

### **II.2.5.3.3. Rezistente hidrodinamice la curgerea prin straturi de umplutura**

Multe dintre operatiile transferului de masa cum ar fi: *absorbția, rectificarea, extractia* s.a. se realizeaza in utilaje specifice dintre care o importanta deosebita o au *coloanele cu umplutura*. Umplutura are rolul de a mari suprafata de contact dintre fazele care circula prin coloana si prin aceasta de a intensifica procesul.

Materialele de umplere pot fi incluse in una din urmatoarele categorii:

- *corpuri de forma neregulata* din produse naturale sau fabricate cum ar fi: bucati de calcar, de cocs, caramida, talas de lemn, span, piatra de rau, etc.;

- corpuri fabricate cu forma geometrica definita confectionate din: materiale ceramice, mase plastice, sticla, quart, metale, etc. cum ar fi: inele Raschig, inele Lessing, inele Pall, sei Berl, sei Intalox si altele.

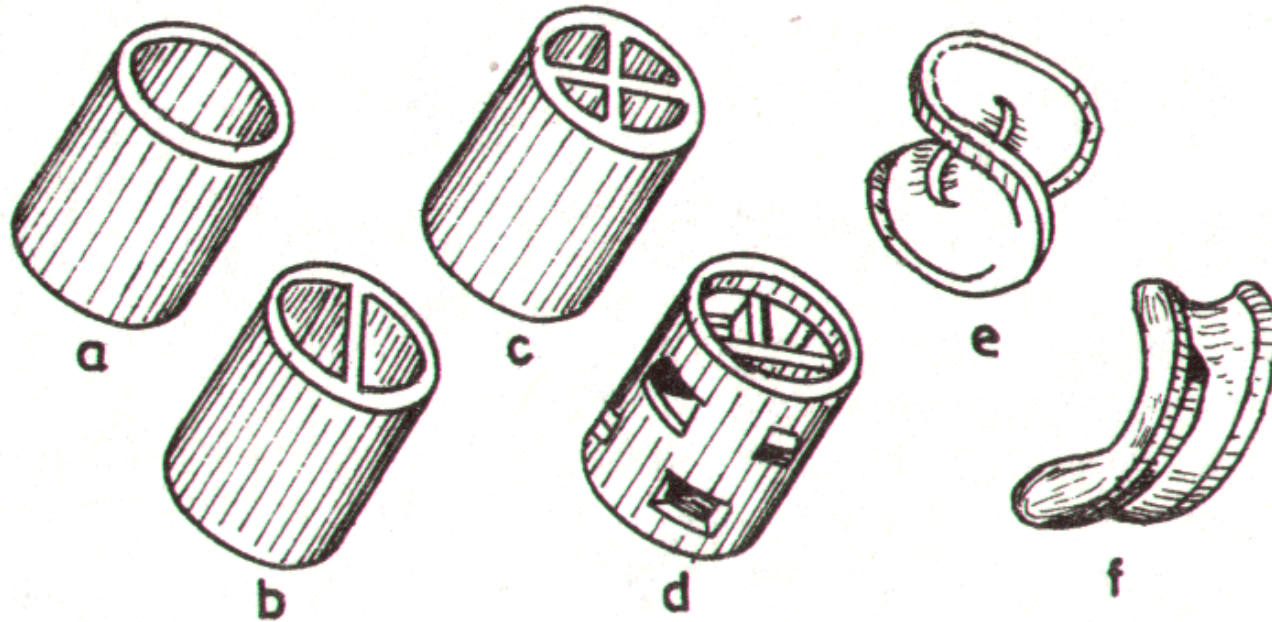


Fig. II.41

Corpuri de umplere de formă geometrică definită: a - inele Raschig; b - inele Lessing; c - inele cu doi pereți despărțitori; d - inele Pall; e - șea Berl; f - șea Intalox.

- *pachete din produse fabricate cum ar fi: gratate din lemn, materiale ceramice, materiale plastice, s.a., suprapuse pe o anumita inaltime, benzi profilate infasurate sub forma de spirala, etc.*

Asezarea corpurilor in strat (in coloana) se poate face ordonat sau in vrac (la intamplare).

