

INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA" TIMISOARA

ing. IOAN MORUSCA

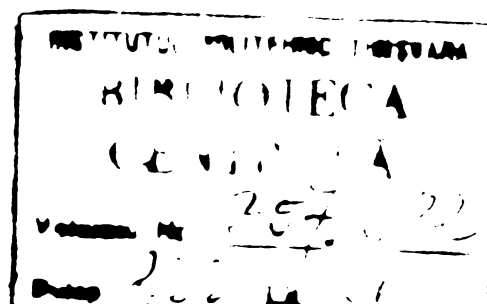
CONTRIBUTIE LA STUDIUL IMBOGATIRII STRATURILOR  
ACVIFERE PRIN BAZINE DE INFILTRARE

- teză de doctorat -

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

Conducător științific:  
prof.dr.ing.CORNEL JURA

- 1978 -





## C a p i t o l u l 1

### I N T R O D U C E R E

#### 1.1. Generalități

Acoperirea nevoilor de apă a centrelor populate se face, de preferință, din surse de apă subterană, deoarece acestea oferă o apă cu calități superioare și relativ constante în timp.

Cu toate acestea, unii specialiști au o tendință de rețineră cu privire la proiectarea și exploatarea rezervelor de apă subterană. Această manifestare se datorește necunoașterii variației debitelor exploatabile în timp. De altfel și specialiștii în hidrogeologie, care pot stabili ușor debitele la un moment dat, devin foarte prudenți la determinarea prognozei debitelor captabile pe o perioadă mai lungă de timp.

Obișnuit, se execută puțuri de explorare sau de explorare-exploatare din care se fac pompări timp de câteva zile. Pe baza măsurătorilor efectuate în timpul pompării se trag concluzii cu privire la caracteristicile hidrodinamice ale stratului. Ele reflectă, însă, doar în mică măsură complexitatea fenomenelor de curgere a apei prin stratul acvifer, care poate fi exploatat simultan de mai multe dispozitive de captare (puțuri, drenuri). De asemenea nu reflectă schimbările condițiilor de curgere în eventualitatea provocării unui bilanț deficitar printr-o exploatare excesivă. Datorită acestui fapt debitele determinate prin pompări de scurtă durată sînt mult mai mari decît debitele captabile în timp, ceea ce poate conduce la tendința de supraexploatare a straturilor acvifere.

În literatura de specialitate se întîlnesc numeroase cazuri cînd, sub influența cantităților de apă obținute la pompările inițiale, corelate cu nevoile de apă din ce în ce mai mari, s-au programat debite excesiv de mari în exploatare, cu consecințe dintre cele mai neplăcute. Astfel, în lunca râului San Joaquin, SUA, unde stratul acvifer este deosebit de dezvoltat, avînd în jur de 400 km lungime, între 80 și 100 km lățime

și peste 150 m grosime, datorită supraexploatării cu cele peste 50.000 puțuri, nivelul liber al apei a coborât la adâncimi de 70-100 m, față de 2,5 m inițial [24], [111]. Acest lucru a condus la modificări importante în ce privește agregatele de pompare, precum și la alarmarea factorilor interesați în gospodărirea apei. De asemenea, pompările excesive din vecinătatea orașului Los Angeles au condus la o coborîre pronunțată a nivelului liber al apelor subterane, ceea ce a favorizat pătrunderea apei sărate din ocean în stratul acvifer pe o distanță de peste 1.000 m de mal.

Perturbarea echilibrului hidrodinamic al apei subterane poate fi provocată și de unele canale adânci, construite cu scopuri hidroenergetice sau de navigație. Canalul de fugă de la amenajările hidroenergetice Donzere-Mondragon, Franța, a condus în 1950-1951 la drenarea stratului acvifer din lunca râului Rhon, compromițând producția agricolă de pe aproximativ 1.200 ha [21], [74]. O situație asemănătoare s-a creat și la amenajările hidroenergetice de la Basse-Durance, Franța, unde au fost afectate culturile de pe 74 ha [129].

Dacă ne referim numai la captările pentru alimentări cu apă, exemple de supraexploatări se găsesc în foarte multe locuri. Consecința acestui fapt constă în reducerea simțitoare a debitelor captabile și o posibilă alterare a calităților apei.

Rezervele de apă din straturile acvifere exploatare, precum și posibilitățile de refacere în condiții naturale a stocurilor consumate sînt de cele mai multe ori foarte limitate. Apare necesitatea găsirii unor mijloace de intensificare a refacerii rezervelor de apă din straturile acvifere supraexploatare. Acest lucru presupune folosirea unor tehnici complexe de injectare a apei dintr-o sursă de suprafață în stratul acvifer, direct sau după o tratare prealabilă.

Procedeele cunoscute de injectare sau de infiltrare a apei dintr-o sursă de suprafață într-un strat acvifer presupun folosirea puțurilor de injecție, a drenurilor, șanțurilor, canalelor, foselor, bazinelor de infiltrare și a aspersoarelor. Alegerea dispozitivului potrivit este în funcție de caracteristicile hidrogeologice ale stratului acvifer, grosimea stratului acoperitor, poziția stratului impermeabil de bază.

Conceptul de alimentare tehnică sau de îmbogățire artificială a unui strat acvifer prin injectarea apei dintr-o sursă de suprafață este de dată relativ recentă. El a apărut în momentul când s-a ajuns la necesitatea gospodăririi complexe a tuturor resurselor de apă din mari bazine naturale, ca urmare a creșterii explozive a nevoilor de apă potabilă, industrială, a altor folosințe. Cu toate acestea, extinderea diferitelor procedee de alimentare artificială este mult prea lentă. Această situație este datorată necunoașterii corespunzătoare de către specialiști, a tehnicilor de injecție sau de infiltrație adecvate, lipsei de încredere în avantajele tehnico-economice oferite, cunoașterii insuficiente a potențialului hidrogeologic a straturilor exploatabile, schimbului redus de informații în acest domeniu.

Ideea stimulării pătrunderii apei în sol pentru combaterea eroziunilor și stocarea apei în vederea utilizării ei în perioadele deficitare în precipitații, a apărut cu foarte mult timp în urmă. Fotografiile aeriene dovedesc că în Tunisia existau încă de pe vremea romanilor, suprafețe foarte întinse de teren, amenajate în terase, care rețineau apele de șiroire și favorizau infiltrațiile. Apa infiltrată constituia o rezervă pentru dezvoltarea vegetației și o sursă captabilă prin lucrări de drenaj la baza unor coline. În prezent, aceste lucrări sînt deteriorate și acoperite cu vegetație [20].

Reluarea pe o scară superioară a amenajărilor de îmbogățire artificială a straturilor acvifere, în scopul alimentării cu apă a centrelor populate, a avut loc abia în secolul al XIX-lea, ca urmare a inundării întâmplătoare a unor depresiuni naturale, albi părăsite, balastiere vechi, aflate în vecinătatea unor instalații moderne de captare a apei subterane. În acest sens, literatura de specialitate exemplifică refacerea rapidă a nivelurilor piezometrice ale pînzelor de apă subterană din vecinătatea orașelor Toulouse [21] și de la Croissy pe Sena [8].

Dezvoltarea amenajărilor de îmbogățire artificială a straturilor acvifere, precum și scopurile urmărite, diferă de la o zonă la alta de pe glob. Astfel, hotărîtoare în acest sens sînt: posibilitățile de acoperire a nevoilor de apă în regim

natural, variațiile sezoniere ale disponibilităților de apă, distribuția teritorială a resurselor de apă și a nevoilor de consum, potențialul hidrogeologic al stratului. De asemenea, un rol deosebit îl are formarea unor opinii favorabile ale specialiștilor pentru utilizarea tehnologiilor de îmbogățire artificială.

După numărul și amploarea amenajărilor de îmbogățire artificială a straturilor acvifere cu scopul utilizării apei la diverse folosințe, pe primul loc din lume se situează SUA, urmată de Europa, Asia, Africa.

### 1.2. Amenajări de alimentare tehnică a straturilor acvifere în Republica Socialistă România

În țara noastră primele 3 amenajări de alimentare tehnică a straturilor acvifere s-au executat în perioada 1959-1963, respectiv la Cluj-Napoca, Lușeu și Suceava. Ulterior, asemenea lucrări au mai apărut la Bistrița și Oradea. În toate cazurile s-a urmărit o ameliorare din punct de vedere cantitativ.

1.2.1. Până în anul 1959, municipiul Cluj-Napoca a fost alimentat cu apă potabilă exclusiv din stratul freatic din lunca râului Someșul Mic, al cărui debit natural exploatabil varia între 25000-26000 m<sup>3</sup>/zi. Începând din 1959 s-a amenajat, într-o primă etapă, un bazin de infiltrație cu o suprafață totală de 18 ha, care a permis o sporire substanțială a debitului captat. În anul 1968 suprafața totală a bazinelor de infiltrație totaliza 58 ha, iar debitul captat a crescut la 55000-58000 m<sup>3</sup>/zi. Sporul de 30000-33000 m<sup>3</sup>/zi apă captată se datorește exclusiv alimentării artificiale cu apă din râul Someșul Mic. În figura 1.1 se prezintă o parte din aceste amenajări.

Studiile efectuate [122], [152] asupra amenajărilor din prima etapă, au evidențiat o serie de schimbări calitative și cantitative. Nivelul piezometric al apei subterane, la început în creștere, a continuat să se mențină la cote scăzute mai ales în intervalul 1965-1968. Acest lucru s-a datorat în primul rând debitelor mari exploatate și colmatării rapide a plajei active a bazinelor de infiltrație, deoarece apa râului era infiltrată în strat doar după o decantare sumară. Temperatura apei captate s-a ridicat la 11-19°C, față de numai 8-10°C în puțurile marginale neafectate de îmbogățirea artificială.

A crescut conținutul în substanțe organice, cloruri, scăzând însă duritatea apei. Indicatorii bacterologici evidențiază o filtrare naturală eficientă, 8-16 coli la litru [122].

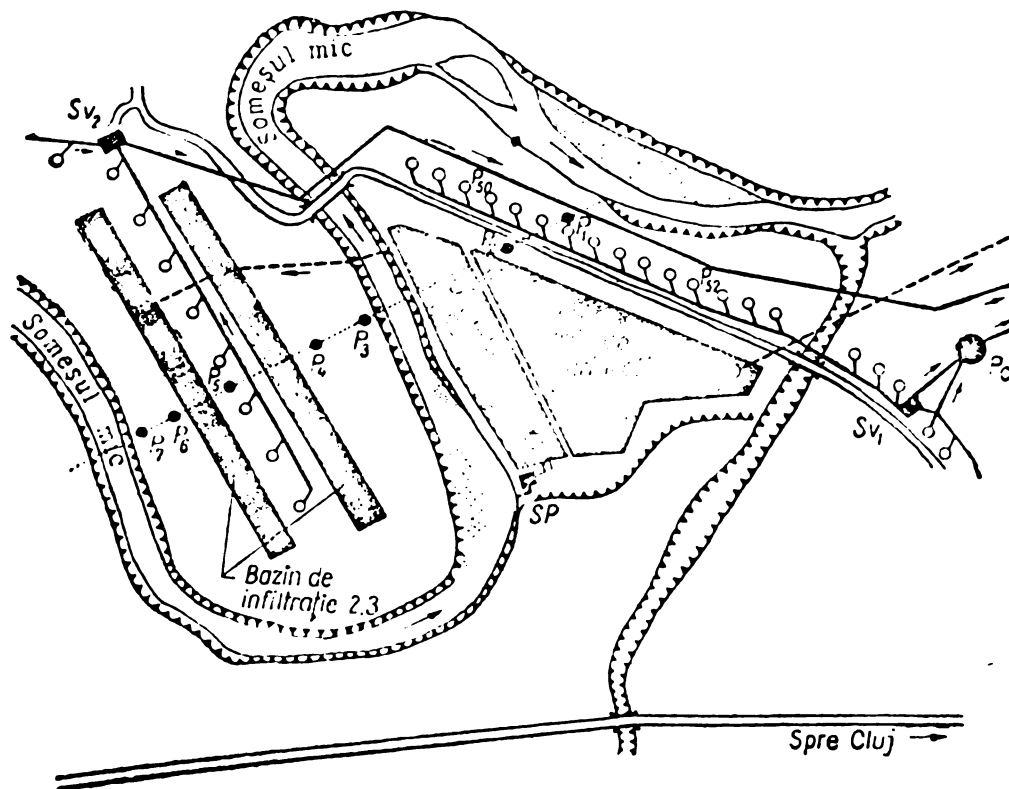


Fig.1.1. Amenajările de alimentare tehnică de la Cluj-Napoca - vedere parțială -

### 1.2.2. Amenajarea lucrărilor de alimentare tehnică

Luduș a fost impusă mai ales de noile de apă pentru fabrica de zahăr din localitate. Stratul acvifer din lunca Mureșului,

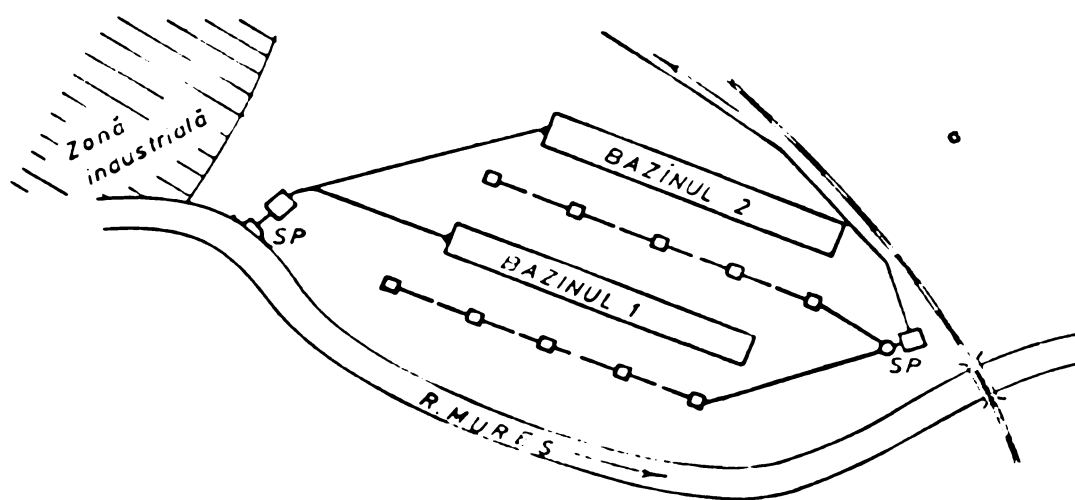


Fig.1.2. Schema amenajărilor de alimentare tehnică Luduș

exploatat pentru alimentarea cu apă a oraşului Luduş, avea un debit exploatabil în continuă scădere, datorită colmatării malurilor râului. Studiile efectuate au evidenţiat condiţii litologice favorabile îmbogăţirii artificiale. Astfel au fost amenajate 4 bazine de infiltraţie cu ajutorul cărora s-a reuşit să se infiltreze în strat circa  $700 \text{ m}^3/\text{zi}$ , debitul exploatat ridicându-se la  $1200 \text{ m}^3/\text{zi}$  ( $14 \text{ l/s}$ ) [116], [152], [153].

1.2.3. În anul 1963 s-au executat în lunca râului Suceava 5 bazine de infiltraţie cu scopul sporirii debitului de apă furnizată oraşului Suceava. Această soluţie a fost impusă de faptul că debitul stratului acvifer a scăzut datorită supraexploatării, care a generat colmatarea malurilor, de la  $80 \text{ l/s}$  iniţial, la  $45 \text{ l/s}$  [116]. În urma amenajării unor bazine de infiltraţie de câte  $810 \text{ m}^2$  fiecare, aşezate paralel cu linia de puţuri de captare s-a reuşit să se ridice debitul de exploatare la  $100 \text{ l/s}$ .

Din punct de vedere calitativ se observă, mai ales la topirea zăpezilor, o creştere a conţinutului în cloruri şi fier, concomitent cu scăderea durtăţii apei. Temperatura apei captate ajunge vara pînă la  $17-19^\circ\text{C}$ .

1.2.4. Amenajările de alimentare cu apă ale oraşului Bistriţa, printre cele mai vechi din ţară, au fost extinse în anul 1960 în sensul sporirii debitului de apă captată cu ajutorul bazinelor de infiltraţie.

Proiectul iniţial a prevăzut executarea unui dren de captare cu diametrul de  $400 \text{ mm}$  şi avînd o lungime de  $360 \text{ m}$ . Debitul estimat, de  $40 \text{ l/s}$ , era însă asigurat numai la apele mari ale râului, din cauza unui prag impermeabil subteran situat între mal şi dren, ce permite deversări subterane numai de la o anumită cotă în sus a oglinzii apei. În această situaţie s-au executat 2 bazine de infiltraţie, respectiv de  $30 \times 12 \text{ m}^2$  şi  $25 \times 12 \text{ m}^2$ , alimentate cu apă din râu. Ca urmare acestei amenajări debitul drenului a crescut la  $45 \text{ l/s}$ , din care  $15 \text{ l/s}$  în medie, constituie aportul bazinelor de infiltraţie.



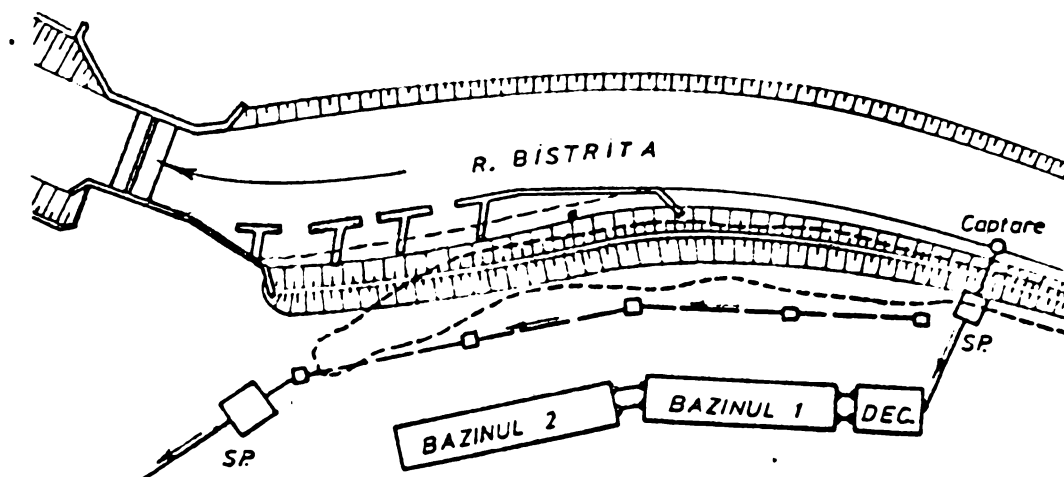


Fig.1.3. Schema amenajărilor de alimentare tehnică Bistrița-Năsăud

1.2.5. Amenajările de alimentare cu apă ale orașului Oradea. Apa subterană din zona captărilor este alimentată prin infiltrația de mal. Debitul captabil de apă subterană fiind în continuă scădere, datorită colmatării albiei, au fost necesare amenajări de sporire a debitului. În acest scop s-au executat paralel cu malul bazine umplute cu material granular, sub forma unor filtre lente alimentate cu apă din râul Crișul Repede. După un anumit parcurs, apa este captată și folosită în amestec cu apa subterană. Ulterior, între aceste bazine și mal s-a executat o linie de puțuri. Rezultatele bune obținute stau la baza unor proiecte de extindere a acestei metode.

Amenajările de îmbogățire artificială a straturilor acvifere pentru obținerea unor sporuri de debite la alimentarea cu apă a unor localități din țara noastră, fără să fi făcut obiectul unor studii sistematice, au condus totuși la rezultate imediate. Experiența câștigată trebuie însă cercetată cu toată atenția, deoarece numai în acest fel poate fi vorba de menținerea unui potențial ridicat de infiltrație.

### 1.3. Amenajări de alimentare tehnică a straturilor acvifere în Europa

Numărul și amploarea amenajărilor de îmbogățire artificială a straturilor acvifere din Europa sînt relativ reduse.

Obiectivele urmărite sînt însă foarte diverse. La majoritatea amenajărilor se urmăresc ameliorări calitative și cantitative. Excepție fac amenajările din Olanda și R.S.România care urmăresc numai ameliorări cantitative și cele din Suedia, unde se pune un accent deosebit pe ameliorarea termică.

1.3.1. Amenajările din R.F.Germania. Cele peste 20 amenajări de alimentare artificială din R.F.Germania se găsesc amplasate aproape în totalitate în bazinul râului Ruhr. Explicația constă în faptul că apa râului Ruhr a devenit din ce în ce mai poluată datorită activității și densității deosebite a industriilor din partea de vest, nord-vest a țării.

Cea mai veche amenajare de alimentare tehnică cu apă la un strat acvifer se găsește în vecinătatea orașului Essen, realizată în 1890, la propunerea lui Thiem. În urma apoi amenajărilor pentru alimentarea cu apă a orașelor Munich, Nürnberg, Hamburg [18]. Orașul Dortmund dispune din 1935 de o amenajare de alimentare artificială cu ajutorul bazinelor de infiltrație, ce asigură injectarea unui debit de  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$  captat din râul Ruhr [8], [70], [69].

Pe bazine hidrografice, bazinul râului Ruhr ocupă primul loc cu  $27 \text{ m}^3/\text{s}$  apă potabilă provenită din straturi acvifere îmbogățite artificial din surse de suprafață. Urmează apoi bazinele râurilor Lippe și Ems ce dau la un loc  $13 \text{ m}^3/\text{s}$  [21]. Din  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  apă furnizată la un loc,  $17,5 \text{ m}^3/\text{s}$  provin din alimentarea artificială,  $16,5 \text{ m}^3/\text{s}$  din apa încălzită prin mări și numai  $6 \text{ m}^3/\text{s}$  din potențialul natural al straturilor acvifere.

1.3.2. Amenajările din R.D.Germană, în perioada 1965-1966 au fost executate 10 amenajări de alimentare cu apă, cu o capacitate totală de  $1,80 \text{ m}^3/\text{s}$  apă injectată. Din acestea 9 amenajări urmăresc îmbunătățirea calităților apei, ultima stocarea apei. Pe baza extinderii lucrărilor mai vechi și creării de noi amenajări în anul 1972 s-a ajuns la injectarea unui debit de  $3,50 \text{ m}^3/\text{s}$ .

1.3.3. Amenajările din Suedia. Spre deosebire de alte țări, amenajările de îmbogățire artificială din Suedia, urmăresc în primul rînd ameliorarea temperaturii apei potabile. În

acest sens, apa de suprafață, provenită din râuri și lacuri, este injectată în straturile magazin, alcătuite din nisipuri și pietrișuri, formate în conurile de dejecție ale torenților glaciari "eskers", ce pot atinge lungimi de pînă la 100 km, lățimi pînă la 1 km și mai multe zeci de metri grosime [12].

Cele peste 20 amenajări existente în anul 1974 asigurau injectarea unei cantități de circa 380.000 m<sup>3</sup>/zi apă. La principalele amenajări sînt folosite bazinele de infiltrație și fosele adînci. După Bize [21] cele mai importante amenajări se găsesc la: Göteborg (1897), Malmö (1948), Hälsingborg (1926), Västeras (1950), Eskilstuna (1949), Obrero (1917), Karlskoga (1946), Lulea (1932), Kristinehamn (1946), Katrineholm (1937), Eksjo (1940), Södertälje (1947).

1.3.4. Amenajările din Olanda. Lipsa rezervelor naturale de apă de calitate în zona marilor concentrări urbane, a condus la utilizarea dunelor de pe coasta Mării Nordului ca principal mijloc de stocare a apei de suprafață adusă de la mare distanță. Astfel, orașul Amsterdam este alimentat cu apă din dunele de la Zandwoort, în care s-a injectat apă din râul Rhin, transportată prin conducte de la o distanță de peste 53 km. În acest scop, dunele marine sînt brăzdate de o serie de canale deschise, așezate paralel, la distanță de 150-200 m. Lungimea unui canal este, obișnuit, 300 m, lățimea de 20-30 m și adîncimea de 6 m.

Asemenea lucrări mai pot fi întîlnite la Castricum, La Haye, Katwijk-Wassenar. În interiorul teritoriului există amenajări la Enschede, Zeenwsch-Vlandeeren [21], [176].

1.3.5. Amenajările din Elveția. Deși puține ca număr, amenajările din această țară folosesc o gamă largă de mijloace de injecție. Astfel la Montier și Winterthur se folosesc puțuri de infiltrație, la Muttenez, Widen și Tenero bazine de infiltrație, la Lango Erlon drenuri de infiltrație. La Muttenez-Bâle, ca principal mijloc de injecție se folosesc fosele adînci, prin intermediul cărora se infiltrează în stratul acvifer peste 30 mil.m<sup>3</sup> de apă pe an, captată din râul Rhin amonte de portul Bâle [35].

1.3.6. Amenajările din Franța. Amenajările de alimentare artificială a straturilor acviferă executate în Franța urmăresc în principal refacerea echilibrului hidrodinamic la straturile supraexploatate, ridicarea și menținerea nivelurilor piezometrice la cote acceptabile în cazul straturilor drenate puternic de amenajări hidrotehnice profunde.

Cea mai veche amenajare de alimentare artificială semnalată în literatură, s-a executat în anul 1821 pe râul Garonne, constând din inundarea "pajiștilor aluvionare" cu ajutorul unui baraj de mică înălțime [8], [21].

La Nancy s-a realizat în 1875 un baraj pe râul Moselle, care asigură derivarea unui debit de  $1,20 \text{ m}^3/\text{s}$  ce se introduce în stratul acvifer cu ajutorul unei galerii de infiltrație, așezată paralel cu malul [21].

În anul 1931 municipalitatea orașului Lyon a fost nevoită să execute un canal de infiltrație așezat paralel cu râul Rhon, pentru compensarea debitelor captate la stația de Grand Camp, unde s-a renunțat la 25 puțuri în vederea extinderii târgului "La Foire du Lyon" [21].

Exploatarea deosebit de intensă din anul 1959 a stratului acvifer de la Croissy, din lunca râului Sena, aval de Paris, a condus la coborîrea spectaculoasă a nivelurilor piezometrice din zona liniilor de captare. Ca urmare a acestui fapt, s-au creat gradienti mari de infiltrație care au antrenat apă poluată din râu spre puțurile de captare. Stratul supraexploatat a fost refăcut și calitatea apei s-a ameliorat, însă abia după injectarea unui debit de  $0,32 \text{ m}^3/\text{s}$ . În acest scop s-au folosit 5 bazine de infiltrație,

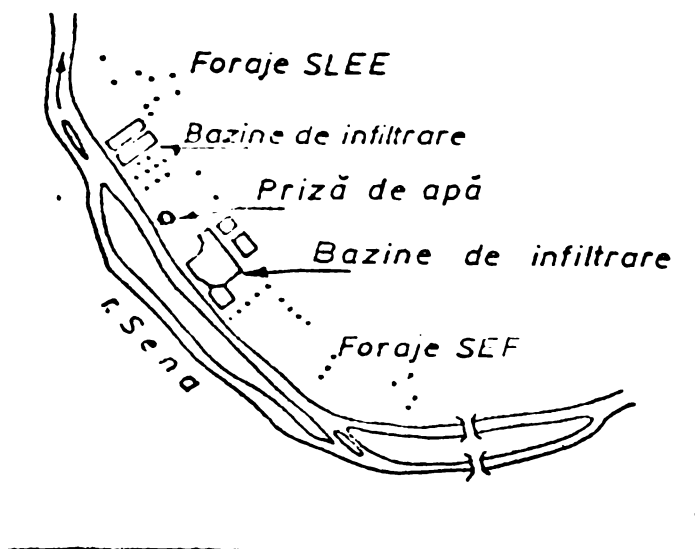


Fig.1.4. Schema amenajărilor de la Croissy-Franța

a căror capacitate sporită ulterior a permis extragerea unui debit de  $1,10-1,30 \text{ m}^3/\text{s}$  [8], [113]. În figura 1.4 se prezintă schematic amenajările de la Croissy.

Amonajarea Appoigny, realizată în 1968 asigură alimentarea artificială a stratului acvifer din lunca râului Yonne cu o cantitate de peste  $1000 \text{ m}^3/\text{zi}$  ( $11,2 \text{ l/s}$ ). Injectarea apei se face cu ajutorul bazinelor de infiltrare, căptușite cu un strat de nisip de Loire [27].

În anii 1952-1957, societatea "Electricité de France" a studiat influența executării canalului de derivație a apei din râul Durance în iazul Berre, care drena pînza aluvionară de la Basse-Durance, situată într-o zonă de peste 75.000 ha cu o agricultură deosebit de înfloritoare. S-a constatat că acest canal magistral ( $114 \text{ m}^3/\text{s}$ ), pe care au fost amplasate 5 UHE drena întregul strat acvifer din zonă. Pentru menținerea potențialului agricol, au fost preconizate lucrări ample de alimentare artificială a stratului acvifer în vederea menținerii nivelurilor piezometrice naturale ale apei [129].

O situație asemănătoare s-a întâlnit și la UHE Donzère-Mondragon, unde canalul de fugă avînd 28 km lungime a drenat stratul acvifer din zonă, afectînd o suprafață importantă de teren cu potențial agricol ridicat. Pentru refacerea nivelurilor naturale ale apei s-au construit 233 fose de realimentare și foraje prin care se injectează peste  $8,50 \text{ m}^3/\text{s}$  [74].

1.3.7. Amenajările din Anglia. Cu toate că în Anglia se găsește cea mai veche amenajare de alimentare artificială din Europa, acest gen de lucrări este încă slab dezvoltat. Prima amenajare semnalată în literatură se găsește în vecinătatea orașului Glasgow și a fost executată în anul 1810. Apa de suprafață este introdusă în stratul acvifer cu ajutorul unei galerii drenante, situată în apropierea estuarului Firth of Clyde [21].

Amenajarea Lee Valley executată în etape 1890, 1914, 1952 este amplasată lângă Londra. Apa captată din râul Lee este introdusă în mediul granular cu ajutorul a 3 foraje, care asigură injectarea a  $12.000 \text{ m}^3/\text{zi}$ .

În literatură se mai semnalează existența unei amenajări la Nottingham, amplasată în lunca râului Trent.

1.3.8. Amenajările din R.P.Ungară. Lipsa apei de calitate în zona unor centre mari populate au impus și în R.P. Ungară preocupări pentru realimentarea artificială. Astfel,

zona industrială Miskolc-Kazincbarcika-Ozd este deservită de un sistem regional de alimentare cu apă "Borsodi Vizellátasi Rendszer" care folosește atât surse de apă de suprafață cât și surse de apă subterană îmbogățite artificial. Acest sistem se bazează, în principal, pe stratul acvifer din lunca râului Bodva în care se injectează apă de suprafață cu ajutorul unui număr de 18 bazine de infiltrație. Se injectează în jur de 14.000 m<sup>3</sup>/zi din care se recuperează prin captare în jur de 12.000 m<sup>3</sup>/zi.

Orașul Budapesta este de asemenea alimentat cu apă de suprafață combinată cu apă subterană îmbogățită artificial. În acest scop, au fost executate o serie de bazine de infiltrație paralele cu malul Dunării, așa fel ca linia de puțuri de captare să fie alimentată cu apă indusă prin mal și apă injectată prin bazine [135].

1.3.9. Amenajările din U.R.S.S. Din semnalările bibliografice rezultă că și în Uniunea Sovietică s-au executat o serie de amenajări de realimentare a straturilor acvifere, ca urmare a poluării avansate a unor cursuri de apă. Aceste lucrări se găsesc în special în R.S.S.Ucraina, R.S.S.Letonia, R.S.S.Bielorusă și R.S.F.S.Rusia. Între amenajările aflate în funcțiune sînt amintite cele de la Miga, Minsk, Ivanov-Frankovsk.

Amenajarea Ivanov-Frankovsk din vecinătatea orașului Moscova, aflată în funcțiune din anul 1955, exploatează numai rezervele de apă create prin infiltrația artificială [21].

Amenajarea de la Minsk a permis sporirea debitului captat de la 1 m<sup>3</sup>/s la 2 m<sup>3</sup>/s. Aici apa se injectează în pămint cu ajutorul bazinelor de infiltrație, al foselor și puțurilor.

#### 1.4. Amenajări de îmbogățire artificială a straturilor acvifere în S.U.A.

În S.U.A. lucrările de alimentare artificială a unor straturi acvifere a căpătat o dezvoltare deosebită, mai ales în statele California și New-York. În aceste state au apărut concentrări mari de consumatori de apă potabilă și industrială, în timp ce resursele de apă în regim natural erau foarte limi-

tate. Lucrări de mai mică amploare pot fi întâlnite în statele Illinois, Arkansas, Virginia și altele.

1.4.1. Amenajările din California. California se găsește într-o situație specială. Partea de nord a statului dispune de peste 70 % din rezervele naturale de apă în timp ce populația și industriile sînt concentrate în centrul și sudul țării. De asemenea în sud se găsește și grînarul țării, în lunca irigată a râului San Joaquin, unde însă precipitațiile anuale nu depășesc 150 mm, față de o evapotranspirație potențială ce ajunge la 1600 mm pe an [111].

Intre lanțurile muntoase Sierra Nevada și Coast Range se găsesc luncile râurilor Sacramento spre nord și San Joaquin spre sud, care au format depozite aluvionare ce depășesc 600 km lungime, 100 km lățime și mai multe sute de metri grosime. Depozite aluvionare dezvoltate se mai găsesc pe terasele de coastă spre oceanul Pacific și în lunca râului Santa Ana [94].

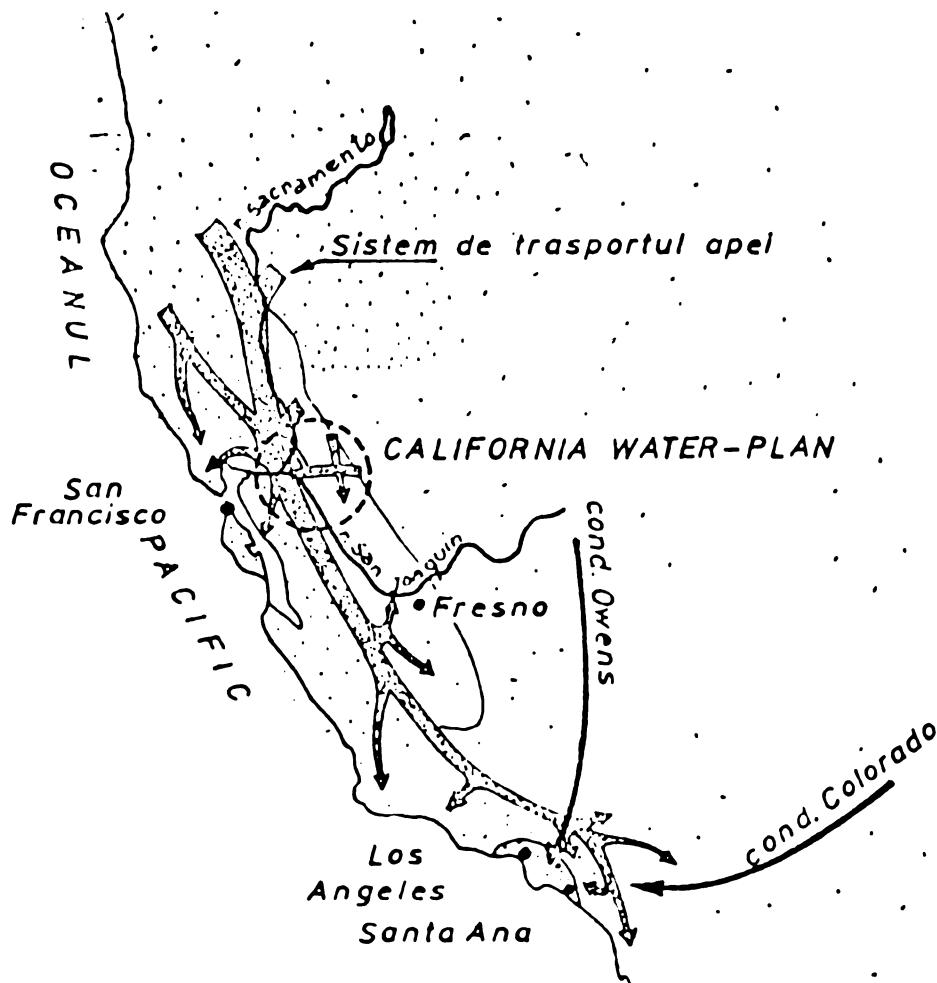


Fig.1.5. Schema amenajărilor în cadrul "California Water-Plan"

Deși aparent rezervele de apă subterană erau inepuizabile, datorită supraexploatării straturilor acvifere, nivelurile piezometrice au coborât pînă la 70-100 m adîncime față de adîncimea inițială de numai 2,5-5,0 m.

Pentru refacerea rezervelor de apă subterană s-au executat peste 300 amenajări de alimentare artificială în cadrul unui complex de lucrări de gospodărire rațională a tuturor rezervelor naturale de apă. Acestea sînt asigurate cu apă de suprafață, transportată de la mari distanțe prin aducțiunile Owens și Colorado, avînd o capacitate de peste 65 m<sup>3</sup>/s, figura 1.5.

După Richter R.C. [148] în anul 1958 au fost introduse în depozitele aluvionare peste 780 mil.m<sup>3</sup> apă, reprezentînd 25 m<sup>3</sup>/s, din care: 450 mil. m<sup>3</sup> prin bazine de infiltrare, 250 mil. m<sup>3</sup> prin paturile rîurilor amenajate, 85 mil. m<sup>3</sup> cu ajutorul foselor și canalelor mici, 7,5 mil. m<sup>3</sup> prin puțuri de injecție, 3 mil. m<sup>3</sup> prin vărsare liberă.

Dintre principalele amenajări de alimentare artificială realizate și gospodărite după un plan unic "California Water Plan" amintim:

- amenajarea de la Pacoia, 1932, care folosește apa de viitură injectată în stratul acvifer cu ajutorul bazinelor de infiltrare, avînd o suprafață totală de peste 70 ha, o plajă activă de 49 ha și adîncimea între 0-1,50 m [160];

- amenajarea de la Rio Hondo, 1937, avînd o suprafață totală a bazinelor de infiltrare de 170 ha și adîncimea medie de 1,50 m, folosește apă de viitură și apă derivată din aducțiunea Colorado [160];

- amenajarea Sawpit, realizată în 1946, utilizează bazine de infiltrare ce totalizează 4,6 ha, cu o adîncime medie de 1,00-1,50 m, alimentate cu apă de viitură [160];

- amenajarea de pe plaja Manhattan Beach, începută în anul 1953 a reușit să formeze un bulb de apă dulce între apa sărată din ocean și straturile acvifere supraexploatate, utilizînd în acest scop apă de injecție derivată din aducțiunea Colorado [12], [2];

- amenajarea de la Santa Fé, executată în 1954 cu o suprafață a bazinelor de infiltrare de 77 ha, avînd o plajă



activă de infiltrație de 53 ha și adâncime medie a apei între 1,00-1,50 m [160];

- amenajarea de la Buena Vista, executată în 1956 permite injectarea apei într-un strat acvifer acoperit de un strat impermeabil, utilizându-se fose de injecție de peste 18 m adâncime extinse pe 6,50 ha [21];

- amenajările Peck Road; 1959 și Orange County, 1960, utilizează apă de viitură, respectiv derivată din aducțiunea Colorado, pe care o injectează cu ajutorul foselor de infiltrație adânci [21], [148].

1.4.2. Amenajările din statul New York. Peninsula Long Island din statul New York, unde locuiesc peste 2,5 milioane locuitori, în comitatele Nassau și Suffolk, este alimentată cu apă exclusiv din trei complexe acvifere de 10-600 m grosime (Jameco, Magothy, Lloyd) îmbogățite artificial cu ajutorul unui număr de peste 2200 bazine de infiltrație, 100 puțuri de infiltrație. În scopul infiltrației se folosesc apele de șiroire, apele industriale de răcire, apele uzate industriale epurate [21], [25], [26].

1.4.3. Amenajările din statul Iowa. Deși mai puțin dezvoltate, amenajările din statul Iowa sînt printre cele mai vechi lucrări de acest gen. Apa captată din râul Raccoon este injectată în stratul acvifer cu ajutorul a 15 bazine de infiltrație, a căror execuție a început în 1914, dispuse paralel cu o galerie de captare de 3 km lungime, aflată în funcțiune din 1871 [21].

1.4.4. Alte amenajări. În statul Illinois s-au realizat în perioada 1951-1956 două bazine de infiltrație, în Peoria, alimentate cu apă din râul Illinois. În regiunea Grand Prairie din Arkansas, refacerea acviferului supraexploatat din lunca râului White este asigurată cu ajutorul puțurilor. La Camp Peary, statul Virginia, s-a realizat în anul 1946 o ameliorare a conținutului în clor din stratul acvifer, prin injectarea apei dulci de la suprafață. Astfel din 55 m<sup>3</sup>/h apă exploatată din strat după ameliorare, apa dulce injectată reprezintă 40-80 % [38].

### 1.5. Amenajări de alimentare tehnică a straturilor acvifere pe alte continente

Din semnalările bibliografice rezultă că amenajările de alimentare cu apă a straturilor acvifere sînt puțin utilizate pe celelalte continente. Cu toate acestea pot fi evidențiate în mod deosebit amenajările din Israel, Maroc și Tunisia.

1.5.1. Statul Israel se găsește într-o situație specială datorită regimului precipitațiilor, existenței unor roci magazin foarte dezvoltate și discordanței între repartiția rezervelor naturale de apă pe teritoriul țării și amplasarea consumatorilor.

Din punct de vedere al precipitațiilor, se distinge o perioadă ploioasă, în intervalul noiembrie-aprilie, cînd precipitațiile ating 975 mm și o perioadă secetoasă, în intervalul mai-octombrie, cînd precipitațiile nu depășesc 25 mm la care se asociază un proces de evapotranspirație foarte puternic.

Rezervele de apă de suprafață se reduc la apa lacului Tiberiad și unele rîuri de mică importanță, toate situate în nord.

Resursele de apă subterană sînt mici, în timp ce potențialul de înmagazinare al unor roci magazin, cum sînt cele de la Plaine-Cotiere, este foarte ridicat. Astfel, gresile și nisipurile din această zonă formează depozite avînd peste 120 km lungime, 7-20 km lățime și 100-180 m grosime. De asemenea formațiunile calcaroase și dolomitice din zona centrală se întind pe 100 km în lungime, 35 km lățime și 500-1000 m grosime.

Față de această situație, începînd din anul 1953 au început o serie de amenajări de alimentare artificială a formațiunilor acvifere de la Plaine Cotiere. În acest scop se folosește apă din lacul Tiberiad, apă locală de suprafață, apă extrasă din depozitele calcaroase dolomitice. Apa captată de la suprafață și transportată în zonă este injectată în sol cu ajutorul puțurilor și bazinelor de infiltrare. Injectarea unei cantități de apă de peste 10 mil. m<sup>3</sup> apă în anul 1953, care a crescut apoi continuu ajungînd în 1967 la 132 mil. m<sup>3</sup>, iar ulterior pînă la 150 mil. m<sup>3</sup> pe an, a permis formarea unor stocuri de apă intersezoniere, ameliorarea calităților apei din sursele de suprafață, crearea unor bazine hidraulice în calea

apelor sărate marine din zona de coastă [1], [85], [151], [181].

1.5.2. Craşul Tanger din Maroc a fost iniţial alimentat cu apă dintr-un strat acvifer constituit în calcare şi gresii nisipoase pliocene fisurate pînă la 300 m adîncime. Datorită supraexploatării stratului, nivelul piezometric a coborît considerabil favorizînd intruziunea apei sărate din mare. Datorită acestui fapt, în anul 1956 au început o serie de amenajări de alimentare artificială a stratului acvifer cu ajutorul unor bazine de infiltrare, care au permis injectarea unei cantităţi de peste 1 mil. m<sup>3</sup> de apă pe an, prin care s-a relăcut nivelul piezometric iniţial [102].

1.6. Scopul urmărit prin amenajările de alimentare artificială a straturilor acvifere

Din analiza principalelor amenajări aflate în funcţiune rezultă că prin acestea s-au urmărit cele mai diverse scopuri, cum ar fi:

- refacerea straturilor acvifere pentru menţinerea capacităţii instalaţiilor existente;
- îmbogăţirea artificială a straturilor în vederea măririi debitelor captabile;
- injectarea apei de suprafaţă în sol pentru obţinerea unei compensări anuale în regimul precipitaţiilor şi reprimul cererilor de apă la consum, obţinîndu-se în acelaşi timp şi o combatere a inundaţiilor;
- refacerea nivelului piezometric iniţial al straturilor acvifere perturbate de prezenţa unor canale adînci, utilizate în amenajările hidroenergetice;
- crearea unui dom hidraulic pentru oprirea avansării apelor sărate din mare spre uscat sau împiedicarea revărsării apelor poluate din unele cursuri naturale spre rezerve de ape subterane exploatabile;
- ameliorarea unor calităţi ale apelor de suprafaţă, ca de exemplu temperatura;
- infiltrarea apei în sol pentru crearea unui stoc de apă de rezervă în vederea folosirii lui în cazul unor secete de durată sau pentru consumuri de vîrf;
- mărirea randamentului amenajărilor de gospodărire a apelor prin reinjectarea afluenţilor urbani;

357.082.  
233

- infiltrarea apei în straturile acvifere cu lungimi mari, pentru stocarea și transportul acesteia la distanță.

### 1.7. Perspectivă ale alimentărilor tehnice

Dezvoltarea societății în ritm nemaiîntâlnit conduce inevitabil la crearea de tot mai multe așezări omenești. Distribuția acestor noi așezări pe suprafața Terei va fi impusă de rezervele naturale de materie primă pentru industrie, de concentrările industriale, concentrări demografice și în oarecare măsură de existența resurselor de apă.

Neconcordanța între distribuția așezărilor omenești, a concentrărilor industriale, pe de o parte și existența rezervelor de apă de cealaltă parte, impune eforturi deosebite pentru aprovizionarea cu apă potabilă și industrială. Exemple în acest sens pot fi date și în prezent mai ales în zonele geografice cu precipitații puține și evapotranspirații intense. Ele se vor înmulți continuu, în măsura dezvoltării social-economice a societății, în măsura în care noi state vor păși pe calea dezvoltării.

În aceste condiții va apărea necesitatea unei gospodăririi complexe a apei pe plan regional, național și chiar internațional. Orice soluție care vizează îmbunătățirea indicatorilor cantitativi și calitativi ai apei consumabile vor trebui luate în considerare.

Având în vedere cele de mai sus, soluția alimentării artificiale a straturilor acvifere cu apă de suprafață, în vederea îmbunătățirii cantitative și calitative a apei exploatabile poate să joace un rol tot mai mare. Pentru aceasta însă, este necesar un schimb mai larg de informații asupra experienței deja câștigate. De asemenea, trebuie să se intensifice cercetările în domeniul tehnologiei de alimentare, să se pună la punct metode și criterii cuprinzătoare pentru dimensionarea acestui tip de amenajări.

### 1.8. Necesitatea practică a aprofundării temei

Metodele utilizate în prezent pentru alimentarea straturilor acvifere prin procedee tehnice au permis rezolvarea completă a unor probleme de alimentare cu apă potabilă, industrială, apă pentru irigații, precum și o serie de alte probleme privind gospodărirea apei.

Pe această bază se poate afirma că alimentarea tehnică a straturilor acvifere și-a câștigat un loc permanent între procedeele și tehnicile de gospodărire complexă a apelor.

Din păcate însă, pînă în prezent literatura de specialitate are foarte puține referiri la experiența acumulată în ceea ce privește amenajările de alimentare artificială. Cea mai mare parte din articolele publicate pe această temă se ocupă mai ales de aspectele tehnologice. Articolele referitoare la dimensionarea hidraulică sînt extrem de puține și privesc numai rezolvări a unor cazuri particulare.

La noi în țară, problema amenajărilor pentru alimentarea straturilor acvifere este foarte puțin cunoscută. Se fac referiri la această problemă doar în cîteva rînduri în [99], [100], [112], [142], [168]. În [116] se face o prezentare de ansamblu, în [52] se efectuează un studiu asupra primelor trei amenajări din țara noastră, iar autorul prezentei lucrări a făcut cîteva comunicări pe această temă în perioada pregătirii tezei [49], [121], [122], [123], [124], [125], [126], [127], [128], [137].

Față de cele arătate mai sus, prin lucrarea de față se urmăresc trei obiective principale:

- popularizarea tehnicilor și posibilităților actuale de alimentare a straturilor acvifere în vederea îmbunătățirii indicatorilor cantitativi și calitativi ai apei subterane exploatabile pentru diverse folosințe;

- prezentarea sistematică a obiectivelor realizabile prin amenajările de alimentare a straturilor acvifere, condițiilor hidrogeologice necesare, tehnologiile utilizate pînă în prezent, avantaje, dezavantaje;

- prezentarea recomandărilor actuale, privind calculul hidraulic al amenajărilor de alimentare a straturilor acvifere și propunerile autorului, ca și contribuții personale în acest domeniu.

Lucrarea se vrea o contribuție la rezolvarea problemelor de alimentare cu apă potabilă și industrială din țara noastră, într-un moment cînd întregul popor luptă pentru intrarea României în rîndul țărilor cu dezvoltare industrială medie.

## Capitolul 2

### STUDIUL CONDIȚIILOR DE INFILTRARE TEHNICĂ PE BAZA PRINCIPALELOR CARACTERISTICI HIDROGEOLOGICE ALE STRATURILOR ACVIFERE

Studiul mișcării apei subterane necesită cunoașterea formelor de existență a apei în pământ, cercetarea caracteristicilor fizice și chimice ale mediului granular, analizarea interacțiunii dintre apă și mediul permeabil. El constituie baza unei analize temeinice a metodelor și procedurilor de alimentare tehnică a straturilor acvifere. În acest sens, capitolul 2 capătă o importanță deosebită în aprofundarea temei propuse.

#### 2.1. Forme ale apei subterane

În pământ se găsește apă sub diferite forme. Privită din punct de vedere al interacțiunii dintre apă și scheletul solid al mediului granular, deosebim: apă legată, apă capilară, apă liberă.

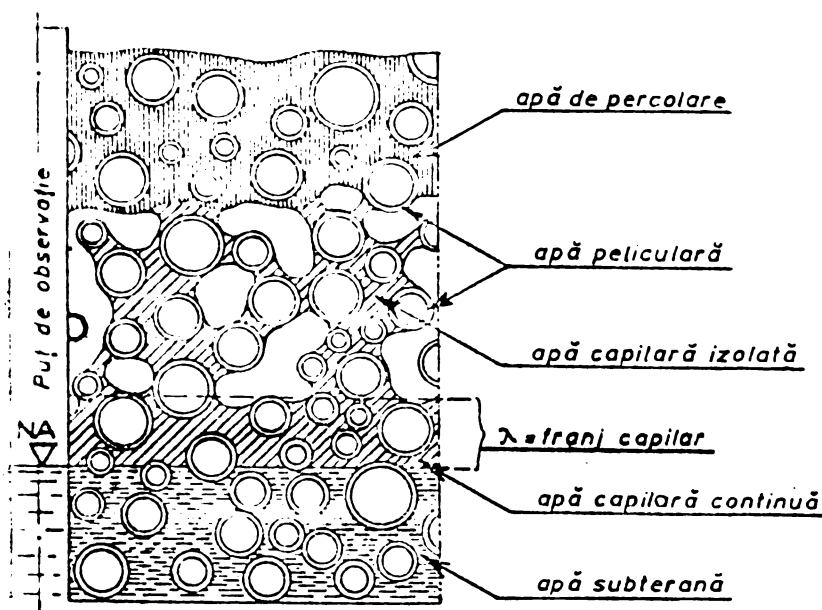


Fig.2.1. Apa în pământ

În figura 2.1 se reprezintă schematic cele trei forme de existență a apei în pământ [35].

2.1.1. Apa legată de elementele componente ale mediului granular reprezintă 11...16 % din cantitatea totală de apă existentă în pământ. O parte din apă poate fi legată chimic (1...2 %) atunci când participă în reacții cu diferiți compuși, cu care formează sisteme cristaline. Altă parte este legată de granulele solide prin absorbție, formând apa higroscopică (6...8 %). În unele cazuri în jurul granulelor se formează pelicule continue din apă peliculară (4...6 %).

2.1.2. Apa capilară se găsește permanent sub influența forțelor capilare. Datorită acestui fapt ea este reținută în interstițiile sau canaliculele dintre granulele solului sub formă de apă capilară izolată sau de apă capilară continuă.

Apa capilară izolată formează mici zone ale mediului granular, izolate între ele, în interiorul cărora porii terenului sînt plini cu apă; restul porilor mediului conțin aer.

Apa capilară continuă formează o zonă compactă, numită franj capilar, în interiorul căreia porii și golurile dintre granulele terenului sînt plini cu apă. Franjul capilar este situat deasupra strătului de apă liberă, de care este legat nemijlocit.

Grosimea franjului capilar, notată  $h_c$ , variază în funcție de mai mulți factori. Astfel, după Carlier M. [33]

$$h_c = \frac{4}{\rho g} \cdot \frac{A}{d} \quad (2.1)$$

în care: A este o constantă capilară, g accelerația gravitației,  $\rho$  densitatea, d diametrul interstițiilor. Pentru apă pură  $A = 70$ .

2.1.3. Apa liberă se poate găsi în curs de infiltrare, de percolare și filtrare.

Apa în curs de infiltrare, adică de trecere dintr-o masă de apă de suprafață într-un mediu granular, are o mișcare dominantă verticală. Ea provine din precipitații directe, din ape de șiroire, din ape infiltrate prin fundul și malurile râurilor, lacurilor etc. De asemenea poate să provină de la amenajări special create pentru infiltrarea apei în teren, cu scopul menținerii potențialului agricol sau pentru îmbunătățirea bilanțului apelor subterane supraexploatate.

Apa în curs de percolare, după un proces de infiltrare, traversează de sus în jos mediile granulare întâlnite în drum pînă atinge suprafața unui strat impermeabil. Deoarece coborîrea în continuare este împiedicată de existența acestui strat impermeabil, apa de percolare umple porii și golurile dintre granule și formează un mediu fluid continuu.

Complexul format din scheletul solid al mediului granular și apa liberă ce umple porii și spațiile libere ale aces-

tuia, formează un strat acvifer. Dacă suprafața de separație dintre stratul permeabil și cel impermeabil, numit strat de culcuș, are o anumită înclinare, apa liberă din stratul acvifer se pune în mișcare și constituie un curent de apă subterană.

Mișcarea apei subterane se face după legi proprii, sub acțiunea simultană a unui câmp de forțe, format din: forțe gravitaționale, forțe de presiune, de vîscozitate, inerție, adeziune, capilaritate, elasticitate.

Direcția de mișcare a apei în strat poate fi ușor coborîtoare, însă dominant orizontală, cînd scurgerea se face cu nivel liber sau o direcție oarecare cînd ea are loc sub presiune.

Apa subterană este formată în primul rînd din apa liberă de infiltrație, care însă în timpul percolației straturilor superioare antrenează și o parte din apele ușor legate. De asemenea, în anumite condiții, se adaugă apele ascensionale din adîncime și cele provenite din condensarea vaporilor.

Suprafața liberă a apei subterane se ridică atunci cînd stratul acvifer este alimentat în exces, sau coboară cînd cantitatea de apă drenată depășește pe cea de alimentare. Dacă nivelul liber al apei subterane urcă, porii și spațiile libere dintre granule se umplu cu apă, cu excepția unor bule de aer izolate sau a unor pori închiși. Aerul rămas sub nivelul liber al apei este dizolvat sau eliminat.

Cantitatea de aer dizolvat în apă variază, conform legii lui Henry William, în funcție de temperatura mediului, precum și de presiunea parțială a gazului în contact cu apa. Procesul de absorbție a aerului în apă schimbă însă proporția dintre elementele componente ale acestuia. Astfel în aerul dizolvat, azotul reprezintă în volume 62,4 %, oxigenul 35,8 %, argonul 1,8 %, față de proporțiile din atmosferă, respectiv de 78,09 % azot, 20,95 % oxigen, 0,93 % argon [132].

## 2.2. Caracteristicile fizice ale mediului granular

În general, mediul granular în care se formează un strat acvifer este alcătuit din granule foarte deosebite ca formă, mărime și așezare. Între ele există goluri mici izolate sau aflate în legătură. Volumul și forma golurilor, numite și



interstiții, canalicule, pori, depind de forma, mărimea și modul de așezare al granulelor de pământ. Ansamblul de granule solide și golurile dintre ele constituie suportul material al diferitelor forme de existență a apei în pământ, inclusiv apa subterană.

Caracteristicile fizice ale mediului granular favorizează sau frânează schimbul cantitativ și calitativ între diferitele forme de existență a apei în pământ, precum și între acestea și apa de suprafață.

2.2.1. Forma granulelor. Forma granulelor este determinată de compoziția mineralogică a rocilor din care provin, de factorii care au condus la descompunerea lor (fizici, chimici, biologici) și de agenții de transport (gheață, apă, vânt). Există granule de formă sferică, plată, aciculară, rotunjită, cu muchii colțuroase, cu muchii rotunjite. Astfel nisipurile și pietrișurile cuarțoase sînt formate din granule de obicei rotunjite, cu aspect sferic, iar granulele din elemente melanocrate sînt plate cu muchii colțuroase sau rotunjite.



Fig.2.2. Forma granulelor  
a. sferoidală; b. plată; c. aciculară;  
d. rotunjită; e. colțuroasă; f. cu  
muchii rotunjite

Forma granulelor influențează geometria golurilor (porilor, canaliculelor), stabilitatea scheletului solid și mărimea suprafeței specifice în contact cu apa. Ea conduce la variații mari ale coeficientului de filtrație.

În calculele hidraulice este foarte greu să se țină seama de forma granulelor, sub aspect cantitativ. De obicei, ea este luată în considerare sub forma unui factor de corecție numit și factor de formă. După K.F.Busch [29] factorul de formă  $c$  variază între  $c = 1,0$  pentru granule sferice și  $c = 1,3$  pentru granulele aciculare cu muchii ascuțite.

Dacă forma granulelor, luate separat, influențează în mai mică măsură parametrii hidraulici de scurgere, modul de așezare al granulelor în alcătuirea scheletului solid prezintă un interes foarte mare. Straturile acvifere sînt alcătuite mai ales din texturi monominerale și în mai mică măsură din texturi în fagure, texturi floculare, exemplificate în figura 2.3.

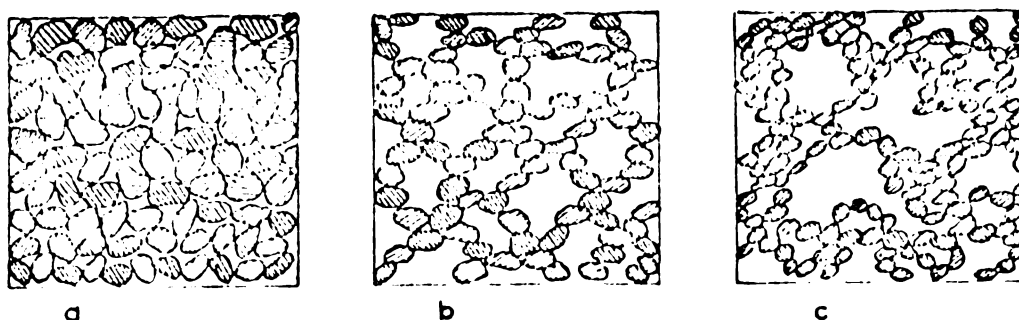


Fig.2.3. Texturi ale mediilor granulare  
a. monominerală; b. fagure; c. floculară

2.2.2. Mărimea granulelor. Scheletul solid al straturilor acvifere este alcătuit din granule de diferite mărimi. Determinarea mărimii granulelor se face diferențiat în funcție de diametrul acestora. Astfel pentru granule avînd  $d > 60$  mm se aplică metoda măsurării directe, pentru  $60 \geq d \geq 0,06$  mm metoda cernerii și pentru  $d < 0,06$  metoda sedimentării.

Rezultatele măsurătorilor efectuate se prezintă sub formă tabelară, curbe granulometrice, curbe de frecvența distribuției, numite histograme. În figura 2.4 se prezintă curba granulometrică, respectiv histograma unui material granular.

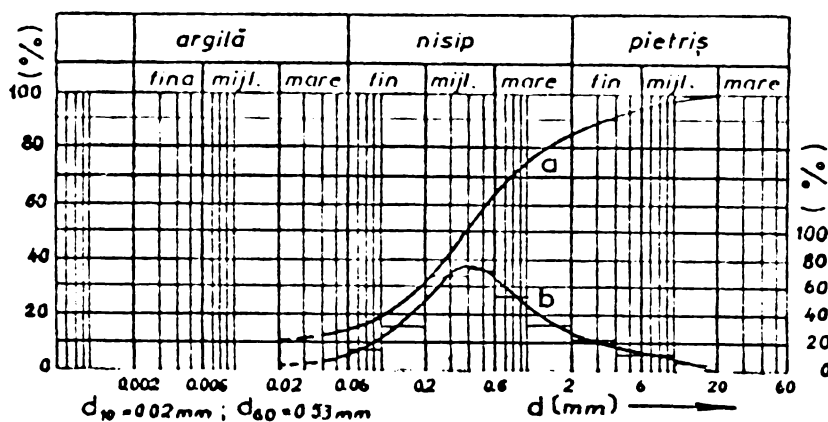


Fig.2.4. Curbe de distribuție  
a. granulometrică; b. a frecvenței distribuției

Pe baza curbei granulometrice se poate stabili gradul de neuniformitate a mediului granular, folosind relația:

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}, \quad (2.2)$$

în care:  $d_{60}$  reprezintă diametrul granulelor corespunzător ochiurilor sitei prin care trece 60 % din materialul granular,  $d_{10}$  reprezintă același lucru însă corespunzător ochiurilor prin care trec numai 10 % din granule, măsurate masic;  $d_{10}$  se mai numește diametrul eficace.

Materialul granular se consideră uniform dacă  $U = 1$ , neuniform pentru  $U = 1...2$  și cu neuniformitate accentuată când  $U > 2$ .

Neuniformitatea materialului granular influențează direct asupra porozității mediului format din acest material, asupra permeabilității lui la circulația apei subterane. Lipsa unor sortimente de granule în alcătuirea unui mediu granular poate crea sensibilități la antrenarea hidrodinamică, la colmatarea.

În practica lucrărilor de captare a apei subterane cu ajutorul puțurilor, pentru evitarea antrenărilor hidrodinamice și colmatarea puțurilor, se limitează viteza aparentă în funcție de  $d_{40}$ .

2.2.3. Porozitatea. Porozitatea unui mediu granular constituie o caracteristică fizică deosebit de importantă, cu implicații directe asupra scurgerii apei în pământ.

În general, prin porozitate se înțelege raportul dintre volumul golurilor și volumul total al unui mediu granular. Acest mod de definire nu permite exprimarea fidelă a unor caracteristici hidraulice. Astfel, să considerăm un mediu granular al cărui pori sînt plini cu apă pînă la un nivel oarecare. Cînd nivelul apei coboară, cea mai mare parte a porilor cedează apa liberă și rețin apa legată (higroscopică, peliculară, capilară). Cînd însă nivelul liber al apei se ridică, porii se reumple cu apă liberă, cu excepția spațiilor ocupate de unele bule de aer care rămîn permanent sau temporar legate de granulele solide. O parte din aer este dizolvat de apă.

Rezultă că pentru caracterizarea unor mărimi hidraulice trebuie să se facă distincție între porozitatea totală  $n$  și porozitatea efectivă  $n_e$ , care, în plus, este variabilă

în funcție de direcția mișcării apei și în timp. Asupra porozității efective se va reveni mai detaliat într-un alt paragraf.

Porozitatea totală  $n$ , în procente, se determină din relația

$$n = \frac{W - W_s}{W} \cdot 100 \quad \text{sau} \quad n = \frac{W_g}{W} \cdot 100 \quad (2.3)$$

unde:  $W$  reprezintă volumul total al mediului granular,  $W_s$  volumul ocupat de scheletul solid și  $W_g = W - W_s$  volumul golurilor.

Porozitatea totală poate fi exprimată și cu ajutorul coeficientului de porozitate  $e$ . Astfel:

$$n = \frac{e}{1 + e}, \quad \text{cu} \quad e = \frac{W - W_s}{W_s} = \frac{n}{1 - n} \quad (2.4)$$

Porozitatea scheletului solid al straturilor acvifere este legată de gradul de neuniformitate, de forma granulelor, precum și de modul de așezare a lor. Astfel pentru mediile omogene, când  $U = 1$ , corespund porozități maxime, pentru medii neomogene cu  $U > 2$  corespund porozități minime.

De asemenea, porozitatea este legată și de gradul de compactare a rocii, definit prin indicoale de compactare:

$$I_c = \frac{e_{\max} - e_n}{e_{\max} - e_{\min}}, \quad (2.5)$$

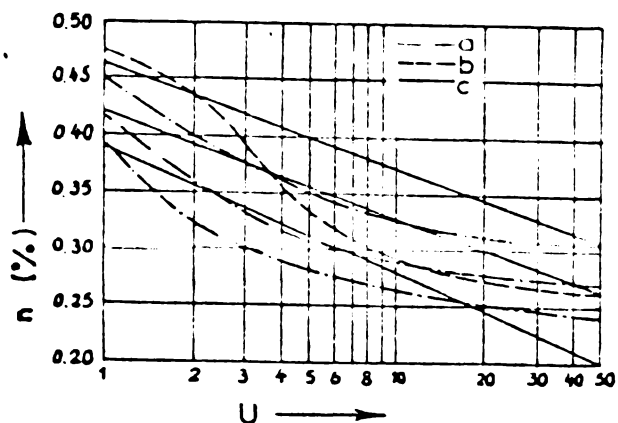


Fig.2.5. Variația porozității  $n$  în funcție de  $U$ , la structuri:  
a. afînat mijlociu;  
b. compacte; c. pietrișuri și nisipuri

unde  $e_n$  reprezintă coeficientul de porozitate naturală,  $e_{\max}$  și  $e_{\min}$  coeficienții de porozitate pentru afînarea maximă, respectiv compactarea maximă.

Mediul granular se consideră afînat când  $I_c < 0,3$ , semi-afînat pentru  $I_c = 0,3 \dots 0,6$  și compact dacă  $I_c = 0,6 \dots 1,0$ .

În figura 2.5 se prezintă variația porozității în funcție de gradul de neuniformitate și starea de compactare.

2.2.4. Geometria canalelor din porii mediilor granulare. Scheletul solid al unui strat acvifer este alcătuit dintr-o diversitate de granule diferențiate prin mărime, formă, modul de așezare. Acest fapt conduce la formarea unui sistem de canale continue, cu o geometrie foarte complexă, care influențează din punct de vedere calitativ și cantitativ mișcarea apei subterane.

Exprimarea matematică a dinamicii geometriei canalelor dintre elementele granulare naturale ale unui mediu permeabil este practic imposibilă. Pentru evitarea acestui neajuns se consideră modelele simplificate. Obișnuit pentru reprezentarea pământurilor necoezive se aleg modele de schelet solid alcătuite din granule sferice, care permit formarea unor structuri cubice și hexagonale.

Referitor la această geometrie se determină diametrul minim și diametrul hidraulic echivalent.

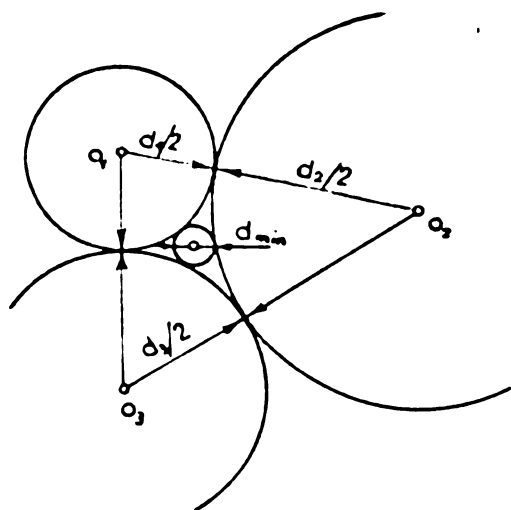


Fig.2.6. Diametrul minim

Prin diametrul minim,  $d_{min}$ , relativ la geometria canalelor din pori, se înțelege diametrul unui cerc înscris în spațiul dintre trei granule sferice, având diametrele  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ , care se ating în câte un punct, ca în figura 2.6.

Distribuția diametrelor minime se găsește în corelație cu histograma ce caracterizează compoziția granulometrică a mediului granular [184]:

Considerînd un model simplificat de schelet solid, alcătuit din granule sferice cu diametrul  $d$ , diametrul minim  $d_{min}$  capătă valori diferite în funcție de structură. Astfel:

- pentru structuri compacte regulate, prezentînd 6 puncte de contact între granule

$$d_{min} = 0,414 d ; \quad (2.6)$$

- pentru structuri cubice regulate sau hexagonale, prezentînd 12 puncte de contact

$$d_{min} = 0,155 d ; \quad (2.7)$$

- pentru structuri heterodisperse

$$d_{\min} = 0,44 \frac{n}{1-n} d \quad (2.8)$$

Determinarea diametrului minim, definit ca mai sus, și cunoașterea curbei de distribuție a lui este necesară pentru cercetarea stabilității stratului acvifer la acțiunea hidrodinamică a curenților subterani naturali și îndeosebi a curenților provocați prin alimentările tehnice.

2.2.5. Diametrul hidraulic echivalent, referitor la geometria canalelor din pori, dacă mișcarea se produce în regim laminar, se poate determina pe trei căi, folosind:

- echivalența dintre viteza de filtrație a mediului granular și viteza medio de scurgere printr-un tub al cărui ax longitudinal coincide cu direcția medie de mișcare a fluidului;
- echivalența între cantitatea de apă ce trece printr-un canal din pori, considerat ca un tub drept și cantitatea ce trece efectiv prin mediul poros, avînd o secțiune aparentă  $\Delta A$ ;
- echivalența variației nivelului piezometric în sistemul real și într-un tub fictiv echivalent.

În primul caz de echivalență diametrul hidraulic echivalent se poate determina, după [29], din relația:

$$d_h = \sqrt{32 C^*} \cdot d_{10} \quad \text{sau} \quad d_h = \sqrt{32 C^{**}} \cdot d_{10} \quad (2.9)$$

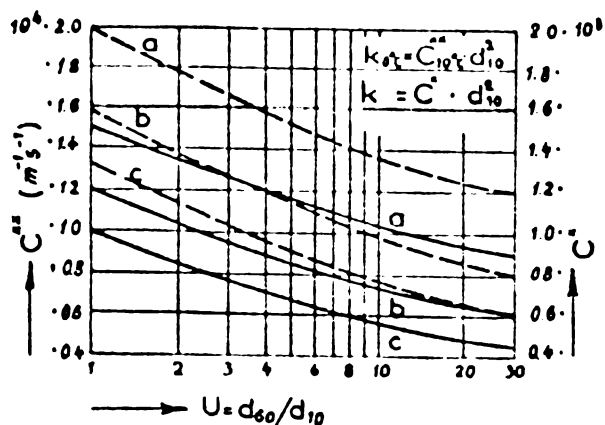


Fig.2.7. Factorul de proporționalitate  $C^*$  pentru nisipuri și  $C^{**}$  pentru pietrișuri

Factorul de proporționalitate, notat cu  $C^*$  pentru nisipuri și cu  $C^{**}$  pentru pietrișuri poate fi determinat din figura 2.7, pe baza gradului de neuniformitate  $U = d_{60}/d_{10}$ , sau din relațiile

$$K = C^* d_{10}^2,$$

$$k = C^{**} d_{10}^2,$$

$$\text{cu } k = K \frac{F}{\gamma} \quad [17].$$

În cazul al doilea de echivalență, pe baza legii lui Darcy se poate scrie:

$$\Delta Q = \Delta A \cdot k i = \frac{g d^2}{32 \nu} i \frac{d_h^2}{4}, \quad (2.10)$$

unde:  $\Delta Q$  este debitul scurs printr-o secțiune aparentă  $\Delta A$ , exprimat în funcție de diametrul  $d$  al granulelor modelului granular ales,  $d_h$  este diametrul hidraulic echivalent,  $\nu$  vâscozitatea cinematică a fluidului,  $g$  accelerația gravitației și  $i$  panta hidraulică.

