

5. FILTRAREA

5.1. Considerații generale

Filtrarea este o metodă de separare a impurităților solide din fluide în urma curgerii prin medii poroase permeabile, denumite medii filtrante sau filtre (fig. 5.1).

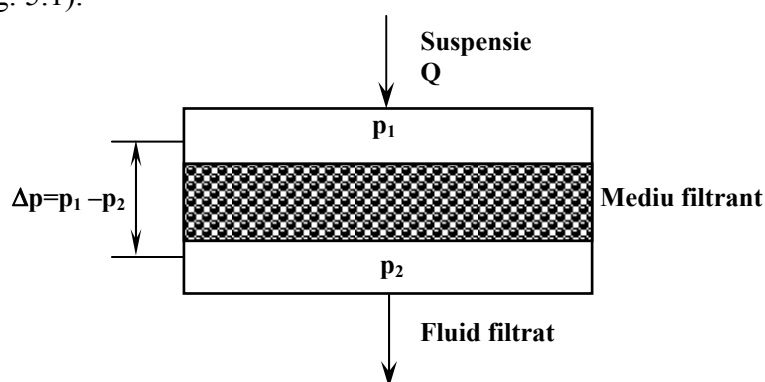


Fig. 5.1. Schema principiului filtrării

Curgerea fluidului supus filtrării (suspensia) cu debitul Q prin mediul filtrant, se produce sub acțiunea diferenței de presiune (căderea de presiune) Δp dintre presiunea p_1 din amonte și p_2 din aval de filtru. Această cădere de presiune poate fi asigurată de următoarele condiții: forța gravitațională, presiunea fluidului, vacuumul din aval de filtru, forța centrifugă (cazul aplicării separatoarelor centrifugale ca instalații de filtrare).

Noțiunii de filtrare i se poate atribui și posibilitatea separării componentelor unor sisteme (amestecuri) omogene lichide sau gazoase, utilizând straturi granulare active ca de exemplu: înlăturarea substanțelor colorate sau rău mirositoare cu ajutorul cărbunelui activ, dedurizarea cu

schimbători de ioni, separarea componentelor nocivi din aerul poluat cu filtrele măștilor de gaze, separarea prin cromatografie. Aceste procese se bazează pe efectele proceselor de adsorbție ori ale reacțiilor chimice pe suprafața granulelor stratului filtrant activ.

În comparație cu celelalte metode sau procedee de separare, filtrarea nu este condiționată de diferența densităților fazelor care se separă. În acest capitol se vor trata bazele teoretice ale filtrării sistemelor fluid – solid.

Filtrarea poate asigura următoarele operații de separare grupate astfel:

- separarea impurităților solide;
- purificarea (limpezirea) fluidului;
- filtrarea de siguranță;
- separarea grosieră.

O comparație sintetică a posibilităților de filtrare prin aceste categorii de separare este redată în tabelul 5.1.

Tabelul 5.1. Categoriile de separare prin filtrare

	Operații			
	Separarea solidelor	Purificarea	Filtrarea de siguranță	Separarea grosieră
Concentrația solidului	Medie spre ridicată	Scăzută (0,1–5%)	Foarte scăzută (<0,05%)	Foarte scăzută (<0,05%)
Finețea de filtrare	Medie (>5–10 μm)	Fină (submicronică)	Fină (0,25–10 μm)	Grosieră
Recuperarea fazei lichide	da	da	da	da
Recuperarea fazei solide	da	uneori	nu	nu

Separarea impurităților solide are ca scop înlăturarea solidelor dintr-o suspensie relativ concentrată.

Se pot distinge câteva categorii de separare:

- filtrarea simplă (fără spălare și stoarcere);
- filtrarea urmată de stoarcere cu aer sau gaz comprimat;
- filtrarea, spălarea simplă și stoarcerea;

- filtrarea, spălări multiple și stoarcerea;
- filtrarea solidelor îndesate (îngroșate);
- filtrarea și repunerea în suspensie a concentratului solid.

Purificarea (limpezirea) constă în eliminarea unei cantități relativ mici de solide fine sau coloizi aflați în suspensie în fluidul de purificat. Limita concentrațiilor între filtrarea prin „separarea de solide” și „purificarea (limpezire)” se situează între 0,1 la 0,15 % (procente de masă).

Anumite filtre de limpezire nu permit recuperarea materiilor solide în stare pură, acestea fiind reținute sau amestecate în interiorul mediului filtrant (filtre de nisip, cartușe filtrante).

Operația de limpezire (purificare) care include și microfiltrarea, se aplică în următoarele cazuri:

- pentru obținerea unui fluid curat, limpede, clar sau transparent;
- pentru a facilita tratamente ulterioare;
- pentru protejarea instalațiilor contra abraziunii mecanice produse de impuritățile solide.

Se pune întrebarea dacă un filtru care permite separarea solidelor din lichide poate asigura și limpezirea lichidelor. Experiența arată că filtrele care permit separarea solidelor sub formă de „turtă” (cake) nu asigură totdeauna purificarea sau limpezirea satisfăcătoare, fiind necesară o operație suplimentară de filtrare secundară denumită „filtrare fină prin microfiltrare”.

Filtrarea de siguranță are ca scop eliminarea impurităților care se găsesc accidental într-un fluid deja curățit (de exemplu filtrarea uleiului de masă înainte de îmbutelieri). Nu există limite de comparație între filtrarea de limpezire sau purificare de filtrarea, de siguranță, iar aceleași filtre pot fi utilizate în ambele cazuri.

Separarea (filtrarea) grosieră, se aplică pentru eliminarea impurităților de dimensiuni mari existente în cantități mici în fluid. Se utilizează fie ca operație preliminară de prefiltrare (înaintea filtrării propriu-zise), fie pentru protejarea aparaturii și utilajelor tehnologice, schimbătoare de căldură, pompe sau aparataj hidraulic.

5.2. Medii și materiale filtrante

Materialele utilizate ca elemente filtrante trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- caracteristici filtrante ridicate (permeabilitate sau capacitate de curgere și capacitate de filtrare);
- posibilitatea regenerării ușoare a structurii permeabile prin decolmatare;
- rezistență mecanică suficientă pentru solicitările exterioare (presiunea de lucru a fluidului, solicitările din timpul procesărilor mecanice);
- rezistență la acțiunea corozivă a fluidului;
- să permită evacuarea completă a turtei depuse;
- cost scăzut;
- prelucrabilitate bună în timpul procesărilor tehnologice de fabricare.

În practica filtrării se utilizează o multitudine de medii și materiale filtrante. Materialele filtrante sunt materiale poroase permeabile, de regulă dispuse în straturi de grosime corespunzătoare, sub formă de membrane sau în vrac (granulare).

Oricare ar fi natura materiei primare din care este confecționat mediul filtrant (metalică, nemetalică, organică, minerală, sintetică, vegetală, animală), modul de împachetare și arhitectura structurii poroase permeabile, un corp poros permeabil filtrant este considerat ca fiind constituit din două faze componente: scheletul solid (matricea solidă) și rețeaua porilor intercomunicanți. Matricea solidă de bază asigură forma fizică a mediului sau elementului filtrant și capacitatea portantă la solicitările mecanice exterioare în funcționare. Rețeaua porilor intercomunicanți înconjoară faza solidă, asigurând funcțiile de filtrare: permeabilitatea și capacitatea de filtrare. Cele două faze se determină reciproc una pe cealaltă. Astfel, dacă proporția volumică procentuală a uneia crește, cealaltă scade procentual în mod corespunzător.

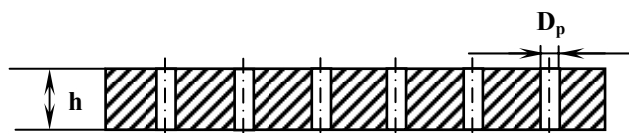


Fig. 5.2. Mediul poros permeabil ideal

Sistemul permeabil ideal (fig. 5.2) ar putea fi reprezentat de o membrană subțire, pătrunsă în direcția de filtrare, de un sistem de canale cilindrice uniform distribuite de același diametru D_p , având lungimea egală cu grosimea h , a plăcii. În unele studii, sistemul poros ideal este utilizat ca model teoretic pentru sistemele filtrante reale, care se bazează pe porii intercomunicanți. Totuși deosebirea mare între cele două structuri, precum și caracterul curgerii fluidului prin ele face ca cele două sisteme să nu fie similare.

5.2.1. Materiale filtrante sinterizate

Sistemul poros ideal sinterizat din pulberi care poate fi generalizat pentru majoritatea sistemelor filtrante, este alcătuit din particule sferice monogranulare în diferite aranjamente spațiale (fig. 5.3 a, b). În practică, aceste sisteme se realizează doar în condiții speciale, care din punct de vedere tehnologic sunt neeficiente, deoarece necesită operații de sortare speciale pentru obținerea fracțiilor monogranulare de pulbere.

Sistemul poros ideal sinterizat, prezintă modelul simplificat al sistemului poros real, determinat de un aranjament neordonat al particulelor de formă neregulată și de diferite mărimi (fig. 5.3 c).

Sistemele poroase reale sinterizate prezintă o varietate mare de modele determinate de forma și dimensiunea porilor, de orientarea lor în spațiu, datorită modului de așezare al granulelor, de mărimea și forma acestora.

Asemenea structuri poroase existente în practică (prezentate în figura 5.4), sunt obținute prin sinterizarea pulberilor metalice din diferite forme geometrice ale particulelor (a – structuri din pulbere sferică de bronz; b –

structuri din pulbere sferică de inox; c – idem din pulbere neregulată). Se constată forma neregulată și mărimea diferită a porilor, datorită aranjamentului neordonat al granulelor pulberii, precum și datorită formei și mărimii acestora.

Figura 5.5 redă imaginea elementelor filtrante de diferite forme geometrice obținute prin procedeele metalurgiei pulberilor din pulberi de inox, bronz și ceramice.

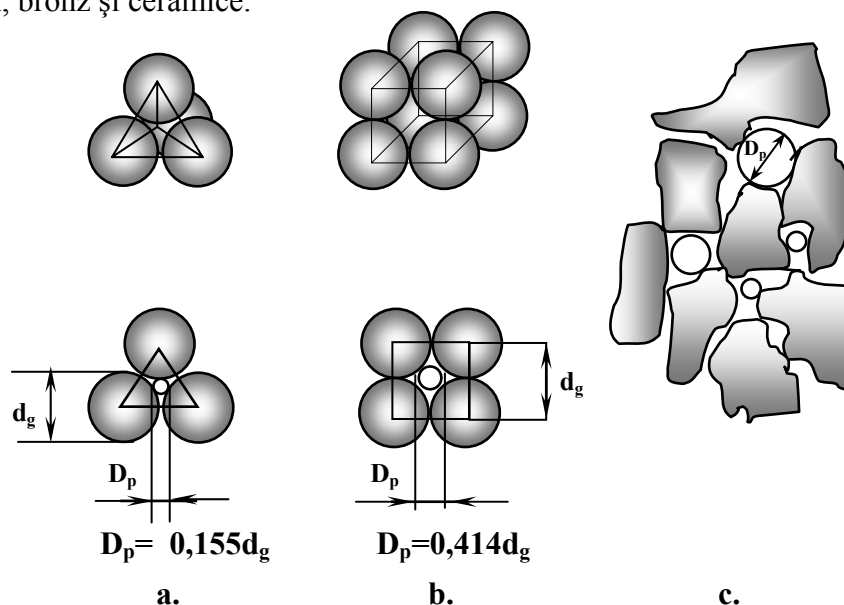


Fig. 5.3. Sisteme poroase din pulbere. a. aranjament tetraedric, b. aranjament cubic; c. aranjament din pulberi de formă neregulată

Studiul și caracterizarea cât mai perfectă a funcțiilor filtrante și a comportării mecanice a materialelor filtrante, impune definirea și conceperea structurii unui model poros teoretic de tip globular. Considerăm că un asemenea sistem, din punct de vedere macrostructural, este binar fiind compus din două faze. Matricea solidă spațială preia funcțiile de structură de rezistență a corpului poros. A doua fază este reprezentată de sistemul spațial al porilor, de regulă intercomunicanți, care înconjoară faza solidă și care completează sistemul structural al unui material poros sinterizat. Sistemul spațial al porilor intercomunicanți realizează procesele de filtrație și oferă posibilitatea curgerii fluidelor prin corpul poros.

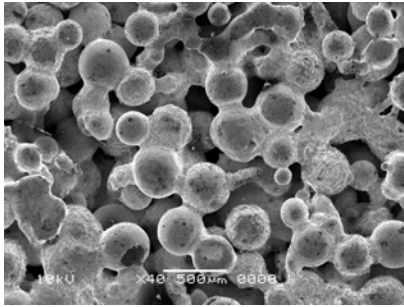
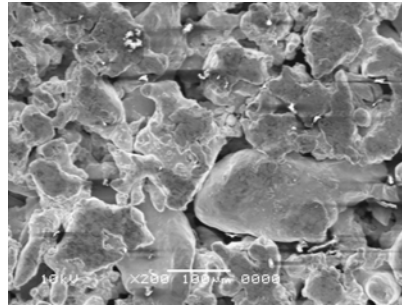
**a.****b.****c.**

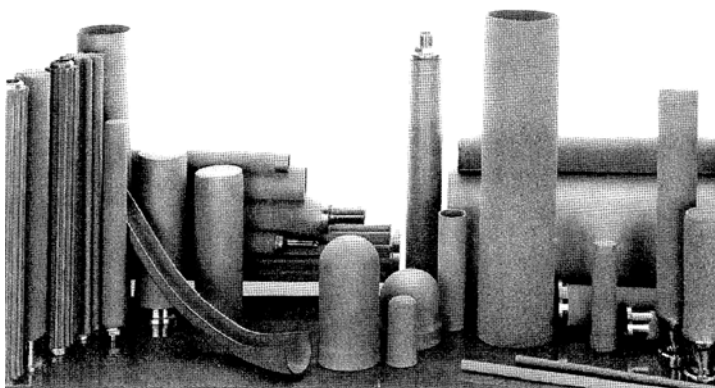
Fig. 5.4. Structuri permeabile sinterizate din: a. pulbere sferică din bronz; b. pulbere sferică inox; c. pulbere de formă neregulată din inox

Materialul filtrant sinterizat, poate fi generalizat și pentru studiul celorlalte tipuri de medii poroase, având în vedere complexitatea structurii poroase permeabile. Astfel, parametrii structurilor permeabile și caracteristicile funcționale filtrante vor fi definite pentru cazul general al materialelor sinterizate.

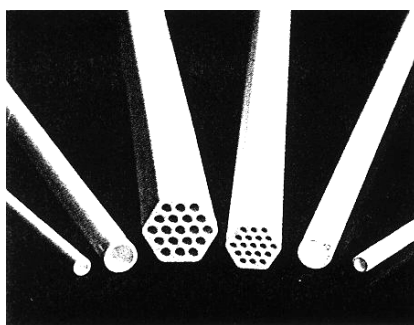
Un alt tip de sistem permeabil este sistemul poros cu structură variabilă pe grosime, denumit structură permeabilă cu gradient structural (fig. 5.6). O asemenea structură prezintă calități de filtrație și permeabilitate mult îmbunătățite.

Structura poroasă variabilă este caracterizată de modificarea pe grosime a parametrilor structurali: porozitatea, dimensiunea porilor, suprafața specifică, datorită, în principal fracțiilor granulometrice ale pulberii utilizate. Această structură își pune amprenta asupra funcționalității în sensul posibilității îmbunătățirii proprietăților filtrante: capacitatea de

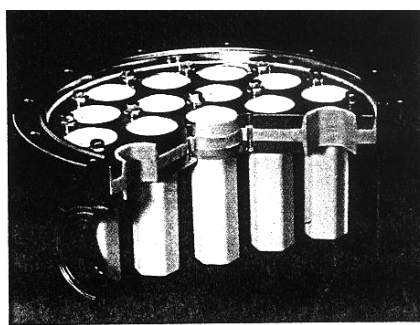
reținere a impurităților, finețea de filtrare, potențialul capilar și chiar permeabilitatea.



a.



b.



c.

Fig. 5.5. Exemple de filtre sinterizate. a. oțel inox; b. bronz; c. ceramică

Structura constă din 2 – 3 straturi poroase obținute prin sinterizarea unor fracții granulometrice diferite de pulberi având diverse forme ale granulelor: sferice, neregulate și combinații de amestec ale acestora (fig. 5.6).

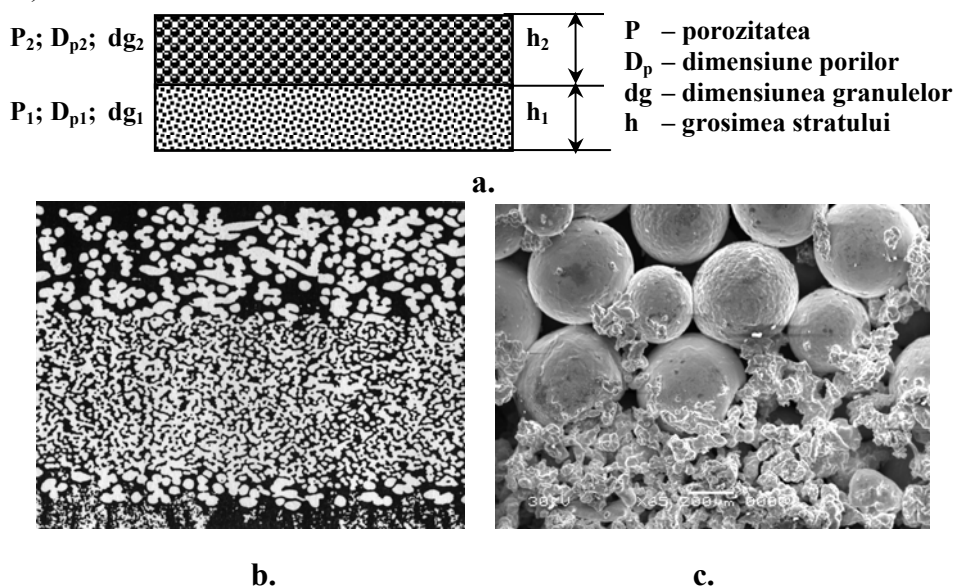


Fig. 5.6. Structură permeabilă graduală. a. model teoretic; b. c. structură sinterizată bistrat

Cercetările experimentale asupra structurilor poroase graduale (compuse din straturi cu parametri structurali diferiți: P_1 , D_{p1} ; respectiv P_2 , D_{p2}) arată că permeabilitatea, capacitatea de reținere a impurităților și potențialul capilar sunt substanțial îmbunătățite în comparație cu structura poroasă uniformă monostrat.

Mărimea porilor, porozitatea și permeabilitatea cresc odată cu descreșterea grosimii stratului poros activ.

Structura poroasă multistrat poate fi optimizată în sensul obținerii caracteristicilor funcționale filtrante dorite, prin combinarea valorilor grosimilor straturilor, a mărimii, distribuției granulometrice și forme granulelor pulberii precum și prin alegerea corespunzătoare a parametrilor tehnologici: procedeu de fabricare, presiune de compactizare, regim de sinterizare.

5.2.2. Porozitatea

Porozitatea se definește prin raportul dintre volumul porilor și volumul total al materialului poros.

Astfel, porozitatea totală P a unui corp poros se calculează cu relația:

$$P = \frac{V_p}{V} \quad (5.1)$$

$$P = \frac{V_p}{V} = \frac{V - V_m}{V} = 1 - \frac{V_m}{V} = 1 - \frac{\frac{m_1}{\rho_m}}{\frac{m_1}{\rho}}$$

$$\text{de unde: } P = 1 - \frac{\rho}{\rho_m} \quad (5.2)$$

$$\text{dar: } \rho = \frac{m_1}{V}$$

$$P = 1 - \frac{m_1}{V \cdot \rho_m} \quad (5.3)$$

unde: m_1 – este masa probei poroase uscate;

V_p – volumul porilor;

V_m – volumul materialului compact (matricei metalice);

V – volumul total al corpului poros;

ρ – densitatea materialului poros;

ρ_m – densitatea materialului compact (matricei metalice).

$C_p = \rho/\rho_m$ reprezintă compactitatea materialului poros, deci:

$$P = 1 - C_p \quad \text{sau} \quad P (\%) = 100 - C_p(\%)$$

În materialele poroase se deosebesc trei tipuri de pori (fig.5.7): deschiși (intercomunicanți), înfundați și închiși.

Porii deschiși sau intercomunicanți, comunică atât între ei cât și cu suprafețele exterioare ale corpului poros, îndeplinind funcția de filtrare și de permeabilitate a lichidelor sau gazelor, în prezența gradientului de presiune.

Totalitatea porilor deschiși determină porozitatea intercomunicantă P_1 a materialului poros. Porii închiși (porozitatea P_3) și cei înfunđați (P_2) nu asigură permeabilitatea și nu prezintă interes din punct de vedere al proprietăților filtrante.

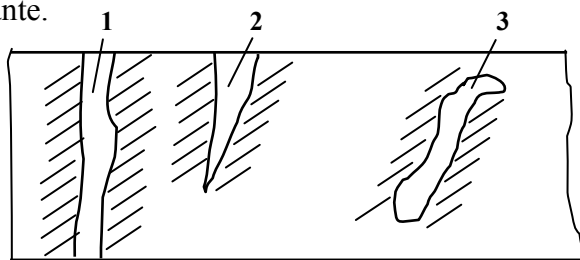


Fig. 5.7. Tipuri de pori în mediul permeabil. 1 – pori deschiși;
2 – pori înfunđați; 3 – pori închiși

Pentru determinarea porozității deschise nu există o metodă sigură și precisă. Conform SR –ISO 2738, porozitatea deschisă se determină prin impregnarea totală, în vid (sau prin fierbere) a probei poroase cu un lichid insolubil în apă (de exemplu parafina). După scoaterea epruvetei din lichid, se face cântărirea după indicațiile standardului și se calculează porozitatea cu relația:

$$P_d = \frac{(m_2 - m_1) \cdot \rho_w}{(m_2 - m_3) \cdot \rho_L} \cdot 100 \quad (\%) \quad (5.4)$$

unde: m_1 este masa probei poroase cântărită în aer înainte de impregnare cu parafină;

m_2 – masa probei cântărite în aer după impregnare;

m_3 – masa probei cântărite în apă;

ρ_w – densitatea apei [g/cm^3];

ρ_L – densitatea lichidului de impregnare [g/cm^3].

Metoda descrisă se utilizează în cazul unor probe de formă neregulată când este dificil calculul precis al volumului.

Principalii factori de influență asupra porozității unor materiale permeabile sinterizate sunt factorii tehnologici: presiunea de compactizare, regimul de sinterizare (temperatura și durata de sinterizare), fracția granulometrică a pulberii, forma granulelor și procedeul de compactizare.

Porozitatea ca parametru structural poate fi considerată factor de influență orientativ asupra unor caracteristici funcționale filtrante ale structurilor poroase permeabile: permeabilitatea și capacitatea de filtrare.

Analiza rezultatelor cercetărilor arată că uniformitatea porozității deschise a corpului poros depinde de o serie de factori din care cei mai importanți sunt: distribuția uniformă a mărimii granulelor în amestecul de pulberi și regimurile tehnologice utilizate la fabricare (presiunea de compactizare, temperatura de sinterizare, etc.).

Pentru obținerea pieselor poroase cu o distribuție uniformă a porozității, se propune utilizarea procedeele de presare izostatică, laminarea sau presărarea liberă a straturilor de pulbere (urmată de netezire) într-un domeniu îngust de fracțiune granulometrică a pulberii.

5.2.3. Dimensiunea porilor

Dimensiunea maximă a porilor echivalată cu ***diametrul maxim echivalent al porilor***, este o caracteristică structurală importantă în cazul filtrelor, deoarece determină dimensiunea maximă teoretică a granulelor impurităților care pot trece prin filtru.

Dimensiunea medie a porilor este o mărime de comparație între diferite structuri poroase permeabile și de asemenea ca parametru în diferite legi de variație ale unor proprietăți.

Distribuția dimensiunii porilor reprezintă o imagine asupra numărului sau volumului porilor de aceeași mărime și domeniul de variație a mărimii porilor în întregul material poros.

Cele mai utilizate metode de determinare a dimensiunii porilor (D_p) sunt: studiul microfotografiilor (analiza prin microscopie electronică), impregnarea cu mercur (porometria cu mercur) și eliminarea lichidului din pori (metoda buloscopică).

Studiul microfotografiilor se bazează pe analiza imaginii probelor metalografice în secțiune transversală a materialului poros și măsurarea dimensiunii unui număr mare de pori, ținându-se seama de mărirea utilizată.

Metoda impregnării cu mercur se bazează pe proprietatea acestuia de a nu umecta un corp solid adică de a pătrunde relativ ușor în pori prin aplicarea unei presiuni. Pentru introducerea mercurului în porii materialului poros este necesară o forță determinată de tensiunea superficială, respectiv forța capilară. Condiția de echilibru între forța determinată de tensiunea superficială σ și forța dată de presiunea p exercitată asupra mercurului se poate scrie astfel:

$$\pi \cdot D_p \cdot \sigma \cdot \cos \theta = \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} \cdot p \quad (5.5)$$

unde: θ este unghiul de umectare.

Rezultă:

$$D_p = \frac{4 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{p} \quad (5.6)$$

Principiul de măsurare a dimensiunii porilor D_p prin metoda impregnării cu mercur constă în necesitatea măririi presiunii p_i a mercurului pentru impregnarea unor pori cu dimensiuni D_p din ce în ce mai reduse (fig.5.8. a).

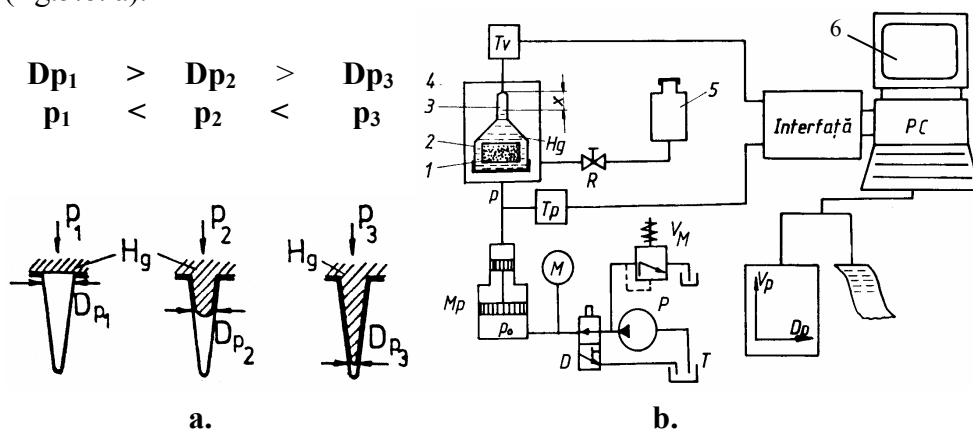


Fig. 5.8. Determinarea dimensiunii porilor prin impregnare cu mercur.

a. principiul impregnării; b. schema porozimetrului cu mercur.