La alegerea unei umpluturi se urmareste ca aceasta:

- *sa aiba o suprafata specifica cat mai mare;*
- *sa aiba porozitatea mare;*
- *sa aiba rezistenta hidrodinamica cat mai mica;*
- *sa aiba rezistenta mecanica si chimica ridicata;*
- *sa fie umectabila si sa retina cat mai putin lichid in spatiile libere;*
- *sa fie ieftina si usor de procurat.*

## Marimi caracteristice la curgerea prin straturi granulare

Se considera o coloana cu diametrul **D** in care stratul de umplutura are inaltimea **H**. Prin coloana circula doua faze in contra curent.

Sectiunea coloanei libera de umplutura este:

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \quad (\text{II.186})$$

Prezenta umpluturii determina scaderea sectiunii de curgere. Sectiunea libera medie a golurilor din umplutura se noteaza cu **S<sub>0</sub>**.

Marimile caracteristice la curgerea prin umplutura sunt:

a) *Viteza fictiva*, **v<sub>f</sub>**, este viteza pe care ar avea-o fluidul daca ar curge prin coloana in absenta umpluturii;

b) *Viteza reala*,  $v$ , este o viteza medie statistica cu care curge fluidul prin sectiunea libera a umpluturii.

c) *Porozitatea (volumul liber sau fractia de goluri)*,  $\varepsilon$  reprezinta volumul total al golurilor dintr-un  $m^3$  strat de umplutura.

$$\varepsilon = \frac{V_0}{V} = \frac{S_0 H}{SH} = \frac{S_0}{S} \left[ \frac{m^3 \text{ goluri}}{m^3 \text{ umplutura}} \right] \quad (\text{II.187})$$

in care:  $V_0$  este volumul tuturor golurilor din strat iar  $V$  este volumul total al stratului.

Porozitatea are valori subunitare:

$$0 < \varepsilon < 1 \quad (\text{II.188})$$

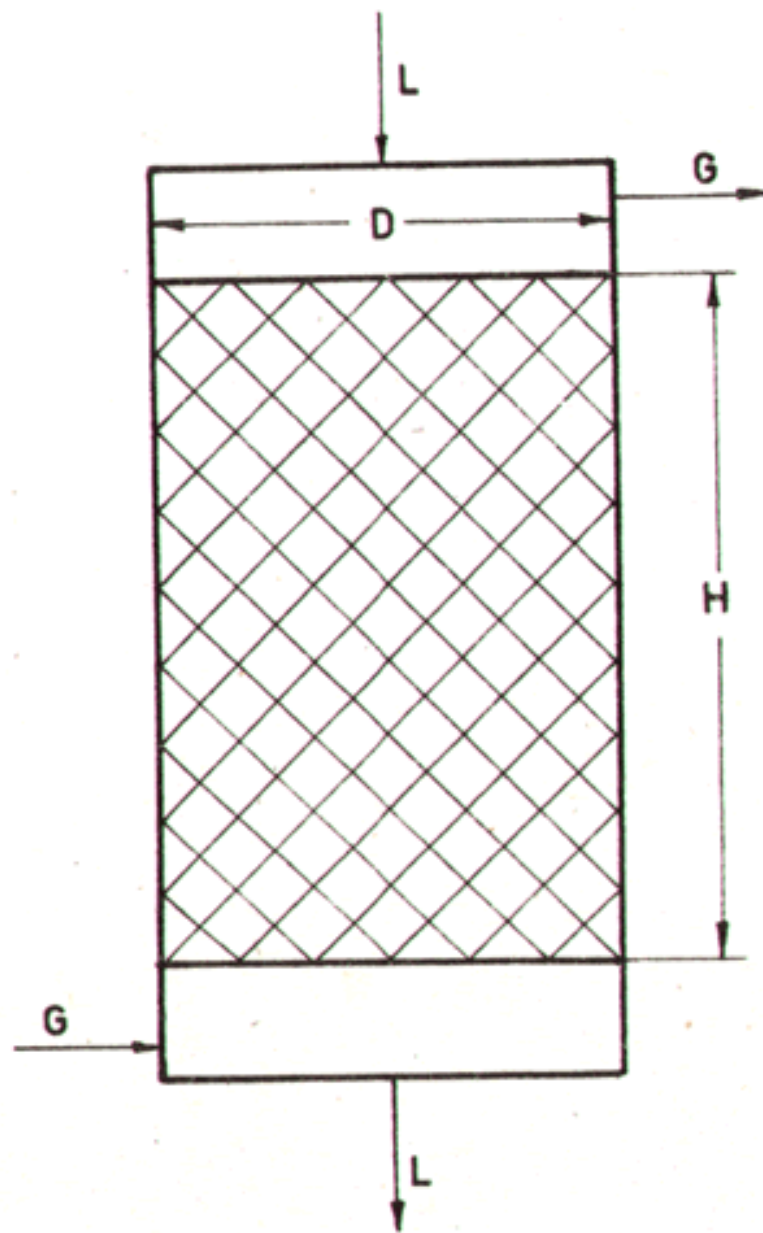


Fig. II.42  
Coloană cu umplutură.

Intre viteza fictiva si viteza reala se poate stabili o relatie conform ecuatiei de continuitate:

$$M_v = S \cdot v_f = S_0 v \quad (\text{II.189})$$

$$v_f = \frac{S_0}{S} v = \varepsilon v \quad (\text{II.190})$$

d) *Suprafata specifica a particulelor*,  $a$  este data de raportul dintre suprafata totala a particulei si volumul ei.

$$a = \frac{a_p}{V_p} \quad (\text{II.191})$$

e) *Suprafata specifica a stratului de umplutura*,  $\sigma$  reprezinta suprafata tuturor corpurilor de umplere dintr-un  $m^3$  de umplutura:

$$\sigma = \frac{PH}{V}, \quad \left[ \frac{m^2}{m^3} \right] \quad (\text{II.192})$$

in care:  $P$  este perimetrul mediu al tuturor particulelor din stratul de umplutura.

Suprafata specifica a stratului este diferita de suprafata specifica a particulelor individuale, datorita porozitatii stratului. Relatia intre aceste marimi este:

$$\sigma = a(1 - \varepsilon) \quad (\text{II.193})$$

f) *Diametrul echivalent al sectiunii libere a umpluturii*,  $d_{\text{ech}}$

Dimensiunea geometrica caracteristica a sectiunii libere este diametrul echivalent, care prin definitie este dat de relatia:

$$d_{\text{ech}} = \frac{4S_0}{P} = \frac{\frac{4S_0H}{V}}{\frac{PH}{V}} = \frac{4\varepsilon}{\sigma} \quad (\text{II.194})$$



g) *Regimul de curgere in umputura* se exprima prin criteriul Reynolds, in care dimensiunea geometrica caracteristica este diametrul echivalent al umpluturii:

$$\text{Re} = \frac{\rho_f v d_{\text{ech}}}{\eta_f} = \frac{4v_f \rho_f}{\sigma \eta_f} \quad (\text{II.195})$$

## **Caderea de presiune in straturi fixe de umplutura**

**fara** Caderea de presiune in straturile de umplutura se analizeaza in doua situatii distincte:

- *cand stratul de umplutura este strabatul de un singur fluid (neumectant);*
- *cand stratul este strabatul de doua fluide.*

a) *Caderea de presiune in straturi strabatute de un singur fluid*

fara

In acest caz caderea de presiune este determinata de:

- *frezarile dintre fluid si corpurile de umplere;*
- *frezarile dintre fluid si peretele coloanei;*
- *frezarile interne din fluid;*
- *inertie.*

Pentru stabilirea unor relatii de calcul ale caderii de presiune se utilizeaza diverse modele idealizate pentru structura stratului fix;

fara

- *curgerea prin umplutura este asimilata cu cea printr-o conducta necirculara, avand diametrul echivalent cu cel al sectiunii libere a umpluturii;*