Pentru studiul transportului de particule solide prin canalele din pori este util să se folosească mai ales echivalența nivelului piezometric din sistemul granular real și nivelul piezometric din tubul fictiv echivalent. Astfel pentru  $\lambda = 64/Re$ :

$$\Delta h = \frac{v l}{k} = \frac{32 \nu}{g d_h^2} l_f v_f \quad (2.11)$$

unde:  $\Delta h$  reprezintă variația de înălțime piezometrică de-a lungul unui fir de curent real de lungime  $l$ , respectiv de-a lungul tubului fictiv de lungime  $l_f$ , prin care se produce o scurgere cu o viteză medie  $v_f$ ;  $v$  reprezintă viteza medie de filtrație, iar  $k$  coeficientul specific de permeabilitate.

Echivalența între lungimea aparentă de scurgere prin mediul granular  $l$  și lungimea tubului fictiv echivalent  $l_f$  este dată de relația:

$$l_f = l \sqrt{T^*}. \quad (2.12)$$

Echivalența între viteza medie de scurgere prin tub  $v_f$  și viteza medie aparentă  $v$  este dată de relația:

$$v_f = \frac{v}{n_e} \sqrt{T^*}, \quad (2.13)$$

unde:  $T^*$  se numește tortuozitatea canalelor din pori. La soluțiile nisipoase și pietroase, după [136], se poate lua  $T^* \approx 1,6 - 2,0$ .

Cu aceste precizări diametrul hidraulic echivalent poate fi exprimat prin relația:

$$d_k = \sqrt{\frac{32 \nu k T^*}{g n_e}} = \sqrt{\frac{32 K T^*}{n_e}}. \quad (2.14)$$

Diametrul hidraulic echivalent  $d_h$ , constituie o caracteristică în definirea geometriei canalelor din pori, adică a spațiilor libere dintre granule prin care se mișcă gravitațional apa subterană.

Diametrul  $d_h$  se doboroște fundamental de diametrul echivalent al mediului granular, notat  $d_{ec}$ . Astfel diametrul echivalent al unui mediu granular reprezintă o valoare medie ponderată a diametrelor granulelor, dedusă din curba granulometrică [100], cu ajutorul relației:

$$\frac{1}{d_{ec}} = \sum \frac{a_i}{d_i} \quad (2.15)$$

unde:  $a_i$  reprezintă masa unui sortiment de granule, de pe curba granulometrică, exprimată în procente față de masa totală, iar  $d_i$  diametrul mediu a acestor granule.

Diametrul echivalent se folosește pentru studiul procesului de filtrare, la:

- stabilirea parametrului liniar

$$l = \frac{nd_{ec}}{6m(1-n)} \quad (2.16)$$

- determinarea corectă a numărului Reynolds

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d_{ec}}{6\mu m(1-n)} \quad (2.17)$$

- calculul pierderilor de sarcină  $H$  la filtrul de nisip, de grosime  $L$  a stratului filtrant

$$H = K\mu m^2 \frac{v(1-n)^2}{n^3 d_{ec}^2} L \quad (2.18)$$

În relațiile de mai sus,  $m$  reprezintă coeficientul de formă a granulelor de nisip ( $m = 1,05 \dots 1,8$ ), iar  $K = 0,188$  este o constantă.

2.2.6. Factorul de trecere  $F$ . Odată cu mișcarea apei libere, prin canalele din pori pot fi antrenate și particule foarte fine de pământ. La prima vedere, orice particulă cu diametrul mai mic sau egal cu diametrul minim al canalelor din pori trebuie să poată fi transportată de-a lungul acestor canale. În realitate însă, se constată că pot trece de-a lungul canalelor din pori numai particulele cu diametrul  $d$  care satisfac condiția:



$$d \leq F \cdot d_{\min} , \quad (2.19)$$

unde  $F$  este un factor de trecere subunitar ( $F < 1$ ), iar  $d_{\min}$  este diametrul minim relativ la geometria porilor.

Mărimea diametrului particulelor transportate este în funcție de factorul de formare al punților din particule în locurile înguste ale canalelor, de mărimea particulelor, grosimea peliculelor de apă legată, abaterile formei particulelor de la forma sferică etc. În figura 2.8 se prezintă variația factorului de trecere  $F$ , în funcție de diametrul  $d$ . Pentru pământuri relativ uniforme ( $U \approx 1,5$ ),  $d^* = d_{50}$  [136].

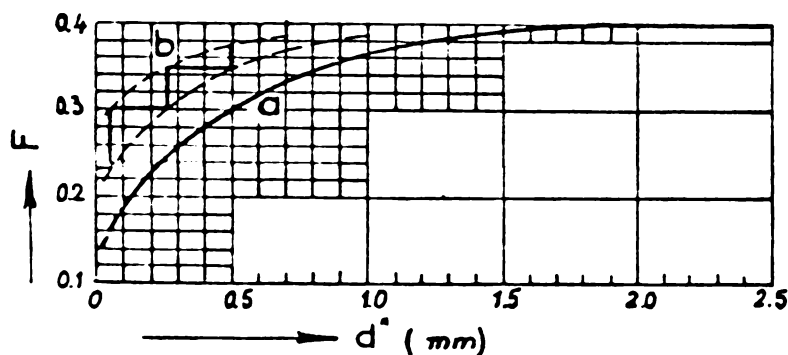


Fig.2.8. Factorul de trecere [136]

### 2.3. Interdependența dintre elementele mediului granular și curentul de apă liberă

Studierea sistematică a fenomenului de mișcare a apei în pământ trebuie să țină seama de faptul că între elementele constituente ale mediului granular și particulele de lichid există o interacțiune permanentă.

În anumite condiții apa de infiltrare, percolare, filtrare naturală sau datorată amenajărilor de alimentare a straturilor acvifere poate produce antrenarea unor particule fine ale mediului granular, sau chiar antrenarea tuturor fracțiunilor, dând naștere la fenomenul de sufoziune, respectiv de eroziune.

În alte condiții particulele fine din apele cu turbiditate ridicată, infiltrate în sol, pot fi antrenate în interiorul mediului granular conducând la colmatări.

Cunoașterea fenomenelor de sufoziune, eroziune și de colmatare a mediilor granulare, prezintă o importanță deosebită

la stabilirea tehnologiei de alimentare tehnică a straturilor acvifere cu apă de suprafață.

2.3.1. Sufoziunea. Prin sufoziune se înțelege antrenarea și transportul particulelor din fracțiunea cea mai fină a unui pământ necoeziv ( $d_{10} > 0,002$  mm). Prin acest fenomen scheletul de bază rămâne neafectat, însă porozitatea efectivă  $n_e$  ca și permeabilitatea  $k$  cresc, în timp ce densitatea pământului scade.

Sufoziunea poate fi internă, când fenomenul are loc în interiorul aceluiași mediu granular, externă dacă se produce la suprafața liberă a apei subterane sau de contact, când particulele fine sînt antrenate în mediile învecinate mai grosiere. În figura 2.9 se prezintă cele trei forme posibile de sufoziune.

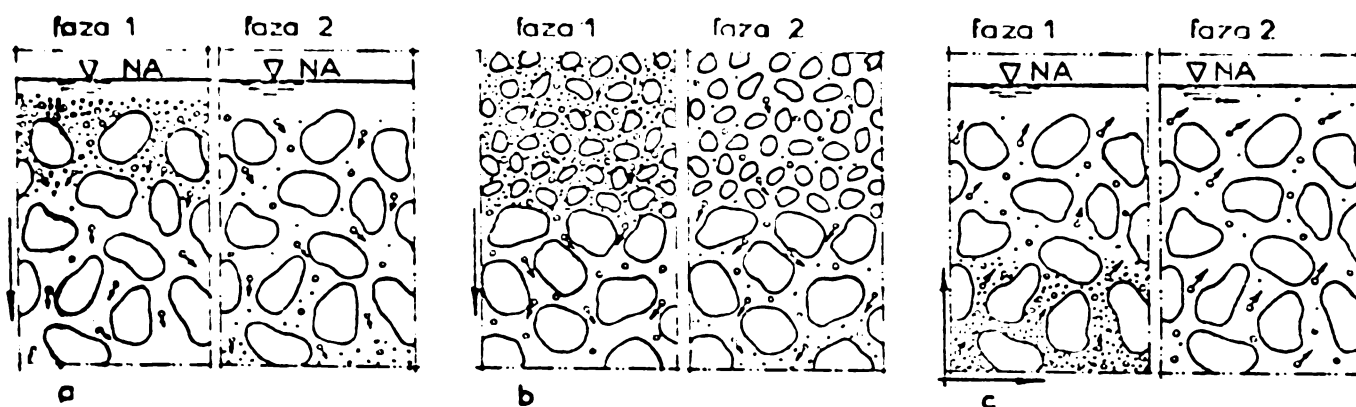


Fig.2.9. Reprezentarea schematică a sufoziunii  
a. internă; b. externă; c. de contact

În general aceste fenomene au loc la structurile cu granulație discontinuă sau lacunară.

Siguranța la sufoziune se exprimă printr-un coeficient de siguranță, notat cu  $\eta_{SG}$  dacă se determină pe criteriul geometric sau cu  $\eta_{SH}$  dacă se determină pe criteriul hidraulic.

Folosind criteriul geometric, siguranța la sufoziune se scrie sub forma:

$$\eta_{SG} = \frac{d_{s.min}}{F_s \cdot d_h} \geq 1,5 \quad (2.20)$$

în care:  $d_{s.min}$  reprezintă diametrul minim al particulelor antrenabile prin sufoziune ( $d_{s.min} = d_0 \dots d_3$  %),  $F_s$  este factorul de trecere la sufoziune ( $F_s \approx 0,6$ ), iar  $d_h$  diametrul hidraulic echivalent.

Criteriul hidraulic permite determinarea siguranței la sufoziune prin compararea pantei hidraulice  $i$  cu panta hidraulică critică la sufoziune  $i_{s.cr}$ . Astfel:

$$\eta_{S,H} = \frac{i_{s.cr}}{i} \geq 2, \quad (2.21)$$

Pentru pământuri cu granulație continuă, după [30]:

$$i_{s.cr} = \varphi_0 \sqrt{\frac{n d_s^2}{K}}, \quad (2.22)$$

în care:  $K = C \cdot d_{10}^2$ ;  $\varphi_0 = 0,6 \left( \frac{\gamma}{\gamma_a} - 1 \right) \cdot u \cdot \sin(30 + \frac{\alpha}{8})$ ;

$u = 0,82 - 1,8 n + 0,0062(U-2)$ ;  $\alpha = 0^\circ; 90^\circ; 180^\circ$ .

În relația (2.22)  $n$ -a notat cu  $d_{11}$  diametrul celor mai mari granule antrenabile prin sufoziune,  $\alpha$  unghiul dintre direcția medie de scurgere și vorticală,  $\gamma$  și  $\gamma_a$  sînt greutatea specifică ale pământului uscat, respectiv a apei. Restul notațiilor au fost prezentate mai sus.

În cazul pământurilor cu granulație lacunară, după Istomina [91]:

$$i_{s.cr} = \frac{n \cdot k_s}{n_s \cdot k} + f, \quad f = f\left(\frac{d_{10}}{d_{10,s} \cdot \operatorname{tg} \varphi_s}\right), \quad (2.23)$$

unde:  $n, k, d_{10}$  sînt măriri cunoscute, privitoare la scheletul solid, iar  $n_s, k_s, d_{10,s}$  au aceleași semnificații însă referitoare la materialul de umplură supus fenomenului de sufoziune.

În figura 2.10 se prezintă variația valorii funcției  $f$ .

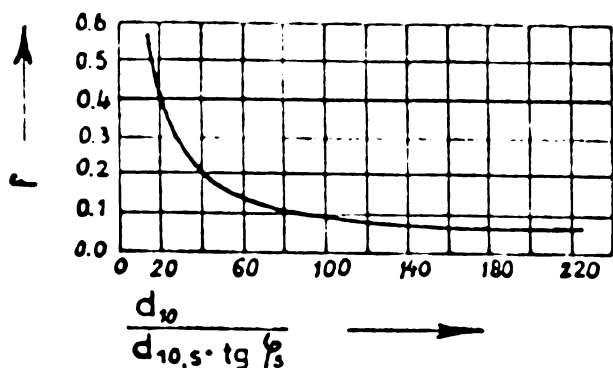


Fig.2.10. Reprezentarea funcției  $f$  [91]

Tangenta  $\operatorname{tg} \varphi_s$  se ia egală cu 0,6 pentru schelete alcătuite din nisip fin, respectiv 0,7 pentru nisip mijlociu.

În unele cazuri se pune problema determinării diametrului  $d_s$  al celor mai mari particule supuse sufoziunii sau determinării masei particulelor antrenabile. După Busch [30] diametrul celor mai mari particule supuse sufoziunii interne:

$$d_s = F_s d_h = 0,27 \cdot e \cdot d_{17} \cdot \sqrt[6]{U} \quad (2.24)$$

Corespunzător diametrului  $d_s$  din curba granulometrică, se poate stabili masa particulelor antrenabile.

2.3.2. Eroziunea. Eroziunea mediilor granulare constituie fenomenul de dizlocare și transport a tuturor fracțiunilor componente, spre deosebire de sufoziune care presupune antrenarea numai a particulelor fine și foarte fine.

De obicei declanșarea fenomenului de eroziune are loc de-a lungul unor goluri sub formă tubulară datorită rădăcinilor plantelor sau activității unor animale, rozătoare. Lărgirea canalelor din pori începe din aval și avansează în contracurent. De cele mai multe ori eroziunea începe de la suprafața de contact cu apa de suprafață, cu aerul atmosferic, sau cu alt strat alcătuit din granule grosiere, de la o cedare hidraulică a terenului.

Siguranța la eroziunea de contact poate fi determinată ca și la sufoziune cu ajutorul criteriului geometric sau al criteriului hidraulic.

După criteriul geometric

$$\eta_{EC} = \frac{d_{\max, I}}{F_{EC} \cdot d_{h, II} \cdot C_{II}} \geq 1,5, \quad (2.25)$$

unde:  $\eta_{EC}$  este coeficientul de siguranță la eroziune de contact,  $d_{\max, I}$  diametrul fracțiunilor care nu trebuie să fie antrenate din primul mediu granular (I) spre cel de al doilea mediu (II),  $F_{EC} = F(d^*) \approx 0,4$  factorul de trecere la eroziunea de contact,  $d_{h, II}$  diametrul hidraulic echivalent din mediul al doilea, iar  $C_{II} = 1,0 \dots 1,3$  ( $C = 1,0$  la granule sferoidale,  $C = 1,3$  granule aciculare colțuroase).

Factorul de trecere  $F_{EC}$  poate fi considerat și după figura 2.8 - curba a.

Folosind criteriul hidraulic, siguranța la eroziunea de contact poate fi exprimată prin relația:

$$\eta_{ECH} = \frac{i_I}{i_{EC.cr}} \geq 1,5 \quad (2.26)$$

unde:  $\eta_{ECH}$  este coeficientul de siguranță la eroziunea de con-

tact și  $i_1$  panta hidraulică de scurgere prin terenul (I).

2.3.3. Colmatarea. Colmatarea este un fenomen invers sufoziunii. Particulele fine antrenate de apă prin sufoziune sînt depozitate prin colmatare în spațiile libere ale aceluiași mediu granular sau în ale mediilor granulare următoare. Se poate deci vorbi despre o colmatare interioară, exterioară și de contact.

Colmatarea se produce atunci cînd o particulă mai mare trece prin spațiile înguste ale canalelor din pori, îngustîndu-le și mai mult. În spatele acestei particule se depun particule mai fine și chiar foarte fine. Datorită curentului de apă care tinde să antreneze noi particule, în zona gîtuită masa colmatată capătă o densitate din ce în ce mai mare.

Mediile poroase colmate au o porozitate mai redusă, coeficientul de filtrație mai mic, în timp ce densitatea crește.

Colmatarea unui mediu granular este împiedicată dacă

$$\eta_c = \frac{d_h F_h}{d'} \geq 1,5 \quad (2.27)$$

unde:  $\eta_c$  reprezintă coeficientul de siguranță la necolmatare,  $d'$  este diametrul celei mai mari particule transportate de la suprafață sau din interiorul scheletului solid, iar  $d_h$ ,  $F_h$  au semnificațiile de la paragraful 2.2.4.

Diametrul  $d' = d^*$  se ia, pentru siguranță, din figura 2.8. curba a.

Siguranța la colmatare poate fi exprimată și pe criteriul hidraulic:

$$\eta_{c.H} = \frac{i}{i_{C.cr}} \geq 1,5 \dots 2,0 \quad (2.28)$$

Panta critică de colmatare  $i_{C.cr} = i_{S.cr}$ ,  $i$  fiind panta hidraulică.

2.3.4. Ruperea hidraulică. Spre deosebire de eroziune, unde antrenarea tuturor fracțiunilor scheletului granular are loc datorită curgerii, după o direcție dominantă orizontală, ruperea hidraulică poate avea loc numai cînd apa are o mișcare ascensională. Fenomenul se produce atunci cînd forța ascensională de antrenare este mai mare decît greutatea proprie a particulelor, inclusiv forțele de frecare și de coeziune.

Ruperea hidraulică poate avea loc pe o suprafață restrînsă sau o suprafață considerabilă. Practic siguranța la ruperea hidraulică se determină din compararea forței de antrenare a curentului ascensional  $F_a$  cu greutatea scheletului granular amersat în apă  $G_s$ , neglijîndu-se forțele de frecare și cele de coeziune.

Deoarece

$$F_a = \tau_a \cdot i \cdot \Delta V \quad \text{și} \quad G_s = (1-n)(\tilde{\tau} - \tau_a) \quad , \quad (2.29)$$

iar pentru echilibru

$$F_a \leq G_s \quad (2.30)$$

rezultă panta critică la ruperea hidraulică

$$i_{H.cr} = \frac{(1-n)(\tilde{\tau} - \tau_a)}{\tau_a} \quad , \quad (2.31)$$

respectiv siguranța la neantrenare hidraulică

$$\eta_H = \frac{i_{H.cr}}{i} \geq 1,5 \quad (2.32)$$

#### 2.4. Caracteristicile hidraulice ale straturilor acvifere

Scoarța terestră este alcătuită dintr-o succesiune de straturi din roci granulare cimentate sau necimentate și roci compacte fisurate sau nefisurate. Straturile din roci granulare și din roci compacte fisurate permit circulația gravitațională a apei subterane.

Apa subterană se formează din precipitațiile atmosferice infiltrate în pămînt, precum și din condensarea vaporilor de apă din porii și fisurile rocilor. Din cantitatea totală de apă căzută pe suprafața pămîntului o parte se infiltrează, altă parte se evaporă, este reținută de covorul vegetal sau se scurge sub formă de apă de șiroire.

Cantitatea de apă ce se infiltrează depinde de volumul și mărimea golurilor din sol, de temperatura mediului, panta terenului etc. Dacă în procesul de infiltrare-percolare, apa întîlnește formațiuni impermeabile, circulația apei pe verticală se oprește, iar deasupra acestor formațiuni se formează un mediu fluid continuu.

Stratul de apă și mediul granular în care s-a format alcătuiesc două faze ale aceluiași complex fizic, denumit strat acvifer. Stratul acvifer ca unitate hidrogeologică bine conturată este delimitat la partea inferioară de o formațiune impermeabilă, iar la partea superioară de suprafața liberă a apei subterane sau de alt strat impermeabil. Suprafața de separație între stratul acvifer și formațiunea impermeabilă de la baza lui se numește pat, iar formațiunea impermeabilă rocă de culcuș. Stratul impermeabil de deasupra se numește strat de acoperiș.

Datorită succesiunii de straturi permeabile și impermeabile, în scoarța terestră pot fi întâlnite la diferite adâncimi, straturi acvifere cu nivel liber și straturi acvifere captive. În zona activă din punct de vedere al bilanțului hidrologic se întâlnesc de obicei straturi cu nivel liber, numite straturi freatice. Acostea sînt în legătură directă cu infiltrația apelor de la suprafață. La adâncimi mari, obișnuit, se întâlnesc straturi acvifere sub presiune, însă nu sînt excluse nici straturile cu nivel liber.

Infiltrația apei în pămînt constituie un fenomen complex puțin cunoscut, mai ales sub aspectul legăturii cu proprietățile fizice și chimice ale apei, legăturii cu caracteristicile hidrogeologice ale rocii magazin. În formațiunile permeabile de la suprafață cu grosimi mari se pot forma, în anumite condiții meteorologice favorabile, straturi de apă suspendate cu caracter nepermanent, numite suprafreatic. Ele apar în zona de aerajie a solului, cînd precipitațiile depășesc evaporația într-o perioadă mai lungă.

Apele freatice propriu-zise se găsesc în stratul acvifer situat deasupra primului strat impermeabil continuu, cu care au un contact permanent. Apele freatice, deși au un regim permanent de scurgere depind în mare măsură de condițiile climatice. Caracteristica principală a acestor ape constă în faptul că bazinul de alimentare coincide cu aria de răspîndire.

Apele subterane de adîncime cu nivel liber se întâlnesc în regiuni cu drenaj profund, datorită rîurilor care pot săpa văi adînci în depozite sedimentare, deschizînd mai multe orizonturi acvifere. Alimentarea acestor straturi se

face, obișnuit, de la mari distanțe ce nu coincid cu elementele ariei de răspîndire. Dacă însă asemenea straturi nu sînt drenate corespunzător, nivelul apei subterane crește pînă atinge formațiunea impermeabilă de acoperiș și dă naștere straturilor acvifere captive sau sub presiune.

Alimentarea straturilor acvifere poate avea loc printr-o scurgere gravitațională după o direcție dominantă verticală sau după o direcție dominantă orizontală. În primul caz pot fi cuprinse infiltrația naturală a apelor din precipitații și infiltrația artificială a apei de la bazinele de infiltrație. Cazul al doilea cuprinde mișcarea orizontală a apelor de la deversări subterane, a apelor induse prin malurile râurilor, a apelor subterane către puțurile și drenurile de captare etc.

Alimentarea naturală ca și drenarea naturală a straturilor acvifere variază foarte mult în timp. Din acest motiv bilanțul între alimentare și drenaj devine fie excedentar fie deficitar, ceea ce conduce la o variație continuă a nivelului liber al apei, respectiv a presiunii piezometrice. Ridicările și coborîrile continue ale nivelului piezometric pot provoca deversări subterane, alimentări sau drenări ale cursurilor de apă, precum și variațiile elementelor hidraulice de curgere ale apelor subterane.

Caracteristicile hidrogeologice ale straturilor acvifere au influență asupra mișcării apelor subterane, precum și asupra condițiilor de depozitarea lor. Aceasta prezintă o importanță deosebită la amenajările de alimentare artificială a straturilor acvifere, prin care se urmărește reglarea bilanțului apelor subterane, în condițiile unei exploatare intensive pentru acoperirea nevoilor de apă.

Formularea matematică privind mișcarea apelor subterane trebuie să țină seama de condițiile specifice de curgere ale apei printr-un sistem de canalicule alcătuite din porii și fisurile rocilor, care pot fi total sau numai parțial saturați cu apă. În acest caz trebuie să poată fi determinați volumul porilor prin care trece curentul de apă și volumul porilor evacuați gravitațional. De asemenea trebuie cunoscută comportarea elastică a scheletului granular și a apei subterane, capacitatea specifică de înmagazinare și conductivitatea hidraulică.



2.4.1. Forma și dimensiunile straturilor acvifere. Condițiile de formare a scoarței terestre și evoluția ei în timp au condus la dezvoltarea unor straturi permeabile cu forme și dimensiuni foarte variate.

Straturile acvifere sînt alcătuite dintr-un schelet granular, în general, neomogen și anizotrop, avînd o structură și stratificație granulară complexă. Variații mari de structură apar mai ales după direcții verticale.

Grosimea straturilor variază de la cîțiva metri, în luncile rîurilor de deal și de munte, pînă la zeci și chiar sute de metri de-a lungul rîurilor și fluviilor cu lunci foarte dezvoltate, la terasele de coastă, dunele marine etc.

Lungimea, respectiv lățimea straturilor permeabile variază între cîteva sute de metri la mai multe sute de kilometri.

Rezultă că rocile magazin și odată cu ele straturile de apă subterană au forme și dimensiuni foarte variate.

Oglinda apei la straturile acvifere cu nivel liber se prezintă sub forma unei suprafețe curbe în spațiu, avînd o înclinare generală în sensul scurgerii. În zone restrînse ea poate fi cuprinsă în unul din tipurile prezentate în figura 2.11.

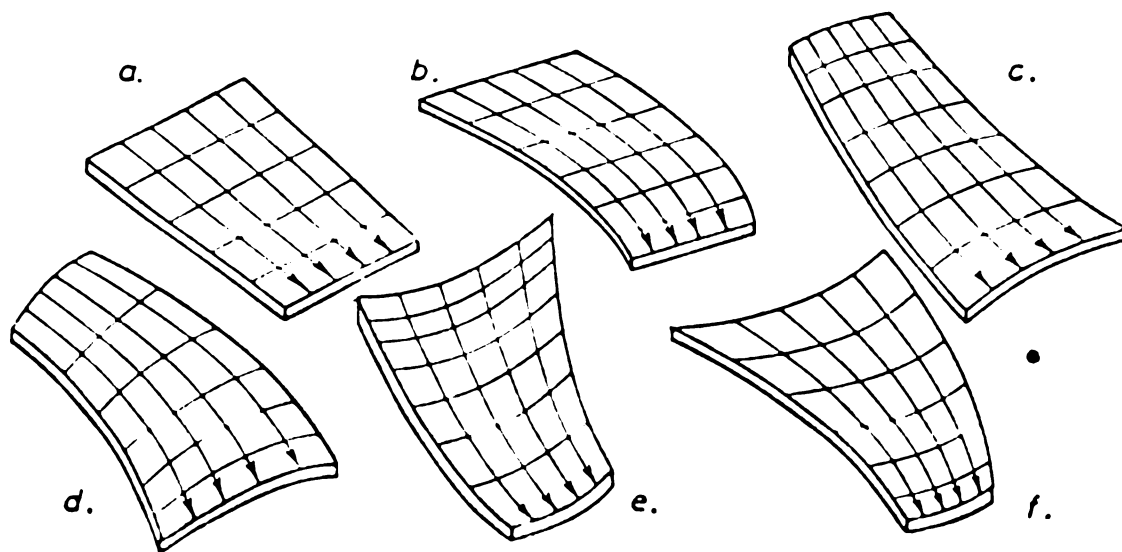


Fig.2.11. Forme ale suprafeței libere:  
a. plată; b. cilindrică; c. radial divergentă cu profil hiperbolic; d. radial divergentă cu profil parabolic; e. radial convergentă cu profil hiperbolic; f. radial convergentă cu profil parabolic

Straturile freatice din luncile râurilor de munte au obișnuit grosimi mici și oglinda apei subterane apropiată de suprafața terenului. În plan se prezintă ca niște fâșii înguste și foarte lungi, cu excepția conurilor de dejecție, în care grosimile devin uneori comparabile cu lățimile straturilor freatice (Norvegia și Suedia). Patul ce separă rocile magazin de straturile impermeabile are o înclinare transversală de la versanți spre luncă și în sens longitudinal văii. El se poate prezenta ca o suprafață relativ netedă sau cu undulații mari în sens transversal și longitudinal.

Datorită acestor particularități cât și faptului că scheletul solid a straturilor acvifere este alcătuit dintr-un material granular grosier, în timp, are loc un schimb intens între apa freatică și apa de suprafață.

De-a lungul cursurilor mari de apă, coastelor marine, dunelor, pot fi întâlnite straturi freatice cu nivelul liber a apei situat la adâncimi mici, mijlocii sau mari.

În țara noastră, straturile freatice din Câmpia de vest, deși ocupă zone întinse, din bazinele multor râuri (Someș, Crasna, Crișul Repede, Crișul Negru, Crișul Alb, Mureș, Timiș), au grosimi mici de 2...15 m. Straturile freatice din Câmpia română sînt însă mult mai dezvoltate. Ele au grosimi pînă la 60 m și lățimi de 60...120 km [171].

Forma și dimensiunile straturilor acvifere pot constitui elementele hotărîtoare în alegerea soluției tehnice de îmbogățire artificială cu apă de la suprafață.

2.4.2. Porozitatea efectivă. În paragraful 2.2.3. a fost definită atât porozitatea totală  $n$  cât și porozitatea efectivă  $n_e$  a unui mediu granular. Aceste noțiuni se reiau pentru a fi analizate în condițiile existenței curenților de apă subterană ce se scurg prin straturi permeabile a căror proprietăți variază diferit de la o direcție la alta.

Dacă alimentarea și drenarea unui strat provoacă o mișcare cvasiorizontală permanentă, apa subterană se scurge de-a lungul unor canale din pori continui, dezvoltate orizontal. Volumul total al acestor canale, raportat la volumul total al mediului granular conduce la o porozitate efectivă constantă după direcția orizontală,  $n_{e,o}$ .

Cînd însă între alimentarea și drenajul unui strat acvifer se produce un decalaj, nivelul liber al apei se ridică sau coboară. La ridicare, apa liberă ocupă numai o parte din noile goluri rămase sub nivelul piezometric, deoarece în restul porilor rămîn fixate bule de aer, apă capilară și chiar apă gravitațională, aflată în mișcare de percolare. În timp, aerul se dizolvă în apă, este eliminat sau rămîne izolat pînă la o nouă coborîre a nivelului piezometric. Cînd nivelul liber al apei coboară, o parte din porii saturați rămași deasupra nivelului piezometric cedau repede apa liberă, alții o cedau în timp mai îndelungat, iar restul porilor rețin apa peliculară și capilară.

Straturile acvifere pot fi alimentate și cu apă de la suprafață, datorită precipitațiilor, revărsării râurilor sau injecțiilor de apă cu ajutorul bazinelor de infiltrare. În aceste cazuri apa aflată în curs de infiltrare și de percolare întîlnește bule de aer ce se mișcă ascensional, fiind eliminate din pori prin ridicarea nivelului piezometric. Bulele de aer ocupă o parte din canaliculele verticale, reduc secțiunile de scurgerea apei și provoacă o încetinire a fenomenului de percolare. Eliminarea completă a aerului și implicit atingerea unor viteze maxime de percolare are loc într-un timp mai lung sau mai scurt, în funcție de forma și dimensiunile granulelor. În anumite cazuri procesul de eliminarea aerului este foarte încet sau chiar oprit, ceea ce conduce la formarea unui strat suprafreatic artificial.

Din cele de mai sus rezultă că porozitatea efectivă variază cu foarte mulți factori, între care: forma, mărimea și așezarea granulelor, dezvoltarea stratului, modul de alimentare și de drenare, tendința de ridicare sau de coborîre a nivelului piezometric, direcția de scurgere a apei libere, timpul rezervat pentru efectuarea măsurătorilor.

În mod normal ar trebui să se determine valoarea porozității efective a straturilor acvifere cel puțin în două cazuri întîlnite în practică:

-  $n_{e,0}$  după o direcție orizontală la straturi cu apă subterană în mișcare permanentă;

-  $n_{e,v}$  după o direcție verticală în procesul de percolare a apei de la suprafață.

Determinarea porozității efective poate fi realizată în laborator și pe teren.

Rezultatele obținute în determinările de laborator reflectă însă numai o situație locală. Dacă se are însă în vedere faptul că este aproape imposibil să se extragă dintr-un teren necooziv o probă absolut netulburată și că timpul utilizat pentru determinările de laborator este relativ scurt, se ajunge la concluzia că rezultatele obținute au un caracter informativ.

Determinarea pe teren a porozității efective se poate face prin:

- metoda măsurării debitului de curgere;
- metoda determinării cu ajutorul vitezei reale;
- metoda determinării cu ajutorul puțurilor de pompare și a forajelor de observație.

Ultima metodă dă cele mai bune rezultate cu privire la porozitatea efectivă după o direcție orizontală, în sensul că reflectă fenomenul scurgerii pe o zonă întinsă. În literatură se subliniază metoda lui A.V.Vibert, pentru straturi acvifere cu nivel liber, metoda lui N.A.Plotnikov [143] pentru straturi acvifere sub presiune.

Profesorul P.Trofin [167] a propus o metodă asemănătoare însă aplicabilă atât straturilor acvifere sub presiune cât și straturilor cu nivel liber. Metoda constă în determinarea duratei de curgere a apei în regim permanent, de la un foraj de observație la un foraj de pompare, folosindu-se în acest scop trăsori chimici, radioactivi sau coloranți:

a/. Straturi acvifere sub presiune. Se consideră un strat sub presiune uniform, omogen și izotrop, așezat pe un pat orizontal și fără viteză inițială, ca în figura 2.12. Viteza radială aparentă de scurgere

$$v_{a,r} = n_e \frac{dr}{dt} = \frac{Q}{2\pi ar} \quad (2.33)$$

de unde:

$$dt = n_e \frac{2\pi a}{Q} r dr,$$

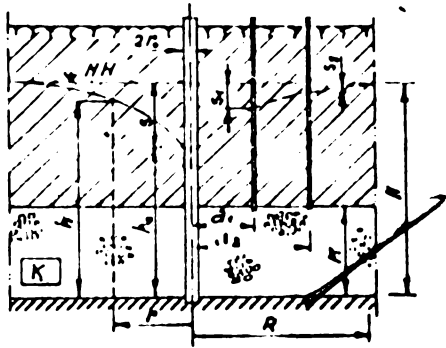


Fig.2.12.Schemă pentru determinarea porozității  $n_e$  la straturile sub  $e$  presiune

care prin integrare dă

$$t = \frac{2a}{Q} n_e \int_{r_0}^{d_1} r dr = \frac{\pi a}{Q} n_e (d_1^2 - r_0^2) \quad (2.34)$$

Cum însă  $d_1 \gg r_0$ , se poate neglija  $r_0^2$ , iar expresia porozității relative capătă forma simplificată:

$$n_e = \frac{Q \cdot t}{\pi a d_1^2} \quad (2.35)$$

b/. Straturi acvifere cu nivel liber. Determinarea porozității efective a straturilor acvifere cu nivel liber se face pe baza ipotezelor de la

punctul a și a notațiilor din figura 2.13 [167]:

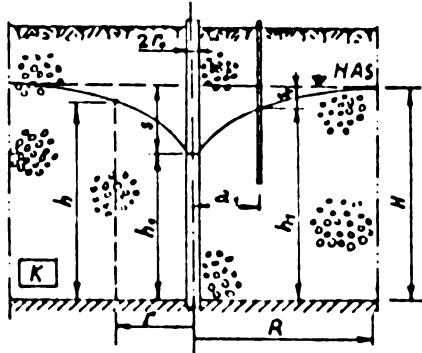


Fig.2.13.Schemă pentru determinarea porozității  $n_e$  la straturi cu nivel liber

$$v_{a,r} = n_e \frac{dr}{dt} = \frac{Q}{2\pi r h} \quad (2.36)$$

de unde

$$t = \frac{2\pi n_e}{Q} \int_{r_0}^r h \cdot r \cdot dr \quad (2.37)$$

Integrala se efectuează nu-

mai după introducerea valorii lui  $h$ , dedusă din expresia curbei depresionare

$$h = \sqrt{h_1^2 - \frac{Q}{\pi k} l_n \frac{d_1}{r}} \quad (2.38)$$

Deoarece  $(h_1 - h) \ll h_1$  și  $r_0 \ll d_1$  se poate face aproximația  $h_1 + h = 2h_1$  și  $r_0 = 0$ , rezultînd:

$$t = n_e d_1^2 \left( \frac{\pi h_1}{Q} - \frac{1}{4k h_1} \right) \quad (2.39)$$

respectiv

$$n_e = \frac{Q \cdot t}{\pi d_1^2 (h_1 - \frac{Q}{4\pi kh_1})} \quad (2.40)$$

În tabelul 2.1. se dau valorile orientative ale porozității totale  $n$ , porozității efective  $n_e$  și coeficientului de permeabilitate  $k$  [30].

Tabel 2.1

Tipul de pământ	Porozitatea $n$ (%)	Porozitatea efectivă $n_e$ (%)	Coef. de permeabilitate $k$ (m/s)
Pietriș nisipos	25...35	20...25	$3 \cdot 10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-4}$
Nisip grosier	28...35	15...20	$1 \cdot 10^{-3} \dots 2 \cdot 10^{-4}$
Nisip mijlociu	30...38	10...15	$4 \cdot 10^{-4} \dots 2 \cdot 10^{-4}$
Nisip prăfos	33...40	8...12	$2 \cdot 10^{-4} \dots 1 \cdot 10^{-5}$
Praf nisipos	35...45	5...10	$5 \cdot 10^{-5} \dots 1 \cdot 10^{-6}$
Praf argilos	40...55	3... 8	$5 \cdot 10^{-6} \dots 1 \cdot 10^{-8}$
Argilă prăfoasă	45...65	2... 5	$1 \cdot 10^{-8}$

2.4.3. Coeficientul de înmagazinare. Studiile de gospodărirea apelor au evidențiat necesitatea introducerii unei noi versiuni pentru definirea volumului porilor prin care circulă apa gravitațională, sub forma unui coeficient de înmagazinare, notat cu  $S$ .

Coeficientul de înmagazinare  $S$  este definit ca fiind raportul între volumul de apă eliberabil gravitațional dintr-un strat acvifer și volumul total al stratului, cuprins sub nivelul inițial al apei subterane.

Se observă, că în cazul straturilor acvifere cu nivel liber coeficientul de înmagazinare se confundă cu porozitatea efectivă. În această situație

$$S = n - c_r \quad (\%) \quad , \quad (2.41)$$

unde:  $n$  este porozitatea totală și  $c_r$  porozitatea de reținere.

În cazul straturilor acvifere captive presiunea exercitată de către straturile superioare și atmosferă este echilibrată de presiunea internă a apei și de rezistența scheletului solid. O pompare din pânza de apă captivă provoacă o

depresionare locală ce permite eliberarea unei cantități de apă prin decompresie. În același timp, scheletul solid se supraîncarcă datorită redistribuirii presiunilor exterioare și se tasează, ceea ce conduce la expulzarea unei părți a apei din pori.

După C.E.Jacob, citat în [35], în cazul straturilor acvifere cu apă subterană captivă, coeficientul de înmagazinare se calculează cu formula:

$$S = n \cdot M \cdot \gamma_a \left( \beta + \frac{\alpha}{n} \right), \quad (2.42)$$

în care:  $n$  este porozitatea,  $\gamma_a$  greutatea specifică a apei,  $M$  grosimea stratului acvifer captiv,  $\alpha$  compresibilitatea verticală a scheletului solid,  $\beta$  compresibilitatea apei.

Profesorul V.Pietraru [141] arată că cercetările mai recente semnalizează o variație în timp a coeficientului de înmagazinare. Astfel la coborîrea de scurtă durată a nivelului apei se înregistrează valori minime, în timp ce la durate mari apar valori maxime. Se deosebește deci un coeficient de înmagazinare de scurtă durată  $S_s$  și un coeficient de înmagazinare de lungă durată  $S$ .

La straturile acvifere sub presiune, coeficientul de înmagazinare de scurtă durată este determinat în special de compresibilitatea instantanee a scheletului mineral. El poate fi determinat din formula

$$S_s = a \cdot \gamma_a \left( \frac{e}{1+e} \beta + m_s \right) \quad (2.43)$$

în care:  $a$  este grosimea stratului acvifer,  $\gamma_a$  greutatea specifică a apei,  $e$  indicele porilor,  $\beta$  compresibilitatea apei,  $m_s$  compresibilitatea scheletului solid [141].

Dacă între regimul de alimentare și regimul de drenare al stratului acvifer se produce un decalaj, nivelul liber al apei subterane se ridică sau coboară în mod corespunzător.

În acest caz este util să se introducă noțiunea de coeficient specific de înmagazinare, notat  $S_0$ , figura 2.14.

Coeficientul specific de înmagazinare, adică raportul dintre volumul de apă eliberabil gravitațional dintr-o

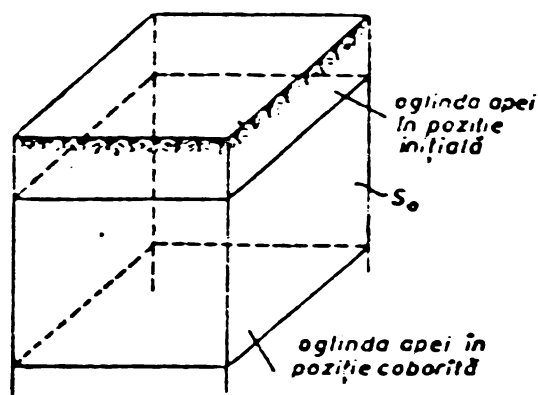


Fig.2.14. Schemă pentru definirea coeficientului  $S_0$

prismă dreaptă verticală avînd secțiunea orizontală egală cu unitatea și înălțimea  $H$ , decupată din stratul acvifer și volumul total al prismei, atunci cînd nivelul apei variază cu 1 metru.

După [30] coeficientul specific de înmagazinare poate fi determinat informativ, din relația:

$$S_0 = \gamma_a (n \cdot \beta + m_s), \quad (2.44)$$

unde:  $\gamma$ ,  $\beta$ ,  $m_s$  au aceleași semnificații ca în (2.43),  $n$  fiind porozitatea totală.

Practic  $S_0$  poate fi determinat numai la fața locului "în situ" prin pompări de scurtă sau lungă durată.

2.4.4. Permeabilitatea și transmisivitatea. Din punct de vedere hidrodinamic, caracterizarea scheletului solid în interacțiune cu apa subterană se face cu ajutorul coeficientului de filtrație, notat cu  $k$ . Ea poate fi efectuată și cu ajutorul coeficientului de permeabilitate specifică, notat cu  $K$ , la care urmează să se atașeze proprietățile caracteristice ale apei.

Coeficientul de filtrație  $k$  este definit ca volumul de apă subterană ce străbate, în unitatea de timp, o suprafață aparentă de mărime unitate, perpendiculară pe direcția de scurgere, atunci cînd panta hidraulică este egală cu unu, la o temperatură a mediului de  $10^{\circ}\text{C}$ . Astfel, utilizînd legea generală a mișcării apei subterane rezultă:

$$k_{10^{\circ}\text{C}} = \frac{Q_{10^{\circ}\text{C}}}{A \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{p}{\gamma} + z \right)} \quad (\text{m/s}) \quad (2.45)$$

În literatura recentă [141] se susține utilitatea introducerii noțiunii de coeficient de conductivitate, în loc de coeficient de permeabilitate, care exprimă mai fidel dependența fenomenului de scurgere de caracteristicile apei și ale mediului permeabil. Pentru determinarea lui  $k$  se propune formula:

$$k = Sl \cdot \frac{\gamma_a}{\mu} d^2 \quad (\text{m/s}) \quad (2.46)$$



în care:  $Sl$  reprezintă un număr adimensional, numărul lui Slichter, ce depinde de forma porilor,  $d$  este diametrul granulelor,  $\gamma_a$  greutatea specifică a apei, iar  $\mu$  coeficientul de vîscozitate dinamică.

Rezultă că valoarea coeficientului de permeabilitate depinde de caracteristicile mediului poros, prin factorul  $Sl \cdot d^2 = k_1$ , numit și coeficient de permeabilitate intrinsec sau geometric, precum și de caracteristicile fizice ale apei prin factorul  $\gamma/\mu$ .

Cu aceste observații expresia lui  $k$  din (2.46), se poate scrie sub forma:

$$k = \frac{\gamma}{\mu} k_1 \quad (2.47)$$

Din (2.46) și (2.47) rezultă factorii principali de care depinde coeficientul de permeabilitate  $k$ : diametrul particulelor solide, suprafața specifică, porozitate, temperatură, vîscozitate, greutate specifică.

După Allen Hazen, pentru filtrația prin nisip

$$k = d_{10}^2, \quad (2.48)$$

unde dacă se ia  $d_{10}$  în mm,  $k$  rezultă în cm/s.

După Schlichter, citat în [163], coeficientul de permeabilitate intrinsec

$$k_1 = C \cdot d^2 \cdot n^{3,3}, \quad (2.49)$$

ceea ce dovedește în plus legătura strînsă între proprietățile mediului granular și ale apei.

Coeficientul de permeabilitate specifică, sau mai simplu, permeabilitatea se definește în mod asemănător, însă în locul debitului volumetric  $Q$  se ia în considerare debitul masic  $Q_p = \rho Q$ . Astfel, permeabilitatea se poate calcula pe baza relației [29]:

$$K_{10}^{\circ C} = \frac{\rho Q}{A \frac{\partial}{\partial r} (p + \gamma z)} \quad (m^2) \quad (2.50)$$

Cum  $\gamma$  poate fi considerat constant de-a lungul curențului de apă, din relațiile (2.45) și (2.47) rezultă legătura între  $k$  și  $K$ , și anume:

$$k = K \frac{\rho}{\gamma}. \quad (2.51)$$

Rezultă că în timp ce coeficientul de filtrație  $k$

caracterizează stratul acvifer din punct de vedere hidrodynamic pe baza unei interacțiuni schelet-apă, permeabilitatea este o caracteristică proprie mediului permeabil, independentă de proprietățile fluidului.

Studiul permeabilității  $K$  poate fi efectuat numai pe baza geometriei canalelor din pori.

În figura 2.15 se prezintă variația coeficientului de permeabilitate sau de conductivitate hidraulică în raport cu temperatura, porozitatea și mărimea granulelor, la un pământ nisipos.

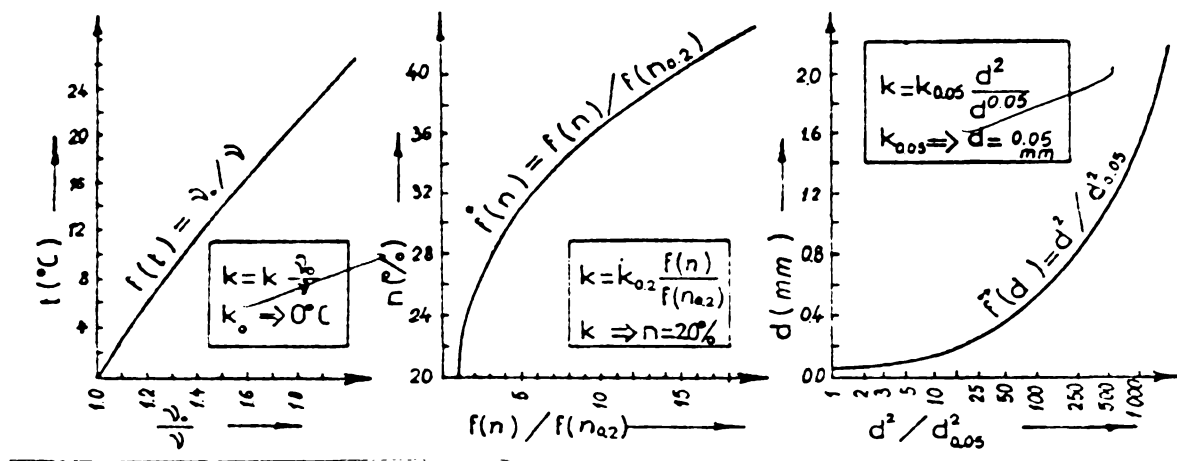


Fig.2.15. Variația coeficientului  $k$ , în funcție de: a. temperatură; b. porozitate; c. diametrul granulelor

Dacă temperatura apei din stratul acvifer diferă de temperatura la care s-a determinat  $k_0$ , noua valoare a coeficientului de filtrație poate fi determinată pe baza relațiilor:

$$k = k_0 \frac{\nu}{\nu_0} \quad (\text{m/s}) \quad (2.52)$$

în care [163]:

$$\nu = \nu_0 (1 + 0,0337 T + 0,000222 T^2)^{-1} \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (2.53)$$

Coeficienții  $k_0$ ,  $\nu_0$  caracterizează stratul la o temperatură de  $20^\circ\text{C}$ , iar  $k$ ,  $\nu$  la o temperatură oarecare, figura 2.15.a.

De asemenea dacă se cunoaște  $k_0$  corespunzător unei porozități date  $n_0$ , pentru o altă porozitate  $n$  se poate calcula valoarea lui  $k$  pe baza relației:

$$k = k_0 \frac{f(n)}{f(n_0)} \quad (2.53)$$

Valorile funcției  $f(n)/f(n_0)$  se scot din figura 2.15.b.

În cazul în care se cunoaște valoarea coeficientului de permeabilitate  $k_0$  corespunzătoare unui diametru mediu  $d_0$  pentru un diametru mediu oarecare, figura 2.15.c:

$$k = k_0 \frac{d^2}{d_0^2} \quad (2.55)$$

La amenajările de îmbogățire artificială a straturilor acvifere pentru determinarea lui  $k$  trebuie să se țină seama de variațiile considerabile, în timp, ale temperaturii apei injectate, porozității efective și diametrului mediu a scheletului solid.

Metodele amintite, ca de altfel majoritatea metodelor folosite pentru determinarea lui  $k$ , se referă de fapt la o mișcare dominant orizontală, adică la permeabilitatea orizontală.

În legătură cu curgerea apei subterane, dominant orizontală, se utilizează tot mai mult noțiunea de transmisivitate, notată cu  $T$ . Astfel pentru:

- straturi acvifere sub presiune

$$T = k \cdot a \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (2.56)$$

- straturi acvifere cu nivel liber

$$T = k \cdot H \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (2.57)$$

În cazul amenajărilor de îmbogățire artificială a straturilor acvifere cu ajutorul bazinelor de infiltrare interesează, mai ales, fenomenele de infiltrare-percolare, adică mișcările dominant verticale ale apei, pentru care trebuie să se cunoască coeficientul de permeabilitate verticală  $k_v$ . Referirile din literatură la metodele de determinarea lui  $k_v$  sînt foarte sumare.

Practic conductivitatea hidraulică verticală a straturilor acvifere este mult mai mică decît cea orizontală ( $k_v \ll k_0$ ). Acest lucru se datorează modului de formare a stratificației, gradului de tasare în timp, forme granulelor.

## 2.5. Concluzii

Cunoașterea caracteristicilor hidrogeologice ale straturilor acvifere, constituie o condiție esențială, în reușita preocupărilor pentru amenajări tehnice de alimentare cu apă de suprafață.

Acest lucru rezultă cu atât mai clar cu cât, în dorința obținerii unor sporuri cantitative, pot fi depășite anumite limite critice care conduc la degradări calitative ale apei, precum și la schimbări structurale ale scheletului permeabil solid, pînă la pierderea stabilității lui.

Studierea interdependenței dintre caracteristicile fizice ale curentului de apă subterană și ale mediului granular, permite alegerea unor tehnologii de alimentare tehnică eficientă, însă în condiții de siguranță împotriva fenomenelor de sufoziune, eroziune, colmatare, rupere hidraulică.

De asemenea cercetarea caracteristicilor hidraulice ale straturilor acvifere, constituie baza determinărilor cantitative, guvernate de legea lui Darcy

$$\vec{v} = \text{grad } \psi, \quad \text{cu } \psi = -k h + C \quad (2.58)$$

De altfel în întreaga lucrare se presupune că mișcarea are loc în regim laminar.

## C a p i t o l u l 3

### STABILIREA PRINCIPIILOR DE ALCATUIRE SI DE EXPLOATARE A AMENAJARILOR DE ALIMENTARE A STRATURILOR ACVIFERE

#### 3.1. Generalități

Amenajările de alimentare artificială a straturilor acvifere constituie o încercare de regularizare a debitului apelor subterane cu scopul asigurării unor folosințe ce reclamă apa de cea mai bună calitate. Este vorba, în primul rând, de asigurarea cu apă potabilă a centrelor populate, precum și a unor consumatori industriali: industria alimentară și farmaceutică.

Amenajările de alimentare s-au dovedit eficiente, remarcându-se ca măsuri actuale, de cea mai mare însemnătate economică și socială, datorită dezvoltării industriale fără precedent și creșterii gradului de poluare a surselor naturale de apă [100].

##### 3.1.1. Noțiuni generale.

În general, printr-o amenajare de alimentare artificială a unui strat acvifer se înțelege un complex de lucrări care asigură introducerea apei de suprafață într-o formațiune permeabilă cu scopul folosirii ulterioare după necesități. Prin amenajările de alimentare artificială se favorizează un schimb intens de apă de la o sursă de suprafață la un rezervor natural de apă subterană.

Sub aspect cantitativ, la majoritatea straturilor acvifere exploatare există diferențe considerabile între potențialul maxim de acumulare și volumul total al porilor ocupat efectiv de curentul subteran. Din acest motiv dacă se adaugă debitului natural al stratului  $Q_n$  o cantitate de apă introdusă în sol de la suprafața  $Q_1$ , se poate obține un spor important de debit exploatabil  $Q_e$ , așa fel încît să se mențină condiția:

$$Q_n + Q_1 \geq Q_e + Q_r . \quad (3.1)$$

La limită debitul maxim exploatabil poate atinge o valoare dedusă din relația

$$Q_{e,max} = Q_n + Q_i - Q_r, \quad (3.2)$$

unde:  $Q_r$  reprezintă cantitatea de apă neantrenabilă de dispozitivele de captare.

Rezultă că numai o parte din cantitatea de apă introdusă în sol devine spor de debit exploatabil. Aproximarea între  $Q_e$  și  $Q_{e,max}$  constituie o chestiune de randament al instalațiilor de alimentare artificială în conexiune cu instalațiile de captare.

Din punct de vedere calitativ apa de suprafață introdusă în sol își ameliorează considerabil parametri. Astfel în procesul de infiltrare-percolare-filtrare temperatura apei tinde către temperatura medie anuală, devine perfect limpede, își îmbunătățește conținutul în săruri dizolvate, capătă un gust plăcut, își reduce treptat încărcarea bacteriană.

### 3.1.2. Obiectivele amenajărilor de alimentare tehnică

Plecînd de la ameliorările cantitative și calitative ale apei de suprafață introdusă în straturile acvifere, ar trebui ca amenajările de acest tip să se bucure de o atenție deosebită. Din păcate însă, ritmul de dezvoltare al amenajărilor de alimentare artificială a straturilor acvifere este mult prea lent. Acest fapt se datorește în parte necunoașterii mecanismului complex de introducere a apei în pămînt, precum și difuzării deficitare a cercetărilor de specialitate [21].

Amenajările de alimentare artificială moderne s-au dezvoltat mai ales în zonele aride și semiaride puternic industrializate sau cu densitate mare a populației, unde lipsa de apă se manifestă din ce în ce mai tare. Asemenea situații pot fi întîlnite mai ales în unele state din SUA - California, Arizona, Kansas, în partea de sud-vest a Asiei - statul Israel etc.

De asemenea au apărut amenajări de alimentare artificială într-o serie de țări dezvoltate din punct de vedere industrial, unde apa râurilor este puternic poluată și straturile acvifere sînt supraexploatare, sau în zonele lipsite de apă de suprafață cît și de apă subterană. Între acestea pot fi amintite amenajările din partea centrală a SUA, din Europa și Asia.

Obiectivele urmărite prin amenajările de alimentare artificială sînt foarte diferite. Ele pot fi însă grupate în cîteva categorii principale:

- mărirea debitului captabil la straturile acvifere aflate în exploatare, prin stimularea transferului continuu rîu-pînză și introducerea apei de suprafață în sol ca mijloc suplimentar de alimentare;

- refacerea nivelului piezometric al straturilor acvifere supraexploatate sau a straturilor drenate de canalele adînci ale unor amenajări hidrotehnice;

- ameliorarea calităților apei subterane ce prezintă un conținut ridicat de săruri dizolvate;

- ameliorarea calităților apei introdusă în sol prin acțiunea reciprocă, fizică, chimică, bacteriologică, întro scheletul granular solid și apă;

- protecția apei subterane împotriva intruziunii apelor sărate din mare sau a apelor poluate din rîuri, prin formarea unui dom de separare cu ajutorul apei infiltrate;

- ameliorarea temperaturii apei de suprafață, care poate varia în limite foarte largi, în vederea folosirii ei ca apă potabilă;

- atenuarea fluctuațiilor sezoniere, precum și a fluctuațiilor anuale ale apelor subterane;

- stocarea apei de suprafață în perioadele cu precipitații abundente în vederea folosirii ei în restul anului;

- răcirea apei industriale de recirculare;

- epurarea apelor uzate industriale și reutilizarea lor după un anumit parcurs prin mediul granular.

Din cercetările efectuate pînă în prezent, s-a ajuns la unele concluzii privind ameliorarea unor parametri calitativi. Astfel, pentru exigențe normale privind asigurarea potabilității [116]:

- apa infiltrată în sol trebuie să circule prin stratul acvifer timp de cîteva luni;

- lungimea drumului parcurs prin strat trebuie să fie de cel puțin 50 m;

- viteza aparentă de filtrare se recomandă să fie în jur de 1-2 m/zi, ceea ce asigură o foarte bună limpezire a apei.

Lucrările existente de alimentare tehnică a straturilor acvifere, urmăresc în același timp unul sau mai multe obiective. Asemenea exemplificări pot fi întâlnite în prezentarea făcută în Cap.1.

### 3.1.3. Condiții hidrogeologice

Alimentarea artificială, privită la modul cel mai general, presupune stimularea unui transfer intens de apă de la o sursă de apă de suprafață la un anumit strat acvifer, în vederea obținerii unor indici tehnico-economici de exploatare cât mai avantajoși.

La prima vedere operația de introducere a apei în sol pare cât se poate de simplă cu condiția ca straturile superioare acoperitoare să prezinte o permeabilitate bună. În realitate apar însă o serie de dificultăți generate de faptul că transferul se bazează, de regulă, pe un fenomen hidraulic complex de infiltrare-percolare-filtrare, care se desfășoară transversal sau de-a lungul unor straturi cu caracteristici hidrodinamice diferite. În plus, infiltrarea, percolarea, cât și filtrarea au loc după legi proprii.

Din tendința de a introduce în sol cantități cât mai mari de apă, fără să se cunoască suficient caracteristicile hidrodinamice ale straturilor, conținutul de suspensii și chimismul apei, pot fi provocate o serie de fenomene nedorite. Astfel mărimea vitezelor de transfer peste anumite limite, în condițiile unei stratificații nefavorabile, poate conduce la sufoziune, eroziune sau invers la colmatarea mediilor granulare.

De asemenea în unele situații pot apare mișcări ascensionale ale apei însoțite de ruperea hidraulică a straturilor de acoperiș.

În practică, trebuie să fie evitate oricare din aceste fenomene, pentru că ele pot provoca diminuarea potențialului de transfer, sau chiar degradarea totală a acestuia; ceea ce înseamnă reducerea timpului de funcționare a amenajărilor de alimentare artificială sau scoaterea lor completă din lucru.

Formularea strictă a condițiilor hidrogeologice ce trebuie să fie îndeplinite este foarte dificilă. Ea trebuie corelată cu o serie de factori locali, ca: forma și dimensiunile



straturilor de acoperiș, forma și dimensiunile stratului acvifer, scopul urmărit, procedeul de alimentare folosit.

În general o amenajare de alimentare artificială se consideră că are condiții prielnice de funcționare dacă:

- nivelul hidrostatic al apei din stratul acvifer nu se găsește la o adâncime prea mare;

- permeabilitatea straturilor de acoperiș este corespunzătoare;

- se poate asigura o suprapresiune suficient de mare a apei de infiltrare față de apa din strat;

- stratul acvifer alimentat are o transmisivitate corespunzătoare pentru a asigura scurgerea apei subterane proprii, plus apa de suprafață introdusă în strat;

- grosimea eventualelor straturi impermeabile este redusă.

Dacă însă se urmărește stocarea apei în vederea regularizărilor sezoniere, anuale sau multianuale, este necesar ca stratul acvifer să prezinte, în plus, un potențial de acumulare disponibil considerabil.

a). Poziția nivelului hidrostatic al apei din strat influențează direct asupra procedeului de alimentare folosit și implicit asupra indicilor economici de exploatare. Astfel transferul apei de suprafață în stratul acvifer este mai ușor de controlat când nivelul liber al apei subterane se găsește la mică adâncime. În acest caz se folosesc dispozitive de infiltrare de suprafață, care prezintă indici tehnico-economici ridicați pentru adâncimea nivelului apei subterane între 5-15 m. Peste 15-20 m adâncime a oglinzii apei devin mai avantajoase dispozitivele de alimentare profundă. •

Nivelul hidrostatic al apei subterane nu poate fi nici prea aproape de suprafață terenului deoarece pe de o parte nu se poate asigura suprapresiunea necesară infiltrării, iar pe de alta există un pericol potențial de rupere hidrodinamică. În unele cazuri suprapresiunile necesare au fost realizate prin amplasarea dispozitivelor active pe terenuri mai ridicate [1].

b). Permeabilitatea verticală a straturilor superioare cât și permeabilitatea orizontală a stratului acvifer prezintă aceeași importanță sau importanță diferențiată în

funcție de mijlocul de alimentare artificială folosit.

În cazul utilizării dispozitivelor de suprafață cum ar fi: bazinele, fosele, canalole, șanțurile de infiltrare, ca mijloc de alimentare artificială, are loc un proces complex de infiltrare-percolare-filtrare în care interesează, mai ales, permeabilitatea verticală a straturilor acoperitoare și permeabilitatea orizontală a stratului acvifer. Intensitatea acestui fenomen este limitată de stratul cu permeabilitatea cea mai redusă. O situație optimă s-ar obține când mișcarea apei de infiltrare-percolare-filtrare ar avea loc într-un mediu omogen și izotrop, ceea ce presupune o permeabilitate constantă după toate direcțiile. Practic însă, se consideră o stratificație cu permeabilitate favorabilă când valoarea coeficienților de permeabilitate  $k_i$  crește în sensul de mișcare al curentului de apă format. În orice caz permeabilitatea orizontală a stratului acvifer trebuie să fie mai mare decât permeabilitatea verticală a straturilor acoperitoare, adică  $k_o > k_v$ . Existența unei situații inverse și neluată în seamă poate conduce la ridicarea nivelului apelor subterane pînă la suprafața terenului și degradarea completă a calităților apei.

În cazul utilizării forajelor și puțurilor de infiltrare interesează în primul rînd permeabilitatea orizontală a stratului acvifer.

Din experiența amenajărilor de alimentare artificială existente, se consideră o permeabilitate acceptabilă a straturilor traversate de curentul de apă, dacă  $k \geq (10^{-5} - 10^{-2})\text{m/s}$ .

c). Transmisivitatea  $T$ , se definește ca produsul dintre coeficientul de filtrație (permeabilitate orizontală)  $k_o$  și grosimea medie a stratului de apă subterană. Astfel:

$$T = k_o H \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (3.3)$$

Din relația de definiție (3.3) rezultă că straturile acvifere sînt caracterizate din punct de vedere hidrodinamic mai bine cu ajutorul transmisivității  $T$  decât cu ajutorul coeficientului de filtrație  $k_o$ .

În condițiile din natură, se constată că variațiile permeabilității orizontale și mai ales ale transmisivității sînt în general mult mai frecvente și mai importante decât variația debitelor unitare [37]:

$$q = k_0 H I = T I \quad (\text{m}^3/\text{s}/\text{m}) \quad (3.4)$$

Dacă scurgerea este neinfluențată, în sensul unei alimentări și drenări naturale ale unui strat acvifer, pentru un interval relativ scurt de timp, debitul unitar  $q$  poate fi considerat constant. În această situație pot fi determinate variațiile lui  $H$  și  $k$  pe întregul areal.

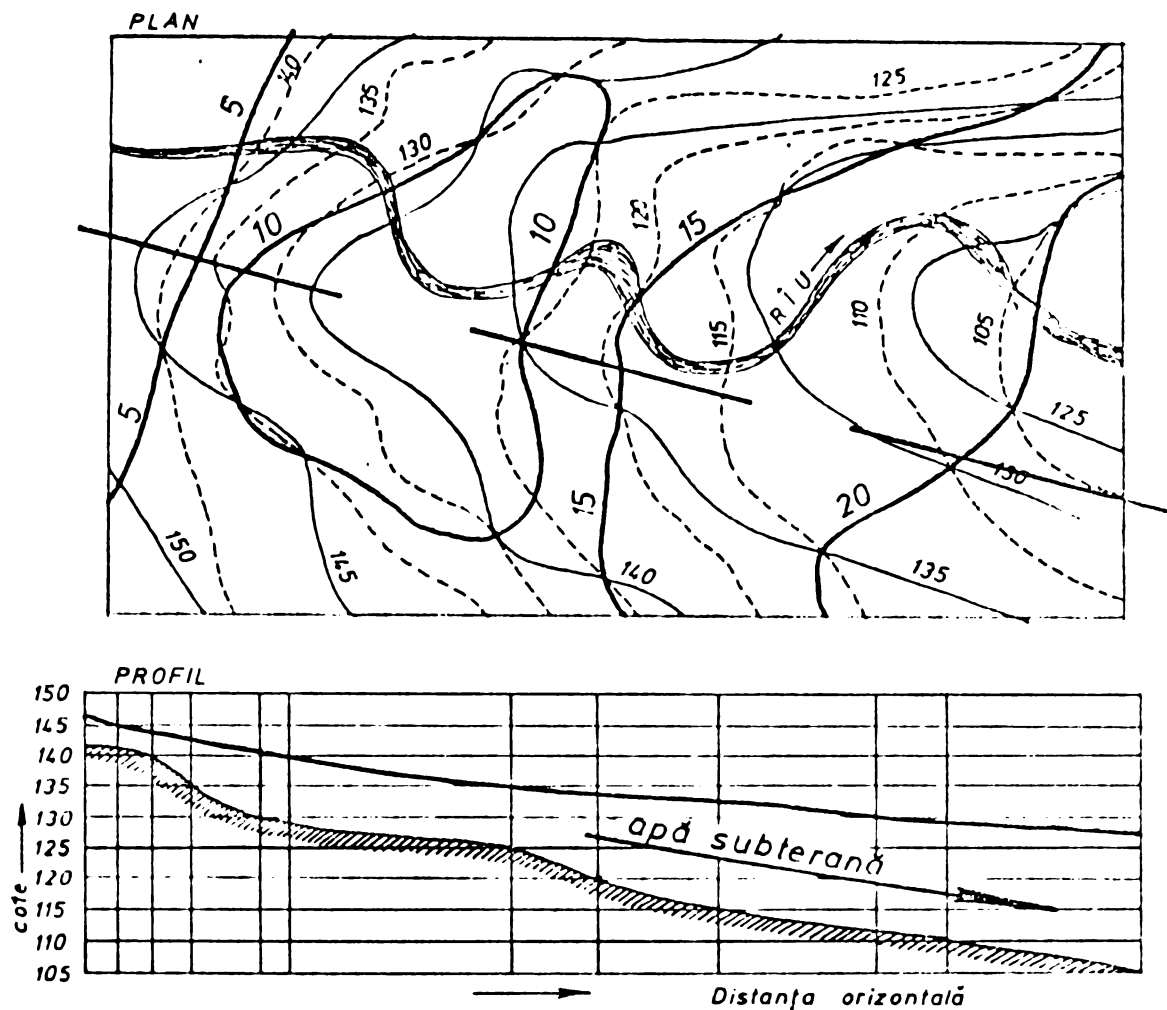


Fig.3.1. Construcția curbelor izopahite

- curbe izopieze
- curbe de egală cotă a patului
- curbe izopahite

Astfel utilizînd o hartă pe care se trasează curbele izopieze, adică curbele de egală cotă ale oglinzii apei subterane, respectiv curbele de egală cotă ale suprafeței patului impermeabil, se pot construi curbele izopahite, curbele de egală grosime a stratului de apă, ca în figura 3.1.

De asemenea din analiza variației pantei hidraulice, dedusă dintr-o hartă cu curbe izopieze și cunoașterea unor valori zonale ale lui  $k_0$  pot fi trase concluzii privind variația permeabilității orizontale. Obișnuit, în zonele cu pante hidraulice I mari, se întâlnesc permeabilități mici și invers. Pe această bază pot fi trasate curbe de permeabilități orizontale medii constante.

Tot pe baza unei hărți pot fi comparate variațiile grosimii structurii granulare de depozit  $H_g$  și ale grosimii stratului de apă subterană  $H$ , rezultînd:

-  $H \ll H_g$ , respectiv  $T \ll T_{max}$ , cînd mediul granular de depozit are o grosime  $H_g$  foarte mare în comparație cu grosimea naturală medie a stratului acvifer, precum și după o secotă îndelungată sau o supraexploatare de durată a acestuia;

-  $H \leq H_g$ , respectiv  $T \leq T_{max}$  în cazurile obișnuite, privind straturile acvifere freatice aflate sub influența unor variații sezoniere ale nivelului piezometric.

Din cele de mai sus se desprinde necesitatea definirii unei transmisivități  $T$  oarecare și a unei transmisivități potențiale  $T_{max}$ . Prin transmisivitate potențială, notată cu  $T_{max}$ , se înțelege limita superioară a transmisivității unui strat acvifer, avînd un coeficient de filtrație  $k_0$  și grosimea curentului de apă  $H$  egală cu grosimea structurii granulare  $H_g$ . Intotdeauna  $T \leq T_{max}$ .

Această observație este deosebit de importantă în cazul amenajărilor de alimentare artificială a straturilor acvifere. Astfel dacă la un moment dat:

-  $T \ll T_{max}$ , stratul acvifer are rezerve mari de acumulare și de transport a unor debite considerabile provenite din alimentarea artificială.

-  $T \lesssim T_{max}$ , stratul acvifer poate fi alimentat artificial numai intermitent.

d). Grosimea straturilor impermeabile acoperitoare poate impune procedeul de alimentare artificială. Straturile impermeabile situate la adîncime mică și avînd o grosime redusă permit folosirea oricărui mijloc de alimentare artificială. Mai mult chiar, existența unui strat impermeabil subțire situat imediat sub solul vegetal asigură protecția apei subterane împotriva unor agenți impurificatori de la suprafață.

Straturile impermeabile de acoperire groase sau situate la adâncime mai mare impun alegerea unor dispozitive profunde de alimentare artificială.

e). Potențialul de acumulare constituie de asemenea o caracteristică a mediilor granulare care interesează în mod deosebit funcționalitatea amenajărilor de alimentare artificială. Acest lucru poate fi înțeles mai bine dacă se ia în considerare un strat acvifer alimentat în mod natural cu un debit  $Q_n$ , drenat sub un debit  $Q_d$  de către un curs natural sau o deversare subterană și aflat în exploatare cu un debit  $Q_c$ , concomitent cu o alimentare artificială cu un debit  $Q_1$ .

În regim de scurgere naturală nivelul piezometric al apelor subterane variază ca urmare a variației lui  $Q_n$  și  $Q_d$ , ceea ce poate conduce la următoarele situații:

-  $Q_a = Q_d$ , instalarea unui nivel piezometric stabil, respectiv a unui regim permanent de scurgere;

-  $Q_a > Q_d$ , nivelul piezometric în creștere;

-  $Q_a < Q_d$ , nivelul piezometric în scădere.

Rezultă că în mod natural structura granulară de depozit al unui strat acvifer nu este folosită la capacitate, în sensul că o parte din volumul golurilor drenabile gravitațional rămîne, cu mici excepții, deasupra oglinzii apei. În asemenea cazuri introducerea în sol cu ajutorul amenajărilor de alimentare artificială a unui debit suplimentar  $Q_1$ , va permite utilizarea întregului volum de goluri drenabile.

În cazul cînd  $Q_a < Q_d$  nivelul piezometric coboară, însă în același timp se reduce în mod corespunzător și debitul de drenare pînă cînd  $Q_d = Q_a$ . Cît timp  $Q_d > 0$  nivelul piezometric al curentului subteran va fi mai ridicat decît nivelul apei din rîu sau nivelul deversorului natural.

În regim de exploatare a stratului acvifer cu un debit  $Q_c$ , combinat cu o amenajare de alimentare artificială ce asigură un debit  $Q_1$ , pot fi întîlnite următoarele situații:

-  $Q_a + Q_1 \geq Q_d + Q_c$ , nivelul piezometric poate fi în creștere sau stabil, ceea ce permite refacerea stratului în condiții de exploatare, respectiv asigurarea unui regim permanent de exploatare;

-  $Q_a + Q_i < Q_d + Q_c$ , nivelul piezometric în scădere pînă la atingerea celei mai joase cote dintre cota minimă a deversorilor naturali sau cota minimă de lucru a dispozitivelor de captare.

