSURI PREVENTIVE	VERIFICARE	ACTIVITĂȚI DE REMEDIERE
1. CONTAMINAREA ACVIFERULUI INFERIOR			
infiltrații din canal (Murfatlar, Ovidiu)	* identificare surse de poluare * reducerea sau oprirea funcționării sursei * utilizarea surselor de rezervă * documentare privind condițiile de alimentare a acviferului	* conținutul de poluanți * parametrii de exploatare * parametrii de calitate ai apei	* program de monitorizare, în captările Constanței pentru obținere de date * eliminarea surselor de poluare provenite din deversări în canale * reactualizarea măsurilor preventive cu situația întâlnită * proiectare investiții suplimentare de protecție și puțuri de mare adâncime la sursele de apă existente
infiltrații din alte acvifere prin drenanță verticală (Murfatlar)			
infiltrații din surse chimice în zona de alimentare a acviferului (Poarta Albă, Ovidiu)			
2. SURSA NU ASIGURĂ CANTITATEA DE APĂ PROIECTATĂ			
supraexploatarea unor surse de apă amplasate în vecinătatea lacului Siutghiol (Constanța) și canale navigabile (Ovidiu și Murfatlar)	* identificarea zonelor cu perturbare a regimului de curgere a apei subterane * inspecția și curățarea coloanelor filtrante ale puțurilor * program de inspecție periodică a coloanelor filtrante * utilizarea unor surse de rezervă	* debitul captării * debitul fiecărui puț și nivelele hidrodinamice * comparație cu diagramele inițiale debit - denivelare	* modificarea regimului de exploatare al captărilor în sensul limitării debitelor de exploatare * reabilitarea forajelor cu probleme * modificarea captării în sensul creșterii adâncimii forajelor * înlocuirea pompelor defecte * program de întreținere a pompelor în mod regulat
coloana filtrantă deteriorată sau blocată (acolo unde există)			
defectare pompe submersibile			
3. SISTEMUL DE ALIMENTARE NU DISPUNE DE APĂ SUFICIENTĂ LA VF. DE CONSUM			
variații mari de consum sezonier specifice zonei	* proiectarea unor surse de rezervă bine protejate * interconectarea cu alte sisteme zonale * dezvoltarea surselor existente prin foraje de mare adâncime	* cerințele de apă * rata de folosință a surselor existente * analiza pierderilor de apă prin distribuție * resurse de apă disponibile în zone protejate natural	* execuția a două surse de apă în zone protejate: - Ivrinezu Mare - Peștera * execuția legăturilor pentru interconectarea sistemelor (în zona litorală) * racordarea noilor surse la sistemele zonale
defecțiuni / avarii în funcționarea surselor de apă			
contaminare accidentală a unor surse de apă			

Tabel 7.1. – Măsuri preventive pentru siguranța în exploatare

8. CONCLUZII

Conform cercetărilor la scară regională / locală se pot face următoarele observații:

- **Distorsiunile spectrului hidrodinamic** la scara zonei cercetate => reflectă efectul exploatării captărilor de apă și influențelor locale determinate de canalele navigabile;
- **Direcțiile de curgere nu au suferit modificări substanțiale** față de situația anterioară executării canalelor navigabile;
- **Variația gradientilor hidraulici** la curgerea apelor subterane este cuprinsă între 0,0002 și 0,0016;
- **Debitele infiltrate din bieful amonte de ecluza Ovidiu** cu cota +7,5 m în acviferul inferior => **drenate de bieful aval de ecluză**, cu cota +1,25;
- **Un procent redus din debitele infiltrate din bieful amonte de ecluza Ovidiu => pot fi drenate prin exploatarea captării Caragea – Dermen**, dar prin diluție cu apa din acviferul inferior, nu constituie în prezent un risc de contaminare;
- Pentru menținerea siguranței în exploatare a captărilor de apă subterană ale municipiului **Constanța** => se recomanda să se limiteze debitul mediu anual exploatat la $Q_{med} = 2500$ l/s;
- Pentru menținerea siguranței în exploatare a captărilor de apă subterană a localității **Murfatlar** => se recomanda să se limiteze debitul mediu anual exploatat la $Q_{med} = 600$ l/s => împiedică formarea procesului de drenanță verticală descendentă;
- Pentru **sursa de apă subterană Medgidia** => **nu se constată influențe ale apelor din canalul Dunăre – Marea Neagră**, datorită modului de construire a forajelor (izolarea perfectă prin cimentare a coloanelor definitive a acviferelor freatice - interval 0,00 – 150,00 m).
- În lucrare sunt prezentate o serie de simulări aplicative:
 - **ipoteza 1**: creșterea debitelor medii anuale din captările municipiului Constanța,
 - **ipoteza 2**: contaminarea acviferului inferior în situația poluării apelor din canalul Poarta Albă – Midia, Năvodari pe tronsonul amonte de ecluza Ovidiu
 - **ipoteza 3**: influența hidrodinamică a două noi captări de apă subterană propuse