1 – proba poroasă; 2 – vas cu mercur; 3 – tub calibrat; 4 – cameră; 5 – vas tampon; 6 – unitate de calcul; T – rezervor; P – pompă; D – distribuitor; M_p – multiplicator de presiune; M – manometru; V_M – supapa de presiune; T_p și T_v – traductoare

O schemă de funcționare a unui porozimetru cu mercur este prezentată în figura 5.8. b. Proba poroasă 1 este introdusă în capsula 2 care are un tub calibrat demontabil 3. Capsula împreună cu proba poroasă se videază cu o pompă de vid, după care se umple cu mercur și se introduce în camera 4. Cu ajutorul pompei de ulei P și a multiplicatorului de presiune M_p , se acționează asupra mercurului prin intermediul alcoolului, ca fluid intermediar, care se află în camera 4 și vasul tampon 5. Sub acțiunea presiunii create de multiplicator, mercurul va intra în porii probei poroase, provocând scăderea nivelului cu o valoare x în tubul calibrat. Diferența de nivel x a mercurului din tubul calibrat crește cu mărirea presiunii, fiind în același timp o măsură a volumului de pori impregnați. Valori din ce în ce mai ridicate ale presiunii mercurului au ca efect impregnarea porilor de dimensiuni din ce în ce mai mici.

Măsurarea presiunii de impregnare se face cu ajutorul traductorului de presiune T_p iar traductorul de nivel T_v sesizează modificarea mercurului în tubul calibrat, pentru determinarea volumului de pori impregnați de diferite dimensiuni.

Semnalele traductoarelor sunt transmise unei unități de calcul 6, care calculează și prelucrează mărimile dorite (volumul de pori pentru fiecare dimensiune a lor, porozitatea, dimensiune maximă și medie a porilor). Un sistem de înregistrare (grafic sau numeric) redă rezultatele măsurărilor efectuate sub formă de valori calculate și (sau) sub forma grafică (histograma, curbele integrale și diferențiale ale volumului porilor la diferite dimensiuni ale porilor).

Cu ajutorul supapei V_M se reglează presiunea din circuitul de joasă presiune a multiplicatorului, și prin aceasta se modifică corespunzător presiunea mercurului impregnat.

Această metodă asigură o precizie ridicată (3 – 4) % în cazul materialelor poroase cu dimensiunea porilor cuprinsă între (0,01 – 100) μm .

Metoda eliminării lichidului din pori, este o metodă simplă ușor de aplicat în practică, fiind bazată pe folosirea interacțiunii forțelor capilare. Pentru determinarea dimensiunii porilor, în volumul ocupat de pori se

împregnează lichid care umețează porii. Standardele recomandă următoarele lichide de impregnare care umețează perfect materialul poros: metanolul, etanolul, izopropanolul și tetracolorura de carbon (SR ISO 4003).

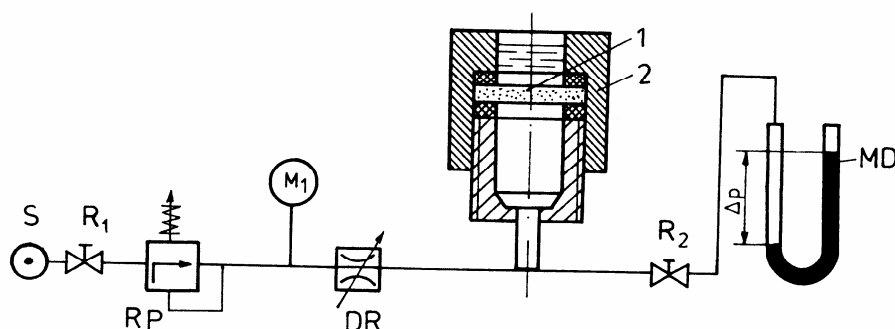


Fig. 5. 9. Schema instalației pentru determinarea dimensiunii porilor.
S – sursa de aer comprimat; RP – regulator de presiune; M1 și MD – manometre; DR – drosel; R1 și R2 – robinete; 1 – proba poroasă; 2 – dispozitiv de fixare

Schema instalației pentru determinarea diametrului maxim și a diametrului mediu al porilor este prezentată în figura 5.9. Proba poroasă 1 se îmbibă cu lichidul de încercare și se montează etanș în dispozitivul de fixare 2, fiind acoperită cu un strat de (3 – 5) mm grosime din același lichid. Mărind lent, cu ajutorul droselului DR, debitul (respectiv presiunea aerului) până ce apare prima bulă de aer la suprafața porului probei poroase, se citește presiunea la manometrul diferențial MD. Pentru calculul diametrului maxim al porilor se poate utiliza relația:

$$D_{p \max} = \frac{4 \cdot \sigma}{\Delta p} \quad (5.7)$$

unde σ este tensiunea superficială a lichidului din pori ($\theta = 0$) și Δp presiunea citită la manometrul diferențial. Mărind în continuare presiunea aerului până când apar o serie de bule relativ uniform distribuite pe întreaga suprafață filtrantă, valoarea acestei presiuni corespunde calculului diametrului mediu al porilor.

Valorile diametrelor porilor obținute cu relația de mai sus pe baza experienței prezentate, corespund unor pori cu secțiune circulară. În cazul porilor de formă neregulată este necesară o corecție a valorii obținute.

Cea mai deplină imagine asupra structurii materialului poros o dă distribuția dimensiunii porilor, sub forma dependenței numărului porilor sau a volumului în funcție de dimensiunea lor.

Pentru stabilirea acestei distribuții se utilizează metoda porometriei cu mercur, metoda eliminării lichidului din pori, studiul microfotografiilor suprafeței poroase, absorbția gazelor, metoda radiometrică, analiza liniară etc.

Datele experimentale obținute servesc la ridicarea histogramei, curbei integrale și la stabilirea legii de distribuție. În cazul unei distribuții normale, legea de distribuție se scrie cu relația:

$$f_i = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp \left[-\frac{(D_{pi} - D_{pmed})^2}{2 \cdot \sigma^2} \right] \quad (5.8)$$

unde σ este abaterea medie pătratică, data de expresia:

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (D_{pi} - D_{pmed})^2 \cdot \frac{\Delta V_i}{\sum_{i=1}^n \Delta V_i}} \quad (5.9)$$

D fiind dispersia.

Dimensiunea medie a porilor se calculează cu relația:

$$D_{pmed} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta V_i \cdot D_{pi}}{\sum_{i=1}^n \Delta V_i} \quad (5.10)$$

unde: D_{pi} este diametrul mediu al porilor din intervalul i ;

ΔV_i – volumul, corespunzător porilor cu diametrul D_{pi} .

Într-o formă analogă se poate scrie relația de calcul a diametrului mediu al porilor, luând în calcul numărul N_i al porilor din fiecare interval de dimensiuni:

$$D_{p \text{ med}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot D_{p i}}{\sum_{i=1}^n N_i} \quad (5.11)$$

Valorile mărimilor care intră în relațiile de calcul a diametrului mediu a porilor $D_{p \text{ med}}$ se citesc din histograma sau curbele de distribuție diferențiale și integrale ridicate pe baza datelor experimentale.

Condițiile de determinare a distribuției dimensiunii porilor și parametrilor de calcul sunt prescrise în standardele ASTM E 1294 – 89.

Un exemplu de formă a curbei de distribuție al mărimii porilor este redată în figura 5.10.

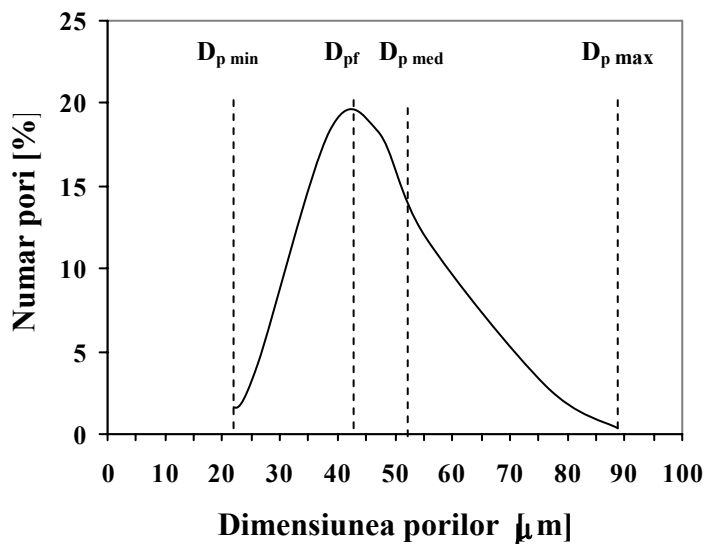


Fig. 5.10. Distribuția mărimii porilor: $D_{p \text{ med}}$ – diametrul mediu al porilor (la jumătatea curbei de distribuție); $D_{p f}$ – diametrul celui mai frecvent por; $D_{p \text{ max}}$ – diametrul celui mai mare por; $D_{p \text{ min}}$ – diametrul celui mai mic por

Maximul curbei corespunde diametrului celui mai frecvent al porilor ($D_{p f}$). Diametrul mediu ($D_{p \text{ med}}$) corespunde ordonatei care împarte suprafața de sub curbă în două jumătăți egale.

5.2.4. Suprafața specifică a porilor

Suprafața specifică a porilor este o caracteristică structurală importantă în cazul utilizării materialelor poroase ca schimbătoare de căldură, amortizoare de zgomot și în general la piesele care necesită suprafață specifică mare (electrozi poroși, catalizatori, etc.).

Prin suprafața specifică a porilor se înțelege suprafața totală a porilor intercomunicanți dintr-o unitate de volum și depinde de porozitatea materialului și de dimensiunile particulelor pulberii.

În cazul general suprafața specifică a porilor se determină cu relația:

$$S_{sp} = \frac{\int_0^l \frac{P_p \cdot S_p}{F_p} \cdot dl}{V} \quad (5.12)$$

unde: P_p este perimetrul porului,

l – lungimea porului,

V – volumul corpului poros,

F_p – aria secțiunii transversale a unui por,

S_p – secțiunea golurilor din suprafața unitară a corpului poros.

Parametrii P_p , S_p și F_p pentru corpurile poroase reale se determină experimental prin studiul microfotografiilor secțiunilor.

În cazul sistemului poros sinterizat ideal, alcătuit din particule sferice monogranulare, relația de mai sus devine:

$$S_{sp} = \frac{6 \cdot (1 - P)}{d_g} \quad (5.13)$$

unde: d_g este diametrul particulei pulberii inițiale;

P – porozitatea.

Determinarea suprafeței specifice a porilor se face prin evaluarea cantității de gaz absorbit în pori, cu ajutorul unor aparaturi adecvate.

5.3. Sisteme permeabile din împâslituri fibroase

Materialele poroase permeabile din fibre (fetre - fig.5.11) pot fi obținute prin operația de depunere a fibrelor în straturi urmată de presare, laminare și/sau sinterizare.

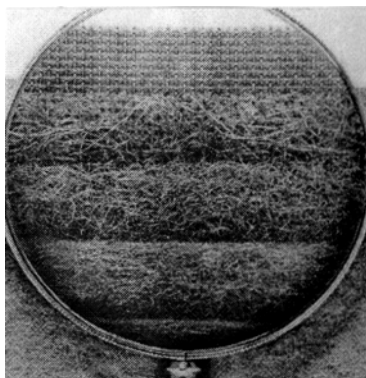


Fig. 5.11. Sistem permeabil din fetre metalice

Fetrul este un material filtrant format din fibre scurte cu diametre cuprinse între 0,5 și 30 μm dispuse haotic, mai mult sau mai puțin comprimate, cu sau fără liant.

Se folosesc fibre:

- naturale (lână, bumbac);
- metalice: inox, nichel, etc;
- minerale: ceramice, carburi, sticlă, azbest, etc;
- sintetice – (materiale plastice).

Finețea de filtrare și celelalte caracteristici filtrante, pe care le pot asigura sunt în funcție de diametrul fibrelor, modul de împachetare și de tasare.

Comercial, fetrele pot fi prezentate sub formă de plăci plane și tuburi, de diferite grosimi, dimensiuni și secțiuni, armate cu structuri mai rezistente. Cu cât diametrul fibrelor este mai redus, cu atât structura poroasă obținută este mai fină, cu pori mai mici și deci finețe de filtrare ridicată.

Fetrele asigură filtrarea în profunzime cu finețe de filtrare (5 – 10) μm dar posedă rezistență mecanică redusă, permeabilitate mică și posibilități de spălare (curățare) slabe.

În categoria fetrelor se poate include și hârtia de filtru.

Structura poroasă este determinată de forma și mărimea fibrelor (raportul între diametru și lungime), de procedeul de formare (pâslire și /sau laminare) și/sau de regimul de sinterizare.

Mărimea porilor este influențată de porozitatea P și de dimensiunea d_s a fibrei.

$$D_{p\ med} = P \cdot \frac{d_s}{1 - P} \quad (5.14)$$

Creșterea porozității și a diametrului fibrelor determină creșterea mărimii porilor.

În comparație cu structurile poroase din pulberi sinterizate, sistemele poroase din fibre sinterizate se caracterizează prin următoarele avantaje:

- uniformitatea mai mare a distribuției porozității și a mărimii porilor cu influență directă asupra caracteristicilor filtrante;
- permeabilitatea crește cu diametrul fibrelor;
- proprietățile mecanice sunt influențate de natura și starea materialului fibrei, de numărul contactelor și mărimea punților de sinterizare între fibre;
- rezistența la rupere, plasticitatea (alungirea relativă poate atinge 10%) și reziliența sunt considerate mai mari, la aceeași porozitate.

Prin urmare, materialele permeabile cu sistem poros din fibre metalice sinterizate sunt superioare celor cu sistem poros din pulberi prin caracteristicile de rezistență mecanică și prin uniformitatea structurii.

5.4. Sisteme filtrante înfășurate

Sistemul permeabil cel mai evoluat, având o structură poroasă cu grosime minimă posibilă, poate fi realizat prin înfășurarea în (1–3) straturi a

sârmei pe un suport permeabil, de obicei, de formă cilindrică – tubulară (fig. 5.12). Prin modificarea dimensiunii secțiunii sârmei, a pasului de înfășurare, a formei profilului sârmei și numărului de straturi înfășurate, se pot obține structuri permeabile înfășurate de grosime mică, dimensiuni de pori variabile, controlabile, permeabilitate ridicată, finețe de filtrare dirijabilă, uniformitatea caracteristicilor filtrante pe toată suprafața permeabilă înfășurată, rezistență hidraulică minimă.

Se practică, în general, înfășurarea a două straturi de sârmă în scopul îmbunătățirii proprietăților filtrante, a fineței de filtrare și a capacității de reținere a impurităților în cazul utilizărilor ca elemente filtrante.

Diversele profile de sârmă, se pot obține fie direct prin procedeele de tragere sau laminare, fie deformarea sârmei rotunde prin aplatizare și răsucire, fie prin spiralare pe miez (fig. 5.12).

5.5. Site și rețele țesute

Sitele reprezintă unele dintre cele mai utilizate medii filtrante, cu finețe de filtrare, în general, între (15–150) μm . Pot fi confecționate din tablă perforată cu orificii de diverse profile (fig. 5.13) și mărimi și din țesături cu sârmă simplă sau împletită. Sitele din tablă perforată permit controlul perfect al dimensiunii porului (orificiului). Se fabrică din aluminiu, oțel inoxidabil, alamă. Tablele perforate pot fi utilizate și ca suport de rezistență pentru diverse elemente filtrante, mai puțin rezistente.

Sitele din sârme metalice sunt confecționate din: oțel, oțel inox, alamă, nichel, bronz, cupru, alumină, titan, argint etc.

În categoria sitelor pot fi încadrate și mediile filtrante din țesături metalice și nemetalice unistrat. Asemenea structuri permeabile se pot obține din straturi simple sau multiple suprapuse în diverse poziții ale unor rețele de obicei țesute (fig. 5.14). Câteva modele ale unor asemenea sisteme sunt redată grafic în figura 5.14. După suprapunerea straturilor se poate aplica deformarea prin aplatizare (de obicei laminare) a rețelelor urmată de sinterizare pentru consolidarea structurii multistrat.

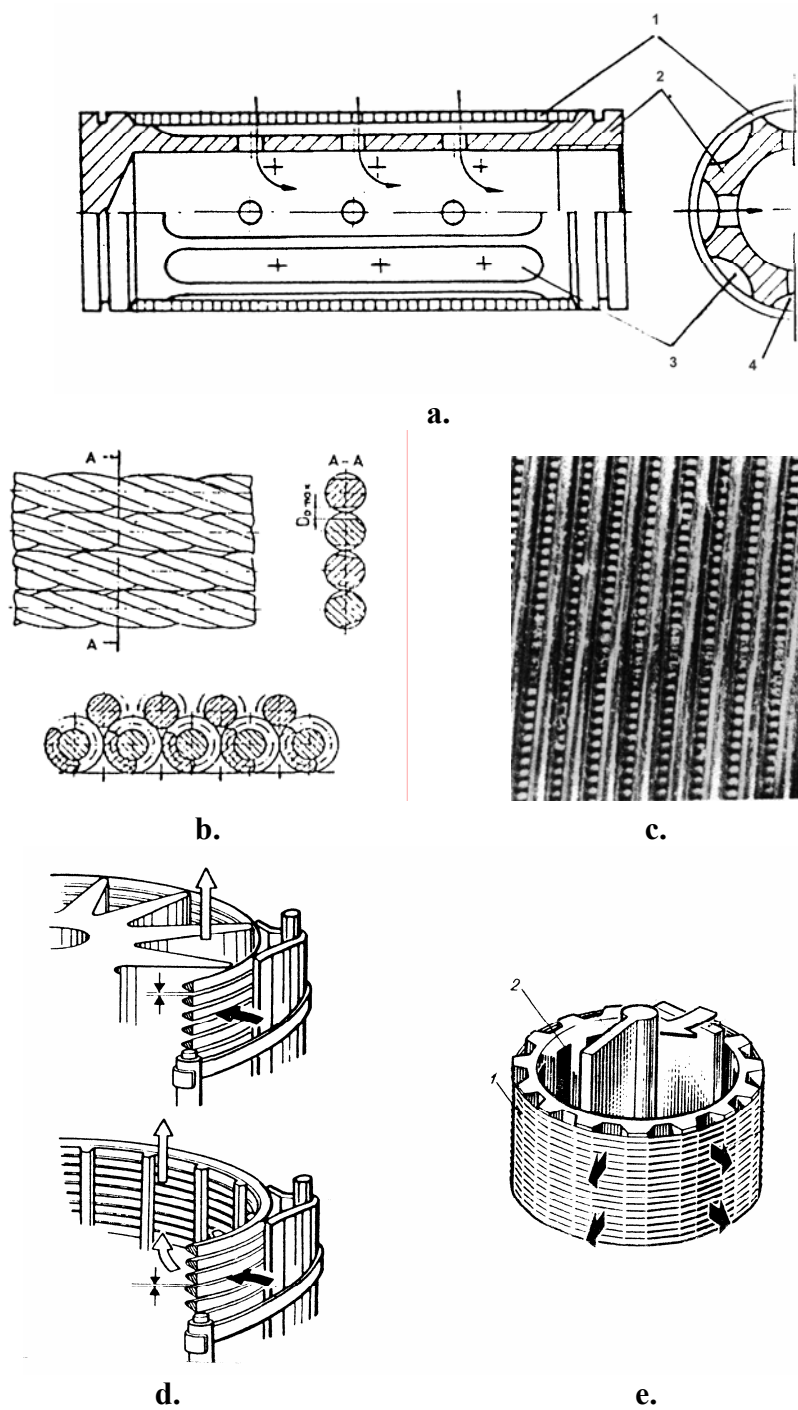


Fig. 5.12. Sisteme permeabile din sârmă înfășurată pe suport permeabil.
1. strat permeabil înfășurat; 2. suport de rezistență permeabil; 3. 4. canale

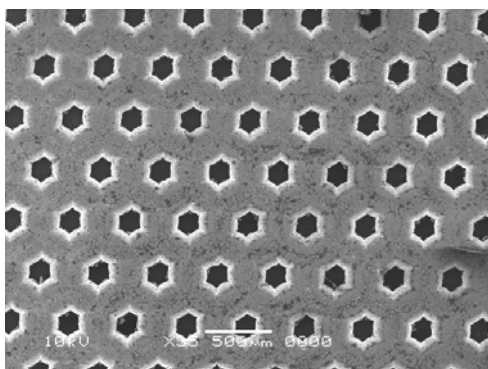
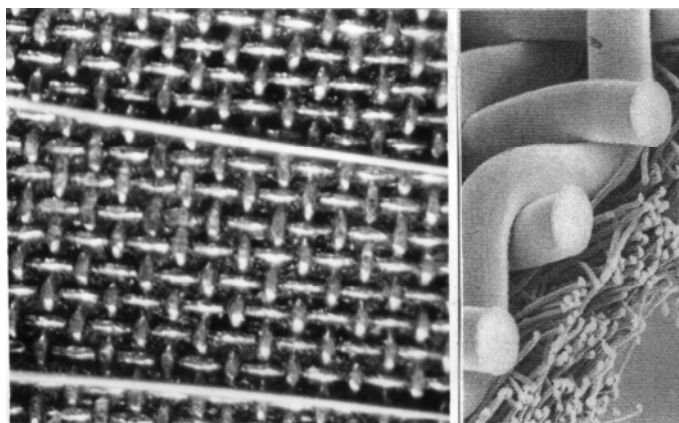
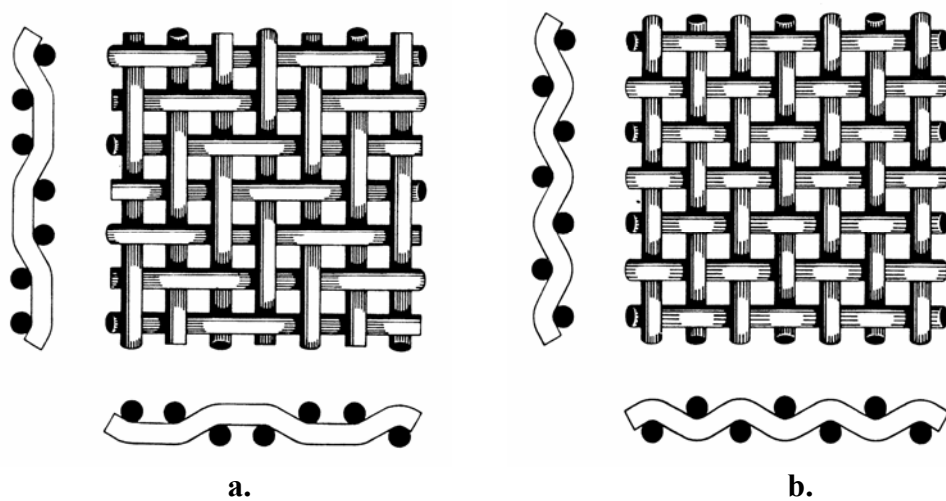


Fig. 5.13. Sită filtrantă din tablă perforată



c.

Fig. 5.14. Structură permeabilă din țesături.

Geometria rețelei metalice, natura și starea materialului sârmei, modul de dispunere în pachet, numărul straturilor, gradul de deformare și regimul de sinterizare, influențează structura permeabilă, parametrii structurali (porozitatea, dimensiunea porilor), caracteristicile filtrante și proprietățile mecanice ale materialelor poroase cu rețele metalice suprapuse sinterizate.

Porozitatea structurii poroase obținute prin suprapunerea unor rețele țesute și deformate prin comprimare și laminare se poate determina cu relațiile:

$$P = \frac{P_0 - \varepsilon}{1 - \varepsilon}, \quad \text{deformate prin compresiune} \quad (5.15)$$

$$P = 1 - \frac{1 - P_0}{(1 - \varepsilon) \cdot \lambda}, \quad \text{deformate prin laminare} \quad (5.16)$$

unde: P_0 este porozitatea inițială a pachetului țesăturii;

$$\varepsilon = 1 - \frac{h}{h_0} - \text{gradul de refulare a rețelei;}$$

λ – alungirea relativă în direcția laminării.

Pentru determinarea estimativă a dimensiunii medii a porilor se propun următoarele relații, prima dedusă prin calcule teoretice, iar a doua empirică, în urma rezultatelor experimentale.

$$D_{p \text{ med}} = P \cdot \frac{d_s}{1 - P} \quad (5.17)$$

$$D_{p \text{ med}} = c \cdot P^n \cdot d_s \quad (5.18)$$

unde: d_s este diametrul sârmei rețelei metalice;

P – porozitatea pachetului țesăturii;

c și n – constante determinate experimental depinzând de numărul sârmelor din împletitură.

Raportul dintre dimensiunea maximă și dimensiunea medie a porilor depinde de porozitatea structurii poroase țesute.

Finețea de filtrare crește cu creșterea gradului de deformare și cu numărul rețelilor din pachet.

O finețe de filtrare impusă poate fi obținută cu o combinație optimă între numărul de straturi de rețele țesute și gradul de deformare a pachetului. Rezistența de rupere la tracțiune este determinată de natura materialului și de diametrul sârmei.

Țesăturile metalice posedă următoarele caracteristici generale:

- o gamă mare de mărime a ochiurilor;
- suprafață filtrantă și porozitate ridicată;
- uniformitatea dimensiunii și formei ochiului;
- grosimea structurii filtrante;
- rezistență mecanică bună;
- comportare bună în medii corozive;
- recuperarea (decolmatarea) posibilă a capacității de filtrare după spălare;
- pierdere de presiune mică datorată grosimii reduse a stratului filtrant;
- posibilitatea obținerii unor forme constructive complexe prin îndoire, rulare, ambalare, gofrare.

Dimensiunile sârmelor (firelor) utilizate pentru țesăturile metalice și textile sunt cuprinse între 20μm și 2mm.

Țesăturile pot fi:

- simple;
- duble;
- multiple,

în funcție de modul de țesere, numărul de fire țesute, numărul straturilor și arhitectura țesăturii.

Mărimea ochiului țesăturii simple care reprezintă măsura diametrului porului, respectiv a fineței de filtrare se calculează astfel:

$$D_p = D - d \quad (5.19)$$

unde: **D** este pasul de țesere;

d – diametrul sârmei țesute (fig. 5.15).

Mărimile ochiurilor sitelor țesute sunt normalizate la valori convenționale în seriile geometrice având ca rații: $\sqrt[10]{10}$ – seria principală, $\sqrt[20]{10}$ – seria secundară.

Domeniul dimensiunii ochiurilor este între (0,025 – 4) mm, iar suprafața utilă (S_u) a țesăturii simple este:

$$S_u = \frac{D_p^2}{D^2} \cdot 100 [\%] \quad (5.20)$$

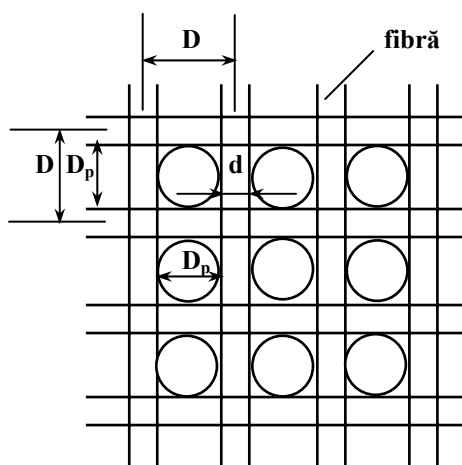


Fig. 5.15. Reprezentarea schematică a unei țesături

Țesăturile simple posedă o suprafață de filtrare utilă mare, dar sunt fragile și au o stabilitate redusă a formei. Țesăturile rigide duble și multifilare au o suprafață utilă mai redusă, pierderi de presiune mai mari și se colmatează mai repede.