Pe baza celor de mai sus se poate defini ca potențial de acumulare, volumul total al golurilor drenabile gravitațional al unui mediu granular de depozit, a unui strat acvifer, cuprins între partea superioară a rocii de depozit și suprafața oglinzii apei, aflată la cotele minime în regim natural sau în regim de exploatare.

### 3.2. Metode utilizate în amenajările de alimentare a straturilor acvifere

Prin amenajări de alimentare a unui strat acvifer se înțelege un ansamblu de construcții și de instalații care asigură captarea apei dintr-o sursă de suprafață, tratarea apei și infiltrarea ei într-un mediu granular, în care s-a format în mod natural sau artificial un strat acvifer exploatabil.

Datorită complexității caracteristicilor hidrodinamice ale straturilor acvifere, poziției lor față de nivelul terenului, caracteristicilor hidrodinamice ale straturilor acoperitoare, se impun diferite procedee de infiltrare artificială. Astfel, după desfășurarea în spațiu a dispozitivelor active de infiltrare, se utilizează:

- metode de infiltrare de la suprafață;
- metode de infiltrare subterană.

Metodele de infiltrare de la suprafață, presupun folosirea unor dispozitive active de infiltrare, desfășurate la suprafața terenului, avînd forme și dimensiuni foarte variate. Ele asigură infiltrarea gravitațională a apei în sol, urmînd ca după un anumit parcurs pe verticală să ajungă în stratul acvifer.

Metodele de infiltrare subterană folosesc dispozitive active dezvoltate pe verticală, care străpung straturile acoperitoare și asigură infiltrarea apei direct în stratul acvifer.

#### 3.2.1. Avantaje și dezavantaje ale amenajărilor de alimentare tehnică a straturilor acvifere

Avantajele amenajărilor de alimentare artificială se desprind, în cea mai mare parte, din enumerarea obiectivelor ce pot fi realizate, prezentate la subpunctul 3.1.2. Cele mai evidente avantaje sînt:

- măresc debitul exploatabil al straturilor acvifere;
- asigură refacerea nivelului piezometric al straturilor supraexploatate;
- ameliorează calitățile apei de suprafață introdusă în sol, în special cu privire la turbiditate, temperatură, încărcarea bacteriană;
- ameliorează conținutul în săruri dizolvate ale apei subterane prin amestec cu apă de suprafață;
- asigură regularizarea sezonieră a debitului apelor subterane;
- permit stocarea și transportul unor ape de la suprafață, în vederea utilizării lor ulterioare;
- asigură protecția apelor subterane împotriva intruziunii apei de mare sau a unor ape poluante;
- pot fi utilizate pentru epurarea unor ape industriale;
- funcționează în paralel cu instalațiile de captare existente sau nou executate.

Dezavantajele cele mai evidente sînt:

- dispozitivele de infiltrare fiind supuse colmatării, datorită conținutului în suspensii a apei infiltrate, necesită o întreținere atentă și curățiri periodice;
- necesită construcții și instalații suplimentare de pretratare a apei în vederea infiltrării;
- ocupă, în unele cazuri, suprafețe mari de teren.

### 3.2.2. Alimentarea tehnică cu ajutorul dispozitivelor de suprafață

Dispozitivele de suprafață utilizate la infiltrarea apei sînt: bazinele de infiltrare, canale de infiltrare, ganțuri, fose de infiltrare, brazde, aspersoare. În unele cazuri se practică inundarea generală a unor depresiuni locale sau a unor terenuri plane compartimentate sub forma unor fîșii cu ajutorul digulețelor de pămînt.

Bazinele de infiltrare au cea mai largă răspîndire.

Asupra infiltrării cu ajutorul bazinelor se va insista în mod deosebit, deoarece ele fac obiectul tezei.

Canalele de infiltrare se folosesc în special acolo unde terenul amenajat pentru infiltrații prezintă un relief frământat. Ele pot fi executate de-a lungul curbelor de nivel, ceea ce conduce la un volum minim de terasamente.

Din punct de vedere constructiv, canalele pot avea în plan forma unei linii poligonale oarecare, iar în secțiune verticală transversală formă trapezoidală sau dreptunghiulară, figura 3.2.a,b.

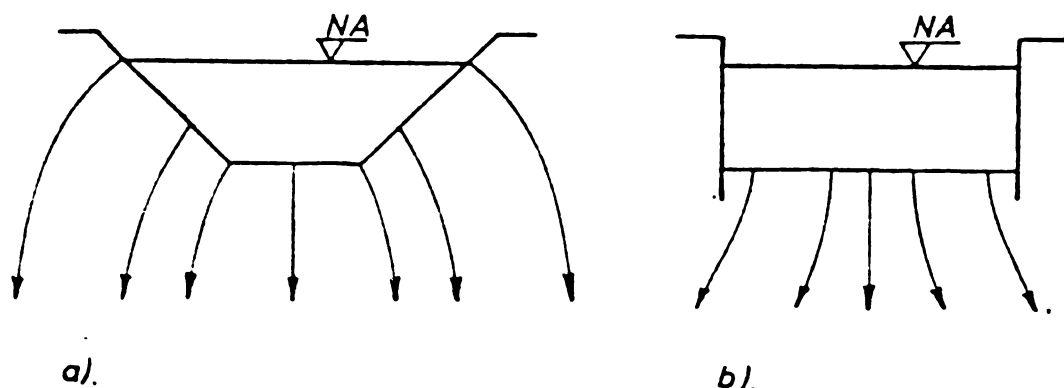


Fig.3.2. Canale de infiltrare

Din punct de vedere funcțional se preferă canalele trapezoidale, deoarece nefiind necesară sprijinirea taluzelor se menține un potențial ridicat de infiltrare.

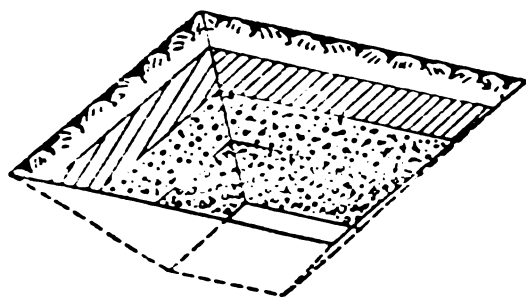


Fig.3.3. Fosă de infiltrare

adâncimea de pînă la 18-20 m, iar înclinarea suprafețelor laterale este în funcție de proprietățile fizico-mecanice ale straturilor străpuse.

Fosele de infiltrare sînt niște bazine adînci, de forma unui trunchi de piramidă avînd baza mare la suprafața terenului, iar o parte din suprafața laterală și baza mică executate în stratul permeabil, ca în figura 3.3. Ele au obișnuit, suprafața bazei mici de 100 m<sup>2</sup>,



Din punct de vedere funcțional, fosele au constituit un dispozitiv reușit de alimentare artificială a unor straturi relativ adânci, drenate puternic de lucrările hidrotehnice de pe râul Rhoné [74].

Sanțurile, brazdele și aspersoarele sînt utilizate în unele cazuri cînd terenul de deasupra stratului alimentat artificial este amenajat pentru culturi irigate. În asemenea situații, dacă apa subterană este destinată consumului ca apă potabilă, se iau măsuri deosebite privind calitatea apei de irigație.

Litoratura de specialitate [14] menționează cazuri în care suprafețe mari de teren sînt amenajate pentru infiltrație prin intermediul unor fișii de infiltrație, ca în figura 3.4.a, sau a unor suprafețe libere, cuprinse între covoare circulare impermeabile, ca în figura 3.4.b.

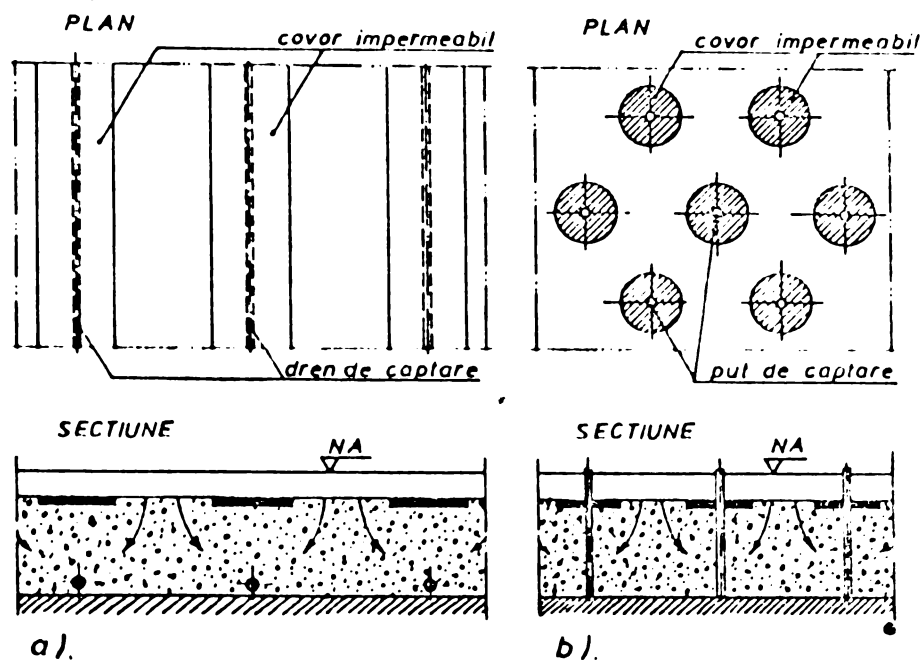


Fig.3.4. Infiltrație prin inundare generală

Toate dispozitivele de infiltrație de suprafață sînt ușor accesibile, mai puțin costisitoare decît cele de adîncime și ușor de exploatat. Întreținerea lor constă din îndepărtarea unui strat relativ subțire de pămînt colmatat de pe taluzo și fund. Cînd dispozitivele de infiltrație sînt prevăzute cu un strat filtrant de nisip-pietriș, întreținerea constă în îndepărtarea acestui strat și refacerea lui cu material nou sau cu același material după spălare.

3.2.3. Alimentarea tehnică cu ajutorul dispozitivelor de infiltrație subterană, se adoptă în cazul straturilor acvifere situate la adâncime, sau sînt acoperite cu un strat impermeabil gros.

Dispozitivele de infiltrație subterană mai des utilizate sînt: puțurile de infiltrație, drenurile, galeriile. Principalul lor avantaj constă în faptul că ocupă suprafețe foarte mici de teren. În plus puțurile asigură infiltrația apei în straturi situate la orice adâncime. Dezavantajul cel mai important este dat de pericolul colmatării mult mai rapide decît în cazul dispozitivelor de suprafață și imposibilitatea de refacere a potențialului inițial prin operații de decolmatare. De altfel pericolul colmatării și imposibilitatea decolmatării complete constituie obstacolul major în calea extinderii acestui gen de dispozitive [21].

Cercetările recente atrag atenția că între fenomenul scurgerii către puțurile și drenurile de captare și fenomenul infiltrației apei în strat cu ajutorul puțurilor și drenurilor de infiltrație există diferențe considerabile. Astfel, după [1]; [21]; [82] dacă se folosește același puț ca dispozitiv de captare, respectiv de infiltrație, la o denivelare, respectiv o supraîncărcare identică ( $|s| \equiv |\Delta H|$ ), totdeauna  $Q_p > Q_i$ . Din experiențele lui [1]  $Q_i \approx \frac{2}{3} Q_p$ .

Din punct de vedere constructiv puțurile și drenurile de infiltrație sînt în cea mai mare parte identice cu puțurile și drenurile de captare, deosebirea constă doar în faptul că primele sînt prevăzute și cu instalații de ridicarea presiunii, iar părțile filtrante sînt adaptate pentru limitarea zonelor de colmatare. Obișnuit, un dispozitiv de infiltrație trebuie să funcționeze periodic și ca dispozitiv de pompare pentru asigurarea decolmatării, chiar și numai parțial.

### 3.3. Amenajări de alimentare tehnică cu ajutorul bazinelor de infiltrație

Amenajările de alimentare tehnică a straturilor acvifere cu ajutorul bazinelor de infiltrație au cea mai largă răspîndire. Ele permit atingerea celor mai diverse obiective, vizînd ameliorări calitative și cantitative, prezentate pe larg în paragraful 3.1.2.

3.3.1. Alcătuirea amenajărilor cu bazine de infiltra-re. Amenajările de alimentare cu ajutorul bazinelor de infiltra-re sînt alcătuite din construcții și instalații hidraulice, care asigură captarea apei dintr-o sursă de suprafață, tratarea și transportul ei, infiltrarea în stratul acvifer. Aceste amenajări se compun, în general, din:

- construcții de captarea apei;
- stație de tratare prealabilă;
- stație de pompare;
- canale sau conducte de transportul apei;
- bazine de infiltra-re;
- stratul acvifer.

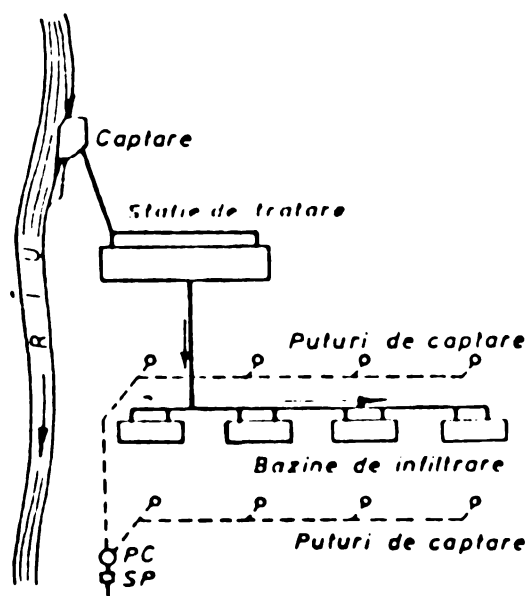


Fig.3.5.Schemă de principiu a unei amenajări de alimentare artificială

Aceste amenajări se execută de regulă în vecinătatea unor captări existente, în curs de execuție și mai rar independent de ele. În figura 3.5 se prezintă schema de principiu a unei asemenea amenajări.

Captarea apei se face prin mijloacele și soluțiile obișnuite, în funcție de debitul derivat și particularitățile sursei.

Stație de tratare prealabilă a apei se adoptă chiar și în cazul bazinelor de infiltra-re, cu scopul de a menține un potențial ridicat de infiltra-re [99]; [100]. Prin-

cipala atribuție a stației de tratare constă în menținerea unei turbidități scăzute a apei de infiltra-re, pentru lungirea duratei de exploatare a bazinelor, între două curățiri. În unele cazuri apa de infiltra-re trebuie să fie și dezinfectată sau să i se facă și alte îmbunătățiri calitative. Asupra acestor probleme se va reveni în paragraful 3.3.2.

Canalele sau conductele asigură transportul apei, cu nivel liber sau sub presiune, de la captare la stația de tra-

INS  
E.H.  
CENTRAL

tare, respectiv la bazinele de infiltrație. Construcția canalelor și conductelor nu comportă măsuri speciale. Fac excepție doar canalele utilizate pentru transport și infiltrație.

Bazinele de infiltrație formează elementul de bază al amenajărilor de alimentare tehnică. Până în prezent s-au construit un număr relativ mare de bazine de infiltrație, însă diversitatea condițiilor în care funcționează nu a permis stabilirea unor criterii unitare privind proiectarea, execuția și exploatarea lor. Astfel nu se cunosc metode exacte de determinare a debitelor, de estimare a ameliorărilor calitative și se poartă încă discuții cu privire la o serie de probleme, privind [8], [22]:

- forma și dimensiunile bazinelor;
- necesitatea căptușirii taluzelor cu material filtrant sau impermeabil;
- procedeul de curățire a materialului filtrant;
- influența distanței dintre fundul bazinului și nivelul piezometric al pânzei subterane;
- grosimea stratului de apă în bazin;
- modul de infiltrație: continuu, intermitent;
- alimentarea bazinelor : concentrat, distribuit, aerat, neaerat;
- randamentul de infiltrație când apa stagnează sau curge, viteza de mișcare;
- rolul zonei nesaturate, cuprinsă între fundul bazinului și nivelul piezometric al curentului subteran.

Bazinele de infiltrație se prezintă sub forma unor depresiuni create cu ajutorul mașinilor terasiere, prin îndepărtarea stratului vegetal sau a stratului impermeabil superficial, inundate cu apă dintr-o sursă de suprafață. Uneori bazinele de infiltrație se realizează prin inundarea unei depresiuni naturale, delimitată cu ajutorul barajelor sau digurilor.

Între fundul bazinelor și nivelul piezometric al curentului subteran inițial, există totdeauna o anumită distanță. Apa din bazin ajunge astfel în strat printr-un fenomen complex de infiltrație-percolare-filtrație.

Infiltrația este fenomenul prin care apa trece din bazin în sol. Intensitatea acestui fenomen este legată de capacitatea de absorbție a stratului în care s-a practicat bazi-

nul, permeabilitatea lui, porozitatea, conținutul în săruri, temperatura și turbiditatea apei, vegetația de pe taluzele și fundul bazinului, grosimea stratului de nămol depus și sarcina hidrolică.

Percolarea este fenomenul de circulație verticală gravitațională a apei de traversare a straturilor permeabile acoperitoare. Ea depinde de permeabilitatea verticală a acestor straturi, grosimea lor, temperatura apei, reacția dintre apă și mediul granular, poziția apelor subterane și altele.

Filtrația este fenomenul de circulație a apei de alimentare prin stratul acvifer, deasupra curentului subteran sau în amestec cu apa lui. Ea depinde de o serie de factori, cum ar fi interacțiunea dintre mediul granular și apa de alimentare, respectiv dintre apa curentului subteran și apa de alimentare, caracteristicile hidrodinamice ale stratului acvifer.

În majoritatea cazurilor se subliniază că factorii locali au un rol hotărâtor. De asemenea se emite părerea că nu poate fi vorba de un tip unume de bazin de infiltrație și că "bazinul universal" este probabil o utopie [8].

Mai jos, se face o prezentare sumară a modului în care se pun anumite probleme:

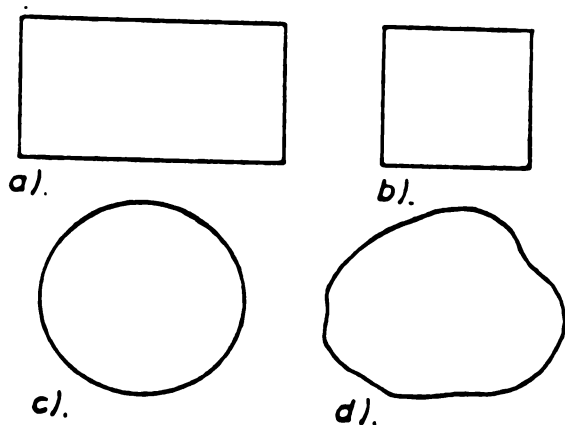


Fig.3.6. Forma bazinelor de infiltrație

- a. dreptunghiulară
- b. pătrată
- c. rotundă
- d. oarecare

a). Forma și dimensiunile bazinelor de infiltrație sînt subordonate condițiilor locale și obiectivelor urmărite. Obişnuit se execută bazine de formă dreptunghiulară; mai rar bazine de formă circulară sau delimitate de un contur poligonal oarecare. În figura 3.6 se exemplifică diferitele forme ale bazinelor de infiltrație.

Fundul bazinelor se recomandă să fie ușor înclinat spre o zonă mai joasă, de unde se face evacuarea

apei, gravitațional sau prin pompare.

Taluzele pot fi înclinate sau verticale, după cum participă sau nu la procesele de infiltrație și de epurare. Astfel, dacă nivelul apei subterane se găsește la mică adâncime, taluzele pot avea un rol dominant în procesul de infiltrație. În acest caz se recomandă alegerea taluzelor înclinate și căptușirea lor cu un strat drenant. Dacă însă pânza se găsește la adâncime și pe primul plan se situează lupta împotriva proliferării plantelor acvatice din bazin, taluzele vor fi verticale, sprijinite. Elementele de sprijinire sînt însă în general impermeabile.

Fundul bazinelor de infiltrație poate avea o înclinare ușoară, astfel încît să permită o curgere continuă a apei sub forma unei lame subțiri, ca o măsură de combatere a colmatării și de activare a proceselor de autoepurare.

Dimensiunile bazinelor de infiltrație variază foarte mult, de la cîteva sute de metri pătrați la cîteva zeci de hectare. Pentru amenajările de alimentare cu apă potabilă a centrelor populate se realizează fronturi din bazine de infiltrație, așezate paralel cu liniile de captare, alcătuite din puțuri sau drenuri. În aceste cazuri se folosesc bazine mici de formă dreptunghiulară, avînd lățimi de 10-20 m și lungimi de 20-50 m, excepțional 100-200 m.

O clasificare a bazinelor de infiltrație se poate face din mai multe puncte de vedere.

După modul de realizare se practică:

- bazine de infiltrație în "plin teren", realizate prin bararea unei depresiuni naturale cu ajutorul digurilor și barajelor;

- bazine de infiltrație cu vegetație, peste care apa de alimentare se scurge sub forma unui strat subțire;

- bazine de infiltrație cu un strat filtrant.

După participarea în procesele de infiltrație și epurare, deosebit:

- bazine de prefiltrare, destinate unei epurări mecanice și microbiologice;

- bazine primitive de infiltrație, avînd rol complex, unde infiltrația este dominantă;

- bazine de infiltrație propriu-zise.

După modul de alimentare, se adoptă:

- bazine cu alimentare continuă, între două curățiri
- bazine cu alimentare intermitentă, numită și cu filtru sec.

În funcție de grosimea medie a stratului de apă din bazin, deosebim:

- bazine parțial submersate;
- bazine cu adâncime medie a stratului de apă;
- bazine cu adâncime mare a stratului de apă.

Asupra acestor clasificări se va mai reveni la paragraful 3.3.2, referitor la exploatarea bazinelor de infiltrație.

b). Căptușirea fundului bazinelor și taluzelor cu un strat filtrant se adoptă în majoritatea cazurilor în care acestea au un rol de infiltrație și de epurare. Stratul filtrant constituie un ecran între suspensiile de apă și stratul acvifer, a cărui colmatare trebuie evitată cu orice preț.

Stratul filtrant este alcătuit din nisip, având un diametru eficient  $d_{10} = 0,2 - 0,3$  mm, coeficientul de neuniformitate  $U = 2$ , ales așa fel ca prin antrenarea hidrodinamică să nu se producă o autocolmatare.

Grosimea stratului filtrant variază între 0,15 - 1,00 m. În mod obișnuit grosimea stratului filtrant este de 0,50 m, însă în mod excepțional poate atinge 1,50...1,70 m.

c). Influența distanței dintre fundul bazinului și nivelul piezometric al pânzei subterane este foarte puțin studiată. Cu toate acestea este ușor de observat că bazinele de infiltrație trebuie să se găsească, complet, deasupra nivelului piezometric al apei subterane. Altfel nu ar fi posibilă evacuarea totală a apei, în vederea curățirii lui. În plus, existența unui mediu nesaturat de percolare a apei favorizează continuarea procesului de epurare microbiologică.

În formațiunile mai recente bazinele de infiltrație se găsesc deasupra apei subterane cu 3-5 m; sînt însă cazuri cînd se ajunge la 20-25 m.

d). Grosimea medie a stratului de apă din bazin are implicații directe în procesul de infiltrație cît și în cel de epurare. Ea variază de la 0,10-0,30 m la bazinele cu vegetație și între 0,30-1,0 m la bazinele cu strat filtrant.

Capacitatea de infiltrație este foarte puțin influen-

țată de creșterea grosimii stratului de apă, cât timp aceasta se menține între limite normale. Dacă însă grosimea stratului de apă este considerabilă, capacitatea de infiltrare se reduce datorită tasării mediului granular sub greutatea apei și presiunii de curgere.

De asemenea, în cazul straturilor de apă subțiri și bine aerate se stimulează procesele de epurare biologică. Din păcate însă, tot în aceste straturi subțiri se dezvoltă o floară acvatică densă, care poate provoca o colmatare rapidă a bazinului.

Rezultă că alegerea grosimii stratului de apă trebuie să se bazeze pe un compromis între tendința de a menține capacitatea de infiltrare pe un timp cât mai îndelungat și de a asigura o bună epurare mecanică și biologică

e). Infiltrarea apei de suprafață în stratul acvifer se poate face: continuu sau intermitent.

Infiltrarea continuă presupune menținerea unui strat de apă de grosime constantă în bazine și realizarea unui transfer permanent de apă de suprafață, prin straturile acoperitoare, pînă în stratul acvifer. Această situație crează condiții favorabile proceselor de infiltrare-precipitare, de epurare mecanică, epurare biologică. Menținerea, însă, a unui strat de apă de grosime constantă favorizează creșterea plantelor acvatice și în special creșterea algelor specifice apelor stagnante, care provoacă o colmatare rapidă.

Infiltrarea intermitentă presupune funcționarea bazinelor la capacitate un interval relativ scurt de timp, golirea lor rapidă și reluarea ciclului, după ce s-a asigurat drenarea straturilor acoperitoare. În acest caz trebuie să se cunoască bine timpul de infiltrare-precipitare, timpul de drenare al straturilor acoperitoare. Acest procedeu de alimentare constituie un mijloc eficace de combatere a proliferării algelor și deci și a colmatării, fără să fie afectate funcțiile principale ale bazinelor de infiltrare.

f). Alimentarea bazinelor de infiltrare se poate face: continuu sau intermitent, concentrat sau distribuit, cu apă aerată sau neaerată.

Alimentarea continuă sau intermitentă este legată de modul de infiltrare adoptat.



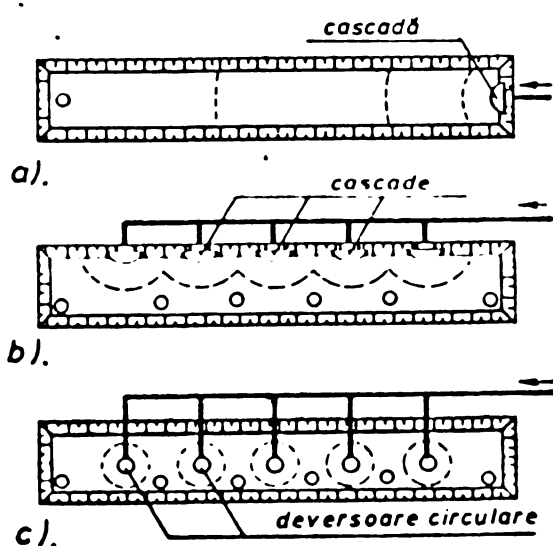


Fig.3.7. Alimentarea bazinelor de infiltrare:  
a. concentrat; b. distribuit;  
c. în bazin

Alimentarea bazinelor în mod concentrat sau distribuit se adoptă în funcție de obiectivul urmărit, Astfel alimentarea concentrată pe una din laturile mici, conduce la un curent continuu de apă, de-a lungul bazinului, la o încărcare și descărcare mai lentă, la un cost mai redus în ce privește instalațiile de distribuție a apei. Alimentarea cu apă în mai multe zone de pe laturile mari ale bazinului permite încărcări și descărcări rapide, însă cu un cost mai ridicat al instalației de distribuție a apei, figura 3.7.

Dacă bazinul are ca funcțiune principală epurarea biologică, pentru mărirea randamentului de epurare, se recomandă aerarea apei. Acest lucru se realizează cu ajutorul unor cascade amplasate în punctele de alimentare, având o cădere de 0,22-0,25 m.

g). Randamentul bazinelor de infiltrare este foarte puțin reflectat în semnalările bibliografice. El ar putea să se refere la o serie de aspecte, ca de exemplu:

- proporția între cantitatea de apă infiltrată și cantitatea de apă captată;
- debitul de apă infiltrată pe unitatea de suprafață a bazinului, în cazul folosirii diferitelor procedee de alimentare și de distribuție;
- gradul de ameliorare a calităților apei introduse în bazinul de infiltrare-epurare;
- variația prețului de cost al apei infiltrate la diferite bazine de infiltrare.

Din toate criteriile de analizare a randamentului bazinelor de infiltrare, doar prețul de cost a constituit un obiect de studiu mai detaliat în [21].

h). Zona nosaturată, cuprinsă între fundul bazinilor de infiltrație și nivelul piezometric al curentului subteran, constituie elementul de legătură între dispozitivul de infiltrație și pânza de apă. Ea are în același timp și un rol de filtrație a apei și de epurare biologică, în care scop se asigură reîmprospătarea cu oxigen prin alimentarea intermitentă.

3.3.2. Exploatarea amenajărilor cu bazine de infiltrație. Se știe că, apele din sursele de suprafață prezintă, în mod natural, variații mari în timp cu privire la conținutul de substanțe în suspensie, temperatură, încărcarea bacteriană. Ele pot fi încărcate și artificial, constant sau periodic, cu o serie de substanțe provenite din activitatea industrială.

Rezultă că, apele din sursele de suprafață trebuie să treacă printr-o tratare prealabilă înainte de a fi infiltrate în sol. În caz contrar există riscul unei colmatari rapide a dispozitivului de infiltrație și chiar de poluare a pânzei subterane.

Tratarea prealabilă constă în reducerea conținutului de suspensii, în desnisipatoare și decantoare, așa fel încât la ieșirea din instalație să nu se depășească 1-10 mg/l. Ea trebuie să fie neutralizată din punct de vedere chimic și chiar să se reducă anumiți compuși chimici care nu pot fi eliminați prin procesul natural de autcepurare. La nevoie se folosesc coagulanți. Apa tratată în prealabil nu se dezinfectează, pentru a nu distruge fauna microbiană care participă în procesele biochimice.

Construcția desnisipatoarelor și decantoarelor poate fi identică cu a lucrărilor similare de la sistemele centralizate de alimentare cu apă. În cele mai multe cazuri se execută însă sub forma unor bazine dreptunghiulare săpate direct în pământ, cu ajutorul mașinilor terasiere. În acest scop se preferă terenurile impermeabile. Bazinole executate în terenuri permeabile se izolează, după săpare, de pânza subterană prin captivitate cu un strat de argilă, ca în figura 3.8.

Apa de suprafață, se desnisipează și decantează. Ea poate fi și numai decantată când nu conține suspensii grosiere, sau când se oprește alimentarea la o anumită turbiditate.

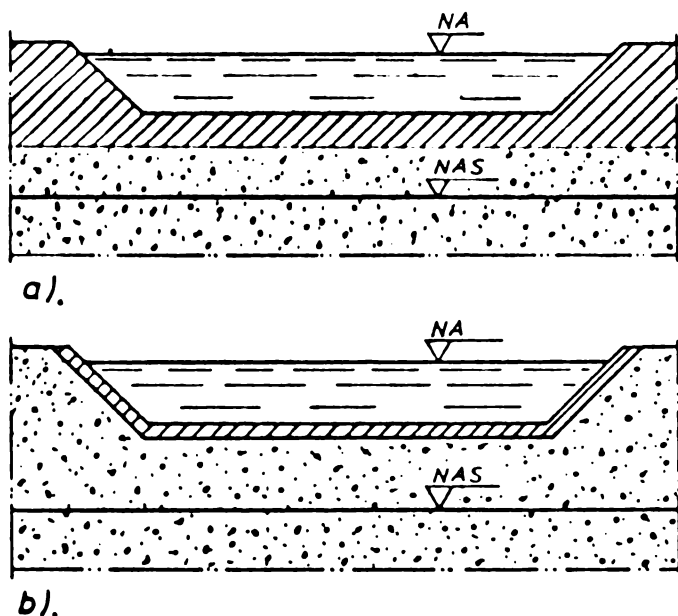


Fig.3.8. Decantoare săpate  
a. în teren impermeabil  
b. căptușite cu argilă

s-a realizat un prefiltru săpat în teren impermeabil cu o suprafață de 4000 m<sup>2</sup>. Bazinul astfel realizat este umplut cu un strat de nisip mărgăritar din albia râului Ruhr, avînd 1,50-1,70 m grosime și diametrul granulelor de 5-12 mm. Stratul de

În decantoare, odată cu limpezirea apei au loc și o serie de procese biochimice. Pentru stimularea acestor procese se face, în prealabil, o aerare puternică prin trecerea apei peste o serie de cascade, de 22-25 cm înălțime.

Rezultate bune se obțin la unele amenajări de alimentare artificială, unde apa este decantată, nisipată și prefiltrată [8], [21]. Așa de exemplu, la amenajările de la Dortmund

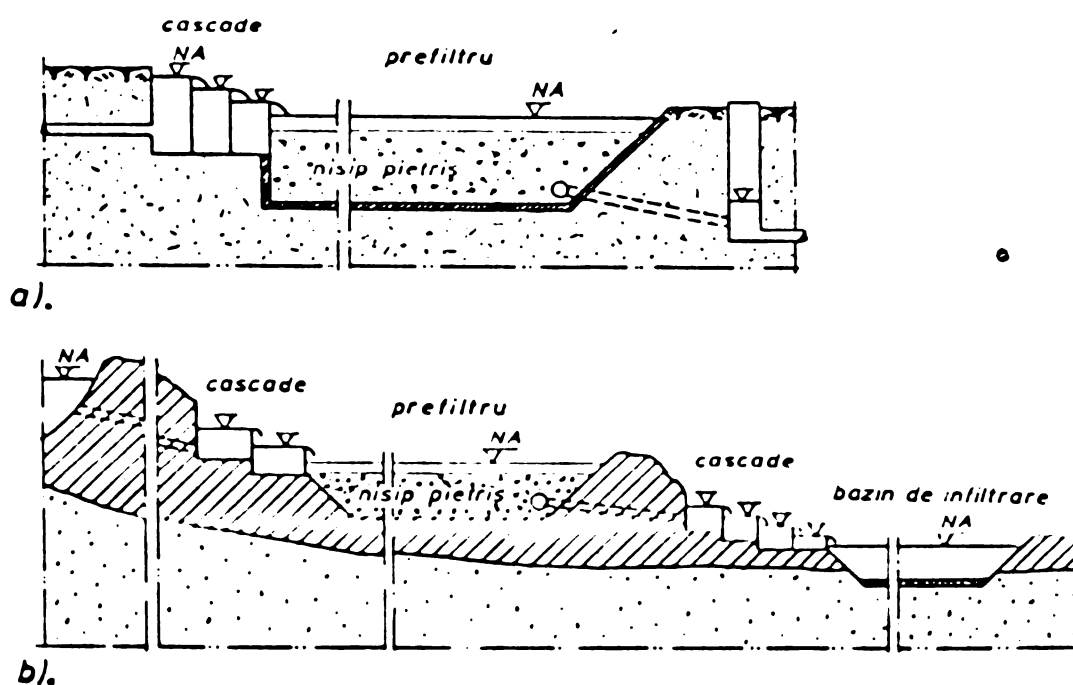


Fig.3.9. Prefiltre realizate în teren:  
a. permeabil; b. impermeabil

schimbă o dată la 3-4 ani. În figura 3.9 se prezintă două variante de prefiltre.

După prefiltrare se face o nouă aerare a apei, după care se descarcă în bazinele de infiltrare.

Asemenea măsuri, deși costisitoare, permit și utilizarea apelor de suprafață cu un grad avansat de poluare, fără să se renunțe la pretențiile calitative ale apelor potabile.

3.3.2.1. Colmatarea bazinelor de infiltrare constituie fenomenul cel mai nedorit din întregul proces de exploatarea al amenajărilor de alimentare tehnică, datorită dificultăților întâlnite la decolmatare. Din experiența de până acum colmatarea bazinelor nu poate fi evitată. Ea poate fi însă diminuată și limitată ca extindere în adâncimea stratului filtrant și a mediului nesaturat permeabil.

Cauzele colmatării sînt multiple. Ele se datorează, în primul rînd, calității apei din bazin, proceselor fizice, biochimice din apă, interacțiunii dintre apă și mediul granular, proceselor biochimice din mediul granular nesaturat, condițiilor climatice locale.

a). Colmatarea datorită substanțelor în suspensie. Cu toate că apa destinată infiltrării este limpezită în desnisipatoare, decantoare și uneori este prefiltrată, substanțele în suspensie rămase în apă conduc la o colmatare superficială sau de adîncime a stratului filtrant.

Intensitatea acestui fenomen depinde de caracteristicile substanțelor în suspensie, de raportul între viteza de sedimentare a particulelor grase și viteza orizontală de antrenare a apei din bazin, de compoziția granulometrică a stratului filtrant.

La început, se depun pe suprafața stratului filtrant particulele mai grosiere și apoi particulele din ce în ce mai fine. Se formează, astfel, un filtru invers capabil să rețină chiar și cele mai fine particule. Cu alte cuvinte se realizează o colmatare superficială. Dacă însă bazinele de infiltrare nu sînt prevăzute cu un strat filtrant sau dacă acesta are o structură granulometrică lacunară, o parte din particulele suspensionale pătrund adînc în mediul poros, înainte de a se forma filtru invers. Acest fapt poate conduce la o colmatare internă și chiar la scoaterea instalației din funcțiune.

Din cele arătate mai sus rezultă necesitatea acordării unei atenții deosebite calității apei de infiltrație și a caracteristicilor hidrodinamice a stratului filtrant.

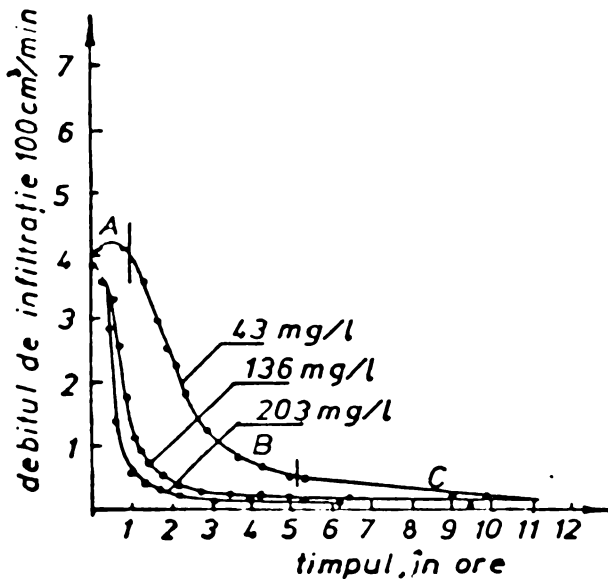


Fig.3.10. Evoluția debitului infiltrat pentru diferite concentrații de material suspensional

Din punct de vedere al procesului de infiltrație, se constată o reducere considerabilă a debitului în perioada de formare a filtrului invers, iar apoi menținerea unui debit relativ constant pe o perioadă lungă de timp.

În figura 3.10 se prezintă observațiile de laborator efectuate de [16], cu privire la evoluția debitului de infiltrație pentru ape cu diferite încărcări.

Modelul hidraulic utilizat a constatat dintr-o coloană cilindrică de 100

cm înălțime și 85 cm diametru, încărcată cu un strat filtrant, alcătuit din nisip calibrat. Apa distilată și dezaerată, folosită, a fost încărcată cu 42 mg/l, respectiv 136 mg/l și 203 mg/l substanțe suspensionale.

Experiența efectuată a permis anumite concluzii:

- apa încărcată puternic cu nămol (mîl) provoacă o colmatare rapidă a straturilor filtrante din nisip grosier cu  $D_{10} = 0,25$  mm;

- apa încărcată cu argilă colmatează repede straturile filtrante mai fine, cu  $D_{10} = 0,10$  mm;

- straturile filtrante alcătuite din nisipuri argiloase naturale se colmatează mai lent.

Evoluția fenomenului de colmatare internă și efectul ei asupra debitului infiltrat a fost studiată și „în situ” la o amenajare din Peoria, situată în lunca râului Illinois [154]. În acest sens a fost amenajat un bazin experimental de 12x20 m.

ce urma să infiltreze apă într-un masiv permeabil de 20 m grosime cu un coeficient de permeabilitate  $k = 3,7 \times 10^{-4}$  m/s, în care s-a dezvoltat o pânză subterană de 10 m grosime.

Observațiile făcute de-a lungul a 7 cicluri, fiecare constând din: încărcarea cu apă a bazinului, o alimentare continuă, descărcarea de apă, curățirea superficială a stratului filtrant. Operațiile desfășurate timp de 200 zile au condus la următoarele concluzii:

- la fiecare ciclu, după aproximativ două săptămâni de infiltrare se formează un depozit foarte fin de sedimente la suprafața stratului filtrant; după două luni peste 90 % din materialul colmatant pătrunde în stratul superior pe primii 5 cm;

- la sfârșitul fiecărui ciclu se formează un filtru invers deasupra stratului filtrant de grosime comparabilă cu zona colmatată din interiorul acestuia, adică în jur de 5 cm;

- debitul infiltrat se reduce la primul ciclu cu circa 0,15 %;

- după fiecare reînnoire a stratului filtrant se ajunge la o restabilire a debitului infiltrat, însă cu o ușoară scădere de la un ciclu la altul, timp de șase cicluri, iar la a șaptea curățire are loc o scădere considerabilă a debitului.

Rezultă că în timpul funcționării bazinelor de infiltrație are loc o colmatare superficială, ce se îndepărtează prin curățirea stratului filtrant, dar și o colmatare internă. Rămân în sarcina specialiștilor din exploatare de a prelungi cât mai mult atingerea unui nivel critic de colmatare internă. Colmatarea bazinelor de infiltrație, deși nu poate fi cuprinsă într-o exprimare matematică precisă, poate fi pusă în legătură cu o relație ce aproximează evoluția vitezei de infiltrație în timp. Astfel după [18], [21], în prima perioadă, adică pentru  $t < 5 D_{10}$ , are loc o descreștere a vitezei de infiltrație; după relația (3.5):

$$v = 4 D_{10} \cdot e^{-\frac{4t}{D_{10}}}, \quad (3.5)$$

unde:  $v$  este viteza de infiltrație exprimată în m/zi,  $D_{10}$  este diametrul eficace, în mm, iar  $t$  timpul în zile.

În perioada următoare, când  $t \geq 5 D_{10}$  viteza de infiltrație descrește după relația:

$$v = D_{10} \cdot e^{-\frac{0,65t}{D_{10}}} \quad (3.6)$$

b). Colmatarea bazinelor datorită algelor. Algele sînt plante inferioare talofite, care se dezvoltă în mod deosebit în apele stătătoare calde și limpezi. Sub acțiunea intensă a luminii naturale se dezvoltă mai ales algele albastre, algele verzi și algele zise de pietriș. Primele plutesc între două ape însă se distrug rapid și se depun pe fundul bazinului. Algele verzi se dezvoltă la suprafața apei, unde formează un covor verde. Ultimele se dezvoltă pe fundul bazinelor puțin adînci, motiv pentru care se numesc alge de nisip.

Alături de alge, în apă, se mai dezvoltă și alte plante inferioare (diatomee, flagelate), care plutesc pasiv în bălți, lacuri, mări, oceane și care formează fitoplanctonul, caracterizat prin conținutul de clorofilă, capacitatea de fotosinteză a substanțelor organice, producerea de mari cantități de oxigen.

Dezvoltarea fitoplanctonului ca și a zooplanctonului în bazinele de infiltrare favorizează procesele de autoepurare biochimică. Din păcate însă, mai ales algele proliferază rapid și provoacă o colmatare intensă a straturilor filtrante. Pînă în prezent nu se cunosc metode care să distrugă complet algele, fără să dăuneze calităților apei.

În lupta împotriva proliferării algelor s-au imaginat o serie de procedee, cum ar fi:

- tratarea apei cu substanțe algicide, care însă alterează calitățile apei;
- asigurarea curgerii continue a apei în bazine de infiltrare parțial sumersate;
- provocarea unor șocuri hidraulice, prin alimentarea intermitentă a bazinelor;
- mărirea rapidă a grosimii stratului de apă și în consecință reducerea luminozității naturale în adîncime;
- curățirea periodică pe cale mecanică a masei de alge.

c). Colmatarea bazinelor datorită activității bacteriene. În literatură se semnalează și faptul că prezența bacteriilor în stratul filtrant poate provoca o colmatare

considerabilă [21]. Nu se știe însă dacă efectul colmatant se datorează numai degajării de bioxid de carbon în procesul lor vital sau și altor cauze. Se presupune că interstițiile dintre granule sînt, în parte ocupate de bioxidul de carbon degajat, cît și de însăși cultura de bacterii.

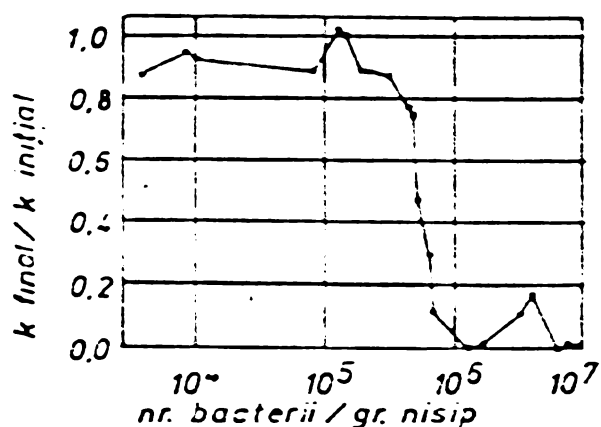


Fig. 3.11. Variația conductivității hidraulice în funcție de conținutul în bacterii

încearcă stabilirea unui echilibru între calitățile fizice, chimice și bacteriologice ale apei de infiltrație în interacțiune cu mediul granular și factorii meteorologici locali.

În ansamblul unei amenajări de alimentare artificială a unui strat acvifer, bazinele de infiltrație constituie dispozitivul de bază, care asigură infiltrația apei în sol. Ele au rol de infiltrație, sau rol de infiltrație-epurare. Soluția constructivă și tehnologia de exploatare a bazinelor sînt legate de rolul principal atribuit. De cele mai multe ori se preferă un compromis între interesele de infiltrație și interesele de epurare.

Din experiența amenajărilor aflate în funcțiune se desprinde tendința folosirii:

- bazinelor de infiltrație "lente", avînd grosimi relativ mari ale stratului de apă, de 4-6 m, cu rol principal de epurare, ce se realizează prin flora și fauna din masa lichidă;
- bazine de infiltrație "rapide", avînd grosimi mici ale stratului de apă, de 0,15-1,50 m, cu rol principal de infiltrație; epurarea făcîndu-se în stratul filtrant și în terenul

În figura 3.11 se prezintă un grafic privind variația conductivității hidraulice a unui strat filtrant, în funcție de încărcarea bacteriană a apei de infiltrație [21]. O analiză, chiar și numai sumară a acestui grafic evidențiază dependența clară între cei doi parametri.

3.3.2.2. Exploatarea bazinelor de infiltrație. După [21] un bazin de infiltrație constituie o veritabilă "uzină de tratare a apei", în care se



nesaturat percolat de apă.

De asemenea, se observă o tendință de pretratare a apei în decantoare săpate în teren impermeabil, unde are loc un proces complex fizic de limpezire și de oxidare biochimică, în prezența unei faune și flore dezvoltate. Pentru favorizarea proceselor biochimice se practică uneori lagunarea, adică stagnarea apei în bazin timp de 2-3 săptămâni.

Dacă se urmărește infiltrarea unor cantități mari de apă se iau măsuri contra colmatării timpurii a bazinelor, cum ar fi:

- măsuri constructive, constând din proiectarea unor bazine parțial sumersate, cu strat gros de apă, cu strat filtrant, cu alimentare intermitentă;

- măsuri de exploatare, constând din pretratarea apei, întreținerea sistematică a fundului bazinului și stratului filtrant.

Apa de suprafață, destinată infiltrării în sol, nu trebuie să conțină substanțe în suspensie, substanțe poluante ale pânzei subterane, sau să fie incompatibilă cu apa de zăcămint.

Aparent exploatarea bazinelor de infiltrare este foarte simplă. Un ciclu complet de exploatare constă din:

- pregătirea bazinului și instalațiilor hidraulice;
- umplerea cu apă și menținerea unui nivel constant, printr-o alimentare continuă;
- oprirea alimentării și evacuarea totală a apei din bazin;
- curățirea bazinului și stratului filtrant.

Această exploatare, simplă în aparență, a făcut ca la multe amenajări să se urmărească menținerea cu orice preț a unor debite de infiltrare mari, neglijându-se colmatarea internă, existând un risc potențial de compromitere a întregii amenajări.

În realitate, exploatarea bazinelor de infiltrare ar trebui să se facă sub o supraveghere atentă, atât în ce privește procesele fizice ce au loc cât și procesele de oxidare biochimică. Să existe o preocupare permanentă pentru reducerea timpului la operațiile pregătitoare, la curățire și să se prelungească durata de funcționare. Să se urmărească atent modul de formare și de maturizare a "filtrului invers".

Din cele de mai sus rezultă că, stabilirea ciclului de funcționare a unui bazin de infiltrație este o chestiune de mare răspundere. Durata de funcționare urmează să fie așa fel aleasă încât să se mențină debite de infiltrație ridicate, fără să se compromită procesele biochimice de oxidare, care asigură calitatea infiltratului. Cu alte cuvinte durata de funcționare trebuie să se stabilească pe criterii tehnico-economice.

În practică, mărirea duratei de exploatare se realizează pe mai multe căi:

- pretratarea apei;
  - diminuarea efectului colmatării prin mijloace mecanice (afinare, aerare);
  - menținerea unui covor vegetal anticolmatant și antipoluant (iarbă Bermuda, stuf scirpus lacustris-pipirig);
  - popularea bazinului cu animale acvatice rămătoare (pești);
  - colectarea și evacuarea algelor la momentul optim.
- Întreținerea propriu-zisă a bazinelor de infiltrație se poate realiza prin:

- răzuirea stratului colmatant, adică a filtrului invers format din suspensiile decantate pe fundul bazinului, asociată cu îndepărtarea stratului filtrant pe o adâncime de circa 5 cm;

- înlocuirea completă a stratului filtrant cu material granular nou sau cu material recuperat prin spălare.

3.3.2.3. Aspecte economice cu privire la exploatarea amenajărilor de alimentare tehnică. Analiza prețului de cost a apei furnizate de amenajările de alimentare tehnică este foarte rar prezentă în literatura de specialitate.

Se știe că soluțiile adoptate pentru alimentarea tehnică a straturilor acvifere depind de foarte mulți factori. Acest fapt conduce la imposibilitatea unei comparații riguroase între două sau mai multe amenajări. Astfel, dacă admitem existența a două amenajări identice, prima amplasată pe un teren neproductiv, iar a doua pe un teren cu potențial agricol ridicat, prețul de cost al apei poate să difere mult, datorită costei diferite de amortizare a terenului.

Mai jos, se prezintă cu titlu informativ, structura investițiilor și a cheltuielilor anuale la câteva amenajări de acest gen:

- Amenajarea de la Băle, realizată în 1957, prezenta în 1963 următoarea structură a investițiilor [20]:

- dispozitivul de pompare a apei brute 7,0%
- instalații de pretratare 30,7%
- aducțiunea apei filtrate 14,0%
- dispozitivul de infiltrație, alcătuit

din 3,5 km șanțuri de infiltrație și 4 bazine cu o suprafață de 2600 m<sup>2</sup>

- captări prin puțuri 7,0%
- rezervoare de apă și pompe 26,8%
- 14,5%

Total: 100 %

- Amenajările de infiltrații prin bazine de la Los Angeles County, analizate la diferite etape, prezintă următoarea structură a cheltuielilor componente ale costului apei [160]:

Amenajarea	Rio Hondo Sawpit (170 ha)	Pacoina (4,6 ha)	Santa Fé (70 ha)	Santa Fé (77 ha)
Perioada cercetată	1937-60 (%)	1946-60 (%)	1936-60 (%)	1956-60 (%)
Amortizarea terenului	17,8	8,1	7,2	-
Amenajarea bazinelor și lucrărilor principale	38,9	44,4	38,9	27,8
Cheltuieli de exploatare	26,7	30,3	38,9	67,9
Cheltuieli de întreținere a plajei de infiltrație	8,3	10,1	9,7	3,1
Reparații	8,3	7,1	5,3	1,2
<b>T o t a l:</b>	100,0	100,0	100,0	100,0

- Amenajările din Peoria (Illinois), care cuprind două bazine de infiltrație, au făcut obiectul unui studiu economic pe o perioadă de 5 ani. În primii doi ani a funcționat numai un bazin de 12 x 20 m<sup>2</sup>, iar în următorii ani și al doilea bazin 6 x 22,5 m<sup>2</sup>. Structura cheltuielilor de întreținere în această perioadă a fost [160]:

Cheltuieli anuale	Bazinul 1		Bazinele 1 și 2		
	1954-55	1955-56	1956-57	1957-58	1958-59
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
- Salarii personal	66,9	61,6	57,0	60,7	59,1
- Cheltuieli					
apă	3,0	3,3	2,9	3,0	6,1
electricitate	1,8	2,1	10,9	11,4	9,9
gaz	1,3	1,1	0,6	0,7	0,7
decolmatare	16,3	14,5	8,6	-	-
diverse	0,2	0,9	3,1	5,8	6,1
pretratare chimică	10,5	16,4	16,9	18,3	18,1
echipament	-	0,1	-	0,1	-
<b>T o t a l:</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Din analiza exemplurilor prezentate, privind structura investițiilor și structura cheltuielilor anuale, se observă variații mari de la o amenajare la alta, precum și la aceeași amenajare de la o perioadă la alta. Acest lucru era de așteptat deoarece fiecare amenajare constituie un caz în sine.

#### 3.4. Concluzii generale

Amenajările de alimentare tehnică a pînzelor de apă subterană constituie un mijloc sigur și eficace, pentru stimularea transferului de apă de suprafață în straturile acvifere. Astfel, dintr-o apă cu calități foarte variabile în timp se obține, prin mijloace simple și economice, un amestec de apă subterană și apă de infiltrare cu calități superioare.

În prezent, cu ajutorul amenajărilor de alimentare tehnică se realizează o serie de obiective privind:

- ameliorări calitative ale apei;
- ameliorări cantitative;
- stocarea sezonieră a apei;
- transportul apei la distanță etc.

Amenajările de alimentare artificială pot fi executate:

- pe lângă construcții și instalații existente de captare a apei subterane;

- în paralel cu construcții și instalații noi;
- independent, cu scopul stocării sau transportului apei la distanță.

În acest fel se asigură refacerea pânzelor de apă subterană supraexploatate, mărirea debitului captabil la instalațiile existente, crearea de noi pânze de apă în vederea captării etc.

Amenajările de alimentare tehnică se compun, în principiu, din:

- construcții și instalații de captare a apei de suprafață;
- stație de tratare prealabilă;
- stație de pompare;
- canale și conducte de transport;
- dispozitive de infiltrație a apei.

Cea mai mare parte a acestor construcții și instalații sînt identice cu construcțiile și instalațiile similare de la alimentările cu apă. Fac excepție o parte din stația de tratare și dispozitivele de infiltrație, care sînt specifice amenajărilor de alimentare tehnică.

Dispozitivele de infiltrație a apei în sol diferă de la o amenajare la alta, în funcție de condițiile hidrogeologice locale, între care pe primul loc se situează poziția stratului acvifer. Astfel se întîlnesc:

- metode de infiltrație de suprafață, în care se folosesc bazine de infiltrație, fose de infiltrație, canale, șanțuri, inundare generală;

- metode de infiltrație subterană, bazate pe aportul puțurilor de infiltrație, forajelor, drenurilor și galeriilor.

Metodele de infiltrație de suprafață, pe lîngă dezavantajul ocupării unor suprafețe mari de teren, prezintă avantajul accesului ușor la dispozitivele active de infiltrație și posibilitatea întreținerii lor cu mijloace mecanizate. Ocuparea unor suprafețe de teren și scoaterea lui din circuit agricol este, de altfel, necesară și pentru protecția instalațiilor de captare.

Bazinele de infiltrație, cel mai des întîlnite, se prezintă sub forma unei game foarte variate de soluții, privind:

- forma și dimensiunile bazinelor;
- caracteristicile geometrice și hidraulice ale stra-

tului filtrant de nisip;

- grosimea stratului de apă;
- modul de alimentare;
- căile de mărire a randamentului bazinelor.

Tot mai multe semnalări bibliografice pun accent pe tehnologia de exploatare și de întreținere a bazinelor de infiltrare cu dublu rol: de infiltrare și de epurare. În acest sens se acordă tot mai multă atenție măsurilor de mărire a duratei de funcționare, prin diminuarea efectului colmatării superficiale și evitarea colmatării interne de adâncime.

## C a p i t o l u l 4

### STUDIUL METODELOR UTILIZATE LA DIMENSIONAREA BAZINELOR DE INFILTRARE

Amenajările sistematice de alimentare tehnică a pînzilor de apă subterană sînt cunoscute și aplicate de mult timp. Cu toate acestea, se poartă încă discuții cu privire la unele elemente constructive și de exploatare ale bazinelor de infiltrație. Nu se cunosc metode de dimensionare hidraulică a bazinelor de infiltrație, decît pentru un număr redus de cazuri mult simplificate.

Această situație se datorește complexității fenomenului de infiltrație-percolare-filtrație, influenței factorilor locali, rolului de infiltrație-epurare atribuit bazinelor de infiltrație. Ea se datorează și faptului că în majoritatea cazurilor se execută bazine de infiltrație, pentru refacerea pînzilor supraexploatate sau pentru sporirea debitului captat, fără să existe o preocupare corespunzătoare pentru studierea fenomenelor hidraulice și evoluția lor în timp.

În lipsa unor metode de dimensionare hidraulică, bazate pe cunoașterea fenomenelor complexe hidraulice de infiltrație-percolare-filtrație, unii autori [21]; [88]; [100]; [109]; [110]; [112]; [130]; [138]; [168] etc. recomandă folosirea relațiilor de calcul utilizate la fenomene similare, întîlnite în amenajările de alimentare cu apă, ca mijloc de predimensionare a bazinelor de infiltrație.

#### 4.1. Schematizarea fazelor de scurgere sub bazinele de infiltrație

În capitolele 2 și 3 s-au prezentat diferitele aspecte ale fenomenului de transformare a apei de suprafață spre pînză de apă subterană. Asupra lor nu se mai revine decît în măsura în care este necesar pentru jalonarea metodelor utilizate la predimensionarea bazinelor de infiltrație.

Procesul de infiltrație începe odată cu alimentarea bazinei de infiltrație și continuă atîta timp cît există apă în el. Se crează, astfel, un front de avansare a apei prin str.

tul filtrant și care continuă apoi prin mediul poros natural, pînă la atingerea nivelului liber al pînzei de apă subterană.

Din momentul în care frontul de avansare a apei de infiltrare atinge terenul natural, de la baza dispozitivului de infiltrare, începe un proces de percolare, cuprins între fundul bazinului și nivelul piezometric a pînzei de apă subterană.

Procesul de filtrare începe din momentul în care frontul de avansare a apei atinge suprafața liberă a pînzei de apă subterană.

În continuare, se instalează un proces complex de infiltrare-percolare-filtrare, care continuă pînă la oprirea alimentării cu apă a bazinului.

Mișcarea apei în procesul de infiltrare are loc după direcții perpendiculare pe fundul și taluzele bazinului. În procesul de percolare are loc o mișcare gravitațională, după o direcție dominantă verticală, iar în timpul filtrării mișcarea se face după o direcție dominantă orizontală.

Viteza de infiltrare depinde, în primul rînd, de caracteristicile hidrodinamice ale stratului filtrant, cu care se cîptușește bazinul și de gradul de maturizare a filtrului alcătuit din suspensiile reținute la suprafață a acestui strat. Ea depinde însă, în mare măsură, și de procesele de scurgere din stratul permeabil percolate, precum și de timp. La început atît viteza de infiltrare, ca și viteza de percolare sînt mai mici, iar ulterior cresc. Această situație se datorează faptului că în timpul avansării frontului de apă se crează un contracurent de aer eliminat din porii terenului, la care se asociază și o umflare a particulelor argiloase. După eliminarea aerului din porii terenului se instalează o scurgere favorabilă atingerii unor viteze optime de infiltrare și de percolare. Ele se mențin relativ ridicate pînă la maturizarea membranei biologice și colmatarea internă superficială a stratului filtrant, cînd se înregistrează o scădere rapidă.

Din cercetările de laborator, citate de [21], mișcarea apei infiltrate către pînza de apă subterană trece, în timp, prin trei faze distincte, exemplificate în figura 4.1:

- faza 1: avansarea frontului de apă, caracterizată printr-o scurgere gravitațională în contracurent cu aerul din



porii terenului, cu tendință de ridicare - are loc o scurgere prin mediu nesaturat;

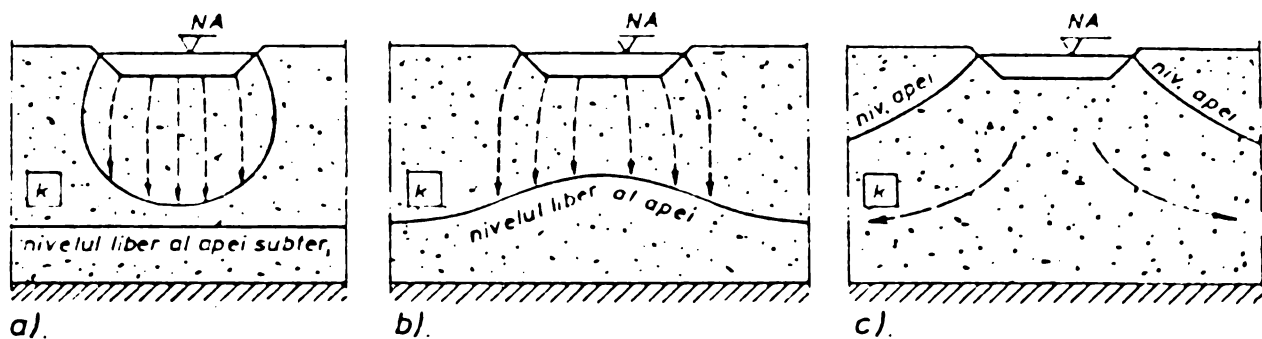


Fig.4.1. Schema scurgerii apei de infiltrare

- faza 2: scurgerea mixtă, caracterizată printr-o mișcare de percolare în mediul nesaturat, cuprins între fundul bazinului și suprafața liberă a pânzei subterane și o scurgere în mediu saturat, situat sub nivelul liber al apei;

- faza 3: filtrația apei de alimentare, caracterizată printr-o mișcare de tip orizontal în mediu saturat a apei de infiltrare împreună cu apa subterană de zăcămînt.

Faza 1 de scurgere începe odată cu alimentarea bazinului și se încheie cînd frontul de apă atinge suprafața liberă a apei subterane.

Faza 2 de scurgere prezintă unele particularități:

- Dacă stratul acvifer are o capacitate de filtrare mare, în comparație cu capacitatea de infiltrare și de percolare a straturilor acoperitoare, se stabilește o scurgere permanentă de tipul celei arătată în figura 4.1.b. Stratul acvifer preia toată apa din percolație, în timp ce nivelul liber al apei subterane se supraînalță în zona de sub bazin și formează un dom de masă lichidă. Domul astfel format, continuă să se ridice pînă se realizează un echilibru hidrodinamic între cantitatea de apă de alimentare și capacitatea de drenare a mediului poros din interiorul domului, apoi stagnează. Cînd alimentarea bazinului se oprește, cantitatea de apă de percolare scade treptat, iar nivelul liber supraînalțat al apei din dom revine încet la poziția inițială.

- Dacă stratul acvifer are o capacitate de filtrare mai redusă, nivelul liber al apei subterane continuă să se ri-

dice pînă atinge fundul bazinului și chiar nivelul liber al apei din bazin. In acest fel este posibilă a echilibrare a fenomenului de scurgere, caracterizată de o creștere a capacității de filtrare a mediului poros, asociată cu o scădere considerabilă a debitului de infiltrare. In figura 4.1.c se schițează o asemenea situație.

Din punct de vedere al debitului introdus în sol, primul caz este net mai favorabil infiltrării; gradientul hidrolic capătă valoare maximă ( $i \equiv 1$ ), iar debitul specific infiltrat  $q = k_v$ .

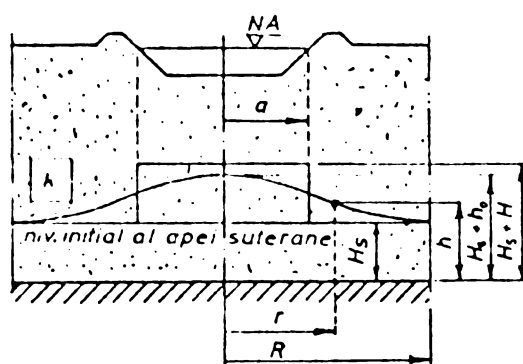


Fig.4.2.Studiul domului piezometric

a). La creșterea domului

$$h_0 = \frac{1}{R} t \left[ 1 - e^{-u_1} + u_1 \int_0^{\infty} \frac{e^{-u} du}{u} \right] \quad (4.1)$$

în care:  $i$  este debitul specific de apă infiltrată, exprimat în m/zi,  $R$  este coeficientul de umplere,  $a$  este raza bazinului de infiltrație, în m, iar  $k_0$  coeficientul de permeabilitate orizontală-filtrare, în m/s. Pentru  $u_1$  și  $\alpha$  se dau expresiile

$$u_1 = \frac{a^2}{4\alpha t} \quad , \quad \alpha = \frac{k_0 \cdot H_s}{R} \quad .$$

Înălțimea  $H_s$  reprezintă distanța între stratul impermeabil și nivelul inițial al oglinzii apei subterane, inclusiv zona de umidificare datorată capilarității.

b). La coborîrea domului

$$h_0 = H \left[ 1 - e^{-u_1} \right] \quad (4.2)$$

Relația (4.1) a dat bune rezultate și în cazul unui bazin din California, de formă pătratică avînd latura de 88,5 m. Relația (4.2) prezintă unele abateri față de rezultatele de pe

teren, deoarece nu ține seama de scurgerea întârziată a apei deasupra domului [19].

Din cele de mai sus, se desprinde faptul că mișcarea apei de transfer de la suprafața terenului către o pânză de apă subterană este o mișcare complexă în spațiu. În consecință, relațiile exacte de calcul hidraulic ar trebui să țină seama de acest lucru. Din păcate acest lucru este foarte dificil, motiv pentru care se încearcă rezolvarea problemelor pe baza unor ipoteze simplificatoare.

#### 4.2. Reflectarea elementelor geometrice și hidraulice ale bazinelor de infiltrație asupra debitului infiltrat

Numărul mare de amenajări de alimentare tehnică a pânzelor de apă subterană au permis, în oarecare măsură, formularea influenței elementelor geometrice și hidrodinamice ale bazinelor asupra cantității de apă introdusă în sol.

4.2.1. Adâncimea inițială a nivelului liber a apei subterane influențează direct asupra debitului de apă infiltrat.

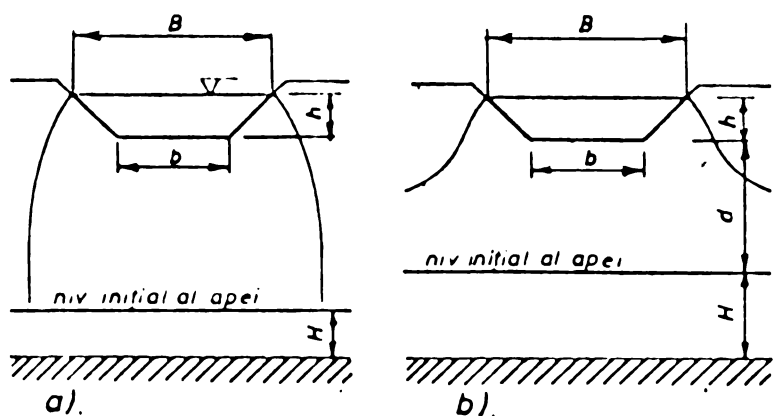


Fig.4.3. Poziția apei subterane

filtrare, în care domină mișcarea verticală de percolare, sub un gradient hidraulic  $i = 1$ . Debitul este condiționat de permeabilitatea stratului filtrant și a straturilor acoperitoare. După [8]; [21]; [40]; [101]; [122]; [123] are loc o infiltrație mai ales prin fundul bazinului, motiv pentru care debitul se consideră proporțional cu suprafața acestuia:

$$Q_1 = 3 k i ,$$

Se întâlnesc pânze de apă subterană, cu nivelul liber situat la adâncime mare sau apropiată de suprafața terenului, figura 4.3.

- În cazul pânzei de apă subterană situată la adâncime mare se formează un curent de infiltrație-percolare

unde:  $i$  =  $l$  reprezintă gradientul hidraulic,  $k$  este coeficientul de permeabilitate al stratului filtrant, în m/s și  $S$  suprafața bazinului, în  $m^2$ .

După [88] debitul de apă infiltrată ar trebui să se determine din relația:

$$Q_1 = k b L \frac{h + d}{d}, \dots$$

în care s-au păstrat notațiile din figura 4.3.b.

▼ În cazul pânzei de apă subterană, situată la mică adâncime, are loc o mișcare în care fenomenele de infiltrare și de filtrare devin dominante. Intensitatea infiltrării prin fundul bazinului se reduce treptat, odată cu micșorarea diferenței între nivelurile apei din bazin și din strat. Debitul infiltrat prin taluze, deși scade, capătă o pondere din ce în ce mai mare. După [8]; [21]; [122]; [123] debitul de apă infiltrată prin taluze, pe unitatea de lungime și unitatea de timp

$$q_1 = \frac{1}{2} (h + D) \sqrt{k n \frac{h + D + H}{t}};$$

în care:  $n$  reprezintă porozitatea terenului,  $t$  timpul de ajungere a apei din bazin în pânza subterană (infiltrare + percolare),  $h$ ,  $D$ ,  $H$  se dau în figura 4.3.b.

Distanța  $D$  se ia cu semnul plus, când nivelul apei subterane se găsește sub fundul bazinului și cu semnul minus când se găsește deasupra lui, fără să depășească însă nivelul apei din bazin.

4.2.2. Grosimea stratului de apă din bazin are influență, mai ales, asupra proceselor de autoepurare. Aparent debitul de apă infiltrată ar trebui să crească atunci când crește grosimea stratului de apă din bazin. În realitate grosimea stratului de apă influențează în mică măsură. Ea poate fi și defavorabilă sporirii debitului infiltrat, datorită tasării stratului filtrant sub greutatea apei de deasupra.

4.2.3. Forma bazinului se alege pe criterii tehnico-economice, în funcție de condițiile locale și în special de poziția apei subterane:

- dacă apa subterană se găsește la adâncime mare, se recomandă o formă circulară, pătrată, așa fel încât să ofere o plajă de infiltrare cât mai mare la o lungime totală a taluzelor minimă;

- dacă apa subterană se găsește la o adâncime mică, se recomandă formele alungite, astfel încât suprafața totală de infiltrare a taluzelor să fie maximă, în timp ce suprafața luciului apei este minimă.

4.2.4. Caracteristicile geometrice ale stratului filtrant influențează mai mult asupra măririi duratei de exploatare a bazinului. Până în prezent, așa cum s-a mai arătat, s-a ajuns la anumite concluzii asupra elementelor geometrice ale stratului filtrant.

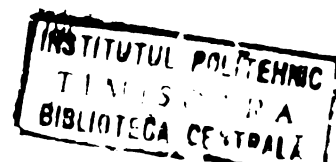
#### 4.3. Dimensionarea bazinelor cu ajutorul unor relații cunoscute la fenomene similare

Procesul de infiltrare-percolare-filtrare este influențat de o serie de factori care dau acestui fenomen un caracter cvasi-aleator. Acest lucru justifică tendința unor autori de a recomanda predimensionarea bazinelor de infiltrare, cu ajutorul unor relații cunoscute, ce reflectă fenomene similare. La noi, o serie de specialiști recunoscuți pe plan intern și chiar și internațional recomandă considerarea unor tipuri de bazine de infiltrare dreptunghiulare, predimensionate cu ajutorul relațiilor cunoscute de la fenomene similare [100]; [112]; [116]; [142]; [166]; [168].

Intre fenomenele hidraulice similare, studiate și citate în literatura de specialitate, care pot fi folosite la predimensionarea bazinelor de infiltrare, se amintesc:

- infiltrația apei din canale către medii permeabile;
- infiltrația apei prin malul râurilor către drenurile de captare;
- infiltrația apei prin malurile râurilor către puțurile de captare;
- mișcarea apei către drenuri de lungime finită, etc.