=> pentru menținerea siguranței în exploatare a surselor de apă și implicit a canalelor navigabile.
- **Simulările transportului de poluanți** s-au efectuat atât pentru debitele normale de exploatare, cât și după aplicarea ipotezei 1 => **se resimte un efect local**, chiar și după un timp de expunere de 30 de ani.

- Pentru creșterea siguranței în exploatare și crearea unei flexibilități a sistemului de alimentare cu apă la scară regională => s-a propus **executarea a două noi surse de apă** amplasate la **Peștera (Q=300 l/s)** și **Ivrinezu Mare (Q=500 l/s)**;

8.1. Contribuții personale și elemente de originalitate

Autorul a inclus în prezenta lucrare o serie de **contribuții personale**, atât în etapa de studiu în amplasamentul cercetat, cât și în metodologia de prelucrare a datelor obținute:

- clarificarea structurii geologice și condițiilor de curgere în complexul acvifer fisural carstic din amplasamentul canalelor navigabile;
- selectarea unei rețele de foraje, din cele existente și măsurarea nivelelor piezometrice pentru construirea spectrului hidrodinamic la scară regională;
- reinterpretarea datelor de la pompările experimentale în forajele selectate, luându-se în considerare imperfecțiunea după gradul de deschidere a acviferului și calculul principalilor parametri hidrogeologici;
- întocmirea hărții piezometrice reactualizate pentru complexul acvifer fisural carstic (inferior), după 35 de ani de exploatare a canalelor navigabile;
- crearea unui model conceptual de curgere, pe baza unui set de ipoteze simplificatoare, în scopul fundamentării unui model numeric;
- construirea unui model numeric de curgere a apei și transport masic pentru simularea evoluției în diferite situații;
- propunerea unor măsuri necesare în proiectarea canalelor navigabile pentru asigurarea protecției resurselor de apă subterană;
- propunerea unor recomandări specifice pentru amplasarea și proiectarea captărilor de apă subterană în vecinătatea canalelor navigabile;
- efectuarea de recomandări pentru exploatarea surselor de apă existente în zone vulnerabile;
- efectuarea de recomandări pentru proiectarea și execuția unor rețele de foraje de monitorizare în principalele zone vulnerabile.

Rezultatele tezei de doctorat au fost valorificate prin publicarea mai multor articole științifice, prezentate mai jos:

- Moldoveanu, M.; Bica, I. - Interaction of waterways located in karst fissure areas and groundwater, Universitatea de Științe Agronomice și Medicină Veterinară București, Conferința internațională Agriculture for life, life for agriculture, Iunie 2020, București.
- Ciocan, V.; Moldoveanu, M. - Analysis of the behavior of the works to limit the water erosion in the river basins, Universitatea de Științe Agronomice și Medicină Veterinară București, Conferința internațională Agriculture for life, life for agriculture, Iunie 2020, București.
- Moldoveanu, M. - Măsuri de creștere a siguranței în exploatarea surselor de apă subterană situate în vecinătatea canalelor navigabile din județul Constanța, Universitatea

Tehnica de Constructii Bucuresti, Revista Buletinul Stiintific al Universitatii Tehnice de Constructii Bucuresti, 2020, pag. 32 - 40.

- Moldoveanu, M.; Moldoveanu, V. - Asigurarea alimentarii cu apa a zonei litorale romanesti din resurse carstice protejate natural, Asociatia Parteneriat Pentru Proiecte si Fonduri Europene, Revista Edilitatea, nr. 8 - Martie 2022, pag. 14 - 22.