Pentru ochiuri cu dimensiuni mici se pot țese straturi filtrante folosind fire cu diametre diferite (fig. 5.16): $d_1 \neq d_2$ sau $d_1 > d_2$.

Aceste tipuri de țesături permit obținerea unor medii filtrante cu dimensiuni mici, de ordinul a 10 μm și mai mici. Posedă rezistență mecanică bună, cu capacitate de reținere mare datorită formei ochiului și a schimbării direcției de curgere a fluidului.

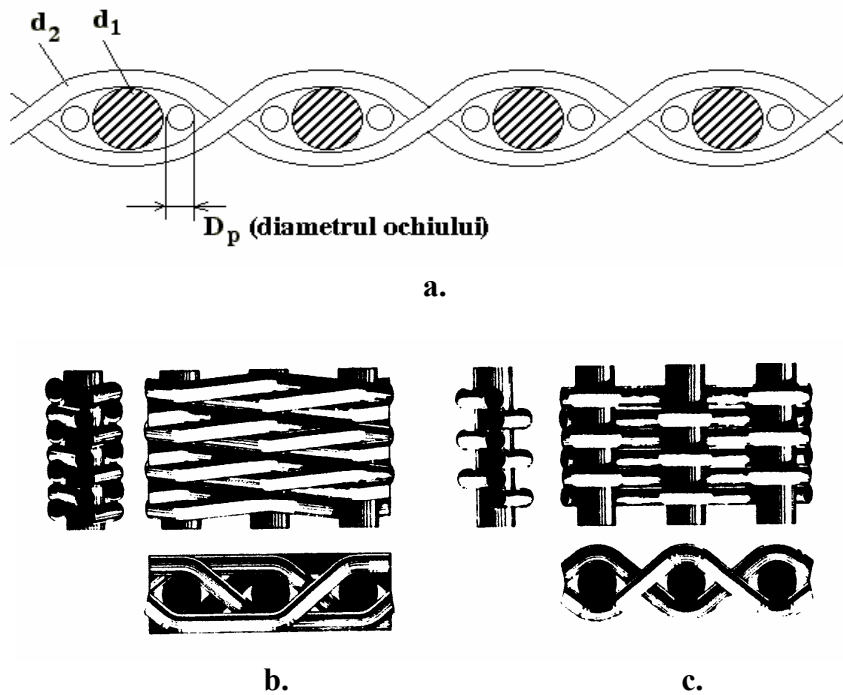


Fig. 5.16. Straturi filtrante țesute cu diametre diferite ale sârmelor

Țesăturile nemetalice (textile) sunt confecționate din următoarele fibre:

- fibre naturale: bumbac, lână, mătase, iută;
- fibre artificiale: celuloza;
- fibre sintetice: polimeri, mătase artificială;
- fibre minerale: azbest, sticlă.

Aceste materiale posedă rezistență mecanică, chimică și termică ridicată, proprietăți care sunt puse în valoare și în cazul utilizării lor ca medii filtrante.

Principalii polimeri utilizați la fabricarea țesăturilor sintetice pentru medii filtrante sunt:

- poliamidele;
- polietilena;
- polipropilena;
- poliesterii;

- poliamidele aromatice;
- policlorura de vinil;
- politetrafluoretena (teflonul).

Materialele filtrante multistrat permit realizarea filtrării în profunzime datorită grosimii lor mai mari.

Alegerea materialului filtrant (țesătură metalică sau sintetică) depinde de o serie de criterii funcționale: fluidul de filtrat, proprietățile fizico–chimice; presiunea de lucru, debitul, etc.

Țesăturile din fire de poliester pot fi supuse acoperirii prin depunere metalică utilizând galvanoplastia. Plăcile poroase astfel obținute au o stabilitate a formei și rigiditate îmbunătățită în urma sudării prin acoperire a fibrelor țesăturii inițiale. Rezultă o țesătură cu structură suplă, rigidă și uniformă la un preț care concurează cu a țesăturilor din fire de oțel inoxidabil. Mărimea ochiurilor variază între 2 – 250 μm . Structura permite decuparea și fasonarea la diverse forme fără dificultăți tehnologice. Stratul metalic de acoperire elimină pericolul încărcării electrostatice a fibrelor sintetice din țesătura inițială.

5.6. Sisteme permeabile armate

Structura poroasă permeabilă sinterizată armată se poate obține prin sinterizarea unui strat subțire de pulbere metalică pe o rețea de sârmă țesută (sită), de regulă, cu celulă (ochi) pătrată (fig. 5.17). Modelul structural teoretic al acestui tip de sistem poros este reprezentat de celula pătrată a unei rețele țesute în a cărei ochi se află o granulă de pulbere sferică monogranulară, având diametrul egal cu dimensiunea ochiului (fig. 5.17 b).

O asemenea structură compozită poate fi considerată un sistem ordonat cu permeabilitate și finețe de filtrare ridicate, dirijabile și controlabile. Rețeaua de sârmă țesută asigură portanța structurii la solicitările exterioare și proprietăți tehnologice îmbunătățite, în special capacitatea de îndoire. Acceptând aproximația egalității dintre dimensiunea ochiului și diametrul granulei pulberii **dg**, precum și coincidența între planul

diametral al granulei și planul diametral al porului, se obține relația de calcul teoretic al diametrului porului.

$$D_p = l \cdot (3 - 2\sqrt{2}) \quad (5.21)$$

Dar, în urma țeserii se produce o deformare a sârmei și cele două plane nu coincid. În acest caz modelul matematic de calcul al dimensiunii porului are o formă complexă care depinde printre altele de dimensiunea rețelei, diametrul granulei de pulbere și gradul de deformare a rețelei la țesere.

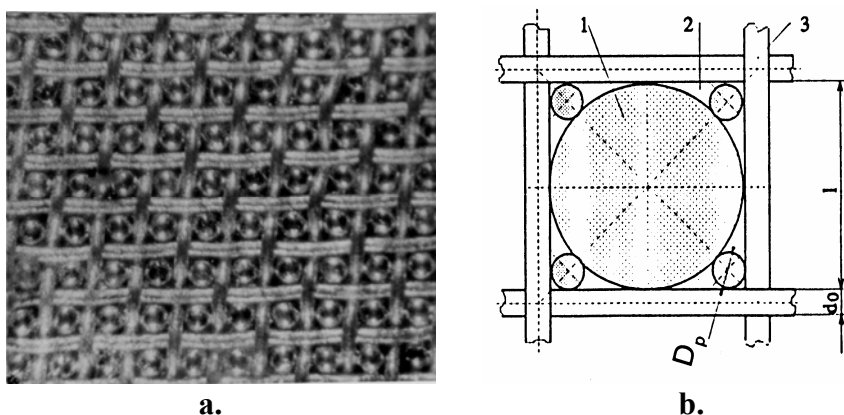


Fig. 5.17. Structură permeabilă armată.
a. vedere generală; b. modelul teoretic al sistemului permeabil armat.
1 – granulă sferică; 2 – por

Structura astfel definită asigură obținerea unor sisteme poroase permeabile cu următoarele avantaje caracteristice sistemelor ordonate:

- permeabilitate și finețe de filtrare impuse și controlabile;
- uniformitatea distribuției valorilor parametrilor structurali și a caracteristicilor funcționale;
- proprietăți mecanice și tehnologice, incontestabil, îmbunătățite.

Sunt discutabile însă și unele condiții tehnologice care limitează utilizarea acestui tip de sistem poros: dificultatea asigurării unei compatibilități acceptabile la sinterizare a materialului pulberii și a

materialului rețelei metalice, precum și impunerea utilizării ineficiente a fracțiilor granulometrice relativ înguste a pulberii.

5.7. Materiale granulare

Mediul filtrant format din materiale granulare (fig. 5.18) este constituit dintr-un pat gros de particule de nisip cuarțos de carieră, cuarț sfărâmat, sfărâmături de antracit, marmoră, sfărâmături de ceramică, magnetită, granit, etc.

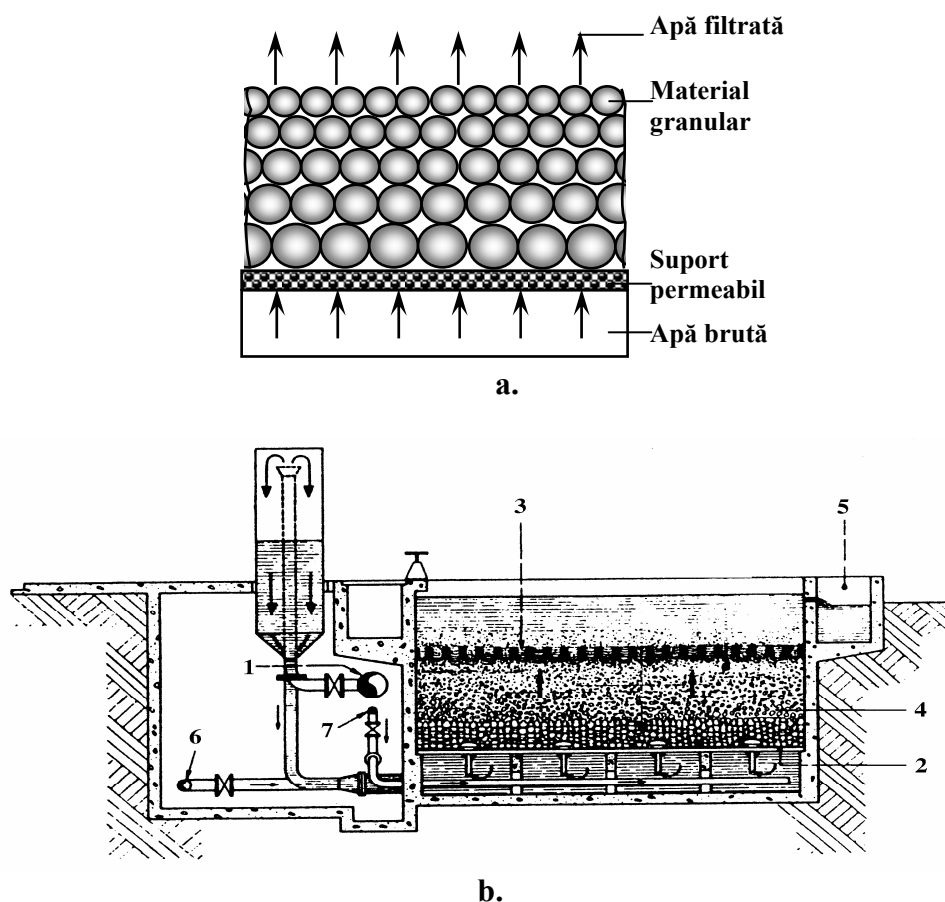


Fig. 5. 18. Mediu filtrant din materiale granulare. a. model teoretic;
b. schema de principiu a unui filtru de nisip. 1 – alimentare apă brută;
2 – suport; 3 – grătar permeabil; 4 – straturi de nisip; 5 – apă filtrată;
6 – intrare apă de spălare; 7 – aer comprimat

Condițiile care se impun materialelor granulare pentru filtrare sunt:

- să nu se uzeze (să nu-și modifice dimensiunea particulelor) în procesul de exploatare;
- să nu se dizolve sau să nu reacționeze cu fluidul filtrat.
- mărimea particulelor materialului filtrant și omogenitatea dimensiunii sunt caracteristici care se determină în urma analizei granulometrice prin metoda cernerii.

Între stratul de filtrare granular și sistemul de drenaj al filtrului este amplasat un strat de susținere. Stratul de susținere permeabil are rolul de a preveni antrenarea materialului filtrant granular împreună cu fluidul filtrat. Stratul de susținere mai servește și la distribuirea uniformă a apei de spălare pe suprafața filtrului.

Mediul filtrant granular se utilizează de regulă la sistemele de filtrare și preparare a apelor și funcționează pe baza filtrării în profunzime (adâncime).

5.8. Pământuri diatomitice

Aceste materiale filtrante funcționează la fel ca materialele filtrante granulare în vrac sau sub formă de plăci sau cartușe cilindrice, prin tehnică de filtrare în adâncime. Pământurile diatomitice sunt zăcăminte diatomeice granulare fosilizate formate în urma retragerii mărilor (acum circa 10 milioane de ani). Acestea se procesează prin calcinare, sortare, filtrare și prelucrare. Au permeabilitate mare, structură poroasă fină, asigurând finețe de filtrare ridicată (1–3 μm).

5.9. Filtre cu lamele

Lamelele sau rondelele pot fi confecționate din:

- hârtie impregnată gofrată;
- material metalic sau plastic striat;
- material metalic plat cu distanțier (spațiu intercalat între lamele).

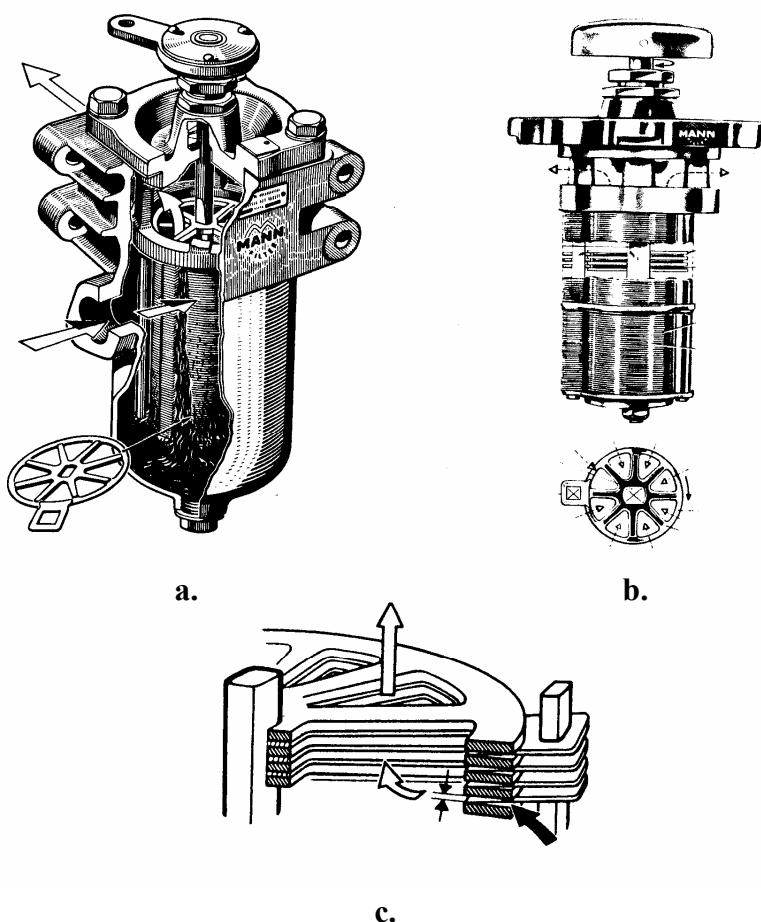


Fig. 5.19. Elemente filtrante cu lamele și discuri

Lamelele *striate sau gofrate* sunt asamblate unele peste altele prin strângere (fig. 5.19). Fluidul filtrat trece printre ele de la exteriorul spre interiorul coloanei cilindrice prin spațiile dintre striații sau gofre, în care sunt reținute impuritățile. Forma și adâncimea amprentelor făcute pe lamele (rondele) determină finețea de filtrare. Finețea de filtrare este cuprinsă între (10 – 300) μm . Pot fi utilizate și la presiuni ridicate. Se pot decolmata ușor prin spălare în contracurent. Sunt utilizate pentru filtrarea combustibililor lichizi și a lubrifianților.

Dacă rondelele (lamelele) sunt plate cu distanțiere intercalate, pot fi de două tipuri:

- discuri montate pe același ax cu distanțierele;
- discuri de diametre diferite montate în poziții alternante.

În primul caz elementul filtrant decolmabil în timpul funcționării se compune din discurile asamblate cu distanțierele intercalate între discuri pe același ax și de racleții fixați de carcasa filtrului, intercalați între discuri.

Grosimea distanțierelor riguros calibrată determină finețea de filtrare (90 – 750) μm .

Impuritățile mai mari decât spațiul dintre discuri sunt reținute și extrase cu ajutorul racleților la o rotație a filtrului (manuală sau mecanizată). Astfel, în permanență poate fi asigurată capacitatea de filtrare.

În cazul al doilea cu discuri având diametre inegale suprapuse alternativ, fluidul trece mai întâi printre discurile de diametru mai mare, asigurându-se prefiltrarea. Apoi fluidul trece prin intervalele radiale datorită diferenței dintre diametrul interior al discului mare și diametrul exterior al discului mic, asigurând astfel finețea de filtrare (20 – 125 μm). Se asigură astfel suprafață de filtrare ridicată și debite mari ale fluidului. Racleții montați între discurile mari, asigură prin rotirea elementului filtrant, decolmatarea continuă foarte eficientă.

Aceste tipuri de elemente filtrante sunt utilizate:

- în siderurgie pentru filtrarea lichidelor de răcire, uleiului hidraulic, etc.;
- în chimie și petrochimie pentru filtrarea țiteiului, detergenților, solvenților, etc.;
- industria cosmetică, stomatologică, alimentară, etc.

5.10. Spume metalice

Se obțin în urma impregnării unei structuri poroase inițiale din material plastic cu o suspensie de particule (granule) metalice într-un lichid. În timpul sinterizării se elimină materialul plastic și lichidul suspensiei, formându-se o nouă structură poroasă spongioasă metalică din granulele pulberii metalice impregnate.

Prin acest procedeu se pot obține medii filtrante cu porozități și dimensiuni ale porilor în domenii largi de variație. Avantajul principal este căderea de presiune relativ redusă. Spumele metalice pentru filtre se fabrică din nichel, cupru, oțel inoxidabil, aluminiu.

O altă variantă tehnologică constă în impregnarea unei structuri poroase minerale, (de exemplu sticlă) sau din material plastic termo-rigid cu un metal topit, ca de exemplu aluminiu, bronz, nichel, argint (fig. 5.20). După eliminarea materialului de bază rămâne o structură poroasă alveolară relativ uniformă cu porozitate în domeniul (60 – 70) % care asigură pierderi de presiune ale fluidului filtrat relativ reduse. Pereții poroși sub formă de tub cilindric sau conic, plăci, etc., pot suporta presiuni relativ ridicate, iar decolmatarea se poate face prin spălare în contracurent ori prin imersare în soluții chimice corespunzătoare.

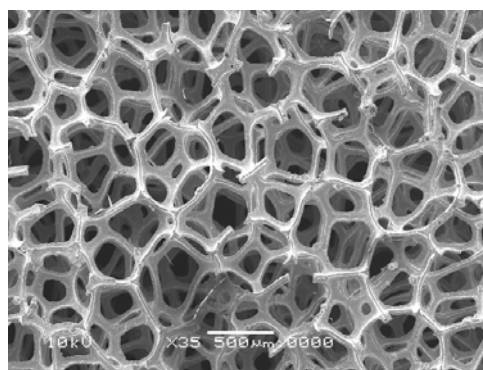


Fig. 5.20. Structura permeabilă a unei spume metalice

5.11. Proprietăți filtrante

5.11.1. Considerații generale privind curgerea și filtrarea fluidelor în medii poroase

Procedeul cel mai frecvent utilizat la separarea și curățirea fluidelor de impurități, este filtrarea în medii poroase permeabile. Acest fel de filtrare este eficient la tratarea unor fluide cu debite mari, cu o concentrație relativ

mică de impurități în suspensie și cu decantarea prealabilă a particulelor de dimensiuni mari.

Mecanisme ale filtrării

În procesele de filtrare a fluidelor (cazul general al apei) au loc o serie de fenomene fizice, fizico–chimice și biologice, deosebit de complexe.

Complexitatea acestor procese este influențată de o serie de factori grupați astfel:

- natura și caracteristicile mediului filtrant:
 - porozitatea;
 - grosimea;
 - mărimea particulelor materialului granular filtrant;
 - mărimea porilor.
- natura și caracteristicile fluidului de filtrat (a suspensiei):
 - mărimea, forma și natura impurităților;
 - densitatea;
 - concentrația.
- condițiile de filtrare a fluidului:
 - debitul de filtrare;
 - presiunea;
 - temperatura;
 - procedeul de filtrare.

De remarcat că majoritatea factorilor implicați în timpul procesului de filtrare sunt variabili, ceea ce suplimentează complexitatea procesului, conducând la modificări ale structurii mediului filtrant.

Se pot desprinde două moduri de abordare și explicare a mecanismului filtrării:

- filtrarea prin reținerea impurităților solide la nivelul suprafeței porilor;
- filtrarea prin reținerea impurităților solide în mediul filtrant considerat în totalitatea lui (pe ansamblul său).

De subliniat că nu pot fi neglijate nici unul dintre cele două aspecte ale separării.

Mecanismul filtrării prin reținerea impurităților pe suprafața porilor poate fi analizat prin teoriile fizice și fizico–chimice.

Mișcarea browniană – poate reprezenta un mecanism prin care particulele solide din fluidul filtrat ajung în contact cu suprafața porilor mediului filtrant. Acest mecanism are efect important în cazul particulelor cu dimensiuni mai mici de circa 2 μm . Poate fi neglijat în cazul filtrării apelor de suprafață în care dimensiunea medie a particulelor este de ordinul a (20 – 60) μm .

Inerția. La curgerea printr-un mediu poros, o suspensie trebuie să-și schimbe continuu direcția datorită sinuozității porilor pentru a permite curentului de fluid să evite particulele care constituie mediul filtrant. Fenomenul inerției poate determina ca particulele de impurități să aibă tendința de a-și continua drumul pe direcția inițială, intrând în contact cu suprafața porilor.

Mecanismul inerției este predominant la filtrarea aerului și are efect redus la lichidele cu vâscozitate mai mare.

Probabilitatea de contact. În zonele de strangulare a porilor, particulele solide de impurități pot fi aduse în contact cu suprafața internă a mediului poros la convergența liniilor de flux ale fluidului.

Cernerea. Este o concepție tradițională de filtrare a apei prin nisip, considerându-se că reținerea particulelor poate fi echivalată cu mecanismul cernerii.

Sedimentarea. Spațiile goale dintre granulele mediului filtrant, respectiv porii pot fi considerați ca bazine de sedimentare. Datorită acestui mecanism, la filtrarea lentă în filtrele de nisip se pot reține particule de impurități de dimensiuni micronice și submicronice.

Acțiunea hidrodinamică. În cazul curgerii laminare, particulele din lichid sunt supuse unei rotații și unei deplasări laterale față de liniile de curent. Apare astfel probabilitatea ca impuritățile să vină în contact cu suprafața porilor și să adere la aceasta.

Concluzii:

- ◆ Mișcarea browniană are ca efect reținerea în pori a particulelor submicronice;
- ◆ Sedimentarea devine hotărâtoare în cazul particulelor mai mari de 10 μm și cu densitatea mai mare decât a apei;
- ◆ Probabilitatea de contact are un rol important de separare în cazul suspensiilor cu dimensiuni mari ale particulelor solide;
- ◆ Efectul acțiunii hidrodinamice influențează reținerea particulelor cu forme neregulate, indiferent de mărimea lor.

Conform teoriilor fizico-chimice, reținerea particulelor din suspensie pe suprafața porilor stratului filtrant se datorează interacțiunii a două categorii de forțe:

- forțele de atracție van der Waals (de natură fizică);
- forțele electrostatice de respingere dintre peliculele de apă încărcate electric datorită ionilor conținuți, adsorbite pe suprafața particulelor din suspensie și din materialul poros.

Forțele de atracție de tip van der Waals scad cu distanța d dintre particula de impuritate și suprafața stratului filtrant. Forțele electrostatice de respingere au o variație proporțională cu $1/d^2$ (figura 5.21), scăzând pe măsura îndepărtării particulelor.

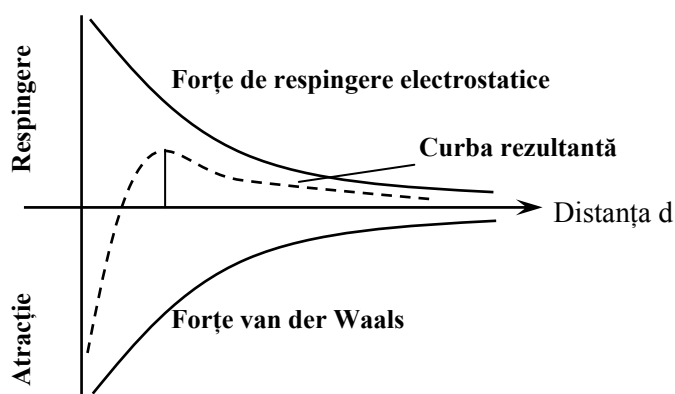


Fig. 5.21. Variația forțelor de atracție și respingere dintre impuritate și suprafața porului

Compunerea forțelor de atracție și a forțelor de respingere ilustrează variația forței de suprafață dintre granula de nisip a mediului filtrant și particula din suspensie. Particulele situate mai aproape ca distanță de granulele stratului filtrant decât cea corespunzătoare maximului forței rezultante, vor fi supuse unor forțe de atracție care cresc cu micșorarea distanței.

Astfel, dacă potențialul electrostatic al particulelor în suspensie și al granulelor stratului filtrant sunt de același semn, se pot aplica considerațiile explicate anterior. În general suprafața particulelor de cuarț – silice (nisipul) are o încărcare electrică superficială negativă. De asemenea, majoritatea particulelor din apă (argilă, alge, bacterii) au o încărcare superficială electrică negativă în soluții apoase.

Procesul filtrării pe ansamblul mediului filtrant poate fi explicat prin mecanismul descris de Mintz, astfel:

- fiecare parte elementară a mediului poros filtrant are o capacitate determinată de reținere a particulelor din suspensii;
- după epuizarea acestei capacități, suspensiile din apă urmează să fie reținute de fracțiunea (partea) următoare din grosimea stratului, în sensul filtrării apei;
- după epuizarea capacității de reținere a ultimei părți din grosimea mediului filtrant, în fluid încep să apară suspensii peste limitele admise.

Pe baza acestei ipoteze se pot evalua teoretic: cantitatea maximă de suspensii ce poate fi reținută în unitatea de volum a mediului filtrant, precum și gradul maxim posibil de colmatare a porilor.

Scăderea în timp a capacității de reținere a mediului filtrant este datorată acumulării de depozite de suspensii în porii mediului poros și de modificarea structurii mediului filtrant poros: porozitatea, mărimea porilor, suprafața specifică de filtrare.

În funcție de direcția curgerii fluidului și de raportul dintre mărimea particulelor de impurități d_i și mărimea porilor D_p , filtrarea se poate realiza în trei moduri (fig. 5.22):

- **Filtrarea de suprafață** se produce în cazul $d_i > D_p$. În această situație toate sau aproape toate impuritățile sunt reținute la suprafața de intrare a mediului poros în direcția curgerii, provocând reducerea vertiginoasă a permeabilității prin colmatarea de suprafață, creșterea căderii de presiune după o durată scurtă de funcționare, deci scăderea durabilității stratului poros (durata între două decolmatări succesive) și scoaterea lui rapidă din exploatare. Acest neajuns poate fi eliminat prin introducerea unei operații preliminare suplimentare de prefiltrare utilizând medii permeabile cu structură poroasă corespunzătoare. Se recomandă astfel introducerea în sistemul hidraulic sau pneumatic, după caz, a bateriilor de filtrare grosolană și medie, evitându-se colmatarea prematură cu impurități de dimensiuni mari a filtrului final. Se aplică la purificarea gazelor și la operațiile de recuperare a unor materiale pulverulente din suspensii.