4.3.1. Exfiltrarea apei din canale către medii permeabile, a fost studiată mai ales sub aspectul pierderilor de apă din canalele de irigație. Astfel, în [39] care citează un mare număr de cercetători sovietici, se arată că problema exfiltrăției dintr-un canal de irigație poate fi rezolvată cu ajutorul complexului Jukovski. Același lucru s-a obținut și de alți autori [40]; [101] însă folosind o metodă generală de scurgere prin medii poroase.



Aceste rezolvări prezintă interes la predimensionarea bazinelor de infiltrație dreptunghiulare foarte alungite, când se poate neglija infiltrația prin taluzele laturilor mici, iar apa subterană se găsește la adâncime mare. Ele vizează secțiuni transversale: curbe, trapezoidale, triunghiulare, ca în figura 4.4.

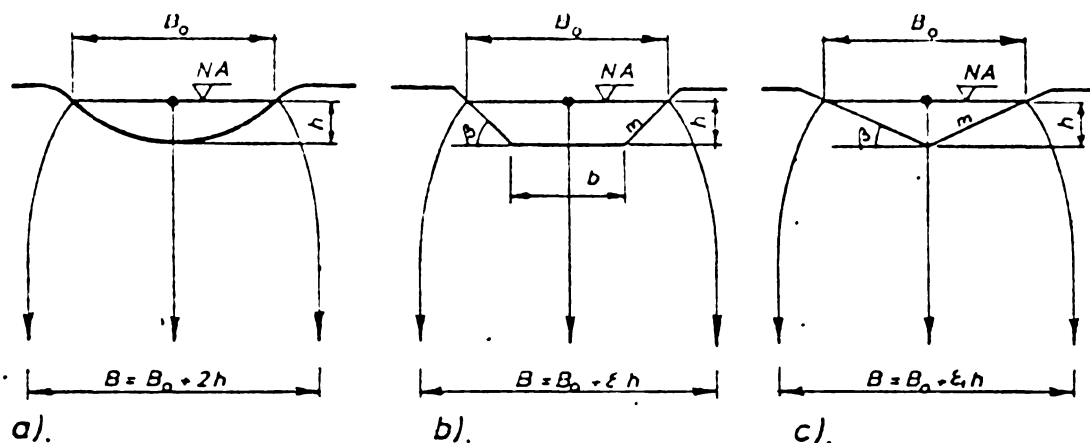


Fig.4.4. Infiltrația din canale:  
a. semicirculară; b. trapezoidale;  
c. triunghiulare

În cazul canalelor săpate într-un teren permeabil, ce poate fi considerat omogen și izotrop, debitul infiltrat pe unitatea de lungime de canal, se calculează cu ajutorul relațiilor de mai jos. Astfel pentru:

- secțiuni transversale curbe,

$$q = k (B_0 + 2 h) \quad (\text{m}^3/\text{s}/\text{m}) ; \quad (4.3)$$

- secțiuni transversale trapezoidale

$$q = k (B_0 + \epsilon h) \quad (\text{m}^3/\text{s}/\text{m}) ; \quad (4.4)$$

- secțiuni transversale triunghiulare

$$q = k (B_0 + \epsilon_1 h) \quad (\text{m}^3/\text{s}/\text{m}) \quad (4.5)$$

În relațiile (4.3), (4.4), (4.5) s-a notat cu  $k$  coeficientul de infiltrație, cu  $B_0$  și  $h$  elementele geometrice arătate în figura 4.3.a,b,c. Coeficienții  $\epsilon$  și  $\epsilon_1$  capătă diferite valori în funcție de panta taluzelor  $m$ , raportul dintre lățimea și adâncimea apei din canal  $B_0/h$ .

Valorile coeficientului  $\epsilon$ , prelucrate după [141] se prezintă în graficul din figura 4.5, iar valorile lui  $\epsilon_1$  se calculează pe baza relației (4.6) [173]:

$$\varepsilon_1 = 1,17 + 0,676 \beta, \quad (4.6)$$

în care unghiul  $\beta$  se introduce în radiani.

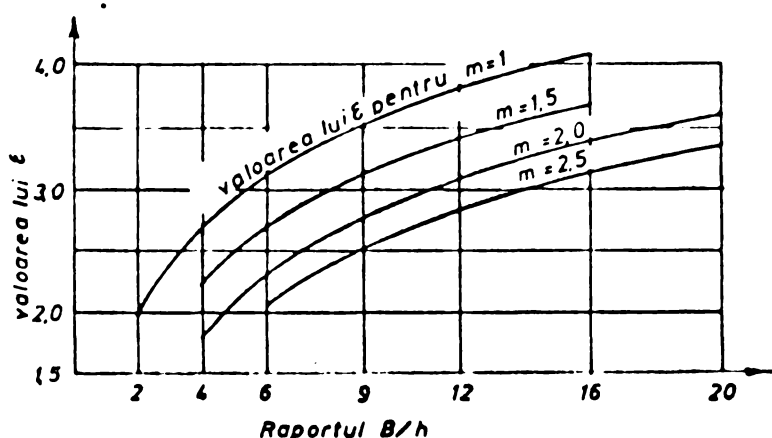


Fig.4.5.Valoarea coeficientului  $\varepsilon$

Fundamentarea matematică a expresiei debitului de infiltrare și percolare (4.3), (4.4), (4.5), ca și studiul rețelei hidrodinamice de scurgere, se exemplifică pentru primul caz.

În acest scop se consideră un canal de lungime infinită avînd

o secțiune transversală curbă, cu lățimea oglinzii apei  $B_0$  și adîncimea maximă  $h$ , figura 4.6. Canalul este săpat într-un mediu permeabil omogen și izotrop, avînd o grosime infinită. Apa subterană se găsește la adîncime mare.

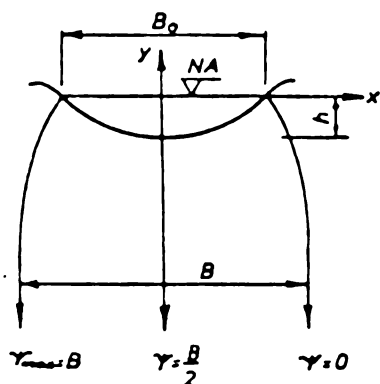


Fig.4.6.Schemă de calcul

Calculul cantităților de apă exfiltrată din canal se poate determina suficient de precis prin metode obișnuite. Însă studiul rețelei hidrodinamice de scurgere poate fi efectuat numai cu ajutorul teoriei potențialului complex.

În acest scop se consideră o funcție implicită [41]:

$$z = -h \exp\left[\frac{\pi W}{B}\right] + iW + \frac{B}{2} \quad (4.7)$$

în care:  $W = \varphi + i\psi$ , iar  $B$  și  $h$  sînt elemente arătate în figura 4.6.

Separînd partea reală de partea imaginară se obține:

$$x = -h \exp\left[\frac{\pi \varphi}{B}\right] \cos \frac{\pi \psi}{B} - \psi + \frac{B}{2} \quad (4.8)$$

și

$$y = -h \exp\left[\frac{\pi \varphi}{B}\right] \sin \frac{\pi \psi}{B} + \varphi. \quad (4.9)$$

Dacă introducem  $\psi = 0$  în expresiile (4.8), (4.9) se obține:

$$x = -h \exp \left[ \frac{\pi \Psi}{B} \right] + \frac{B}{2} \quad (4.10)$$

și

$$x = \varphi = z. \quad (4.11)$$

Expresia (4.10) constituie funcția liniei de curent zero ( $\Psi = 0$ ), deoarece  $y = \varphi = z$  reprezintă condiția de existență a suprafeței libere a apei.

Considerând  $\Psi = B$ , din aceleași expresii (4.8), (4.9) rezultă:

$$x = -h \exp \left[ \frac{\pi \Psi}{B} \right] - \frac{B}{2} \quad (4.12)$$

și

$$y = \varphi = z; \quad (4.13)$$

de unde se vede clar că pentru  $\Psi = 0$  și  $\Psi = B$  se obțin expresiile (4.10) și (4.12) simetrice în raport cu axa  $Oy$ , care reprezintă ecuațiile liniilor de curent extreme ale curentului format prin percolare.

Acest lucru se confirmă, în plus, dacă luăm  $\Psi = B/2$ , de unde:

$$x = 0 \quad (4.14)$$

și

$$y = -h \exp \left[ \frac{\pi \Psi}{B} \right] + \varphi \quad (4.15)$$

Suprafața curbă a canalului reprezintă o linie echipotențială  $\Psi = 0$ . În adevăr, din (4.11) și (4.13) pentru  $y = 0$ , rezultă că și  $\varphi = 0$ , iar din (4.15) pentru  $\varphi = 0$  se obține  $y = -h$ .

Ecuația suprafeței echipotențiale zero, se obține, tot din (4.8) și (4.9) dacă facem  $\Psi = 0$ , ceea ce conduce la:

$$x = -h \cos \frac{\pi \Psi}{B} - \Psi + \frac{B}{2} \quad (4.16)$$

$$y = -h \sin \frac{\pi \Psi}{B} \quad (4.17)$$

Lățimea oglinzii apei rezultă din (4.16) și (4.17) în care se ia  $y = 0$  și  $0 < \Psi < B$ . Astfel, pentru:

$$- \Psi = 0, \text{ rezultă } x_1 = \frac{B}{2} - h \quad ; \quad (4.18)$$

$$- \Psi = B, \text{ rezultă } x_3 = -\frac{B}{2} + h, \quad (4.19)$$

de unde:  $B_0 = x_1 + x_3 = B - 2h$ , adică

$$B = B_0 + 2h. \quad (4.20)$$



Cantitatea de apă percolată, pe unitatea de lungime a canalului, poate fi calculată din considerarea scurgerii la adâncime, unde liniile de curent sînt verticale și în consecință liniile echipotențiale sînt horizontale. Pe aceste considerente  $\varphi = y$  iar  $\text{grad } \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial y} = 1$ .

Conform legii lui Darcy:

$$Q = -k B \text{ grad } \varphi = -k B, \quad (4.21)$$

sau

$$Q = -k (B_0 + 2h). \quad (4.22)$$

Distribuția vitezei pe conturul perimetrului udat al secțiunii curbe, se obține din (4.16), (4.17) și (4.21), în baza relațiilor:

$$v = \frac{d\psi}{ds} = \frac{1}{\frac{ds}{d\psi}}, \text{ cu } ds = \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2},$$

de unde:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{dx}{d\psi}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\psi}\right)^2}} \quad (4.23)$$

Se efectuează derivarea expresiilor (4.16) și (4.17) în raport cu

$$\frac{dx}{d\psi} = \frac{d}{d\psi} \left( -h \cos \frac{\pi\psi}{B} - \psi + \frac{B}{2} \right) = \frac{\pi h}{B} \sin \frac{\pi\psi}{B} - 1 \quad (4.24)$$

și

$$\frac{dy}{d\psi} = \frac{d}{d\psi} \left( -h \sin \frac{\pi\psi}{B} \right) = -\frac{\pi h}{B} \cos \frac{\pi\psi}{B}. \quad (4.25)$$

După efectuarea calculelor, în care se introduce  $B = \frac{Q}{k}$  din (4.21) și sistematizarea rezultatelor se obține:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\pi kh}{Q}\right)^2 + 1 - \frac{2\pi ky}{Q}}} \quad (4.26)$$

Se vede că pentru  $y = 0$ , rezultă  $v_{\min}$ , iar pentru  $y = h$  corespunde  $v_{\max}$ .

4.3.2. Infiltrarea apei prin malurile râurilor către drenurile de captare, constituie un fenomen similar cu mișcarea apei din bazinele de infiltrare alungite către drenurile de captare, în cazul straturilor acvifere de grosime mică.

Revenind la infiltrarea apei prin malurile râurilor se subliniază contribuția deosebită a tovarășilor prof.dr.ing. D.Cioc, P.Trofin, Elena Trofin [43]; [44]; [165]; [167]; [169]; [170], din ale căror lucrări se prezintă doar câteva aspecte.

Mișcarea apei infiltrată prin malul râurilor către drenurile de captare poate avea loc în trei situații distincte, din punct de vedere al stratului impermeabil de bază, cu: pat orizontal, pat înclinat ascendent și pat înclinat descendent.

Pat impermeabil orizontal. Infiltrația este tratată ca o mișcare plană verticală. Se admite că drenul este așezat

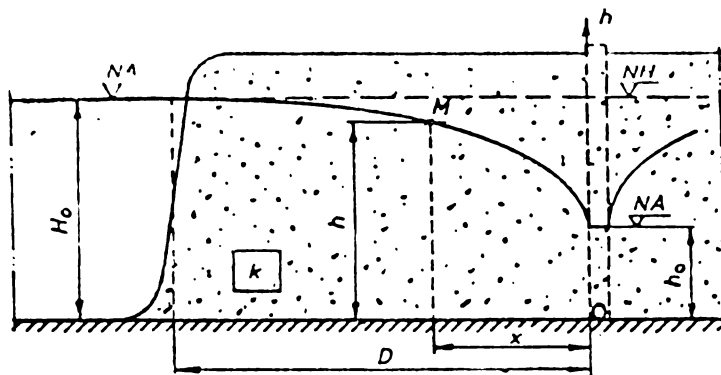


Fig.4.7. Infiltrația prin mal pe pat orizontal

paralel cu râul, la o distanță  $D$  suficient de mare în comparație cu grosimea stratului de apă  $H$  și are o lungime infinită, ca în figura 4.7. Astfel, pe baza ecuației de continuitate și a legii lui Darcy, se deduce ecuația curbei depresionare

$$h^2 = h_0^2 + \frac{2q_1}{k} x, \quad (4.27)$$

respectiv formula debitului infiltrat pe unitatea de lungime a drenului

$$q_1 = \frac{k}{2D} (H_0^2 - h_0^2) \quad (4.28)$$

Cum însă drenurile au o lungime finită, relația (4.28) devine prea acoperitoare, deoarece nu ține seama de variația debitului  $q_1$  de-a lungul lor.

Acest neajuns a fost eliminat în lucrarea [43] unde ipotezele admise se apropie foarte mult de mișcarea reală. Astfel dacă se păstrează notațiile din figura 4.7 și se ia lungimea drenului  $L = 2b$ , expresia potențialului mișcării ajutătoare capătă forma:

$$\varphi = \frac{Q_1}{2\pi} \left[ \text{Arsh} \frac{|2D-x|}{b} - \text{Arsh} \frac{|-x|}{b} \right] + \varphi_0, \quad (4.29)$$

în care  $Q$  reprezintă debitul total al drenului.

Ecuația curbei depresionare, de-a lungul firului de curent ce se scurge perpendicular pe dren și ajunge în mijlocul lui, are forma:

$$h^2 = \frac{Q}{k} \left[ \text{Arsh} \frac{|2D-x|}{b} - \text{Arsh} \frac{|-x|}{b} \right] + \frac{2\varphi_0}{k}. \quad (4.30)$$

Din condițiile la limită, pentru  $x = 0$ ,  $z = 0$  și  $z = H$ , se deduce constanta de integrare și apoi se determină expresia debitului total al drenului

$$Q = \frac{\pi k (H_0^2 - h_0^2)}{\operatorname{Arsh} \frac{2D}{b}} \quad \text{sau} \quad Q = \frac{k(H_0^2 - h_0^2)}{\ln \left[ \frac{2D}{b} + \sqrt{1 + \left(\frac{2D}{b}\right)^2} \right]} \quad (4.31)$$

Debitul stabilit prin relația (4.31) este de 1,57 - 8,50 ori mai mare decât debitul rezultat din relația (4.28) pentru aceeași lungime de dren.

În calcule se recomandă să se ia pentru  $Q$  o valoare mai redusă pentru a nu se depăși viteza critică și anume

$$Q \geq Q_{\min} = \frac{Q}{2\pi b} \left[ 1 + \frac{1}{\sqrt{b^2 + 4D^2}} \right] \quad (4.32)$$

Pat impermeabil descendent [170]. Se consideră un dren de lungime infinită, așezat paralel cu malul unui râu sau lac, la o distanță  $D$ . Alimentarea drenului prin infiltrație de

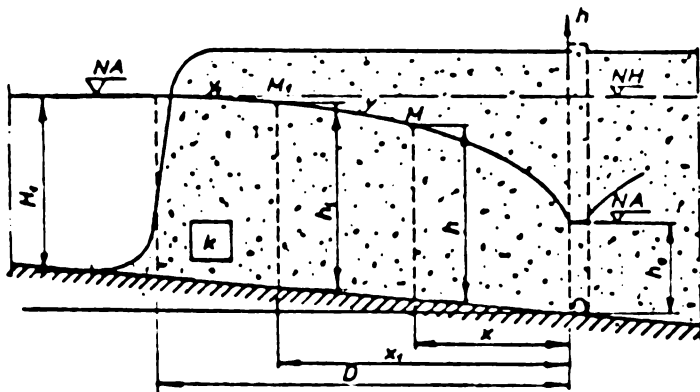


Fig.4.8. Infiltrație prin mal pe pat descendent

mal se face printr-un strat acvifer așezat pe pat înclinat descendent, în sensul mișcării apei, figura 4.8.

Pe baza legii lui Darcy și a ecuației de continuitate, se poate scrie expresia debitului pe unitatea de lungime a drenului:

$$q = H_1 k I_1 = h k I \quad (4.33)$$

$$\frac{dh}{dx} = I - i = I_1 \frac{H_1}{h} - i \quad (4.34)$$

Dacă se notează

$$H_1 \frac{I_1}{i} = H \quad \text{și} \quad \frac{h}{H} = \eta$$

ecuația (4.34) devine

$$\frac{d\eta}{dx} = \frac{i}{H} \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right) , \quad (4.35)$$

iar după integrare se obține ecuația suprafeței libere a apei în mișcare gradual variată pe pat descendent

$$x = \frac{H}{i} \left[ \eta_0 - \eta + \ln \frac{1 - \eta_0}{1 - \eta} \right] . \quad (4.36)$$

În ecuația (4.36) dacă se înlocuiește  $x = D$  și  $\eta = \frac{H_1}{H} = \frac{1}{I_1}$  se obține expresia:

$$\frac{D}{H} i = \left[ \frac{1}{i} \eta_0 - \frac{1}{I_1} + \ln \frac{1 - \eta_0}{1 - \frac{1}{I_1}} \right] . \quad (4.37)$$

Autorul lucrării [170] a reprezentat grafic ecuația (4.37) cu scopul folosirii ei pentru dimensionarea drenului.

Pat impermeabil ascendent [170]. Se mențin aceleași ipoteze și notații ca în cazul patului descendent, figura 4.9.

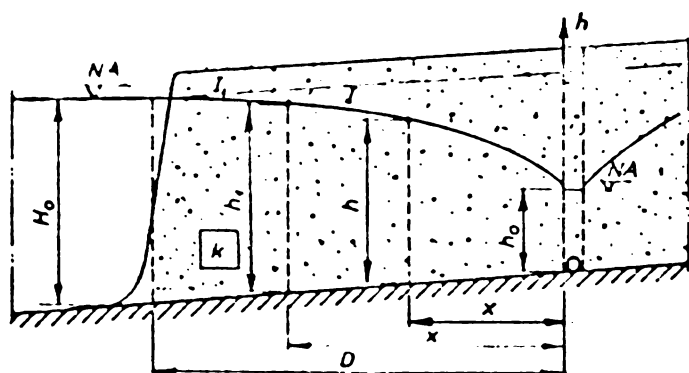


Fig.4.9. Infiltrație prin mal pe pat ascendent

Debitul infiltrat pe unitate de lungime de dren este dat de relația

$$q = H_1 k I_1 = h k I \quad (4.38)$$

Se observă că

$$\begin{aligned} \frac{dh}{dx} &= I + i = \\ &= I_1 \frac{H_1}{h} + i , \end{aligned} \quad (4.39)$$

în care dacă se introduc aceleași notații

$$H_1 \frac{I_1}{i} = H \quad \text{și} \quad \frac{h}{H} = \eta$$

se obține

$$\frac{d\eta}{dx} = \frac{i}{H} \left( \frac{1}{\eta} + 1 \right) , \quad (4.40)$$

respectiv

$$x = \frac{H}{i} \left[ \eta - \eta_0 + \ln \frac{1 + \eta_0}{1 + \eta} \right] . \quad (4.41)$$

Înlocuind  $x = D$  și  $h = H_1$ , rezultă expresia

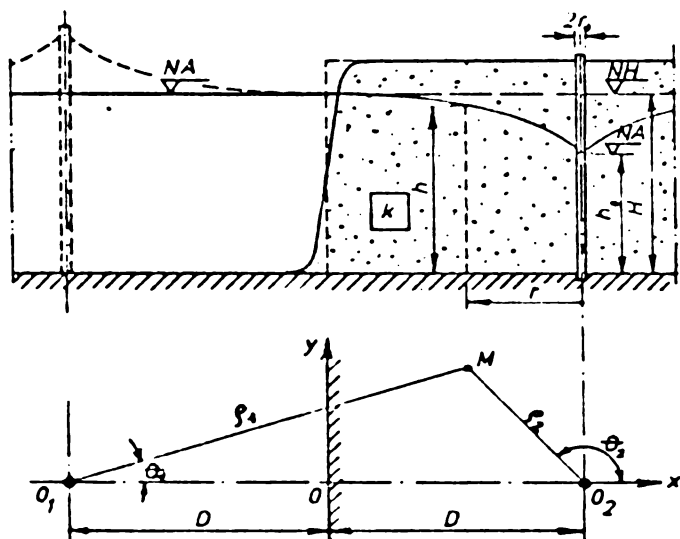
$$\frac{D}{H_1} i = \frac{I_1}{i} \left[ \frac{i}{I_1} - \eta_0 + \ln \frac{1 + \eta_0}{1 + \frac{i}{I_1}} \right] , \quad (4.42)$$

utilizată la dimensionarea drenului, de asemenea reprezentată grafic de autor [170].

4.3.3. Infiltrația apei prin malurile râurilor către puțurile de captare, constituie un fenomen similar cu mișcarea apei din bazinele de infiltrare către puțurile de captare, practicate în straturi acvifere de grosime mică.

Ca și în cazurile prezentate la aliniatul 4.3.2, infiltrația apei prin maluri către puțurile de captare a fost studiată într-o serie de lucrări ale specialiștilor români [42]; [100]; [163]; [165]; [167]; [168]. Mai jos se prezintă în detaliu numai mișcarea către un puț perfect, aflat într-un acvifer sub presiune și cu nivel liber.

Infiltrația prin mal către un puț perfect într-un strat sub presiune. Se consideră un strat acvifer sub presiune,



alimentat prin malul unui râu, în care s-a amplasat un puț perfect, de rază  $r_0$ , la o distanță  $D$  de mal, ca în figura 4.10.

Se admite că mișcarea apei către puț este o mișcare plană și în regim laminar. Studiul mișcării se poate efectua cu ajutorul potențialului complex utilizând metoda imaginilor. În acest scop se consideră potențialul mișcării generate de puț - sursa negativă - și o sursă pozitivă ipotetică simetrică în raport cu malul, figura 4.10.

Fig.4.10. Infiltrația prin mal către un puț perfect în strat sub presiune

sursă pozitivă ipotetică simetrică în raport cu malul, figura 4.10.

$$f(z) = \frac{Q}{2\pi a} \ln \frac{Z + D}{Z - D}, \quad (4.43)$$

a fiind grosimea stratului acvifer.

În expresia (4.43) se poate înlocui  $Z + D = \rho_1 e^{i\theta_1}$  și  $Z - D = \rho_2 e^{i\theta_2}$ , ceea ce permite separarea părții reale de partea imaginară, obținându-se:

- potențialul de viteză

$$\psi = \frac{Q}{2\pi a} \ln \frac{\rho_1}{\rho_2}; \quad (4.44)$$

- funcția de curent

$$\Psi = \frac{Q}{2\pi a} (\theta_1 - \theta_2). \quad (4.45)$$

Din expresia potențialului de viteză (4.45), egalată cu un potențial ajutător  $(-kh + C)$  se obține ecuația generală a suprafeței depresionare și formula debitului.

Astfel din relația

$$\Psi = \frac{Q}{2\pi a} \ln \frac{\rho_1}{\rho_2} = -kh + C, \quad (4.46)$$

cu ajutorul condițiilor la limită:

- în punctul O, unde  $\rho_1 = \rho_2 = D$  și  $h = H$  și

- în vecinătatea puțului, unde  $\rho_1 = 2D - r_0$ ,  $\rho_2 = r_0$  și  $h = h_a$  se obține:

- ecuația generală a curbei depresionare

$$h = H - \frac{Q}{2\pi ak} \ln \frac{\rho_1}{\rho_2}, \quad (4.47)$$

- formula debitului

$$Q = 2\pi ak \frac{(H - h_0)}{\ln \frac{2D - r_0}{r_0}} \text{ sau } Q = 2\pi ak \frac{(H - h_0)}{\ln \frac{2D}{r_0}}. \quad (4.48)$$

Infiltrația prin mal către un puț perfect într-un strat acvifer cu nivel liber. Se admit aceleași ipoteze ca și în cazul infiltrației prin mal către un puț perfect într-un strat sub presiune, cu deosebirea că în acest caz potențialul mișcării ajutătoare are altă formă:

$$\Psi = -\frac{1}{2} k h^2.$$

Potențialul complex al mișcării, rezultat din însumarea efectelor celor două surse, figura 4.11.b, amplasate, respectiv în  $O_1$  și  $O_2$ , are forma

$$f(Z) = \frac{Q}{2\pi} \ln \frac{Z+D}{Z-D}. \quad (4.49)$$

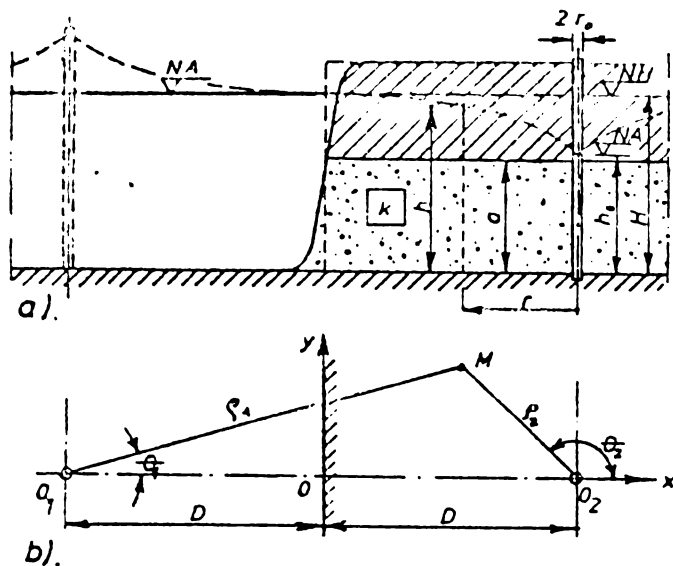


Fig.4.11. Infiltrația prin mal către un puț perfect în strat cu nivel liber

Dacă se înlocuiește  $Z + D = \rho_1 e^{i\theta_1}$  și  $Z - D = \rho_2 e^{i\theta_2}$  și se separă partea reală de partea imaginară rezultă:

- expresia potențialului de viteză

$$\psi = \frac{Q}{2\pi} \ln \frac{\rho_1}{\rho_2} + C ; \quad (4.50)$$

- expresia funcției de curent

$$\Psi = \frac{Q}{2\pi} (\theta_1 - \theta_2) . \quad (4.51)$$

Din expresia (4.50) se determină ecuația pânzei de depresionare și formula debitului infiltrat către puț. În acest scop expresia lui  $\psi$  se egalează cu potențialul stratului

$$\psi = \frac{Q}{2\pi} \ln \frac{\rho_1}{\rho_2} + C = - \frac{kh^2}{2} , \quad (4.52)$$

de unde, folosind condițiile la limită în punctul 0,  $\rho_1 = \rho_2 = = D$  și  $h = H$  și în vecinătatea puțului  $\rho_1 = 2D - r_0$ ,  $\rho_2 = r_0$  și  $h = h_0$ , se obține:

- ecuația pânzei de depresionare

$$h^2 = H^2 - \frac{Q}{2\pi k} \ln \frac{\rho_1}{\rho_2} ; \quad (4.53)$$

- formula debitului puțului de captare

$$Q = \frac{2\pi k (H^2 - h_0^2)}{\ln \frac{2D - r_0}{r_0}} . \quad (4.54)$$

#### 4.4. Dimensionarea bazinelor cu ajutorul unor formulări specifice proceselor de infiltrare - percolare - filtrare

Cu toate că amenajările de alimentare tehnică a pânzelor de apă subterană au căpătat extindere mare în anumite țări, numărul publicațiilor în acest domeniu continuă să fie foarte redus. Majoritatea lor se referă la tehnologia de exploatare. Referirile la problemele de dimensionare hidraulică sînt foarte rare.

În continuare se face prezentarea unor formulări, publicate în țara noastră sau în străinătate, cu privire la dimensionarea bazinelor de infiltrare.

4.4.1. Mișcarea apei din bazinele de infiltrație către pânzele de apă subterană situate la adâncime. Este vorba de un proces complex de infiltrație-percolare-filtrație. Apa pătrunde în stratul filtrant, apoi în mediul permeabil natural, traversează straturile permeabile acoperitoare, printr-o mișcare de percolare dominant verticală, pînă ajunge la pînza de apă subterană.

Dacă stratul acvifer are o capacitate mare de drenare, nivelul liber al apei subterane se supraînalță ușor în zona de preluare a apei din percolare și formează un bulb staționar. Fenomenul de infiltrație-percolare-filtrație intră într-un regim permanent. Bulbul format are o zonă centrală de alimentare, care preia apa din percolare și o zonă exterioară înfășurătoare nealimentată. Extinderea în plan a zonei de alimentare este identică cu extinderea zonei de percolare.

Dacă însă stratul acvifer are capacitate mică de drenare, bulbul format se dezvoltă mereu pe verticală și pe orizontală pînă atinge fundul bazinului. Viteza de infiltrație scade în timp cu capacitatea de drenare a mediului permeabil ocupat de bulb crește, pînă cînd se stabilește un regim staționar de curgere înecată.

a). În lucrarea [141], prof.dr.ing.V.Pietraru tratează, în alt context, procesul de filtrație a apei subterane alimentată artificial cu ajutorul unui bazin delimitat de un contur poligonal, asimilabil cu un cerc.

Se consideră un bazin de infiltrație, delimitat de un contur poligonal, asimilabil cu un cerc de rază  $R_0$ , situat la o distanță  $L$  de un luciu de apă. Bazinul este săpat într-un mediu permeabil omogen și izotrop, în care s-a format o pînză staționară de apă subterană cu o grosime medie  $H$ .

În figura 4.12 se arată elementele geometrice și hidraulice ale ansamblului, bazin-mediu permeabil, cu mențiunea că  $\mathcal{E}$  reprezintă debitul de apă infiltrată pe unitatea de suprafață, în  $m^3/s/m^2$ . Se neglijează faptul că zona nesaturată de sub bazin se extinde în procesul de percolare.

Admițînd că  $\mathcal{E}$  este uniform distribuit, debitul total introdus în sol  $Q_i = \pi \mathcal{E} R_0^2$ .



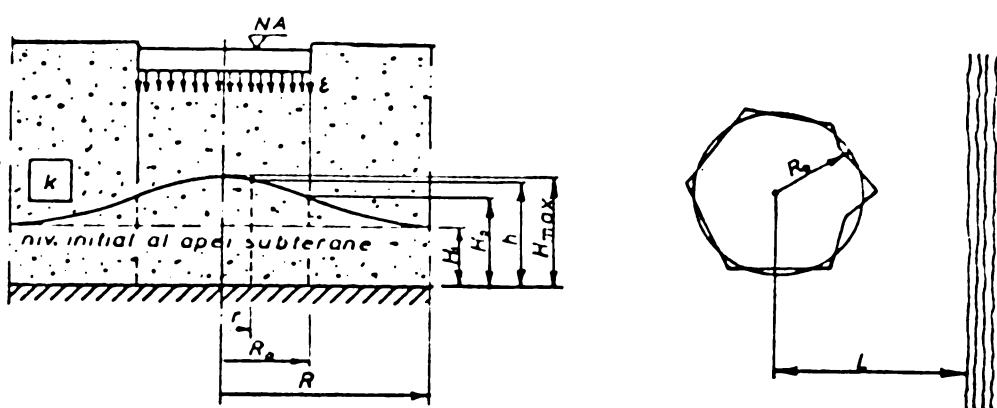


Fig.4.12. Filtrația axial simetrică

Forma domului, generat de alimentarea pânzei subterane, diferă în zona centrală de alimentare, față de zona exterioară:

- În zona de alimentare, adică pentru  $r \leq R_0$ , admitînd că are loc o mișcare în regim laminar, se poate scrie o ecuație de continuitate între cantitatea de apă percolată și cantitatea de apă drenată

$$Q_1 = \pi \varepsilon r^2 = - 2\pi r h k \frac{dh}{dr} \quad , \quad (4.55)$$

de unde prin separarea variabilelor și integrare se obține

$$h^2 = - \frac{\varepsilon}{2k} r^2 + C_1 \quad . \quad (4.56)$$

Pentru  $r = R_0$  și  $h = H_0$ , rezultă  $C_1 = H_0^2 + \frac{\varepsilon}{2k} R_0^2$ , iar

$$h^2 = \frac{\varepsilon}{2k} (R_0^2 - r^2) + H_0^2 \quad , \quad (4.57)$$

unde  $H_0$  este necunoscută și va trebui să fie eliminată.

- În zona exterioară înfășurătoare,  $r \geq R_0$ , menținînd aceleași ipoteze

$$Q_1 = \pi \varepsilon R_0^2 = - 2\pi r h k \frac{dh}{dr} \quad , \quad (4.58)$$

de unde prin separarea variabilelor și integrare se obține

$$h^2 = - \frac{\varepsilon}{k} R_0^2 \ln r + C_2 \quad . \quad (4.59)$$

Constanta  $C_2$  se elimină din condițiile la limită  $r = R$  și  $h = H_1$  și se obține

$$h^2 = H_1^2 + \frac{\varepsilon}{k} R_0^2 \ln \frac{R}{r} \quad . \quad (4.60)$$

Pentru  $r = R_0$  și  $h = H_0$  rezultă

$$H_0^2 = H_1^2 + \frac{\varepsilon}{k} R_0^2 \ln \frac{R}{R_0} \quad . \quad (4.61)$$

Prin eliminarea lui  $H_0$  din expresiile (4.57) și (4.61) se obține ecuația suprafeței libere deformate a apei subterane alimentată tehnic

$$h^2 = H_i^2 + \frac{\varepsilon}{k} \left[ R_0^2 \ln \frac{R}{R_0} + \frac{1}{2} (R_0^2 + r^2) \right] \quad (4.62)$$

Înălțimea maximă a domului se obține pentru  $r = 0$

$$H_{\max} = \sqrt{H_i^2 + \frac{\varepsilon}{k} \left[ R_0^2 \ln \frac{R}{R_0} + 0,5 R_0^2 \right]}, \quad (4.63)$$

Iar pentru  $r = R_0$  rezultă

$$H_0 = \sqrt{H_i^2 + \frac{\varepsilon}{k} R_0^2 \ln \frac{R}{R_0}}, \quad R = 2L \quad (4.64)$$

b). În lucrarea [123] se reiau unele aspecte întâlnite la exfiltrarea din canale cu scopul utilizării lor pentru studiul infiltrării apei din bazine de formă alungită, către pânze de apă subterană situate la adâncime.

- Infiltrarea permanentă liberă. Se consideră zona de percolare-infiltrare alcătuită din două straturi cu permeabilități diferite,  $k_1 \ll k_2$ . Elementele geometrice ale bazinului de infiltrare și ale straturilor permeabile se dau în figura 4.13.

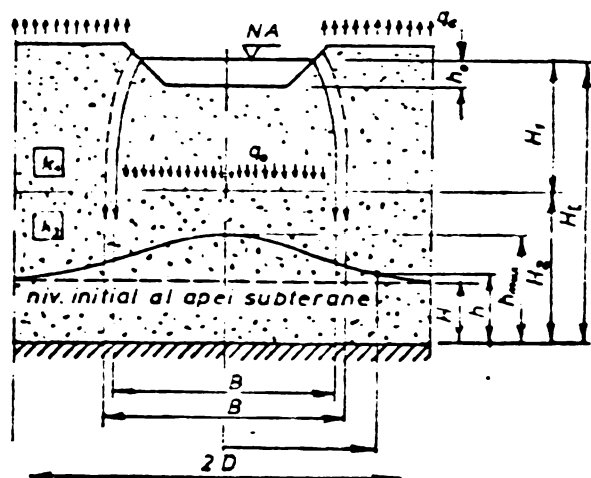


Fig.4.13. Infiltrarea permanentă liberă

Dacă se ține seama de extinderea zonei de percolare și de zona capilară din jurul ei, cantitatea de apă infiltrată în sol, pe o lungime unitate de bazin  $q$ , în  $m^3/s/ml$ , este dată de relația [101]:

$$q = k_1 \left( 1 + 0,5 \frac{h_c}{B_0} \right) (B_0 + \varepsilon h), \quad (4.65)$$

în care:  $h_c$  este înălțimea capilară,  $\varepsilon = \varepsilon(h_c, B_0)$  reprezintă un coeficient variabil între 2,00 - 2,80. Restul notațiilor se dau în figura 4.13.

Forma curbei de ridicare a suprafeței libere a apei

subterane alimentată artificial, rezultă din două ecuații de continuitate: prima scrisă în interiorul zonei de alimentare, iar a doua în exteriorul ei. Se admite o repartiție uniformă a debitului percolat

- În interiorul zonei de alimentare,  $x \leq B_1/2$ , ecuația de continuitate între fenomenul de percolare și de drenare capătă forma:

$$\frac{q}{B_1} x = - 2 k_2 h \frac{dh}{dx} , \quad (4.66)$$

care se integrează. Constanta de integrare se determină din condițiile la limită, pentru  $x = B_1/2$  și  $h = H_0$ . Astfel se obține

$$h^2 = H_{M1}^2 + \frac{q}{k_2 B_1} \left( \frac{B_1^2}{4} - x^2 \right) . \quad (4.67)$$

- În exteriorul zonei de alimentare,  $x \geq B_1/2$ , la stabilirea ecuației de continuitate este necesar să se țină seama și de procesul de evaporare, sub un debit  $q_e$ , în  $m^3/s/ml$ . Astfel:

$$\frac{1}{2} q - q_e \left( x - \frac{B_1}{2} \right) = - k_2 h \frac{dh}{dx} , \quad (4.68)$$

care de asemenea se integrează.

Din condițiile  $x = D$  și  $h = H_1$ , la limita zonei de ridicare a domului piezometric, se determină constanta de integrare obținându-se expresia:

$$h^2 = H_1^2 + \frac{1}{k_2} \left[ q(D - x) - q_e(D^2 - B_1 D + B_1 x - x^2) \right] . \quad (4.69)$$

Pentru  $x = B_1/2$  și  $h = H_M$  rezultă

$$H_M^2 = H_1^2 + \frac{1}{k_2} \left[ q(D - x) - q_e(D^2 - B_1 D + B_1 x - x^2) \right] . \quad (4.70)$$

Din eliminarea lui  $H_M$  în expresiile (4.68) și (4.70) și înlocuirea lui  $q = k_1 B_1$  se obține ecuația suprafeței domului piezometric, sub forma

$$h^2 = H_1^2 + \frac{k_1}{k_2} B_1 \left( D - \frac{B_1}{4} - \frac{x^2}{B_1} \right) - \frac{1}{k_2} q_e \left( D^2 + \frac{B_1}{4} - B_1 D \right) \quad (4.71)$$

Dacă evaporatia din sol poate fi neglijată,  $q_e = 0$ ,

$$h^2 = H_1^2 + \frac{k_1}{k_2} B_1 \left( D - \frac{B_1}{4} - \frac{x^2}{B_1} \right) . \quad (4.72)$$

Admițând că și aportul zonei capilare, poate fi neglijat

$$h^2 = H_i^2 + \frac{k_1}{k_2} B \left( D - \frac{B}{4} - \frac{x^2}{B} \right) \quad (4.73)$$

Lățimile  $B_1$  și  $B$  se calculează din expresiile:

$$B_1 = \left( 1 + 0,5 \frac{h_c}{B_0} \right) (B_0 + \varepsilon h_0), \quad (4.74)$$

iar

$$B = B_0 + \varepsilon h_0, \quad \varepsilon = 2,00 - 2,80 \quad (4.75)$$

Înălțimea maximă a domului piezometric se obține din (4.73) pentru  $x = 0$

$$H_{\max} = \sqrt{H_i^2 + \frac{k_1}{k_2} B (D - 0,25 B)} \quad (4.76)$$

Infiltarea permanentă înecată. Acest fenomen poate avea loc atunci când capacitatea de drenare a stratului acvifer este mică, în comparație cu capacitatea de infiltrare și de percolare a straturilor superioare,  $k_1 \approx k_2 = k$ , figura 4.14.

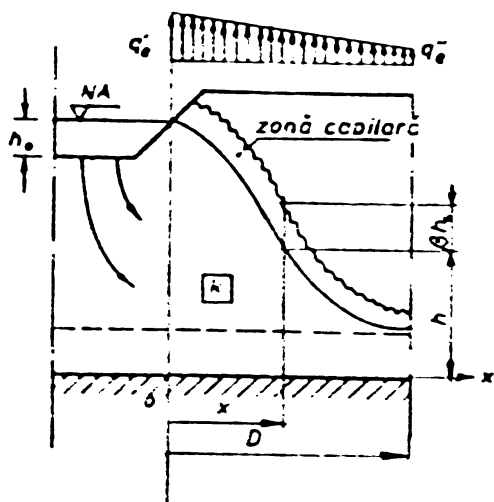


Fig.4.14. Infiltare permanentă înecată

Transferul de apă de la suprafață în pînza subterană capătă caracter permanent, când se crează un echilibru hidrodinamic între cantitățile de apă infiltrată, evaporată și drenată.

Astfel scriind ecuația de continuitate pentru un metru liniar de bazin rezultă:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} [q - (q_e' + q_e'')x] &= \dots \\ &= -k(h + \beta h_c) \frac{dh}{dx}, \quad (4.77) \end{aligned}$$

care se integrează.

În ecuația (4.77),  $q$  reprezintă debitul de apă infiltrată, în  $m^3/s/ml$ ,  $q_e'$  și  $q_e''$  valorile extreme ale debitului de apă evaporată din sol, în  $m^3/s/ml$ ,  $\beta$  este un coeficient de corecție, în funcție de panta oglinzii apei, iar  $h_c$  înălțimea capilară, în  $m$ .

După integrare și determinarea constantei, din con-

dițiile la limita zonei de influență, pentru  $x = D$  și  $h = H_i$ , se obține expresia curbei depresionare

$$h(h+2\beta h_c) = H_i(H_i+2\beta h_c) + \frac{1}{k} \left[ q(D-x) - (q'_0 + q''_0) \left( \frac{D^2}{2} - \frac{x^2}{2} \right) \right] \quad (4.78)$$

Dacă evaporația apei din sol poate fi neglijată, expresia curbei depresionare devine

$$h(h + 2\beta h_c) = H_i(H_i + 2\beta h_c) + \frac{q}{k} (D - x) \quad (4.79)$$

Cînd și franjul capilar se neglijează rezultă

$$h^2 = H_i^2 + \frac{q}{k} (D - x) \quad (4.80)$$

Pentru  $x = 0$  se obține expresia debitului

$$q = \frac{k(H_t^2 - H_i^2)}{D} \quad (4.81)$$

Aceste formulări pot fi aplicate în cazul pînzelor de apă subterană situate la adîncime medie și mică.

4.4.2. Mișcarea apei din bazine de infiltrare către pînze de apă subterană situate la adîncime mică. Prezența pînzei de apă subterană la adîncime mică pune, în general, probleme legate de conservarea calităților naturale ale apei. Cînd însă pînza de apă subterană urmează să fie alimentată și artificial pericolul alterării acestor calități este și mai mare. Din acest motiv se recomandă:

- izolarea stratului prin care se scurge apa subterană și din alimentare artificială, față de apele de suprafață;
- asigurarea unui parcurs suficient de mare, al apei de alimentare, de la bazinul de infiltrare la drenul sau puțurile de captare.

Mai jos se prezintă soluționarea problemei scurgerii la două cazuri realizate practic:

- Bazine de infiltrare realizate prin excavarea stratului vegetal și delimitate cu ajutorul digulețelor de pămînt. Intre bazine stratul acvifer este acoperit cu un strat impermeabil protector.

- Bazine de infiltrare obținute prin inundare generală a unui teren îndiguit, de pe care s-a îndepărtat solul vegetal. Pe întreaga suprafață inundată se amplasează puțuri de captare așezate la distanță convenabilă între ele. Infiltrarea directă

a apei în dispozitivul de captare este împiedicată cu ajutorul unor covoare circulare <sup>impermeabile</sup> concentrice cu puțurile și care asigură parcurgerea unui drum impus de condițiile de calitate.

Cazul 1. Bazine de infiltrare îndiguite [14] ; [125]

Infiltrarea are loc numai prin fundul bazinului. Pentru evitarea colmatării interne pe fundul bazinului se așează un strat filtrant de nisip, care se înlocuiește periodic, parțial sau total.

Din punct de vedere hidraulic, procesul de aglomera-re a suspensiilor pe fundul bazinului și de colmatare a stratu-lui filtrant poate conduce la trei faze distincte, arătate în figura 4.15:

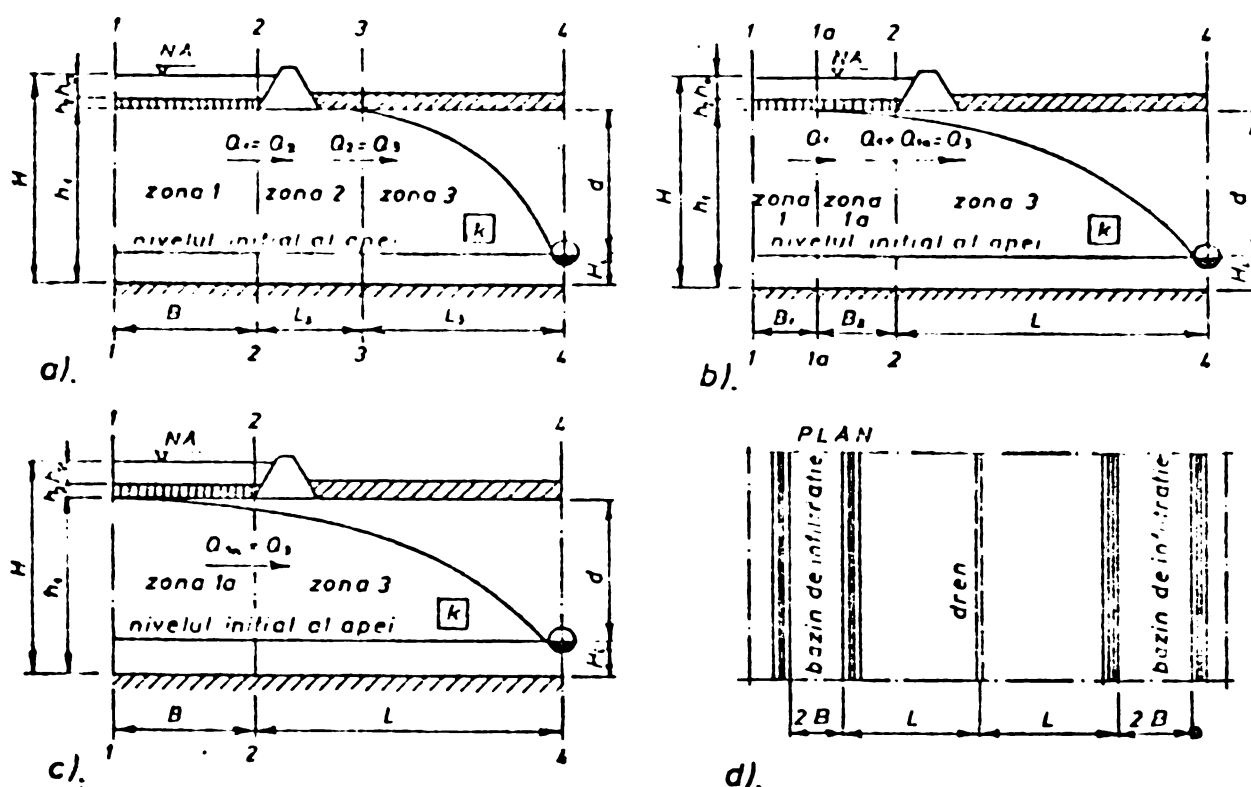


Fig.4.15. Mișcarea apei sub bazinele de infiltrare  
a. faza 1 ; b. faza 2; c. faza 3;  
d. vedere în plan

Faza 1: stratul filtrant necolmatat și membrana din suspensii în curs de formare, viteza de filtrare este maximă, nivelul piezometric se ridică pînă la suprafața apei, în zona bazinului și parțial atinge stratul impermeabil, în timp ce drenul captează un debit  $Q_d$ , figura 4.15.a.

În intervalul cuprins între mijlocul bazinului și dren se disting trei zone:

- Zona 1, situată sub bazin, caracterizată printr-o scurgere forțată, sub acțiunea coloanei de apă, din care se infiltrează în sol un debit constant;

- Zona 2, formată în continuarea Zonei 1, sub dig și o parte din stratul impermeabil acoperitor, caracterizată de asemenea printr-o scurgere sub presiune însă fără alimentare pe parcurs;

- Zona 3, extinsă între Zona 2 și dren, în care are loc o scurgere cu nivel liber.

Din punct de vedere al calculului hidraulic se pune problema găsirii unor corelații, bazate pe continuitatea scurgerii, între cantitățile de apă ce traversează cele trei zone. O soluție analitică exactă este foarte rar posibilă, datorită neliniarității condițiilor la limită pe contur. Aproximarea de o soluție exactă sau suficient de precisă pentru scopuri practice, necesită adoptarea unor ipoteze simplificatoare:

- pînza de apă subterană constituie un curent de mică grosime, astfel încît sînt aplicabile ipotezele Dupuit (liniile de potențial  $\varphi = \text{constant}$  sînt verticale, viteza orizontală rămîne constantă pe toată grosimea stratului, mărimea vitezei orizontale este proporțională cu panta piezometrică);

- rezistivitatea hidraulică în timpul fazei considerate, se menține constantă;

- secțiunea transversală a dispozitivului de captare este suficient de mică încît poate fi neglijată, însă scurgerea apei de-a lungul lui se face cu nivel liber;

- grosimea franjului capilar, deasupra pînzei de apă, este neglijabilă;

- mișcarea apei are loc în regim permanent și laminar.

Schema de calcul pentru Zona 1, în varianta pentru calcul exact și pentru un calcul simplificat, se prezintă în figura 4.16.a,b.

În domeniul de scurgere din Zona 1, presiunea piezometrică este definită printr-o funcție  $\varphi(x,h)$ , care trebuie să satisfacă ecuația lui Laplace.

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial h^2} = 0 \quad (4.82)$$

și condițiile pe contur. Astfel pentru:

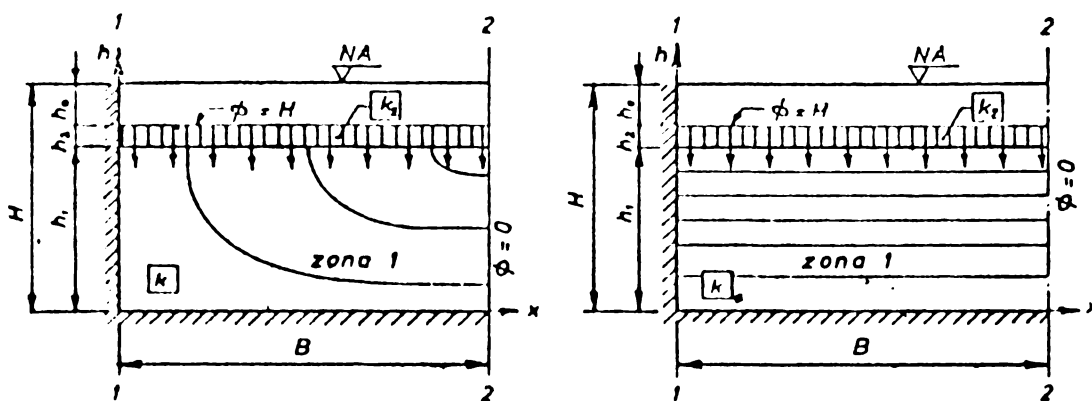


Fig.4.16. Zona 1 - schema de calcul  
 a. în soluția exactă;  
 b. în soluția aproximativă .

- a)  $x = 0$  ;  $0 < h < h_1$  ;  $\frac{\partial \psi}{\partial x} = 0$  ;
- b)  $x = B$  ;  $0 < h < h_1$  ;  $\psi = 0$  ; (4.83)
- c)  $0 < x < B$ ;  $h = 0$  ;  $\frac{\partial \psi}{\partial h} = 0$  ;
- d)  $0 < x < B$ ;  $h = h_1$  ;  $\frac{\partial \psi}{\partial h} = \frac{H - \psi}{ck_1}$  ,

în care s-a notat cu  $c = h_2/k_2$ , rezistența stratului filtrant.

Funcția căutată, de forma  $\psi(x,h) = X(x) Y(h)$ , care respectă cele de mai sus, are expresia generală

$$\psi(x,h) = \sum_{n=1,3,5}^{\infty} E_n \cos \frac{n\pi x}{2B} \cdot \text{ch} \frac{n\pi h}{2B} . \quad (4.84)$$

Constanta  $E_n$  se determină din condiția (4.83), după care se obține expresia lui  $\psi(x,h)$  sub forma:

$$\psi(x,h) = \frac{4H}{\pi} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{n} \frac{\sin \frac{n\pi}{2} \cdot \cos \frac{n\pi x}{2} \cdot \text{ch} \frac{n\pi h}{2B}}{\text{ch} \frac{2\pi h_1}{2B} + \frac{2\pi h_1}{2B} \left(\frac{\lambda}{h_1}\right)^2 \text{sh} \frac{n\pi h_1}{2B}} , \quad (4.85)$$

unde  $\lambda = (Ck_1 h_1)^{1/2}$  și  $C = h_2/k_2$ .

Debitul care traversează Zona 1 se obține prin integrarea expresiei

$$Q_1 = k_1 \int_0^{h_1} \left. \frac{\partial \psi}{\partial x} \right|_{x=B} dh , \quad (4.86)$$

de unde:



$$Q_1 = \frac{4k_1 H}{\pi} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{n} \left[ \operatorname{cth} \frac{n\pi h_1}{2B} + \frac{n\pi \lambda^2}{2Bh_1} \right]^{-1} \quad (4.87)$$

In Zona 2 are loc o mișcare sub presiune, cu o pantă medie a liniei piezometrice  $i_2 = (\varphi_{22} - h_1) : L_2$ .

Debitul  $Q_2$  care traversează această zonă se determină conform legii lui Darcy

$$Q_2 = h_1 k_1 \frac{\varphi_{22} - h_1}{L_2} \quad (4.88)$$

In Zona 3 se realizează o scurgere cu nivel liber, cu un debit

$$Q_3 = \frac{k_1 [h_1^2 - H_1^2]}{2 L_3} \quad (4.89)$$

Avînd în vedere continuitatea fenomenului de scurgere  $Q_2 = Q_3 = Q_1$  și admițînd că  $\varphi_{22} = H$ , se elimină  $L_2$  și  $L_3$  între relațiile (4.88) și (4.89) se obține:

$$Q_d = \frac{k_1 h_1}{L} \left[ H - h_1 + d \left( 1 - \frac{d}{2h_1} \right) \right] \quad (4.90)$$

unde  $L = L_2 + L_3$ .

Tot datorită continuității  $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_d$ , din (4.87) și (4.90) rezultă:

$$Q_d = \frac{2k_1 H}{\pi} \sum_{n=0,1,2}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)} \left[ \operatorname{cth} \frac{(2n+1)\pi h_1}{2B} + \frac{(2n+1)\pi \lambda}{2Ba_1} \right]^{-1} + \frac{k_1 h_1}{2L} \left[ H - h_1 + d \left( 1 - \frac{d}{2h_1} \right) \right] \quad (4.91)$$

Dacă în Zona 1 se consideră o schemă simplificată de scurgere, în sensul că  $h_1 \ll B$  și  $k_1 \gg k_2$ , ceea ce ar justifica ipoteza că stratul filtrant (2) este străbătut vertical, iar mediul poros natural (1) după o direcție dominantă orizontală, expresia debitului se simplifică mult. In acest caz [14] la o distanță  $x$  de axul bazinului se scurge un debit

$$Q_x = - k_1 h_1 \frac{\partial \varphi}{\partial x} \quad (4.92)$$

Deoarece debitul infiltrat pe unitatea de lungime, în sensul axei  $Ox$  și o lungime unitate de canal

$$q = \frac{k_2 (H - \varphi)}{h_2} = \frac{H - \varphi}{c} \quad (4.93)$$

pentru continuitatea scurgerii se cere ca

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = q = \frac{H - \Psi}{c} \quad (4.94)$$

Din ecuațiile (4.92), (4.93) și (4.94) rezultă pentru  $\Psi(x)$  o ecuație

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} - \frac{\Psi}{\lambda^2} = - \frac{H}{\lambda^2} \quad , \quad (4.95)$$

care se integrează, iar pentru  $x = \pm B$ , conduc la expresia

$$\frac{\Psi - H}{H} = - \frac{\cos \frac{x}{\lambda}}{\cos \frac{B}{\lambda}} \quad . \quad (4.96)$$

Debitul  $Q_1$  rezultat la ieșirea din Zona I este dat de expresia :

$$Q_1 = - k_1 \int_0^D \frac{\partial \Psi}{\partial x} \Big|_{x=B} = \frac{k_1 h_1 H}{\lambda} \operatorname{th} \frac{B}{\lambda} \quad . \quad (4.97)$$

Datorită continuității scurgerii de la o zonă la alta, din expresiile (4.90) și (4.97) rezultă:

$$\frac{Q_d}{H} = \frac{1}{\lambda} \left[ h_1 + h_0 + d \left( 1 - \frac{d}{2h_1} \right) \right] \frac{\operatorname{th} \frac{h_1}{\lambda}}{1 + \frac{L}{\lambda} \operatorname{th} \frac{B}{\lambda}} \quad , \quad (4.98)$$

unde s-a notat cu:  $T = k_1 h_1$  transmisivitatea stratului, cu  $\lambda = (C k_1 h_1)^{1/2}$  și  $C = h_2/k_2$ .

Față de soluția exactă expresia debitului  $Q_d$ , dedus din (4.98) satisface nevoile practice.

Faza 2. Stratul filtrant se consideră parțial colmatat și membrana alcătuită din suspensii în curs de maturizare, așa fel încât sînt create condiții pentru formarea a numai două zone: prima zonă cu debit în creștere situată sub bazin și a doua zonă nealimentată pe parcurs, de tip 3, cuprinsă între bazin și dren. Zonă de tip 2 din faza 1 nu mai există. Prima zonă se împarte în două subzone 1 și 1a. În subzona 1 are loc o scurgere sub presiune, iar în subzona 1a o scurgere cu nivel liber.

În subzona 1 are loc în condiții identice cu cele întâlnite în zona I din faza 1. Se schimbă doar gradul de colmatare a stratului filtrant, reflectat în  $k_2$  și se reduce dimensiunea pe orizontală, în sensul că devine  $B_1 \leq B$ .

Pe aceste considerente debitul rezultat la ieșirea

din subzona 1 poate fi determinat din una din relațiile:

- în soluția exactă:

$$Q_1 = \frac{4k_1 H}{\pi} \cdot \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n} \left[ \operatorname{cth} \frac{n\pi h_1}{2B_1} + \frac{n\pi \lambda^2}{2B_1 h_1} \right]^{-1}; \quad (4.97.a)$$

- în soluția aproximativă:

$$Q_1 = \frac{k_1 h_1 H}{\lambda} \operatorname{th} \frac{B_1}{\lambda}. \quad (4.97.a)$$

În subzona 1a, are loc o scurgere cu nivel liber și debit în creștere, datorită cantității de apă infiltrată din bazin pe toată lățimea  $B_2$  a acestei subzone. Se precizează că  $B_1 + B_2 = B$ .

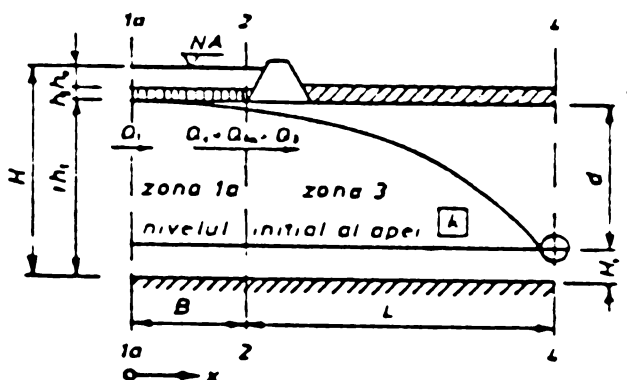


Fig.4.17. Subzona 1a, zona 3  
- schemă de calcul -

În figura 4.17 se prezintă schema de calcul pentru subzona 1a și zona 3. Prin secțiunea 1a - la trece un debit  $Q_1$ , provenit din subzona 1, la care se adaugă un debit în creștere  $Q_{1a}(x)$ , datorită infiltrației din bazin de-a lungul lățimii  $B_2$ .

Din însumarea acestor debite se obține cantitatea de apă ce va traversa zona 3, figura 4.17:

$$Q_1 + Q_{1a} = Q_3 = Q_d. \quad (4.99)$$

În subzona 1a,  $x \leq B_2$ , utilizând ecuația de continuitate și ipotezele de scurgere Dupuit, se poate scrie:

$$Q(x) = -k_1 h \frac{dh}{dx} = Q_1 + qx. \quad (4.100)$$

După integrare și determinarea constantei de integrare, pentru  $x = B_2$  și  $h = h_2$  se obține expresia curbei de profilare din zona 1a:

$$h^2 = h_2^2 + \frac{2Q_1}{k_1} (B_2 - x) + \frac{q}{k_1} (B_2 - x^2), \quad (4.101)$$

în care  $h_2$  este necunoscut.

În zona 3,  $B_2 \leq x \leq (B_2 + L)$  se drenează un debit constant  $Q_3 = (Q_1 + qB_2)$ , printr-o scurgere cu nivel. Continuitatea scurgerii este dată de expresia:

$$Q(x) = k_1 h \frac{dh}{dx} = Q_1 + q B_2 \quad (4.102)$$

Prin integrare și observînd că pentru  $x = B_2 + L$ ,  $h = H_1$ , se obține expresia

$$h^2 = H_1^2 + \frac{2}{k_1} (Q_1 + qB_2)(L + B_2 - x) \quad (4.103)$$

care pentru  $x = B_2$  și  $h = h_2$  permite calcularea lui  $h_2$

$$h_2^2 = H_1^2 + \frac{2L}{k_1} (Q_1 + qB_2) \quad (4.104)$$

Eliminînd pe  $h_2$  între expresiile (4.101) și (4.104) se obține formula curbei depresionare din subzona la și zona 3:

$$h^2 = H_1^2 + \frac{2q}{k_1} (L + B_2 - x) + \frac{q}{k_1} (B_2^2 + 2B_2L - x^2) \quad (4.105)$$

Din expresia (4.105) dacă se admite că infiltrarea prin stratul filtrant colmatat consumă toată rezerva de energie hidrodinamică și deci  $q = k_1(h_0 + h_2)/h_2$ , în  $m^3/s/m^2$ , pentru  $x = 0$  și  $h = h_1$  se obține:

$$Q_1 = \frac{k_1}{2(L + B_2)} \left[ h_1^2 - H_1^2 - \frac{h_0 - h_2}{h_2} \cdot \frac{k_2}{k_1} (B_2^2 - 2B_2L) \right], \quad (4.106)$$

care reprezintă debitul constant, preluat de la subzona 1 și drenat prin subzona la și zona 3.

Delimitarea subzonei 1 de subzona la, constînd din determinarea lui  $B_1$  și  $B_2$ , așa fel încît  $B_1 + B_2 = B$ , se face prin încercări sau grafic cu ajutorul expresiilor (4.97.a) și (4.106).

Faza 3. Stratul filtrant se consideră într-o fază avansată de colmatare internă și membrana, alcătuită din suspensiile depuse pe fundul bazinului, are o grosime considerabilă. În această situație nivelul apei subterane se ridică, cel mult, pînă la atingerea fundului bazinului. Sub bazin se crează un regim permanent de scurgere cu nivel liber sub un debit constant.

În zona 1a, figura 4.15.c, pentru  $x \ll B$ , continuitatea fenomenului de scurgere poate fi scrisă sub forma

$$Q(x) = -k h \frac{dh}{dx} = qx \quad (4.107)$$

Din integrarea acestei expresii și determinarea constantei pentru  $x = B$  și  $h = h_2$  se obține expresia nivelului liber al apei

$$h^2 = h_2^2 + \frac{1}{k_1} q (B^2 - x^2), \quad (4.108)$$

în care  $h_2$  nu se cunoaște.

În zonă 3, din figura 4.15.c, se drenează debitul preluat din zona 1a  $Q(B) = qB$ , astfel:

$$Q(x) = -k h \frac{dh}{dx} = q B, \quad (4.109)$$

care se integrează. Constanta de integrare se determină din expresia integralei, pentru  $x = (B + L)$ ,  $h = H_1$ , obținându-se

$$h^2 = H_1^2 + \frac{2}{k_1} q B(B + L - x), \quad (4.110)$$

care reprezintă ecuația curbei nivelului liber al apei în zonă 3.

Pentru  $x = B$  și  $h = h_2$ , expresia (4.110) devine

$$h_2^2 = H_1^2 + \frac{2L}{k_1} q B. \quad (4.111)$$

Se elimină  $h_2$  între expresiile (4.108) și (4.111) și rezultă:

$$h^2 = H_1^2 + \frac{1}{k_1} q (B^2 + 2BL - x^2). \quad (4.112)$$

#### 4.5. Concluzii generale

Amenajările de alimentare tehnică a străzilor acvifere au în prezent o răspândire relativ mare, mai ales în zonele de pe glob deficitare în apă. Cu toate acestea nu se cunosc metode generale de dimensionare hidraulică a acestor lucrări.

În lipsa unor metode de calcul hidraulic exact, care să țină seama de fenomenul complex de infiltrare-percolare-filtrare, se recomandă metode simplificate de calcul. Aceste metode folosesc atât metodele simplificate de mișcare, cât și ipoteze simplificatoare, în cadrul acestor mișcări.

De asemenea, după unii autori, dimensionarea amenajărilor de alimentare tehnică poate fi efectuată cu ajutorul relațiilor cunoscute de la fenomene similare de scurgere. Aceste fenomene, se consideră însă că au loc în plan orizontal sau în plan vertical. Dispozitivele tehnice, în jurul cărora se studiază mișcarea, se consideră că provoacă curenți de apă cu debite distribuite de-a lungul unui ax vertical (puțuri) sau orizontal (drenuri). Dispozitivele orizontale (drenuri, canale) se consideră de lungime nefinită, cu excepția unor lucrări remarcabile [54], [60], [162], [163], care au în vedere lungimea reală.

În cazul bazinelor de infiltrație trebuie să se aibă în vedere faptul că lungimea și lățimea sînt mărimi comparabile. Din această cauză, în cadrul ipotezei mișcării plane orizontale trebuie să se considere infiltrația de-a lungul întregului contur. Ipoteza mișcării plane verticale este acceptabilă numai pe o zonă restrînsă în vecinătatea axelor de simetrie.

Studiul aprofundat, cu privire la metodele de calcul utilizate la fenomenele similare de scurgere cu procesul de infiltrație-percolare-filtrație s-a făcut cu următoarele scopuri:

- prezentarea unor metode de calcul, aplicabile cu oarecare aproximație și la dimensionarea amenajărilor de alimentare tehnică a straturilor acvifere;

- adîncirea unor fenomene de scurgere, apropiate proceselor de infiltrație a apei din bazine în straturile acvifere, cu scopul elaborării unei metode proprii de dimensionare hidraulică a bazinelor de infiltrație.

## Capitolul 5

### CONTRIBUTII CU PRIVIRE LA STUDIUL FILTRATIEI IN JURUL BAZINELOR DE INFILTRARE

Mișcarea apei prin straturile acvifere constituie un fenomen complex de scurgere prin medii poroase, ce se produce sub acțiunea simultană a forțelor de presiune, gravitaționale, inerțiale, de frecare, de adeziune, capilaritate, elasticitate.

În cazul bazinelor iau naștere fenomene complexe de infiltrare, percolare, filtrare, foarte dificil de studiat simultan. Din acest motiv, pentru simplificare se iau în considerare, de la caz la caz, numai forțele dominante sau numai mișcările dominante produse în același plan; cu toate că ele nu loc în spațiu. Se recurge, deci, la modele matematice simplificate.

Studiile efectuate pînă în prezent, cu privire la mișcarea apei în vecinătatea bazinelor de infiltrare, iau în considerare după caz: o mișcare plan verticală și lungimea nefinită a bazinului [14], [15], [40], [123], [125], o mișcare axial-simetrică [14], [33], [141], o mișcare plan orizontală [57], [58], [59], [60]. În lipsa unor studii privitoare la fenomenele de infiltrare, percolare, filtrare din jurul bazinelor de infiltrare, pentru rezolvarea problemelor practice se folosesc relații cunoscute din hidraulica puțurilor, drenurilor, infiltrărilor de mal etc. Din păcate însă aceste relații se referă numai la surse punctiforme sau liniiforme dezvoltate pe verticală sau pe orizontală, în timp ce bazinele de infiltrare conduc la surse delimitate de un contur cu două dimensiuni comparabile.

Capitolul de față tratează două metode noi de determinare a potențialului complex, cu ajutorul căruia poate fi studiată mișcarea plan-orizontală a apei în vecinătatea bazinelor de infiltrare delimitate de un contur poligonal oarecare. Mișcarea apei se consideră că are loc în limitele de valabilitate a legii lui Darcy. Metodele noi, propuse, sînt exemplifi-

cate pentru bazinele de formă dreptunghiulară și pătratică.

5.1. Studiul filtrației în vecinătatea bazinelor de infiltrare cu ajutorul transformărilor conforme Schwarz - Christoffel

Metoda transformărilor conforme se utilizează frecvent în unele studii de scurgere a fluידelor. Ea se justifică cînd determinarea potențialului complex al mișcării din planul fizic este foarte dificilă, însă printr-o transformare conformă se trece în alt plan în care se cunoaște apriori sau se poate determina ușor o funcție ce reprezintă fidel mișcarea.

5.1.1. Posibilitatea aplicării metodei Schwarz-Christoffel. Bazinele de infiltrare sînt delimitate de un contur poligonal sau curbiliniu. La nivelul oglinzii apei acest contur reprezintă o linie echipotențială de valoare maximă.

Deoarece bazinele de infiltrare sînt amplasate în vecinătatea unui rîu, lac, dispozitiv de capatare, acestea pot căpăta rol de cavități drenante, care generează o altă echipotențială, însă de valoare minimă.

În aceste condiții spectrul hidrodinamic al mișcării de filtrație, de la bazinele de infiltrare către cavitățile drenante, este condiționat de cele două situații la limită.

Din punct de vedere teoretic, se pune problema reprezentării unui domeniu dublu conex  $D$ , delimitat de contururile  $C$  și  $C_1$ , pe semiplanul superior  $\Im z \geq 0$  din planul  $Z$ , care printr-o transformare conformă conduce la semiplanul superior  $\Im w \geq 0$  din planul fizic  $W$ .

În acest scop este necesar, în primul rînd, să se transforme domeniul  $D$  așa fel încît să devină simplu conex, iar apoi să se determine o funcție  $f(z)$  din planul  $Z$ , care printr-o transformare conformă să reprezinte fidel mișcarea în planul fizic  $W$ .

Fie deci  $f(z)$  o funcție de variabilă complexă, olomorfă în domeniul dublu conex  $D$  și pe conturul lui  $C$  și  $C_1$ , fig.5.1.

Conform teoremei lui Cauchy, dacă o funcție  $f(z)$  este olomorfă într-un domeniu  $D$  simplu conex și pe conturul său  $C$ , integrala

$$I = \int_C f(z) dz = 0 \quad (5.1)$$



Același lucru este valabil și în cazul domeniului cu conexiune dublă, în care se operează o tăietură  $aa'-bb'$ .