BIBLIOGRAFIE

1. Albu, M. – Mecanica apelor subterane, Editura Tehnică București, 1981, pag. 64 – 76.
2. Anghel, E. – Circulația apei în roci fisurate, Revista Construcțiilor, anul XIII, nr. 133, ianuarie – februarie 2017, pag. 44 – 51.
3. Appelo, C.A.J.; Postma, D. – Geochemistry, groundwater and pollution, 1994, A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, ISBN 90-5410-10.
4. Arhivă tehnică RAJA Constanța, Analize fizico – chimice surse de apă Caragea Dermen, Basarabi I, Basarabi II, Galeșu, Medgidia Sud, Medgidia Nord, 2000 - 2018.
5. Arhivă tehnică Administrația Națională Apele Române, Analize fizico – chimice din canalele navigabile Dunăre – Marea Neagră, Poarta Albă – Midia, Năvodari și din forajele de observație situate de-a lungul acestora, 2010 - 2017.
6. Avădanei, C.; Dumitrescu, V.; Vlad, S. – Soluții constructive pentru stabilizarea și protecția malurilor canalelor navigabile din România, Revista Construcțiilor nr. 95, august 2013, pag. 34 – 39.
7. Avădanei, C. - Regulament de exploatare și întreținere canal Dunăre – Marea Neagră, reactualizare 2012, Divizia Lucrări Hidrotehnice și Portuare Fluviale, Contract 8269/3646/II/22, Proiectant Iptana S.A., client: C.N. Administrația Canalelor Navigabile S.A. Constanța, 93 p.
8. Avădanei, C. - Regulament de exploatare și întreținere canal Poarta Albă – Midia, Năvodari, reactualizare 2012, Divizia Lucrări Hidrotehnice și Portuare Fluviale, Contract 8269/3646/II/23, Proiectant Iptana S.A., client: C.N. Administrația Canalelor Navigabile S.A. Constanța, 70 p.
9. Bakalowicz, M. – Contribution de la géochimie des eaux a la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification. These Doct. Sci. nat., Univ. P. Et Marie Curie, Paris 6, 1979, 269 p.
10. Bear, J. – Dynamics in porous media, 1972, American Elsevier, New York, 764 p.
11. Bear, J. – Hydraulics groundwater, 1979, McGraw – Hill, New York, 210 p.
12. Bear, J., Verruijt, A. – Modeling groundwater flow and pollution, 1987, D. Reidel Publishing Company, 414 p.
13. Bedient, P.; Rifai, H.; Newell, C.; - Ground water contamination. Transport and remediation, 1994, Prentice Hall PTR, New Jersey, ISBN 0-13-362592-3, pag. 119 – 124.
14. Bica, I. – Poluarea acviferelor, Tehnici de remediere, Editura *H*G*A*, București, 1998, ISBN 973-98530-0-5, 172 p.
15. Bica, I. – Protecția mediului – politici și instrumente, Editura *H*G*A*, București, 2002, ISBN 973-8176-15-8, pag. 22 – 135.

16. Bica, I. – Remedierea siturilor contaminate, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2014, ISBN 978-973-638-580-3, 348 p.
17. Bica, I.; Mocanu, V. – Alimentarea artificială a stratelor acvifere, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2002, ISBN 973-8391-33-4, 288 p.
18. Castany G. – Principes et méthodes de l'hydrogéologie, 1967, Dunod, Paris, 238 p.
19. Carabeț, A. – Protecția resurselor de apă subterană, Editura Mirton, Timișoara, 1999, ISBN 973-578-751-2, pag. 1 – 32.
20. Chen, Z.; Goldscheider, N. – Modeling spatially and temporally varied hydraulic behavior of a folded karst system with dominant conduit drainage at catchment scale, Hochifen – Gottesacker, Alps, Published by Elsevier B.V., Journal of Hydrology 514, 2014, pag. 41 – 52;
21. Chirilă, C.; Constantinescu, A. – Amenajări hidrotehnice pentru navigație, Volumul I, Căi navigabile și ecluze, Editura Matrix Rom, București, 2002, ISBN 973-685-458-2, pag. 44 – 117.
22. Dar, F. A.; Perrin, J.; Ahmed, S.; Narayana, A. C. – Review: Carbonate aquifers and future perspectives of karst hydrogeology in India, Hydrogeology Journal, Official Journal of the International Association of Hydrogeologists, Springer, Berlin, 2014, ISSN 1431-2174, pag. 1493 – 1506.
23. Dassargues, A. – Modèles mathématiques en hydrogéologie et paramétrisation, 1995, Editura Didactică și Pedagogică București, 131 p.
24. Delleur, J.W. – The handbook of groundwater engineering, Second Edition, Taylor & Francis Group, 2007, ISBN 10: 0-8493-4316-X; ISBN 13: 978-0-8493-4316-2, pag. 21.2 – 21.11.
25. Dima, E.; Cobeț, D.; Manea, L.; Dănilă, E.; Dima, G.; Dănilă, A.; Botoșeanu, L. – Dicționar explicativ ilustrat al limbii române, Editura Arc, Editura Gunivas, 2007, ISBN 978-9975-61-155-8; ISBN 978-9978-908-04-7, pag. 1422.
26. Dinu, I. – Model local al acviferului freatic din zona captării Curtișoara, Referatul nr. 2 din Programul de pregătire pentru doctorat în domeniul hidrogeologie, București, 2001, pag. 25 – 31.
27. Dinu, I. – Considerations concerning the possibility of contamination in the area of the Poarta Albă – Midia – Năvodari canal, GEO-ECO-MARINA 15/2009, In: Panin N. et al (Eds) „Sedimentary Processes and Deposits within River-Sea Systems”, 2009, pag. 63 – 75.
28. Dinu, I. – Modélisation des écoulements dans les aquifères fissurés de la Dobrogea du Sud (Roumanie), Hydrogéologie, 4/1997, 1997, pag. 33 – 42.
29. Fetter, C.W. – Applied Hydrogeology, Third Edition, University of Wisconsin – Oshkosh, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458, 1994, ISBN 0-02-336490-4, pag. 93 – 118, 146 – 163.
30. Fetter, C.W. – Contaminant hydrogeology, Macmillan Publishing Company, 1993, ISBN 0-02-337135-8, pag. 43 – 52, 115 – 124.