Exemple de aplicare: tratarea apei potabile, epurarea apelor uzate, curățirea gazelor, recuperarea produselor solide din fluide, separarea în producția de alimente și băuturi

- **Filtrarea în adâncime (profunzime).** Particulele fine pot să pătrundă în adâncimea stratului poros, separându-se progresiv din masa de fluid prin impactul cu un număr mare de obstacole. În acest caz capacitatea de reținere a impurităților, respectiv cantitatea de impurități reținute este mai mare, în condițiile unei creșteri normale a căderii de presiune. Se aplică la filtrarea fluidelor în procesele industriale de separare.

Exemple de aplicare: filtrarea fluidelor în instalații hidraulice, tratarea apei potabile, tehnici ale separării în industria chimică și alimentară.

- la filtrarea de suprafață (și uneori la filtrarea în profunzime) impuritățile solide se depun pe suprafața filtrului sub formă de “turtă” (cake – engl; gâteau – franc) a cărei grosime și

compactitate crește în timp. Turta preia rolul de element filtrant până în momentul în care filtrul devine total colmatat.

- **Filtrarea tangențială.** Direcția de curgere a fluidului este paralelă cu mediul poros permeabil, lichidul “baleiind” prin curgere, suprafața filtrului. Filtrația tangențială este un proces dinamic, fluxul de fluid este paralel cu suprafața elementului filtrant, se împiedică astfel, constituirea prin aglomerare a unui strat de impurități deasupra suprafeței filtrante. Se menține astfel, funcționalitatea filtrului prin reducerea efectului de îmbâcsire. Căderea de presiune și debitul fluidului rămân constante în timp. Regenerarea structurii permeabile prin spălare în contracurent este mai eficientă. În comparație cu filtrarea de suprafață și în adâncime în care debitul scade brusc spre zero, căderea de presiune crește exponențial în urma formării stratului de impurități cu grosime crescândă, filtrarea tangențială fiind mai avantajoasă. La filtrarea tangențială se poate realiza filtrarea prin recirculare în circuit închis și prin recuperarea simultană a filtratului și a concentratului separat, avantaj important și sub aspectul consumului specific de energie.

Exemple de aplicare: filtrarea apei în instalațiile de preparare și tratare a apei potabile; tratarea apei industriale; operațiile de procesare în industria alimentară (separarea laptelui, concentrarea sucurilor de fructe și a altor produse alimentare și băuturi), procesele de separare în industria chimică și farmaceutică, separarea deșeurilor și reziduurilor solide.

Curgerea fluidelor în medii poroase prezintă o serie de particularități determinate de structura spațiului poros. Astfel, porii se prezintă sub formă de canale curbate, sinuoase, cu mărime, secțiune transversală și calitatea suprafeței, variabile.

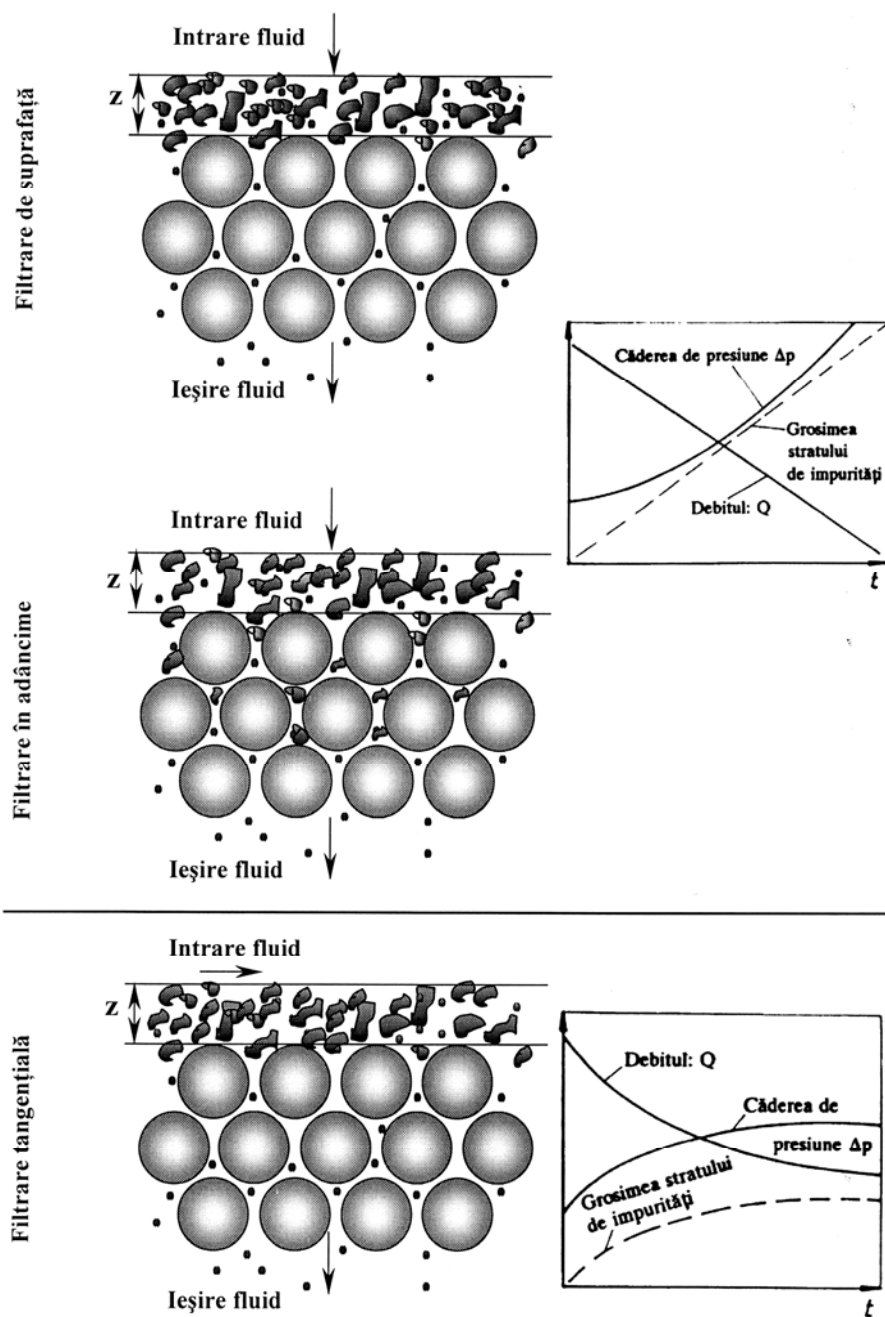


Fig. 5.22. Tehnici de filtrare în sistemele permeabile și variația parametrilor în timp

Un por cu secțiunea variabilă, poate să aibă pe lungimea lui dimensiuni de la cea mai mică până la dimensiunea maximă. De asemenea, porii comunică între ei prin canale transversale. De aceea la o cădere de presiune constantă pe lungimea porului, pot să apară de-a lungul lui, regimuri de curgere diferite ale fluidelor impurificate.

Utilizarea riguroasă a legilor generale ale hidrodinamicii este practic imposibilă în cazul curgerii fluidelor în materiale poroase sinterizate, dificultățile fiind generate de structura specifică complexă, precum și de numărul mare de factori care influențează mecanismul filtrării: mediul poros (mărimea și forma granulelor pulberii inițiale, porozitatea, variația formei și a mărimii porilor pe grosimea stratului filtrant), suspensia (mărimea, forma și natura impurităților din suspensie, densitatea, concentrația), viteza de curgere, temperatura și vâscozitatea fluidului, etc. Complexitatea procesului de curgere și filtrare se accentuează și prin modificarea unor parametri în timpul ciclului de filtrare, datorită schimbării continue a structurii stratului filtrant.

La filtrarea lichidului sau gazelor în medii poroase se deosebesc trei feluri de curgeri: moleculară, laminară și turbulentă. Deoarece trecerea de la un tip de curgere la altul nu are limite precise, în mediul poros se consideră două regimuri de curgere limită: de la curgerea moleculară la cea laminară și de la curgerea laminară la cea turbulentă. Fiecare regim de curgere în mediul poros se caracterizează printr-o interacțiune specifică între particulele de impurități și suprafața porilor.

Dependența de bază care determină regimul de curgere, este legătura dintre viteza mișcării sau debitul fluidului prin pori și căderea de presiune în mediul poros.

Curgerea moleculară a gazelor în medii poroase apare la dimensiuni de pori comparabile cu parcursul liber mijlociu, al moleculelor, de aceea este posibilă la presiuni foarte reduse și/sau dimensiuni foarte mici ale porilor. Astfel la presiunea atmosferică este posibilă curgerea moleculară a gazelor în pori, ale căror dimensiuni sunt de ordinul zecimilor de microni.

Dacă structura poroasă prezintă pori de dimensiuni mai mari și dependența dintre căderea de presiune și debitul fluidului este liniară, chiar și la valori mici ale căderii de presiune, curgerea este laminară.

Regimul turbulent al mișcării fluidelor în pori este caracterizat prin dependența pătratică a căderii de presiune în mediul poros de viteza de curgere.

Evoluția mișcării turbulente a fluidului în pori se caracterizează prin pierderi importante ale presiunii, provocând apariția forțelor de inerție în fluid, alături de forțele de frecare.

Structura complexă a spațiului poros caracterizată în special de secțiunea variabilă și de schimbarea direcției porilor, determină posibilitatea apariției diferitelor regimuri de curgere la aceeași valoare a căderii de presiune.

5.11.2. Permeabilitatea

Permeabilitatea este proprietatea unui material poros de a permite să treacă prin el un lichid sau un gaz, sub acțiunea forțelor determinate de căderea de presiune. Parametrul structural care determină permeabilitatea este porozitatea deschisă întrecomunicantă a materialului poros.

Caracteristica cea mai elocventă care caracterizează permeabilitatea a fost introdusă prima dată de Darcy în 1856 și se numește **coeficientul de permeabilitate vâscoasă** ψ_v . Legea lui Darcy pentru mediul poros, arată legătura dintre căderea de presiune Δp și debitul fluidului Q care trece prin materialului poros, descrisă cu relația:

$$\Delta p = \frac{Q \cdot h \cdot \eta}{S \cdot \Psi_v} \quad (5.22)$$

unde: Q este debitul fluidului (m^3/s);

h – grosimea elementului filtrant (m);

η – vâscozitatea dinamică a fluidului ($N \cdot s/m^2$ sau $Pa \cdot s$);

S – aria permeabilă (m^2);

Δp – căderea de presiune (N/m^2);

Ψ_v – coeficientul de permeabilitate vâscoasă (m^2);

$$\Delta p = p_1 - p_2,$$

unde: p_1 – presiunea din amonte de proba poroasă, p_2 presiunea în aval de elementul filtrant.

Coeficientul de permeabilitate vâscoasă Ψ_v se definește prin debitul volumetric cu care un fluid de vâscozitate unitară ($1 \text{ N}\cdot\text{s}/m^2$) trece prin aria unitară (1 m^2) a stratului filtrant sub acțiunea unei căderi de presiune unitare ($1 \text{ N}/m^2$) când rezistența opusă prin curgerea fluidului este determinată numai de vâscozitate.

Deoarece relația de mai sus este valabilă numai pentru medii incompresibile și curgere laminară, Morgan a propus o formulă universal aplicabilă.

$$\Delta p = \frac{Q \cdot h}{S} \cdot \left(\frac{\eta}{\Psi_v} + \frac{\rho \cdot Q}{\Psi_i \cdot S} \right) \quad (5.23)$$

Al doilea termen ia în considerare densitatea ρ (kg/m^3) a fluidului și conține parametrul Ψ_i , numit **coeficient de permeabilitate inerțial (m)**.

Pentru medii compresibile, termenul din stânga relației cuprinde explicitată valoarea presiunii p_2 . Relația devine atunci:

$$\Delta p \cdot \left(1 - \frac{\Delta p}{2p_2} \right) = \frac{Q \cdot h}{S} \cdot \left(\frac{\eta}{\Psi_v} + \frac{\rho \cdot Q}{\Psi_i \cdot S} \right) \quad (5.24)$$

Coeficientul de permeabilitate inerțială Ψ_i se definește prin debitul volumetric cu care un fluid de densitate unitară ($1 \text{ kg}/m^3$) trece prin aria unitară (1 m^2) a stratului poros sub acțiunea unei căderi de presiune unitară ($1 \text{ N}/m^2$) când rezistența opusă prin curgerea fluidului este determinată numai de pierderile datorate forțelor de inerție.

În cazul mediilor poroase fabricate din pulberi sinterizate modificarea curgerii din laminară în turbulentă nu poate fi stabilită cu siguranță. Totuși în multe cazuri, termenul al doilea poate fi neglijat fără a influența mult precizia calculelor. Domeniul de curgere este caracterizat de variația liniară a debitului fluidului cu căderea de presiune. Curgerea

turbulentă complică graficul caracteristicii hidraulice deviind de la forma liniară (fig. 5.23).

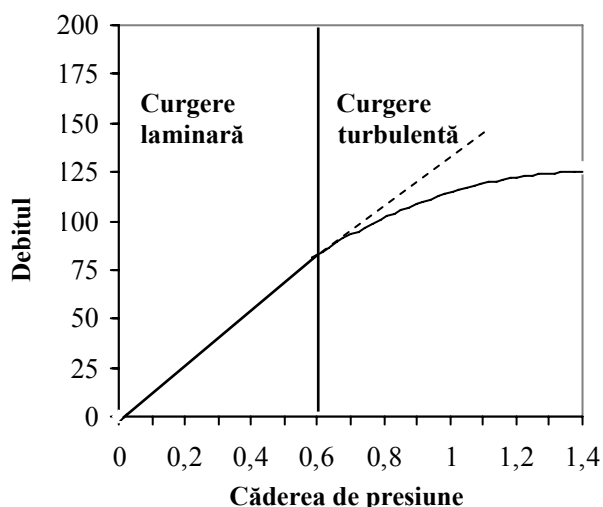


Fig. 5.23. Limita domeniului de curgere laminară și turbulentă

Pentru materialele filtrante din granule sferice, relațiile de calcul pentru coeficienții de permeabilitate ψ_v și ψ_i sunt următoarele:

$$\Psi_v = \frac{d_g^2 \cdot P^3}{171 \cdot (1 - P)^2} \quad \Psi_i = \frac{d_g \cdot P^{4,72}}{0,63 \cdot (1 - P)} \quad (5.25)$$

unde valoarea lui d_g – diametrul granulelor pulberii exprimat în metri, ψ_v rezultă în m^2 , iar ψ_i în metri.

Pentru un regim laminar de curgere a fluidului în mediul poros ideal (cu lungimea porului egală cu grosimea stratului poros și de diametrul constant), coeficientul de permeabilitate se poate determina cu relația:

$$\Psi_v = \frac{P \cdot D_p^2}{32} \quad (5.26)$$

Având în vedere că dimensiunea medie a porilor mediului poros sinterizat este funcție de porozitatea P , dimensiunea granulelor pulberii inițiale (respectiv de fracțiunea granulometrică utilizată), de forma porilor și

de rugozitatea suprafeței porilor, coeficientul de permeabilitate se poate determina cu relația:

$$\Psi_v = C \cdot P^m \quad (5.27)$$

unde C și m , sunt constante care se determină experimental pentru fiecare structură poroasă, depinzând de mărimea granulelor pulberii.

Determinarea permeabilității constă în ridicarea curbei de dependență între debit și căderea de presiune, respectiv caracteristica hidraulică: $Q = f(\Delta p)$ pentru un element permeabil dat (de exemplu element filtrant), prin măsurarea debitului de fluid trecut prin filtru la diferite valori ale căderii de presiune, cu un stand a cărui schemă este prezentată în figura 5.24. Căderea de presiune Δp pe proba 1 prinsă în dispozitivul 2 se măsoară cu manometrul diferențial MD și se reglează prin regulatorul de presiune RP și droselul DR, iar debitul se măsoară cu debitmetrul (rotametrul) R_m .

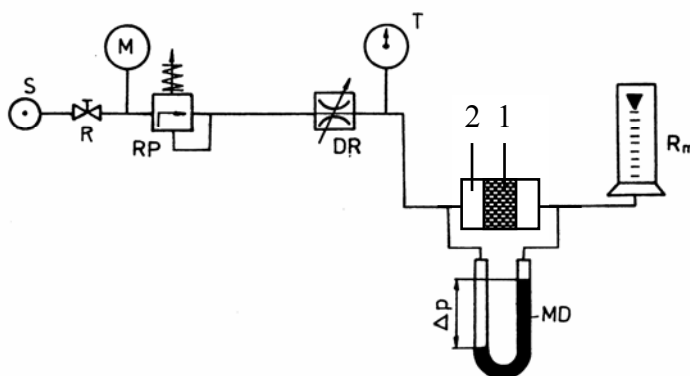


Fig. 5.24. Schema de principiu a standului pentru determinarea permeabilității filtrelor. 1 - proba poroasă; 2 - dispozitiv de fixare; S – sursa de aer comprimat; R – robinet; M și MD – manometre; RP – regulator de presiune; DR – drosel; T – termometru; R_m – rotametrul

Determinarea permeabilității se face, de obicei, cu aer (SR ISO 4022), dar se poate efectua și cu fluidul pentru care este utilizat filtrul de încercat, conform indicațiilor producătorului sau standardelor din domeniu.

Prin evaluarea pantei curbei **debit – cădere de presiune** ($Q = f(\Delta p)$), pentru un material poros permeabil, luând în considerare grosimea stratului

filtrant, aria secțiunii permeabile și vâscozitatea fluidului de încercare, se poate determina coeficientul de permeabilitate Ψ_v , care reprezintă o constantă pentru structura poroasă respectivă. Odată determinate valorile coeficienților de permeabilitate pentru mai multe structuri poroase, acestea se pot utiliza la dimensionarea unor elemente filtrante, prin calcularea suprafețelor filtrante necesare pentru filtrarea unui anumit fluid, cu un debit nominal dat care curge prin instalație și cu o cădere de presiune dată pe filtru.

Condițiile și metodologia de determinare a coeficientului de permeabilitate vâscoasă și inerțială și a curbei hidraulice sunt prezentate în standardul SR ISO-4022.

Rezultatele sunt prelucrate statistic utilizând următoarea ecuație:

$$\frac{\Delta p \cdot S}{h \cdot Q \cdot \eta} = \frac{1}{\Psi_i} \cdot \frac{Q \cdot \rho}{S \cdot \eta} + \frac{1}{\Psi_v} \quad (5.28)$$

care poate fi scrisă în forma generală astfel:

$$Y = a \cdot x + b \quad \text{unde} \quad (5.29)$$

$$Y = \frac{\Delta p \cdot S}{h \cdot Q \cdot \eta}; \quad x = \frac{Q \cdot \rho}{S \cdot \eta}$$

Pentru fiecare determinare experimentală ($Q/\Delta p$) se calculează valorile x și y . Graficul dreptei date de aceste puncte permite determinarea grafică a coeficienților de permeabilitate. Astfel, intersecția dreptei cu axa y reprezintă valoarea inversului coeficientului de permeabilitate vâscoasă ($1/\Psi_v$). Panta dreptei reprezintă inversul coeficientului de permeabilitate inerțială ($1/\Psi_i$).

Dacă măsurătorile se efectuează în condiții de curgere în regim laminar, se admite aproximația determinării numai a coeficientului de permeabilitate vâscoasă.

În general, în practica determinărilor experimentale și a calculelor de dimensionare, coeficientul de permeabilitate vâscoasă se exprimă în 10^{-12} m^2 ($1 \mu\text{m}^2$) și în 10^{-6} m ($1 \mu\text{m}$), coeficientul de permeabilitate inerțială.

Astfel în cazul unui calcul estimativ, considerând o curgere laminară, pentru determinarea suprafeței permeabile necesare, se va utiliza relația:

$$S = \frac{Q \cdot h \cdot \eta}{\Psi_v \cdot \Delta p} \quad (5.30)$$

Pentru un calcul mai precis al suprafeței filtrante necesare unor condiții date de curgere a unui fluid compresibil, se propune utilizarea următoarei relații:

$$S = \frac{1}{2 \cdot \Delta p \cdot \left(1 - \frac{\Delta p}{2 \cdot p_2}\right)} \cdot \left(Q \cdot h \cdot \frac{\eta}{\Psi_v} + \sqrt{\left(Q \cdot h \cdot \frac{\eta}{\Psi_v} \right)^2 + 4 \cdot \Delta p \cdot \left(1 - \frac{\Delta p}{2 \cdot p_2}\right) \cdot \frac{\rho \cdot h \cdot Q^2}{\Psi_i}} \right) \quad (5.31)$$

În tabelele 5.2. și 5.3. se dau relațiile de conversie ale unităților de măsură pentru vâscozitatea dinamică respectiv presiune.

Tabelul 5.2. Relații de conversie ale unităților de măsură pentru vâscozitate

	$1 \frac{\text{dyn} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2} = 1 \text{P}$ (Poise)	$1 \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} = 10^3 \text{cP}$	$1 \frac{\text{kgf} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$	$1 \frac{\text{kgf} \cdot \text{h}}{\text{m}^2}$
$1 \frac{\text{dyn} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2} = 1 \text{P}$	1	0,1	$1,02 \cdot 10^{-2}$	$2,833 \cdot 10^{-6}$
$1 \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} = 10^3 \text{cP}$	10	1	0,102	$2,833 \cdot 10^{-5}$
$1 \frac{\text{kgf} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$	98,1	9,81	1	$2,778 \cdot 10^{-4}$
$1 \frac{\text{kgf} \cdot \text{h}}{\text{m}^2}$	$353 \cdot 10^3$	$35,3 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^3$	1

Tabelul 5.3. Relații de conversie pentru unități de măsură a presiunii

	at	Torr	mm H ₂ O	bar	N/mm ²	Pa
at (1at = 1kgf/cm ²)	1	736	10 ⁴	0,981	$9,81 \cdot 10^{-2}$	$9,81 \cdot 10^4$
Torr (1 Torr = 1mmHg)	$1,36 \cdot 10^{-3}$	1	13,6	$1,33 \cdot 10^{-3}$	$1,33 \cdot 10^{-4}$	133,3
mm H ₂ O	10 ⁻⁴	$7,36 \cdot 10^{-2}$	1	$9,81 \cdot 10^{-5}$	$9,81 \cdot 10^{-5}$	9,81

(1mm H ₂ O=1kgf/m ²)						
bar (1bar = 0,1 MPa)	1,02	750	1,02·10 ⁴	1	0,1	10 ⁵
Pa (1Pa = 1N/m ²)	1,02·10 ⁻⁵	7,5·10 ⁻³	0,102	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	1

Schemele din figurile 5.25 a și b redau principiul constructiv al dispozitivelor pentru determinarea permeabilității la fluide conform prescripțiilor din standardul SR ISO 4022, pentru probe filtrante plane și respectiv tubulare.

Tabelul 5.4. redă valorile vâscozității dinamice și a densității unor fluide des întâlnite care necesită operații de filtrare.

Tabelul 5.4. Valori ale vâscozității și densității fluidelor

Fluidul	Vâscozitatea [Poise]	Densitatea [g/cm ³]	Fluidul	Vâscozitatea [Poise]	Densitatea [g/cm ³]
Acetilenă	1,02·10 ⁻⁴	1,17	Vapori de apă	1,24·10 ⁻⁴	2,58
Amoniac	0,98·10 ⁻⁴	0,77	Apă	10,05·10 ⁻³	1,00
Aer	1,82·10 ⁻⁴	1,29	Benzen	6,32·10 ⁻³	0,88
Argon	2,21·10 ⁻⁴	1,78	Benzină	6,50·10 ⁻³	0,70
Azot	1,75·10 ⁻⁴	1,25	Glicerină	15,00·10 ⁻³	1,26
CO ₂	1,46·10 ⁻⁴	1,98	Petrol	18,80·10 ⁻³	0,54
CO	1,75·10 ⁻⁴	1,25	Toluen	5,80·10 ⁻³	0,87
Clor	1,33·10 ⁻⁴	3,16	SO ₂	1,26·10 ⁻⁴	2,92
Hidrogen	0,87·10 ⁻⁴	0,09			
Oxigen	2,03·10 ⁻⁴	1,43			

5.11.3. Finețea de filtrare absolută

Finețea de filtrare absolută este egală cu diametrul celei mai mari particule sferice de impurități care trece prin filtru, respectiv dimensiunea minimă a particulelor reținute de filtru. După normele și standardele americane, finețea de filtrare absolută se determină prin testul bilelor de sticlă. Este indicat ca noțiunea de finețe absolută să nu fie utilizată, deoarece valoric, nu este cea reală. Ea interesează doar pe producătorii de filtre ca performanță comercială.

5.11.4. Finețea de filtrare relativă

Finețea de filtrare relativă indică dimensiunea minimă a particulelor de impurități reținute în proporție de (95 – 98) % de către elementul filtrant.

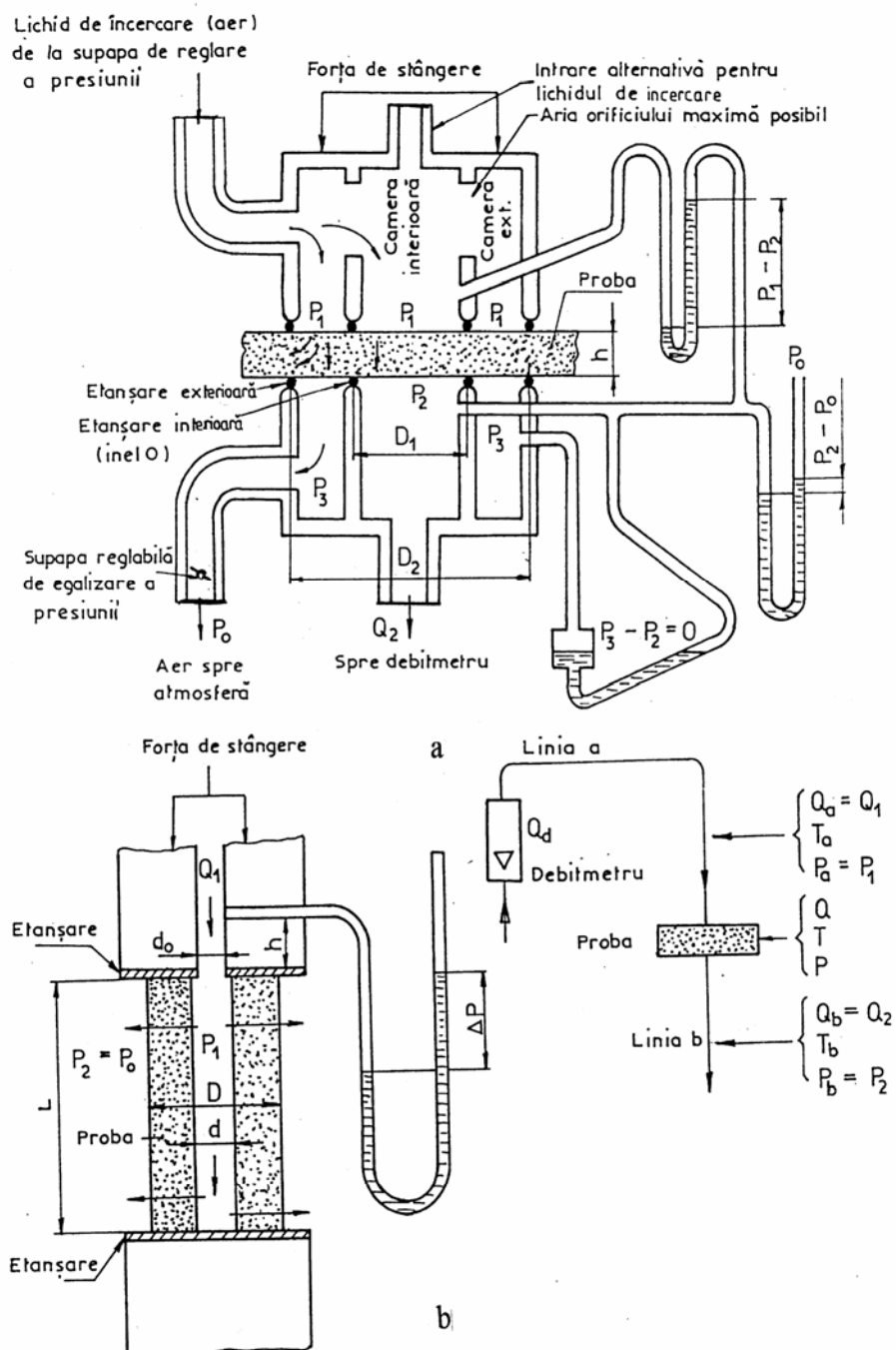


Fig. 5.25. Schema dispozitivului pentru determinarea permeabilității conform SR ISO – 4022. a. pentru elemente filtrante plate;
b. pentru elemente filtrante tubulare

5.11.5. Capacitatea de filtrare

Capacitatea de filtrare sau eficiența filtrării reprezintă capacitatea elementului filtrant de a reține particulele cu dimensiuni mai mari decât o anumită valoare prestabilită x (μm) a fineței de filtrare. Această caracteristică dată se exprimă analitic prin factorul β_x și se determină cu ajutorul testului trecerilor multiple (multi – pass filter test), care s-a introdus în standardele internaționale (ISO 4572 – 1981).