Astfel integrala

$$I = \int_C f(z)dz + \int_{ab} f(z)dz - \int_{C_1} f(z)dz + \int_{b'a'} f(z)dz = 0 \quad (5.2)$$

Deoarece la limită, când  $ab = a'b'$ , integrala

$$\int_{ab} f(z)dz = - \int_{b'a'} f(z)dz, \text{ rezultă că}$$

$$\int_C f(z)dz = \int_{C_1} f(z)dz,$$

Fig.5.1. Teorema lui Cauchy

cu condiția ca operația de integrare să se facă pe ambele contururi în același sens.

De asemenea, dacă se consideră un domeniu  $D$  cu conexiune dublă și o funcție  $f(z)$  olomorfă în  $D$  și pe contururile  $C, C_1$ , cu excepția unui punct  $z_0$ , se demonstrează că și funcția

$$\varphi(z) = \frac{f(z)}{z - z_0} \quad (5.3)$$

este olomorfă în tot domeniul  $D$ , cu excepția punctului  $z_0$ .

Conform continuității funcției  $f(z)$  în  $D$ , se poate scrie că

$$f(z) - f(z_0) = \varepsilon(z) \quad , \quad \text{cu } |\varepsilon(z)| < \varepsilon \quad (5.4)$$

sau

$$f(z) = f(z_0) + \varepsilon(z) \quad , \quad (5.5)$$

în toate punctele vecinătății  $|z - z_0| \leq \rho$ ; unde  $\rho$  este raza cercului  $\Gamma$  din jurul punctului  $z_0$  și cu centrul în acel punct.

În aceste condiții integrala  $I$ , efectuată pe conturul  $C$  al domeniului  $D$ , se poate scrie:

$$I = \int_C \varphi(z)dz = f(z_0) \int_{\Gamma} \frac{1}{z - z_0} dz + \int_{\Gamma} \frac{\varepsilon(z)}{z - z_0} dz. \quad (5.6)$$

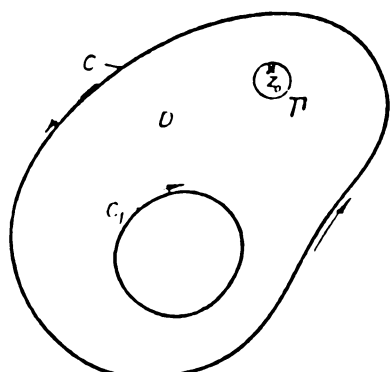


Fig.5.2. Integrala lui Cauchy

Observînd că  $z = z_0 + r e^{i\theta}$  și  $dz = i r e^{i\theta} d\theta$ , prima integrală din membrul doi se poate scrie

$$\int_{\Gamma} \frac{1}{z-z_0} dz = i \int_0^{2\pi} d\theta = 2 i\pi .$$

Integrala a doua din membrul doi a relației (5.6) este nulă, deoarece  $\mathcal{E}$  poate fi făcut arbitrar de mic.

Se obține în acest fel relația

$$f(z_0) = \frac{1}{2\pi i} \int_C \frac{f(z)}{z-z_0} dz, \quad (5.7)$$

numită formula fundamentală sau integrala Cauchy. Ea ne arată că valoarea unei funcții olomorfe în  $D$  și continuă pe  $D + C$  este complet determinată dacă se cunoaște valoarea ei pe întregul contur  $C$  al domeniului.

Valorificarea teoremei lui Cauchy urmează să se facă prin intermediul teoremei lui Volterra, care permite reprezentarea domeniului  $D$  simplu conex, în semiplanul superior  $\Im m z \geq 0$ , din planul  $Z$ .

În acest scop se consideră o funcție  $f(z)$  olomorfă în semiplanul superior,  $\Im m z \geq 0$ , ce tinde către o valoare limitată  $f_0$  în punctul de la infinit. Pentru un punct oarecare  $z$  se poate scrie

$$f(z) = f_0 + \Theta\left(\frac{1}{z^a}\right), \quad a > 0, \quad (5.8)$$

unde  $\Theta\left(\frac{1}{z^a}\right)$  tinde către zero atunci cînd  $z \rightarrow \infty$ . De aici rezultă că există limita

$$\lim_{z \rightarrow \infty} z^a (f(z) - f_0) = A, \quad (5.9)$$

$A$  fiind o mărime determinată.

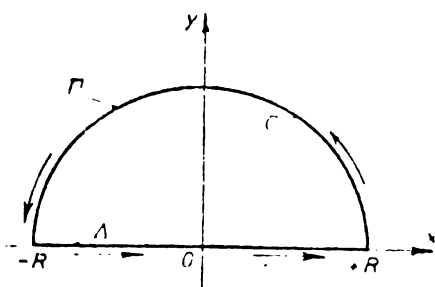


Fig.5.3. Teorema lui Volterra

Cu aceste precizări se analizează o funcție  $f(z)$  olomorfă într-un domeniu  $D$  și pe conturul acestuia  $\Gamma$ , fig.5.3. Domeniul  $D$  este situat în întregime în semiplanul superior,  $\Im m z \geq 0$ , iar conturul  $\Gamma$  este alcătuit dintr-un semicerc  $C$  și un segment  $\Delta$ , situat pe axa reală, cuprins între  $-R$  și  $+R$

Conform teoremei lui Cauchy pentru orice punct  $z_0$  interior conturului  $\Gamma$  rezultă

$$f(z_0) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{f(\xi)}{\xi - z_0} d\xi, \quad (5.10)$$

$\xi$  fiind o variabilă complexă în planul  $Z$ . Această integrală se poate scrie

$$\int_{\Gamma} \frac{f(\xi)}{\xi - z_0} d\xi = \int_{-R}^{+R} \frac{f(x)}{x - z_0} dx + \int_C \frac{f(\xi)}{\xi - z_0} d\xi. \quad (5.11)$$

Pentru  $\xi = R e^{i\theta} \rightarrow \infty$ , integrala a doua, din membrul doi al expresiei (5.11), devine:

$$\lim_{R \rightarrow \infty} \int_C \frac{f(\xi)}{\xi - z_0} d\xi = \lim_{R \rightarrow \infty} \int_C \frac{f_0 + \frac{A}{\xi^a}}{\xi - z_0} d\xi. \quad (5.12)$$

Deoarece  $\lim_{R \rightarrow \infty} (1/\xi^a) = 0$  rezultă că

$$\lim_{R \rightarrow \infty} \int_C \frac{f(\xi)}{\xi - z_0} d\xi = \lim_{R \rightarrow \infty} \int_C \frac{f_0}{\xi - z_0} d\xi = \pi i f_0. \quad (5.13)$$

În consecință

$$f(z_0) = \frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{f(x)}{x - z_0} dx + \frac{1}{2} f_0. \quad (5.14)$$

Dacă în expresia (5.10) înlocuim pe  $z_0 = x_0 + i y_0$  cu conjugatul său  $z_0 = x_0 - i y_0$ , care este exterior conturului integrala (5.10) este nulă. Același lucru se poate spune dacă în (5.14) înlocuim pe  $f(x)$  și  $f_0$  cu conjugatele lor,  $\bar{f}(x)$ ,  $\bar{f}_0$ .

Cum

$$f(z) = \varphi(x, y) + i \psi(x, y)$$

iar

$$f_0 = \varphi_{\infty} + i \psi_{\infty},$$

se ajunge, pe baza unor operații simple, de adunare și scădere la expresiile

$$f(z_0) = \frac{1}{\pi i} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\varphi(x, 0)}{x - z_0} dx + i \psi_{\infty} \quad (5.15)$$

și

$$f(z_0) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\psi(x, 0)}{x - z_0} dx + \varphi_{\infty}, \quad (5.16)$$

ce reprezintă teorema lui Volterra.

În baza teoremei lui Volterra, reprezentată prin re-

lațiile (5.15) și (5.16), funcția analitică  $f(z)$  poate fi determinată atunci când se cunoaște partea reală sau partea imaginară a funcției de-a lungul axei reale.

5.1.2. Studiul filtrației în jurul bazinelor de infiltrare de formă dreptunghiulară [124]

Se consideră un bazin de formă dreptunghiulară avînd lățimea  $b$  și lungimea  $a$ , așezat paralel cu malul unui râu, lac sau alt bazin, la o distanță  $d$ , fig.5.4.

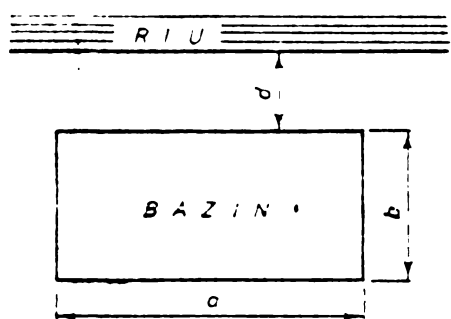


Fig.5.4. Bazin dreptunghiular

Printr-o alegere convenabilă a raportelor  $a/b$  și  $d/a$  se poate obține un număr oricît de mare de variante.

Potențialul complex al mișcării din jurul bazinului va fi reprezentat de funcția care transformă conform planul superior,  $\Im_m z \geq 0$  din planul  $Z$ , în semiplanul superior,  $\Im_m w \geq 0$  din planul fizic  $W$ , cu excepția interiorului unui contur poligonal, reprezentînd bazinul înșăși.

Funcția căutată se obține cu ajutorul transformării conforme Schwarz-Christoffel și al teoremei lui Volterra. În acest scop se efectuează o tăietură ipotetică ca în figura 5.5,

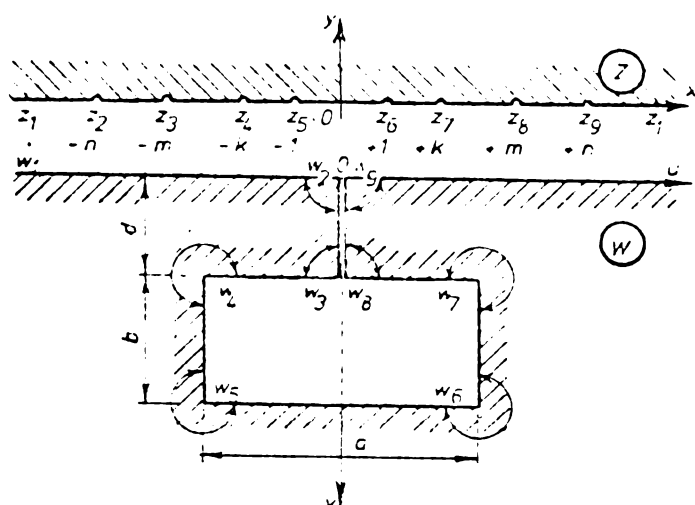


Fig.5.5. Transformarea Schwarz-Christoffel

pentru a transforma domeniul fizic  $W$  dublu conex, într-un domeniu cu conexiune simplă.

Din figura 5.5. rezultă că axa reală din planul  $Z$  poate trece într-un contur poligonal  $W_1, W_2, W_3 \dots W_8, W_9, W_{10}$  din planul  $W$ , dacă segmentele  $z_{i-1}-z_i$  și  $z_i-z_{i+1}$  se vor roti așa fel încît să formeze între ele unghiurile  $\alpha_i \pi$ .

Dacă se ia

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= -1 ; \\ \alpha_2 &= \alpha_3 = \alpha_8 = \alpha_9 = \frac{1}{2} \\ \alpha_4 &= \alpha_5 = \alpha_6 = \alpha_7 = \frac{2}{3} \end{aligned} \tag{5.17}$$

și

$$\begin{aligned} z_1 &= \pm \infty \\ z_2 &= -n \quad ; \quad z_3 = -m \quad ; \quad z_4 = -k \quad ; \quad z_5 = -1 \\ z_6 &= +1 \quad ; \quad z_7 = +k \quad ; \quad z_8 = +m \quad ; \quad z_9 = +n, \end{aligned} \quad (5.18)$$

expresia funcției de transformare Schwarz-Christoffel

$$W = A \int_{z_0}^z \prod (z - z_i)^{\alpha_i - 1} dz, \quad (5.19)$$

care asigură transformarea axei reale din planul  $Z$ , în poligonul  $W_1, W_2, \dots, W_8, W_9, W_1$  din planul  $W$ , capătă forma

$$W = A \int_{z_0}^z \sqrt{\frac{(z^2 - 1)(z^2 - k^2)}{(z^2 - m^2)(z^2 - n^2)}} dz = A \int_{z_0}^z [F(z)]^{1/2} dz, \quad (5.20)$$

unde s-a notat cu  $F(z) = (z^2 - 1)(z^2 - k^2) / (z^2 - m^2)(z^2 - n^2)$ .

Constantele  $A, k, m, n$  se determină din condiții geometrice.

În adevăr, dacă laturile  $a$  și  $b$  sînt respectiv paralele sau normale pe axa reală din planul  $W$ , diferența

$$W_{i+1} - W_i = \left| A \int_{z_i}^{z_{i+1}} [F(z)]^{1/2} dz \right|, \quad (5.21)$$

permite stabilirea mărimilor  $a$  și  $b$ . Deci:

$$\begin{aligned} a &= |W_6 - W_5| = |2(W_4 - W_3)| = |2(W_8 - W_7)|; \\ b &= |W_5 - W_4| = |W_7 - W_6|; \\ d &= |W_3 - W_2| = |W_9 - W_8|. \end{aligned} \quad (5.22)$$

Revenind la expresia (5.21) se obține

$$\begin{aligned} a &= \left| A \int_{-1}^{+1} [F(z)]^{1/2} dz \right| = \left| 2A \int_{+k}^{+m} [F(z)]^{1/2} dz \right|; \\ b &= \left| A \int_{-1}^{+k} [F(z)]^{1/2} dz \right|; \\ d &= \left| A \int_{+m}^{+1} [F(z)]^{1/2} dz \right|. \end{aligned} \quad (5.23)$$

Efectuarea acestor integrale este foarte dificilă.

Din acest motiv pentru rezolvarea problemelor practice se folosesc metode aproximative de calcul. Astfel, utilizînd metoda trapezului

$$W^* = \int_a^b f(t) dt = (b - a) f\left(\frac{a + b}{2}\right), \quad (5.20')$$

se obține:

$$a = 2|A| \cdot \left( \frac{3(4k^2 - 1)}{(4m^2 - 1)(4n^2 - 1)} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (5.24)$$

de asemenea

$$a = 2|A| \cdot (m - k) \cdot \left( \frac{(m + k - 2)(m + k + 2)(3k + m)}{(2n - m - k)(2n + m + k)(3m + k)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5.24')$$

$$b = |A| \cdot (k-1)^2 \cdot \left( \frac{(3k+1)(k+3)}{(2m-k-1)(2m+k+1)(2n-k-1)(2n+k+1)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5.25)$$

$$d = |A| \cdot \left( \frac{(m+n-2k)(m+n+2k)(m+n-2)(m+n+2)}{(3m+n)(3n+m)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5.26)$$

Prin eliminarea constantei A între expresiile (5.24) și (5.24') se obține constanta n, în funcție de constantele m și k. Astfel:

$$n = \left[ \frac{D_1 - (m + k)^2}{4(D_1 - 1)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.27)$$

unde

$$D_1 = \frac{(m-k)^2(m+k-2)(m+k+1)(3k+m)(4m^2-1)}{3(4k^2-1)(3m+k)}$$

Din (5.27) rezultă că fiecărei perechi de valori ale constantelor m și k îi corespunde o valoare pentru n, dacă:

$$\begin{aligned} D_1 - (m + k)^2 > 0 \quad \text{și} \quad D_1 > 1 \quad \text{sau} \\ D_1 - (m + k)^2 < 0 \quad \text{și} \quad D_1 < 0 \end{aligned} \quad (5.28)$$

Constanta A se deduce din expresia:

$$\frac{|A|}{a} = \frac{1}{2(m-k)} \left( \frac{(2n-m-k)(2n+m+k)(3m+k)}{(m+k-2)(m+k+2)(3k+m)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5.29)$$

În cadrul lucrării au fost determinate cu ajutorul calculatorului Felix C-256 un număr mare de serii de valori ale constantelor A, k, m, n, corespunzătoare diferitelor rapoarte a/b și d/a, din care o parte se prezintă în tabelul 5.1.

Astfel pot fi alese o serie de variante, de la un bazin asemănător cu un dren de lungime infinită așezat paralel cu râul, la bazine având a și b comparabile, pînă la drenuri de lungime finită orientate perpendicular pe râu. Pentru o și mai bună ilustrare a variantelor posibile tabelul 5.1 se completează cu figura 5.6.

Spectrul hidrodinamic, din planul Z, al fenomenului de filtrație în jurul bazinului, poate fi determinat dacă se cunoaște potențialul complex al mișcării

Tabelul 5.1.

k	m	n	a	b	d	A/a	a/b	d/a	Scheme
1,10	1,60	1,930	0,599	0,005	1,139	2,785	111,58	1,90	Fig. 5.6.a
1,20	1,60	1,690	0,769	0,029	0,894	1,297	26,12	1,16	
1,30	1,80	3,550	0,342	0,022	2,198	2,924	15,40	6,43	
1,80	2,10	2,553	0,586	0,265	1,332	1,705	2,21	2,27	Fig. 5.6.b
1,80	2,20	5,831	0,241	0,092	3,569	4,156	2,60	14,83	
1,90	2,20	2,823	0,533	0,289	1,509	1,875	1,84	2,83	
1,90	2,25	3,777	0,386	0,193	2,225	0,218	2,00	5,70	
2,20	2,40	2,662	0,604	0,594	1,150	1,653	1,02	1,90	Fig. 5.6.c
2,30	2,60	4,637	0,330	0,314	2,711	3,025	1,05	8,20	
2,40	2,70	5,551	0,277	0,294	3,305	3,608	0,94	11,92	
2,80	2,90	3,000	0,565	1,176	0,874	1,770	0,48	1,55	Fig. 5.6.d
2,80	3,00	3,850	0,422	0,769	1,890	2,043	0,55	4,47	
2,90	3,10	4,107	0,397	0,784	2,060	2,542	0,51	5,19	
4,70	4,80	5,655	0,301	1,956	2,248	3,322	0,15	7,47	Fig. 5.6.e
4,80	4,90	5,828	0,292	1,981	2,355	3,285	0,15	8,06	
5,00	5,10	6,190	0,275	2,026	2,580	3,634	0,14	9,36	

$$f(z) = \varphi(x,y) + i\psi(x,y) \quad (5.31)$$

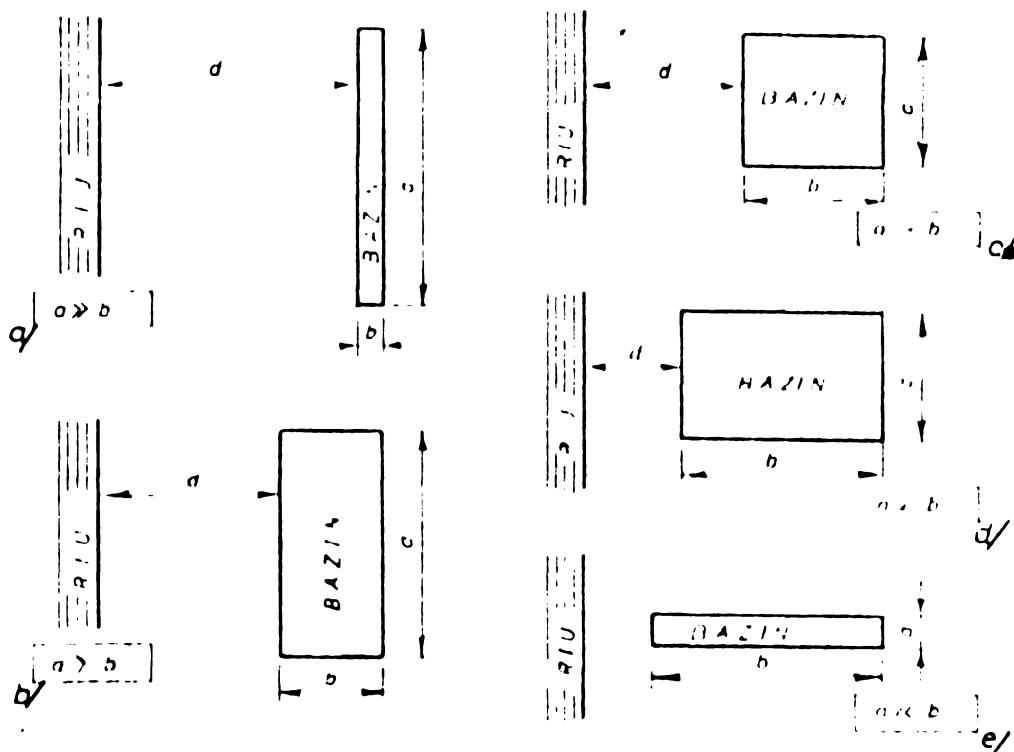


Fig.5.6.Variante de aşezare a bazinelor

Determinarea funcției  $f(z)$  poate fi efectuată cu ajutorul teoremei lui Volterra. Astfel:

$$f(z) = \frac{1}{i\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\varphi(x,0)}{x-z} dx + i\psi_{\infty}, \quad (5.15')$$

care aplicată de-a lungul axei reale,  $y = 0$ , pentru cazul luat în studiu, se transformă într-o sumă de integrale, conformă cu numărul segmentelor ce se transformă în laturile poligonului  $W_1, W_2, \dots, W_n$ . Deci:

$$f(z) = \frac{1}{i\pi} \left\{ \int_{-\infty}^{-n} \frac{\varphi(x,0)}{x-z} dx + \int_{-n}^{-m} \frac{\varphi(x,0)}{x-z} dx + \int_{-m}^{+m} \frac{\varphi(x,0)}{x-z} dx + \int_{+m}^{+n} \frac{\varphi(x,0)}{x-z} dx + \int_{+n}^{+\infty} \frac{\varphi(x,0)}{x-z} dx \right\} + i\psi_{\infty} \quad (5.32)$$

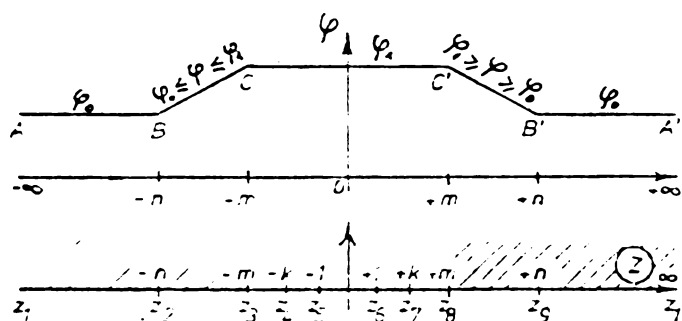


Fig.5.7. Distribuția lui  $\varphi(x,0)$

Admitem că oglinda apei din bazin formează o suprafață  $\varphi_1$ , iar suprafața apei din râu, lac etc. o echipotențială  $\varphi_0$ , așa fel încît  $\varphi_1 > \varphi_0 > 0$ . Dacă pe drumul cel mai scurt dintre bazin și râu, lac etc trecerea de la  $\varphi_1$  la  $\varphi_0$  se face după o lege liniară se poate scrie conform figurii 5.7, că:

$$\begin{aligned} \varphi(x,0) &= \varphi_0 && \text{pentru } z = x \in (-\infty, -n) ; \\ \varphi(x,0) &= \frac{\varphi_0 - \varphi_1}{m - n}(x + m) + \varphi_1, && z = x \in (-n, -m) \\ \varphi(x,0) &= \varphi_1, && z = x \in (-m, +m) \\ \varphi(x,0) &= \frac{\varphi_0 - \varphi_1}{m - n}(m - x) + \varphi_1, && z = x \in (+m, +n) \\ \varphi(x,0) &= \varphi_0, && z = x \in (+n, +\infty) \end{aligned} \quad (5.33)$$

Cu aceste precizări, expresia funcției  $f(z)$ , din (5.32) devine:



$$f(z) = \frac{1}{i\pi} \left\{ \int_{-\infty}^{-n} \frac{\varphi_0}{x-z} dz + \int_{-n}^{-m} \frac{\frac{\varphi_0 - \varphi_1}{m-n}(x+m) + \varphi_1}{x-z} dx + \int_{-m}^{+m} \frac{\varphi_1}{x-z} dx + \right. \\ \left. + \int_{+m}^{+n} \frac{\frac{\varphi_0 - \varphi_1}{m-n}(m-x) + \varphi_1}{x-z} dx + \int_{+n}^{+\infty} \frac{\varphi_0}{x-z} dx \right\} + i\psi_\infty \quad (5.34)$$

Notînd integralele din membrul doi al expresiei (5.34), respectiv cu  $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5$ , se poate scrie că:

$$f(z) = \frac{1}{i\pi} (I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5) + i\psi_\infty \quad (5.35)$$

Integralele  $I_1$  și  $I_5$  au forma:

$$I_1 = \int_{-\infty}^{-n} \frac{\varphi_0}{x-z} dx = \varphi_0 \ln|x-z|_{-\infty}^{-n} \text{ și } I_5 = \int_{+n}^{+\infty} \frac{\varphi_0}{x-z} dx = \varphi_0 \ln|x-z|_{+n}^{+\infty}$$

ceea ce conduce la

$$I_1 + I_5 = \varphi_0 \ln \left| \frac{n+z}{n-z} \right| + \varphi_0 \ln \left[ \lim_{x \rightarrow \infty} \left| \frac{x-z}{x+z} \right| \right] = \varphi_0 \ln \left| \frac{n+z}{n-z} \right| ,$$

deoarece

$$\ln \left[ \lim_{x \rightarrow \infty} \left| \frac{x-z}{x+z} \right| \right] = 0 .$$

Integralele  $I_2, I_3, I_4$  conduc direct la expresii logaritmice. Astfel:

$$I_2 = \varphi_1 - \varphi_0 + \frac{1}{m-n} \left[ (\varphi_0 - \varphi_1)z + m\varphi_0 - n\varphi_1 \right] \ln \left| \frac{z+m}{z+n} \right| ;$$

$$I_3 = \varphi_1 \ln \left| \frac{z-m}{z+m} \right| ;$$

$$I_4 = \varphi_0 - \varphi_1 + \frac{1}{m-n} \left[ m\varphi_0 - n\varphi_1 - (\varphi_0 - \varphi_1)z \right] \ln \left| \frac{z-n}{z-m} \right| .$$

Revenind la expresia funcției  $f(z)$  se obține

$$f(z) = \frac{1}{i\pi} \left\{ \varphi_0 \ln \left| \frac{n+z}{n-z} \right| + \varphi_1 \ln \left| \frac{z-m}{z+m} \right| - \frac{\varphi_0 - \varphi_1}{m-n} z \ln \left| \frac{z^2 - n^2}{z^2 - m^2} \right| - \right. \\ \left. - \frac{m}{m-n} \varphi_0 \ln \left| \frac{(z-m)(z+n)}{(z+m)(z-n)} \right| + \frac{n}{m-n} \varphi_1 \ln \left| \frac{(z-m)(z+n)}{(z+m)(z-n)} \right| \right\} + i\psi_\infty \quad (5.36)$$

Din expresia (5.36), prin separarea părții reale de partea imaginară se obține spectrul hidrodinamic, din planul  $Z$ , căutat.

Dacă se consideră  $\varphi_1 > 0$  și  $\varphi_0 = 0$ , din (5.36) se obține

$$f(z) = \frac{\varphi_1}{i\pi} \left\{ \ln \left| \frac{z-m}{z+m} \right| + \frac{z}{m-n} \ln \left| \frac{z^2-n^2}{z^2-m^2} \right| + \frac{n}{m-n} \ln \left| \frac{(z-m)(z+n)}{(z+m)(z-n)} \right| \right\} + i\psi_\infty \quad (5.37)$$

Expresiile (5.36) și (5.37) definesc, în domeniul cercetat, același spectru hidrodinamic cu  $\varphi_1 > \varphi_0$  și  $\varphi_0 > 0$ , respectiv  $\varphi_0 = 0$ .

Din (5.37), partea reală definește familia de linii echipotențiale iar partea imaginară familia liniilor de curent. Astfel dezvoltînd logaritmi din membrul doi al expresiei (5.37), în baza relațiilor cunoscute

$$\ln(z + z_0) = \frac{1}{2} \ln[(x+a)^2 + (y+b)^2] + i \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{y+b}{x+a}$$

și

$$\operatorname{arc} \operatorname{tg} A - \operatorname{arc} \operatorname{tg} B = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{A-B}{1+A \cdot B}$$

și apoi separînd partea reală de partea imaginară se obține:

$$\begin{aligned} \operatorname{Re}\{f(z)\} = \varphi(x,y) = & \frac{\varphi_1}{\pi} \left\{ \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left( \frac{z-m}{z+m} \right) + \frac{x}{m-n} \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left( \frac{z^2-n^2}{z^2-m^2} \right) + \right. \\ & \left. + \frac{y}{m-n} \ln \operatorname{modul} \left( \frac{z^2-n^2}{z^2-m^2} \right) + \frac{n}{m-n} \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left( \frac{(z-m)(z+n)}{(z+m)(z-n)} \right) \right\}, \quad (5.38) \end{aligned}$$

iar

$$\begin{aligned} \operatorname{Im}\{f(z)\} = \psi(x,y) = & \frac{\varphi_1}{\pi} \left\{ \frac{y}{m-n} \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left( \frac{z^2-n^2}{z^2-m^2} \right) - \frac{x}{m-n} \ln \operatorname{modul} \left( \frac{z^2-n^2}{z^2-m^2} \right) - \right. \\ & \left. - \ln \operatorname{modul} \left( \frac{z-m}{z+m} \right) - \frac{n}{m-n} \ln \operatorname{modul} \left( \frac{(z-m)(z+n)}{(z+m)(z-n)} \right) \right\} + \psi_\infty \quad (5.39) \end{aligned}$$

Se observă că atât funcția  $\varphi(x,y)$  cît și funcția  $\psi(x,y)$  sînt definite de expresii complicate, motiv pentru care separarea variabilelor  $x, y$  este foarte dificilă. Din acest motiv se preferă determinarea valorilor funcțiilor  $\varphi(x,y)$  și  $\psi(x,y)$  într-o rețea densă de puncte  $z_1 = x_1 + iy_1$  și trasarea grafică a familiilor de curbe  $\varphi(x,y) = \text{const}$ , respectiv  $\psi(x,y) = \text{const}$ . în planul  $Z$ .

Famiile de curbe astfel obținute în planul  $Z$  se transformă conform punct cu punct în planul  $W$ , cu ajutorul transformării Schwarz-Christoffel, formulată în (5.20) și (5.29):

$$W = A \int_{z_0}^z \sqrt{\frac{(z^2 - 1)(z^2 - k^2)}{(z^2 - m^2)(z^2 - n^2)}} dz = P(u, v) + iQ(u, v), \quad (5.20)$$

unde

$$A = \frac{a}{2(m-k)} \left[ \frac{(2n - m - k)(2n + m + k)(3m + k)}{(m + k - 2)(m + k + 2)(3k + m)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.29)$$

Se observă că transformarea Schwarz-Christoffel necesită efectuarea unei integrale eliptice. Pentru rezolvarea acestei probleme se preferă o soluție aproximativă, obținută prin dezvoltarea în serie a termenilor de sub semnul integrală.

În acest scop se notează cu

$$F(z) = \sqrt{\frac{(z^2 - 1)(z^2 - k^2)}{(z^2 - m^2)(z^2 - n^2)}} = \frac{k}{m \cdot n} \left(1 - z^2\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{z^2}{k^2}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{z^2}{m^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{z^2}{n^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (5.40)$$

Așadar, funcția  $F(z)$  poate fi exprimată prin produsul dintre patru serii:

$$S_1 = \left(1 - z^2\right)^{\frac{1}{2}}, \quad S_2 = \left(1 - \frac{z^2}{k^2}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad S_3 = \left(1 - \frac{z^2}{m^2}\right)^{-\frac{1}{2}}, \quad S_4 = \left(1 - \frac{z^2}{n^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

și constanta  $(k/mn)$ , cu  $1 < k < m < n$ .

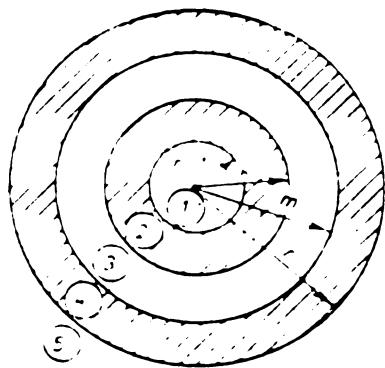


Fig.5.8. Zonarea câmpului de transformat

Analiza convergenței seriilor  $S_1, S_2, S_3, S_4$  ovidențiază faptul că: prima este convergentă pentru  $z < 1$ , a doua pentru  $z < k$ , a treia pentru  $z < m$  și a patra pentru  $z < n$ . Din acest motiv, la transformarea punctelor din planul  $Z$  în planul  $W$  trebuie să se cerceteze zona din care acestea fac parte și să se asigure corespunzător convergența seriilor  $S_1, S_2, S_3, S_4$ .

Astfel, utilizând notația din (5.40) expresia (5.20) devine:

$$W_i = A \int_{z_0}^{z_i} F_i(z) dz \quad (5.41)$$

- pentru zona 1, unde  $|z| < 1$ ,

$$F_I(z) = \frac{k}{m \cdot n} (1-z^2)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(1 - \frac{z^2}{k^2}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(1 - \frac{z^2}{m^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \left(1 - \frac{z^2}{n^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (5.42)$$

- pentru zona 2,  $1 < |z| < k$ ,

$$F_{II}(z) = i \frac{k}{m \cdot n} |z| \cdot \left(1 - \frac{1}{z^2}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(1 - \frac{z^2}{k^2}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(1 - \frac{z^2}{m^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \left(1 - \frac{z^2}{n^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (5.43)$$

- pentru zona 3,  $k < |z| < m$ ,

$$F_{III}(z) = -\frac{z^2}{m \cdot n} \left(1 - \frac{1}{z^2}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(1 - \frac{k^2}{z^2}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(1 - \frac{z^2}{m^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \left(1 - \frac{z^2}{n^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (5.44)$$

- pentru zona 4,  $m < |z| < n$ ,

$$F_{IV}(z) = i \frac{z}{n} \left(1 - \frac{1}{z^2}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(1 - \frac{k^2}{z^2}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(1 - \frac{m^2}{z^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \left(1 - \frac{z^2}{n^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (5.45)$$

- pentru zona 5,  $n < |z|$ ,

$$F_V(z) = -\left(1 - \frac{1}{z^2}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(1 - \frac{k^2}{z^2}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(1 - \frac{m^2}{z^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \left(1 - \frac{n^2}{z^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (5.46)$$

Urmăzând ca în cazurile concrete să se parcurgă următoarele operații:

- dezvoltarea seriilor  $S_1, S_2, S_3, S_4$  și transformatorilor lor  $S'_1, S'_2, S'_3, S'_4$ , reținerea primilor  $n$  termeni a seriilor în funcție de precizia dorită (informativ 3 termeni);

- efectuarea înmulțirii seriilor, conform zonării făcute;

- efectuarea integralelor pe zone și determinarea expresiilor lui  $W_i$ ;

- separarea părții reale de cea imaginară;

- trasarea curbelor  $P(u,v) = \text{const}$ ,  $Q(u,v) = \text{const}$ .

Rezultatele obținute pentru cazul  $A = 0,0843$ ;  $k = 1,90$ ;  $m = 2,25$ ;  $n = 3,7776$ ;  $a/b = 2,00$ ;  $d/a = 5,76$  se dau în anexă împreună cu schemele logice utilizate.

## 5.2. Studiul filtrației în vecinătatea bazinelor de infiltrare, cu ajutorul funcțiilor spline complexe [49].

### 5.2.1. Folosirea funcțiilor spline complexe la studiul filtrației

Se știe că, pentru a studia fenomenul filtrației

printr-un strat acvifer, în apropierea unui bazin de infiltrație, este suficient să se cunoască o funcție  $f(z)$ , de variabilă complexă  $z = x + iy$ , monogenă și uniformă, care să definească potențialul complex al acestei mișcări.

Se presupune, deci, că funcția analitică

$$f(z) = P(x,y) + iQ(x,y) , \quad (5.47)$$

este definită în domeniul complex  $D \subset \mathbb{C}$  și că reprezintă potențialul complex al mișcării de filtrație. Partea reală a acestei funcții, egalată cu o constantă

$$R_e \{f(z)\} = P(x,y) = c_1 \quad ; \quad c_1 \in \mathbb{R} , \quad (5.48)$$

definește familia liniilor echipotențiale. Partea imaginară egalată, de asemenea, cu o constantă

$$I_m \{f(z)\} = Q(x,y) = k_1 \quad ; \quad k_1 \in \mathbb{R} \quad (5.48')$$

definește familia liniilor de curent.

Cu alte cuvinte, dacă se cunoaște funcția  $f(z)$ , se poate construi spectrul hidrodinamic al filtrației în planul fizic, care permite apoi determinarea tuturor elementelor mișcării.

În general, potențialul complex  $f(z)$  este greu de determinat, iar în literatura de specialitate se tratează un număr restrâns de cazuri particulare. La rezolvarea unor probleme practice prezintă, însă, un interes deosebit faptul că deși potențialul complex nu se cunoaște valorile acestuia pot fi determinate într-un număr  $N$  de puncte. Se pune, deci, problema construirii unei funcții aproximante de variabilă complexă, notată cu  $S_\Delta(z)$ , care să coincidă pe aceste puncte cu valorile funcției  $f(z)$ . Cu cât se vor folosi, în construcția lui  $S_\Delta(z)$ , mai multe asemenea puncte, cu atât aproximarea lui  $f(z)$  va fi mai bună.

Revenind la filtrația apei prin straturi acvifere, în vecinătatea bazinelor de infiltrație, se observă că luciul apei constituie o valoare cunoscută a potențialului de vitezo, iar conturul lui reprezintă o linie echipotențială. Convenim să notăm acest contur cu  $T$ ; analitic el satisface relația (5.48). Presupunem că valorile potențialului complex pot fi determinate într-un număr  $N$  de puncte situate pe  $T$ , fără ca expresia lui analitică, adică  $f(z)$ , să fie cunoscută.

Pornind de la acest fapt, se cere să se construiască o funcție analitică aproximantă  $S_{\Delta}(z)$ , ale cărei valori să coincidă cu valorile potențialului complex cunoscute, în nodurile  $N$  situate pe  $\Gamma$ .

Deoarece, în accepțiunea de mai sus, curba  $\Gamma$  este echipotențială, identificată în  $N$  puncte pe teren și care analitic provine din  $f(z)$ , rezultă că potențialul aproximant  $S_{\Delta}(z)$  va reflecta în mare măsură fenomenul din natură. Considerarea unei echipotențiale drept curba de-a lungul căreia se identifică în  $N$  puncte valorile lui  $f(z)$ , constituie principala deosebire față de ipoteza considerată în [65], unde  $\Gamma$  reprezintă doar domeniul de definiție a lui  $f(z)$ . Dacă însă se cunosc  $N$

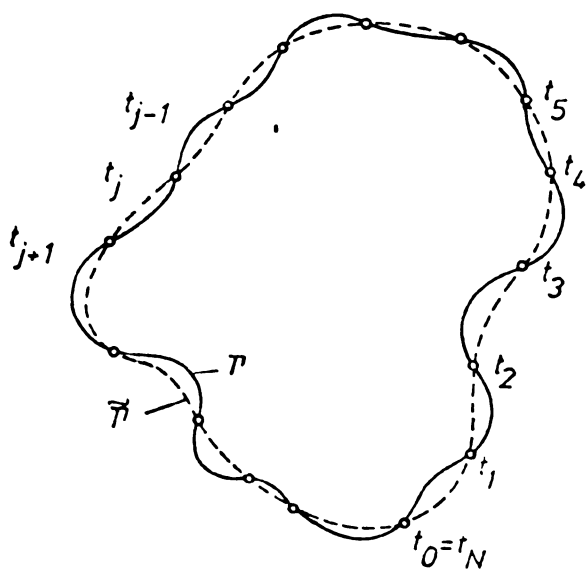


Fig.5.9. Aproximarea curbei  $\Gamma$  prin  $\tilde{\Gamma}$

puncte de-a lungul unei linii echipotențiale  $\Gamma$ , metoda propusă va conduce la aproximarea acestei curbe. Ulterior urmează să se construiască funcția  $f(z)$  plecând de la  $R'_0\{f(z)\}$  ca funcție cunoscută. În acest caz funcția notată în continuare cu  $f(z)$  reprezintă de fapt  $R_e\{f(z)\}$ . În principiu, se pleacă de la o curbă  $\Gamma$ , fig.5.9, la care nu se cunoaște expresia analitică, însă de-a lungul ei pot fi identifi-

cate  $N$  puncte. Pe cele  $N$  puncte date se cere să se construiască o altă curbă  $\tilde{\Gamma}$ , având expresia analitică ce se poate determina și care să aproximeze cât mai bine pe  $\Gamma$ . Curba aproximantă  $\tilde{\Gamma}$  rezultă din asamblarea unui număr de arce parțiale, îmbinate în punctele cunoscute de pe  $\Gamma$ , numite noduri. Expresia analitică a acestei curbe se obține din însumarea polinoamelor, care reprezintă subarcele asamblate, cu respectarea continuității pe noduri.

Fie deci  $\Gamma$ , o curbă rectificabilă Jordan, din domeniul  $D$ , determinată din condiția (5.48) și  $\Delta$  o diviziune dată a acestei curbe, astfel încât

$$\Delta = \{t_0, t_1, t_2, \dots, t_N = t_0\}, \quad N \in \mathbb{N} \quad (5.49)$$

Convenim ca punctele diviziunii  $\Delta$  să le numim nodurile diviziunii.

De asemenea, convenim să notăm cu  $f_j$  valorile funcției pe noduri, adică

$$f(t_j) = f_j ; f_j \in \mathbb{C} ; j = 1 \dots N . \quad (5.50)$$

Notăm cu  $\Gamma_j$  arcul parțial de pe curba  $\Gamma$ , cuprins între nodurile  $t_{j-1}$  și  $t_j$ , unde  $t_j \in \Gamma$ .

Presupunînd cunoscute nodurile diviziunii  $\Delta$  și valorile potențialului pe aceste noduri, definite conform egalității (5.50), urmează să se determine o funcție de variabilă complexă aproximantă  $S_\Delta(z)$ , care să caracterizeze aproximativ același fenomen fizic ca și  $f(z)$ .

Determinarea aproximantei  $S_\Delta(z)$ , ca și fundamentarea ei matematică pentru studiul filtrației, constituie o contribuție personală. Ea presupune determinarea, într-o primă etapă, a unei funcții de variabilă complexă  $q_\Delta$ , denumită "spline-simplă", căreia i se atașează apoi o altă funcție complexă pentru a obține aproximanta  $S_\Delta(z)$ , denumită "spline-analitică".

De fapt, construcția potențialului aproximant  $S_\Delta(z)$  se bazează pe:

- proprietățile funcțiilor spline de variabilă reală;
- teorema lui Volterra de construire a unei funcții de variabilă complexă, atunci cînd aceasta este cunoscută de-a lungul axei reale a domeniului complex.

#### 5.2.1.1. Determinarea funcției $q_\Delta$ "spline-simplă"

Funcția de variabilă complexă denumită "spline-simplă" și notată  $q_\Delta$  se determină ca și în cazul funcțiilor spline de variabilă reală.

Se consideră  $N$  polinoame de variabilă complexă  $P_j(t)$ , cu  $j = 1 \dots N$ , de forma:

$$P_j(t) = \sum_{k=0}^n a_{jk}(t - z)^k ; j = 1 \dots N , \quad (5.51)$$

unde  $t \in D$ ,  $a_{jk} \in \mathbb{C}$  și  $z \in C\Delta$  ( $C\Delta$  fiind complementara mulțimii  $\Delta$ ).

Coefficienții  $a_{jk}$ , ( $j = 1 \dots N$ ;  $k = 0 \dots n$ ) sînt constante complexe, care urmează a fi determinate, iar variabila  $z \in C\Delta$  se consideră fixată arbitrar. Gradul polinoamelor care intră în expresia lui  $P_j(t)$ , se ia totdeauna impar.

Numărul nodurilor diviziunii  $\Delta$  este independent de

gradul polinoamelor (5.51). Se preferă ca ambele să fie cât mai mari.

Avînd în vedere că funcția de variabilă complexă  $f(z)$ , a cărei aproximantă se caută, este derivabilă în tot domeniul  $D$ , deci și pe  $T \subset D$ , rezultă că aceasta admite pe  $T$  derivate de orice ordin. În consecință și funcția  $q_{\Delta}(z)$ , va fi definită cu ajutorul polinoamelor  $P_j(t)$ , așa fel încît racordarea pe noduri să se facă pînă la un anumit ordin, deoarece cu cît ordinul de racordare este mai mare cu atît se asigură o aproximare mai bună. Din aceste considerente rezultă, de fapt, criteriile de definire a funcției  $q_{\Delta}(z)$ , denumită "spline-simplă"

Teorema 1. O funcție de variabilă complexă  $q_{\Delta}$  definită pe  $D$  cu valori în  $\mathbb{C}$ , se numește "spline-simplă" dacă verifică condițiile:

$$q_{\Delta}(t) = P_j(t) \quad ; \quad t \in T_j \quad ; \quad (j = 1 \dots N) \quad (5.52)$$

și

$$P_{j-1}^{(\alpha)}(t_j) = P_j^{(\alpha)}(t_j) \quad ; \quad (\alpha = 0 \dots n-1 \quad ; \quad j = 1 \dots N) \quad (5.53)$$

Satisfacerea acestor condiții asigură racordarea polinoamelor  $P_j(t)$  în nodurile  $t_j$ , ( $j = 1 \dots N$ ), pînă la ordinul  $(n - 1)$ , deoarece pe aceste noduri coincid atît valorile polinoamelor cît și ale derivatelor lor pînă la ordinul  $n - 1$ , așa cum se și urmărea.

Revonind la expresia (5.51):

a). Dacă nodul  $t_0 \in T$  coincide cu nodul  $t_N \in T$ , atunci coeficienții polinoamelor (5.51) verifică egalitatea

$$\sum_{j=1}^N (a_{j,k} - a_{j-1,k}) = 0 \quad ; \quad (k = 1 \dots n) \quad (5.54)$$

Intr-adevăr, deoarece  $t_0 = t_N$  și  $P_0(t) \equiv P_N(t)$  rezultă că și  $a_{0,k} = a_{N,k}$ .

Din dezvoltarea sumei (5.54), pentru  $j = 1 \dots N$ , după reducerea termenilor asemenea se ajunge la  $a_{N,k} - a_{0,k} = 0$ , deoarece  $a_{N,k} = a_{0,k}$ .

b). Dacă  $t_0 = t_N$  are loc și egalitatea

$$\sum_{j=1}^N \zeta_j (t_j - z)^p = 0 \quad ; \quad (p = 0 \dots n) \quad ; \quad (5.55)$$

unde s-a notat cu  $\zeta_j = a_{j+1,n} - a_{j,n}$ .



Intr-adevăr, dacă se consideră condițiile (5.52) și (5.53), precum și relația (5.54), iar  $\alpha$  se ia egal cu  $n - 1$ , rezultă că

$$P_{j+1}^{(n-1)}(t_j) = P_j^{(n-1)}(t_j) ,$$

ceea ce conduce la

$$\left[ \sum_{k=0}^n a_{j+1,k} (t - z)^k \right]_{t=t_j}^{(n-1)} = \left[ \sum_{k=0}^n a_{j,k} (t - z)^k \right]_{t=t_j}^{(n-1)} ,$$

sau

$$-n!(a_{j+1,n} - a_{j,n})(t_j - z) = (n - 1)!(a_{j+1,n-1} - a_{j,n-1}) .$$

Din ultima egalitate, pentru  $j = 1 \dots N$ , se obține

$$\sum_{j=1}^N -n!(a_{j+1,n} - a_{j,n})(t_j - z) = \sum_{j=1}^N (n-1)!(a_{j+1,n-1} - a_{j,n-1}) = 0 ;$$

adică

$$\sum_{j=1}^N \zeta_j (t_j - z) = 0 , \quad (\zeta_j = a_{j+1,n-1} - a_{j,n-1})$$

Repetînd același raționament pentru  $\alpha = n - 2$ ;  $\alpha = n - 3, \dots, \alpha = 3$ ;  $\alpha = 2$ ;  $\alpha = 1$ ;  $\alpha = 0$  se obține egalitatea (5.55).

Egalitatea (5.55) reprezintă o proprietate esențială în construcția potențialului aproximant, și anume, proprietatea de "periodicitate" a funcției  $q_{\Delta}$  "spline-simplă".

#### 5.2.1.2. Determinarea funcției "spline-analitică" $S_{\Delta}(z)$

Așa cum s-a menționat mai sus, potențialul complex sau potențialul de viteze al fenomenului de filtrație poate fi aproximat printr-o funcție de variabilă complexă  $S_{\Delta}(z)$  denumită "spline-analitică", folosind integrala lui Cauchy. Se dovedește că funcția  $S_{\Delta}(z)$  este o funcție analitică și reprezintă prelungirea analitică a lui  $q_{\Delta}(z)$ , în tot planul complex cu excepția punctelor nodale  $\Delta = \{t_0, t_1, t_2, \dots, t_N\}$ .

În principiu, pentru construcția funcției  $S_{\Delta}(z)$  se folosește o proprietate remarcabilă a integralei lui Cauchy, care pentru valori ale variabilei  $z$ , cuprinse în interiorul curbei  $\Gamma$ , este egală cu funcția de la numărătorul expresiei de sub semnul de integrală.

Se ia deci, prin definiție  $S_{\Delta}(z)$  dată de egalitatea:

$$S(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{q_{\Delta}(t)}{t-z} dt. \quad (5.56)$$

Cum însă  $q_{\Delta}(t)$  se exprimă cu ajutorul unor polinoame de forma  $P_j(t)$ , cu  $j = 1 \dots N$ , (5.52), înlocuind succesiv splinele simple cu acestea și aplicînd liniaritatea integralei se obțin două teoreme, pe care se bazează construcția aproximantului  $S_{\Delta}(z)$ .

Teorema 2. Dacă funcția  $S_{\Delta}(z)$  se determină cu ajutorul integralei lui Cauchy (5.56), atunci ea permite următoarea reprezentare:

$$S_{\Delta}(z) = \frac{1}{2\pi i} \sum_{j=1}^N P_j(z) \ln \frac{t_j - z}{t_{j-1} - z}. \quad (5.57)$$

Într-adevăr, plecînd de la modul de definiție a lui  $S_{\Delta}(z)$  și de la legătura între subarcele  $\Gamma_j$  și curba  $\Gamma$ , care se aproximează,  $\Gamma = \bigcup_{j=1}^N \Gamma_j$ , rezultă că

$$S_{\Delta}(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{q_{\Delta}(t)}{t-z} dt = \frac{1}{2\pi i} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^n \int_{\Gamma_j} a_{j,k} (t-z)^{k-1} dt + \frac{1}{2\pi i} \sum_{j=1}^N \int_{\Gamma_j} \frac{a_{j,0}}{t-z} dt. \quad (5.57.a)$$

Notînd cu  $L$  expresia

$$L = \frac{1}{2\pi i} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^n \int_{\Gamma_j} a_{j,k} (t-z)^{k-1} dt,$$

funcția  $S_{\Delta}(z)$  devine

$$S_{\Delta}(z) = L + \frac{1}{2\pi i} \sum_{j=1}^N P_j(z) \ln \frac{t_j - z}{t_{j-1} - z}. \quad (5.57.b)$$

Teorema 2 este demonstrată dacă se arată că termenul  $L = 0$ . Pentru aceasta se dezvoltă expresia notată cu  $L$ :

$$L = \frac{1}{2\pi i} \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^N \frac{a_{j,k}}{k} (t-z)^k = \frac{1}{2\pi i} \sum_{k=1}^n \left[ -\frac{1}{k} \sum_{j=1}^N (a_{j+1,k} - a_{j,k}) (t_j - z)^k \right].$$

Din proprietatea de periodicitate, enunțată în (5.54), rezultă că dacă se iau polinoame de gradul  $1, 2, 3, \dots, n$ , avem

$$\sum_{j=1}^N (a_{j+1,k} - a_{j,k})(t_j - z)^k = 0,$$

de unde rezultă că și  $L = 0$ .

Teorema 2 fiind demonstrată se pot face următoarele observații:

1.- Dacă  $z \in C\Delta$ , din teorema 2 rezultă că  $S_{\Delta}(z)$  este o funcție analitică.

2.- Din consecința teoremei lui Cauchy, rezultă că expresia lui

$$q_{\Delta}(z) = S_{\Delta}(z), \quad \forall z \in \overset{\circ}{T}$$

adică, oricare ar fi  $z$ , luat în interiorul curbei  $T$ , notat cu  $\overset{\circ}{T}$ .

3.- Din reprezentarea (5.57) reiese că funcția spline analitică  $S_{\Delta}(z)$  nu depinde de curba Jordan  $T$ , ci de nodurile diviziunii  $\Delta$ , fapt care se poate considera pentru simplificarea expunerii, drept curbă  $T$  cercul unitate.

Folosind această proprietate, splinul simplu  $q_{\Delta}(z)$ , limitat la  $z \in \overset{\circ}{T}$  se prelungeste prin splinul analitic  $S_{\Delta}(z)$ , în orice punct din  $D \subset \mathbb{C}$ , cu excepția nodurilor  $t_j \in \Delta$ , ( $j = 1 \dots N$ ).

4.- Din modul cum a fost definită funcția  $q_{\Delta}(z)$ , sub forma unei sume de  $N$  polinoame  $P_j$ , ( $j = 1 \dots N$ ) de gradul  $n$ , rezultă că aceasta are  $(n + 1)$  coeficienți nedeterminați. Funcția  $q_{\Delta}(z)$  are astfel  $(n + 1)N$  grade de libertate.

Pe de altă parte, din definiția lui  $q_{\Delta}(z)$ , (5.53), se observă că sînt eliminate  $n \cdot N$  grade de libertate, datorită condiției de racordare pe noduri a polinoamelor care alcătuiesc pe  $q_{\Delta}(z)$ . De altfel în reprezentarea lui  $S_{\Delta}(z)$ , dată în teorema 2, se observă că au mai rămas doar  $N$  coeficienți nedeterminați, însoțiți prin  $P_j(z)$  cu ( $j = 1 \dots N$ ).

Modul de determinare a coeficienților rămași necunoscuți conduce la un anumit tip de spline-analitic.

În lucrarea de față coeficienții rămași necunoscuți se determină ținînd seama de scopul urmărit, și anume, de a aproxima potențialul complex  $f(z)$  cu splinul analitic  $S_{\Delta}(z)$ .

Teorema 3. Dacă funcția spline-analitică  $S_{\Delta}(z)$  este definită conform egalității (5.56), aceasta admite și reprezen-

tarea

$$S(z) = \frac{1}{2\pi i} \sum_{j=1}^N \left[ P_{j+1}(z) - P_j(z) \right] \ln(t_j - z) + P_1(z) \quad (5.58)$$

Pentru demonstrarea acestei teoreme se folosesc rezultatele obținute la susținerea teoremei 2, precum și o proprietate a funcțiilor de variabilă complexă, definite pe o suprafață riemanniană, care se găsește în lucrarea [53], și care permite posibilitatea separării din sumă a polinomului  $P_1(z)$ .

Teorema 4. Funcția spline-analitică  $S_{\Delta}(z)$  poate fi pusă sub formele:

$$S_{\Delta}(z) = \frac{1}{2\pi i} \sum_{j=1}^N \frac{(-1)^n}{n!} \zeta_j (t_j - z)^n \ln(t_j - z) + P_1(z) ; \quad (5.59)$$

sau

$$S_{\Delta}(z)^{(\alpha)} = \frac{1}{2\pi i} \frac{(-1)^{n-\alpha}}{(n-\alpha)!} \sum_{j=1}^N \zeta_j (t_j - z)^{n-\alpha} \ln(t_j - z) + P_1^{(\alpha)}(z), \quad (5.60)$$

pentru  $\alpha = 0, 1, 2, \dots, n$  și

$$S_{\Delta}(z) = \frac{(\alpha - n - 1)!}{2\pi i} \sum_{j=1}^N \frac{\zeta_j}{(t_j - z)^{\alpha - n}}, \quad (5.61)$$

pentru  $\alpha = n+1, n+2, \dots$

S-a notat cu  $\zeta_j = a_{j+1, n-1} - a_{j, n-1}$ .

Expresia (5.59) din teorema 4 rezultă din aplicarea formulei lui Taylor și proprietatea de periodicitate pentru diferența de polinoame  $P_{j+1}(z) - P_j(z)$ . Expresia (5.60) se obține direct, prin derivarea de  $\alpha$  ori a expresiei (5.59). Dacă  $\alpha > n$ , atunci în derivarea expresiei (5.59) polinomul  $P_1(z)$  derivat de  $\alpha$  ori se anulează și se obține expresia (5.61).

### 5.2.1.3. Stabilirea modelului matematic de interpolare nodală

Determinarea funcțiilor  $q_{\Delta}(z)$  și  $S_{\Delta}(z)$ , definite mai sus, urmează să se facă în etape.

În acest scop, polinoamele  $P_j(t)$ , folosite pentru definirea funcției  $q_{\Delta}(z)$ , se consideră de grad impar, iar drept curbă  $T$  se ia cercul unitate, avînd în vedere observațiile de la teorema 2. Astfel diviziunea  $\Delta$  este dată de mulțimea numerelor  $t_j$  cu proprietatea  $t_j = \exp\left[j \frac{2\pi i}{n}\right]$ , unde  $j$  ia valori de la 1 la  $N$ ,

$$\Delta = \left\{ t_j \mid t_j = \exp \left[ j \frac{2\pi i}{n} \right]; j = 1 \dots N \right. \quad (5.62)$$

Se menționează că deși particularizările făcute nu restrâng generalitatea problemei, ele influențează totuși considerabil tehnicile de demonstrație utilizate mai jos.

De asemenea, se introduce noțiunea de diferență divizată centrală de ordinul  $(n-1)$  în nodul  $t_k$ . Pentru înțelegerea perfectă a acestei noțiuni se indică consultarea lucrării [50] pentru diferențe divizate obișnuite, și a lucrării [51] pentru diferența divizată specială, numită diferență divizată centrală.

Operatorul liniar al acestei diferențe divizate centrale se notează  $\Delta_{t_k}^{n-1}$

Diferența divizată centrală de ordinul  $n-1$ , pe nodul  $t_k$ , este dată, prin definiție, de relația

$$\Delta_{t_k}^{n-1} = \sum_{j=-\bar{n}}^{\bar{n}} C_{k,j} \cdot f_{k+j} \quad ; \quad (k = 1 \dots N) \quad , \quad (5.63)$$

sau de relația:

$$f[t_{k-\bar{n}} ; t_{k-\bar{n}+1} ; \dots ; t_{k+\bar{n}}] = \sum_{j=-\bar{n}}^{\bar{n}} C_{k,j} f_{k+j} \quad ; \quad (k=1..N) \quad (5.64)$$

unde s-a notat

$$f(t_j) = t_j \quad ; \quad (j = 1 \dots N) \quad (5.65)$$

De asemenea, prin  $C_{k,j}$  s-a notat produsul

$$C_{k,j} = \left[ (t_{k+j} - t_{k-\bar{n}})(t_{k+j} - t_{k-\bar{n}+1}) \dots / \dots (t_{k+j} - t_{k+\bar{n}-1})(t_{k+j} - t_{k+\bar{n}}) \right] \quad (5.66)$$

cu  $j=-\bar{n} \dots \bar{n}$ , respectiv  $\bar{n} = \frac{n-1}{2}$ ,  $n$  fiind gradul alor polinoamelor. Notăția  $\dots / \dots$  arată că din produsul  $C_{k,j}$  lipsește factorul  $(t_{k+j} - t_{k+j})$ , care ar anula numitorul.

Teorema 5. Dacă  $f \in C^1(\Gamma)$  și  $q_\Delta$  are reprezentarea

$$q_\Delta(t) = q_\Delta(t_k) + q'_\Delta(t_k)(t-t_k) + \dots + \frac{1}{(n-2)!} q_\Delta^{(n-2)}(t_k)(t-t_k)^{n-2} + \frac{1}{(n-2)!} \int_{t_k}^t (t-s)^{n-2} q_\Delta^{(n-1)}(s) ds \quad , \quad (5.67)$$

integrarea făcându-se de-a lungul unui subarc al arcului parțial  $\Gamma_j$ , atunci diferența divizată centrală de ordinul  $n-1$ , pe nodul  $t_k$ , este dată de relația:

$$\Delta_{t_k}^{n-1} q_{\Delta}(t) = (n-1) \sum_{j=-\bar{n}}^{\bar{n}} C_{k,j} \int_{t_k}^{t_{k+j}} (t_{k+j}-s)^{n-2} q_{\Delta}^{(n-1)}(s) ds \quad (5.68)$$

Prin  $\Delta_{t_k}^{n-1} q_{\Delta}(t)$  se înțelege derivata de ordinul  $n-1$  a funcției  $q_{\Delta}(t)$ .

Intr-adevăr, observînd că diferența divizată a primilor  $n-1$  termeni din (5.67) este nulă rezultă că:

$$(n-1)! \Delta_{t_k}^{n-1} q_{\Delta} = (n-1) \sum_{j=-\bar{n}}^{\bar{n}} C_{k,j} \int_{t_k}^{t_{k+1}} (t_{k+j} - s) q_{\Delta}^{(n-1)} ds.$$

Teorema 6. Sistemul liniar

$$(n-1)! \Delta_{t_k}^{n-1} q_{\Delta} = R_{k,-\bar{n}} \cdot M_{k-\bar{n}} + \sum_{l=-\bar{n}}^{\bar{n}-2} (R_{k,l+1} + S_{k,l}) M_{k+l+1} + S_{k,\bar{n}-1} M_{k+\bar{n}} ; \quad (k = 1 \dots N) \quad (5.69)$$

avînd ca necunoscute pe  $M_j$ , cu ( $j = 1 \dots N$ ), de forma

$M_j = q_{\Delta}^{(n-1)}(t_j)$ , este compatibil și cu soluție unică, dacă:

- pentru  $l = -1, -2, -3, \dots, -\bar{n}$  se ia

$$R_{k,l} = -(n-1) \sum_{j=l}^{-\bar{n}} C_{k,j} \cdot A_{k+j,k+l+1}, \quad (5.70)$$

$$S_{k,l} = -(n-1) \sum_{j=l}^{-\bar{n}} C_{k,j} B_{k+j,k+l+1}; \quad (5.71)$$

- pentru  $l = 0, 1, 2, \dots, \bar{n}-1$  se ia

$$R_{k,l} = (n-1) \sum_{j=l+1}^{\bar{n}} C_{k,j} A_{k+j,k+l+1}; \quad (5.72)$$

$$S_{k,l} = (n-1) \sum_{j=l+1}^{\bar{n}} C_{k,j} B_{k+j,k+l+1}. \quad (5.73)$$

Constantele  $A_{k+j,k+l+1}$  și  $B_{k+j,k+l+1}$ , notate respectiv  $A_{\alpha,\beta}$  și  $B_{\alpha,\beta}$ , adică  $\alpha = k+j$  și  $\beta = k+l+1$ , sînt date de relațiile (5.74), (5.75):

$$A_{\alpha,\beta} = \frac{1}{t_\beta - t_\alpha} \left[ \frac{1}{n-1} (t_\alpha - t_{\beta-1})^{n-1} (t_\beta - t_{\beta-1}) + \right. \\ \left. + \frac{1}{n(n-1)} (t_\alpha - t_\beta)^n - \frac{1}{n(n-1)} (t_\alpha - t_{\beta-1})^n \right] ; \quad (5.74)$$

$$B_{\alpha,\beta} = \frac{1}{t_\beta - t_\alpha} \left[ \frac{-1}{n-1} (t_\alpha - t_\beta)^{n-1} (t_\beta - t_{\beta-1}) - \frac{1}{n(n-1)} (t_\alpha - t_\beta)^n + \right. \\ \left. + \frac{1}{n(n-1)} (t_\alpha - t_{\beta-1})^n \right]. \quad (5.75)$$

Într-adevăr, dacă se scrie matricea sistemului (5.69) se observă că aceasta este patratică și  $(2n+1)$  diagonală cu minorii respectivi nenuli, deci este nesingulară.

Se menționează și faptul că acest sistem este valabil pentru orice spline-simplă  $q_\Delta$  periodică și orice curbă  $T$ , Jordan netedă.

Pentru exemplificare se consideră:

$$n = 3, \quad \bar{n} = (n-1)/2 = 1, \quad l = -\bar{n} = -1, \quad k = 1, 2, 3, \dots, N.$$

Notînd  $(n-1)! \Delta_{t_k}^{n-1} q_\Delta = \Delta_k$  sistemul linear (5.69), avînd drept necunoscute pe  $M_1, M_2, M_3, \dots, M_N$ , devine

$$\begin{aligned} R_{1,-1} M_0 + (R_{1,0} + S_{1,-1}) M_1 + S_{1,0} M_2 &= \Delta_1 \\ R_{2,-1} M_1 + (R_{2,0} + S_{2,-1}) M_2 + S_{2,0} M_3 &= \Delta_2 \\ \dots & \\ R_{k,-1} M_{k-1} + (R_{k,0} + S_{k,-1}) M_k + S_{k,0} M_{k+1} &= \Delta_k \\ \dots & \\ R_{N-1,-1} M_{N-2} + (R_{N-1,0} + S_{N-1,-1}) M_{N-1} + S_{N-1,0} M_N &= \Delta_{N-1} \\ R_{N,-1} M_N + (R_{N,0} + S_{N,-1}) M_N + S_{N,0} M_{N+1} &= \Delta_N \end{aligned} \quad (5.76)$$

Cu observația că  $M_0 = M_N$  și  $M_{N+1} = M_1$  și notînd cu  $R_1$  matricea:

$$R_1 \begin{pmatrix} (R_{1,0} + S_{1,-1}) & S_{1,0} & 0 & 0 & \dots & 0 & R_{1,-1} \\ R_{2,-1} & (R_{2,0} + S_{2,-1}) & S_{2,0} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & R_{3,-1} & (R_{3,0} + S_{3,-1}) & S_{3,0} & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_{4,-1} & (R_{4,0} + S_{4,-1}) & S_{4,0} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & R_{N-2,-1} & (R_{N-2,0} + S_{N-2,-1}) & S_{N-2,0} & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 0 & R_{N-1,0} & (R_{N-1,0} + S_{N-1,-1}) & S_{N-1,0} \\ S_{N,0} & \dots & 0 & 0 & 0 & R_{N,0} & (R_{N,0} + S_{N,-1}) \end{pmatrix} \quad (5.77)$$

respectiv cu

$$M = \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_{N-1} \\ M_N \end{bmatrix}, \quad \Delta = \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 2 \\ \vdots \\ N-1 \\ N \end{bmatrix}, \quad (5.78)$$

sistemul (5.76) se poate scrie sub forma unei singure ecuații matriceale, deoarece matricea  $R_1$  este patrată și nesingulară. Deci

$$R_1 M = \Delta \quad \text{iar} \quad M = R_1^{-1} \Delta \quad (5.79)$$

Teorema 7. Dacă se cere ca funcția spline-simplă  $q_\Delta(z)$ , dată de relația (5.67), să interpoleze pe primelor  $n$  noduri potențialul complex  $f(z)$ , adică  $f_j = q_\Delta(t_j)$ ,  $i = 1 \dots n$ , atunci

$$q_\Delta(t) = Q_1(t) + Q_2(t) + Q_3(t) + \dots + Q_j(t) + P(t); \quad (t \in T_j), \quad (5.80)$$

unde s-a notat cu

$$Q_j(t) = \frac{1}{n!} (t - t_{j-1})^n \left[ \frac{M_j - M_{j-1}}{h_j} - \frac{M_{j-1} - M_{j-2}}{h_{j-1}} \right] \quad (5.81)$$

sau

$$Q_j(t) = \frac{1}{n!} (t - t_{j-1})^n \zeta_{j-1}, \quad (5.82)$$

iar cu



$$\zeta_{j-1} = \frac{M_j - M_{j-1}}{h_j} - \frac{M_{j-1} - M_{j-2}}{h_{j-1}} ; \quad h_j = t_j - t_{j-1} \quad (5.83)$$

Polinomul  $P(t)$  este de gradul  $(n-1)$ . El rezultă din aplicarea teoremei (5.80) și se determină în mod unic din sistemul

$$\begin{aligned} P(t_1) + Q_1(t_1) &= f_1 ; & t_1 \in T_1 \\ P(t_2) + Q_1(t_2) + Q_2(t_2) &= f_2 ; & t_2 \in T_2 \\ \dots & \dots & \dots \\ P(t_n) + Q_1(t_n) + \dots + Q_n(t_n) &= f_n ; & t_n \in T_n \end{aligned} \quad (5.84)$$

Se observă că spline-ul-simplu  $q_\Delta$ , exprimat sub forma unei sume de polinoame (5.80) este complet definit deoarece se cunosc atît polinoamele  $Q_j$  (5.81), (5.82), cît și expresiile lui  $M_j$ , deduse din (5.69).

Teorema 8. Dacă funcția spline-simplă  $q_\Delta$  este determinată ca în teorema 7 (5.80), atunci polinomul  $P_1(z)$  este complet definit.

Intr-adevăr, din definiția 1 și condițiile (5.52), (5.53) cu privire la definirea funcției spline-simplă, rezultă că pentru  $t \in T_1$ , funcția  $q_\Delta$  coincide cu  $P_1$ .

Astfel pentru  $t \in T_1$  rezultă

$$\begin{aligned} P_1(t) = Q_1(t) + P(t) &= \frac{1}{n!} (t-t_0)^n \left[ \frac{M_1 - M_0}{h_1} - \frac{M_0 - M_{-1}}{h_{-1}} \right] + \\ &+ a_0 z^{n-1} + a_1 z^{n-2} + \dots + a_{n-2} z + a_{n-1} , \end{aligned} \quad (5.85)$$

unde  $a_i$ , ( $i = 0 \dots n-1$ ) sînt constante determinate din sistemul (5.84).

Revenind la funcția spline-analitică  $S_\Delta(z)$ , definită prin teorema 3, (5.58), aceasta este complet determinată. Deci putem scrie

$$S_\Delta(z) = \frac{1}{2\pi i} \frac{(-1)^n}{n!} \sum_{j=1}^N \zeta_j (t_j - z)^n \ln(t_j - z) + P_1(z) \quad (5.86)$$

### 5.2.2. Studiul filtrației în jurul bazinelor de formă patrată cu ajutorul funcțiilor spline complexe

Metoda determinării unei funcții de variabilă complexă, care aproximează potențialul complex sau potențialul de

viteză a fenomenului de filtrație, poate fi aplicată când se cunosc  $N$  puncte de-a lungul unui contur poligonal oarecare, reprezentând valorile potențialului complex sau ale potențialului de viteze. Mai jos se exemplifică acest lucru pentru un contur patrat.

Determinarea funcției aproximante, denumită "spline-analitică", se face în etape constând din:

- alegerea unui potențial complex inițial, care să țină seama de fenomenul fizic, al cărui valoare se cunoaște într-o serie de puncte ale domeniului studiat;
- determinarea unei funcții de variabilă complexă, denumită "spline-simplu";
- determinarea funcției aproximante "spline-analitică".

Determinarea funcțiilor "spline-simplu" și "spline-analitică" poate fi efectuată și direct, atunci când se cunosc un număr de  $N$  puncte de-a lungul unor curbe ce reprezintă valori constante ale potențialului complex sau a potențialului de viteze.

Se remarcă și faptul că, în timp ce potențialul complex inițial satisface numai condițiile de pe conturul bazinului studiat, funcția aproximantă "spline-analitică" extrapolează aceste condiții în tot domeniul cercetat.

În continuare, se prezintă concentrat etapole parcurse pentru determinarea funcției aproximante  $S_{\Delta}(z)$  în cazul bazinelor de infiltrație de formă patrată.