31. Foster, S.; Hirata, R.; Andreo, B. – The aquifer pollution vulnerability concept: aid or impediment in promoting groundwater protection, *Hydrogeology Journal*, Volume 21, Number 7, November 2013, Springer, ISSN 1431-2174, pag. 1389 – 1392.
32. Franciss, F.O. – *Fractured rock hydraulics*, 2010, CRC Press/Balkema, Taylor and Francis Group, London, ISBN 978-0-415-87418-2.
33. Găitănanu, Ș.D. – *Impactul urban asupra apei subterane*, Editura Conspress, București, 2019, ISBN 978-973-100-499-0, pag. 148.
34. Ghinea, D. – *Enciclopedia geografică a României*, Ediția a III-a, Editura Enciclopedică, București, 2002, ISBN 973-45-0396-0, pag. 456.
35. Gogu, R.C.; Boukhemacha, M.A.; Cruceru, R.; Șerpescu, I.; Bălănică, A. – *Ape subterane urbane, Aplicații seminar*, Editura Printech, București, 2015, ISBN 978-606-23-0410-2, pag. 7 – 14.
36. Gogu, R.C. – *Soluții viabile în hidrogeologia urbană*, Editura Conspress, București, 2014, ISBN 978-973-100-332-0, pag. 67 – 68.
37. Ielenicz, M. – *România. Geografie fizică – climă, ape, vegetație, soluri, mediu*, Volumul II, Editura Universitară, București, 2007, ISBN 978-973-749-190-9, pag. 15 – 55.
38. Kalhor, K.; Ghasemizadeh, R.; Rajic, L.; Alshawabkeh, A. – *Assessment of groundwater quality and remediation in karst aquifers: A review*, Published by Elsevier B.V., *Groundwater for sustainable development* 8, 2019, pag. 104 – 121.
39. Legea 458/2002 privind calitatea apei potabile – publicată în Monitorul Oficial al României.
40. Manoliu, I. – *Regularizări de râuri și căi de comunicații pe apă*, Editura Didactică și Pedagogică, București 1973, pag. 250 – 324.
41. De Marsily, G. – *Quantitative hydrogeology*, 1986, Academic Press, 440 p.
42. Melbourne Water – *Constructed waterway design manual*, Victoria State Government, December 2019, 207 p.
43. Moldoveanu, M. – *Analiza calității apei subterane din Dobrogea de Sud*, Proiect de disertație, Universitatea Tehnică de Construcții București, 2017, 65 p.
44. Moldoveanu, M. – *Hidraulica subterană a acviferelor fisural – carstice. Elemente specifice privind interacțiunea ape de suprafață – ape subterane*, Raport de cercetare nr. 1 din Proiectul Programului de Cercetare Științifică, 2018, 79 p.
45. Moldoveanu, M. – *Impactul exploatării canalelor navigabile asupra apelor subterane*, Raport de cercetare nr. 2 din Proiectul Programului de Cercetare Științifică, 2019, 85 p.
46. Moldoveanu, M. – *Studiu parametric privind interacțiunea canalelor navigabile, amplasate în zone fisural – carstice și apele subterane*, Raport de cercetare nr. 3 din Proiectul Programului de Cercetare Științifică, 2020, 46 p.