Valoarea factorului β_x este dată de raportul dintre numărul de particule mai mari de o anumită dimensiune x înainte de filtru și numărul de particule mai mari decât aceeași dimensiune x după filtrare.

Adică:

$$\beta_x = \frac{N_x(\text{amonte})}{N_x(\text{aval})} \quad (5.32)$$

Exemplu: Dacă un filtru are $\beta_{10} = 2$, înseamnă că filtrul respectiv reține jumătate din particulele mai mari de $10 \mu\text{m}$. Dacă $\beta_5 = 1$, înseamnă că filtrul nu reține particulele cu dimensiunea mai mare de $5 \mu\text{m}$.

Se recomandă astfel ca să se utilizeze noțiunea de finețe de filtrare nominală, definită cu ajutorul valorii lui β_x .

5.11.6. Eficiența filtrării

Eficiența filtrării (E_x) este dată de posibilitatea unui filtru de a reține un impurifiant artificial specificat, de o anumită concentrație, în condiții precizate de încercare.

$$E_x(\%) = \left(1 - \frac{1}{\beta_x}\right) \cdot 100 \quad (5.33)$$

Astfel, atât factorul β_x cât și E_x se determină prin testul trecerilor multiple, singurul test acceptat de ISO pentru evaluarea capacității de filtrare.

5.11.7. Finețea de filtrare nominală

Finețea de filtrare nominală este finețea x (μm) pentru care $\beta_x = 2$. Este o valoare convențională indicată de producătorul de filtre.

Finețea de filtrare absolută este finețea x (μm) la care $\beta_x = 75$.

Conform acestei reguli, dacă se consideră impuritățile cu dimensiunea particulelor de până la $20 \mu\text{m}$, finețea de filtrare nominală de $20 \mu\text{m}$ se definește prin $\beta_{20} = 2$, iar la $\beta_{10} = 75$ reprezintă o finețe de filtrare absolută de $10 \mu\text{m}$, filtrul reținând 98,7% din impuritățile până la această dimensiune minimă.

Aprecierea performanțelor de filtrare ale unui material poros permeabil și a fineței de filtrare se face pe baza factorului β_x și E_x , singurele metode recunoscute oficial în standardele naționale și internaționale.

În funcție de precizia dorită și de posibilitățile tehnice din dotarea laboratorului, se poate aplica una din metodele de determinare a fineței de filtrare: metoda de măsurare automată a particulelor de impurități, analiza gravimetrică, etc. În funcție de numărul de impurități existente în 100 ml de fluid filtrant pe domenii de dimensiuni, filtrele se clasifică în 12 clase de precizie, conform condițiilor standardizate.

Unele standarde internaționale (ISO 3722, ISO 4021) descriu modul de prelevare a eșantioanelor în vederea caracterizării fluidului filtrant și a mediului filtrant.

Pentru materialele poroase sinterizate, finețea de filtrare este influențată de dimensiunea porilor, valori ce depind la rândul lor de fracțiunea granulometrică a pulberii inițiale utilizate și de parametrii tehnologici de obținere (presiune de compactizare, temperatura și durata de sinterizare, presiunea de densificare respectiv de calibrare după sinterizare).

Între diametrul maxim al porilor și finețea de filtrare a poate fi considerată următoarea relație de dependență:

$$a = \frac{D_{(p \max)}}{k} \quad (5.34)$$

unde $k = 2, \dots, 4$.

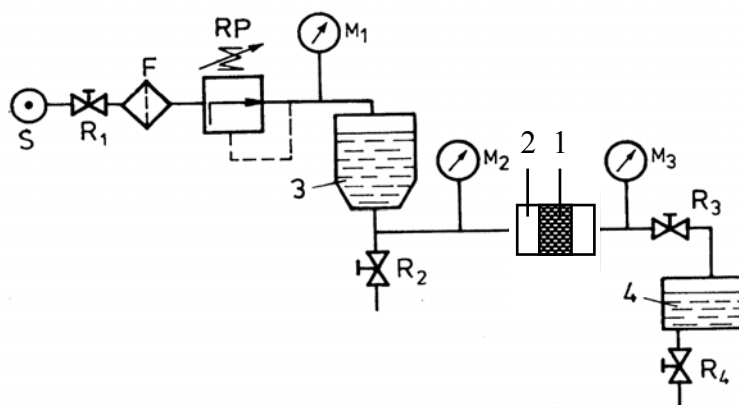


Fig. 5.26. Schema instalației pentru determinarea fineții de filtrare.

1 – probă poroasă; 2 – dispozitiv de fixare; 3, 4 – rezervoare;
 S – sursa de aer comprimat; R_1, R_2, R_3, R_4 – robinete; F – filtru;
 RP – regulator de presiune; M_1, M_2, M_3 – manometre

Pentru structuri permeabile obținute din pulbere de formă sferică, raportul dintre dimensiunea maximă a porilor și finețea de filtrare este aproape de valoarea 2 și practic nu depinde de dimensiunea granulelor. Pentru materialele din pulbere de formă neregulată, acest raport variază în anumite limite în funcție de forma granulelor pulberii.

Schema unei instalații de determinare a fineții filtrării este prezentată în figura 5.26. Lichidul contaminat cu impurități de compoziție granulometrică cunoscută este forțat să treacă prin proba poroasă 1 (prinsă în dispozitivul de fixare 2) sub acțiunea presiunii aerului, reglată de regulatorul de presiune RP. În rezervorul 4 se colectează lichidul filtrat. Din cele două rezervoare se prelevează probe de lichid cu impurități, determinându-se finețea de filtrare, capacitatea și eficiența filtrării conform, normelor sau standardelor respective.

Pentru determinarea fineții de filtrare și a capacității de filtrare se poate folosi o instalație care funcționează la o depresiune constantă (vaccum constant) asigurând un regim laminar de curgere prin proba poroasă (fig. 5.27). Apa distilată din rezervorul 3, cu o cantitate de impurități de o repartiție granulometrică cunoscută, va curge prin proba poroasă 1, fixată în

dispozitivul 2, datorită vidului realizat de pompa de vid P_v , a căruia depresiune necesară este reglată cu droselul DR și măsurată cu manometrul M. Fluidul filtrat din rezervorul 5, cules în vasul 6 este apoi supus analizei granulometrice a impurităților rămase după filtrare, determinându-se conform normelor și standardelor, finețea de filtrare, capacitatea de filtrare și clasa elementului filtrant. Depresiunea constantă și fără pulsații a vidului este asigurată de rezervorul tampon 7. Agitatorul 4 asigură o suspensie omogenă necesară a impurităților în fluidul care se filtrează.

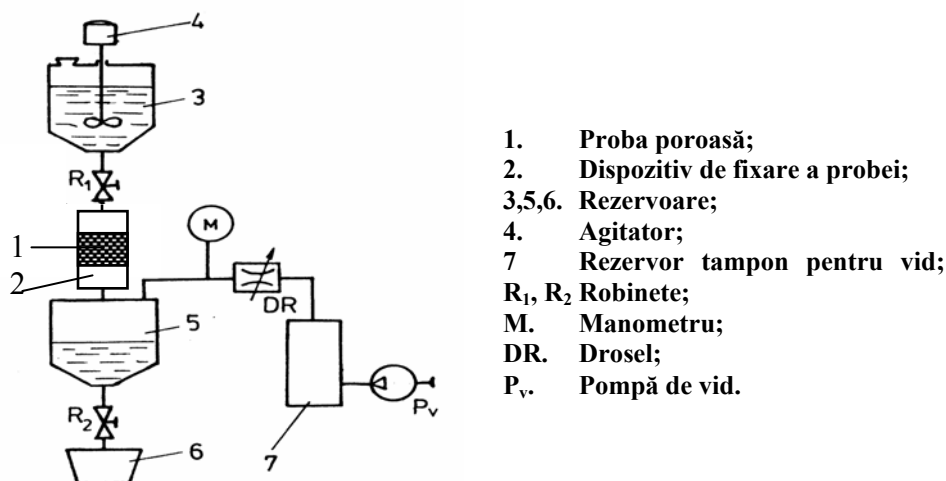


Fig. 5.27. Schema instalației pentru determinarea fineții de filtrare

Exemplu de calcul

1° Se cere să se calculeze suprafața filtrantă necesară unui filtru cu finețea de filtrare nominală de $50\ \mu\text{m}$ pentru filtrarea apei cu un debit de $2\ \text{m}^3/\text{h}$.

Grosimea elementului filtrant este de $2\ \text{mm}$, iar căderea de presiune $\Delta p = 0,4\ \text{bar}$. Se alege un filtru din pulbere de bronz sinterizat tip SIKA – R50 (Krebsage). În prospectul de fabricație se dau următoarele date de calcul:

- coeficientul de permeabilitate vâscoasă : $\Psi_v = 26 \cdot 10^{-12}\ \text{m}^2$;
- coeficientul de permeabilitate inerțială: $\Psi_i = 84 \cdot 10^{-7}\ \text{m}$;
- vâscozitatea apei: $\eta = 100,5 \cdot 10^{-5}\ \text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$.

Considerând curgerea laminară se poate aplica relația de calcul a suprafeței uzând legea lui Darcy (relația 5.30).

$$S = \frac{Q \cdot h \cdot \eta}{\Psi_v \cdot \Delta p}$$

$$Q = 2 \text{ m}^3/\text{h} = \frac{2}{3600} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta p = 0,4 \text{ bar} = 4 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$$

$$h = 2 \text{ mm} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$S = \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 100,5 \cdot 10^{-5}}{3600 \cdot 26 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot 10^4} = 1,07 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 = 10,7 \text{ cm}^2$$

2° Se cere să se calculeze suprafața filtrului pentru filtrarea aerului, considerând următoarele condiții de lucru impuse:

$$Q = 600 \text{ l/min} = 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s};$$

$$T = 20^\circ\text{C};$$

$$\eta = 1,82 \cdot 10^{-5} \text{ N}\cdot\text{s/m}^2;$$

$$\Delta p = 10^5 \text{ N/m}^2;$$

$$\rho = 1,29 \text{ kg/m}^3;$$

$$p_2 = 1013 \text{ mbar} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2.$$

Finețea de filtrare: 45 μm .

Se alege din catalogul firmei KREBSOGE un filtru de bronz sinterizat tip SIKA B – 45 (corespunzător fineței de filtrare impuse).

$$\Psi_v = 50 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2;$$

$$\Psi_i = 80 \cdot 10^{-7} \text{ m};$$

$$h = 5 \text{ mm} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}.$$

Aerul fiind un mediu compresibil, se aplică următoarea relație de calcul, valabilă pentru acest regim de lucru, în care este explicitată presiunea p_2 în aval de filtru (relația 5.24):

$$\Delta p \left(1 + \frac{\Delta p}{2p_2} \right) = \frac{Q \cdot h}{S} \left(\frac{\eta}{\Psi_v} + \frac{\rho \cdot Q}{\Psi_i \cdot S} \right)$$

de unde prin explicitare rezultă:

$$S = \frac{1}{2\Delta p \left(1 + \frac{\Delta p}{2p_2} \right)} \cdot \left(Q \cdot h \frac{\eta}{\Psi_v} + \sqrt{\left(Q \cdot h \frac{\eta}{\Psi_v} \right)^2 + 4\Delta p \left(1 + \frac{\Delta p}{2p_2} \right) \cdot \frac{\rho \cdot h \cdot Q^2}{\Psi_i}} \right)$$

Înlocuind datele numerice exprimate anterior, rezultă:

$$S \approx 8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 8 \text{ cm}^2.$$

5.12. Regenerarea mediilor filtrante

În procesele de exploatare a filtrelor, se manifestă fenomenul de deteriorare a structurii poroase permeabile prin diminuarea valorilor parametrilor structurali cu efecte asupra caracteristicilor funcționale filtrante din cauza colmatării porilor.

Regenerarea structurii permeabile este o operație de recuperare a valorilor parametrilor structurali și a proprietăților filtrante diminuate în urma procesului de colmatare în timpul funcționării prin curgerea fluidului impurificat și ai altor agenți de lucru prin pori.

În urma colmatării porilor se diminuează porozitatea deschisă intercomunicantă, se micșorează dimensiunea porilor, crește căderea de presiune și scade debitul de curgere a fluidului, prin urmare crește rezistența hidraulică a sistemului poros, existând pericolul impermeabilizării totale a structurii poroase, a ieșirii din uz, respectiv a imposibilității utilizării și funcționării în continuare a elementului filtrant.

În practica decolmatării elementelor filtrante se utilizează o serie de procedee de regenerare, dintre care sunt prezentate în continuare, cele mai uzuale.

Curățirea mecanică – constă în trecerea fluidelor sub presiune (în general, aer comprimat) în contracurent (în sens invers filtrării) prin mediul poros.

Decolmatarea prin spălare în contracurent reprezintă o modalitate excelentă de reabilitare a durabilității filtrului prin redarea caracteristicilor inițiale ale mediului filtrant poros. Procedul de decolmatare prin spălare în contracurent constă în inversarea sensului de curgere a fluidului prin filtre în scopul spălării acestuia, în momentul atingerii în urma funcționării a unei căderi de presiune admisibile, anterior stabilită. Procedul se utilizează practic în cazul filtrelor care filtrează la suprafață și nu în adâncime. Utilizarea spălării în contracurent dă rezultate excelente la decolmatarea filtrelor tip: membrană – sită.

Se prezintă două tipuri de curbe caracteristice de eficiență a decolorării prin spălare în contracurent (fig. 5.28 a, b). În procesul de filtrare a vinului (fig. 5.28 curba a) filtrul se colmatează având ca efect creșterea căderii de presiune Δp . La atingerea valorii admisibile a lui Δp , filtrul este supus spălării în contracurent (de regulă cu apă), asigurându-se reducerea căderii de presiune la valorile inițiale și restabilirea debitului aproape de cel inițial, după mai multe cicluri filtrare –spălare.

La filtrarea berii (fig. 5.28 curba b) se constată că în urma fiecărei durate de filtrare, scade debitul filtratului datorită colmatării. Prin spălarea în contracurent (evidențiată prin săgețile de pe liniile punctate) se asigură posibilitatea redării capacității de filtrare, aproximativ la debitele inițiale.

Trebuie respectate două reguli la spălarea în contracurent:

- fluidul care a servit la decolmatare (spălare) trebuie să fie retrimis în amonte de prefiltru pentru a evita revenirea particulelor de la spălare în fața filtrului decolmatat;
- presiunea utilizată la decolmatare (spălare) trebuie să fie ceva mai ridicată decât căderea de presiune care a fost atinsă înainte de decolmatare, pentru a fi siguri de dislocarea particulelor din porii filtrului.

Regenerarea chimică – se realizează prin spălarea cu reactivi chimici, care trec materialele depuse într-o formă solubilă, urmată de o suflare suplimentară cu aer comprimat pentru eliminarea urmelor rămase în

pori. Ca reactivi chimici se folosesc: acizii, leșiile, etc. Se pot folosi de asemenea solvenți (acetona, benzina, spirtul) care dizolvă materialele depuse. Condiția care se impune la alegerea reactivului chimic sau a solventului de curățire este ca acesta să nu reacționeze, ori să atace chimic materialul scheletului metalic solid al structurii poroase. Filtrele din oțel inoxidabil se curăță cu acid azotic. La fel se regenerează și filtrele înfundate cu amestecuri organice. Pentru creșterea capacității de regenerare prin dizolvare chimică se pot aplica operații complementare utilizând tehnica ultrasunetelor.

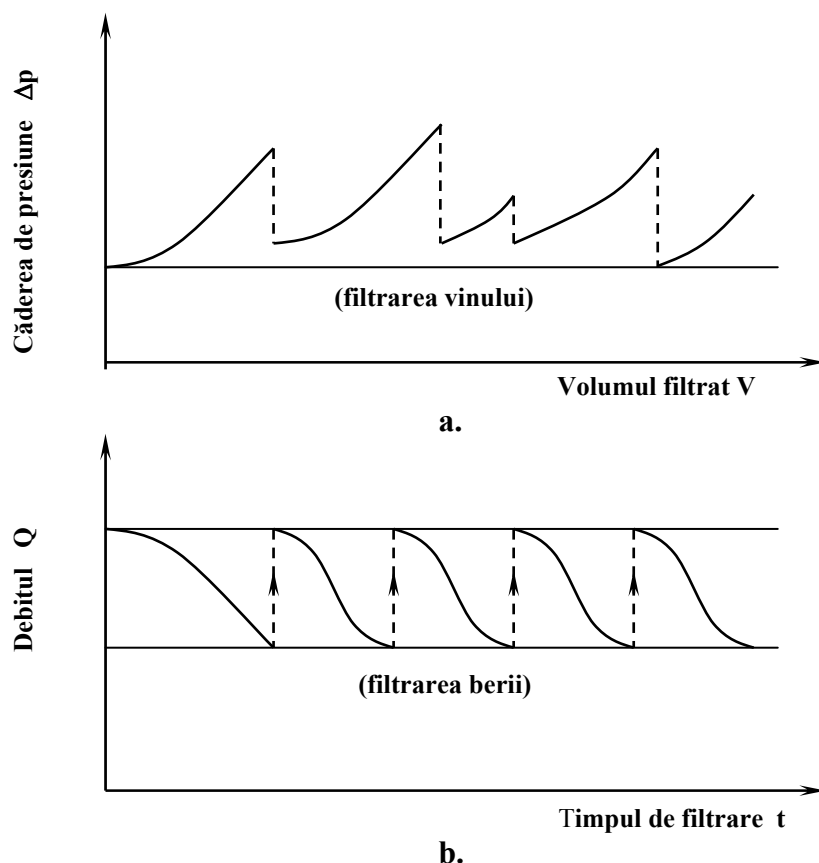


Fig. 5.28. Diagrame de decolmatare

Unele dezavantaje ale aplicării curățirii pe cale chimică sunt: necesitatea demontării elementului filtrant, durata procesului relativ mare, contactul direct al materialului filtrului cu solventul chimic agresiv. De

aceea, se recomandă aplicarea regenerării chimice la structuri poroase din oțeluri inoxidabile, rezistente la agresivitatea chimică a solvenților utilizați.

Curățirea termică se utilizează mai rar, datorită necesității demontării filtrului din ansamblu său, în instalații termice speciale și medii de protecție. Pentru regenerarea termică a filtrelor din bronz sinterizat îmbâcsite cu diverse rășini se aplică încălzirea în aer la (600–850)°C și menținerea la această temperatură până la arderea completă a polimerului, urmată de menținerea în mediu de amoniac disociat la aceeași temperatură până la eliminarea completă a impurificantului.

Agitarea împiedică concentrarea particulelor de impurități de deasupra membranei filtrante sau în interiorul porilor, când caracteristicile de curgere, respectiv permeabilitatea se diminuează. Se poate practica prin vibrarea simplă a filtrului împreună cu suportul său, sau cu agitare de tip magnetic sau ultrasonic.

Cea mai eficientă regenerare a filtrelor se realizează prin combinarea metodelor de curățire prezentate mai sus cu alte operații suplimentare ca de exemplu utilizarea tehnicii vibrațiilor sau a ultrasunetelor.

5.13. Modalități de filtrare utilizate la tratarea și epurarea apelor

Mediile filtrante cele mai utilizate la tratarea apelor sunt:

- filtrarea prin straturi granulare;
- filtrarea prin site;
- filtrarea prin membrane cu formare de “turtă”.

5.13.1. Filtrarea prin materiale granulare

Filtrarea prin materiale granulare este cel mai frecvent utilizată, realizându-se pe toată grosimea stratului (care poate ajunge de ordinul metrilor). Se utilizează la tratare în cazul cantităților și debitelor mari de apă cu concentrații relativ mici de impurități (în suspensie), fiind necesare operații de prefiltrare și decantare prealabile.

Particulele de impurități solide mai mari de 30 μm sunt reținute prin mecanismul de interceptare mecanică directă ori prin sedimentare, dacă vâscozitatea fluidului nu este mare și densitatea particulelor solide este sensibil mai mare decât a apei.

Particulele sunt reținute în interiorul porilor dintre granulele constitutive ale mediului filtrant și sunt menținute prin forțele de frecare și de presiunea lichidului.

Pentru particulele cu dimensiuni mai mici de 1 μm , filtrarea se poate realiza prin interceptare directă la suprafața granulelor menținute de către forțele de atracție van der Waals, efectele electrostatice, mișcarea browniană, legături chimice.

În practică, se întâlnesc mai des situații în care dimensiunile medii ale particulelor solide de impurități sunt cuprinse între 1–30 μm .

Particulele mai mari se elimină mai ușor prin decantare decât prin filtrare, iar cele mici prin tratamentul de coagulare – floclare prealabilă a suspensiilor coloidale pentru a le aduce la dimensiunea minimă de 1 μm . Coagularea – floclarea se poate aplica în timpul procesului de filtrare.

5.13.2. Filtrarea prin site

Lichidul de filtrat trece prin ochiurile sitei având dimensiuni de ordinul zecimilor de microni până la al milimetrilor.

Acest tip de filtrare este o treaptă preliminară, în general, pentru separarea particulelor grosiere și în cantități mici. Procedul se aplică de regulă la tratarea apei potabile.

5.13.3. Filtrarea cu formare de “turtă”

Ca mediu filtrant pe rol de suport se utilizează o membrană permeabilă relativ subțire. Se aplică la epurarea apelor uzate cu cantități mari de suspensii cu dimensiuni medii apropiate ale impurităților solide sau mai mari decât ale porilor suportului.

Tehnica de filtrare este de suprafață, respectiv pe suport, cu formarea unui strat (turtă) din particule solide de impurități cu grosime crescândă. Turta preia funcțiile mediului filtrant, iar funcția membranei – suport devine neglijabilă.

Grosimea turtei crește în timpul filtrării odată cu creșterea cantității de apă de filtrat și cu cantitatea de impurități. Procesul de filtrare se întrerupe când se atinge o grosime stabilită a turtei. Turta poate fi evacuată în mod continuu sau discontinuu. Acest tip de filtrare se aplică cel mai frecvent în tehnica epurării apelor și la deshidratarea nămolurilor.

De subliniat că filtrarea în adâncime este rezervată filtrării suspensiilor cu concentrații relativ scăzute în impurități solide, de regulă inferioare valorii de 0,1 %. Teoria filtrării în adâncime este foarte dificil de elaborat în primul rând datorită grosimii mediului filtrant, a cărei structură se modifică în timpul procesului, cu efecte asupra mecanismelor de reținere și captare a particulelor de impurități solide. Nici o teorie nu asigură explicarea completă și riguroasă a mecanismelor filtrării în profunzime.

Se va prezenta în continuare teoria filtrării la suprafață cu formare de “turtă” deasupra mediului filtrant inițial denumit sită sau membrană suport.

În cursul filtrării, datorită presiunii exercitate de fluid și datorită greutatea, turta reprezintă un mediu compresibil. Pentru simplificarea abordării, se consideră că turta este incompresibilă.

Se consideră o celulă de filtrare cu o membrană filtrantă prin care trece fluidul cu impurități solide în suspensie (fig. 5.29).

Pierdere totală de presiune (diferența de presiune) Δp (egală cu pierdere datorată turtei și membranei) necesară pentru a învinge rezistențele hidraulice poate fi creată fie de greutatea suspensiei, fie de aerul comprimat care acționează deasupra suspensiei, fie cel mai adesea de presiunea furnizată de o pompă hidraulică. În anumite cazuri, căderea de presiune poate fi asigurată prin crearea unui vid sub suport, proces denumit filtrare cu vid.

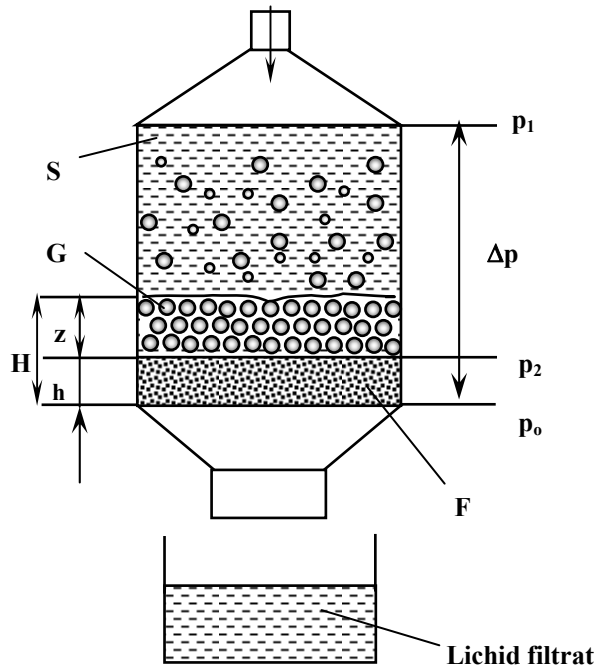


Fig. 5.29. Celulă de filtrare cu formare de „turtă”. S – suspensie;
 G – turtă; F – membrană filtrantă; h – grosime membrană filtrantă;
 z – înălțimea turtei

Există trei modalități de realizare a alimentării, respectiv filtrării în instalațiile de filtrare:

1. Filtrarea cu debit constant (de exemplu, de la o pompă volumetrică). Dacă se constată că grosimea turtei crește, atunci este necesară creșterea progresivă a presiunii de filtrare pentru a asigura menținerea constantă a debitului.
2. Filtrarea la diferență de presiune constantă, la filtrare utilizând alimentarea prin intermediul presiunii unui gaz, filtrarea sub vid, etc. Rezistența la curgere a fluidului se mărește pe măsura creșterii grosimii stratului depus, respectiv grosimea turtei, iar debitul va scădea progresiv.
3. Filtrarea la presiune și debit variabil care se poate asigura, spre exemplu, prin alimentarea de la o pompă centrifugă. În acest caz,

studiul filtrării este mai complex. Această modalitatea de filtrare, poate debuta printr-o filtrare la debit constant (prin alimentarea cu pompă volumetrică) urmată de filtrarea la presiune constantă (cu limitarea mărimii presiunii).

