

Curgerea lichidelor prin orificii și fante

Orificiile și fantele constituie un mijloc de bază pentru reglarea parametrilor funcționali ai transmisiilor hidraulice și pentru asigurarea stabilității lor. În acest suport se prezintă caracteristicile de regim staționar ale principalelor tipuri de orificii și fante cu secțiune fixă sau variabilă; practica sistemelor hidraulice a consacrat pentru aceste rezistențe hidraulice denumirea de "drosele".



Fig. Drosel hidraulic

La numere Re mari curgerea este turbulentă, căderea de presiune pe orificii și fante determinând accelerarea particulelor fluide. La numere Re mici căderea de presiune este provocată de eforturile tangențiale corespunzătoare vâscozității.

Curgerea turbulentă

Majoritatea curgerilor prin orificiile și fantele utilizate pentru reglarea transmisiilor hidraulice se produc la numere Re mari și sunt considerate "turbulente", deși termenul nu are aceeași semnificație ca în cazul conductelor.

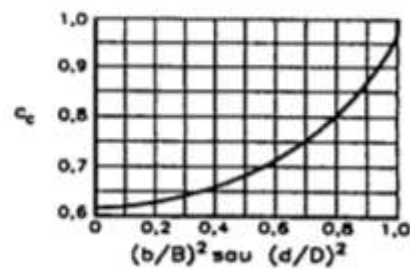
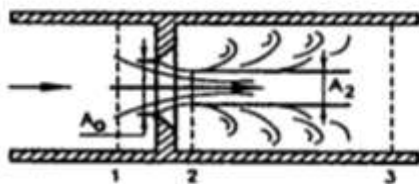


Fig. 1 Curgerea turbulentă printr-un orificiu circular cu muchie ascuțită

Fig. 2 Variația coeficientului de contracție al fantelor (orificiilor) în funcție de lățimea (deschiderea) relativă.

Se consideră un orificiu circular cu muchie ascuțită (fig.1); particulele de fluid sunt accelerate între secțiunile 1 și 2 cu pierderi mici de energie, mișcarea fiind practic potențială. Aria secțiunii transversale a jetului este mai mică decât aria orificiului, datorită inerției particulelor de fluid. Secțiunea de arie minimă a jetului se numește "contractată" sau "vena contracta". Raportul dintre aria acestei secțiuni, A_2 , și aria orificiului, A_0 , se numește coeficient de contracție:

$$c_c = \frac{A_2}{A_0}$$

Accelerarea fluidului începe la o distanță egală cu raza orificiului în amonte de acesta, iar secțiunea contractată este situată la aceeași distanță în aval de muchia ascuțită, deci fluidul este accelerat pe o distanță totală egală cu diametrul orificiului. Pentru o fantă de lățime b , cele două distanțe caracteristice sunt egale cu $b/2$. Între secțiunile 2 și 3 curgerea este turbulentă, producându-se un amestec violent între jet și lichidul din aval de orificiu. Energia cinetică acumulată de lichid prin accelerare nu se mai recuperează, ci se transformă într-o creștere a energiei interne, astfel că presiunile p_2 și p_3 sunt egale, deși vitezele medii corespunzătoare diferă; astfel zona din aval de orificiu poate fi considerată o evazare bruscă. Pentru determinarea caracteristicii orificiului, se aplică relația lui Bernoulli între secțiunile 1 și 2:

$$\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + \zeta_{1-2} \frac{v_2^2}{2g}$$

unde α_1 și α_2 sunt coeficienții lui Coriolis, iar ζ_{1-2} - coeficientul pierderii de sarcină locale în zona de accelerare. Din ecuația de continuitate rezultă:

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{A_2 v_2}{A_1} = c v_2 \frac{A_0}{A_1}$$

Admitem că $\alpha_1 \cong \alpha_2 \cong 1$ se poate calcula viteza medie în secțiunea contractată:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_1 - p_2)} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_{1-2} - \frac{c_c^2 \cdot A_0^2}{A_1^2}}} = v_{2t} \cdot c_v$$

Utilizând metoda transformărilor conforme, von Mises a determinat valoarea teoretică a coeficientului de contracție pentru o fantă de lățime b și lungimea $a \gg b$ în funcție de raportul b/B , în care B este lățimea conductei în care este amplasată fanta:

$$c_c = \frac{1}{1 + \frac{2}{\pi} \left(\frac{B}{b \cdot c_c} - \frac{b \cdot c_c}{B} \right) \cdot \arctg \frac{b \cdot c_c}{B}}$$