47. Moldoveanu, M. – Măsuri de creștere a siguranței în exploatare a surselor de apă subterană situate în vecinătatea canalelor navigabile din județul Constanța, Buletinul științific al Universității Tehnice de Construcții București nr. 1-2 / 2020, pag. 32 – 40.
48. Moldoveanu, M.; Bica, I. – Interaction of waterways located in karst fissure areas and groundwater, The International Conference Agriculture for Life, Life for Agriculture, Section 5 – Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering, Water Resources Management, University of Agronomic Sciences and Veterinary Medicine of Bucharest, June, 2020, Bucharest, Romania.
49. Moldoveanu, M.; Moldoveanu, V. – Asigurarea alimentării cu apă a zonei litorale românești din resurse carstice protejate natural, Asociația Parteneriat pentru Proiecte și Fonduri Europene, Revista Edilitatea nr. 8, Martie 2022, ISSN 2735-4576, ISSN-L 2734-4576, pag. 14 – 22.
50. Moldoveanu, V. – Studiul condițiilor hidrogeologice ale Dobrogei de Sud pentru reevaluarea resurselor exploatate, Teză de doctorat, Universitatea București, 1998, pag. 108 – 111.
51. Moldoveanu, V. – Canal Poarta Albă – Midia, Năvodari, Studiu hidrogeologic privind chimismul, nivelurile și debitele la captările de apă subterană Caragea Dermen și Cișmea I și II, Proiect I.S.L.G.C., nr. 4198HG/1988, pag. 4 – 22.
52. Palmer, A. N. – Journal of Geological Education v. 32, 1984, pag. 247 – 253.
53. Plummer, L. N.; Wigley, T. M. L.; Parkhurst, D. L. – The kinetics of calcite dissolution in CO₂ – water system at 5° to 60° C and 0.00 to 1.0 atm CO₂, 1978, American Journal of Science 278: 176 – 216.
54. Priscu, R. – Construcții hidrotehnice volumul II, Editura Didactică și Pedagogică București, 1982, pag. 104 – 158.
55. Racovițeanu, G. – Studii privind calitatea apei potabile din localitățile județului Constanța - Proiectul regional de dezvoltare a infrastructurii de apă și apă uzată, Romair – Louis Berger, 2015.
56. Robinson, R., A.; Stokes, R., H. – Electrolyte solutions, 1965, Butterworth Press, London.
57. Sauter, M. – Assessment of hydraulic conductivity in a karst aquifer at local and region scale. Proc. Third Conf. of Hydrogeology, Ecology, Monitoring, and Management of Ground Water in Karst Terranes, Nashville, TN, 1991, pag. 39 – 57.
58. Scesi, L.; Gattinoni P. – Water circulation in rocks, 2007, Springer Dordrecht Heidelberg London New York, ISBN 978-90-481-2416-9, pag. 1 – 28.
59. Scrădeanu, D; Gheorghe, A. – Hidraulică generală, 2007, Editura Universității din București, București, ISBN 978-973-737-367-0, pag.104 – 154.
60. Scrădeanu, D. – Hidraulică subterană (note de curs), 2012, 4. Hidrocinematica, http://www.ahgr.ro/media/102977/4_hidrocinematica_2017.pdf, pag. 12 – 19.