În continuare se prezintă relațiile de calcul pentru cazurile de filtrare cu debit constant și de filtrare la presiune constantă.

Mărimile care intervin în relațiile următoare au semnificațiile:

m – coeficientul de umiditate a turtei (masa turtei umede/masa turtei uscate [kg/kg]);

Q – debitul constant al filtratului [m^3/s];

s – conținutul masic al materiei solide din suspensie [kg/kg];

t – timpul de filtrare [s];

V – volumul filtratului în timpul t [m^3];

c – concentrația solidului în suspensie (masa de solid pe unitatea de volum de filtrat [kg/m^3];

z – grosimea turtei formate [m];

α – rezistența specifică a turtei [m/kg];

Δp – căderea de presiune la filtrare [Pa]; $1 \text{ Pa} = 10^{-5} \text{ bar}$;

η – vâscozitatea dinamică a filtratului [$\text{Pa}\cdot\text{s}$];

ρ_l – densitatea filtratului [kg/m^3];

ρ_s – densitatea particulelor solide din suspensie [kg/m^3];

R_s – rezistența hidraulică a suportului la curgere pe unitatea de suprafață [$1/\text{m}$],

$$R_s = \frac{h}{\Psi_v}$$

unde: **h** este grosimea membranei filtrante;

Ψ_v – coeficientul de permeabilitate vâscoasă.

Considerând celula de filtrare din figura 5.29, se poate scrie relația dintre debitul **Q** și căderea de presiune Δp a fluidului care trece printr-un mediu poros permeabil:

$$Q = \frac{S \cdot \Delta p}{\eta \cdot H} \cdot \Psi_v \quad (5.35)$$

unde: H reprezintă grosimea totală (echivalentă) a turtei și a suportului permeabil.

Fiecare din cele două elemente permeabile (turtă și suport) au permeabilități distincte exprimate prin mărimile definite anterior.

Relația devine:

$$Q = \frac{S \cdot \Delta p}{\eta(R_s + R_c)} \quad (5.36)$$

în care $R_s = \frac{h}{\Psi_v}$ este rezistența hidraulică a suportului permeabil,

$R_c = \alpha \cdot c \cdot z = \alpha \cdot c \cdot V/S$ – rezistența la curgere a turtei.

$$Q = \frac{S \cdot \Delta p}{\eta \cdot \alpha \cdot c \cdot (V/S) + \eta \cdot R_s} \quad (5.37)$$

dar: $Q = \frac{dV}{dt}$,

$$\frac{dt}{dV} = \eta \cdot \alpha \cdot c \cdot \frac{V}{S^2 \Delta p} + \frac{\eta \cdot R_s}{S \cdot \Delta p} \quad (5.38)$$

Prin integrare, rezultă relațiile de calcul necesare calculului filtrării cu formare de „turtă”.

Filtrarea cu presiune constantă

$$t = \frac{\eta \cdot \alpha \cdot c}{2\Delta p \cdot S^2} V^2 + \frac{\eta \cdot R_s}{\Delta p \cdot S} V \quad (5.39)$$

$$\frac{t}{V} = \frac{\eta \cdot \alpha \cdot c}{2\Delta p \cdot S^2} V + \frac{\eta \cdot R_s}{\Delta p \cdot S} \quad (5.40)$$

$$V = S \left[\sqrt{\left(\frac{R_s}{\alpha \cdot c} \right)^2 + \frac{2\Delta p}{\eta \cdot \alpha \cdot c} \cdot t} - \frac{R_s}{\alpha \cdot c} \right] \quad (5.41)$$

Filtrarea cu debit constant

$$\Delta p = \frac{\eta \cdot \alpha \cdot c \cdot Q^2 \cdot t}{S^2} + \frac{\eta \cdot R_s \cdot Q}{S} \quad (5.42)$$

$$z = \frac{c \cdot V}{S(1-P)\rho_s} = \frac{c \cdot Q \cdot t}{S(1-P)\rho_s} \quad (5.43)$$

în care $V = Q \cdot t$

Relații generale

$$z = \frac{c \cdot V}{S(1-P)\rho_s} \quad (5.44)$$

$$c = \frac{\rho_\ell \cdot s}{1 - m \cdot s} \quad (5.45)$$

$$m = 1 + \frac{P \cdot \rho_\ell}{(1-P)\rho_\ell} \quad (5.46)$$

Definiții și precizări asupra mărimilor din relațiile anterioare

Vâscozitatea dinamică (η) a lichidului suspensiei adică a filtratului. Vâscozitatea lichidului variază cu temperatura. În cazul apei: $\eta = 1,8 \cdot 10^3$ Pa·s, la 0° C; $1,3 \cdot 10^3$ la 10°C; $1,0 \cdot 10^3$ la 20°C; $0,8 \cdot 10^3$ la 30°C; $0,3 \cdot 10^3$ la 100°C.

Rezistența suportului la curgere (R_s) pe unitatea de suprafață. Grosimea suportului este de ordinul de mărime (0,1 – 2) mm, iar grosimea turtei atinge sau depășește valoarea de (10 – 20) mm. Se poate neglija astfel R_s precum și termenii din relațiile de calcul anterioare.

Determinarea R_s se poate face măsurând pierderile de presiune între amonte și aval de mediul filtrant (cu suprafață S), la curgerea prin filtru a unui fluid cu debitul Q (ales pentru a se menține curgerea laminară).

$$R_s = \frac{\Delta p \cdot S}{\eta \cdot Q} = \frac{h}{\psi_v}$$

Conținutul masic al materiei solide (s)

Se prelevează o probă de suspensie care se cântărește (m_1). Se filtrează, se usucă turta formată pe filtru și se cântărește (m_2). Se calculează: $s = m_2/m_1$.

Densitatea lichidului filtrat (ρ_l)

Este necesară cunoașterea valorii densității lichidului la temperatura de filtrare.

Densitatea particulelor solide (ρ_s)

Cunoașterea densității particulelor solide din suspensie este necesară și relevantă în cazul în care suspensiile sunt destul de încărcate, respectiv valoarea lui s este mai mare de 0,015, adică 15 grame de particule solide într-un kg de suspensie. ρ_s – se consideră densitatea masei solide a particulelor în stare compactă și nu densitatea aparentă (în vrac). Se poate măsura cu ajutorul picnometrului.

Coefficientul de umiditate a turtei (m) este definit prin raportul dintre masa turtei umede (porii umpluți cu lichid) și masa turtei uscate. Cunoașterea acesteia este indispensabilă numai în cazul în care suspensiile sunt încărcate (aproximativ peste 5 grame/kg de suspensie). Pentru determinare, se prelevează o probă de turtă umedă care se cântărește (m_1'). Se usucă în etuvă și se cântărește (masa m_2'). Se calculează: $m = m_1' / m_2'$. Pentru turte compresibile, valoarea lui m depinde de presiunea de filtrare. La presiuni mari, turta va fi tasată, iar m va tinde spre 1.

Concentrația solidului în suspensie (c) (masa de solid pe unitatea de volum filtrat în kg/m^3) reprezintă masa de solid depusă sub formă de turtă pe unitatea de volum filtrat.

Valoarea lui c este dată de relația:

$$c = \frac{\rho_l \cdot s}{1 - m \cdot s}$$

Dacă suspensia nu este prea încărcată cu material solid (s fiind inferior lui 0,015) se poate conveni ca:

$$c = \rho_l \cdot s$$

Pentru $s=0,005$ (5 grame de solid pe kg de suspensie) $m=1,8$ și $\rho_l=1000 \text{ kg/m}^3$ (apă); $c'=\rho_l \cdot s=5 \text{ kg/m}^3$ sau $c=\rho_l \cdot s/(1-m \cdot s)=5,05 \text{ kg/m}^3$.

Dar dacă: $s=0,20$ (200 grame de solid pe kg de suspensie), atunci $c=200 \text{ kg/m}^3$, $c=313 \text{ kg/m}^3$, în timp ce:

$$c = \rho_l \cdot s = 200 \text{ kg/m}^3$$

În aceste cazuri, simplificarea nu poate fi acceptată.

Dacă suspensia conține particule mari și dense se manifestă tendința de sedimentare. Importanța acestui fenomen depinde de viteza de cădere liberă a particulelor (viteza Stokes), în raport cu viteza generală a suspensiei și de orientarea de curgere (vertical ascendentă pentru un filtru cu tambur sub vid, vertical descendent pentru un filtru cu cadru orizontal).

Rezistența specifică a turtei (α). Se definește ca rezistența la curgere a fluidului printr-un kg de turtă depusă pe 1 m^2 de suprafață filtrantă.

Rezistența unei turte R_c se calculează astfel:

$$R_c = \alpha \frac{M}{S} \quad (5.47)$$

unde M este masa turtei uscate $M=c \cdot V$;

Atunci:

$$\alpha = \frac{R_c \cdot S}{c \cdot V} \quad (5.48)$$

5.13.4. Coeficientul de filtrabilitate

Filtrabilitatea se poate exprima prin volumul de suspensie care trece printr-o suprafață filtrantă la o presiune constantă în unitatea de timp, în comparație cu o apă standard (distilată sau apă de robinet). Filtrabilitatea exprimă deci ușurința cu care fluidul trece prin filtru.

O asemenea definiție a filtrabilității în literatura de specialitate este improprie, deoarece face referire doar la capacitatea de curgere a suspensiei și nu la capacitatea de filtrare a mediului filtrant.

Inversul filtrabilității se numește coeficient de filtrabilitate (sau indicele filtrabilității), care exprimă rezistența filtrului la curgere, respectiv rezistența turtei la filtrare.

$$F_k = \frac{1}{V} \cdot 10 \cdot h \cdot \frac{\Delta p_1}{\Delta p_0} \quad (5.49)$$

unde: V este volumul [ml] de fluid testat care trece prin filtru.

Δp_1 – pierdere de presiune pe filtru după trecerea volumului V de fluid de filtrat;

Δp_0 – pierdere de presiune inițială pe filtru.

Astfel o metodă de determinare a coeficientului de filtrabilitate este măsurarea pierderii de presiune produsă în urma curgerii unei cantități de fluid (apă) test, cu o instalație având schema din figura 5.30.

Ecuatia filtrării sub presiune constantă cu formare de turtă, scrisă pentru suprafața unitară este:

$$\frac{t}{V} = \frac{\eta \cdot \alpha \cdot c}{2\Delta p} V + \frac{\eta \cdot R_s}{\Delta p} \quad (5.50)$$

unde: t este timpul de filtrare;

R_s – rezistența la curgere a suportului (mediului filtrant) pe unitatea de suprafață;

c – masa turtei depuse pe unitatea de volum de filtrat;

Δp – presiunea diferențială la filtrare;

α – rezistența specifică a turtei;

η – vâscozitatea dinamică a filtratului.

Termenul $\frac{\eta \cdot \alpha \cdot c}{2\Delta p}$ din relația 5.50 caracterizează rezistența turtei la filtrare, iar termenul $\frac{\eta \cdot R_s}{\Delta p}$ cea a suportului. Această relație poate fi scrisă în forma simplificată, considerând notația:

$$F_k = \frac{\eta \cdot \alpha \cdot c}{\Delta p} \quad (5.51)$$

unde: F_k este coeficientul de filtrabilitate, relația 5.50 devine:

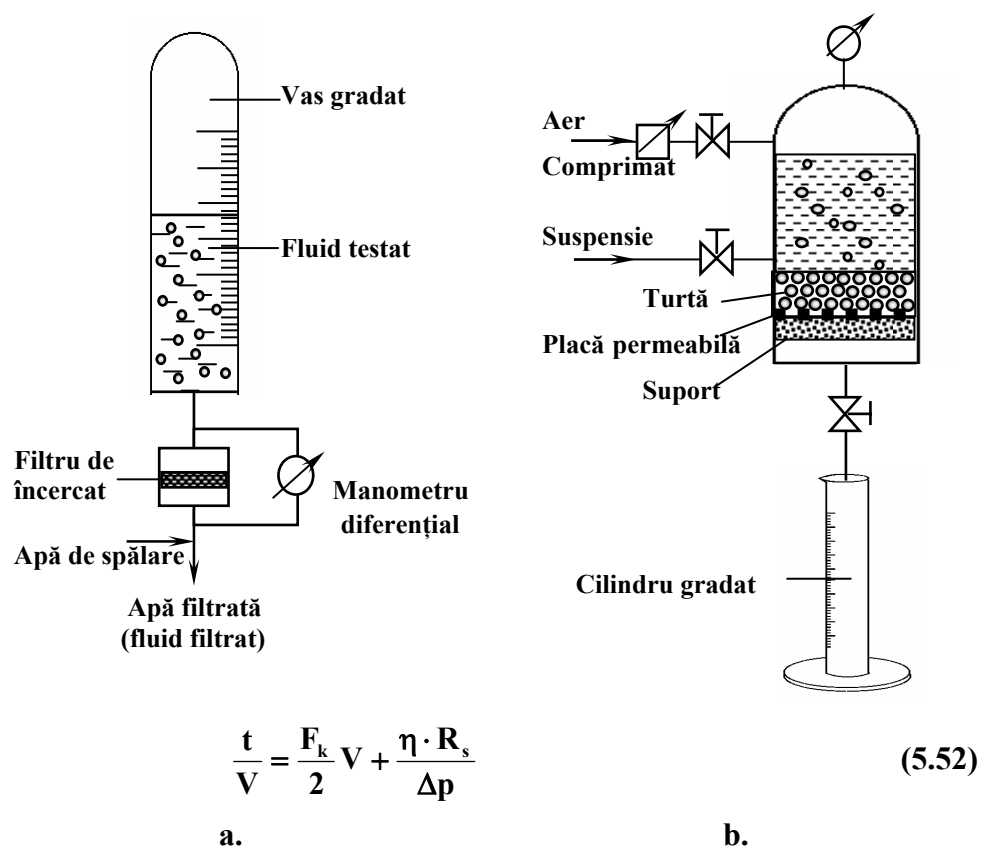


Fig. 5.30. Reprezentarea schematică a instalațiilor pentru determinarea filtrabilității. a. prin măsurarea căderii de presiune; b. prin măsurarea volumului fluidului filtrat

Dacă rezistența la curgere a suportului este neglijabila față de cea a turtei, se poate scrie:

$$\frac{t}{V} = \frac{F_k}{2} V \quad (5.53)$$

Variația t/V în funcție de V este o dreaptă (fig.5.31).

În majoritatea tehnicilor de filtrare industriale, caracteristicile suspensiei: η ; α ; c sunt practic constante, presiunea de filtrare Δp de

asemenea este constantă, iar R_s – rezistența la curgere a suportului poate fi neglijată.

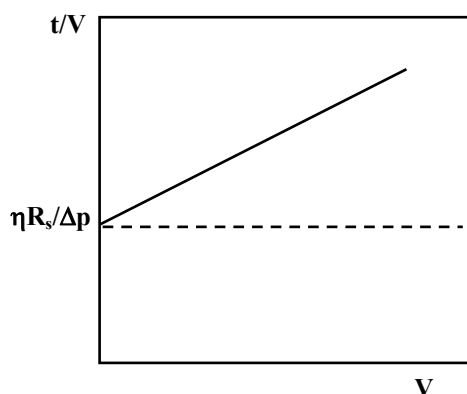


Fig. 5.31. Dependența $t/V = f(V)$

Valoarea coeficientului de filtrabilitate F_k poate fi măsurată utilizând încercarea de filtrare sub presiune constantă (cu ajutorul aerului comprimat care apasă asupra suspensiei din recipient (figura 5.30. b).

Se măsoară volumul filtrat cu ajutorul unui cilindru gradat, la diferiți timpi de filtrare.

Se notează: $v = \frac{V}{S}$ volumul filtratului pe unitatea de suprafață;

unde: S – suprafața filtrului.

Se trasează curba $t/v = f(v)$. Această curbă trebuie să fie o dreaptă de ecuație:

$$\frac{t}{v} = \frac{F_k}{2} v + \frac{\eta \cdot R_s}{\Delta p} \quad (5.54)$$

Panta acestei drepte este egală cu $F_k/2$. Ordonata la origine este $\eta R_s/\Delta p$.

Experiența a arătat că această metodă permite determinarea coeficientului F_k cu o bună precizie, dar că valorile obținute pentru $\eta R_s/\Delta p$ variază prea mult de la o încercare la alta, pentru a putea permite obținerea unei valori exacte pentru R_s .

Dacă presiunea se modifică în timpul încercării și turta este compresibilă, atunci panta curbei variază. De aceea se va determina în aceste cazuri coeficientul de filtrabilitate pentru mai multe valori ale căderii de presiune la filtrare.

5.13.5. *Utilizarea coeficientului de filtrabilitate pentru dimensionarea filtrelor*

Coeficientul de filtrabilitate F_k asigură o mare comoditate pentru calculul de dimensionare a filtrelor în anumite condiții impuse:

- presiune constantă;
- rezistența la curgere a suportului – neglijabilă față de cea a turtei formate.

Se dau: Q – debitul filtratului;

v – volumul filtratului pe unitatea de suprafață;

z – grosimea turtei;

v' – volumul turtei pe unitatea de suprafață (egal cu z).

Se notează:

$$m_v = \frac{v'}{v} = \frac{z}{v} \quad (5.55)$$

Coeficientul m_v este constant pentru o presiune și o concentrație de solid în suspensie date.

Se notează:

$$\varphi = \frac{t_f}{T} \quad (5.56)$$

unde: t_f este timpul de formare a turtei;

T – durata ciclului de filtrare;

N – numărul de cicluri de filtrare pe oră.

Se cunoaște: $\frac{t_f}{v} = \frac{F_k}{2} v$

Adică:

$$v = \sqrt{\frac{2t_f}{F_k}} \quad (5.57)$$

Dacă timpul se exprimă în secunde:

$$T = \frac{3600}{N}$$

$$t_f = \frac{3600 \cdot \varphi}{N} \quad (5.58)$$

$$v = 60 \sqrt{\frac{2\varphi}{N \cdot F_k}} \quad (5.59)$$

$$Q = N \cdot S \cdot v = 60 \cdot S \cdot \sqrt{\frac{2\varphi N}{F_k}} \quad (5.60)$$

Se poate astfel calcula timpul de formare a turtei de grosime z :

$$t_f = \frac{F_k}{2} \cdot \frac{z^2}{m_v^2} \quad (5.61)$$

$$Q = 7200 \cdot S \cdot \frac{\varphi \cdot m_v}{F_k \cdot z} \quad \text{debitul} \quad (5.62)$$

sau:

$$S = \frac{Q}{7200} \cdot \frac{F_k \cdot z}{\varphi \cdot m_v} \quad \text{suprafața de filtrare} \quad (5.63)$$

Se poate determina astfel prin aceste calcule:

- debitul care se filtrează în anumite condiții de lucru;
- dimensiunea filtrului (suprafața filtrului) în anumite situații date.

Coeficientul de filtrabilitate integrează anumiți parametri: vâscozitatea lichidului (η), concentrația solidului (c), presiunea de filtrare și rezistența specifică la curgere a turtei (α).

După unii autori (K.J. Ives), testele de filtrabilitate la tratarea apei cu filtre granulare (de exemplu nisip) se pot efectua pe baza indicelui de filtrabilitate definit prin relația:

$$F = \frac{c}{c_0} \cdot \frac{\Delta p}{w \cdot t} \quad (5.64)$$

unde: Δp este pierderea la presiune pe filtru;

c – concentrația impurităților în filtrat, sau alt parametru de calitate urmărit (de exemplu turbiditatea), după durata de filtrare t ;

c_0 – concentrația inițială în suspensie, sau alt parametru de calitate;

w – viteza de filtrare;

t – timpul de filtrare.

Asemenea teste de filtrabilitate cu relevanță limitată și cu rezultate orientative pot fi efectuate utilizând o instalație similară celei prezentate în figura 5.32.

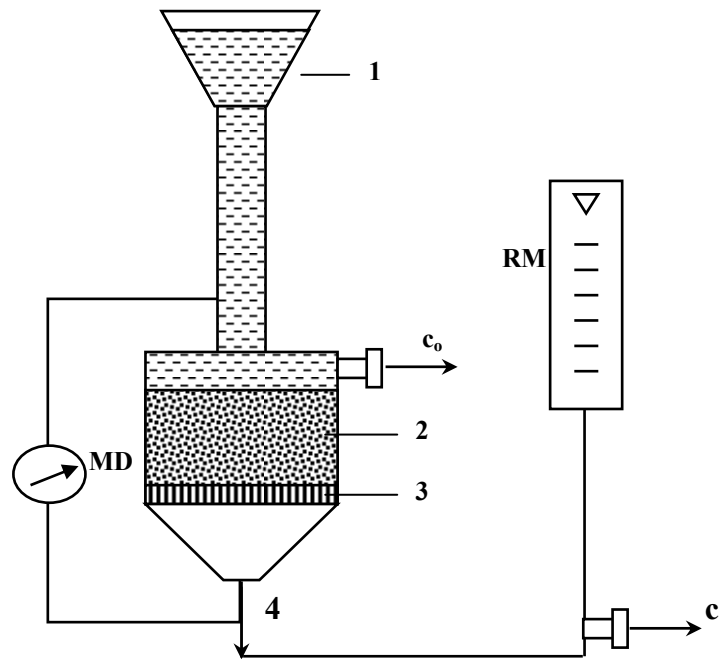


Figura 5.32. Schema instalației pentru teste de filtrabilitate. 1 – apă brută; 2 – filtru de nisip; 3 – filtru suport; 4 – apă filtrată; MD – manometru diferențial; RM – debitmetru

Mod de calcul

Se prezintă în continuare procedura unui calcul de dimensionare pentru un filtru industrial.

- Determinarea în laborator a coeficientului de filtrabilitate F_k pentru o presiune egală cu aceea utilizată în procesul industrial. La aceeași încercare se poate determina și coeficientul m_v .

$$m_v = \frac{\text{volumul turtei}}{\text{volumul filtratului}}$$

- Alegerea grosimii turtei cu care va funcționa instalația industrială. Relațiile anterioare arată că suprafața de filtrare necesară pentru un debit dat crește direct proporțional cu grosimea turtei. Există astfel tentația de a reduce investigația impunând grosimi reduse. Trebuie remarcat însă că o grosime minimă se impune sub care descărcarea și spălarea turtei devine dificilă și incompletă.
- Evaluarea raportului $\varphi = \frac{t_f}{T}$ în funcție de filtrul ales.
- Aplicarea relației de calcul a suprafeței de filtrare:

$$S = \frac{Q}{7200} \cdot \frac{F_k \cdot z}{\varphi \cdot m_v}$$

Raportul φ este definit de geometria instalației de filtrare pentru filtre continue, (filtru cu tambur, disc sau bandă rotativă, $\varphi = 0 - 0,30$), iar pentru filtre discontinue φ se calculează în funcție de ciclul de funcționare (filtrare, spălare, decantare).

Exemple de calcul:**Calculul debitului**

1. Se va utiliza formula de calcul:

$$Q = N \cdot S \cdot v = 60 \cdot S \cdot \sqrt{\frac{2\varphi \cdot N}{F_k}}$$

Tipul filtrului: – filtru presă automat cu platouri verticale fixe.

$$S = 100 \text{ m}^2$$

$$F_k = 3 \text{ sec/cm}^2 = 3 \cdot 10^4 \text{ s/m}^2.$$

Timpul de filtrare: $t_f = 15 \text{ min} = 900 \text{ s}$;

Timpul de descărcare: $t_d = 2 \text{ min} = 120 \text{ s}$;

Ciclul complet de filtrare $T = 1020 \text{ s}$.

$$N = \frac{3600}{T} = \frac{3600}{1020} = 3,53 \text{ cicluri/oră};$$

$$\varphi = \frac{t_f}{T} = \frac{900}{1020} = 0,88$$

$$Q = 60 \cdot S \cdot \sqrt{\frac{2\varphi \cdot N}{F_k}} = 60 \cdot 100 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,88 \cdot 3,53}{3 \cdot 10^4}} = 86,5 \text{ m/h (filtrat)}$$

2. Tipul filtrului: filtru universal:

$$S = 160 \text{ m}^2$$

Ciclul de filtrare: 3 operații:

- filtrare: 32 platouri;
- spălare: 5 platouri;
- descărcare: 3 platouri.

Total: 40 platouri

Ciclul complet: $T = 1600 \text{ s}$.

$$N = \frac{3600}{T} = \frac{3600}{1600} = 2,25 \text{ cicluri/oră};$$

$$F_k = 2,4 \cdot 10^4 \text{ s/m}^2;$$

$$\varphi = \frac{t_f}{T} = \frac{\text{Nr. platourilor de filtrare}}{\text{Nr. total de. platouri}} = \frac{32}{40} = 0,8$$

Aplicând relația de calcul pentru debit, se obține:

$$Q=60 \cdot S \sqrt{\frac{2\varphi \cdot N}{F_k}} = 60 \cdot 160 \sqrt{\frac{2 \cdot 0,8 \cdot 2,25}{2,4 \cdot 10^4}} = 117,6 \text{ m/h (filtrat)}$$

Dimensionarea unei instalații de filtrare cu filtru alimentat la presiune constantă

Tipul filtrului: – filtru presă;

Se va utiliza relația de calcul a suprafeței filtrului:

$$S = \frac{Q}{7200} \cdot \frac{F_k \cdot z}{\varphi \cdot m_v}$$

Condiții de filtrare:

Debitul suspensiei $Q = 500 \text{ m}^3/\text{h}$;

$$F_k = 3 \cdot 10^4 \text{ s/m}^2$$

$$m_v = \frac{\text{volumul turtei}}{\text{volumul filtratului}} = 0,0517$$

Volumul filtratului extras:

$$V_{\text{filtrat}} = V_{\text{suspensie}} - V_{\text{turtă}} = 500 - m_v \cdot V_{\text{filtrat}}$$

Rezultă:

$$V_{\text{filtrat}} = \frac{500}{1 + m_v} = 475 \text{ m}^3/\text{h}$$

Grosimea turtei formate: $z=1,5 \text{ cm}$

$$t_f = \frac{F_k}{2} \cdot \frac{z^2}{m_v^2} = 1263 \text{ s}$$

Volumul filtratului adunat în timpul de formare a turtei:

$$v = \sqrt{\frac{2t_f}{F_k}} = 290 \text{ l/m}^2$$

Ciclul este următorul:

$t_f = 1263 \text{ s}$ (timpul de formare a turtei)

$t_l = 340 \text{ s}$ (timpul de spălare)

$t_d = 300 \text{ s}$ (timpul de descărcare)

$$T = t_f + t_l + t_d = 1903 \text{ s.}$$

$$N = \frac{3600}{T} = 1,89 \text{ cicluri/oră};$$

$$\varphi = \frac{t_f}{T} = \frac{1263}{1903} = 0,66$$

Aplicând relația de calcul:

$$S = \frac{Q}{7200} \cdot \frac{F_k \cdot z}{\varphi \cdot m_v} = \frac{500}{7200} \cdot \frac{3 \cdot 10^4 \cdot 1,5 \cdot 10^{-2}}{0,66 \cdot 0,0517} = 870 \text{ m}^2$$

$$S = 870 \text{ m}^2,$$

În consecință se aleg 9 filtre cu suprafață filtrantă de 100 m²/filtru.