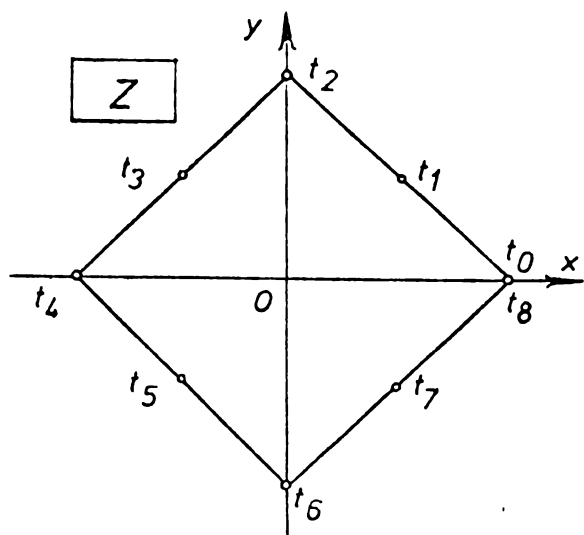


Fig.5.10. Bazin patrat

Așadar, se consideră un bazin de formă patrată, având latura  $l = \sqrt{2}$ , situat în planul  $Z$  și așezat ca în fig.5.10. Vîrfurile patratului se găsesc pe axele de coordonate, respectiv în punctele  $(1,0)$ ;  $(0,i)$ ;  $(-1,0)$ ;  $(0,-i)$ . Pe conturul bazinului se aleg punctele  $t_j$  în care se cunoaște valoarea potențialului complex.

Se alege un potențial complex inițial de forma:

$$f(z) = u(x,y) + i v(x,y) \quad (5.87)$$

în care se ia

$$u(x,y) = |X| + |Y|$$

$$v(x,y) = |Y| - |X|$$

Potențialul complex, astfel ales, satisface condițiile lui Cauchy-Riemann.

Din condiția  $u(x,y) = 1$  rezultă ecuația curbei  $\Gamma$ , definită pe conturul pătratului:

$$\Gamma : |X| + |Y| = 1 \quad (5.88)$$

Cu toate că, aproximarea potențialului complex al mișcării este cu atât mai bună cu cât numărul punctelor  $t_j$  este mai mare, în exemplul de față se consideră doar 8 puncte.

În acest fel diviziunea  $\Delta$  a curbei  $\Gamma$  este dată de mulțimea punctelor  $t_j$ ,  $j = 1 \dots N$ :

$$\begin{aligned} \Delta &= (t_0, t_1, t_2, \dots, t_7, t_8=t_0) = \\ &= \left[ 1, \frac{1}{2}(i+1), i, \frac{1}{2}(i-1), -1, -\frac{1}{2}(1+i), -i, \frac{1}{2}(1-i), 1 \right] \end{aligned} \quad (5.89)$$

Construcția curbei  $\tilde{\Gamma}$  care aproximează curba  $\Gamma$ , reprezentând conturul bazinului, presupune asamblarea unui număr de arce  $\Gamma_j$ , în punctele cunoscute ale diviziunii  $\Delta$ . Geometric, continuitatea arcelor în punctele de asamblare este asigurată dacă acestea au tangente comune. Analitic acest lucru presupune egalitatea derivatelor polinoamelor  $P_j(t)$ , prin care se definesc arcele, în punctele  $t_j$ . Continuitatea este cu atât mai bună cu cât se impune respectarea condițiilor (5.52) și (5.53). Se alege  $n=3$ .

Derivata de ordinul  $\alpha = 2$  a funcției  $q_\Delta(t)$ , denumită diferență divizată centrală de ordinul  $\alpha = n = 1$ , pe nodul  $t_k$ , este dată prin definiție, de relația

$$\Delta_{t_k}^2 q_\Delta(t) = \sum_{j=-\bar{n}}^{\bar{n}} c_{k,j} f_{k+j} ; (\bar{n} = \frac{n-1}{2}) \quad (5.90)$$

în care:

$$f_{k+j} = f(t_{k+j}) ; (k = 1 \dots N; j = -1, 0, 1) \quad (5.91)$$

și

$$c_{k,j} = \frac{(t_{k+j}-t_{k-\bar{n}})(t_{k+j}-t_{k-\bar{n}+1}) \dots / \dots (t_{k+j}-t_{k+\bar{n}})}{-1} \quad (5.92)$$

În baza acestor relații notate respectiv cu  $\Delta^2$ ,  $F_N$ ,  $c_{k,j}$ , rezultă:

$$F_N = [(1-i), 1, (1+i), 1, (1-i), 1, (1+i), 1]; \quad (5.93)$$

$$C = (C_{k,j}^{i,j})_{N \times n} = \begin{bmatrix} i & -2i & i \\ 1+i & -2 & 1-i \\ -i & 2i & -i \\ -(1+i) & 2 & -(1-i) \\ i & -2i & i \\ 1+i & -2 & 1-i \\ -i & 2i & -i \\ -(1+i) & 2 & -(1-i) \end{bmatrix}, \quad (5.94)$$

iar

$$\Delta_{t_k}^2 q_\Delta(t) = [0, -2i, 0, -2i, 0, -2i, 0, -2i] \quad (5.95)$$

Pentru rezolvarea termenilor  $(n-1)! \Delta_{t_k}^{n-1} q_\Delta(t)$ , care intră în compunerea funcției spline-simplu, se ajunge la un sistem liniar de forma:

$$(n-1)! \Delta_{t_k}^{n-1} q_\Delta(t) = R_{k,-\bar{n}} M_{k-\bar{n}} + \sum_{l=-n}^{\bar{n}-2} (R_{k,l+1} + S_{k,l}) M_{k+l+1} + S_{k,\bar{n}-1} M_{k+\bar{n}}; \quad (k = 1 \dots N), \quad (5.96)$$

în care necunoscutele  $M_j$ , au forma  $M_j = q_\Delta^{(n-1)}(t_j)$ ,  $j = 1 \dots N$ .

Constantele  $R_{k,l}$  și  $S_{k,l}$  se calculează conform relațiilor (5.70), (5.71), (5.72), (5.73), iar constantele  $A_{\alpha,\beta}$  și  $B_{\alpha,\beta}$  conform formulelor (5.74) și (5.75).

Constantele  $A_{\alpha,\beta}$  și  $B_{\alpha,\beta}$ , cu  $\alpha = k+j = 0, 1, \dots, 9$  și  $\beta = k+l+1 = 1, 2, 3, \dots, 9$  conduc la matrici bidiagonale, care de fapt sugerează forma matricei sistemului, folosit pentru determinarea constantelor  $M_j$ . Astfel:

$$A = (A_{\alpha,\beta})_{10 \times 9} = \frac{i}{12} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 \end{bmatrix} \quad (5.97)$$

$$B = (B_{\alpha, \beta})_{10 \times 9} = \frac{i}{12} \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (5.98)$$

Constantele  $R_{k,l}$  și  $S_{k,l}$ , cu  $l = -1; 0$  și  $k = 1, 2, 3, \dots$  ..., 8, scrise sub formă transpusă au următoarele valori:

$$R = (R_{k,l})_{8 \times 2} = (R_{l,k})_{2 \times 8}^T \quad (5.99)$$

$$R^T = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} 1 & (1-i) & 1 & (1-i) & 1 & (1-i) & 1 & (1-i) \\ 2 & 2(1+i) & 2 & 2(1+i) & 2 & 2(1+i) & 2 & 2(1+i) \end{bmatrix} \quad (5.100)$$

și

$$S = (S_{k,l})_{8 \times 2} = (S_{k,l})_{2 \times 8}^T \quad (5.101)$$

$$S^T = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} 2 & 2(i-1) & 2 & 2(1-i) & 2 & 2(1-i) & 2 & 2(1-i) \\ 1 & (1+i) & 1 & (1+i) & 1 & (1+i) & 1 & (1+i) \end{bmatrix} \quad (102)$$

Sistemul liniar (5.76) folosit pentru determinarea necunoscutelor  $M_j$ , scris sub formă matriceală are forma:

$$R_1 M = \Delta, \quad (5.103)$$

a fost rezolvat prin metoda eliminării "Gauss-Jordan".

Tinând cont de forma matricii  $R_1$  din relația (5.77) și de valorile elementelor matricelor  $R$  și  $S$  se obține:

$$R_1 = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & \frac{1}{6} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{6} \\ \frac{1}{6}(1-i) & \frac{2}{3} & \frac{1}{6}(1+i) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{6} & \frac{2}{3} & \frac{1}{6} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{6}(1-i) & \frac{2}{3} & \frac{1}{6}(1+i) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{6} & \frac{2}{3} & \frac{1}{6} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{6}(1-i) & \frac{2}{3} & \frac{1}{6}(1+i) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{6} & \frac{2}{3} & \frac{1}{6} \\ \frac{1}{6}(1+i) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{6}(1-i) & \frac{2}{3} \end{bmatrix}. \quad (5.104)$$

$$\Delta^T = [0, -2i, 0, -2i, 0, -2i, 0, -2i] \quad (5.105)$$

$$M^T = [M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, M_7, M_8] \quad (5.106)$$

Sistemul liniar (5.103) are dimensiunea 8x8, în comparație cu matricile  $A_{10 \times 9}$ ,  $B_{10 \times 9}$ , deoarece  $M_0 = M_8$  și  $M_9 = M_1$ .

Din cei opt pași Jordan parcurși pentru rezolvarea sistemului (5.103) din lipsă de spațiu se prezintă numai ultimul.

	0	0	0	0	0	0	0	0	1
M <sub>1</sub>								$-\frac{1}{56}(15-i)$	4i
M <sub>2</sub>								$\frac{1}{14}(1-i)$	-8i
M <sub>3</sub>								$-\frac{1}{56}(1-i)$	4i
M <sub>4</sub>								0	-8i
M <sub>5</sub>								$-\frac{1}{56}(1+i)$	4i
M <sub>6</sub>								$\frac{1}{14}(1+i)$	-8i
M <sub>7</sub>								$-\frac{1}{56}(15+i)$	4i
M <sub>8</sub>	$-\frac{(8+7i)}{28}$	$\frac{(1+i)}{14}$	$-\frac{i}{28}$	0	$-\frac{i}{28}$	$\frac{(i-1)}{14}$	$-\frac{(8-7i)}{28}$	$\frac{7}{4}$	-8i

(5.107)

Funcția "splino-simplă" se determină din relația

(5.108):

$$q_{\Delta}(t) = \sum_{j=1}^8 Q_j(t) + P(t), \quad (5.108)$$

unde:

$$Q_j(t) = \frac{1}{n!} (t-t_{j-1})^n \left[ \frac{M_j - M_{j-1}}{h_j} - \frac{M_{j-1} - M_{j-2}}{h_{j-1}} \right]$$

sau

$$Q_j(t) = \frac{1}{n!} (t - t_{j-1})^n \zeta_{j-1}.$$

$P(t)$  este un polinom de gradul doi,

$$P(t) = at^2 + bt + c, \quad (5.109)$$

care se determină din sistemul (5.84).

Din aplicarea relațiilor de mai sus a rezultat:

$$T = [24, 24(i-1), -24i, 24(i+1), -24, -24(i-1), 24i, -24(i+1)]; \quad (5.110)$$

$$Q = \left[ 4(t-1)^3, 4\left(t - \frac{1}{2} - \frac{i}{2}\right)^3 (i-1), -4i(t-i)^3, 4\left(t + \frac{1}{2} - \frac{i}{2}\right)^3 (i+1) - \right. \\ \left. -4(t+1)^3, -4\left(t + \frac{1}{2} + \frac{i}{2}\right)^3 (i-1), 4i(t+i)^3, -4\left(t - \frac{1}{2} + \frac{i}{2}\right)^3 (i+1) \right] \quad (5.111)$$

$$P_1 = [(1-i), -i, -(5+7i)] \quad , \quad (5.112)$$

unde s-a notat cu  $T = (\mathcal{T}_{j-1})_{1 \times 8}$ ,  $Q = (Q_j)_{1 \times 8}$  și  $P_1 = [P(t_i), i = 0, 1, 2]_{1 \times 3}$ .

Din rezolvarea sistemului (5.84) se obține expresia lui

$$P(t) = 2(3-2i)t^3 - 2(5-2i)t + 5 - i \quad (5.113)$$

În baza elementelor determinate mai sus se poate scrie expresia funcției "spline-analitică"  $S_\Delta(z)$ , conform relației:

$$S_\Delta(z) = \frac{1}{2\pi i} \frac{(-1)^n}{n!} \sum_{j=1}^N \mathcal{T}_j (t_j - z)^n \ln(t_j - z) + P_1(z), \quad (5.114)$$

în care:

$$P_1(z) = Q_1(t) + P(t), \text{ iar } n = 3, j = 1 \dots 8. \quad (5.115)$$

Astfel:

$$S_\Delta(z) = -\frac{1}{2\pi i} \frac{1}{3!} \left[ 24(i-1)(t_1-z)^3 \ln(t_1-z) - 24i(t_2-z)^3 \ln(t_2-z) + \right. \\ \left. + 24(i+1)(t_3-z)^3 \ln(t_3-z) - 24(t_4-z)^3 (t_4-z)^3 \ln(t_4-z) - 24(i-1)(t_5-z)^3 \ln(t_5-z) + \right. \\ \left. + 24i(t_6-z)^3 \ln(t_6-z) - 24(i+1)(t_7-z)^3 \ln(t_7-z) + 24(t_8-z)^3 \ln(t_8-z) \right] + P_1(z). \quad (5.116)$$

Se introduc apoi valorile punctelor  $t_j$ ,  $j = 0 \dots 7$ ,  $t_0 = t_8$ , evidențiate în diviziunea  $\Delta$  din (5.3)

$$\Delta = \left[ 1, \frac{1}{2}(1+i), i, \frac{1}{2}(i-1), -1, -\frac{1}{2}(1+i), -i, \frac{1}{2}(1-i), 1 \right] \quad ,$$

obținându-se

$$S_\Delta(z) = -\frac{2}{\pi i} \left\{ \frac{1}{8}(i-1) \left[ (1+i+2z)^3 \ln\left(\frac{1}{2}(1+i-2z)\right) + (1+i+2z)^3 \ln\left(\frac{1}{2}(-1-i-2z)\right) \right] + \frac{1}{8}(i+1) \left[ (i-1-2z)^3 \ln\left(\frac{1}{2}(i-1-2z)\right) - (i-1-2z)^3 \ln\left(\frac{1}{2}(1-i-2z)\right) \right] - i \left[ (i-z)^3 \ln(i-z) + (i+z)^3 \ln(-i-z) \right] + (1+z)^3 \ln(-1-z) + (1-z)^3 \ln(1-z) \right\} + P_1(z). \quad (5.117)$$

Această expresie reprezintă funcția spline-analitică  $S_{\Delta}(z)$ , ce aproximează potențialul complex al mișcării de filtrație în jurul basinelor de formă patrată.

Pentru separarea părții reale de coeficientul părții imaginare se dezvoltă parantezele din expresia (5.117) și se înlocuiesc termenii de forma

$$t_j \mp z = \left| t_j \mp z \right| \exp\left(i \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{b_j \mp y}{a_j \mp x}\right), \quad (5.118)$$

respectiv

$$\ln(t_j \mp z) = \frac{1}{2} \ln \left[ (a_j \mp x)^2 + (b_j \mp y)^2 \right] + i \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{b_j \mp y}{a_j \mp x}, \quad (5.119)$$

unde:  $t_j = a_j + i b_j$  și  $z = x + i y$ .

Astfel:

$$\begin{aligned} S_{\Delta}(z) = & \frac{1}{\pi} \left\{ \frac{1}{2} (2z^3 - 3z + 1) \ln \frac{(1-2x)^2 + (1-2y)^2}{4} - (2z^3 - 6z^2 + 3z) \operatorname{arctg} \frac{1-2y}{1-2x} - \right. \\ & - \frac{1}{2} (2z^3 - 3z - 1) \ln \frac{(1+2x)^2 + (1+2y)^2}{4} + (2z^3 + 6z^2 + 3z) \operatorname{arctg} \frac{1+2y}{1+2x} + \\ & + i \left[ \frac{1}{2} (2z^3 - 6z^2 + 3z) \ln \frac{(1-2x)^2 + (1-2y)^2}{4} + (2z^3 - 3z + 1) \operatorname{arctg} \frac{1-2y}{1-2x} - \right. \\ & \left. \left. - \frac{1}{2} (2z^3 + 6z^2 + 3z) \ln \frac{(1+2x)^2 + (1+2y)^2}{4} - (2z^3 - 3z - 1) \operatorname{arctg} \frac{1+2y}{1+2x} \right] \right\} + \\ & + P_1(z) \end{aligned} \quad (5.120)$$

Din expresia potențialului complex (5.120) poate fi separată partea reală, respectiv partea imaginară, obținându-se

$$\begin{aligned} R_e \{ S_{\Delta}(z) \} = & \frac{1}{\pi} \left\{ \frac{1}{2} (2z^3 - 3z + 1) \ln \frac{(1-2x)^2 + (1-2y)^2}{4} - \right. \\ & - (2z^3 - 6z^2 + 3z) \operatorname{arctg} \frac{1-2y}{1-2x} - \frac{1}{2} (2z^3 - 3z - 1) \ln \frac{(1+2x)^2 + (1+2y)^2}{4} + \\ & \left. + (2z^3 + 6z^2 + 3z) \operatorname{arctg} \frac{1+2y}{1+2x} \right\} + P_1(z) \end{aligned} \quad (5.121)$$

$$\begin{aligned} \Im_m \{ S_{\Delta}(z) \} = & \frac{1}{\pi} \left\{ \frac{1}{2} (2z^3 - 6z^2 + 3z) \ln \frac{(1-2x)^2 + (1-2y)^2}{4} + \right. \\ & + (2z^3 - 3z + 1) \operatorname{arctg} \frac{1-2y}{1-2x} - \frac{1}{2} (2z^3 + 6z^2 + 3z) \ln \frac{(1+2x)^2 + (1+2y)^2}{4} - \\ & \left. - (2z^3 - 3z - 1) \operatorname{arctg} \frac{1+2y}{1+2x} \right\} \end{aligned} \quad (5.122)$$



Datorită complexității relațiilor obținute, este foarte dificil să se separe variabilele  $x$ ,  $y$ . În această situație se calculează valorile funcțiilor  $\varphi(x,y)$  și  $\psi(x,y)$  într-o rețea de puncte, pe baza cărora se trasează spectrul hidrodinamic. Rezultatele obținute din aplicarea relațiilor (5.121) și (5.122) se prezintă în anexă.

### 5.3. Concluzii

În Capitolul 5 se tratează două metode de determinare a potențialului complex, ce aproximează mișcarea evasi plan-orizontală a apei într-un strat acvifer în vecinătatea bazinilor de alimentare tehnică, considerate ca surse perfecte delimitate de un contur poligonal.

Prima metodă se bazează pe teorema lui Cauchy (5.7), teorema lui Volterra (5.16) și relațiile de transformare conformă Schwarz-Cristoffel (5.19). Cu ajutorul teoremelor Cauchy și Volterra, folosind condițiile la limită, se obține expresia potențialului complex în planul  $Z$ , respectiv a potențialului de viteze și funcția de curent. În continuare se face trecerea în planul real  $W$  cu ajutorul transformării Schwarz-Cristoffel. Ultima operație presupune efectuarea unei integrale eliptice. Dificultatea creată de această integrală a fost eliminată prin dezvoltarea în serie de puteri a funcției de integrat. Seriile astfel obținute fiind convergente numai pe intervale limitate, vor trebui utilizate, după caz, câte una din expresiile (5.42), (5.43), (5.44), (5.45), (5.46).

Metoda a doua se bazează pe proprietățile funcțiilor spline, care permit aproximarea unei funcții de variabilă reală sau complexă necunoscută, cu ajutorul unei funcții aproximante, construită pe baza unui număr  $N$  de valori cunoscute ale funcției inițiale în puncte diferite. În cazul studiat s-a pornit de la observația că perimetrul unui bazin de alimentare coincide cu o linie echipotențială. Pe acest contur s-a construit o curbă rectificabilă Jordan, alcătuită din  $N$  arce asamblate cap la cap. Continuitatea curbei este asigurată prin egalarea derivatelor de ordinul unu, doi,  $n \geq 3$ , în punctele  $1, 2, 3, \dots, N$ , aplicate polinoamelor ce definesc aceste arce.

Ca și în prima metodă, utilizând proprietățile

funcțiilor spline s-a obținut expresia funcției de variabilă complexă aproximantă  $S_{\Delta}(z)$ , (5.86). În paragraful 5.2.2 se exemplifică modul de aplicare a metodei propuse pentru studiul filtrației în jurul bazinelor de alimentare de formă patratică cu ajutorul funcțiilor spline complexe. Astfel, în final, se obține expresia funcției spline analitice  $S_{\Delta}(z)$  (5.117), din care rezultă expresiile funcțiilor  $\Psi(x,y)$  și  $\Psi(x,y)$ .

Studiul mișcării de filtrație în vecinătatea bazinelor de alimentare tehnică poate fi efectuat, sub toate aspectele, folosind funcția analitică obținută prin una din cele două metode. Se știe că funcțiile analitice de o variabilă complexă, cărora li se atribuie sens fizic, constituie baza teoretică pentru studiul mișcării [69]. Astfel, dacă  $S_{\Delta}(z)$  este o funcție analitică de variabilă complexă, atribuind părții reale sensul fizic al funcției  $\Psi$ , iar părții imaginare sensul funcției de curent, rezultă:

- expresia potențialului de viteze

$$\Re \{ S_{\Delta}(z) \} = \Psi ; \quad (5.123)$$

- expresia funcției de curent

$$\Im \{ S_{\Delta}(z) \} = \Psi ; \quad (5.124)$$

- expresia vitezei complexe

$$\frac{dS_{\Delta}(z)}{dz} = v_x - i v_y . \quad (5.125)$$

Mișcarea luată în studiu, fiind o mișcare de filtrație are loc cu respectarea legii lui Darcy generalizată [66], [79]:

$$\bar{v} = \text{grad} \Psi \quad ; \quad \Psi = \Psi(x,y) \quad (5.126)$$

cu 
$$\Psi = -k h + C \quad (5.127)$$

- unde:  $v$  - este viteza de filtrație;  
 $\Psi$  - este potențialul de viteză;  
 $k$  - coeficientul de filtrație;  
 $h$  - înălțimea piezometrică curentă;  
 $C$  - o constantă arbitrară.

## C a p i t o l u l 6

### CONTRIBUTII LA MODELAREA FENOMENELOR DE FILTRATIE PRIN STRATURI ACVIFERE ALIMENTATE TEHNIC

#### 6.1. Generalități

Alimentarea artificială a straturilor acvifere, dă naștere la un fenomen complex de curgere a apei prin medii poroase. Dacă această alimentare se face cu ajutorul bazinelor de infiltrare fenomenul de curgere devine deosebit de complex, deoarece are loc simultan un proces de infiltrare a apei de suprafață în sol, percolare în mediu nesaturat, filtrare în mediul saturat. Cercetarea unui asemenea fenomen prin metode exacte de calcul practic, este imposibilă. De altfel chiar și metodele cele mai exacte, utilizate în cazuri mai simple, presupun considerarea unor ipoteze simplificatoare.

În general studiul fenomenelor de curgere a apei prin medii permeabile poate fi efectuat prin diverse metode, în funcție de posibilitățile de cercetare - în situ sau în laborator -, de gradul de precizie impus de necesitățile practice.

Cercetarea în situ reflectă în cea mai mare măsură fenomenul din natură. Ea este însă costisitoare și poate fi aplicată în stații pilot sau la amenajări existente.

Cercetarea în laborator presupune modelarea fenomenului natural de curgere, așa fel încât acesta să reflecte în măsură suficientă realitatea. Această modelare poate fi: completă, incompletă sau aproximativă.

După [141] metodele de calculul curgerii prin medii permeabile pot fi clasificate în:

- metode hidrodinamice,
- metode hidraulice.

Metodele hidrodinamice se bazează pe determinarea spectrului hidraulic. Cele mai importante sînt: metoda reprezentării mișcării prin funcții de variabilă complexă; metoda transformărilor conforme; metoda analogiei de laborator; metode numerice bazate pe calculatoare electronice.

Metodele de laborator se bazează pe analogia între fenomenul curgerii apei prin medii permeabile și alte fenomene fizice similare ce pot fi mai ușor măsurate. În acest scop au căpătat o răspândire mai mare metodele analogiei reoelectrice, în care se utilizează: modele de hîrtie conductoare; cuve electrolitice, rețelo cu rezistențe electrice și altele.

Metodele hidraulice se bazează pe admiterea unor ipoteze simplificatoare privind cinematica curenților, cum ar fi ipoteza lui Dupuit.

Ca o contribuție la studiul fenomenelor de scurgere prin medii permeabile, mai jos, se prezintă o metodă a analogiei electrooptice.

### 6.2. Modelarea filtrației prin analogie electrooptică

Modelarea fenomenelor hidraulice de curgere prin analogie electrooptică constituie o metodă relativ nouă de cercetare în laborator. Ea se bazează pe analogia între spectrul hidrodinamic al scurgerii unui fluid și cîmpul electric dezvoltat la traversarea unui mediu permeabil, respectiv conductor omogen și izotrop. Spre deosebire de metodele analogiei reoelectrice cunoscute, în care elementele cîmpului electric se determină prin măsurare punct cu punct, metoda analogiei electrooptice permite vizualizarea elementelor lui și fotografierea lor. Este deci o metodă de determinare instantaneo a elementelor cîmpului format în întregul model. Cercetarea sistematică urmează să se facă pe fotografii reproduse la scară convenabilă.

În esență, modelarea fenomenului hidraulic cercetat se face într-o cuvă realizată din plexiglas transparent în care se introduce o soluție de colorant organic, de asemenea transparentă însă electrooptic activă. Soluția în repaus este omogenă din punct de vedere al rezistivității electrice, precum și din punct de vedere optic. Ea devine birefringentă atunci cînd este supusă unui cîmp electric. Punerea în evidență a acestei proprietăți se face cu ajutorul unui fascicul de lumină monocromatică polarizată ce traversează modelul. Fenomenul este observat și fotografiat din spatele unui filtru analizator.

Metoda analogiei electrooptice este, de fapt, similară cu metodele cunoscute ale fotoelasticității, care se bazează pe proprietatea unor materiale, obișnuit transparente și

izotrope, de a deveni birefringente în stare tensorială. Deosebirea constă în faptul că metodele actuale ale fotoelasticității utilizează materiale fotoelastice solide capabile să preia eforturi din solicitări mecanice, în timp ce metoda propusă utilizează o soluție în stare lichidă, pusă în stare tensorială sub acțiunea unui câmp electric.

Metoda experimentală propusă poate fi aplicată la modelarea tuturor fenomenelor fizice care pot fi definite cu ajutorul ecuațiilor lui Navier, soluția ecuațiilor pe scară mică a fost aplicată la scurgerea fluidelor prin canale, în probleme de transfer de căldură [147]. Aplicarea acestei metode la studiul filtrației provocate prin alimentare artificială cu ajutorul bazinelor de infiltrație constituie o noutate. La noi metoda însăși a constituit obiectul unui număr mic de comunicări [121], [127], [128], [137] ale autorului prezentei lucrări.

6.2.1. Aparatura necesară modelării electrooptice este identică cu aparatura utilizată în fotoelasticitate. Ea

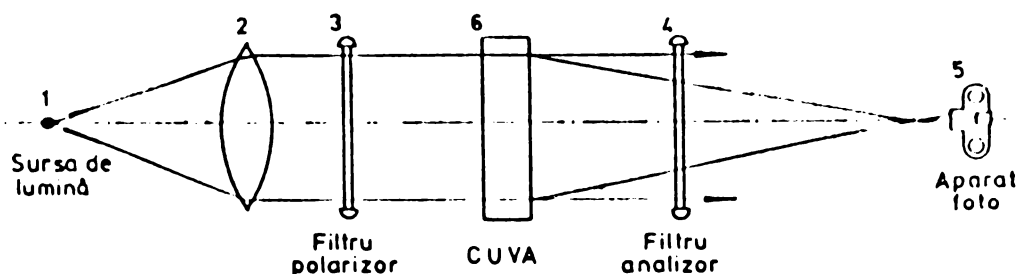


Fig.6.1. Schema polariscopului cu fascicul de raze paralele

se compune dintr-o sursă de lumină monocromatică (1), o lentilă (2) care asigură formarea unui fascicul de raze paralele, un filtru polarizator (3), filtru analizor (4), un aparat de fotografiat (5), modelul de cercetat (6), așezate ca în figura 6.1.

Sursa de lumină monocromatică se realizează cu ajutorul unei lămpi cu vapori de sodiu. Polarizarea are loc la trecerea luminii prin filtrele polarizante, așezate pe ambele părți

ale modelului de analizat. Filtrele sînt alcătuite din cristale microscopice birefringente înglobate într-o masă plastică. Datorită proprietății de birefrință, acestea absorb razele ordinare și lasă să treacă numai razele extraordinare polarizate liniar.

Modelul de analizat este realizat dintr-o cuvă de plexiglas transparent în care se toarnă o soluție de colorant organic în apă distilată, avînd o concentrație de 1,5 %, Colorantul este un praf galben, cunoscut sub numele de Milling Yellow N.G.S., realizat prin legarea 6-6' disulfo-orto-tolidine cu două molecule de acetoacetanilide. În stare de repaus soluția este transparentă și izotropă din punct de vedere optic. Dacă însă este supusă unui cîmp electric ea devine anizotropă și prezintă proprietatea de birefrință accidentală. Razele de lumină mono-

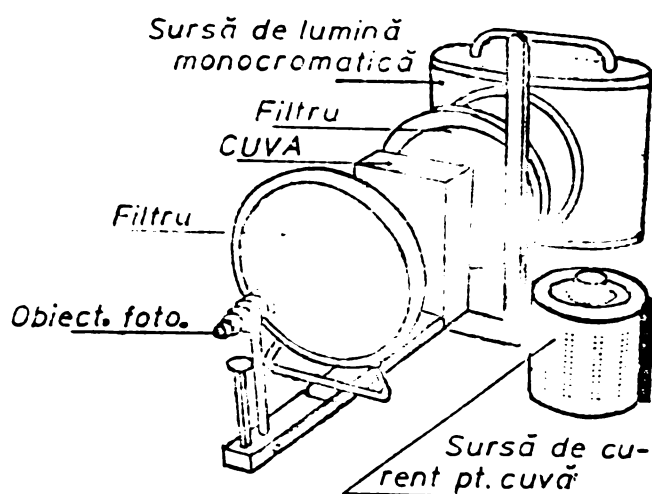


Fig.6.2. Analogie electro-optică: aparatură

și legate la un autotransformator. În figura 6.2. se prezintă aparatura utilizată pentru analogia electrooptică aflată în dotarea laboratorului de fotoelasticitate din I.P.Cluj-Napoca.

6.2.2. Baza fizică a modelării electrooptice rezidă în modul de propagare a luminii polarizate și proprietatea de birefrință a soluției supusă unui cîmp electric.

Din teoria electromagnetă, propagarea luminii se datorează oscilației transversale în două plane perpendiculare ce se intersectează de-a lungul axei de propagare. Este vorba de oscilația vectorului de intensitate a cîmpului electric  $\vec{E}$  și oscilația vectorului de intensitate a cîmpului magnetic  $\vec{H}$ , avînd aceeași lungime de undă, figura 6.3.

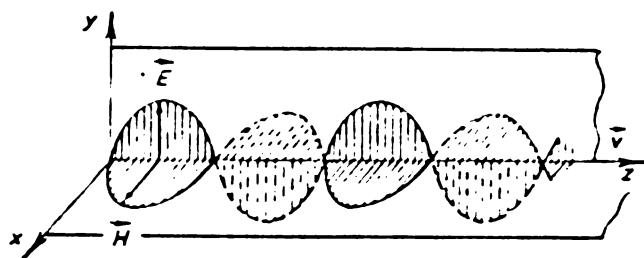


Fig.6.3. Propagarea luminii

Lumina albă este o lumină compusă, ce conține toate radiațiile spectrului vizibil, iar propagarea ei se datorește oscilației transversale într-un număr corespunzător de perechi de planuri ortogonale, două câte două. Lumina monocromatică conține oscilații avînd aceeași lungime de undă și în consecință

propagarea ei se datorește oscilației în numai două planuri ortogonale între ele. Unda de propagare a cîmpului magnetic, definită prin vectorul  $\vec{H}$  oscilează în planul  $yOz$ , denumit plan de incidență, cît și plan de polarizare, iar unda cîmpului electric definită prin vectorul  $\vec{E}$ , oscilează în planul  $xOz$ .

Dacă vectorii  $\vec{E}$  și  $\vec{H}$  se supun unor condiții la limită speciale, la suprafața de separație dintre două medii, cum este cazul trecerii razei de lumină polarizată prin soluția bi-refringentă de colorant organic, se crează o undă electromagnetică staționară. Ventrele vectorului  $\vec{E}$  coincid cu nodurile vectorului  $\vec{H}$  și invers.

Unda electromagnetică staționară astfel obținută oscilează în două planuri de polarizare, perpendiculare între ele. La trecerea prin filtru analizor, cele două planuri de polarizare se rabat unul peste celălalt, iar oscilațiile se compun de-a lungul axei de propagare într-un singur plan de polarizare.

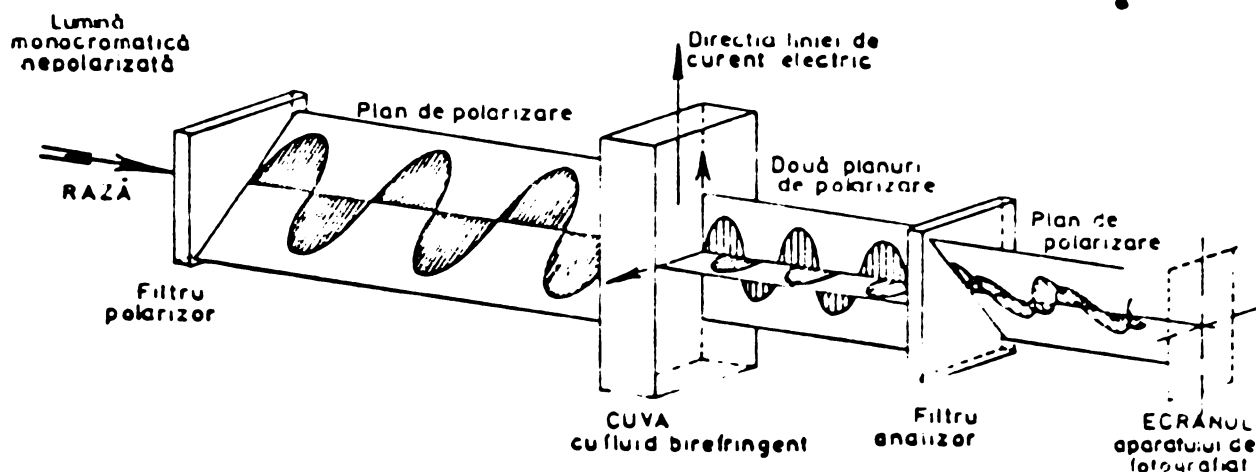


Fig.6.4. Procesul fizic de polarizare

În figura 6.4 se prezintă procesele de polarizare a luminii monocromatice la trecerea prin elementele active ale aparatului experimental folosit.

Soluția de colorant organic cu proprietăți de birefringență, se presupune că este alcătuită din particule subțiri de formă cilindrică ce prezintă dipoli permanenți. Din acest motiv când prin soluție trece un câmp electric particulele tind să se orienteze în direcția lui. Această tendință este însă perturbată de agitația termică provocată de trecerea curentului, motiv pentru care orientarea tuturor particulelor în direcția câmpului nu este posibilă. Există totuși o temperatură optimă, în jur de  $18^{\circ}\text{C}$ , când majoritatea particulelor se orientează în sensul câmpului.

Soluția aflată în repaus este omogenă și izotropă din punct de vedere optic. Ea devine anizotropă când este traversată de un câmp electric. Lumina liniar polarizată care trece prin soluția tensionată este descompusă în două componente: una paralelă cu câmpul și a doua perpendiculară pe el.

Vitezele de propagare ale celor două componente rezultate din descompunerea luminii sînt diferite, ceea ce face ca ea să apară polarizată electrooptic.

Lumina polarizată electrooptic privită printr-un filtru analizator, orientat perpendicular pe direcția de propagare, prezintă extincție, dacă:

- direcția câmpului electric ce traversează soluția este paralelă cu axa unuia din filtrele polarizante;
- înțirzirea relativă între cele două componente ce trec prin soluție este un număr întreg al lungimilor de undă.

Acest fenomen se numește birefringență. El stă la baza metodei fotoelastică. Dacă temperatura soluției rămîne constantă birefringența este în legătură directă cu mărimea gradientului de tensiune. Când însă temperatura din masa lichidă crește în timp peste  $18^{\circ}\text{C}$ , apar perturbații termice, iar proprietatea de birefringență scade considerabil. Această proprietate se reface după un anumit timp de la coborîrea temperaturii soluției.

Extincția luminii legată de direcția câmpului electric dă izoclinele, din care rezultă direcția câmpului pe suprafața întregului model. Iar extincția cauzată de mărimea câmpului electric dă franjuri izocromatice, de asemenea pe toată suprafața modelului.



Cele două extincții pot fi separate. Astfel dacă în locul luminii liniar polarizată se folosește lumina circular polarizată, se elimină izoclinele, iar franjurile izocromatice pot fi privite separat. Dacă în locul luminii monocromatice se folosește lumina albă, prin rotirea filtrelor din aproape în aproape se pot separa izoclinele de o anumită înclinare cercetată.

Astfel, corespunzător unor rotiri de  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ , ... ..,  $100^\circ$  se obțin izoclinele de  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ , ...,  $100^\circ$ .

Acest lucru este foarte important deoarece curbele izocromatice definesc locul geometric al punctelor de gradient de tensiune constant, iar curbele izocline definesc locul geometric al punctelor având vectorii câmpului cu aceeași orientare.

Tinând seama de modelarea urmărită, curbele izocromatice definesc locul geometric al vitezilor de filtrație constante, iar curbele izocline definesc locul geometric al vectorilor vitezilor de filtrație, având aceeași orientare.

Cu alte cuvinte metoda permite determinarea vitezei și a vectorului viteză, în orice punct al domeniului modelat.

### 6.2.3. Formularea matematică a analogiei electro-optică

Se cunoaște faptul că între fenomenul fizic al scurgerii apei prin medii permeabile și fenomenul trecerii curentului electric prin medii conductoare omogene există foarte mari asemănări. Scurgera apei prin medii poroase are la bază legea lui Darcy, iar trecerea curentului electric printr-un mediu conductor ascultă de legea lui Ohm. Caracterul liniar al celor două legi, constituie puntea de legătură între potențialul hidraulic  $H$  și potențialul electric  $U$  și totodată corelația de bază între fenomenul hidraulic din natură și modelul electrooptic.

a). Mișcarea apei prin medii permeabile

Dacă se consideră un mediu permeabil omogen și izotrop, mișcarea apei are loc conform legii lui Darcy, pusă sub forma

$$\vec{v} = -k \text{ grad } H, \quad (6.1)$$

unde:  $v$  este vectorul vitezei de filtrație,  $k$  este conductivitatea hidraulică și  $H(x,y,z)$  este sarcina hidraulică.

Componentele vitezei după cele trei direcții principale sînt:

$$v_x = -k \frac{\partial H}{\partial x} ; \quad v_y = -k \frac{\partial H}{\partial y} ; \quad v_z = -k \frac{\partial H}{\partial z} \quad (6.2)$$

Dacă însă mediul este anizotrop legea lui Darcy capătă forma:

$$\vec{v} = -|k| \text{ grad } H, \quad (6.3)$$

unde  $|k|$  este tensorul conductivității hidraulice sau de filtrație; un tensor simetric, ale cărui componente după diagonala principală sînt nule  $k_{xx} = k_{yy} = k_{zz} = 0$  [79].

Din cele de mai sus (6.1), (6.3) rezultă că în tot domeniul mișcării este valabilă o relație univocă între vectorul viteză de filtrație și vectorul gradientului funcției de presiune.

În mișcarea permanentă funcția de presiune depinde numai de punct, este deci o funcție  $H(x, y, z)$ .

Din ecuația continuității fenomenului scurgerii

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0, \quad (6.4)$$

asociată legii lui Darcy scrisă sub forma (6.2), se obține

$$\frac{\partial}{\partial x} (k \frac{\partial H}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k \frac{\partial H}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (k \frac{\partial H}{\partial z}) = 0. \quad (6.5)$$

Pentru  $k = \text{constant}$  rezultă:

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} = 0 \quad (6.6)$$

Expresia (6.6) este ecuația lui Laplace, de unde  $H(x, y, z)$  este o funcție armonică.

Din punct de vedere matematic funcția de presiune  $H(x, y, z)$ , satisfăcînd ecuația lui Laplace, în interiorul domeniului de curgere considerat, este complet determinată dacă pe contur se cunosc, fie valorile lui  $H$ , fie valorile derivatei normale  $\partial H / \partial n$ . În primul caz rezultă o problemă de tip Dirichlet, iar în al doilea o problemă de tip Neumann.

Deoarece în ecuația lui Laplace (6.6) nu intervine conductivitatea hidraulică, rezultă că în mediile omogene și izotrope distribuția presiunilor depinde numai de forma geometrică a domeniului, de condițiile la limită și de punct.

În natură, de multe ori mișcarea apei subterane are loc după două direcții dominante. În asemenea situații, pentru simplificare se admite ipoteza lui Dupuit, privind paralelismul liniilor de curent, ceea ce permite considerarea mișcării ca fiind: plan verticală sau plan orizontală.

În mișcarea plan verticală, pentru medii omogene și izotrope:

- componentele vitezei

$$v_x = -k \frac{\partial H}{\partial x} \quad \text{și} \quad v_z = -k \frac{\partial H}{\partial z} ; \quad (6.2')$$

- ecuația de continuitate

$$\frac{\partial}{\partial x} (k \frac{\partial H}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z} (k \frac{\partial H}{\partial z}) = 0 ; \quad (6.5')$$

- ecuația lui Laplace

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} = 0 , \quad (6.6')$$

respectiv  $H = H(x, z)$ .

În mișcarea considerată plan orizontală scurgeroa poate avea loc cu nivel liber sau sub presiune. Pentru evidențierea acestui fapt se introduce noțiunea de transmisivitate  $T = kh$ , unde  $h$  este grosimea stratului.

Transmisivitatea este un tensor, care operează ca și tensorul conductivitate hidraulică.

$$|T| = \begin{vmatrix} T_{xx} & T_{xy} \\ T_{yx} & T_{yy} \end{vmatrix}, \quad \text{cu } T_{xy} = T_{yx} \quad (6.7)$$

Dacă mediul permeabil este omogen și izotrop

$T_{xx} = T_{yy} = T$  și  $T_{xy} = 0$ , iar ecuația de continuitate (6.5) devine [92], [141]:

$$\frac{\partial}{\partial x} (T \frac{\partial H}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (T \frac{\partial H}{\partial y}) + q(x, y) = 0 , \quad (6.8)$$

termenul  $q(x, y)$  reprezentând un debit specific de alimentare, uniform distribuit pe orizontală, ce poate fi, obișnuit, egal cu zero.

Dacă mișcarea se face sub presiune  $T = \dot{a}k = \text{constant}$ , rezultă

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + \frac{q}{T} = 0 . \quad (6.9)$$

Dacă mișcarea este cu nivel liber  $T = kh$ ,  $h$  fiind grosimea stratului, ecuația de continuitate capătă forma

$$\frac{\partial}{\partial x} (h \frac{\partial H}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (h \frac{\partial H}{\partial y}) + \frac{q}{k} = 0 . \quad (6.10)$$

Atât mișcările considerate plan verticale cât și cele plan orizontale satisfac ecuația lui Laplace. Acest lucru

conduce la posibilitatea studierii spectrului hidrodinamic cu ajutorul funcțiilor de variabilă complexă.

În adevăr, să considerăm potențialul de viteză definit prin:

$$\varphi(x,y) = -k H(x,z) + C, \quad (6.11)$$

în care:  $C$  este o constantă pentru tot mediul considerat,  $k$  conductivitatea hidraulică și  $H(x,z)$  sarcina hidraulică. Mișcarea potențială fiind și plană, rezultă:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0 \quad (6.12)$$

Dacă lui  $\varphi(x,z)$  îi atașăm o funcție  $\psi(x,z)$  așa fel încât să fie satisfăcute condițiile lui Cauchy-Riemann

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = -\frac{\partial \psi}{\partial y} \quad ; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial y} = \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad , \quad (6.13)$$

obținem o funcție de variabilă complexă  $f(z)$ , care definește spectru hidrodinamic

$$f(z) = \varphi + i\psi \quad (6.14)$$

Pentru  $\varphi = \text{const.}$  se obține o familie de curbe, numite linii echipotențiale, iar pentru  $\psi = \text{const.}$  sau  $Q = \text{const.}$  rezultă familia liniilor de curent.

#### b). Trecerea curentului electric prin medii conductoare

Se consideră un conductor omogen și izotrop cu o conductivitate electrică  $\sigma(x,y,z)$  supus unui câmp electric în regim permanent, caracterizat prin potențialul electric  $U(x,y,z)$ . Conform legii lui Ohm, între densitatea curentului  $\vec{j}$ , conductivitatea electrică  $\sigma$  și potențialul  $U$  există relația

$$\vec{j} = -\sigma \nabla U \quad (6.15)$$

În absența surselor interioare, fluxul  $\vec{j}$  este conservativ, adică  $\nabla \cdot \vec{j} = 0$ , de unde

$$\nabla(\sigma \nabla U) = 0 \quad (6.16)$$

sau

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \sigma \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \sigma \frac{\partial U}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \sigma \frac{\partial U}{\partial z} \right) = 0 \quad . \quad (6.17)$$

Dacă  $\sigma = \text{constant}$  rezultă

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 0 \quad (6.18)$$

Relația (6.15) pusă sub formă (6.17) sau (6.18) constituie relația de bază în analogia electrică și electrooptică

Rezultă că distribuția potențialului electric  $U$ , satisface ecuația lui Laplace. Potențialul  $U$  poate fi, deci, complet determinat dacă pe conturul mediului conductor se cunosc, fie valorile lui  $U$ , fie mărimea derivatoei normale  $\partial U / \partial n$ . Funcția  $U$  este o funcție armonică.

Fluxul electric ce traversează un element de suprafață a unui conductor omogen și izotrop, de grosime  $\delta(x,y)$  poate fi determinat din relația:

$$dW = - \sigma \delta \frac{\partial U}{\partial n} ds \quad (6.19)$$

Dacă  $\sigma = \text{constant}$  și  $\Delta W = 0$ , relația (6.19) devine:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \delta \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \delta \frac{\partial U}{\partial y} \right) = 0 \quad (6.20)$$

Dacă funcției de potențial  $U$ , i se atașează o funcție  $W$  așa fel încât să satisfacă condițiile lui Cauchy-Riemann

$$\frac{\partial U}{\partial x} = - \frac{\partial W}{\partial y} \quad ; \quad \frac{\partial U}{\partial y} = \frac{\partial W}{\partial x} \quad (6.21)$$

se obține o funcție de variabilă complexă

$$F(z) = U(x,y) + i W(x,y), \quad (6.22)$$

care definește complet câmpul electric. Pentru  $U = \text{constant}$  rezultă liniile echipotențiale, iar din  $W = \text{constant}$  se obțin liniile de flux.

### c). Analogia electrooptică

Din prezentarea formulării matematice a fenomenelor de scurgere prin medii permeabile și de trecere a curentului electric prin conductori rezultă o corespondență formală perfectă între mărimile caracteristice din hidraulică ( $H, v, k, Q, \Delta H/Q$ ), respectiv din electricitate ( $U, j, G, I, R = \Delta U/I$ ).

Analogia dintre cele două fenomene fiind completă, modelarea este, teoretic, posibilă în ambele sensuri. Modelarea electrică a fenomenelor hidraulice este evident cea acceptabilă și nu invers. Ea constă din realizarea unui model la scară convenabilă, confecționat dintr-un conductor ce se supune unui câmp electric. Modelarea electrooptică presupune înlocuirea mediului conductor cu o soluție de colorant organic, care prin proprietatea de birefringență accidentală, permite vizualizarea unor mărimi electrice.

Condițiile pe contur se realizează cu ajutorul:

- electrozilor metalici, modelați corespunzător,

pentru zonele avînd tensiuni constante  $U_1, U_2, U_3, \dots, U_n$ ;  
 - conturilor din material izolant pentru  $\partial U / \partial n = 0$ .  
 Revenim la legile lui Darcy și Ohm, puse sub forma:

$$v = -k \frac{\partial H}{\partial S} \quad (6.23)$$

și

$$j = -\sigma \frac{\partial U}{\partial s}, \quad (6.24)$$

unde: -  $v$  reprezintă viteza de filtrație din natură după o direcție oarecare,  $k$  este conductivitatea hidraulică,  $\partial H / \partial S = i$  panta hidraulică;

-  $j$  reprezintă densitatea curentului electric din model,  $\sigma$  este conductivitatea electrică, iar  $\partial U / \partial s$  gradientul de tensiune.

Din relațiile (6.23) și (6.24) scrise în diferențe finite și notînd cu  $l$  lungimea măsurată pe model, cu  $L$  lungimea echivalentă din natură, rezultă

$$\frac{v}{j} = \frac{k}{\sigma} \cdot \frac{\Delta H}{\Delta U} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta L}, \quad (6.25)$$

de unde

$$v = j \frac{k}{\sigma} \cdot \frac{\Delta H}{\Delta U} \cdot \frac{l}{L} \quad \text{sau} \quad v = -k \frac{\Delta H}{\Delta U} \cdot \frac{l}{L} \text{ grad } U \quad (6.26)$$

Practic, determinarea vitezei de filtrație se realizează din relația (6.26), în care se cunosc apriori  $k, \Delta H, L$ , iar  $\Delta U, l, \text{grad } U$  se determină din fotografia cu izocromate ale modelului.

În baza relației (6.26), din care rezultă mărimea vitezei de filtrare în tot domeniul modelat, se poate determina debitul ce traversează o anumită suprafață normală pe direcția de scurgere  $A = \sum A_i$ . Astfel

$$Q = \sum A_i v_i, \quad (6.27)$$

unde:  $A_i$  reprezintă suprafețele parțiale din natură, iar  $v_i$  vitezele de filtrație.

Dacă interesează liniile de curent, respectiv orientarea vectorului  $\vec{v}$ , trebuie să se pună în evidență curbele izocline. Acest lucru se realizează tot cu ajutorul aparatului descrise mai sus, în care filtrele polarizante se rotesc sub unghiuri diferite de un unghi drept, rezultînd o lumină polarizată liniar. În timp ce orientarea vectorilor  $\vec{v}$  se determină direct din familia curbelor izocline, liniile de curent se construiesc prin ducerea unor curbe tangente la vectorii  $\vec{v}$ .

Exemplificarea determinării vitezei de filtrație,

în mărime, direcție, sens, ca și stabilirea liniilor de curent se va face în paragrafele următoare.

Relația între ordinul curbelor de extincție-izocromate - și gradientul tensiunilor se determină prin etalonare. În acest scop se utilizează o cuvă din același material ca și modelul (plexiglas), avînd în plan forma unui sector de cerc, din care s-a decupat o parte, ca în figura 6.5.a. Grosimea cuvei este identică cu grosimea modelului, adică 20 - 25 mm.

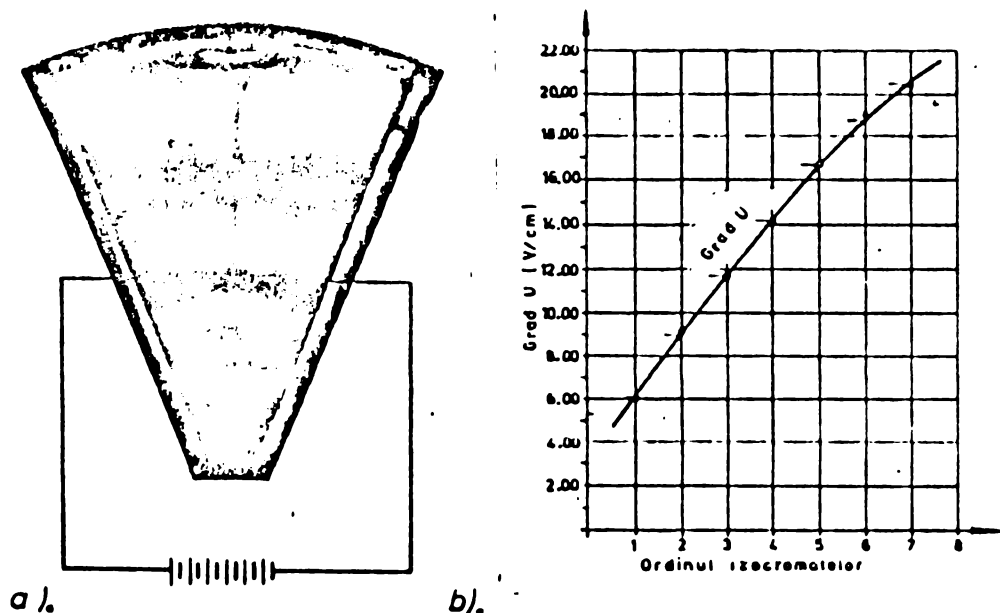


Fig.6.5.Etalonarea modelului

Etalonarea constă în punerea sub o tensiune  $U$  a soluției de colorant organic, folosită la modelare, cu ajutorul a doi electrozi așezați radial și legați la o sursă de curent. Se identifică ordinul izocromatelor și lungimea lor. Cum tensiunea aplicată între electrozi este cunoscută, de-a lungul unei izocromate putem scrie:

$$\frac{\Delta U}{\Delta s} = \frac{V_o - V_i}{s_i} \quad (\text{V/cm}) \quad (6.27)$$

Pe baza relației (6,27) se trasează apoi corelația dintre gradientul de tensiune, grad  $U$  și ordinul  $i$  al izocromatelor, ca în figura 6.5.b [137].

Numărul izocromatelor puse în evidență crește atunci când tensiunea  $U$  între electrozi este mare. Din păcate însă, la tensiuni mari temperatura soluției în zonele cu gradienti ridicați crește foarte rapid, ceea ce conduce la pierderea proprietății de birefringență, parțial sau total. O nouă punere sub tensiune presupune răciria cuvei pînă la atingerea temperaturii de  $18^\circ\text{C}$ .

### 6.3. Studiul scurgerii plan-orizontale prin analogie electrooptică

Așa cum s-a mai arătat, în cazul straturilor acvifere de grosime mică, așezate pe un pat cvasiorizontal, se poate accepta că mișcarea curentului de apă subterană are firele de curent orizontale. Același lucru se poate afirma și despre mișcarea unui curent subteran, care pe de o parte este alimentat artificial cu apă de la suprafață, iar pe de altă parte este captat pentru diverse folosințe. Excepție de la o mișcare cvasiorizontală fac doar zone restrânse din vecinătatea dispozitivelor de alimentare, respectiv a celor de captare. Pentru aceste zone se fac uneori cercetări separate.

6.3.1. Mișcarea apei în jurul puțurilor de infiltrare sau de captare. Cercetarea mișcării apei în jurul puțurilor folosite pentru alimentare artificială a straturilor acvifere sau pentru captare cu ajutorul analogiei electrooptice, se face cu dublu scop: punerea în evidență a fenomenului cercetat, testarea metodei.

În adevăr, mișcarea apei în jurul puțurilor poate fi cercetată cu ajutorul mai multor metode exacte de calcul. Comparând rezultatele obținute prin aceste metode și metoda de laborator a analogiei electrooptice se pot trage concluzii privind utilitatea ei și precizia oferită în studiul filtrației.

Astfel, se consideră un strat acvifer sub presiune, în care se infiltrează apă cu ajutorul unui puț perfect. Stratul are o grosime  $M = 25$  m, o conductivitate hidraulică  $k = 0,001$  m/s și sarcina hidraulică inițială, aflată la limită,  $H = 25$  m. Infiltrarea apei se asigură de către un puț având o rază  $r_0 = 1,50$  m, ce permite realizarea unor suprasarcini hidraulice  $\Delta H = 5 ; 10 ; 25 ; 80$  m [137]. Se consideră că apa subterană poate fi stagnantă, adică  $v_0 = 0$  sau în mișcare cu o viteză  $v_0 = 3 \cdot 10^{-4}$  m/s. Alegerea unor valori, relativ mari, pentru  $r_0$  și  $\Delta H$  a avut în vedere o modelare mai ușoară și obținerea unei extincții mari a curbelor izocromatice.

În figura 6.6. se prezintă fotografiile izocromatelor obținute prin modelarea electrooptică pentru cazurile:  $v_0 = 0$  și  $v_0 = 3 \cdot 10^{-4}$  m/s, respectiv  $\Delta H = 80$  m. Din fotografiile s-au decupat numai zonele din jurul puțurilor unde se văd foarte bine izocromatele. Liniile verticale, vizibile în fotografiile



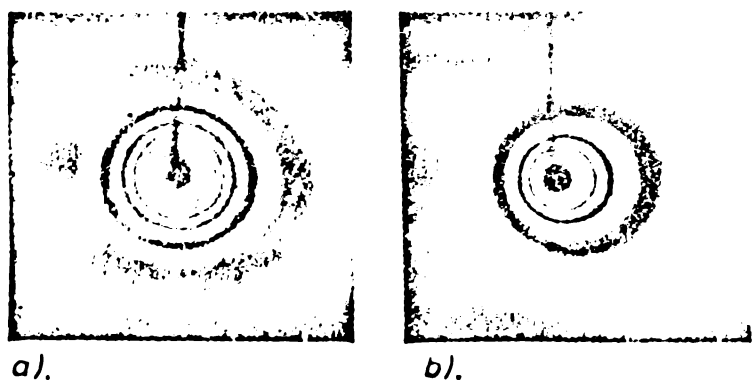


Fig.6.6. Infiltrarea prin puțuri izocromate

viteza de infiltrare este constantă. Mărimea vitezei de filtrație în punctul cercetat se determină din relația:

$$v_N = -k \frac{\Delta H}{\Delta U} \cdot \frac{l}{L} \text{ grad } U, \quad (6.26)$$

în care:  $v_H$  (m/s) este viteza de filtrație din natură,  $k$  (m/s) este coeficientul de filtrație,  $\Delta H$  (m) suprasarcina hidrolică,  $\Delta U$  (V) tensiunea la care a fost supus modelul,  $l$ ,  $L$  distanța pe model sau în natură pînă la punctul considerat, grad  $U$  (V/m) gradientul de tensiune.

Pentru a evita eventualele erori produse de o identificare greșită a ordinului izocromatelor, se recomandă determinarea gradientului, grad  $U$ , într-un punct al domeniului modelat, unde acesta este ușor de calculat. O altă posibilitate ar consta în determinarea vitezei de filtrație, de exemplu la limita domeniului și corelarea ei cu ordinul izocromatei ce trece prin zonă.

În figura 6.7 se prezintă rezultatele obținute prin calcule analitice și determinări de laborator. La calculele analitice s-a utilizat o formulă simplificată, recomandată în literatura de specialitate

$$q = 2\pi k \frac{\Delta H}{\ln \frac{R_0}{r_0}}, \text{ cu } \Delta H = H_0 - h_0 \quad (6.27)$$

Construcția curbelor de variație a vitezei de filtrație, după o anumită direcție, începînd din axul puțului poate fi urmărită în figura 6.7.a. În acest scop se alătură curba de etalonare Grad  $U$ , din figura 6.5 la un sistem de axe  $Ov$  și  $Or$ , față de care se trasează  $v = v(r)$ . Operația presupune identificarea pe fotografie a ordinului izocromatei ce trece

sînt legăturile electrice la electrozii ce reprezintă puțurile de infiltrare.

Pe model, de-a lungul unei izocromate, gradientul de tensiune este constant. În natură, curbele echivalente izocromatelor reprezintă locuri geometrice ale punctelor în care

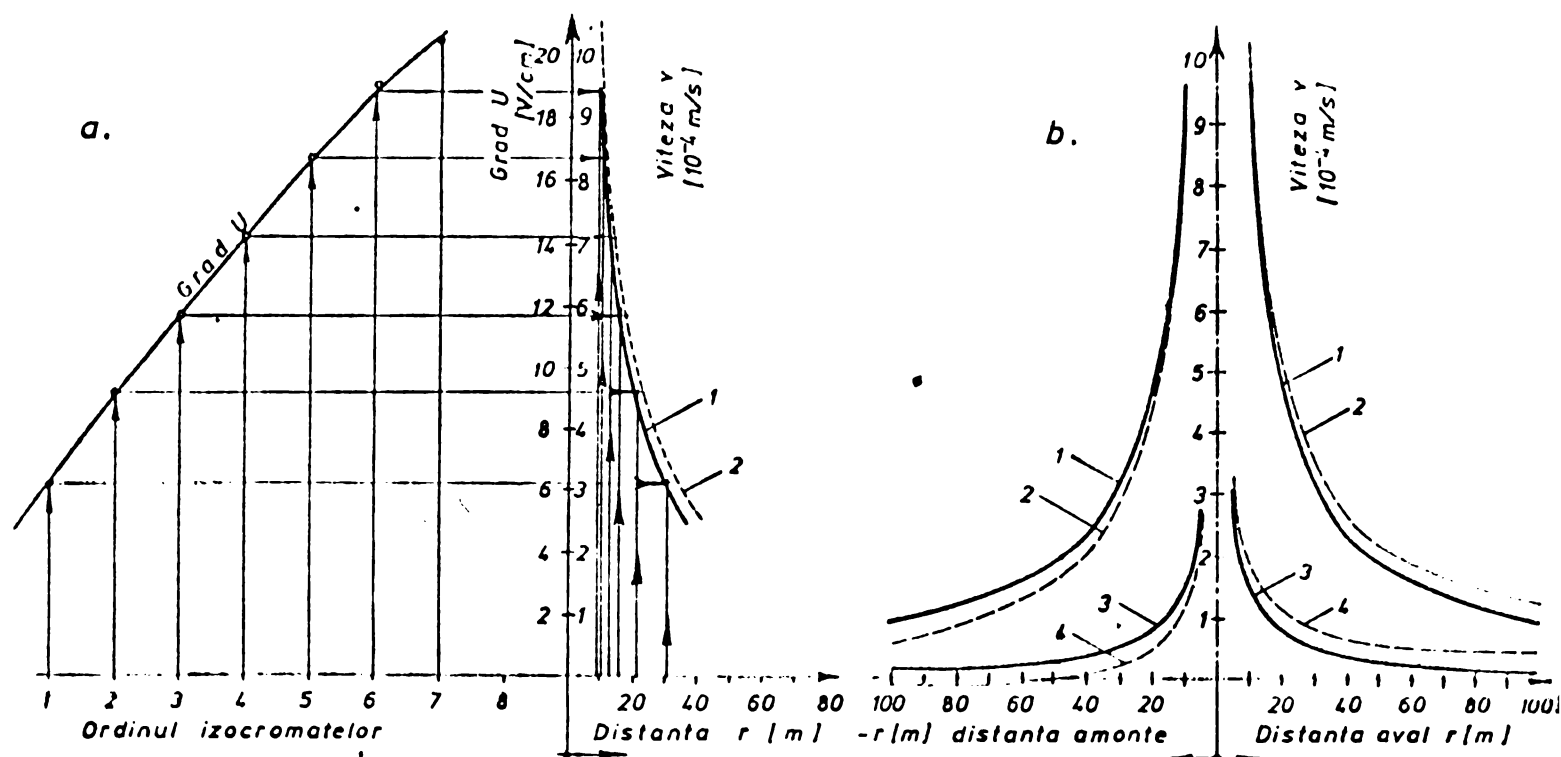


Fig.6.7. Variația vitezei  
 a. Construcția curbei de variație  
 b. Variația lui  $v$  după o direcție paralelă cu  $v_0$

prin punctul considerat și distanța  $l$  pînă la axul puțului, care înmulțită cu factorul la scară conduc la distanța  $L$  de puț toron.

În figura 6.7.b se prezintă variația vitezei, după o direcție paralelă cu  $v_0$  ce trece prin axul puțului.

Din compararea rezultatelor obținute prin calcul analitic și metoda analogiei electrooptice, exemplificate în figura 6.7 pentru  $v_0 = 0$ ,  $v_0 = 3 \cdot 10^{-4}$  m/s și  $\Delta H = 10$  m, curbele (3), (4), respectiv pentru  $\Delta H = 80$  m, curbele (1) și (2), rezultă o foarte bună precizie; diferențele rezultate nedepășind 4 - 5 %. Această precizie poate fi îmbunătățită dacă fotografiile obținute se măresc pînă la atingerea dimensiunilor modelului sau chiar mai mult.

Din exemplul descris mai sus, se poate trage concluzia că metoda analogiei electrooptice oferă un câmp larg de aplicare în modelarea fenomenelor hidraulice. Precizia obținută este comparabilă cu cea rezultată prin alte metode de laborator, însă modelarea este mult mai ușoară și oferă instantaneu informații din tot domeniul cercetat.

Revenim la figura 6.6.b, care evidențiază dinamica vitezelor de filtrație în jurul unui puț aflat într-un curent subteran. Cercurile din fotografie reprezintă izocromatele for-

mate în jurul puțului, adică locuri geometrice ale vitezelor de filtrație, de egală mărime. Acest lucru se poate demonstra și prin calcule analitice, dacă se suprapune mișcarea radială, datorată injecției de apă prin puț, peste mișcarea plan-paralelă a curentului subteran.

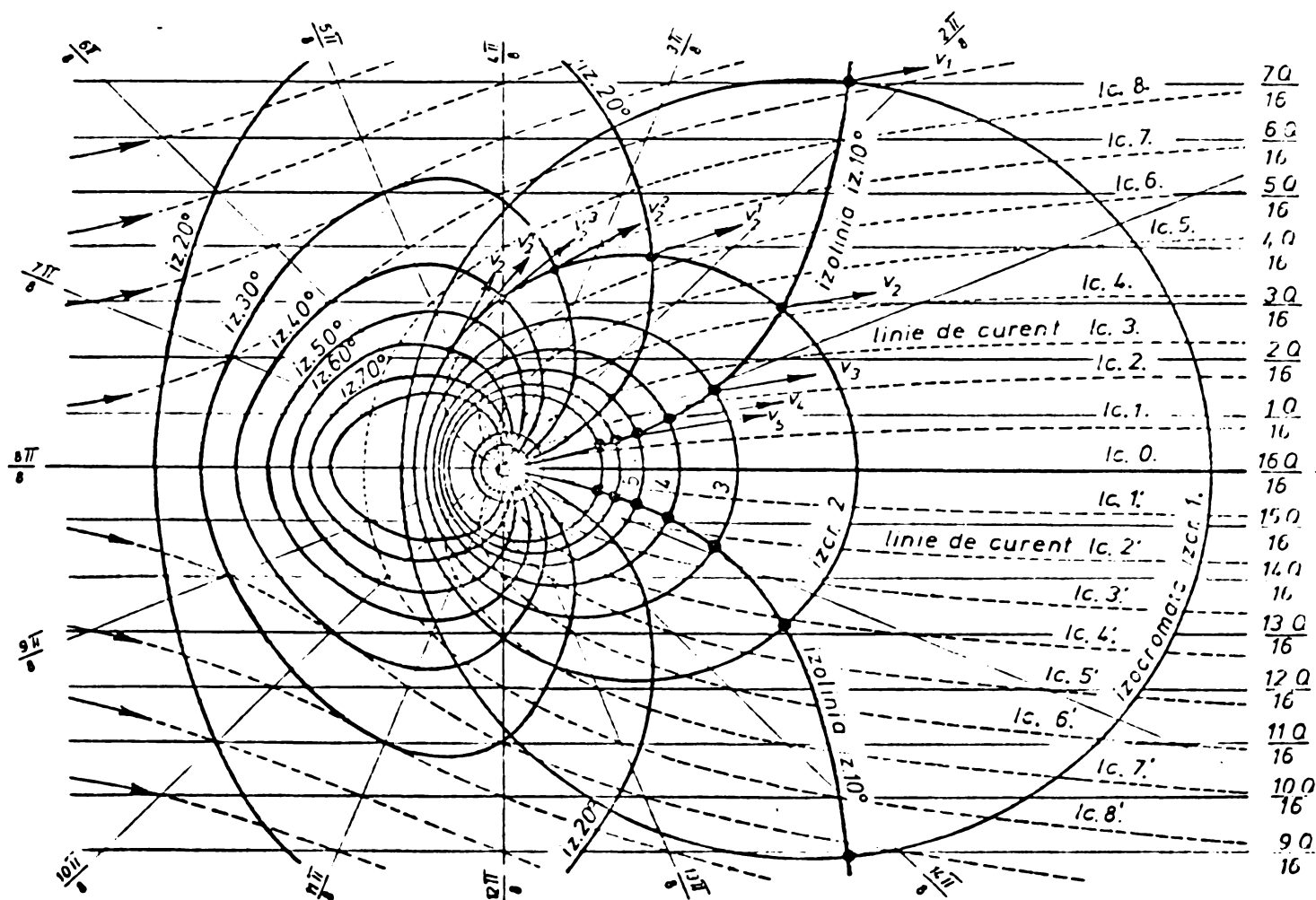


Fig. 6.8. Construcția izoliniilor - curbe de egală înclinare a lui  $v$

În figura 6.8 s-a efectuat o combinație între curbele izocromate din figura 6.6.b și liniile de curent, determinate pe cale analitică. La liniile de curent, construite pe baza acestor calcule s-au dus tangente cu diferite înclinări, respectiv de:  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $80^\circ$ ,  $90^\circ$ . Unind punctele de pe liniile de curent, obținute cu ajutorul tangențelor prezentând aceeași înclinare, s-a obținut o familie de curbe înfășurătoare, reprezentând locuri geometrice a vectorilor  $v$  paraleli. Acestea formează a doua familie de curbe, cu privire la fenomenul de filtrație modelat.

Prin această combinație s-a urmărit demonstrarea faptului că izocromatele evidențiate prin metoda propusă reprezintă locuri geometrice ale vitezelor de filtrație de egală mărime, iar izoliniile locuri geometrice a vectorilor cu aceeași orientare a acestei viteze.

Cu alte cuvinte, prin suprapunerea izocromatelor pe aceste izolinii se poate determina viteza de filtrație în mărime și sens, în orice punct al domeniului modelat.

### 6.3.2. Mișcarea apei de filtrație în jurul bazinelor dreptunghiulare utilizate la alimentarea straturilor acvifere

Studiul mișcării apei de filtrație în jurul bazinelor de formă dreptunghiulară se face cu dublu scop:

- pentru cercetarea mișcării apei în cazul alimentării tehnice de aprovizionare a straturilor acvifere;
- pentru compararea rezultatelor teoretice obținute prin metodele propuse în Capitolul 5.

Astfel, s-a modelat un bazin de infiltrație de formă dreptunghiulară având lungimea  $a$  și lățimea  $b$ , cu raportul  $a/b = 2,0$ , situat la o distanță  $d$  de un râu învecinat, ca în figura 6.9.a. De asemenea s-a modelat cazul în care bazinul se găsește între două cursuri de apă, având nivelurile luciului apei la cote sensibil egale, sau diferite ca în figura 6.9.b. Modelarea s-a realizat într-o cuvă din plexiglas transparent, având dimensiunile interioare de  $20 \times 20 \times 2,5 \text{ cm}^3$ .

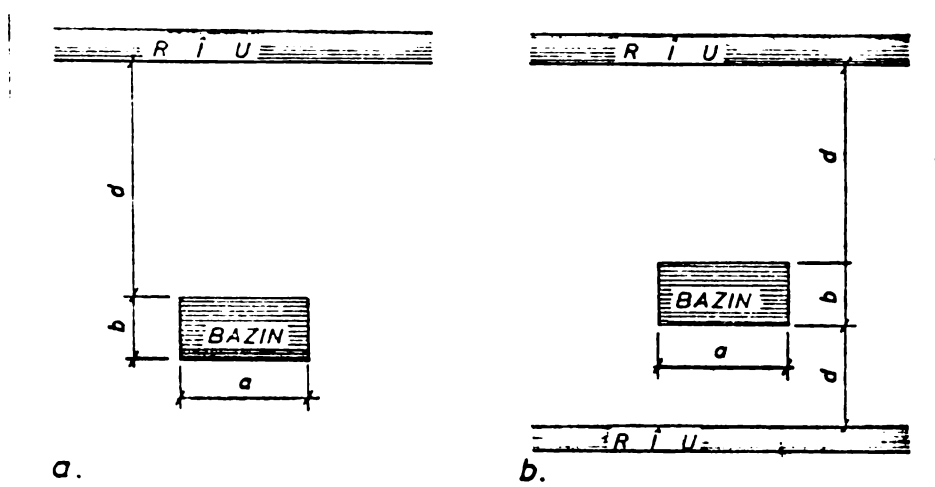


Fig.6.9. Alimentarea straturilor acvifere

Primul model, fig. 6.9.a., permite simularea alimen-  
tării unui strat acvifer, avînd o viteză  $v_0 > 0$  sau  $v_0 = 0$ , cînd  
rîul se găsește la distanța  $d$  mică sau considerabilă. Rezulta-  
tele obținute prin modelare electrooptică, privind distribuția  
în cîmp a vitezelor de filtrare, se prezintă în figura 6.10:

a) pentru  $v_0 = 0$  și distanța  $d$  foarte mare; b) pentru  $v_0 = 0$  și  
distanța  $d/a = 5,76$ .