61. Scrădeanu, D. – Hidraulică subterană (note de curs), 2012, 6. Mișcarea apei subterane, http://www.ahgr.ro/media/103075/6_miscarea-apei-subterane_2017.pdf, pag. 2 – 13.
62. Șerban, P.; Gălie, A. – Managementul apelor. Principii și reglementări europene, Editura Tipored, București, 2006, ISBN 973-86083-8-4, ISBN 978-973-86083-8-2, pag. 11 – 18.
63. Shuster, E. T.; White, W. B. – Seasonal fluctuations in the chemistry of limestone springs: A possible means for characterizing carbonate aquifers, 1971, Journal of Hydrology 14:93 - 128
64. Tanislav, M.; Dinu I.; Mafteiu, M. – Landslides in the Danube – Black Sea canal area, University of Bucharest, Tectonics and Environmental Geology Centre, Geo-Eco-Marina 15/2009 Sedimentary Proceses and Deposits within River-Sea Systems, 2009, pag. 53 – 62.
65. The Institute of Water Engineers and Scientists – Groundwater: Occurance, Development and Protection, 1986, Water Practice Book, London, England, ISBN 0-901427-14-4.
66. Victorian Government Deparment of Sustainability – Technical Guidelines for Waterway Management, 2007, Melbourne, ISBN 978-1-74152-794-0.
67. Vulpașu, E. – Chimia apei. Lucrări de laborator, Editura Conspress, 2008, București, ISBN 978-973-100-051-0, pag. 7 – 11.
68. Vulpașu, E.; Racovițeanu, G. – Evaluation of the Groundwater Quality in Constanta Country, Seaside Area, 3rd EENVIRO and 6th YRC Conference, Energy Procedia 00(2015) 000-000, la adresa [www.sciencedirect.com].
69. Zamfirescu, F. – Elemente de bază în dinamica apelor subterane, Editura Didactică și Pedagogică București, 1997, București, pag. 16 – 26.
70. Zamfirescu, F.; Moldoveanu, V.; Dinu, C.; Pitu, N.; Albu, M.; Danchiv, A.; Nash, H. – Vulnerability to pollution of karst aquifer system in southern Dobrogea, - Impact of industrial activities on groundwater – Proceedings of the International Hydrogeological Symposium – 23rd – 28th May 1994, Constantza, Romania.
71. Witherspoon, P.A.; Wang, J.S.Y.; Iwai, K.; Gale, J.E. – Validity of cubic law for fluid in a deformable rock fracture, Water Resources Research, December 1980, 16, pag. 1016 – 1024.
72. Wood, W.W.; Kramer, T.P.; Hern, P.P. – Intergranular diffusion: an important mechanism influencing solute transport in clastic aquifers, 1990, Science 247 (March 30):1569-72.
73. *<https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/groundwater/pdf/brochure/ro.pdf>
74. *<https://slideplayer.com/slide/16145180/>
75. *<https://whc.unesco.org/en/list/1443/>
76. *<https://anidescoala.ro/divertisment/stiati-ca/superlative-geografice/marile-canale-ale-planetei/>
77. *https://www.worldscientific.com/doi/pdf/10.1142/9781945552045_0001

78. *<https://www.google.com/search?q=chinese+grand+canal+map&rlz=1C1GCEA>
79. *<https://www.french-waterways.com/waterways/south/canal-midi/>
80. *<https://www.europeanwaterways.com/blog/canal-du-midi-guide/>
81. *<https://www.gonomad.com/5825-france-cruising-the-canal-du-midi>
82. *<https://www.britannica.com/topic/Canal-du-Midi>
83. *<https://www.suezcanal.gov.eg/English/About/SuezCanal/Pages/CanalCharacteristics.aspx>
84. *https://delphipages.live.ro/geografie-i-calatorii/geografia-fizica-a-apei/rauri-i-canale/suez-canal?fbclid=IwAR1In1Edc_i5F6HT4qUr-iGAD3smqMwLhxuI35tb10c_q9EtR-qvs44gNx8
85. *https://ro.wikipedia.org/wiki/Canalul_Suez
86. *<https://www.google.com/search?q=suez+waterway+map>
87. * <https://www.researchgate.net/publication/281856548>
88. *<https://www.britannica.com/topic/Main-Danube-Canal>
89. *<https://delphipages.live.ro/geografie-%C8%99i-calatorii/geografia-fizica-a-apei/main-danube-canal>
90. *<http://www.acn.ro/index.php/ro/81-generic/73-istoric>
91. *https://koaha.org/wiki/Canale_Reno-Meno-Danubio
92. *<https://www.pancanal.com/eng/general/asi-es-el-canal.html>
93. *https://simple.wikipedia.org/wiki/Panama_Canal
94. *https://adevarul.ro/international/in-lume/un-secol-inaugurarea-canalului-panama-schimbata-fata-pamantului-pretul-mortii-27000-muncitori-1_53dccd9d0d133766a8f1dfe9/index.html
95. *<https://www.gsi.ie/en-ie/programmes-and-projects/groundwater/activities/understanding-irish-karst/karst-landforms/Pages/default.aspx>
96. *<https://www.aquaveo.com/software/gms-groundwater-modeling-system-introduction>
97. *<https://www.aquaveo.com/software/gms-modflow>
98. *<https://www.aquaveo.com/software/gms-mt3dms>