În realitate se vor monta 10 sau 11 filtre pentru a compensa și colmatarea progresivă a plăcilor filtrante din componența instalației.

5.13.6. *Timpul standard de formare a turtei, S.C.F.T. (Standard Cake Formation Time)*

T_f este timpul necesar pentru formarea unei turte de 1 cm grosime sub acțiunea unei diferențe de presiune egală cu 1 bar. Este un parametru care permite evaluarea filtrabilității înlocuind rezistența specifică a turtei [m/kg] care este o mărime abstractă.

Relația matematică dintre rezistența specifică a turtei (α) și T_f este următoarea (în sistemul S.I.):

$$\alpha = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot T_f \cdot S^2}{\eta \cdot c \cdot V^2} \quad (5.65)$$

Parametrul SCFT (T_f) este deosebit de comod pentru alegerea unui filtru industrial în anumite condiții de funcționare date și de asemenea pentru calculul suprafeței filtrelor.

Calculul suprafeței filtrului

Se cere calcul suprafeței filtrului S (m²) necesar pentru obținerea a 1 m³ turtă cu grosime de 1 cm sub presiunea de 1 bar.

Se dă:

φ – fracțiunea din ciclul de filtrare în care se formează turta (filtru continuu);

T_D – timpul mort din ciclul filtrelor discontinue;

z – grosimea turtei.

Cazul filtrelor continue

Volumul de turtă depusă într-un ciclu de filtrare: $S \cdot z / 100$;

Durata unui ciclu: T_f / φ ;

Volumul de turtă produs pe oră: $\frac{S \cdot z}{100} \cdot \frac{\varphi}{T_f} \cdot 60 = 1$

$$z = 1 \text{ cm}$$

De unde:

$$S = 1,67 \frac{T_f}{\varphi} \quad (5.66)$$

Filtre discontinue

Producția pe ciclu: $S \cdot z / 100$;

Producția orară: $\frac{S \cdot z}{100} \cdot \frac{60}{T_f + T_D} = 1$

$$z = 1 \text{ cm}$$

$$\text{De unde: } S = 1,67 (T_f + T_D) \quad (5.67)$$

Trebuie ținut cont că grosimea turtei dorite z , poate fi diferită de 1 cm și că presiunea Δp poate fi superioară sau inferioară celei de 1 bar. Trebuie atunci ca în formulele de mai sus să se înlocuiască T_f prin timpul real de formare a turtei T dat de relația:

$$T = K_p \cdot K_z \cdot T_f \quad (5.68)$$

unde K_p – factorul de corecție a presiunii;

K_z – factorul de corecție a grosimii turtei.

Se poate arăta ușor că: $K_p = (\Delta p)^{n-1}$

unde: n este coeficientul de compresibilitate al turtei;

$$K_z = z^2$$

unde z este măsurat în cm.

Determinarea timpului standard de formare a turtei (SCFT) se poate realiza pe cale grafică pe baza rezultatelor încercărilor de laborator.

Se efectuează mai multe încercări măsurându-se grosimea turtei (z) la fiecare durată de filtrare (T).

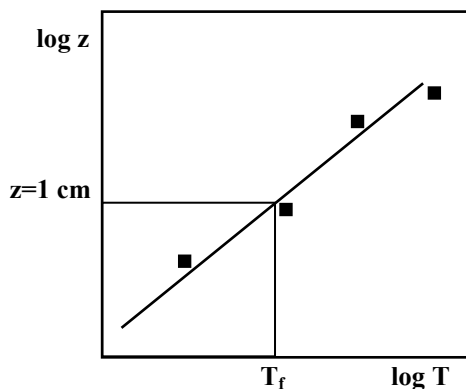


Fig. 5.33. Determinarea experimentală a timpului standard de formare a turtei

Grosimea turtei z este proporțională cu rădăcina pătrată a duratei de filtrare T . Se vor înregistra rezultatele încercării pe un grafic bilogarithmic și se va obține o dreaptă care permite determinarea T_f corespunzătoare unei grosimi a turtei de 1 cm (fig. 5.33).

5.14. Procedee speciale de filtrare

5.14.1. Filtrarea prin membrane

5.14.1.1. Definirea membranelor

Membranele au devenit din ce în ce mai utile în procesele de purificare a apei în anii '60 odată cu dezvoltarea membranelor sintetice de înaltă performanță. Implementarea membranelor în tratarea apei au progresat folosind membrane mai avansate, obținute din materiale noi sub diferite configurații. Reducerea surselor de apă pentru consum a impus

găsirea unor resurse alternative cum ar fi apa oceanică. În anii 1970, cercetările au fost orientate spre utilizarea membranelor pentru desalinizarea apei. Etalând potențial ridicat în procesele de separare la producerea apei purificate din apă sărată, membranele au devenit o alternativă importantă în tehnologiile de tratare a apei bazate pe evaporare. De-alungul anilor, standardele pentru calitatea apei potabile impunând rigori și indici de calitate mai ridicați au apărut noi domenii de aplicare ale membranelor. Cu toate că membranele au fost mult îmbunătățite, cercetările privind eficiența aplicării lor continuă.

În înțeles general, o membrană poate fi considerată o barieră care separă două compartimente. Din punct de vedere al filtrării, membrana este un mediu filtrant selectiv care permite transferul preferențial al unei particule, molecule, faze sau substanțe sub acțiunea unei forțe motrice de transport (fig. 5.34).

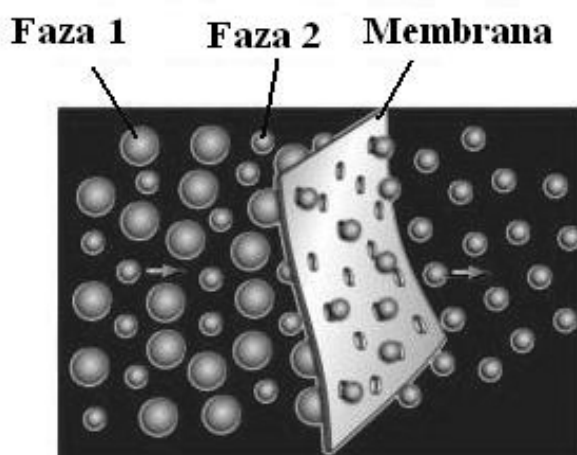


Fig 5.34 . Schema de principiu a separării prin membrană

Membranele filtrante prezintă o varietate de structuri (poroase sau dense, izotrope sau anizotrope), stări (solide sau lichide). Grosimea unei membrane filtrante poate fi de la câteva sute de nanometri până la câțiva

milimetri. Mecanismele de transport și separare prin membranele filtrante pot fi: curgerea (convecția) difuziunea, , condensarea capilară, schimbul ionic, adsorbția, sitarea, procese guvernate de acțiunea gradientilor de concentrație, presiune, temperatură, potențial electric. Membranele se fabrică din diverse tipuri și naturi de materiale: organice (polimeri), anorganice (metalice, ceramice, sticlă, cărbune activ), mixte (polimeri hibridi, compozite: ceramică-polimer, etc.).

Prin urmare, noțiunea de membrană filtrantă cuprinde o varietate de structuri, funcții, mecanisme de separare, natură și tip de material pentru obținere, domeniu de aplicare.

5.14.1.2. Clasificarea membranelor

În procesele de tratare a apei sunt utilizate câteva tipuri de membrane. Acestea sunt: membrane pentru microfiltrare (MF), ultrafiltrarea (UF), osmoză inversă (OI) și nanofiltrare (NF).

- **Membranele MF** au porii de dimensiunea cea mai mare, ele rețin particulele solide mari și diferite microorganisme.
- **Membranele UF** au porii mai mici decât membranele MF și de aceea pe lângă particulele mari, microorganisme, ele pot reține bacterii și macromolecule solubile cum ar fi proteinele.
- **Membranele OI** nu au porozitate, rețin atât particulele cât și numeroase specii cu masa molară mică ca de exemplu. ioni de săruri, compuși organici etc.
- **Membranele NF** sunt membrane cu dimensiunea porilor de ordinul a 10Å sau mai mici, au caracteristici cuprinse între cele ale membranelor OI și UF.

Numărul relativ mare de elemente care definesc o membrană de separare prin filtrare impune diverse criterii de clasificare a acestora: natura chimică a materialului, mecanismul de separare, funcțiile pe care le posedă în procesul de separare, procedeul de separare la care se pot aplica, procedeul de fabricare, etc.

După natura chimică și materialul de obținere, membranele pot fi clasificate în:

- membrane naturale: – substanțe naturale modificate sau regenerate;
- membrane sintetice :
 - organice:
 - polimerice:
 - ◆ derivați celulozici
 - ◆ poliamide
 - ◆ poliacrilonitrili
 - ◆ polisulfone
 - membrane lichide: ◆ solvenți organici
 - anorganice:
 - ◆ metalice
 - ◆ ceramice
 - ◆ cărbune activ
 - mixte (organo-anorganice): ◆polimeri hibridi
 - ◆ compozite ceramică-polimer
 - ◆ matrice anorganică poroasă.

O clasificare a membranelor după structură și funcțiune:

- membrane sintetice: - semipermeabile:
 - mezoporoase
 - microporoase
 - dense
- permselective (cu schimb de ioni):

- omogene
 - eterogene
 - intermediare
- membrane adsorbante: - membrane microporoase (ex. cărbune activ)
 - membrane reactive (materialul din membrană reacționează cu un component al permeatului)
- membrane difuzive :
 - membrane polimerice
 - membrane ceramice
 - membrane metalice
 - membrane pe bază de sticlă
- membrane schimbătoare de ioni:
 - rășini schimbătoare de cationi
 - rășini schimbătoare de anioni
- membrane osmotice:
 - pentru osmoză normală
 - pentru osmoză inversă
 - pentru electroosmoză
- membrane neselective :
 - foițe de sticlă
 - filtre, site

Strathuman (citată de Toth) propune o clasificare mai cuprinzătoare după criteriile de structură, mecanismele de transport și procesele de separare, redată în tabelul 5.5.

Membranele microporoase au o structură cu diametre ale porilor cuprinse între 100 nm și 10 μm. Domeniul de aplicație al acestor membrane este microfiltrarea.

Transferul de masă (fluid și impurități) are loc sub efectul căderii de presiune și este convectiv pentru solvent, antrenând doar impuritățile ale căror mărimi sunt mai mici decât diametrele porilor (efectul de sită).

Tabelul 5.5. Clasificarea tipurilor de membrane filtrante.

Tipul membranei	Natura material.	Structura	Diametrul porilor	Mecanismul de separare	Procedeu de separare
Microporoase	organică ceramică metalică	simetrică	0,1 - 100 μm	filtrare	MF
Anizotropice	organică ceramică	mezoporoasă microporoasă peliculă densă	1 - 100 nm	- filtrare - difuzie de suprafață - difuzie Knudsen - condensare capilară - solubilizare - difuzie	UF PG NF, PV OI
Compozite	organică ceramică mixtă	strat dens sau ultramicro-poros depus pe suport poros simetric sau anizotrop	1 - 50 nm $d_p < 2 \text{ nm}$	- filtrare - solubilizare - difuzie - difuzie - condensare capilară - sarcină fixă	UF PV, PG NF, D OI
Ionice	organice anorganice	omogenă microporoasă		- solubilizare - difuzie - sarcină fixă	ED EO
Lichide	organice	omogene emulsii		- solubilizare - difuzie - difuzie	ML

Structurile poroase sinterizate prezentate în paragrafele referitoare la mediile filtrante corespund tipurilor de membrane microporoase.

Membranele simetrice (izotrope) au structura poroasă uniformă în secțiune și pe grosime (fig. 5.35 a).

Membranele compozite sunt membrane asimetrice multistrat formate, de regulă din două părți distincte (fig. 5.35 e, f): unul sau două straturi permeabile selective (filme subțiri) depuse pe un strat - suport

permeabil de regulă tot cu structură poroasă simetrică sau asimetrică. Materialele celor două părți nu sunt întotdeauna de aceeași natură chimică. Stratul permeabil selectiv poate fi de natură anorganică sau organo-anorganică.

Membranele asimetrice (anizotrope) sunt membrane cu gradient de porozitate pe grosime. Astfel structura asimetrică este dată de mărimea definită monoton crescătoare a porilor de-alungul grosimii (fig. 5.35 c, d). O astfel de structură asigură separarea impurităților pe fața activă (cu pori mici) și permeabilitatea fluidului prin porii cu secțiune din ce în ce mai mare, reducând procesul de colmatare.

Membranele asimetrice din materiale anorganice pot fi realizate fie cu o structură poroasă uniform crescătoare, fie prin stratificare din straturi succesive cu structuri poroase discrete. Structura poroasă asimetrică asigură o mai bună eficiență a separării și a durabilității membranelor, respectiv o durată mai mare de filtrare între două decolmatări succesive. Membrana poroasă asimetrică este formată dintr-un strat activ subțire și un strat - suport permeabil de grosime mult mai mare (fig. 5.35).

Membranele ionice posedă în structură grupe ionice fixe (similare cu rășinile schimbătoare de ioni).

Dacă printr-o membrană ionică trece o soluție apoasă de sare, aceasta absoarbe inegal anionii și cationii. Astfel, o membrană care conține în structură grupe anionice poate schimba cationii asigurând electronegativitatea substanței care o traversează. O astfel de membrană este numită schimbătoare de cationi sau cationică. Dacă membrana conține grupe cationice este denumită schimbătoare de anioni sau anionică.

Membranele neporoase (dense) (fig. 5.35 b) reprezintă o denumire ambiguă. Dimensiunile porilor sunt de ordinul de mărime al moleculelor

constituenților separați. Mecanismul de transfer prin aceste membrane este de tipul solubilizare - difuzie.

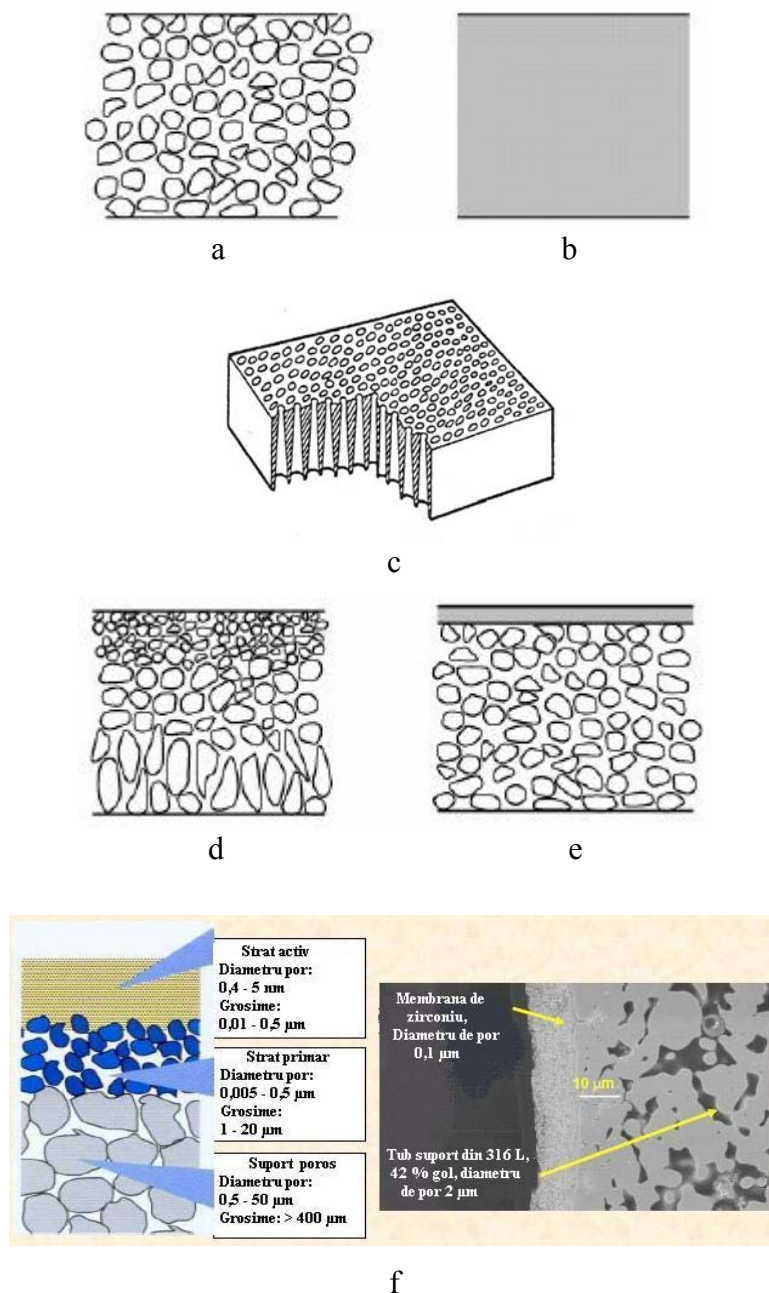


Fig. 5.35. Reprezentare schematică a structurii membranelor: a – membrană microporoasă simetrică, b – membrană densă (neporoasă), c, d – membrană asimetrică, e, f – membrană asimetrică compozită.

Figura 5.36 redă schemele constructive și funcționale ale celor mai utilizate modele de membrane în construcție modulară: plate, spirale, tubulare (fibre).

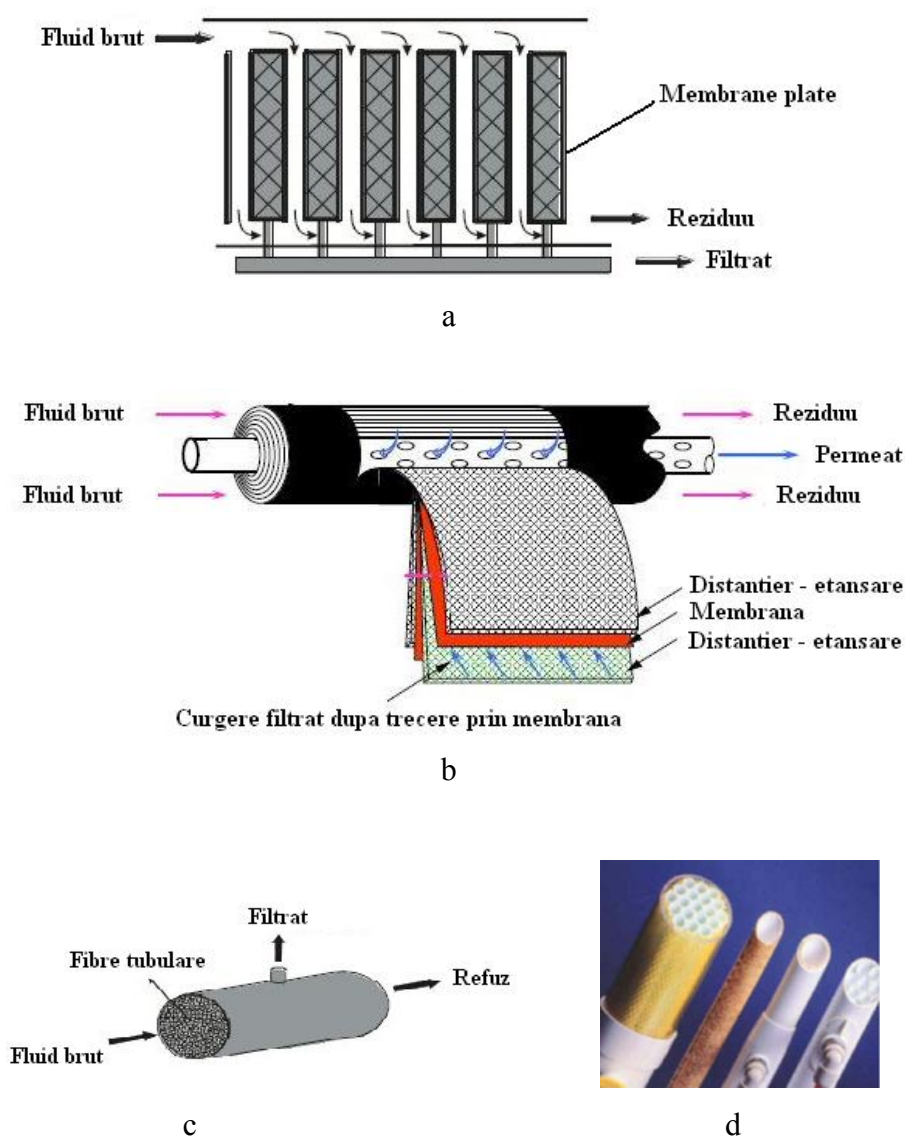


Fig. 5.36. Scheme constructive și funcționale pentru diverse tipuri de membrane- modul: a – membrane plate, b – membrana spirală, c, d – membrane din fibre tubulare .

Cele mai multe membrane sunt fabricate din polimeri organici sintetici. Polimerii caracteristici membranelor MF și UF sunt: polifluorura de vinil, poliacrilonitrilul, copolimerii poliacrilonitril-policlorura de vinil. Membranele MF pot fi obținute și din: amestec de acetat de celuloză și nitrat de celuloză, nylonuri și politetrafluoretilenă (teflon). Pentru fabricarea membranelor RO sunt caracteristice următoarele materiale: acetatul de celuloză sau polisulfonații acoperiți cu poliamide aromatice. Membranele NF pot fi obținute din amestecuri de acetat de celuloză sau poliamide compozite ca și membranele RO.

Membranele pot fi obținute și din materiale anorganice: materiale metalice sau materiale ceramice. Membranele ceramice sunt microporoase, au stabilitate termică, rezistență chimică și pot fi utilizate în microfiltrare. Dezavantajele pe care le au membranelor ceramice (prețul de cost ridicat, fragilitate ridicată) limitează utilizarea lor pe scara largă. Membranele metalice, obținute de obicei din pulberi de oțeluri inoxidabile sinterizate au o porozitate foarte fină, fiind utilizate în special la separarea gazelor, dar și la filtrarea apei la temperaturi ridicate sau ca suport pentru membranele asimetrice.

5.14.1.3. Procese și funcții de separare prin membrane.

Filtrarea prin membrane este un procedeu important la tratarea apelor poluate și a apelor reziduale.

Separarea prin membrane se realizează de regulă, în același mod ca filtrarea clasică (fig 5.37). În plus, membranele pot asigura o serie de funcții și procese complexe, altele decât cele de strictă separare, care le recomandă pentru utilizări în tehnici de varf.

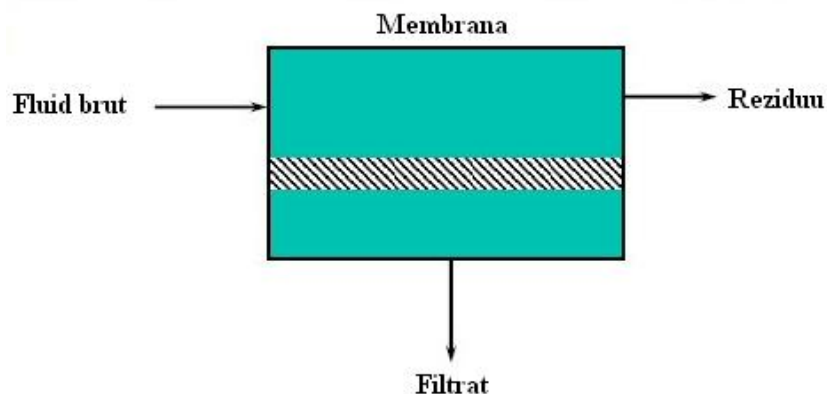


Fig.5.37. Conceptul de separare prin membrane.

În tabelul 5.6. se prezintă principalele procese de separare prin membrane filtrante. Procedul osmozei inverse și electrodializa sunt aplicate la procesele de desalinizare a apei. Ultrafiltrarea este un procedeu aplicat la tehnologiile de tratare și epurare a apelor uzate.

Tabelul 5.6 . Diverse procedee de separare prin membrane.

Forța motrice	Procedul	Natura permeatului
Căderea de presiune ΔP	Microfiltrare (MF), Ultrafiltrare (UF) Nanofiltrare (NF), Osmoză inversă (OI)	Lichidă
	Permeația gazelor (PG), Pervaporare (PV)	Gazoasă
Gradientul de concentrație ΔC	Dializă (D), Hemodializă (HD) Membrane lichide (ML)	Lichidă
Gradientul de potențial electrochimic ΔE	Electrodializă (ED) Electrodializa prin membrane bipolare (EDMB)	Lichidă
Gradientul de temperatură $\Delta \theta$	Termoosmoză (TO) Distilare prin membrane (DM)	Lichidă

Separarea prin membrane filtrante este un efect a două procese combinate. Primul proces de separare are loc la suprafața membranei

respectiv în stratul activ și constă în reținerea particulelor solide mai mari decât dimensiunile porilor (filtrare de suprafață – similar fenomenului de cernere – sitare). Al doilea proces de separare se desfășoară în interiorul membranei prin reținerea impurităților în porii acesteia sub acțiunea presiunii fluidului (filtrarea în adâncime).

Mecanismul filtrării de suprafață (sitare) prin membrane poate fi caracterizat prin caracteristicile membranei (diametrul mediu al porilor de suprafață) și cele ale sistemelor de separat (de filtrat): dimensiunile moleculei solventului, dimensiunile particulelor solide.

Mecanismul filtrării de adâncime prin membrane este influențat de caracterul reologic al fluidului (vâscos, plastic, elastic), dimensiunea și forma (sinuozitatea) porilor, căderea de presiune pe membrană, etc.

În figura 5.38 este prezentată sugestiv o clasificare a procedeelor de filtrare în funcție de domeniul dimensiunilor particulelor reținute.

10^{-4}	10^{-3}	0,02	$10\ \mu\text{m}$
Osmoză inversă	Ultrafiltrare	Microfiltrare	Filtrare
Glucoză NaCl	Albumină Vitamine Microorganisme Alge	Polen Amidon Bacterii Hematii Particule solide	Particule solide
1	10	200	$10^5\ \text{\AA}$

Fig. 5.38. Clasificarea procedeelor de filtrare în funcție de dimensiunea particulelor reținute

Utilizarea membranelor în procesele de separare a poluanților are avantaje notabile dar și limite.

Avantaje:

- permit separarea cu finețe până la nivelul mărimii și formei moleculelor;

- procesul de separare este continuu și pasiv;
- consum de energie relativ scăzut;
- echipamentul poate fi conceput în construcție modulară și compactă;

Limite și dezavantaje:

- separare incompletă;
- polarizarea concentrației fazelor care se separă;
- modificarea structurii permeabile în cursul procesului de separare cu efecte asupra durabilității membranei.

5.14.1.4. Microfiltrarea

Condiții specifice:

- forța motrice de separare: - diferența de presiune $\Delta p = (1 - 5) \text{ bar}$;
- materiale care trec prin membrană: solvenți și soluți dizolvați;
- materiale reținute de membrană: particule solide și/sau în suspensii, coloizi;
- Aplicații:- filtrarea de siguranță, filtrarea băuturilor, filtrarea efluenților, etc.

Microfiltrarea este o tehnică de filtrare în domeniul fineței de $(0,02 - 10) \mu\text{m}$. Se poate realiza utilizând următoarele tipuri de materiale și medii filtrante: membrane sinterizate, structurile din fibre țesute și împâslituri, membranele din materiale sintetice (polimerice), membranele tip sită. De regulă, membranele utilizate la microfiltrare au grosimi relativ reduse, în domeniul $10 \mu\text{m} - 2 \text{ mm}$.