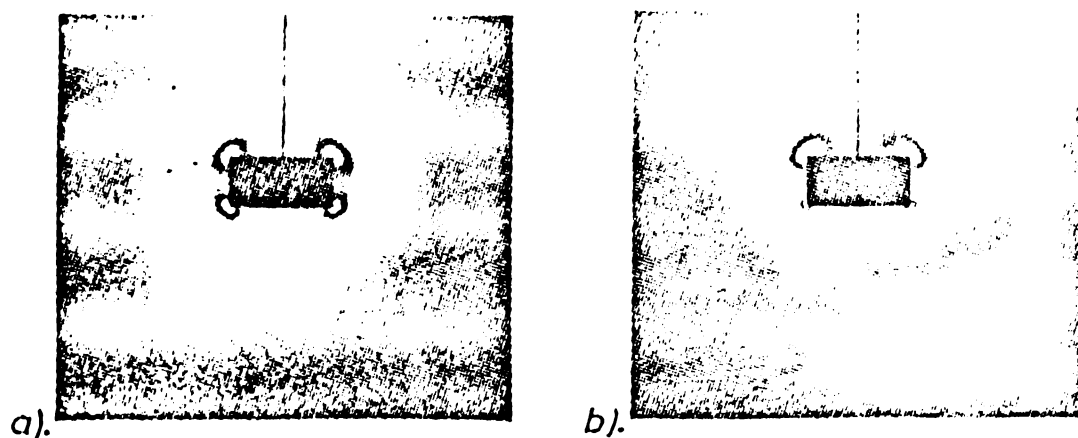


Fig.6.10. Distribuția vitezelor de filtrare, cu:  
a).  $v_0 = 0$  ; b).  $v_0 > 0$

Deoarece cazul b) a fost studiat și teoretic în Ca-  
pitoul 5, în figura 6.11 se prezintă, comparativ, distribuția

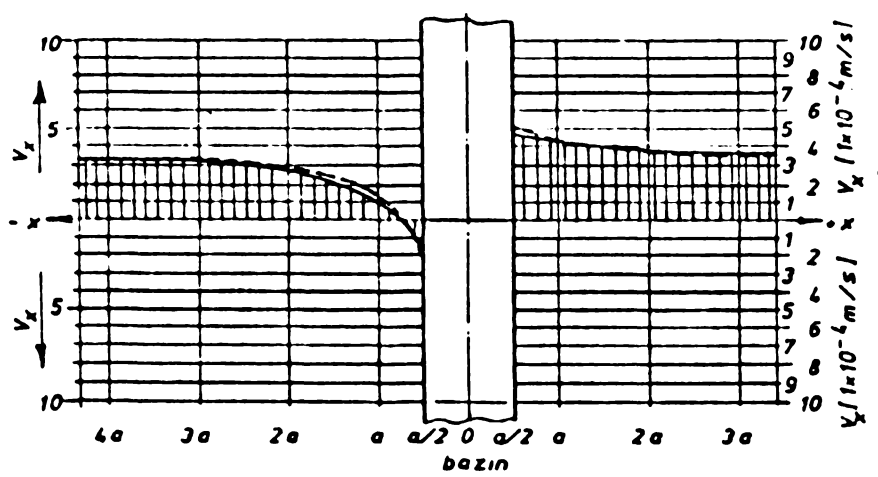


Fig.6.11. Distribuția vitezei de-a  
lungul axei X-X, determinate  
pe model,  
teoretic

vitezei de filtrație de  
lungul axei de simetrie  
X-X ce trece prin centrul  
bazinului, fiind în ace-  
lași timp paralelă cu  
reecția de scurgere a cu-  
rentului subteran, adică  
perpendicular pe rîu.  
Din analiza rezultatelor  
obținute pe cale teoretică  
și experimentală rezul-  
tă o foarte bună co-  
relație, ceea ce vali-  
dează metodele propuse.

În Anexa I și Anexa II se prezintă dinamica izoli-  
niilor pentru:  $10^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$ ,  $50^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $70^{\circ}$ ,  $80^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $100^{\circ}$   
pentru  $v_0 = 0$  și  $v_0 > 0$ .

În figura 6.12 se prezintă variația vitezei de fil-  
trație de-a lungul conturului bazinului pentru ambele cazuri  
studiate în laborator.

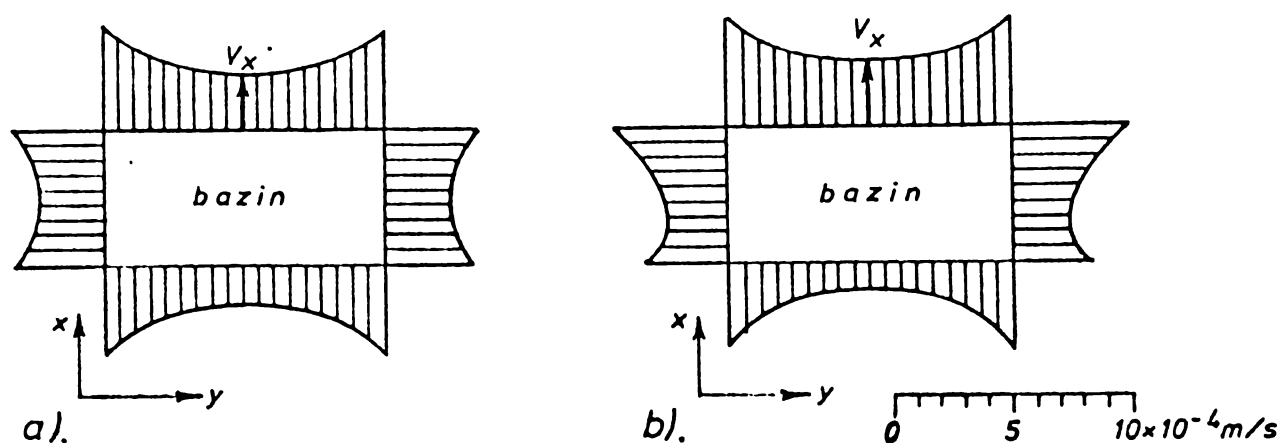


Fig. 6.12. Distribuția vitezei pe contur  
a.  $v_0 = 0$  ; b.  $v_0 > 0$

6.3.3. Mișcarea apei de filtrație în jurul bazinelor circulare de alimentare a straturilor exploatate prin puțuri de captare, dispuse după două linii paralele, ca în figura 6.13.

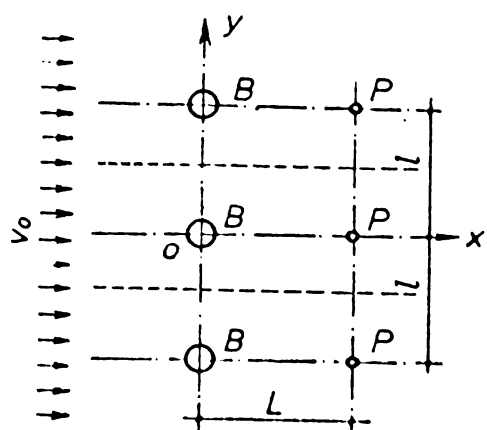


Fig. 6.13. Dispunerea bazinelor de infiltrație și a puțurilor de captare

În vederea acestui studiu s-a considerat un curent de apă subterană, cu scurgere sub presiune, avînd o viteză naturală de filtrație  $v_0$ . Curentul este interceptat de o linie de alimentare artificială cu ajutorul bazinelor circulare, de rază  $R$ , amplasate la o distanță  $l$ , măsurată din ax în ax. De asemenea, în aval de această linie la o distanță  $L$  se găsește o linie de puțuri de cap-

tare, avînd o rază  $r$  și distanța  $l$  între ele. Cum puțurile se găsesc pe aceeași direcție cu bazinele, în sensul de curgere a apei subterane, se formează mișcări simetrice în raport cu axele ce unesc aceste dispozitive.

Avînd la bază observațiile cu privire la repetabilitatea mișcării simetrice în raport cu fiecare axă ce unește o pereche de bazine-puțuri, s-a confecționat un model analogic corespunzător. Cuvă utilizată are dimensiunile de  $20 \times 20 \times 2,5 \text{ cm}^3$ . În ea s-au așezat trei bazine circulare confecționate din

tablă subțire de cupru, respectiv din trei puțuri din tub subțire de cupru. Pe două laturi opuse ale cuvei, paralele cu liniile formate de bazine sau de puțuri, s-au lipit foițe metalice. Modelul astfel echipat și umplut cu soluția de lichid birefringent, pusă convenabil sub diferite tensiuni electrice, permite simularea curgerii prin mediu permeabil studiat, în mai multe variante. Dintre acestea, în figura 6.14 se prezintă trei variante mai semnificative:

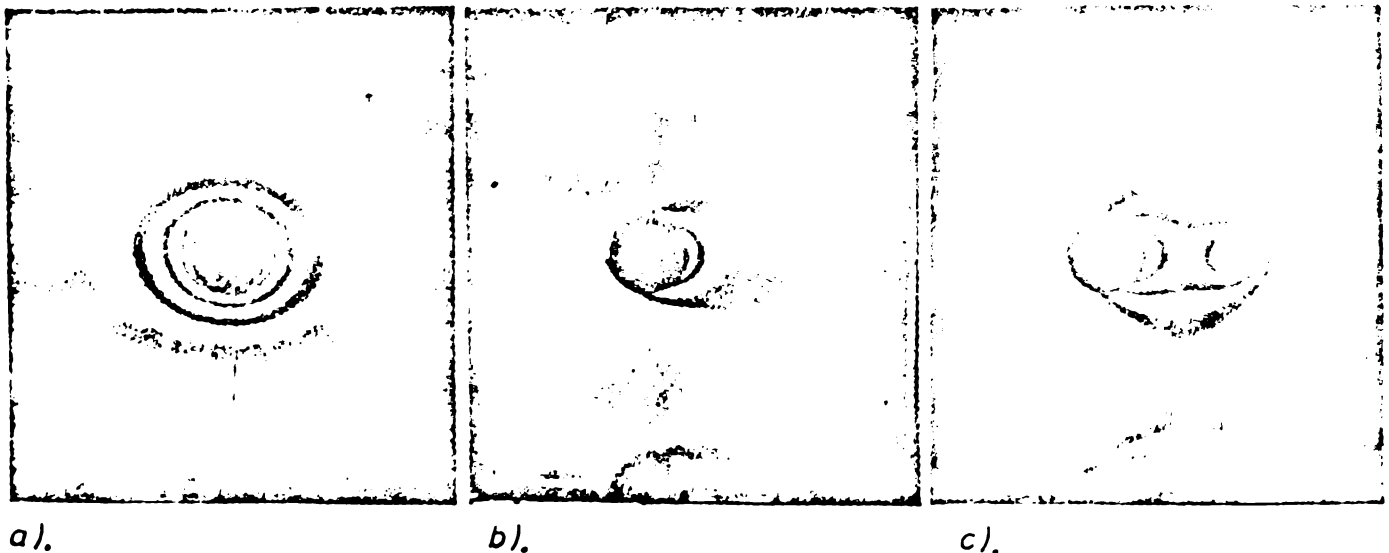


Fig.6.14.Distribuția vitezelor în câmp-izocromate

- strat acvifer cu apă stagnantă,  $v_0 = 0$ , alimentat de un bazin de infiltrare, figura 6.14.a;

- curent de apă subterană,  $v_0 > 0$ , alimentat de o linie de bazine de infiltrare, figura 6.14.b;

- curent de apă subterană,  $v_0 > 0$ , alimentat de o linie de bazine de infiltrare, din care în același timp se captează apă printr-o linie de puțuri, figura 6.14.c.

Pentru aceste cazuri, în figura 6.15 se prezintă variația vitezei de filtrare de-a lungul unei axe de simetrie, paralelă cu direcția de mișcare a curentului subteran și care trece prin centrul bazinului din mijloc.

În Anexa III și Anexa IV se prezintă dinamica izoliniilor pentru:  $10^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$ ,  $50^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $70^{\circ}$ ,  $80^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $100^{\circ}$  când  $v_0 = 0$  și  $v_0 > 0$ .

În figura 6.16.se prezintă variația vitezei de filtrație, pe conturul bazinelor circulare, pentru cele trei cazuri analizate.

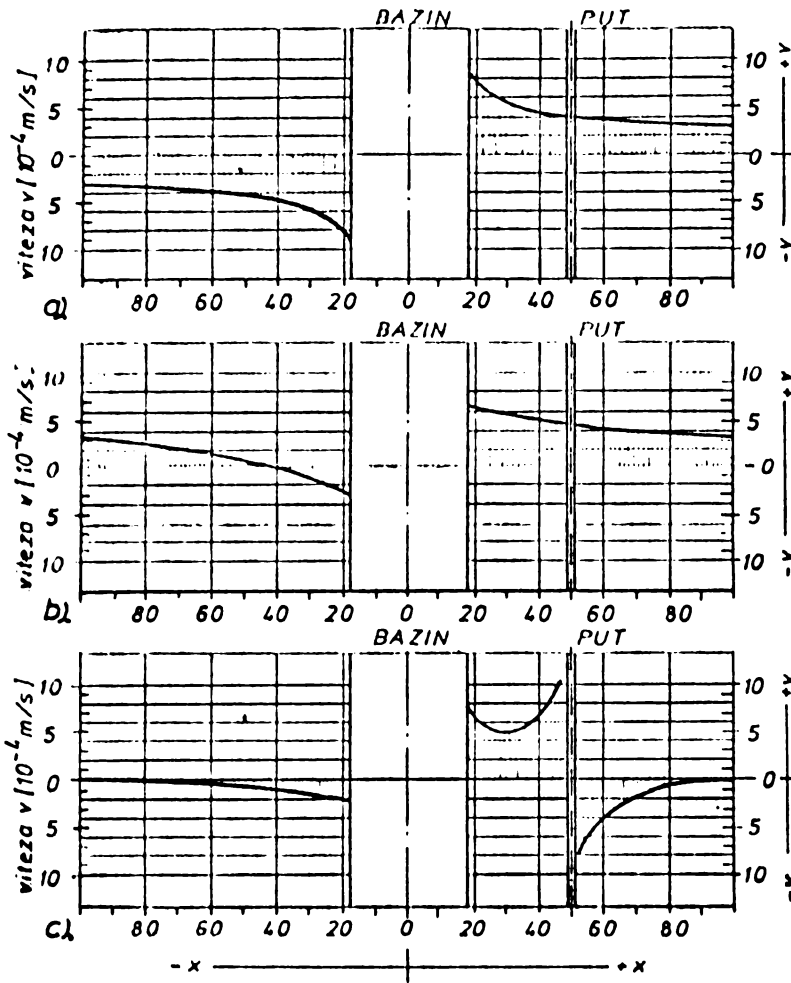


Fig.6.15. Bazine circulare - distribuția vitezei spre amonte-aval

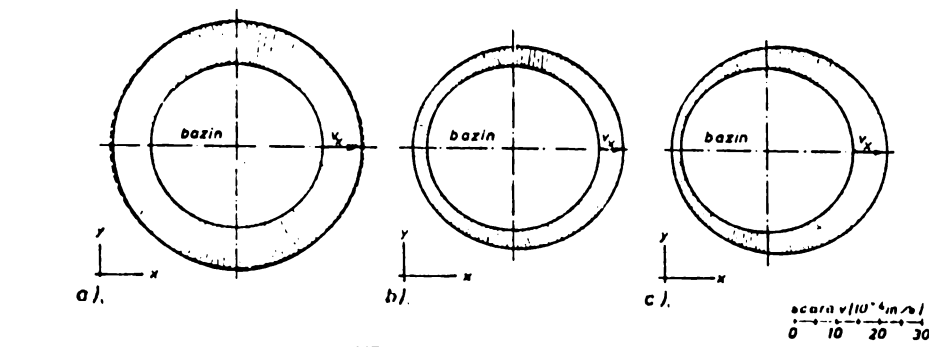


Fig.6.16. Repartiția vitezei de filtrație pe conturul bazinelor circulare

6.3.4. Mișcarea apei subterane în jurul bazinelor de alimentare de formă dreptunghiulară din straturile exploatate prin puțuri de captare, dispuse după două linii paralele, ca în figura 6.17.

Ca și în cazul de mai sus, mișcarea apei subterane a fost modelată într-o cuvă din plexiglas de  $20 \times 20 \times 2,5 \text{ cm}^3$ , în care s-a turnat soluția de lichid birefringent.

Modelarea curentului subteran inițial s-a realizat cu ajutorul a două benzi conductoare din cupru, așezate pe pereții laterali, respectiv spre amonte și aval, în comparație cu sensul curgerii. S-au amplasat: în zonă centrală linia de



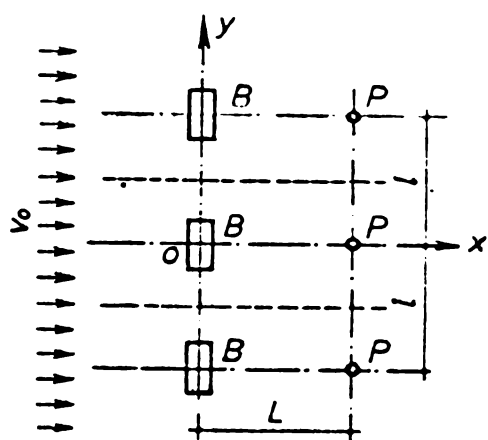


Fig. 6.17. Schemă de alimentare - captare

bazine dreptunghiulare, iar spre aval de aceasta linie de puțuri de captare, modelate din tablă de cupru.

Studiul mișcării apei subterane, îmbogățită artificial s-a efectuat în trei ipoteze:

- apă subterană stagnantă,  $v_0 = 0$ , alimentată artificial printr-o linie de bazine de formă dreptunghiulară,  $Q_i > 0$ , în timp ce puțurile de captare sînt în repaus, figura 6.18.a;

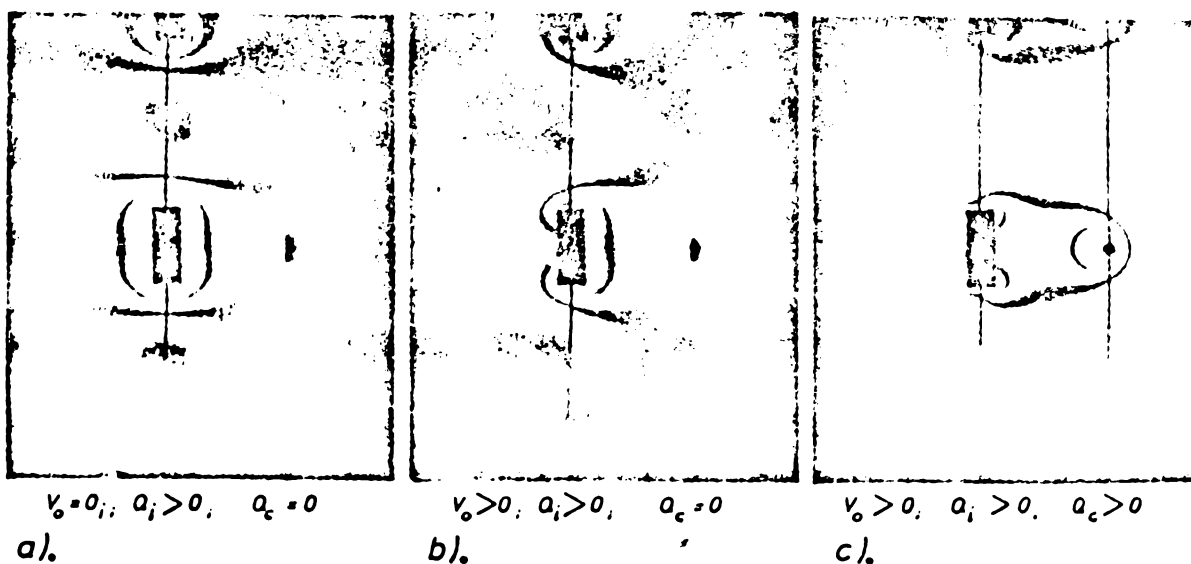


Fig. 6.18. Distribuția vitezei în câmp

- curent de apă subterană,  $v_0 > 0$ , alimentat artificial cu ajutorul bazinelor dreptunghiulare,  $Q_i > 0$  și puțurile de captare în repaus,  $Q_c = 0$ , figura 6.18.b;

- curent subteran,  $v_0 > 0$ , alimentat artificial de la o linie de bazine,  $Q_i > 0$ , și puțurile de captare aflate în funcțiune,  $Q_c > 0$ , figura 6.18.c.

Pe baza fotografiilor cu izocromate, prezentate în figura 6.18 s-a determinat distribuția vitezei de filtrație în cele trei ipoteze, de-a lungul unor axe de simetrie paralele cu direcția curentului subteran, ce trece prin centrul bazinelor din mijloc. Distribuția vitezelor, astfel obținută, se prezintă în figura 6.19.

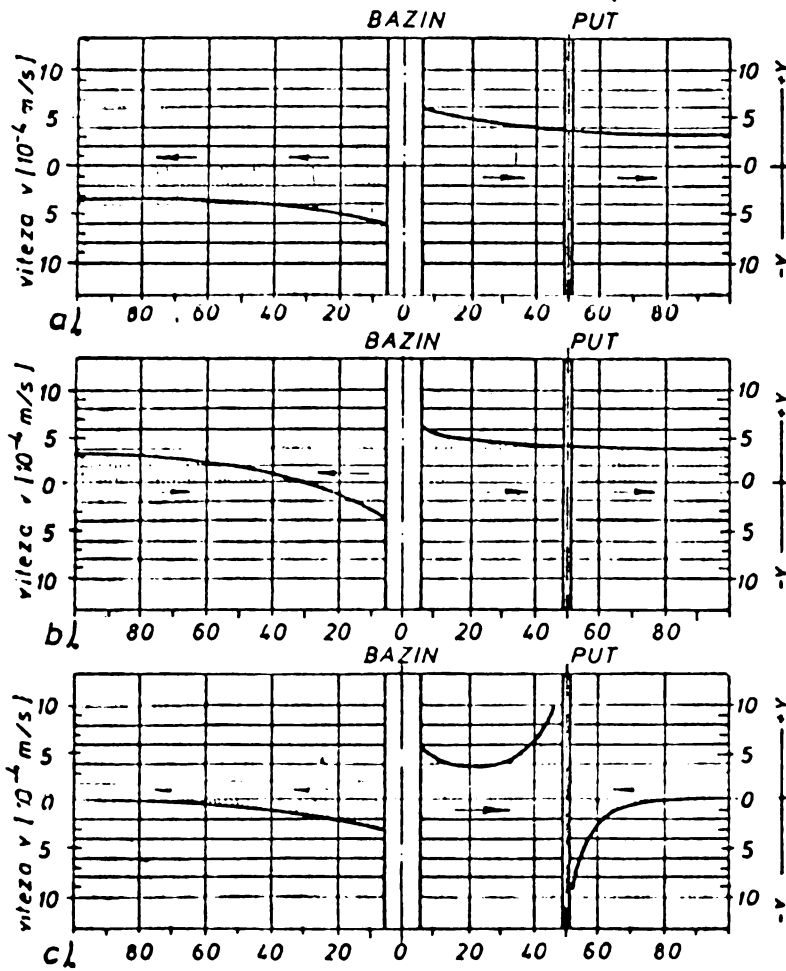


Figura 6.19.a evidențiază variația scurgerii de la bazin spre amonte și aval, în timp ce puțurile de captare sînt în repaus, iar  $v_0 = 0$ .

Figura 6.19.b evidențiază același lucru, pentru  $v_0 > 0$ , iar figura 6.19.c cînd și puțurile de captare sînt în activitate.

De asemenea, tot pe baza acestor izocromate s-a determinat distribuția vitezelor de filtrație, pe conturul bazinelor, în cele trei ipoteze.

Fig.6.19. Bazine de formă dreptunghiulară. Distribuția lui  $v$  spre amonte-aval

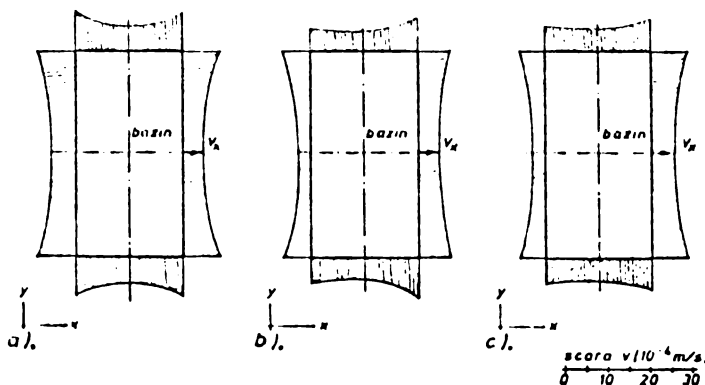


Fig.6.20. Bazine dreptunghiulare. Distribuția vitezei  $v$  pe conturul bazinului

### 6.3.5. Mișcarea apei subterane în jurul unei linii

de alimentare artificială cu ajutorul bazinelor de formă dreptunghiulară, situată între două linii de captare prin puțuri, ca în figura 6.21.

Au fost studiate trei cazuri:

- strat acvifer cu apă stagnantă  $v_0 = 0$ , alimentat artificial cu ajutorul unei linii de bazine dreptunghiulare,  $Q_i > 0$  și puțurile de

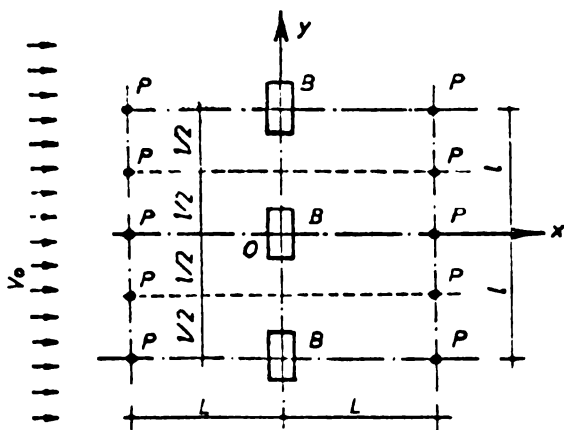


Fig.6.21. Bazine dreptunghiulare. Schemă de alimentare-captare

captare în repaus,  $Q_c = 0$ , figura 6.22.a.

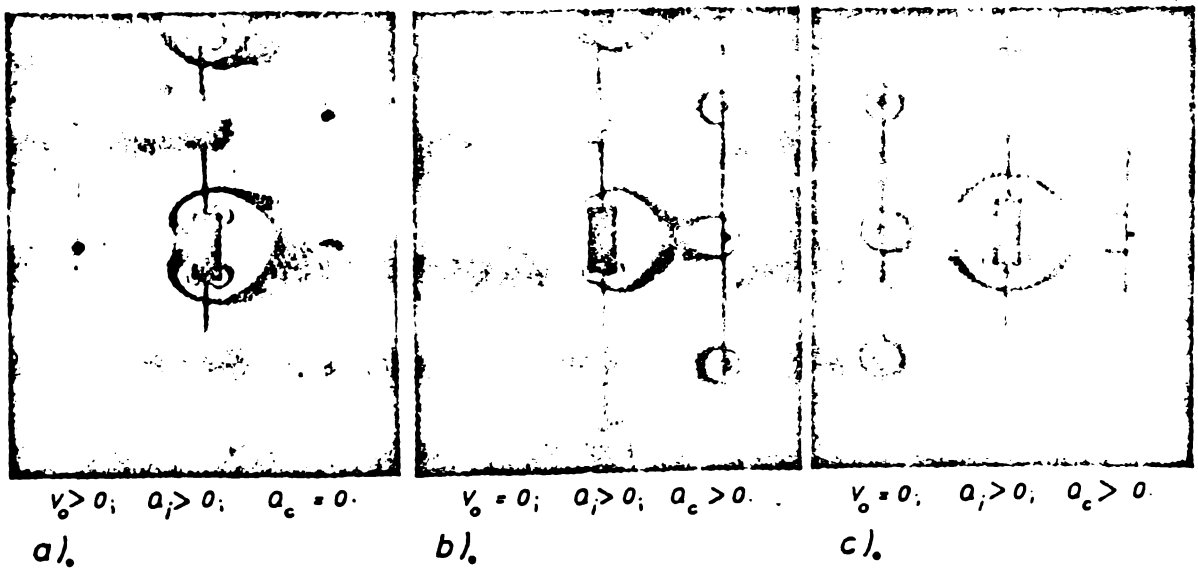


Fig.6.22. Bazine dreptunghiulare. Distribuția vitezelor  $v$  în câmpul modelat

- curent subteran,  $v_0 > 0$ , alimentat cu apă prin bazine și o linie de puțuri de captare în funcțiune  $Q_c > 0$ , figura 6.22.b;

- curent subteran alimentat artificial cu ajutorul bazinelor dreptunghiulare,  $Q_1 > 0$  și puțurile de captare dispuse pe ambele părți ale liniei de bazine aflate în funcțiune, figura 6.22.c

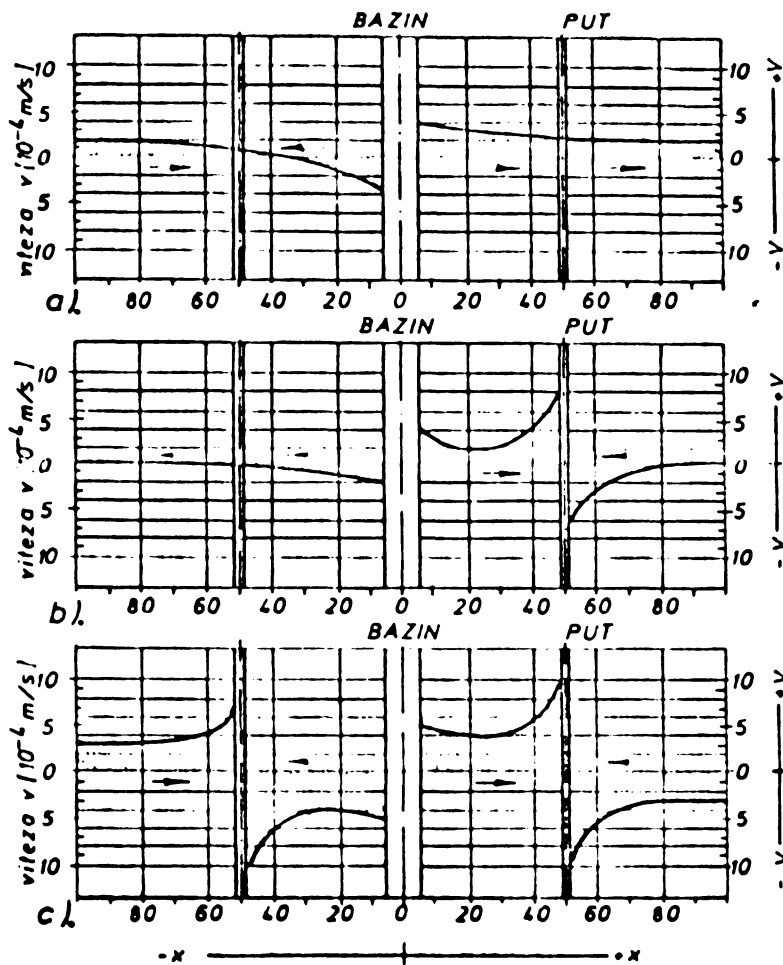


Fig.6.23. Bazine dreptunghiulare. Distribuția vitezei  $v$  spre amonte-aval

Prelucrarea curbelor înscrise din figura 6.22.a a permis determinarea distribuției vitezei de filtrare, după o direcție ce trece prin axul  $X X$  al bazinului central, paralelă cu direcția curentului subteran, ca în figura 6.23. De asemenea a permis determinarea variației vitezei de filtrație pe conturul bazinului, în

cele trei ipoteze inițiale, ca în figura 6.24. În Anexa V se prezintă dinamica izoliniilor pentru ipoteza trei.

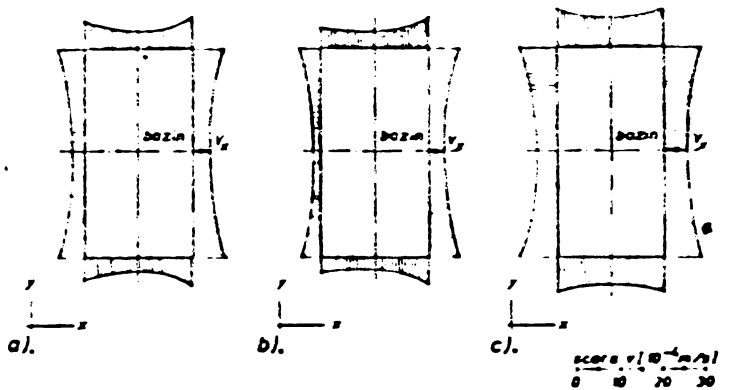


Fig. 6.24. Bazine dreptunghiulare. Variația vitezei  $v$  pe contur

#### 6.4. Studiul scurgerii plan-verticale cu ajutorul analogiei electrooptice

În paragraful 6.3 s-a modelat mișcarea plan-orizontală, reprezentând fenomenul de filtrare, fenomen dominant în cazul straturilor acvifere de grosime mică și situate în apropiere de suprafața terenului.

Dacă însă un asemenea strat se găsește la adâncime ceva mai mare fenomenul de infiltrație-percolare capătă amploare, putând deveni chiar dominant. La canale lungi pierderile de apă prin infiltrație-percolare conduc la mișcări plan-verticale. Același lucru poate fi întâlnit și la bazinele de infiltrație, în anumite zone și în plane verticale ce conțin axe de simetrie ale domeniului modelat.

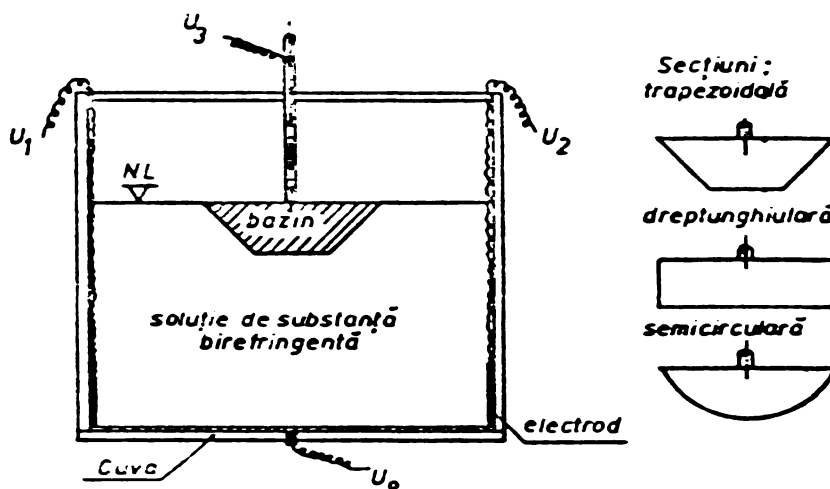


Fig. 6.25. Modelarea mișcării plan-verticale

Studiul mișcării apei de infiltrație-percolare în zonele în care mișcarea poate fi asimilată cu o mișcare plan-vertică s-a făcut într-o cuvă din plexiglas de

20 x 20 x 2,5 cm<sup>3</sup>, în care pot fi modelate secțiuni verticale de formă trapezoidală, dreptunghiulară, semicirculară și altele

ca în figura 6.25. Prin schimbarea tipului de secțiune și a poziției electrozilor se pot obține o serie de variante.

6.4.1. Bazine-canale cu secțiune transversală trapezoidală. Astfel s-a studiat fenomenul de infiltrare-percolare în cazul canalelor și bazinelor de alimentare avînd o secțiune transversală verticală de formă trapezoidală, figura 6.26.

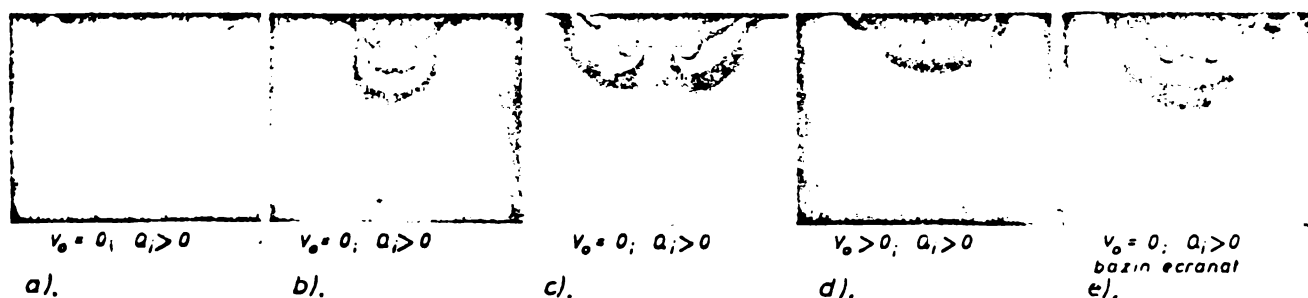


Fig.6.26. Secțiuni trapezoidale. Studiul fenomenului de infiltrare-percolare

Au fost studiate cinci cazuri de infiltrare, prin: a) taluze și fundul bazinului; b) numai prin fundul bazinului; c) numai prin taluze; d) taluze și fundul bazinului sub curent de apă subterană; e) taluzele și fundul bazinului ecranate, figura 6.26.

6.4.2. Bazine-canale cu secțiune transversală semicirculară. În cazul secțiunilor transversale semicirculare s-au studiat cîte două variante de intensitate a procesului de infiltrare-percolare,  $v_{i1} < v_{i2}$ , prezentate în figura 6.27.

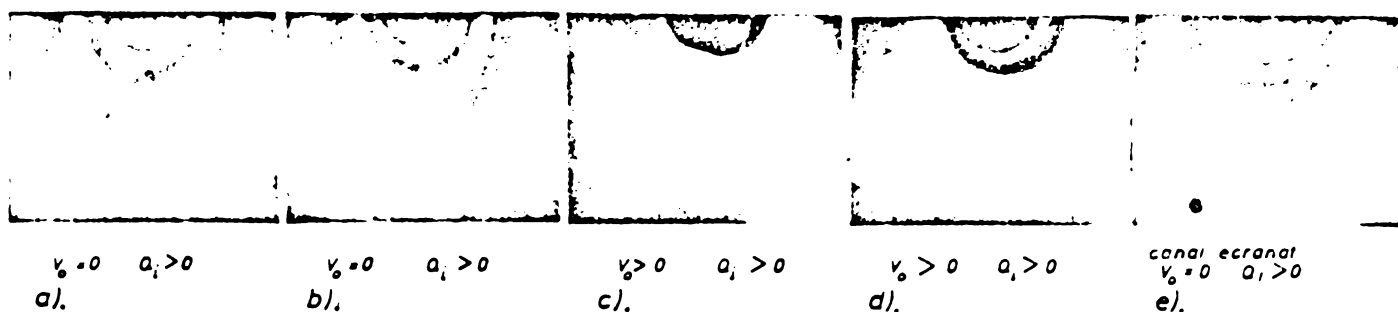


Fig.6.27. Secțiuni semicirculare. Studiul fenomenului de infiltrare-percolare

6.4.3. Bazine-canale cu secțiune transversală dreptunghiulară.

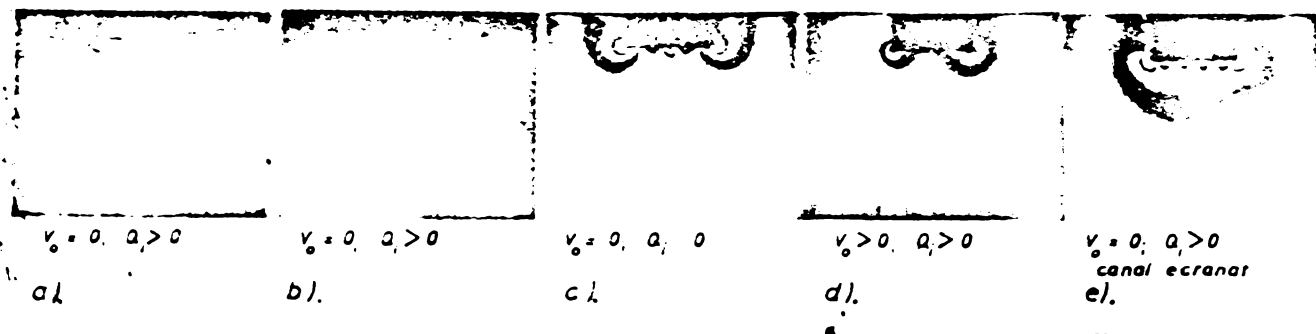


Fig. 6.28. Secțiuni dreptunghiulare. Studiul fenomenului de infiltrare-percolare

6.4.4. Dinamica vitezei de percolare plan-verticală.

În figura 6.29. se prezintă dinamica fenomenului de infiltrare-percolare în cazul secțiunilor dreptunghiulare, prin: a) taluze și fundul canalului; b) numai prin fundul canalului; c) numai prin taluze; d) taluze și fundul canalului sub curent subteran; e) canal ecranat.

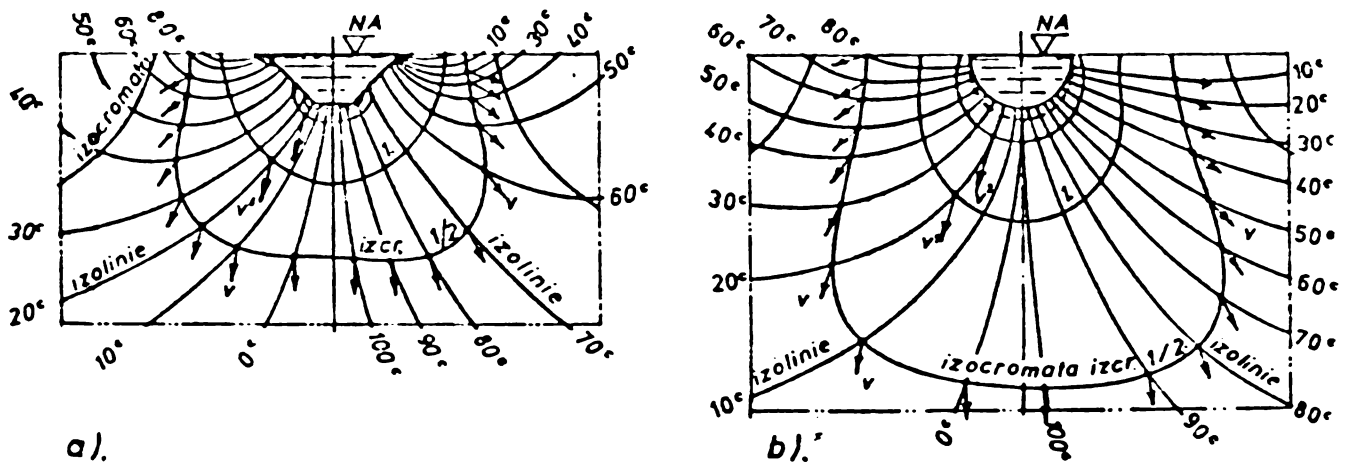


Fig. 6.29. Dinamica vitezei de percolare,  $v$  și  $\vec{v}$

Din ultima figură prezentată, fig. 6.29, rezultă dinamica vitezei de percolare, în mărime, direcție și sens, pentru canalele sau bazinele cu secțiune transversală verticală de formă trapezoidală și semicirculară.

La construcția izocromatelor s-au folosit fotografiile prezentate în figurile 6.26 și 6.27, iar la construcția izoliniilor Anexa VI și Anexa VII.

6.5. Concluzii

Metoda analogiei electrooptice, propusă, poate fi utilizată cu succes la studiul mișcării apelor subterane, Față

de alte metode de laborator cunoscute, prezintă avantajul unei modelări ușoare, oferirea instantanee a informațiilor asupra întregului câmp modelat, utilizarea unei aparaturi simple, precizie satisfăcătoare. Permite vizualizarea procesului modelat.

Metoda analogiei electrooptice, testată pe câteva cazuri simple în care se cunosc procedee analitice de calcul, poate fi aplicată la modelarea unui proces complex de scurgere plană, în care calculele analitice ar fi extrem de dificile.

## C a p i t o l u l 7

### C O N C L U Z I I

#### 7.1. Probleme generale privind alimentarea tehnică a straturilor acvifere

Apele subterane au, obișnuit, calități superioare față de apele din surse de suprafață. Ele prezintă, în plus, și o mai bună stabilitate în timp a acestor calități. Din aceste motive apele subterane sînt exploatate, cu prioritate, pentru satisfacerea nevoilor de apă potabilă.

Tendința unor specialiști de a utiliza mai mult rezervele de apă de suprafață decît cele de apă subterană se datorează, în primul rînd, cunoașterii insuficiente a rezervelor de apă subterană, a regimului lor de scurgere, a condițiilor naturale de refacere a acestor rezerve, dificultăților întîlnite în cercetarea lor.

Tot datorită cunoașterii insuficiente a caracteristicilor hidrogeologice a straturilor de apă subterană, în condițiile creșterii continue a nevoilor de apă, s-au produs o serie de supraexploatări a straturilor acvifere în diferite zone de pe glob. Se semnalează cazuri de coborîre a nivelului hidrostatic inițial datorită supraexploatării cu 50 m și chiar cu 100 m [24], [111].

Supraexploatarea straturilor acvifere conduce, pe de o parte, la scăderea rezervelor de apă subterană, iar pe de altă parte provoacă o serie de schimbări calitative ale apei: imposibilitatea refacerii naturale a rezervelor de apă, posibilitatea intruziunii apelor sărate de mare în masivele poroase de zăcămint pentru apa dulce, intruziuni ale apei poluate din râuri în straturile acvifere exploatate, formarea unor punți izolate de apă subterană, scoaterea din funcțiune a instalațiilor de captare.

Urmare acestei situații a apărut necesitatea găsirii unor soluții tehnice de alimentare a straturilor acvifere cu apă de suprafață, care să asigure atît refacerea rezervelor naturale de apă, cît și mărirea debitelor exploatabile.

În prezent se cunosc diferite procedee tehnice de



alimentare a straturilor acvifere cu apă de suprafață, care utilizează fie dispozitive de alimentare profundă (puțuri de injecție), fie dispozitive de alimentare de la suprafață (ganțuri, drenuri, fose de infiltrare, bazine de infiltrare).

Amenajările existente de alimentare tehnică a straturilor acvifere, urmăresc diferite scopuri:

- refacerea straturilor acvifere pentru menținerea capacității instalațiilor de captare existente (exemplu: [8], [21], [24], [102], [111]);
- îmbogățirea artificială a straturilor acvifere în vederea măririi debitelor captabile (exemplu: [8], [69], [70], [122], [135], [152], [153]);
- stocarea unor cantități de apă în sol pentru îmbunătățirea bilanțului anual, în ce privește regimul precipitațiilor și al cererilor de consum, precum și combaterea inundațiilor (exemplu: [160], [176]);
- refacerea nivelului piezometric inițial, perturbat de prezența unor canale adânci ale amenajărilor UME (exemplu: [21], [74], [129]);
- crearea unui dom hidraulic pentru împiedicarea intruziunii apelor sărate din zona de coastă (exemplu: [1], [2], [12], [85], [151], [181]) sau a apelor poluate din râuri în straturile acvifere exploatate (exemplu: [8], [113]);
- ameliorarea temperaturii rezervelor de apă de suprafață exploatate (exemplu: [12], [21]);
- crearea unui stoc de apă în sol pentru îmbunătățirea bilanțului multianual de apă, sau pentru acoperirea consumurilor de vîrf (exemplu: [111], [94]);
- îmbunătățirea randamentului amenajărilor de gospodărire a apelor prin reinjectarea afluenților urbani (exemplu: [21], [25], [26]);
- stocarea și transportul apelor la distanțe mari, concomitent cu îmbunătățirea calității lor [148];
- crearea unui strat acvifer nou exploatabil prin infiltrarea apei de suprafață într-un mediu permeabil adecvat [21].

## 7.2. Necesitatea practică a aprofundării temei

Metodele utilizate, pînă în prezent, pentru alimentarea tehnică a straturilor acvifere, au permis rezolvarea unor

probleme concrete de alimentare cu apă potabilă, industrială, de gospodărire a apei, cîştigînd un loc permanent în preocupările specialiștilor care se ocupă de gospodărirea complexă a apelor. Literatura de specialitate face însă foarte puține referiri la experiența acumulată în acest domeniu. Explicația constă în faptul că s-au făcut puține studii sistematice, iar specialiștii din exploatare sînt preocupați în primul rînd de problemele de producție. Există apropieri de păreri referitoare la unele măsuri constructive și de exploatare, însă se cunosc prea puține recomandări cu privire la calculele hidraulice și de eficiență.

La noi în țară, problema amenajărilor pentru alimentarea tehnică a straturilor acvifere este foarte puțin cunoscută. Cu mici excepții, ea este doar amintită ca o posibilitate de îmbogățire artificială a straturilor acvifere.

Față de această situație, prin lucrarea de față, se urmăresc trei obiective principale:

- popularizarea tehnicilor și posibilităților actuale de alimentare a straturilor acvifere, în vederea îmbunătățirii indicatorilor cantitativi și calitativi ai apei subterane exploatabile;
- prezentarea sistematică a obiectivelor realizabile prin amenajările de alimentare tehnică a straturilor acvifere;
- prezentarea sistematică a amenajărilor și tehnologiilor utilizate în prezent, condițiilor hidrogeologice necesare aplicării acestor tehnologii, avantaje, dezavantaje;
- formularea unor recomandări cu privire la aspectele constructive, de exploatare și de calcul hidraulic al amenajărilor de alimentare tehnică a straturilor acvifere.

### 7.3. Importanța cunoașterii caracteristicilor hidrogeologice ale straturilor acvifere alimentate tehnic cu apă de suprafață

Studiul mișcării apei subterane necesită cunoașterea formelor de existență a apei în pămînt, cercetarea caracteristicilor fizice și chimice ale mediului granular, analizarea interacțiunii dintre apă și mediul permeabil. El constituie baza unei analize temeinice a metodelor și procedeelelor indicate de alimentare tehnică a straturilor acvifere.

Apă în pământ se găsește sub diferite forme, însă din punct de vedere practic prezintă interes numai apa liberă, deoarece printr-o mișcare de infiltrare, percolare și de filtrare formează, împreună cu mediul permeabil traversat, straturi acvifere exploatabile.

Existența instalațiilor de captare a straturilor acvifere, cu care se tinde să se scoată tot mai multă apă, ca și încercările de refacere a rezervelor de apă subterană cu ajutorul amenajărilor de alimentare tehnică pot provoca perturbații considerabile asupra mișcării naturale a apei subterane, a echilibrului hidrodinamic natural apă - mediu granular.

Cu alte cuvinte, din dorința de a stimula factorii favorabili îmbunătățirii mișcării apei subterane, alimentată tehnic cu apă de la suprafață, condiție de bază pentru realizarea unor ameliorări cantitative și calitative, pot apare și efecte nedorite. Pentru evitarea efectelor negative se impune cunoașterea temeinică a caracteristicilor hidrogeologice a straturilor acvifere exploatare, programate a fi alimentate tehnic.

Complexul alcătuit din scheletul solid al unui mediu granular și apa liberă ce umple porii și spațiile libere ale acestuia, constituie baza formării straturilor acvifere. Rezervele de apă necesară formării straturilor acvifere constau din: ape din precipitații directe, ape din șiroire, ape infiltrate prin malurile râurilor, lacurilor, ape de la amenajări de alimentare tehnică, care se mișcă în sol printr-un proces de infiltrare, percolare, filtrare.

Dacă însă straturile acvifere, astfel formate, sînt supraexploatare sau se încearcă ameliorări cantitative și calitative intensive pot apare o serie de fenomene negative, cum ar fi: colmatarea, sau invers sufoziunea, eroziunea și chiar ruperea hidrolică a scheletului granulelor. Acestea pot fi evitate, iar randamentul instalațiilor de alimentare tehnică, captare, poate fi îmbunătățit numai dacă se cunosc suficient de bine caracteristicile fizice principale ale mediului granular, interacțiunea dintre mediu și apă.

Caracteristicile fizice principale ale mediilor granulare, caracteristicile hidrolice ale straturilor acvifere, interacțiunea dintre scheletul solid și apă, au fost prezentate pe larg în Capitolul 3.

#### 7.4. Principii de alcătuire și de exploatare a amenajărilor de alimentare a straturilor acvifere

Amenajările de alimentare tehnică a straturilor acvifere constituie o încercare reușită de regularizare a debitului apelor subterano, cu scopul satisfacerii unor folosințe ce reclamă apă de cea mai bună calitate. Ele s-au dovedit eficiente remarcându-se ca măsuri de cea mai mare însemnătate economică și socială în condițiile dezvoltării industriale fără precedent, exploziei demografice, existenței unor rezerve naturale de ape de suprafață poluate.

În general, printr-o amenajare de alimentare a unui strat acvifer se înțelege un complex de lucrări care asigură introducerea apei de suprafață în sol, cu scopul folosirii ei ulterioare, împreună cu apa subterană, ameliorată cantitativ și calitativ. Acest lucru presupune, în esență, stimularea unui transfer intens de apă dintr-o sursă de suprafață într-un strat acvifer.

Din cercetările efectuate pînă în prezent s-a ajuns la unele concluzii privind ameliorarea parametrilor calitativi. Astfel pentru asigurarea potabilității apei [116]:

- apa infiltrată în sol trebuie să circule prin strat timp de cîteva luni;
- lungimea minimă a drumului parcurs să fie de 50m;
- viteza aparentă de filtrare să fie în jur de 1 - 2 m/zi.

Pentru asigurarea ameliorărilor cantitative trebuie să fie satisfăcută relația (3.2):

$$Q_{e.\max} \ll Q_n + Q_i - Q_r,$$

unde:  $Q_{e.\max}$  reprezintă debitul de exploatare maxim,  $Q_n$  debitul natural al apei subterane,  $Q_i$  debitul de apă de alimentare tehnică,  $Q_r$  debitul de apă neantrenabilă de către dispozitivele de captare.

##### 7.4.1. Condițiile hidrogeologice necesare amenajărilor de alimentare tehnică a straturilor acvifere

Din tendința de a introduce în sol cantități sporite de apă, ceea ce ar presupune mărirea randamentului amenajărilor de alimentare a straturilor acvifere, cu privire la

indicatorii cantitativi, apar viteze mari de transfer care favorizează fenomenele de sufoziune, eroziune, ruperi hidraulice sau colmatări.

În practică, trebuie să se evite asemenea fenomene, deoarece pot reduce considerabil durata de funcționare a instalațiilor sau scoaterea lor totală din funcțiune.

Formularea strictă a condițiilor hidrogeologice favorabile amenajărilor de alimentare tehnică și în același timp a condițiilor de exploatare a acestora pentru prelungirea funcționării lor în timp este dificilă. Se poate spune totuși că din punct de vedere al condițiilor hidrogeologice funcționarea normală a amenajărilor de alimentare tehnică este asigurată dacă:

- nivelul hidrostatic inițial al apei subterane se găsește la adâncime, însă nu prea mare;

- permeabilitatea straturilor de acoperiș este corespunzătoare;

- se poate asigura o suprapresiune suficient de mare, care să permită infiltrarea apei în strat;

- stratul acvifer alimentat tehnic are o transmisivitate ridicată, care să asigure transportul apei subterane proprii plus apa de alimentare;

- grosimea eventualelor straturi impermeabile acoperitoare este redusă;

- stratul prezintă un potențial de acumulare disponibil ridicat.

#### 7.4.2. Metode utilizate în amenajările de alimentare tehnică a straturilor acvifere. Alcătuirea amenajărilor cu bazine de infiltrare

Amenajările de alimentare tehnică a straturilor acvifere cuprind un ansamblu de construcții și instalații care asigură captarea apei de suprafață, tratarea ei și introducerea apei în mediul granular. Transferul apei de suprafață în stratul acvifer se face cu ajutorul unor dispozitive active de infiltrare. Alegerea dispozitivului potrivit de infiltrare se face în funcție de caracteristicile hidrogeologice ale straturilor acvifere, precum și a mediilor granulare acoperitoare. Un rol deosebit în acest sens are poziția nivelului

hidrostatic al apei subterane, grosimea stratului acvifer, existența straturilor impermeabile acoperitoare. Practic, se utilizează:

- metode de infiltrare de la suprafața terenului;
- metode de infiltrare subterană.

Metodele de infiltrare de la suprafață au drept dispozitive active de infiltrare: bazinele de infiltrare, fosele de infiltrare, canale de infiltrare, șanțuri, aspersoare.

Metodele de infiltrare subterană utilizează puțurile de infiltrare, care străpung straturile acoperitoare, cât și stratul acvifer alimentat.

Amenajările de alimentare tehnică a straturilor acvifere, cu ajutorul bazinelor de infiltrare se compun din:

- construcții de captare a apei din sursa de suprafață;
- stație de tratare preliminară a apei;
- stație de pompare;
- aducțiuni cu nivel liber sau sub presiune pentru transportul apei;
- bazine de infiltrare.

Cu privire la bazinele de infiltrare sînt încă din discuție asupra:

- formei și dimensiunilor bazinelor;
- rolul taluzelor și fundului bazinelor în asigurarea debitului infiltrat;
- necesitatea căptușirii taluzelor cu material filtrant sau impermeabil;
- procedeul de curățire a materialului filtrant;
- influența distanței între fundul bazinului și nivelul hidrostatic inițial;
- grosimea apei din bazin;
- modul de alimentare a bazinelor: concentrat, distribuit, cu apă aerată sau neaerată;
- randamentul de infiltrare cînd apa din bazin stagnează sau curge;
- rolul zonei nesaturate.

În paragraful 3.3.1. se face o analiză profundă asupra experienței cîștigate cu privire la influența elementelor geometrice și hidraulice ale bazinelor de infiltrare, asupra

parametrilor cantitativi și calitativi ai apei.

În paragraful 3.3.2. se prezintă o serie de aspecte cu privire la exploatarea bazinelor de infiltrație, vizînd creșterea rîndamentului de infiltrație, mărimea duratei de funcționare, măsuri de împiedicare a procesului de colmatare a bazinelor.

#### 7.5. Metode utilizate la dimensionarea bazinelor de infiltrație

Cu toate că bazinele de infiltrație sînt folosite foarte mult, pînă în prezent, nu se cunosc metode exacte de calcul hidraulic. Explicația constă în faptul că apa infiltrată trece printr-un proces foarte complex de infiltrație, percolare, filtrație; are loc o mișcare spațială ce ascultă de legi diferite de la o fază la alta.

În practică, forma și dimensiunile bazinelor se aleg constructiv, iar debitul de apă infiltrată se măsoară. La proiectare debitul se determină estimativ.

Literatura de specialitate, în cele mai multe cazuri, recomandă folosirea unor relații cunoscute de la fenomene similare [21], [88], [100], [109], [110], [112], [130], [142],

163 etc. Principalele fenomene similare tratate în literatura și recomandate, în acest scop, sînt:

- exfiltrarea apei din canale;
- infiltrația apei prin malurile rîurilor și lacurilor spre puțuri sau drenuri de captare;
- mișcarea apei către drenuri de lungime finită;
- mișcarea apei de irigație către straturi acvifere etc.

Se cunosc foarte puține cazuri de studiere cuprînd a fenomenelor de scurgere prin medii poroase, provocate de alimentarea tehnică a straturilor acvifere sau de studierea unor fenomene foarte apropiate [14], [57], [58], [59], [101], [141] etc.

În capitolul 4 se prezintă principalele metode utilizate în prezent pentru dimensionarea hidraulică a bazinelor de infiltrație.

### 7.6. Contribuții cu privire la studiul teoretic al mișcării apei în vecinătatea bazinelor de infiltrație

O parte din preocupările autorului prezentei lucrări cu privire la studiul mișcării apei de alimentare a straturilor acvifere cu ajutorul bazinelor de infiltrație, au fost publicate în Bulotinel științific din Institutul politehnic Cluj-Napoca, în reviste de specialitate sau comunicate în sesiuni științifice [49], [121], [123], [124], [125], [126], [127], [128], [127]; conținutul lor este prezentat sintetic în Capitolul 4.

Altă parte din preocupări, de asemenea parțial, sînt prezentate ca o noutate în Capitolul 5:

- studiul filtrației în vecinătatea bazinelor de infiltrație cu ajutorul transformărilor conforme Schwarz-Christoffel [124];

- studiul filtrației în vecinătatea bazinelor de infiltrație, cu ajutorul funcțiilor spline complexe [49].

#### 7.6.1. Studiul filtrației cu ajutorul transformărilor conforme [124]

Metodele obișnuite, utilizate în studiul mișcărilor potențiale, au un câmp limitat de aplicare, mai ales în ce privește fenomenele de scurgere a lichidelor. Dacă însă trebuie să se cerceteze fenomene mai complexe de scurgere așa cum este cazul mișcărilor potențiale plane de filtrarea apei prin medii permeabile se utilizează, în multe cazuri, metoda transformărilor conforme.

În esență, studiul mișcărilor potențiale cu ajutorul transformărilor conforme presupune considerarea unei mișcări din planul complex  $Z$  cunoscută, care printr-o transformare conformă să reprezinte fidel mișcarea din natură, ce are loc în planul fizic  $W$ . Se pune, deci, problema alegerii mișcării cunoscute din planul  $Z$  și a funcției de transformare conformă, care să permită determinarea potențialului complex al mișcării din planul fizic  $W$ .

Această problemă a fost rezolvată în Capitolul 5 paragraful 5.1 pentru cazul filtrării apei în vecinătatea bazinelor de infiltrație alimentate tehnic cu apă din surse de suprafață..



În acest scop s-au utilizat proprietățile integralei lui Cauchy, cu privire la valoarea unei funcții de variabilă complexă  $f(z)$  în interiorul unui domeniu  $D$  simplu sau dublu conex și pe conturul exterior al acestuia  $C$ , respectiv interior  $C_1$ . De asemenea s-a utilizat teorema lui Volterra, cu privire la determinarea unei funcții de variabilă complexă atunci când se cunoaște fie partea reală, fie coeficientul părții imaginare a acesteia, de-a lungul axei reale a planului complex  $Z$ .

Funcția  $f(z)$  din planul  $Z$ , determinată pe baza proprietăților integralei lui Cauchy și a teoremei lui Volterra este apoi transformată conform cu ajutorul relației de transformare Schwarz-Christoffel.

Concret, s-a considerat un plan complex  $Z$ , cu  $z = x + iy$ , al cărui semiplan superior  $\text{Im } z > 0$  urmează să se transforme conform în semiplanul superior  $\text{Im } w > 0$ , așa fel ca axa reală  $z = x$  să se transforme în conturul bazinului de infiltrație din planul fizic  $W$ . Pentru aceasta s-au ales pe axa reală  $z = x$  opt puncte  $x = \pm 1, x = \pm k, x = \pm m, x = \pm n$ , urmînd ca punctele  $\pm 1$  și  $\pm k$  să se transforme în vîrfurile unui dreptunghi ce reprezintă bazinul de infiltrație, iar punctele  $\pm m$  și  $\pm n$  localizează poziția bazinului în planul fizic.

Determinarea punctelor  $\pm k, \pm m, \pm n$  s-a făcut cu ajutorul relațiilor de transformare Schwarz-Christoffel pe considerente geometrice (5.21), (5.22), ..., (5.29).

Dacă se dă funcției  $f(z)$  sens fizic, valoarea părții reale a acesteia, reprezentînd potențialul de viteze în planul  $Z$ , este cunoscută în cele opt puncte,  $\pm 1, \pm k, \pm m, \pm n$ , precum și variația ei de-a lungul întregii axe reale  $z = \pm x$ . Conform teoremei lui Volterra funcția  $f(z)$  este astfel determinată.

În planul  $Z$ , pentru  $\text{Re} \{f(z)\} = \text{constant}$ , se obține o familie de curbe reprezentînd liniile echipotențiale, iar pentru  $\text{Im} \{f(z)\} = \text{constant}$ , se obține familia liniilor de curent.

Pentru rezolvarea completă a problemei se transformă conform din planul  $Z$  în planul  $W$ , punct cu punct, familia curbelor echipotențiale și separat familia liniilor de curent.



Această operație presupune efectuarea unor integrale eliptice; dificultate depășită în lucrare cu ajutorul dezvoltărilor în serie de puteri, din care s-au reținut numai primii doi termeni (5.41),...(5.46).

Volumul mare de operații necesitat de aplicarea metodei propuse a fost efectuat cu ajutorul calculatorului PDLIX C-256. Schema logică și rezultatele obținute se prezintă în anexa.

#### 7.6.2. Studiul filtrației cu ajutorul funcțiilor spline complexe [49]

Funcțiile spline, deși cunoscute de multă vreme, au cunoscut o dezvoltare mai deosebită doar în ultimele două decenii. Ele constituie un obiect relativ nou al analizei matematice, cu aplicare în diferitele compartimente ale analizei numerice.

Funcțiile spline / "spline" / se bucură de o serie de proprietăți de bază remarcabile, care le permit o utilizare largă în: procese de interpolare, aproximare optimală a unor funcționale lineare, rezolvarea numerică a unor clase de ecuații diferențiale și integrale, aproximarea unor funcții cunoscute într-un număr de puncte etc.

Folosind proprietățile de bază ale funcțiilor spline complexe, în lucrare, se propune o metodă de determinare a potențialului complex al mișcării potențiale de filtrare a apei printr-un strat acvifer alimentat tehnic cu ajutorul bazinelor de infiltrație.

Practic, se pleacă de la constatarea că oglinda apei dintr-un bazin de infiltrație formează, în procesul de infiltrație, o suprafață echipotențială, iar conturul acestuia o linie echipotențială. Se pune deci problema să se aproximeze potențialul complex al mișcării de filtrare a apei printr-un strat acvifer, atunci când se cunoaște o linie echipotențială; linia ce reprezintă valoarea maximă a potențialului de viteze.

Rezolvarea acestei probleme presupune:

- determinarea unei funcții aproximante a unei curbe închise, care să se suprapună cât mai bine peste linia de valoare maximă a potențialului de viteze;

- determinarea potențialului complex aproximant al mișcării de filtrare prin stratul acvifer;
- înzestrarea cu proprietăți de câmp a potențialului complex aproximant al mișcării de filtrare în jurul bazinului de infiltrare, delimitat de un contur poligonal oarecare.

Deoarece aproximarea este cu atât mai bună cu cât se utilizează un număr mai mare de puncte cunoscute, rezolvarea practică a acestei probleme necesită folosirea calculatorului electronic. În Capitolul 5, paragraful 5.2 se prezintă metoda propusă de studiere a fenomenului de filtrație prin straturile acvifere alimentate cu apă din surse de suprafață cu ajutorul bazinilor de infiltrare, atât sub aspect teoretic cât și practic.

7.7. Contribuții cu privire la studiul experimental al mișcării apei subterane în vecinătatea bazinilor de infiltrare cu ajutorul analogiei electrooptice [121], [126], [127], [128], [137]

Studiul experimental al mișcării apelor subterane se poate face printr-o serie de metode, în funcție de posibilități, de gradul de precizie impus, de necesitățile practice: în laborator, în situ.

Metodele cunoscute de modelare în laborator a fenomenelor de filtrație se bazează pe analogia între fenomenul curgerii apei prin medii permeabile și scurgerea curentului electric prin medii conductoare.

Față de aceste metode care presupun măsurarea, punct cu punct, a unor mărimi electrice, în Capitolul 5 al lucrării, se prezintă o metodă nouă bazată pe analogia electrooptică și fenomenul scurgerii apei prin medii poroase. Cu alte cuvinte, se folosește aceeași analogie electrohidrodinamică utilizată în metodele cunoscute cu deosebire că mărimile electrice se vizualizează instantaneu electrooptic și se fotografiază. Aceasta prezintă avantajul unei modelări ușoare a fenomenului, în condițiile unei precizii comparabile cu celelalte metode și a obținerii informației instantanee asupra întregului câmp modelat.

### 7.7.1. Aparatura necesară modelării electrooptice

Metoda experimentală a analogiei electrooptice propusă, se bazează pe proprietatea unei soluții de colorant organic, cunoscut sub numele de Mulling Yellow N.G.S., de a prezenta birefringență atunci când este supusă unui câmp electric. Această proprietate permite vizualizarea zonelor de egal gradient de tensiune electrică, precum și a zonelor de orientare dată a vectorilor ce definesc procesul scurgerii curentului electric printr-un câmp electric, în care câmpul este realizat din însăși soluția de colorant electrosensibil, birefringent.

Aparatura folosită este utilizată curent în laboratoarele de fotoclasticimetrie, constând din:

- o sursă de lumină monocromatică, alcătuită dintr-o lampă cu vapori de sodiu;
- o lentilă convergentă, care asigură formarea unui fascicul de raze paralele ale luminii monocromatice;
- două filtre alcătuite din cristale microscopice birefringente, înglobate într-o masă plastică, primul polarizor, iar al doilea analizor;
- o cuvă din plexiglas transparent, în care se modelează fenomenul de studiat, umplută cu soluție din lichidul de colorant organic cu proprietăți de birefringență ce se supune unui câmp electric;
- un aparat de fotografiat.

### 7.2.2. Fenomene hidraulice cercetate

Din punct de vedere matematic analogia electrohidrodinamică vizualizată electrooptic are la bază legile fundamentale ale scurgerii apei prin medii poroase și de scurgere ale curentului electric prin medii conductoare, respectiv: legea lui Darcy și legea lui Ohm (6.1), (6.15).

În virtutea acestor legi, orice fenomen de scurgerea apei prin medii poroase în care este valabilă legea lui Darcy poate fi modelat electric. De asemenea câmpul electric astfel format poate fi vizualizat electrooptic:

În Capitolul 6 din lucrare au fost studiate prin analogie electrooptică:

- mișcarea apei în jurul puțurilor de infiltrație, ca mijloc de verificare a metodei;

- mișcarea apei de filtrație în jurul bazinelor de infiltrație dreptunghiulare, ale căror rezultate au fost verificate prin metoda propusă a transformărilor conforme;

- mișcarea apei de filtrație în jurul bazinelor de infiltrație circulare și a unor puțuri de captare învecinate;

- mișcarea apei în jurul bazinelor de infiltrație dreptunghiulare și a unui șir de puțuri de captare învecinate;

- mișcarea apei în jurul bazinelor de infiltrație dreptunghiulare situate între două șiruri de puțuri de captare;

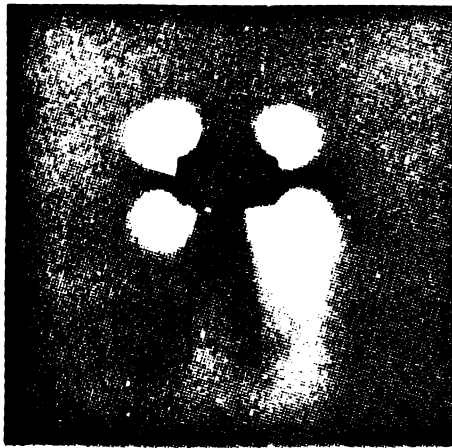
- mișcarea plan-verticală a apei de la bazinele de infiltrație, având secțiuni transversală trapezoidală, dreptunghiulară, semicirculară, către straturile acvifere alimentate tehnic cu apă din surse de suprafață.

Studiile efectuate au permis determinarea variației vitezei de infiltrație pe conturul bazinelor, precum și determinarea vitezelor de filtrare, în mărime și sens, în tot câmpul modelat.