- *se considera stratul de umplutura ca o suma de corpuri solide in jurul carora curge fluidul (curgere in jurul corpurilor imersate), rezistenta stratului fiind data de suma rezistentelor determinate de fiecare particula din strat.*

Literatura de specialitate prezinta multe relatii de calcul a caderii de presiune dintre care se prezinta in cele ce urmeaza relatia Kasatkin-Akonian stabilita prin analogie ce curgerea prin conducte:

$$\Delta P = \lambda \frac{H}{d_{ech}} \cdot \frac{\rho_f v^2}{2} \quad (II.196)$$

fara

Inlocuind in relatia de mai sus diametrul echivalent prin  $4\varepsilon/\sigma$  si viteza reala in functie de viteza fictiva, se obtine:

$$\Delta P = \lambda \frac{H\sigma}{4\varepsilon^3} \cdot \frac{\rho_f v^2}{2} \quad (\text{II.197})$$

in care  $\lambda$  este un coeficient de frecare in stratul de umplutura care se calculeaza in functie de Reynolds cu relatiile stabilita de Javoronkov:

$$\lambda = \frac{140}{\text{Re}_g}, \quad \text{pentru } \text{Re}_g < 40 \quad (\text{II.198})$$

$$\lambda = \frac{16}{\text{Re}_g^{0,2}}, \quad \text{pentru } \text{Re}_g > 40 \quad (\text{II.199})$$

fara

## *b) Caderea de presiune in straturi strabatute de doua fluide*

Caderea de presiune in coloanele umectate  $\Delta p_{ud}$  este mai mare decat in caderea de presiune in acelasi strat de umplutura uscata,  $\Delta P$ . Acest fapt se explica prin *micsorarea sectiunii libere de curgere a gazului sau vaporilor, prin ocuparea unei parti din volumul golurilor de catre lichid si prin frecarile suplimentare intre lichid si gaz sau vapori.*

Daca se reprezinta grafic variatia lui  $\Delta P$  in functie de viteza fictiva a gazului, pentru diverse debite de lichid ( $L$ ) se obtin dependente de tipul celor prezentate in figura urmatoare:

fara

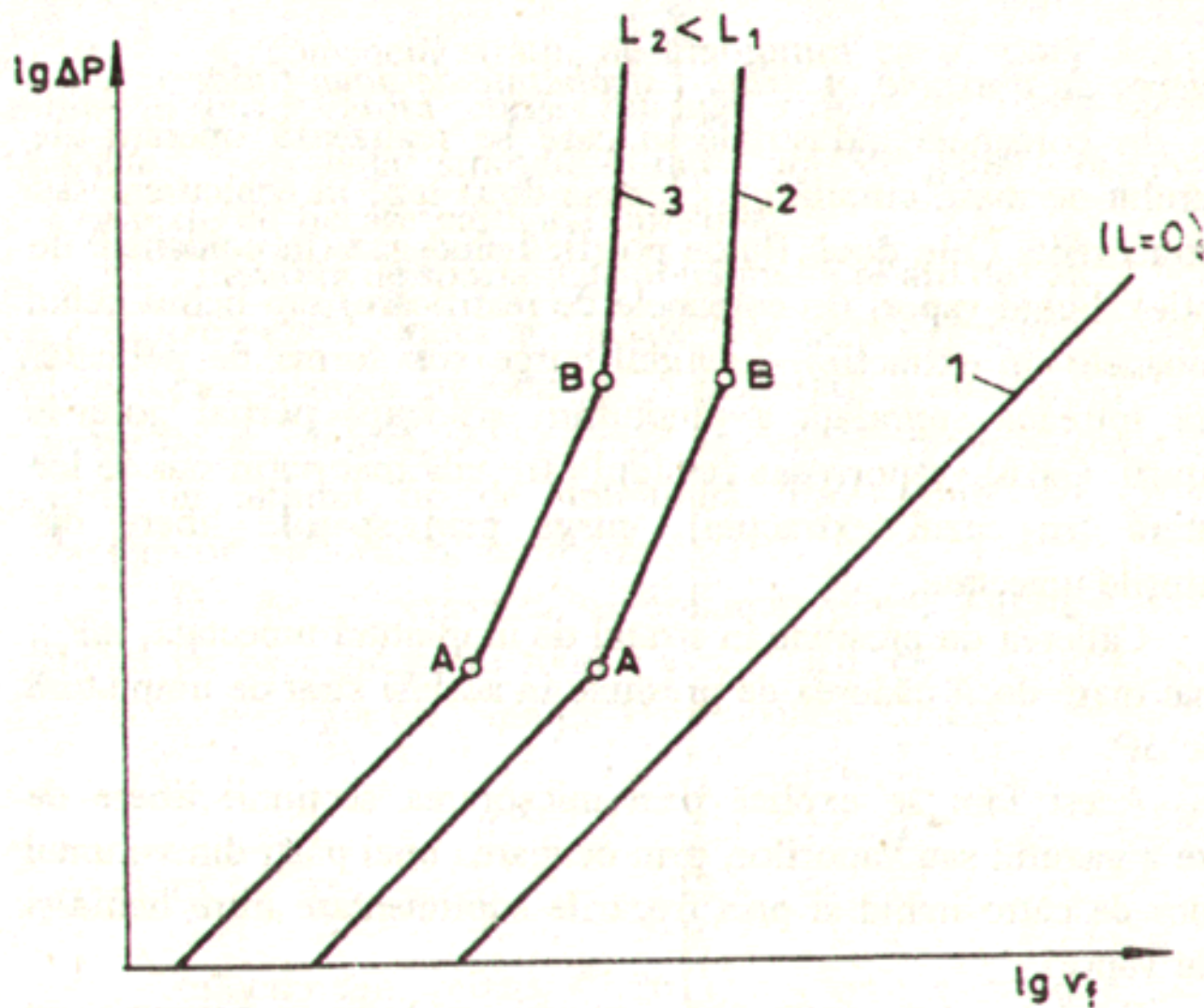


Fig. II.43

Dependența  $\lg P - \lg v_f$ , în umplutura uscată (linia 1) și în umplutura udată (liniile 2 și 3).

La curgerea cu o singura faza (linia 1)  $Ig\Delta P$  variaza liniar in functie de  $Igv_f$ . La curgerea cu doua faze (liniile 2 si 3) aceasta variatie este tot liniara dar panta segmentelor de dreapta se modifica in doua puncte caracteristice, **A** si **B**. Punctele **A** se numesc *puncte de incarcare a coloanei*, iar punctele **B** se numesc *puncte de inecare a coloanei*.

Segmentele de sub punctele de incarcare ale coloanei sunt aproximativ paralele cu linia (1), deoarece pana la aceasta viteza retinerea lichidului in golurile umpluturii este mica si deci exista un spatiu suficient pentru trecerea gazului. Intre punctele **A** si **B** caderea de presiune creste mai rapid cu viteza gazului datorita barbotarii gazului prin lichidul retinut intr-o cantitate tot mai mare in golurile umpluturii. Segmentele de deasupra punctelor de inecare sunt aproape paralele cu ordonata, ceea ce indica o crestere brusca a lui  $\Delta P$ .

La viteza corespunzatoare inecului fortele de frecare gaz-lichid si forta data de presiunea dinamica a gazului egaleaza forta de greutate a lichidului, aceste fiind oprite sa mai curga. Lichidul umple golurile stratului iar faza gazoasa barboteaza in lichid. Acest fenomen se numeste *inversia fazelor* sau *inecarea coloanei*. Marind viteza gazului peste viteza de inecare se produce antrenarea lichidului in sensul invers curgerii initiale.

Se recomanda ca viteza fictiva a gazului sa reprezinte:

$$v_f = (0,6 \div 0,8)v_i \quad (\text{II.200})$$

Caderea de presiune in stratul de umplutura strabatut de lichid si gaz in contracurent se calculeaza cu relatii empirice date in literatura:

$$\Delta P_{ud} = K \cdot \Delta P \quad (\text{II.201})$$