5.14.1.5. Ultrafiltrarea

Condiții specifice:

- forța motrice de separare: diferența de presiune $\Delta p = (1 - 8) \text{ bar}$;

- materiale care trec prin membrană: - solvenți (apă), substanțe cu masa moleculară scăzută ≤ 1000 ;
- materiale reținute de membrană: coloizi.
- Aplicații: tratarea efluenților, industria laptelui, biologie, etc.

Ultrafiltrarea este un procedeu de separare prin filtrare a impurităților solide din domeniul de dimensiuni foarte mici ($0,02 - 0,001 \mu\text{m}$), sisteme coloidale sau soluții macromoleculare, la presiuni relativ scăzute, utilizând filtre de tipul membranelor subțiri.

Pentru membranele de ultrafiltrare se poate folosi o mare varietate de polimeri sintetici: acetatul de celuloză, rășinile de policarbonați, compușii polielectrolitici.

Ultrafiltrarea se folosește în industria alimentară și farmaceutică pentru separarea enzimelor, virusilor, vaccinurilor, purificarea zahărului, desalinizarea zerului și la diferite procese tehnologice de concentrare.

Prin aplicarea la epurarea apelor uzate, ultrafiltrarea poate înlocui operația de decantare și floculare a argilelor, materialelor vegetale și a unor microorganisme. Ultrafiltrarea poate înlocui și operația de decantare secundară din instalațiile cu nămol activ cu concentrații mari de suspensii, asigurând limpezirea filtratului. Prin ultrafiltrare se poate realiza și deshidratarea nămolurilor.

Dezavantaje:

- cheltuieli mari de investiții și de exploatare;
- nu îndepărtează complet coloranții și fosfați.

Deoarece necesită gabarite mici de instalare compensează costul instalației.

5.14.1.6. *Osmoza inversă*

Condiții specifice:

- forța motrice de separare: diferența de presiune $\Delta p = (10 - 100)$ bar;
- materiale care trec prin membrană: solvenți (apa);
- materiale reținute de membrană: particule dizolvate sau coloidale
- Aplicații: desalinizarea apei, tratarea apei ultrapure (potabile), epurarea fluidelor tehnologice, industria laptelui, fabricarea sucurilor, etc.

Osmoza este fenomenul de transfer de masă prin care un solvent dintr-o soluție mai diluată trece printr-o membrană semipermeabilă (care permite trecerea solventului dar împiedică trecerea substanței dizolvate) într-o soluție mai concentrată. Procesul se bazează pe principiul al doilea al termodinamicii, conform căruia sistemul tinde spre egalizarea concentrațiilor.

Presiunea osmotică este presiunea suplimentară care trebuie exercitată asupra soluției pentru a realiza echilibrul dintre soluție și dizolvant, prin membrana semipermeabilă. Ea este o măsură a tendinței de diluare a soluției, respectiv a diferenței reale între concentrația soluției și a solventului pur.

Se consideră o soluție apoasă care conține o substanță dizolvată, într-un recipient realizat dintr-o membrană semipermeabilă, introdus într-un vas cu apă (fig. 5.39). Apa din vasul exterior va pătrunde prin membrana semipermeabilă în vasul interior tinzând să egaleze concentrațiile. Creșterea în volum a soluției este evidențiată cu ajutorul unui tub introdus în dopul

vasului cu soluția mai concentrată. Presiunea hidrostatică, egală cu presiunea osmotică egalează presiunea cu care pătrunde apa prin membrana semipermeabilă. Dacă asupra lichidului din vasul interior se aplică o presiune p mai mare decât presiunea osmotică, atunci are loc fenomenul invers de trecere a apei din vasul interior (cu soluție mai concentrată) în vasul exterior (cu apă sau soluție mai diluată), având loc un fenomen de osmoză inversă.

Osmoza inversă este un proces de trecere a unui lichid dintr-o soluție mai concentrată în altă soluție mai diluată printr-o membrană semipermeabilă, dacă asupra soluției mai concentrate se aplică o presiune mai mare decât presiunea osmotică. Membrana permite trecerea solvenților, nu și a substanțelor dizolvate. În cazul soluțiilor apoase, apa va trece dintr-o parte în alta a membranei, până când se creează o diferență de presiune care împiedică trecerea în continuare a apei.

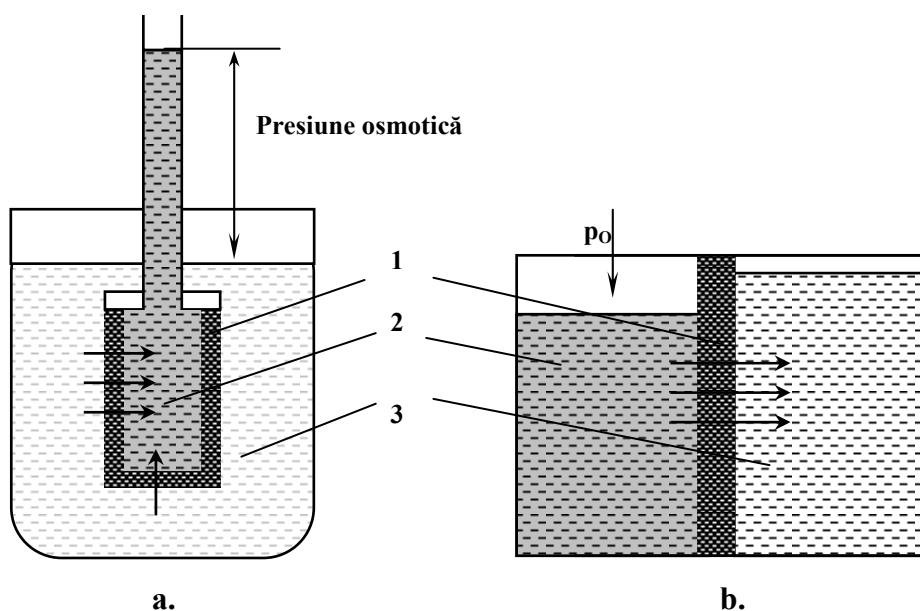


Fig. 5.39. Principiul osmozei. a. osmoza directă; b. osmoza inversă. 1 – membrană semipermeabilă; 2 – soluție de sare concentrată; 3 – soluție diluată

Presiunea de echilibru atinsă este presiunea osmotică a soluției respective, corespunzătoare unei anumite concentrații a substanțelor dizolvate. În figura 5.39. b este prezentat schematic principiul osmozei inverse.

Procedeul se poate aplica la desalinizarea apei. Astfel, apa curată poate fi extrasă sub acțiunea presiunii p_o , printr-o membrana filtrantă foarte fină (din acetat de celuloză, poliamidă, sticlă specială), dintr-o soluție apoasă de sare.

Osmoza inversă este un procedeu utilizat la tratarea apelor și la epurarea apelor uzate.

Deoarece prin osmoza inversă se pot separa substanțe dizolvate cu dimensiuni moleculare (între $10^{-4} \dots 10^{-3} \mu\text{m}$, respectiv $1 \dots 10 \text{ \AA}$), mai este denumită hiperfiltrare. Permite reținerea glucozei, clorurii de sodiu, etc.

Presiunea osmotică a unei soluții depinde de conținutul substanței dizolvate.

La baza relației de calcul a presiunii osmotice este legea lui van't Hoff:

$$p_o = \Phi \frac{n}{v} RT \quad (5.69)$$

unde: Φ este coeficientul presiunii osmotice;

n – numărul de moli ai substanței dizolvate;

v – volumul de soluție;

n/v – concentrația substanței solide dizolvate [mol/l];

T – temperatura;

R – constanta gazelor.

Materialele utilizate la confecționarea membranelor semipermeabile pentru procedeele de filtrare prin osmoză inversă sunt: acetatul de celuloză, nylonul și poliamidele, nylonul fiind foarte permeabil pentru cloruri (frecvente în apele naturale și în apele uzate), este puțin adecvat pentru procesele de desalinizare a apei. Se utilizează însă la

operațiile de epurare și tratare a apelor uzate din industria hârtiei și la concentrarea sucurilor de fructe.

Membranele cel mai des folosite sunt cele din acetat de celuloză cu structură poroasă asimetrică combinată dintr-o peliculă compactă foarte subțiri și una poroasă.

Membranele din acetat de celuloză pentru desalinizarea apei prin osmoză inversă funcționează pe principiul permeabilității datorat mecanismului difuziei soluției.

Gradientul de presiune reprezintă forța motrice a mecanismului difuziei apei, respectiv curgerea prin membrana semipermeabilă. Gradientul de concentrație determină difuzia substanțelor dizolvate.

5.14.1.7. Modelarea transportului de fluid prin membrane

Legea care guvernează transportul fluidelor prin membrane poate fi descrisă de următoarea relație [după A. Sagle]:

$$\mathbf{J}_A = \rho_A \cdot \mathbf{v} - \mathbf{D}_{AB} \cdot \nabla \rho_A \quad (5.70)$$

unde: $\mathbf{J}_A$ este fluxul de masă a componentului A prin membrană (masa/timp/arie), ρ_A este densitatea componentului A, $\mathbf{v}$ – viteza medie masică a fluidului prin membrană, $\mathbf{D}_{AB}$ – coeficientul de difuzie efectiv a componentului A în membrană, $\nabla \rho_A$ – gradientul de densitate. Orientarea porilor în membrană are influență mare asupra fluxului de fluid. Legea lui Darcy permite calculul vitezei medii masice a fluidului prin membrană:

$$\mathbf{v} = \frac{\psi_v}{\eta} \nabla p \quad (5.71)$$

unde: ψ_v este permeabilitatea membranei poroase, η – vâscozitatea fluidului, ∇p – gradientul de presiune (valoarea presiunii diferă pe grosimea membranei), ρ – densitatea soluției (fluidului). Considerând transportul

fluidului pe o singură direcție x , ce corespunde cu direcția perpendiculară pe suprafața membranei și neglijând gravitația, prin înlocuirea relației 5.71 în ecuația 5.70, rezultă:

$$J_{Ax} = \frac{\rho_A \psi_v}{\eta} \frac{dp}{dx} - D_{AB} \frac{d\rho_A}{dx} \quad (5.72)$$

În ecuația 5.72 primul termen reprezintă fluxul de masă prin curgerea laminară, sub acțiunea căderii de presiune, iar cel de-al doilea termen reprezintă fluxul de masă rezultat în urma procesului de difuzie prin membrană. În cazul membranelor poroase ultimul termen al ecuației 5.72 este neglijabil în raport cu curgerea laminară datorată căderii de presiune. În acest caz fluxul este direct proporțional cu gradientul de presiune în secțiunea membranei. Diferența de presiune aplicată în secțiunea membranei este numită diferență de presiune transmembranară, ea este forța motrice care asigură curgerea (transportul) fluidelor prin membranele poroase.

În cazul transportului prin curgere laminară în membranele UF și MF, permeabilitatea ψ_v depinde cu preponderență de parametrii structurali, cum ar fi porozitatea și sinuozitatea structurii poroase a membranelor. Sinuozitatea este raportul dintre lungimea medie “sinuoasă” a porului pe care lichidul trebuie să o parcurgă prin membrană și grosimea membranei. De exemplu, porii cilindrici, perpendiculari pe suprafața membranei au sinuozitatea egală cu unu. Membranele UF și MF au o porozitatea cuprinsă între (0,3...0,7).

Deoarece membranele OI sunt considerate neporoase, transportul moleculelor prin suprafața membranei se realizează doar prin procesul de difuzie. Înseamnă că termenul al doilea al relației 5.72 reprezintă fluxul de substanță prin aceste tipuri de membrane. Moleculele de apă sunt absorbite prin suprafața membranei, difuzează în direcția scăderii gradientului de

potențial chimic a membranei și sunt eliminate prin suprafața cealaltă a membranei. Mecanismul transportului de masă prin membrane este denumit, în mod obișnuit, difuzie în soluții. Luând în considerare modelul cel mai general al transportului de masă determinat de gradientul de potențial chimic respectiv de gradientul de concentrație, ecuația transportului prin difuzie în soluții pentru osmoza inversă devine:

$$J_{Aw} = L(\Delta p - \Delta p_o) \quad (5.73)$$

unde: J_{Aw} este fluxul de apă prin membrană, Δp – diferența de presiune transmembranară, Δp_o – diferența de presiune osmotică dintre soluția de alimentare și soluția filtrată, (permeatul), L – constantă ce caracterizează proprietățile fizice ale membranei.

Pentru modelul difuziei în soluții, utilizat în descrierea transportului de fluide prin membranele neporoase, L este dat de relația:

$$L = \frac{DSV}{RTI} \quad (5.74)$$

unde D este difuzivitatea apei în membrană, S – solubilitatea apei în membrană, V - volumul molar al apei, R - constanta ideală a gazelor, T - temperatura mediului, I – grosimea membranei.

O detaliere completă a modelului de difuzie în soluții apare în publicațiile lui Baker și ale lui Wijmans precum și în cercetări recente ale lui Paul în domeniul osmozei inverse.

Din relația 5.73 se poate observa că presiunea osmotică dintre soluția de alimentare și filtrat are un rol important în separare. Presiunea osmotică este presiunea necesară pentru ca un solvent (apa) să se separe din soluție (apă marină, apă reziduală etc) și să treacă prin membrană. Pentru o soluție

ideală, cu disocierea completă a ionilor de săruri, presiunea osmotică este definită de relația:

$$p_o = CRT \quad (5.75)$$

unde: p_o este presiunea osmotică, C – concentrația ionilor de sare, R – constanta ideală a gazelor, T - temperatura soluției. Concentrația ionilor de sare, C , reprezintă numărul ionilor de sare pe gram de apă raportat la volumul specific al apei. În tabelul 5.7 sunt prezentate valorile presiunilor osmotice pentru câteva soluții utilizate în tratarea apei.

Tabelul 5.7. Valorile presiunii osmotice ale unor soluții utilizate în tratarea apei, temperatura 25°C.

Soluția	Concentrația (mg/L)	Presiunea osmotică (psi)
NaCl	2,000	23
NaCl	35,000	397
Apă nepotabilă	2,000-5,000	15-39
Apă marină	32,000	339

În osmoza inversă transportul sării prin suprafața membranei este la fel de importantă ca și transportul apei prin membrană. Spre deosebire de fluxul de apă, care este determinat de presiunea transmembranară aplicată și de presiunea osmotică, fluxul de sare depinde doar de concentrația sării în soluție:

$$J_s = B(C_1 - C_2) \quad (5.76)$$

unde: J_s este fluxul de sare prin membrană, B – constanta de permeabilitate pentru sare ce depinde de proprietățile fizice ale membranei, C_1 – concentrația de sare în soluția de alimentare, C_2 – concentrația de sare în

soluția filtrată. Analog cu L , din ecuația difuziei în soluții, B este dat de relația:

$$B = \frac{D_s K_s}{l} \quad (5.77)$$

unde D_s este coeficientul de difuzie a sării în membrană, K_s – coeficientul de repartiție a sării, l – grosimea membranei.

În general, în descrierea caracteristicilor membranelor, se prevede valoarea refuzului de sare și nu valoarea fluxului de sare. Refuzul de sare, R , este definit prin:

$$R = \left(1 - \frac{C_2}{C_1} \right) \cdot 100\% \quad (5.78)$$

În plus, între valorile fluxurilor și a concentrațiilor există relația:

$$\frac{C_w}{C_2} = \frac{J_{Aw}}{J_s} \quad (5.79)$$

unde: C_w este concentrația apei în soluția filtrată, C_2 – concentrația de sare în soluția filtrată.

Înlocuind relațiile (5.73) și (5.76) în (5.79), se obține relația care definește refuzul de sare:

$$R = \left(\frac{\frac{L}{B}(\Delta p - \Delta p_o)}{1 + \frac{L}{B}(\Delta p - \Delta p_o)} \right) \cdot 100\% \quad (5.80)$$

Relația 5.80 exprimă influența caracteristicilor fizice ale membranei, diferenței de presiune transmembranară și a diferenței de presiune osmotică dintre soluția de alimentare și cea filtrată, asupra refuzului de sare. Astfel, cunoscând condițiile experimentale și proprietățile membranei, pe baza

relației 5.80, se poate calcula refuzul de sare la tratarea apei prin membrană cu procedeul osmozei inverse.

5.14.1.8. Filtrarea cu schimbători de ioni.

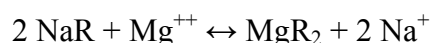
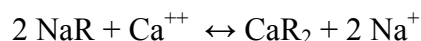
Schimbătorii de ioni sunt substanțe utilizate în procesele de condiționare a apei dintre care se remarcă: dedurizarea, demineralizarea, eliminarea bicarbonaților, deionizarea, absorbția substanțelor organice, procese care asigură anumite categorii de ape tehnologice (apa de alimentare a cazanelor, apa pentru industria chimică, industria textilă, industria hârtiei și celulozei, industria electronică, industria băuturilor, etc.)

Schimbătorii de ioni sunt polielectroliți macromoleculari compuși dintr-o parte inertă (matricea de compoziția unei rășini) și una aditivă, schimbătoare de ioni.

Schimbătorii de cationi conțin grupe active acide și se numesc cationiți ($-\text{SO}_3\text{H}$; $-\text{OH}$; $-\text{COOH}$).

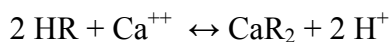
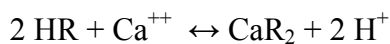
Schimbătorii de anioni (anioniții) conțin grupe bazice: $-\text{NR}_3\text{OH}$; $-\text{NH}_3\text{OH}$.

Un exemplu de aplicare a filtrelor cu schimbători de ioni este în procesul de tratare a apei prin dedurizare cu cationiți. În cursul procesului de dedurizare schimbă ionii de Ca și de Mg din apă cu ionii de Na conform următoarelor reacții chimice:



Componentul R reprezintă masa cationului cu rol de anion, care se epuizează treptat în cursul procesului de filtrare. Prin urmare este necesară refacerea capacității schimbătorului utilizând o substanță regeneratoare de clorură de sodiu.

Dacă la procesul de dedurizare se folosesc cationi pe bază de hidrogen, au loc reacții de următorul tip:



În urma acestui procedeu are loc și micșorarea conținutului de săruri.

Membranele se utilizează și în *procesele de separare a gazelor* în următoarele condiții tehnologice:

- forța motrice de separare și transport: diferența de presiune $\Delta p = (1 - 100)$ bar;
- materiale care trec prin membrană: gaze și vapori;
- materiale care sunt reținute de membrană: gaze și vapori care curg mai greu prin materiale poroase permeabile;
- Aplicații: Separarea aerului: producerea azotului, recuperarea hidrogenului, eliminarea bioxidului de carbon și a hidrocarburilor, eliminarea unor poluanți din aer, etc.

5.14.2. Filtrarea cu prestrat de adjuvante

Adjuvantul este un material sub formă pulverulentă, care se depune pe suportul permeabil, fie separat, fie în amestec cu particulele solide de impurități din fluidul de filtrat, care asigură printr-o acțiune mecanică de filtrare, o eficiență a separării și capacitate filtrantă la nivel ridicat (fig. 5.40).

Materialele utilizate ca adjuvanți sunt: diatomita (pământ de diatomee sau Kieselgur), perlitul, celuloza, cărbunele activ (filtrant) și unii compuși minerali (silicații de Ca și Mg, silicații de Fe și Mg, silicații de Fe și Na).

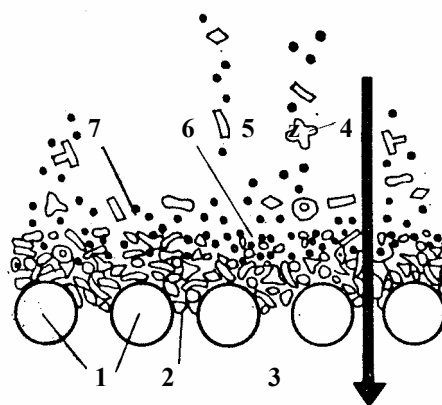


Fig. 5.40. Filtrarea cu prestrat de adjuvant. 1 – mediu filtrant; 2 – prestrat; 3 – lichid filtrat; 4 – particule de diatomită; 5 – lichid supus filtrării; 6 – turtă formată de impurități și diatomită; 7 – impurități

Principalele calități pe care trebuie să le aibă adjuvantul sunt:

- porozitate ridicată (depinde de fracția granulometrică și de forma granulelor): (80 – 85) %;
- suprafață specifică mică, care depinde de forma și dimensiunea particulelor;
- să fie incompresibile;
- să fie inerte chimic.

Practic particulele sub formă granulară sau fibroasă a substanțelor adjuvante asigură menținerea unor pori intercomunicanți în prestratul format deasupra filtrului și în stratul de turtă format prin depunerea impurităților din lichidul de filtrat.

Adjuvanții se introduc inițial în suspensia de filtrat și se depun în turtă și pe suport în cursul procesului de filtrare.

Diatomita este unul dintre cele mai bune materiale de filtrare, fiind formată din carapacele silicioase ale unor fosile de origine marină de dimensiuni mici (2 – 100 μm) având o oarecare capacitate de adsorbție (fig. 5.41). Prin procesare se pot obține granule de diatomită de diferite mărimi și forme, care imprimă caracteristici de filtrare deosebite prestratului format sau datorită prezenței lor în turtă prin porii creați între granule și în jurul lor.

Porozitatea de circa (80 – 90) % explică și capacitatea mare de adsorbție a impurităților, inclusiv a celor în emulsie (ulei sau hidrocarburi).

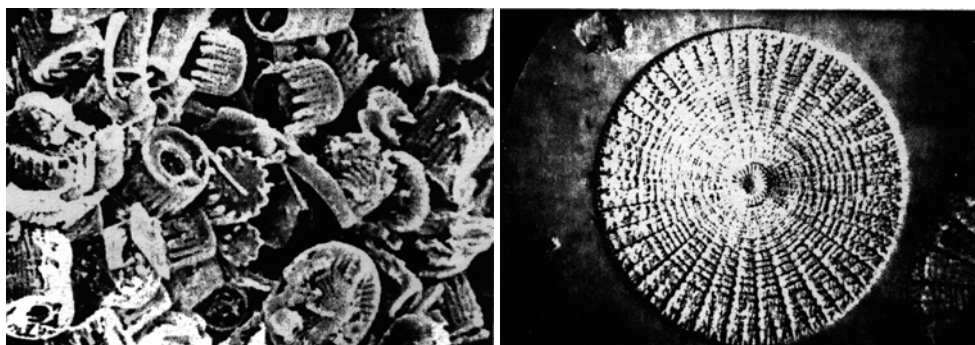


Fig. 5.41. Forme ale granulelor de diatomee

Perlitul este o rocă vulcanică. Prin încălzire cedează umiditatea (2 – 3 %) remanentă din interiorul rocii, iar la răcire se obține o structură expandată. Astfel particulele de dioxid de siliciu expandate au densitate redusă. Este un adjuvant bun pentru filtrarea apei.

Celuloza este utilizată sub formă de fibre de mare puritate. Are o capacitate de filtrare comparabilă cu a hârtiei de filtru. Nu posedă capacitate de adsorbție mare. Pentru că în primele faze ale procesului de filtrare cedează anumite cantități de sodă și materii organice, existente în urma procesului de fabricație, se impune evacuarea la canal a apei filtrate de la începutul ciclului.

Cărbunele activ se folosește ca prestrat la filtrarea apelor alcaline și în cazurile în care se urmărește eliminarea culorii, a mirosurilor și a unor substanțe organice datorită capacității de adsorbție ridicate. Se utilizează de regulă în combinație cu un prestrat de celuloză sau diatomită. Cărbunele activ este mai costisitor decât diatomita.

În continuare se enumeră câteva exemple de utilizare a filtrelor cu adjuvanți: instalațiile mobile de preparare și alimentare cu apă potabilă; instalațiile de tratare a apelor de răcire din termocentrale; instalațiile de pe navele maritime și de pe platformele petroliere – pentru apa de alimentare; instalațiile de eliminare a petrolului din apa utilizată în rafinării (filtre din

prestrat de celuloză și diatomită); filtrarea apei din bazinele de înot; pretratarea apei înainte de demineralizare pentru reținerea impurităților insolubile; tratarea efluenților secundari din stațiile de epurare; tratarea apelor cu substanțe organice (cu filtre prestrat din cărbune activ); instalațiile de procesare a berii.

5.14.3. Filtrarea electrostatică

Filtrarea electrostatică se aplică de regulă, la separarea unor impurități solide (pulberi, fum) sau lichide (picături – care formează o ceață greu de separat) din gaze. Procedul se poate aplica pentru purificarea gazelor, la diverse presiuni, temperaturi și umidități.

Separarea particulelor dintr-un mediu bifazic cu ajutorul electrofiltrelor implică următoarele etape:

- încărcarea electrică a particulelor aflate în câmpul electrostatic de lucru;
- deplasarea și depunerea particulelor pe electrozii de depunere;
- îndepărtarea materialului depus de pe electrozi, în vederea evacuării.

Un astfel de separator este format dintr-un corp cilindric (electrodul de depunere (1)) legat la pământ (anod), în interiorul căruia este introdus un electrod de emisie (electrodul corona) (2) legat la polul negativ (catod) al unei surse de curent de înaltă tensiune (fig. 5.42).

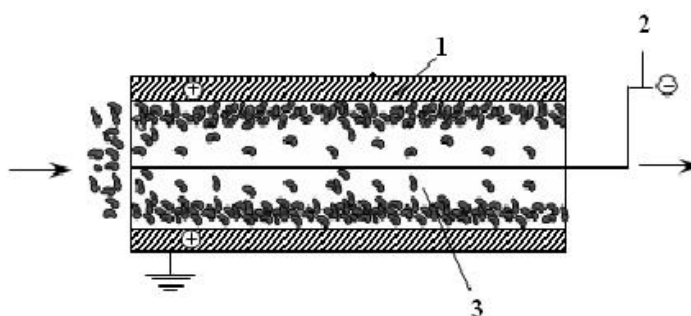


Fig. 5.42. Schema de principiu a electrofiltrului

Catodul (electrodul central) încarcă particulele de impurități cu sarcini electrice negative. Ionii negativi formați și electronii liberi emiși de electrodul corona sunt atrași de anod. În drumul lor spre anod aceștia se ciocnesc cu particulele de praf sau alte impurități și determină apariția unor noi particule încărcate electric. Fenomenul este însoțit de un zgomot caracteristic și de luminiscentă (efect corona). Particulele încărcate electric negativ se depun pe anod.

Particulele de impurități depuse sunt îndepărtate periodic sau continuu deoarece formează un strat izolator, care frânează desfășurarea proceselor în continuare. Îndepărtarea se realizează cu ajutorul unui sistem de scuturare prin vibraire sau ciocănire.

Tensiunea de lucru a electrofiltrelor este de circa 50 kV.

Separarea impurităților cu ajutorul electrofiltrelor se aplică în industria energetică, siderurgică, a materialelor de construcții și în industria chimică.

Un procedeu asemănător, electroforeza, este utilizat pentru separarea coloizilor din soluții apoase.

Electroforeza este procesul care are loc în sisteme lichide coloidale, deoarece la suprafața particulelor coloidale, are loc formarea unui strat dublu electric. Particulele coloidale se încarcă superficial, de obicei negativ. Aplicându-se o diferență de potențial între doi electrozi imersați în soluție, particulele coloidale de impurități migrează spre electrodul corespunzător (anod), unde se depun.