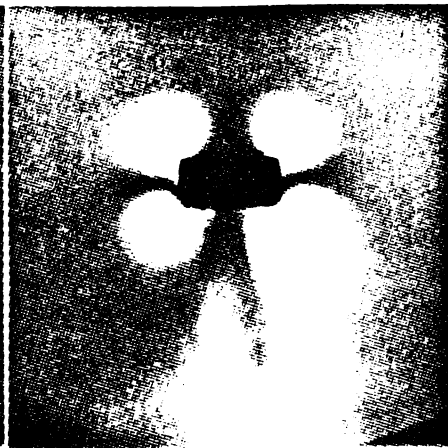
Rezultatele obținute permit evidențierea avantajelor metodei propuse, precum și definirea acesteia ca o nouă metodă de cercetare a fenomenelor de scurgerea apei prin medii poroase.

ing. Ioan Morușca

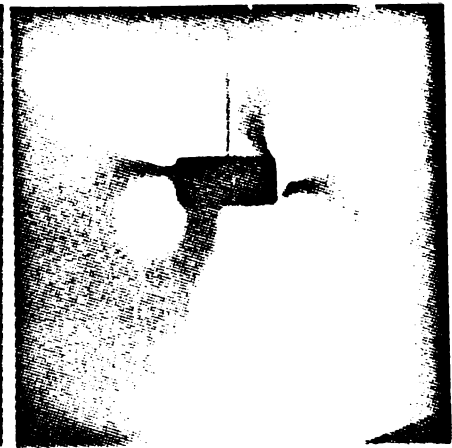
•



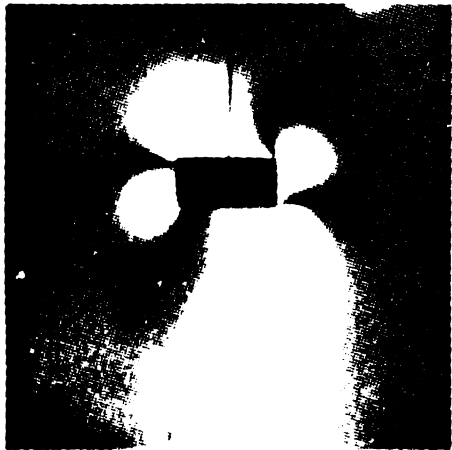
0°



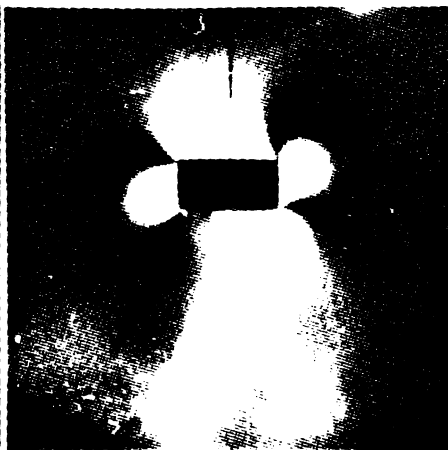
10°



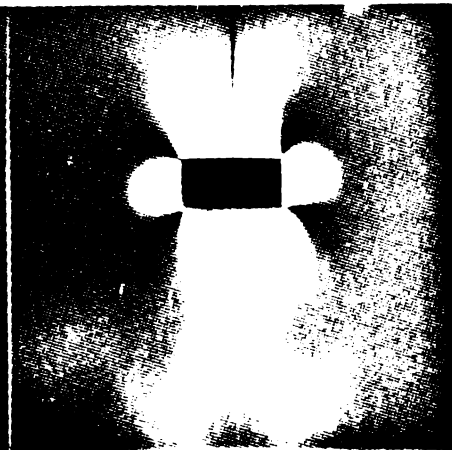
20°



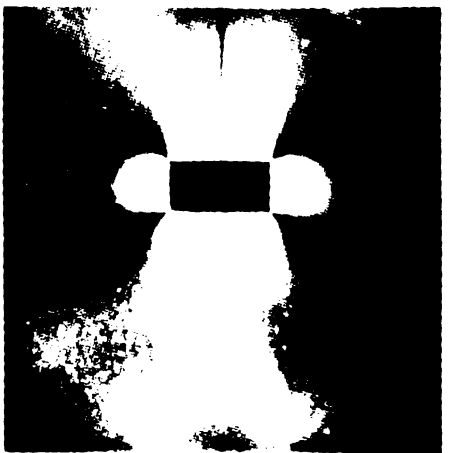
30°



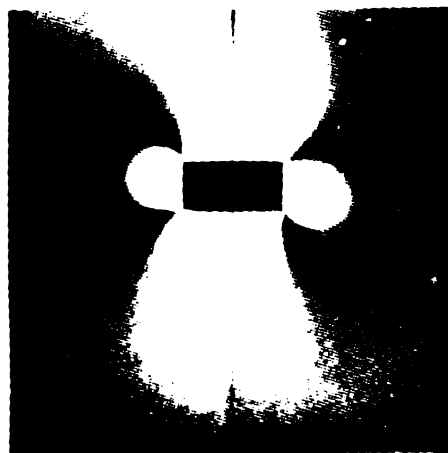
40°



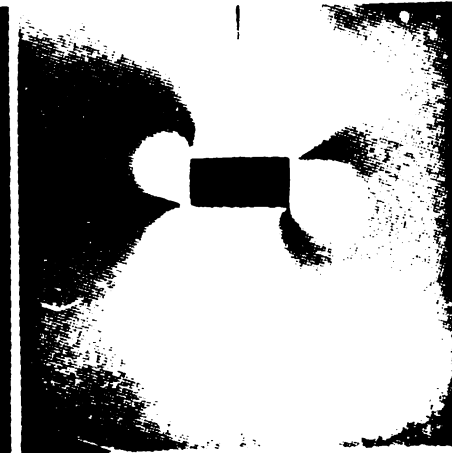
50°



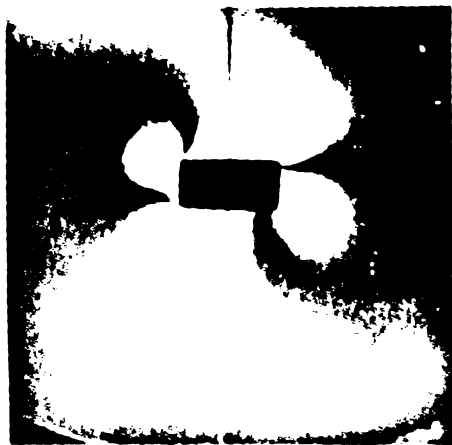
60°



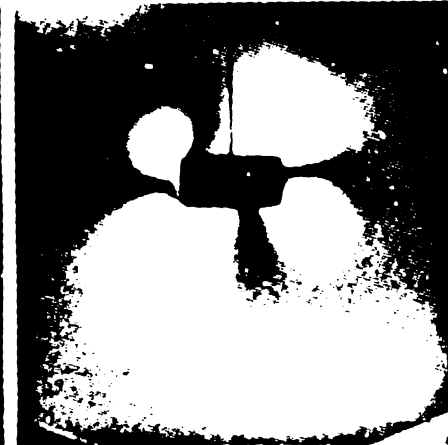
70°



80°



90°



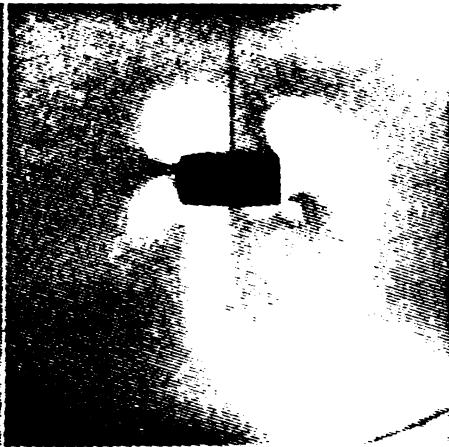
100°

ANEXA I

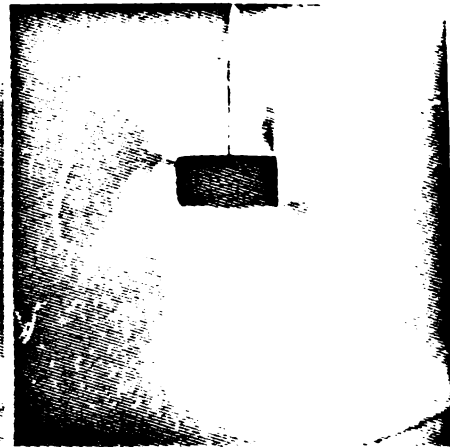
INSTITUTO DE FÍSICA  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
CAIXA DE CORREIO 1351  
05389-970 SÃO CARLOS, SP



0c



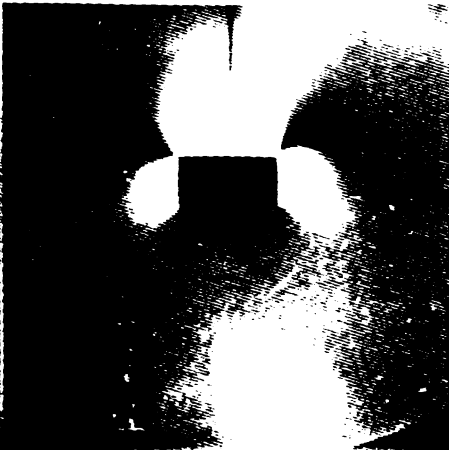
10c



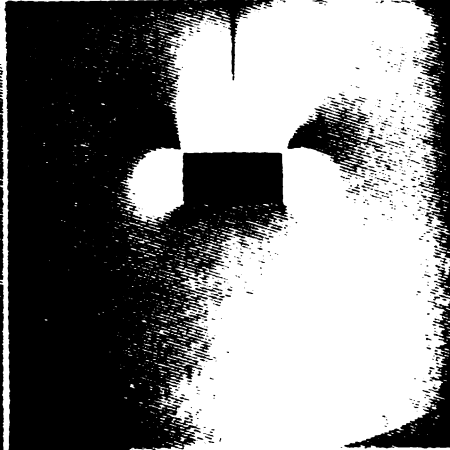
20c



30c



40c



50c



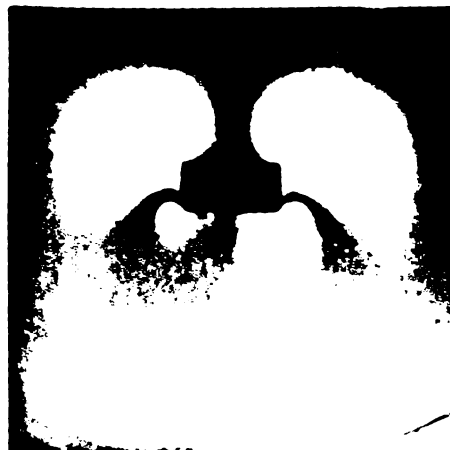
60c



70c



80c

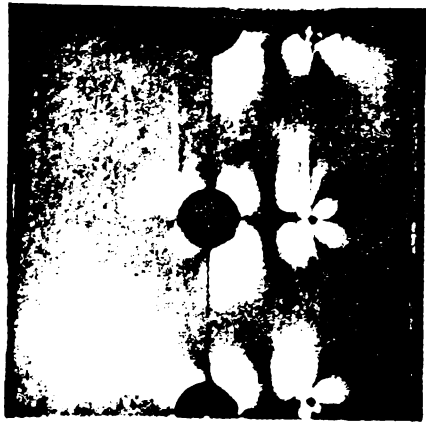


90c



100c

ANEXA II



0° +



10° +



20° +



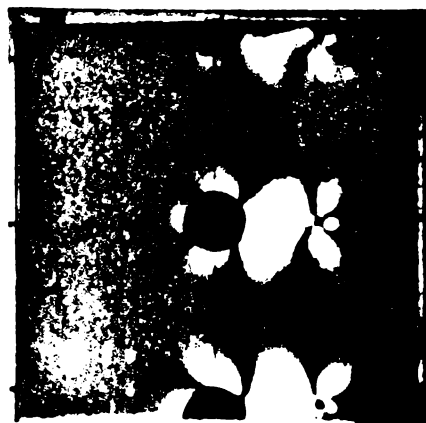
30° +



40° +



50° +



60°



70° +



80° +



90° +



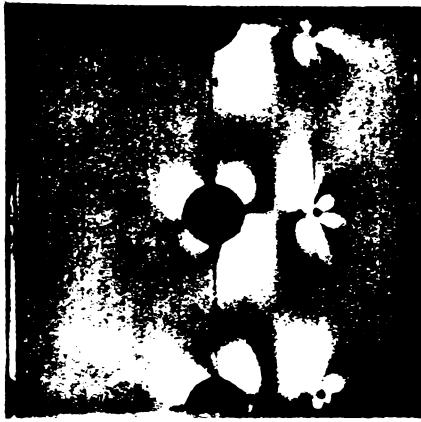
100° +

ANEXA III





0°



10°



20°



30°



40°



50°



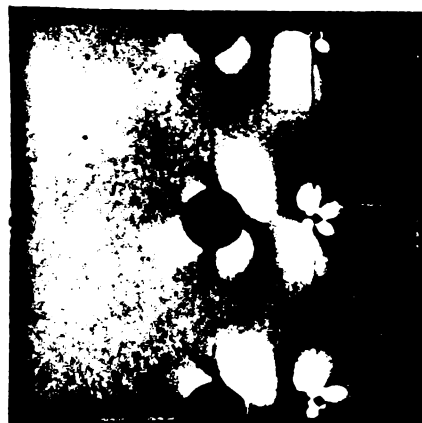
60°



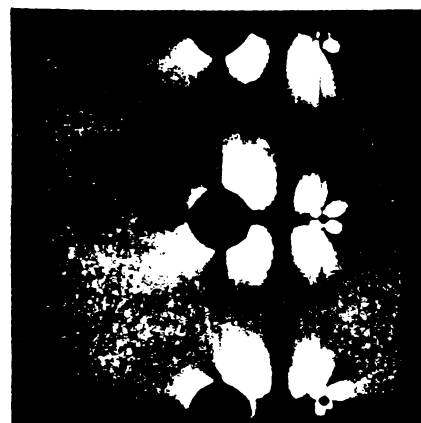
70°



80°

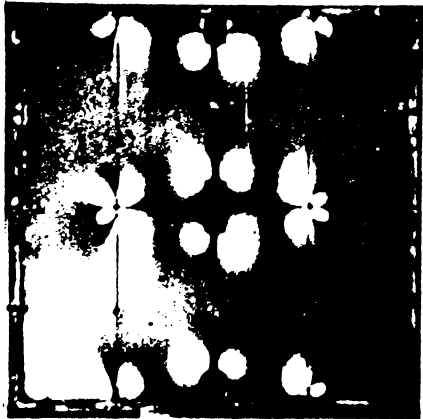


90°



100°

ANEXA IV



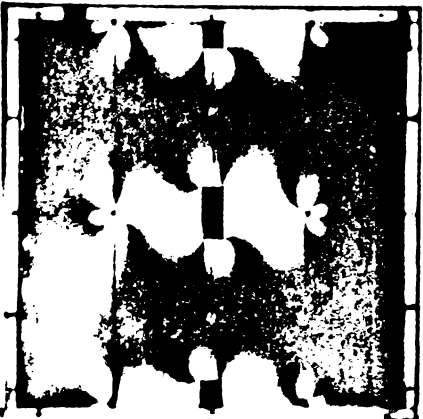
0°



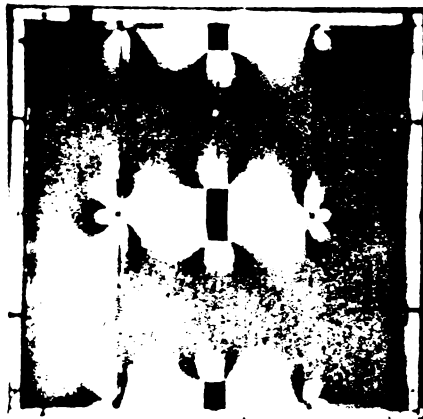
10°



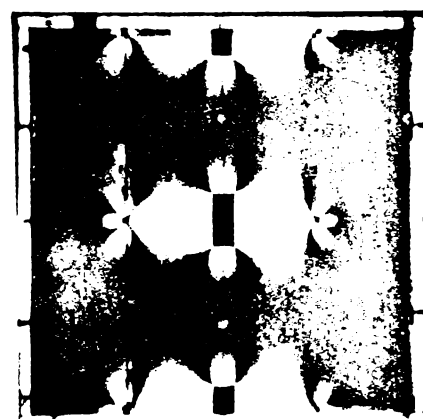
20°



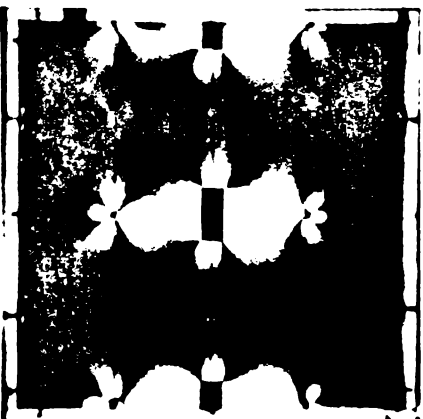
30°



40°



50°



60°



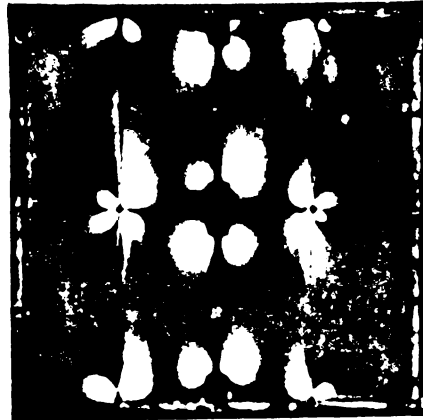
70°



80°



90°



100°

ANEXA V



ANEXA VI

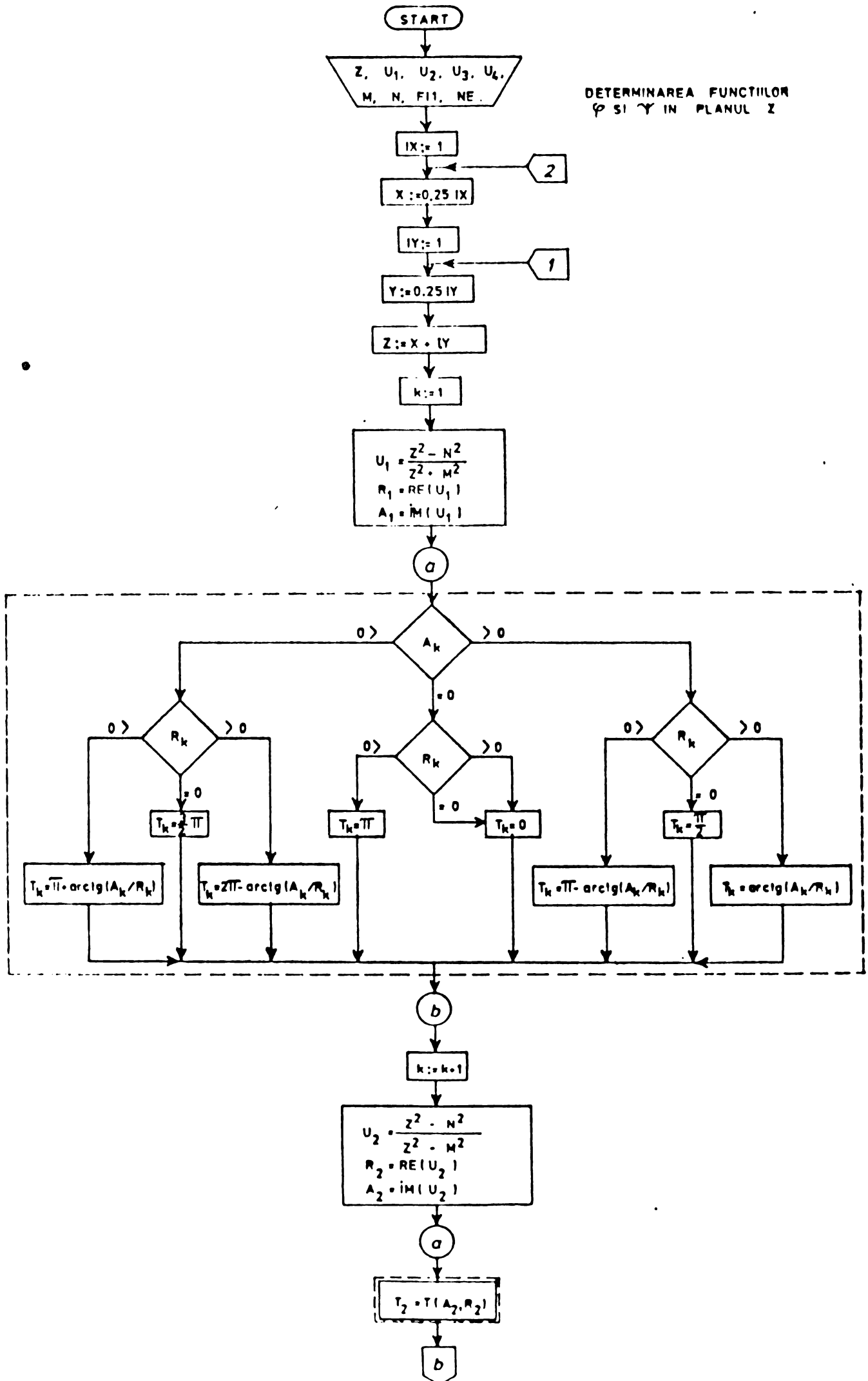


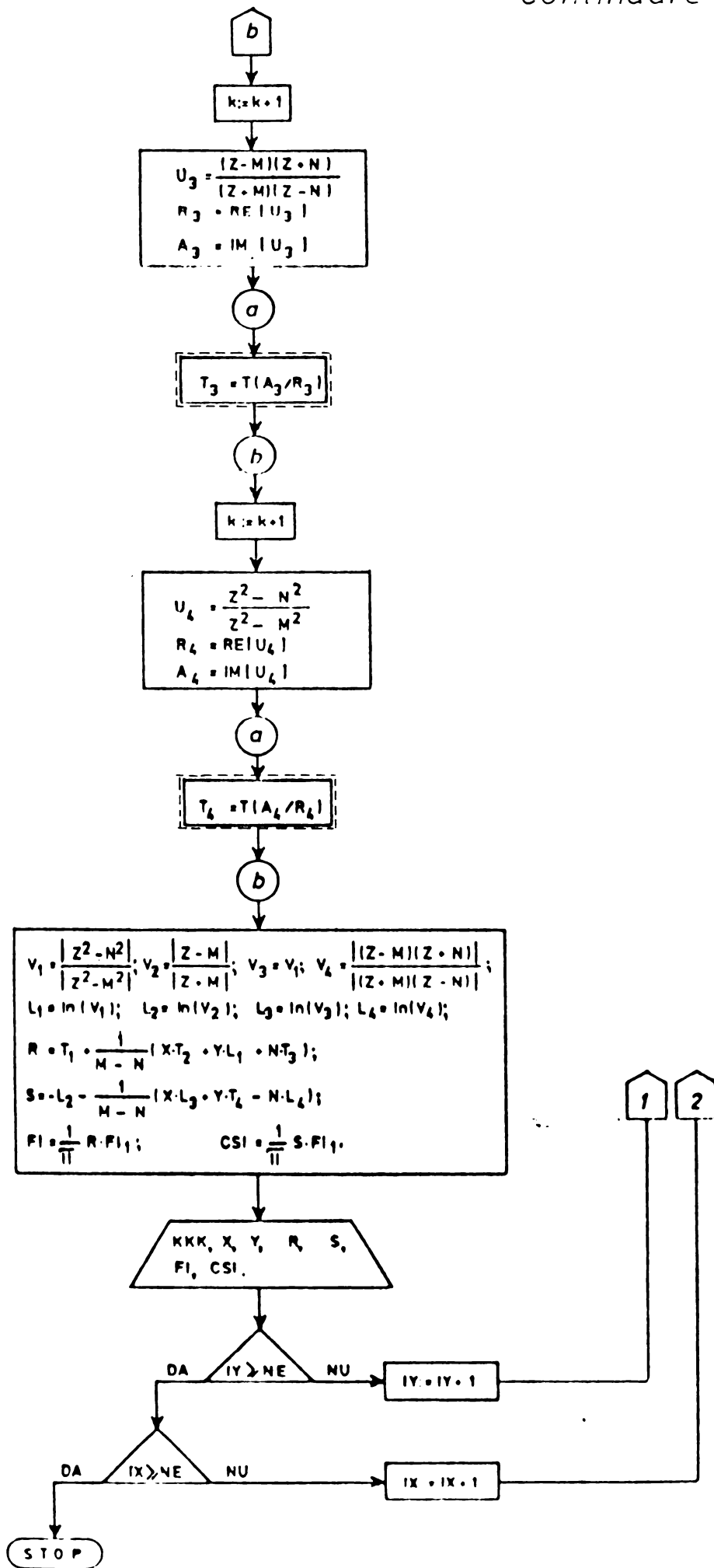
ANEXA VII



ANEXA VIII

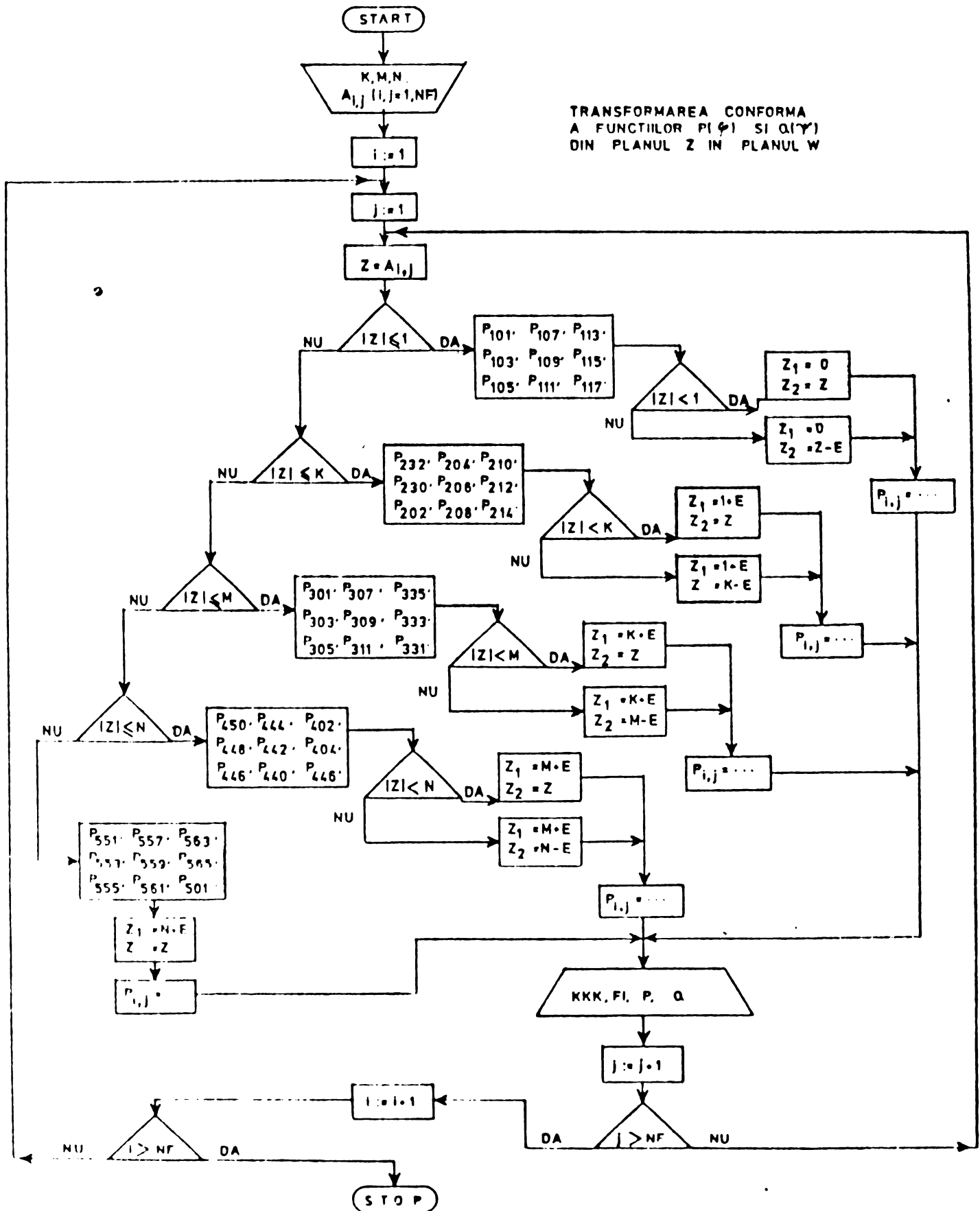
DETERMINAREA FUNCȚIILOR  
 $\varphi$  SI  $\gamma$  IN PLANUL Z





# ANEXA IX

TRANSFORMAREA CONFORMA  
A FUNCTIILOR  $P(\varphi)$  SI  $Q(\gamma)$   
DIN PLANUL Z IN PLANUL W



## B I B L I O G R A F I E

- [1]. Aberbach, S.H., Sellinger, A., - Review of artificial groundwater recharge in the coastal plain of Israël. Bull. AIHS, mars 1967
- [2]. Ahlberg, J.H., Nilson, E.N., Walsh, J.L., - Complex cubic splines. Trans. Amer. Math. Soc. 129, 1967.
- [3]. Ahlberg, J.H., Nilson, E.N., Walsh, J.L., - The theory of splines and their applications Academic press (New York) 1967
- [4]. Ahlberg, J.H., Nilson, E.N., - Existence of complex polynomial splines of fine uniform meshes. Brown University Report, Feb., 1969
- [5]. Ahlberg, J.H., Nilson, E.N., Walsh, J.L., - Properties of analytic splines. Complex polynomial splines. Jour. Math. Anal. And. Aplic. 1968
- [6]. Anton, V., - Stabilirea legilor similitudinii hidrodinamice pe baza analizei dimensionale. Hidrotehnica nr.6, 1953
- [7]. Aravin, V.I., Nosova, O.N., - Naturnie issledovaniia filtrații. Leningradskoe Otdelenie, 1969
- [8]. Archambault, J., Margat, J., Massaulle, G., - Données sur l'emploi des bassins d'infiltration pour l'alimentation artificielle des nappes souterraines. L'Eau nr.3, 1968
- [9]. Averianov, S.F., - Voprosi ustanovlenia velicinî filtraționîh poter v sisteme arositelnîh kanaloc. Gidrotehnika i meliorația nr.10, 1950



- [10]. Baffa, J.J.,  
Barksdale, H.C.,  
Bechert, C.H., - Artificial Ground Water Recharge.  
Jour. J.A. W. W. A. Vol. 59, nr.1,  
1967
- [11]. Banks, R.B.,  
Igbal, A., - Dispersion and adsorption in porous  
media flow. Proc. Am. Soc. Civ. Eng.  
Hydraulics Division HY5, 1964
- [12]. Baumann, P., - Experiments with fresh water barrier  
to prevent sea-water intrusion. Am.  
Wat. Works Ass. Jour. vol. 45, nr. 5, 1956
- [13]. Bear, J.,  
Levin, O., - The optimal yield of an aquifer. Symp.  
Haifa AIHS pub. 72, 1967
- [14]. Bear, J.,  
Braester, C., - Flow From Infiltration Basins to  
Drains and Wells. ASCE-Hydraulics  
Division, Vol. 92, No. HY5, sept. 1966
- [15]. Bear, J.,  
Zaslavsky, D.,  
Irmay, S., - Physical principles of water  
percolation and seepage UNESCO,  
1965
- [16]. Behnkhe, J.J., - Clogging in surface spreading  
operations for artificial groundwater  
recharge. Water Resour. Res. vol. 5,  
nr. 4, 1969
- [17]. Beyer, W.,  
Schweiger, H., - Zur Bestimmung des entwässerbaren  
Porenanteils der Grundwasserleiter.  
Wasserwirtschaft-Wassertechnik, 2, 1969
- [18]. Berend, J.E., - An analytical approach of the clogging  
effect of suspended matter. Bull. AIHS,  
juin, 1967
- [19]. Bianchi, W.C.,  
Haskell, E.E., - Field observations Compared with  
Dupuit-Forcheimer theory for mound  
heights under a recharge basin. Water  
Resour. Res. Vol. 4, nr. 5, oct. 1968

- [20]. Bize, J.,  
Bourguet, L., - Le prix de revient de l'eau dans trois aménagements d'alimentation artificielle. L'Eau, mars. 1968
- [21]. Bize, J.,  
Bourguet, L.,  
Lemoine, J., - L'alimentation artificielle des nappes sauterraines. Ed.Masson, Paris VI, 1972
- [22]. Bauwer, H., - Field measurement of saturated hydraulic conductivity in initially unsaturated soil. Bull.AIHS nr.72, 1967
- [23]. Bouwer, H., - Unsaturated flow in ground-water hydraulics. Proc.Am.Soc.Civ.Eng. Hydraulics Division HY 5, september, 1964
- [24]. Bowen, M.C., - Water conservation in California. Jour.of the Inst.of Wat.Eng.18, nr.7, 1964
- [25]. Brashears, M.L., - Ground water temperature on Long Island, N.Y., as affected by recharge of warm water. Economic Geology.Vol. XXXVI, dec., nr.8, 1941
- [26]. Brashears, M.L., - Artificial recharge of ground water on Long Island, N.Y., Economic Geology, vol.XXI, nr.5, 1946
- [27]. Bruno, J.,  
Panetier, J.M., - L'alimentation artificielle expérimentale de la nappe alluviale d'Appoigny (Yonne). Tech.et Sc.Municip. mars.1969
- [28]. Bursch, K.F.,  
Luckner, L., - Grundgesetze der modernen Grundwasserhydraulik. Bergbautechnik 17 Jg., H 7, Juli 1967
- [29]. Busch, K.F.,  
Luckner, L., - Geo-hydraulik VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1973

- [30]. Busch, K.F.,  
Luckner, L.,  
Tiemer, K., - Die wichtigsten analitischen  
Berechnungsverfahren der stationären  
eindimensionalen Grundwasserstromungs-  
vorgänge. Bergbautechnik 17 Jg.H 7,  
Juli 1967
- [31]. Busch, K.F.,  
Peukert, D.,  
Luckner, L., - Beitrag zu Lösung von Grundwasser-  
strömungs problemen Spaltmodell-  
versuche. Bergbautechnik 18 Jg, H 3,  
März 1968
- [32]. Busch, K.F.,  
Tiemer, K.,  
Luckner, L., - Die wichtigsten Lösungsmethoden für  
die partiellen Differentialgleichungen  
der Grundwasserhydraulik. Bergbau-  
technik 17, H 12, Dezember 1967
- [33]. Carlier, M., - Hydraulique générale et appliquée.  
Ed.Eyrolles, Paris, 1972
- [34]. Caquat, A.,  
Kerisel, J., - Traité de mécanique de sols, Paris  
1966
- [35]. Casati, A., - Les ouvrages de réalimentation de la  
nappe de la Hard a Muttentz (Bâle).  
Techn.et Sciences Municip.,dec.1961
- [36]. Castany, G., - Courbes de tarissement et calcul des  
réserves régulatrices. Ass.générale  
A.I.H.S. Berkeley 1963
- [37]. Castany, G., - Prospectiunea și exploatarea apelor  
subterane (trad.din lb.franceză), Edi-  
tura tehnică București, 1972
- [38]. Cedestrom, D.J., - Artificial recharge of a brackish  
water well. The Commonwealth, Virginia  
Chamber of Commerce, Richmond, 1947
- [39]. Certousov, M.D., - Hidraulica (trad.din lb.rusă) Editura  
tehnică București, 1966
- [40]. Childs, E.C., - And Introduction to the Physical Basis  
of Soil Water Phenomena, London,1969

- [41]. Chun, R.Y.D.,  
Weber, F.M.,  
Mido K.W. - Planned utilization of ground water basins: studies conducted in Southern California. Symposium Häifa. AIHS Bull. nr.72, 1967
- [42]. Cioc, D., - Calculul distanței de protecție sanitară la captările prin puțuri, Hidrotehnica nr.1, 1956
- [43]. Cioc, D., - Contribuții privind calculul debitului și distanței de parcurs la drenuri de captare, Hidrotehnica nr.6, 1961
- [44]. Cioc, D.,  
Trofin, P., - Despre calculul distanței de protecție sanitară la drenuri pe pat orizontal, Hidrotehnica, nr.3, 1956
- [45]. Cohen, P.,  
Durfur, C.N., - Artificial recharge experiments utilizing renovated sewage plants effluents. A feasibility study at Bay-park, New-York. Symp.Häifa AIHS, Bull.nr.72, 1967
- [46]. Corbu, I., - Influența zonei de izvorire în calculele hidraulice ale puțurilor și forajelor, Hidrotehnica nr.7, 1967
- [47]. Corbu, I., - Analiza teoretică asupra îmbătrânirii puțurilor de captare a apei subterane, Hidrotehnica nr.8, 1970
- [48]. Corbu, I., - Studii privind comportarea în exploatare a unui puț de captare a apei, Hidrotehnica, nr.6, 1970
- [49]. Coțiu, A.,  
Morușoa, I.,  
Potra, T., - Modelare matematică prin funcții spline a fenomenelor de filtrație în medii poroase. Studii și cercetări de mecanică aplicată nr.1, 1978, București

- [50]. Coțiu, A., - Elemente de analiză numerică. Colecția Capitole speciale de matematică, vol.6, I.P.Cluj, 1973
- [51]. Crețu, Gh., - Economia apelor. Editura didactică și pedagogică, București, 1976
- [52]. Crooke, H.W., - Ground water replenishment in the Orange County. Agric.Waste Wat.nr.10, 1966
- [53]. David, E., - Leçonni de teoria funcțiilor. Partea II. Funcții eliptice, București, 1927
- [54]. David, I., - Mișcarea plan orizontală într-un mediu poros în prezența unui dren arcuit. Studii și cercetări de mecanică aplicată nr.1, 1968, tom 27
- [55]. David, I., - Efectul neuniformității curentului subteran asupra debitului drenului arcuit și rectiliniu. Studii și cercetări de mecanică aplicată nr.5, Tom 27, 1968, București
- [56]. David, I., - Sur le mouvement des eaux artésiennes dans un domaine limité à conditions mixtes du contour. Revue Roumaine des Sciences Techniques - Mecanique Appliquée, tome 14, Nr.3, 1969
- [57]. David, I., - Sur la généralisation d'un théorème du mouvement plan en milieux poreux ayant une cavité. C.R.Acad.Sc.Paris,t.269 (Octobre 1969)
- [58]. David, I., - Studiul hidraulic al cavităților drenate amplasate într-o zonă de permeabilitate diferită de restul mediului poros. Buletin st.tehnic IPT tom 15 (29) fasc.2, iul-dec.1970

- [59]. David, I., - Asupra unei reprezentări analitice generale a mișcării prin medii poroase, în prezența unei cavități drenante izolate. Comunicare: Prima sesiune a tinerilor ingineri și cercetători studenți din Timișoara - secția Construcții, Timișoara, 1971
- [60]. David, I., - Contribuții la studiul unor mișcări prin medii poroase cu aplicații la calculul hidraulic al captărilor subterane. Teză de doctorat, Institutul politehnic Timișoara, 1973
- [61]. Dietmar, W., - Grundwasserverunreinigungen durch unsachgemäße Lagerung von Kunstdünger. Wasserwirtschaft-Wassertechnik 5, 1969,
- [62]. Dagan, G., - Linearized solution of free surface groundwater flow with uniform recharge. Haifa, Technion, pub.nr.84
- [63]. Domokos, H., - Közművesítés vizellátás vizelvezetése. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1970
- [64]. Drogue, Cl., - Etude géologique et hydrométrique des principales résurgences de la région Nord-Montpellieraine. Thèse 3<sup>e</sup> Cycle. Montpellier 1964
- [65]. Ene, H.I.,  
Gagonea, S., - Probleme în teoria filtrațiilor. Editura Academiei R.S.R. București, 1973
- [66]. Endre, N., - Hidro-mechanika, Tankönyvkiadó, Budapest, 1963
- [67]. Esmaili, H.,  
Scott, V.H., - Unconfined Aquifer Characteristics and Well Flow. Jour.Irrigation and Drainage Division, IRI, March, 1968

- [68]. Filotti, A., - Aplicarea analizei dimensionale în modelarea analogică. Meteorologia, hidrologia și gospodărirea apelor, Nr.4/1959
- [69]. Filceacov, P.F., - Priblijennîe metodîi konformnîh otobrajenîi, Kîev, 1964
- [70]. Franck, K.H., - Recherches récentes sur la recharge des eaux souterrains par des filtres a sable opérant lentement. Bull AIHS. juin 1967
- [71]. Franck, K.H., - Alimentation intermittente des filtres a sable destinés à l'enrichissement artificiel des eaux souterraines. Bull. AIHS. juin.1967
- [72]. Farkasiewicz, J., - Le régime de tarissement de la Foux de la Vis. Colloque sur l'hydrologie des roches fissurées. UNESCO, Dubrovnic, 1965
- [73]. Fowler, L.C., - Food Control and Water District, Santa Clara County. Communication écrite à l'AIHS 1959
- [74]. Garrand, J., - Conditions d'exploitation du Dispositif de réalimentation de la nappe le long du canal de fuite de Donzère-Mondragon. La Houille Blanche nr.3, 1965
- [75]. Găzdaru, A., - Hidraulica exfiltrațiilor din canale căptușite. Comunicare: Seminarul Național de hidraulică aplicată, Timișoara, nov.1973
- [76]. Gheorghită, St.I., - Asupra mișcării în medii poroase cu caverne. Com.Acad.RPR, t.9, nr.13, 789, 1963

- [77]. Gheorghită, St.I., - Sur le mouvement dans un milieu poreux homogène ayant une cavité elliptique Comptes Rendus Acad.Sc. Paris t.259,17,2279, 1964
- [78]. Gheorghită, St.I., - Sur le mouvement plan dans les milieux poreux homogènes ayant une cavité Comptes Rendus Acad.Sc.Paris t.260,21, 5457, 1965
- [79]. Gheorghită, St.I., - Metode matematice în hidrodinamica subterană, Ed.Academiei RSR, 1966
- [80]. Gheorghită, St.I., - Introducere în hidrodinamica corpurilor poroase, Ed.Academiei RSR, 1969
- [81]. Glenn, H.I., - Water Problems in Texas. Jour. J.A.W.W.A. vol.58 nr.10, 1966
- [82]. Green, M.G., - Artificial recharge to the Edwards limestone aquifer in south Texas. Pub.AIHS, vol.2, nr.74, 1967
- [83]. Gobesz, F.,  
Cătărig, Al., - Programarea calculatoarelor electronice. I.P.Cluj-Napoca, 1974
- [84]. Hareț, A.T., - Folosirea metodei analogiei electrohidrodinamice (EGDA) pentru rezolvarea problemelor de filtrare. Hidrotehnica nr.1, 1954
- [85]. Harpaz, Y.,  
Schwarz, J., - Operating a limestone aquifer as a reservoir for a water supply system. Bull.AIHS, mars.1967
- [86]. Hatfield, M.O., - Western and National Water Resource Problems. Jour.J.A.W.W.A. vol.57, Nr.10, 1965
- [87]. Hlavek, E., et  
Lévêque, P., - Contribution à l'étude hydrogéologique du Haut Atlas de Domnate (Maroc). La Houille Blanche. Grenoble 1960



- [88]. Hunyady, D., - Közművesítés vizellátás Vizelvezetés.  
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1970
- [89]. Iacob, C., - Introduction mathématique á la mécanique  
des fluides, Bucureşti-Paris, 1961
- [90]. Jansa, O.V.E., - Artificial ground water supplies of  
Sweden. Communication au Congres de  
l'Aide Paris 1952
- [91]. Istomina, V.S., - Filtraţionная ustojivost' gruntov.  
Moskau. Izd. po stroit. arch. 1957
- [92]. Ivan, C., - Modele de calcul analogic în hidraulica  
subterană. Editura tehnică, Bucureşti,  
1975
- [93]. Jeranov, I.Ě., - Modelirovanie filtraţii podzemnih vod.  
Sestakov, V.M., Moskva 1971
- [94]. Jura, C., - Curs de economia apelor. Editura di-  
dactică şi pedagogică, Bucureşti, 1962
- [95]. Jura, C., - Consideraţii asupra ecuaţiilor cu de-  
rivata parţiale ale filtrării rapide.  
Popescu, M., Buletinul ştiinţific şi tehnic al Insti-  
tutului politehnic Timişoara Tom 9(23),  
fasc.2, 1964
- [96]. Jura, C., - Contribuţie la calculul ejectoarelor  
aplicate la spălarea filtrelor rapide  
de nisip. Buletinul Institutului poli-  
tehnic Iaşi, Tom XI(XV), fasc.3-4, 1965
- [97]. Jura, C., - Curs de alimentări cu apă, canalizări  
şi instalaţii hidroedilitare. I.P.  
Timişoara, 1967
- [98]. Jura, C., - Concepţii actuale în realizarea lucră-  
rilor de capacitate mică. Hidrotehnica  
nr.10, 1968

- [99]. Jura, C.,  
Giurconiu, M., - Studiul mişcării apei la îmbogăţirea  
straturilor acvifere. Buletinul I.P.  
Timişoara, Tom.I, 1965
- [100]. Jura, C., - Alimentaţii cu apă. Capitole speciale.  
I.P.Timişoara, 1974
- [101]. Karádi, G.,  
Orlóczy, I., - Öntözécsatornák szivárgási veszteségé-  
nek meghatározásal. Hidrológiai  
Közlöny nr.5, 1959
- [102]. Karpoff, R., - Réalimentation du bassin de Charf-el-  
Akab a Tanger. L'Eau, dec.1961
- [103]. Leonăchescu, N., - Contribuţii la studiul propagării căl-  
durii prin sol. Teză de doctorat.I.P.  
Bucureşti, 1967
- [104]. Leonăchescu, N., - Termotehnică, Editura didactică şi  
pedagogică, Bucureşti, 1974
- [105]. Léczfalvy, S., - Kútszerii viztormelök depresszió-  
sugarának és vizhozamának meghatározás.  
nem permanens vízmozgás esetén.  
Bányászati Lapok 1967, 12 sz.
- [106]. Lindenbergh, P.C., - Drawing Water From a Dune Area.  
Journal American Water Works Association  
J.A.W.W.A.New-York, NY, Vol.43, 1951
- [107]. Loffler, H., - Zur Technologie und Wassergüter-  
verbesserung bei der Grundwasser-  
anreicherung. Wasser Wirtschaft Wasser-  
technik 17, H.10, 1967
- [108]. Louda, K., - Beitrag zur Berechnung von Horizonta-  
filterbrunnen. Wasserwirtschaft-  
wassertechnik 3, 1961,
- [109]. Louda, K., - Die künstliche Infiltration und deren  
allgemeine Behandlung.Wasserwirtschaft-  
Wassertechnik H.7, 1962

- [110]. Luckner, L.,  
Peukert, D.,  
Löffler, H., - Beitrag zur Berechnung des durch  
Sickergräben, Brunnenreihen oder  
Dränleitungen gewinnbaren, Infiltrats  
aus Oberflächen-gewässern. Wasser-  
wirtschaft-Wassertechnik 19 Jg, No 5,  
1969
- [111]. Manning, J.C., - Resume of ground water hydrology in  
the Southern San Joaquin Valley.  
J.A.W.W.A. 59, nr.12, 1967
- [112]. x x x - Manualul inginerului hidrotehnician,  
vol.II, Editura tehnică, București,  
1970
- [113]. Massoulie, G., - La réalimentation de la nappe de  
Croissy. L'Eau, nr.5, 1961
- [114]. Massoulie, G., - La réalimentation de la nappe de  
Croissy. Technique et Science  
Municipales, nov.1966
- [115]. Mănescu, A., - Contribuții la studiul coloanelor de  
filtru pentru puțuri de apă. Teză de  
doctorat, I.C.București, 1972
- [116]. Mănescu, Al.,  
Nimereală, I.,  
Blitz, Em., - Exploatarea captărilor din ape sub-  
terane, Editura tehnică, București,  
1973
- [117]. Mateescu, Th., - Contribuții la studiul încărcării  
filtrelor rapide și determinarea  
limitelor tehnice ale ciclului de  
filtrare. Teză de doctorat. I.P.  
Timișoara, 1976
- [118]. Mirel, I., - Contribuții la studiul procesului de  
filtrare rapidă în perioada inițială  
de reținere. Teză de doctorat. I.P.  
Timișoara, 1974

- [119]. Mercado, A., - The spreading pattern of injected water in a permeability stratified aquifer. Symp.Haifa AIHS, Bull.72, 1967
- [120]. Morariu, T.,  
Pișotă, I.,  
Buta, I., - Hidrologia generală, Editura didactică și pedagogică, București, 1962
- [121]. Morușca, I., - Studiul teoretic al infiltrației din bazine și căile de investigare în cercetarea acestei probleme. Comunicare: A XIII-a sesiune științifică a I.P.Cluj, februarie 1974
- [122]. Morușca, I.,  
Barabaș, T.,  
Constantin, E., - Unele specte privind sporirea debitelor de apă captată prin îmbogățirea artificială a straturilor acvifere. Buletinul științific al I.P.Cluj, Nr.12, 1969
- [123]. Morușca, I.,  
Bălan, V., - Studiul infiltrării apei din bazine de infiltrare spre straturi acvifere situate la adâncime mare. Buletinul științific al I.P.C.-N., vol.Comunicări, 1971
- [124]. Morușca, I.,  
Jombori, V., - Posibilități de mărirea debitelor captabile de apă subterană prin îmbogățirea artificială cu apă de suprafață. Comunicare: Simpozionul "Contribuții la progresul tehnic în industria minieră" 9-10 dec.1976, Cluj-Napoca
- [125]. Morușca, I.,  
Magyarosy, I., - Determinarea debitului de apă captată din straturi freatice situate la adâncime mică, îmbogățite prin bazine de infiltrare. Buletinul științific al I.P.Cluj, nr.14, 1971

- [126]. Morușca, I.,  
Magyarosy, I.,  
Vingan, D., - Studiul filtrației cu ajutorul modelelor de simulare a mișcării plane. Buletinul științific al I.P.C.-N. nr.19, 1976
- [127]. Morușca, I., - Studiul mișcării apei din bazine dreptunghiulare de infiltrare către puțuri, prin analogie electrooptică. Comunicare: Seminarul Național de hidrolică aplicată de la Timișoara, nov.1973
- [128]. Morușca, I.,  
Marian, L., - Contribuție la studiul infiltrației din bazine circulare către o linie de puțuri, cu ajutorul analogiei electrooptice. Buletinul științific al I.P. Cluj, nr.16, 1973
- [129]. Müller-Feuga, R.,  
Ruby, P., - Alimentation artificielle de la nappe des alluvions de la Basse - Durance La Houille Blanche nr.3, 1965
- [130]. Müller, G.,  
Luckner, L.,  
Quast, J., - Drängewasserzuflüsse in Flusspoldergebieten. Wasserwirtschaft-Wassertechnik, 19 Jg, H2, Februar, 1969
- [131]. Negulescu, M.Gh., - Un procedeu rapid pentru determinarea coeficientului de permeabilitate a straturilor acvifere pe baza rezultatelor obținute în timpul probei de pompare. Hidrotehnica nr.7, 1962
- [132]. Nenițescu, C.D., - Chimie generală, Editura didactică și pedagogică, București, 1972
- [133]. Óllosi, G.,  
Barsas, J., - Vizellátás és csatarnázás. Tankönyvkiadó, 1969, Budapest
- [134]. Óllosi, G., - Vizellátás és csatarnázás. Alkalmazott hidraulika. Tankönyvkiadó, 1967, Budapest

- [135]. Páris, E., - A talajdúsítás szervezésével kapcsolatos előmunkálatok. VÍZITERV, 1964
- [136]. Patrasěv, S., - Instructia po proektirovaniiu odratnykh gidrotehniceskim svorujenii [VSN-02-05 Moskva, Izd. Energia, 1965
- [137]. Păstrav, I., - Contribuții asupra studiului filtrației apei prin medii poroase cu ajutorul analogiei electro-optice. Buletinul științific al I.P.C.-N.nr.17, 1974  
Morușca, I.,
- [138]. Pietraru, V., - Asupra infiltrațiilor de ocolirea barajelor prin maluri ca o problemă a infiltrațiilor plan-orizontale. Studiu de geotehnică, fundații și construcții hidrotehnice, ISCH București, 1962, vol.IV
- [139]. Pietraru, V., - Cu privire la infiltrația nepermanentă prin medii permeabile stratificate. Studiu de geotehnică, fundații și construcții hidrotehnice, vol.VIII, ISCH București, 1964
- [140]. Pietraru, V., - Studii asupra unei zone de captare pentru alimentare cu apă, prin metoda analogiei electrohidrodinamice. Studiu de geotehnică, fundații și construcții hidrotehnice, vol.X, ISCH București, 1965  
Ivan, C.,
- [141]. Pietraru, V., - Calculul infiltrațiilor, Editura CEREC București, 1977
- [142]. Pîslărașu, I., - Alimentații cu apă. Editura tehnică București, 1970  
Rotaru, N.,  
Teodorescu, M.,

- [143]. Plotnikov, N.A., - Ressources en eaux souterraines classification et mode d'evaluation . Gauthiers-Villars.Paris, 1962
- [144]. Plotnikov,N.I., - Artificial control of static fissure-karst water resources in carbonate rocks. Sympozion Haifa Pub.AIHS, nr.72, 1967
- [145]. Polubarinova-Kocina, L.Ia., - Teoria dvijenja gruntovih vod. Moskva, 1952
- [146]. Pop, V.,  
Morușca, I.,  
Fetea, L., - Unele aspecte privind pierderea stabilității digurilor de pământ. Comunicare: Comportarea în situ a construcțiilor, Oradea sept-oct 1976
- [147]. O'Regan, R., - An Electrooptic Analog for the Solution of the Laplace Equation. In: Journal of Applied Mechanics Transactions of the ASME Series E, vol.34, No 2, 1967
- [148]. Richter, R.C.,  
Chun, R.Y.D., - Artificial recharge in California Am.Soc.of Civ.Eng.Paper, nr.3274, dec. 1959
- [149]. Roger, M.J., - Free Surface Flow in Homogeneous porous medium, In:ASCE-Hydraulics Division, vol.87, No NY4, July 1961
- [150]. Roland, W.,  
Joppson, A.M., - Seepage through dams in the Complex potential plane. In: Journal of the Irrigation and Drainage Division IRI-March, 1968
- [151]. Schneider, R., - Geologic and hydrologic factors related to artificial recharge of the carbonate-Rock aquifer sistem of central Israël. Symp.Haifa, AIHS, Bull.nr.72,1967

- [152]. Serbănescu, L.,  
Roman, Z., - Alimentarea artificială a straturilor  
acvifere prin bazine de infiltrație.  
Studiu de hidrogeologie, vol.V, ISCH  
București, 1967
- [153]. Simionescu, H.,  
Serbănescu, L., - Determinarea eficienței infiltrațiilor  
artificială în zona de captare  
Luduș și a resurselor de apă subterană  
din conul aluvionar Prahova - Toloaj  
prin metode analogice electrohidrodinamice.  
Studii de hidrogeologie, vol. IV,  
ISCH București, 1966
- [154]. Smith, H.F., - Artificial recharge and its potențial  
in Illinois Symp. Haifa AIHS Null.  
nr.72, 1967
- [155]. Szabo, L.,  
Ubell, K., - The Kinematic Description of Seepage  
in the Light of Recent Investigation.  
In: Acta Technica Academiae Scientiarum  
Hungarical Tomus 60 (3-4), 1968
- [156]. Task Group  
2440 R., - Experiences with injection wells for  
artificial ground water recharge.  
Jour.Am.Wat.Works.Ass.Vol.57, nr.5,  
1965
- [157]. Terzaghi, K.,  
Peck, R.P., - Mécanique des sols appliquée.  
Paris, 1961
- [158]. Tison, G., - Fluctuations des nappes aquifères  
sous l'action de divers facteurs  
(pluie, rivières, etc). La Houille  
Blanche. VI<sup>e</sup> Journ de l'Hydraulique,  
Grenoble 1960
- [159]. Tison, G., - Courbe de tarissement, coefficient  
d'écoulement et perméabilité du  
bassin. Ass.générale AIHS 229-243  
Helsinki, 1960



- [160]. Todd, D.K., - Economics of ground-water recharge. J.Hy.Div-Proc.of the A.S.C.E.July, 1965
- [161]. Trofin, E., - Calculul hidraulic al captărilor cu drenuri radiale. Hidrotehnica, nr.9, 1963
- [162]. Trofin, E., - Contribuție la calculul hidraulic al drenurilor de captare de lungime finită. Studii și cercetări de mecanică aplicată. Tom.16 nr.4, 1964
- [163]. Trofin, E., - Hidraulică specială (hidraulică subterană) I.C.București, 1970
- [164]. Trofin, E., - Hidraulică și hidrologie, E.D.P. București, 1974
- [165]. Trofin, P., - Calculul distanțelor de protecție sanitară la captările cu puțuri alimentate prin infiltrație din râu. Hidrotehnica nr.2, 1956
- [166]. Trofin, P., - Curs de alimentări cu apă. vol.I, Ed.Min.Inv.București, 1957
- [167]. Trofin, P., - Metode noi pentru calculul captărilor de apă subterană. Teză de doctorat, București, 1967
- [168]. Trofin, P., - Alimentări cu apă. E.D.P. București, 1972
- [169]. Trofin, P.,  
Trofin, E., - Studiul mișcării apei subterane spre drenurile de captare. Hidrotehnica nr.9, 1959
- [170]. Trofin, P.,  
Trofin, E., - Studiul mișcării apei subterane la drenurile așezate pe pat înclinat. Hidrotehnica nr.11, 1960

- [171]. Konstantinovici, I., Contribuții la calculul și realizarea dispozitivelor verticale de infiltrație în complexe de filtrare naturală. Teză de doctorat, I.P. Timișoara, 1977
- [172]. Vachaud, G., - Etude du régime transitoire de l'écoulement de l'eau pendant le drainage des nappes à surface libre. La Houille Blanche, nr.5, 1968
- [173]. Vedernikov, V.V., - Teoria filtrației și aplicarea ei în obiectele de irigații și drenaj. Gazetă izdată, 1939
- [174]. Venhuisen, K.D., - The storage capacity in the dune-water catchment area of Amsterdam and its effect on the water quality. Symp. Haifa, AIHS Bull.nr.72, 1967
- [175]. Venikov, V.A., - Aplicarea teoriei similitudinii și modelării în electroenergetică (traducere din limba rusă), Editura tehnică București, 1972
- [176]. Vladimirescu, I., - Cercetări experimentale asupra filtrației în regim nepermanent, cu aplicare la diguri și baraje de pământ. Hidrotehnica nr.1, vol.7, 1962  
Lăteș, M.,  
Trofin, E.,
- [177]. Vérone, P., - Calculul pierderilor de debit pe canale. Hidrotehnica nr.2, 1953
- [178]. Vibert, A., - Reflexion nouvelles sur un problème ancien. L'Eau nr.9, 1968
- [179]. Werner, P.W., et Sundquist, N.J., - On the ground-water recession curve for large water-sheds. Ass.générale A.I.H.S. II 202-212 Bruxelles, 1961
- [180]. Wiener, A., - The role advanced techniques of ground water management in Israel water supply system. Bull.AIHS, juin, 1967

- [181]. Walter, D.,  
Schwerin, K., - Grundwasserverunreinigungen durch  
unsachgemasse Lagerung von Kunst-  
dünger. Wasserwirtschaft-Wasser-  
technik, 5, 1969
- [182]. Zaoni, J., - Le problème de l'alimentation  
artificielle des nappes: puits  
d'injection, zone d'épandage,  
intervention des modèles mathématiques  
La Houille Blanche nr.3, 1965
- [183]. Ziems, I., - Beitrag zur Kontakterosion nicht-  
bindiger Erdstoffe. Dissertationsschrift  
der T.U. Dresden. Section Wasserwesen,  
1969

C U P R I N S  
=====

Capitolul 1. INTRODUCERE	pag
1.1. Generalități . . . . .	1
1.2. Amenajări de alimentare tehnică a straturilor acvifere în Republica Socialistă România . . . . .	4
1.2.1. Amenajările de la Cluj-Napoca . . . . .	4
1.2.2. Amenajările de la Luduș . . . . .	5
1.2.3. Amenajările de la Succava . . . . .	6
1.2.4. Amenajările de la Bistrița . . . . .	6
1.2.5. Amenajările de la Oradea . . . . .	7
1.3. Amenajări de alimentare tehnică a straturilor acvifere în Europa . . . . .	7
1.3.1. Amenajările din R.F. Germania . . . . .	8
1.3.2. Amenajările din R.D. Germania . . . . .	8
1.3.3. Amenajările din Suedia . . . . .	8
1.3.4. Amenajările din Olanda . . . . .	9
1.3.5. Amenajările din Elveția . . . . .	9
1.3.6. Amenajările din Franța . . . . .	10
1.3.7. Amenajările din Anglia . . . . .	11
1.3.8. Amenajările din R.P. Ungaria . . . . .	11
1.3.9. Amenajările din Uniunea Sovietică . . . . .	12
1.4. Amenajări de alimentare tehnică a straturilor acvifere în S.U.A. . . . .	12
1.4.1. Amenajările din statul California . . . . .	13
1.4.2. Amenajările din statul New-York . . . . .	15
1.4.3. Amenajările din statul Iowa . . . . .	15
1.4.4. Alte amenajări . . . . .	15
1.5. Amenajări de alimentare tehnică a straturilor acvifere pe alte continente. . . . .	16
1.5.1. Amenajări din statul Israel . . . . .	16
1.5.2. Amenajări din Maroc . . . . .	17
1.6. Scopul urmărit prin amenajările de alimentare a straturilor acvifere . . . . .	17
1.7. Perspective ale ărilor tehnice . . . . .	18
1.8. Necesitatea practică privind aprofundarea teoriei . . . . .	18

Capitolul 2. STUDIUL CONDIȚIILOR DE INFILTRARE TEHNICĂ PE  
BAZA PRINCIPALELOR CARACTERISTICI HIDROGEOLO-  
GICE ALE STRATURILOR ACVIFERE

2.1. Forme ale apei în pământ . . . . .	20
2.1.1. Apa legată de elementele componente ale mediului granular . . . . .	20
2.1.2. Apa capilară. . . . .	21
2.1.3. Apa liberă. . . . .	21
2.2. Caracteristici fizice ale mediului granular. .	22
2.2.1. Forma granulelor. . . . .	23
2.2.2. Mărimea granulelor. . . . .	24
2.2.3. Porozitatea. . . . .	25
2.2.4. Geometria canalelor din pori. . . . .	27
2.2.5. Diametrul hidraulic echivalent . . . . .	28
2.2.6. Factorul de trecere . . . . .	30
2.3. Interdependența dintre elementele mediului granular și curentul de apă liberă . . . . .	31
2.3.1. Sufoziunea . . . . .	32
2.3.2. Eroziunea . . . . .	34
2.3.3. Colmatarea . . . . .	35
2.3.4. Ruperea hidraulică. . . . .	35
2.4. Caracteristicile hidraulice ale straturilor acvifere . . . . .	36
2.4.1. Forma și dimensiunile straturilor acvifere . . . . .	39
2.4.2. Porozitatea efectivă. . . . .	40
2.4.3. Coeficientul de înmagazinare. . . . .	44
2.4.4. Permeabilitatea și transmisivitatea. .	46
2.5. Concluzii. . . . .	48

Capitolul 3. STABILIREA PRINCIPIILOR DE ALCATUIRE ȘI DE  
EXPLOATARE A AMENAJĂRILOR DE ALIMENTARE A  
STRATURILOR ACVIFERE

3.1. Generalități . . . . .	51
3.1.1. Noțiuni generale . . . . .	51
3.1.2. Obiectivele amenajărilor de alimentare tehnică a straturilor acvifere. . . . .	52
3.1.3. Condiții hidrogeologice . . . . .	54
a. - poziția nivelului hidrostatic. . . . .	55
b.- permeabilitatea verticală. . . . .	55

c. - transmisivitatea. . . . .	56
d. - grosimea straturilor impermeabile . . . . .	58
e. - potențialul de acumulare. . . . .	59
3.2. Metode utilizate în amenajările de alimentare a straturilor acvifere. . . . .	60
3.2.1. Avantaje și dezavantaje. . . . .	60
3.2.2. Alimentarea tehnică cu ajutorul . . . . . dispozitivelor de suprafață. . . . .	61
3.2.3. Alimentarea tehnică cu ajutorul dispo- . . . . . zitivelor de alimentare subterană. . . . .	64
3.3. Amenajări de alimentare tehnică cu ajutorul bazineelor de infiltraare . . . . .	64
3.3.1. Alcătuirea amenajărilor cu bazine de infiltraare . . . . .	65
a. - forma și dimensiunile bazinelor . . . . .	67
b. - căptușirea fundului bazinelor . . . . .	69
c. - influența poziției nivelului hidrostatic . . . . .	69
d. - grosimea stratului de apă din bazin . . . . .	69
e. - influența regimului de infiltraare . . . . .	70
f. - alimentarea bazinelor . . . . .	70
g. - randamentul bazinelor de infiltraare . . . . .	71
h. - zona nesaturată . . . . .	72
3.3.2. Exploatarea amenajărilor cu bazine de infiltraare . . . . .	72
3.3.2.1. Colmatarea bazinelor de . . . . . infiltraare. . . . .	74
3.3.2.2. Exploatarea bazinelor de . . . . . infiltraare. . . . .	78
3.3.2.3. Aspecte economice privind . . . . . exploatarea bazinelor . . . . .	80
3.4. Concluzii generale. . . . .	82
<b>Capitolul 3. STUDIUL METODELOR UTILIZATE LA DIMENSIONAREA BAZINELOR DE INFILTRARE</b>	
4.1. Schematizarea fazelor de scurgere sub bazinele de infiltraare . . . . .	85
- faza 1: avansarea frontului de apă . . . . .	86
- faza 2: scurgerea mixtă . . . . .	87
- faza 3: filtrația apei. . . . .	87

4.2.	Reflectarea elementelor geometrice și hidraulice ale bazinilor de infiltrare asupra debitului infiltrat. . . . .	89
4.2.1.	Adâncimea inițială a nivelului hidrostatic . . . . .	89
4.2.2.	Grosimea stratului de apă din bazin . . . . .	90
4.2.3.	Forma bazinului . . . . .	90
4.2.4.	Caracteristicile geometrice ale stratului filtrant. . . . .	91
4.3.	Dimensionarea bazinului cu ajutorul unor relații cunoscute la fenomene similare . . . . .	91
4.3.1.	Exfiltrarea apei din canale . . . . .	91
4.3.2.	Infiltrarea apei prin malurile râurilor . . . . .	95
	- pat impermeabil orizontal . . . . .	96
	- pat impermeabil descendent . . . . .	97
	- pat impermeabil ascendent . . . . .	98
4.3.3.	Infiltrarea apei prin malurile râurilor, către puțurile de captare . . . . .	99
4.4.	Dimensionarea bazinilor cu ajutorul unor formulări specifice proceselor de infiltrare-percolare-filtrare . . . . .	101
4.4.1.	Mișcarea apei din bazinele de infiltrare către pânze de apă subterană situate la adâncime. . . . .	102
	a. - infiltrarea apei din bazine delimitate de un contur poligonal regulat. . . . .	102
	b. - infiltrarea apei din bazine de formă dreptunghiulară alungită către straturi acvifere situate la adâncime. . . . .	104
4.4.2.	Mișcarea apei din bazine de infiltrare către pânze de apă subterană situate la adâncime mică . . . . .	107
	- Cazul 1: Bazine de infiltrare îndiguite . . . . .	108
	- Cazul 2: Bazine de infiltrare cu inundare generală . . . . .	115
4.5.	Concluzii generale . . . . .	115

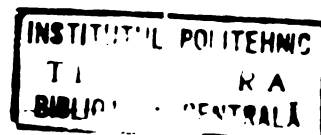
Capitolul 5. CONTRIBUTII CU PRIVIRE LA STUDIUL FILTRAȚIEI  
IN JURUL BAZINELOR DE INFILTRARE

5.1. Studiul filtrației în vecinătatea bazinelor de infiltrare cu ajutorul transformărilor conforme	119
5.1.1. Posibilitatea aplicării metodei Schwarz-Christoffel.	118
5.1.2. Studiul filtrației în jurul bazinelor de formă dreptunghiulară	122
5.2. Studiul filtrației în vecinătatea bazinelor de infiltrare, cu ajutorul funcțiilor spline complexe	130
5.2.1. Folosirea funcțiilor spline complexe la studiul filtrației	130
5.2.1.1. Determinarea funcției spline- simplă	133
5.2.1.2. Determinarea funcției spline- analitică	135
5.2.1.3. Stabilirea modelului matematic de interpolare nodală	138
5.2.2. Studiul filtrației în jurul bazinelor de formă patratică cu ajutorul funcți- ilor spline complexe	148
5.3. Concluzii	151

ANEXE

Capitolul 6. CONTRIBUTII LA MODELAREA FENOMENELOR DE  
FILTRAȚIE PRIN STRATURI ACVIFERE  
ALIMENTATE TEHNIC

6.1. Generalități.	153
6.2. Modelarea filtrației prin analogie electrooptică	154
6.2.1. Aparatura necesară modelării electrooptice.	155
6.2.2. Baza fizică a modelării electrooptice.	156
6.2.3. Formularea matematică a analogiei electrooptice.	159
a. - mișcarea apei prin medii permeabile	159
b. - trecerea curentului electric prin medii conductoare	162
c. - analogia electrooptică.	163





6.3. Studiul scurgerii plan-orizontala prin analogie electrooptica . . . . .	166
6.3.1. Mișcarea apei în jurul puțurilor de infiltrație . . . . .	166
6.3.2. Mișcarea apei de filtrație în jurul bazinelor dreptunghiulare utilizate la alimentarea straturilor acvifere. . . .	170
6.3.3. Mișcarea apei de filtrație în jurul bazinelor circulare . . . . .	172
6.3.4. Mișcarea apei subterane în jurul bazinelor de alimentare de formă dreptunghiulară în straturi exploatate prin puțuri . . . . .	174
6.3.5. Mișcarea apei subterane în jurul unei linii de alimentare cu ajutorul bazinelor de formă dreptunghiulară . . . .	176
6.4. Studiul scurgerii plan-verticală cu ajutorul analogiei electrooptice. . . . .	178
6.4.1. Bazine, canale cu secțiune transversală trapezoidală. . . . .	179
6.4.2. Bazine, canale cu secțiune transversală semicirculară . . . . .	179
6.4.3. Bazine, canale cu secțiune transversală dreptunghiulară . . . . .	179
6.4.4. Dinamica vitezei de percolare plan-verticală . . . . .	180
6.5. Concluzii. . . . .	180

ANEXE

Capitolul 7. CONCLUZII

7.1. Probleme generale privind alimentarea tehnică a straturilor acvifere . . . . .	182
7.2. Necesitatea practică a aprofundării teniei. . .	183
7.3. Importanța cunoașterii caracteristicilor hidrogeologice a straturilor acvifere alimentate tehnic . . . . .	184
7.4. Principii de alcătuire și de exploatare a amenajărilor de alimentare a straturilor acvifere . . . . .	186
7.4.1. Condiții hidrogeologice necesare amenajărilor de alimentare tehnică . . . . .	186

7.4.2. Metode utilizate în amenajările de alimentare tehnică. Alcătuirea amenajărilor cu bazine de infiltrare . . . . .	187
7.5. Metode utilizate la dimensionarea bazinelor de infiltrare . . . . .	189
7.6. Contribuții cu privire la studiul teoretic al mișcării apei subterane în vecinătatea bazinelor de infiltrare . . . . .	190
7.6.1. Studiul filtrației cu ajutorul transformărilor conforme . . . . .	190
7.6.2. Studiul filtrației cu ajutorul funcțiilor spline complexe . . . . .	192
7.7. Contribuții cu privire la studiul experimental al mișcării apei subterane în vecinătatea bazinelor de infiltrare, cu ajutorul analogiei electrooptice . . . . .	193
7.7.1. Aparatura necesară modelării electrooptice . . . . .	194
7.7.2. Fenomene hidraulice cercetate . . . . .	194

A N E X E