Această relație poate fi întrebuințată și pentru orificii cu muchie ascuțită, raportul b/B fiind înlocuit cu raportul d/D . Se constată experimental că valoarea teoretică limită a coeficientului de contracție:

$$c_{c0} = \frac{\pi}{\pi + 2} = 0,611$$

Poate fi utilizată pentru toate orificiile și fantele cu muchie ascuțită, indiferent de geometria acestora, dacă $A_0 \ll A_1$ și mișcarea este turbulentă. Orificiile circulare cu muchie ascuțită sunt utilizate îndeosebi datorită certitudinii caracteristicii de regim staționar și invarianței coeficientului de debit în raport cu temperatura, dar sunt scumpe. Orificiile lungi sunt mult mai răspândite datorită simplității execuției. Coeficientul lor de debit poate fi calculat cu relația:

$$c_d = \frac{1}{\left(1,5 + 13,74 \sqrt{\frac{L}{D \cdot Re}} \right)^{0,5}}$$

dacă

$$D \frac{Re}{L} > 50$$

Curgerea laminară

La căderi mici de presiune sau temperaturi scăzute numărul Re poate fi suficient de mic pentru că mișcarea prin orificii și fante să devină laminară. Acest regim apare, în special, în cazul rezistențelor hidraulice introduse în circuite pentru amortizarea oscilațiilor de mică amplitudine. Numărul Re definit prin relația:

$$Re = \frac{\rho \cdot Q \cdot D_h}{\eta \cdot A_0}$$

În care D_h este diametrul hidraulic, oferă doar o imagine aproximativă asupra influenței forțelor de inerție în raport cu cele de viscozitate, curgerea depinzând în mare măsură de geometria deschiderii. Pentru un orificiu circular, diametrul hidraulic este egal cu cel geometric, iar în cazul unei fante dreptunghiulare de lungime a și înălțime b :

$$D_h = \frac{4 \cdot a \cdot b}{2(a + b)} \cong 2 \cdot b$$

Rezistențe hidraulice variabile

Droselele variabile se realizează prin acoperirea unui orificiu sau a unei fante cu ajutorul unui obturator mobil care poate fi poziționat precis. Cel mai utilizat element din această categorie este format dintr-o bucă prevăzută cu două degajări (camere) toroidale interioare și un obturator (sertar) cilindric, prevăzut cu o degajare toroidală (fig. 3).

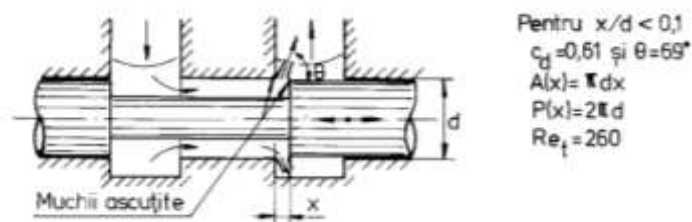


Fig. 3 Drosel cu sertar cilindric

Deplasarea axială a sertarului creează o fantă inelară de lățime variabilă. La deschideri mici ($x/d < 0,1$), în regim turbulent, coeficientul de debit este practic constant, $c_d = 0,61$, dacă muchiile între care se produce curgerea sunt ascuțite.

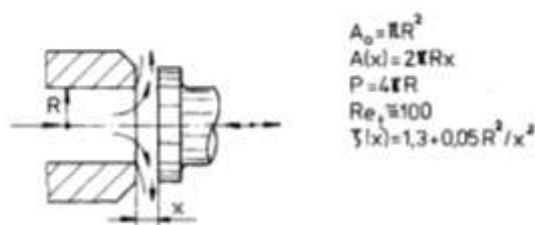


Fig. 4 Drosel cu obturator plan

Tranziția de la curgerea laminară la cea turbulentă se produce la $Re_t \approx 260$. Unghiul θ , format de jetul axial-simetric cu axa sertarului este de cca 69° . Acest tip de drosel este larg întrebuințat în construcția distribuitoarelor, supapelor și a altor elemente ale transmisiilor hidraulice, datorită simplității constructive și forței de comandă relativ mici. În poziția închis, forța necesară pe sertar este nulă, avantaj major în comparație cu alte tipuri de drosel. Obturatorul plan și cel sferic (fig. 4 și 5) sunt întâlnite frecvent în structura supapelor de limitare a presiunii și servovalvelor electrohidraulice. Droselul cu "ac" (fig. 6) permite reglarea fină a secțiunii de curgere, fiind folosit îndeosebi la reglarea vitezei motoarelor hidraulice volumice, pentru frânarea acestora la cap de cursă, ca amortizor de oscilații, etc.

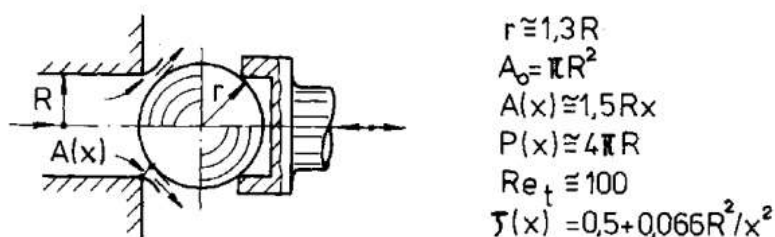


Fig. 5 Drosel cu obturator sferic

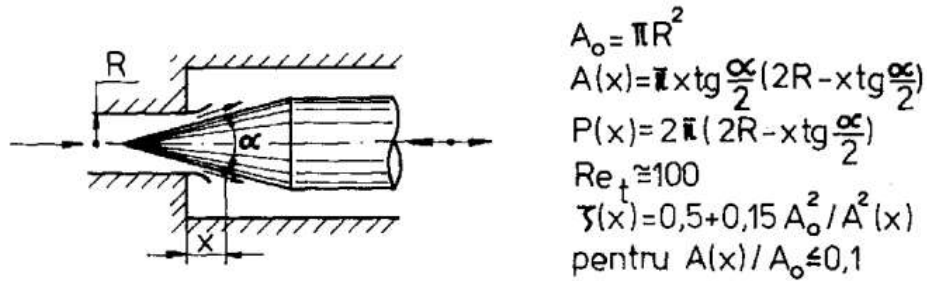


Fig. 6 Drosel cu obturator conic (ac)

În imaginile 7-12 sunt schițate câteva tipuri de rezistențe hidraulice variabile realizate cu orificii circulare și fante dreptunghiulare, pentru care coeficientul ζ este reprezentat în figura 3.19 în funcție de deschiderea relativă A/A_0 .

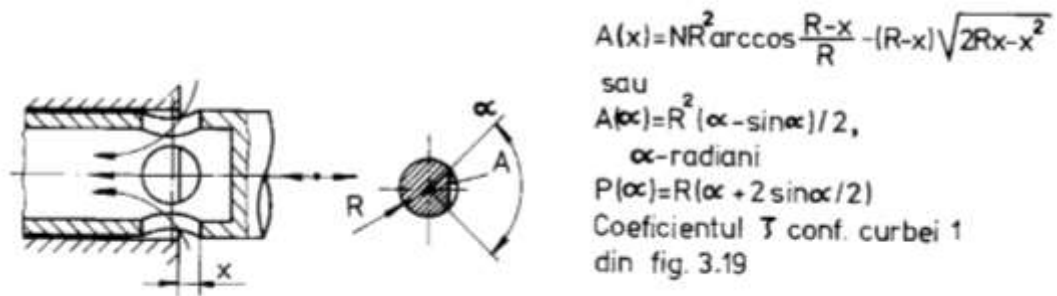
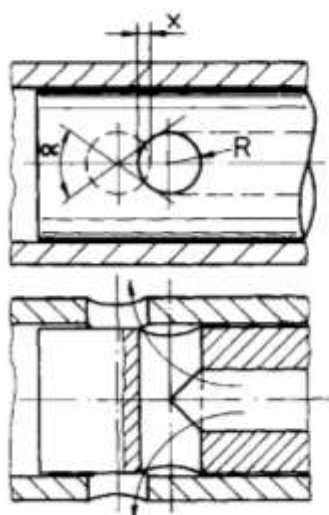


Fig. 7 Drosel cu orificii radiale în sertar cilindric tubular



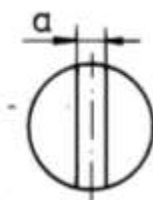
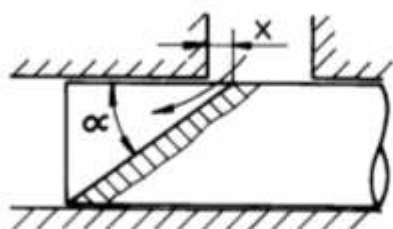
$$A(x) = 2[R^2 \arccos(1-x/2R) - (R-x/2)\sqrt{Rx-x^2/4}]$$

$$A(\alpha) = R^2(\alpha - \sin\alpha), \alpha - \text{radiani}$$

$$L(\alpha) = 2R\alpha$$

Coeficientul ζ conf. curbei 1 din fig. 3.19

Fig. 8 Drosel cu găuri radiale în sertar cilindric și în bușă

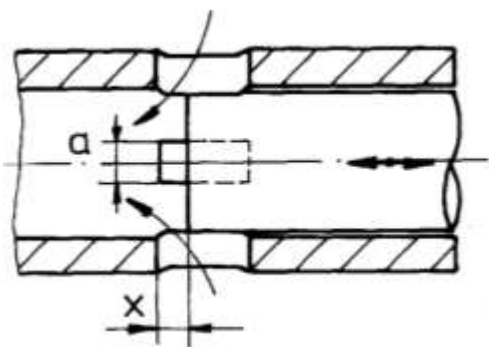


$$A(x) = xa \sin\alpha$$

$$P(x) = 2(a + x \sin\alpha)$$

Coeficientul ζ conf. curbei 2 din fig. 3.19

Fig. 9 Drosel cu fantă dreptunghiulară în sertar cilindric



$$A(x) = Nax$$

$$P(x) = 2N(a + x)$$

Coeficientul ζ conf. curbei 2 din fig. 3.19

Fig. 10 Drosel cu sertar cilindric și fante dreptunghiulare în bușă

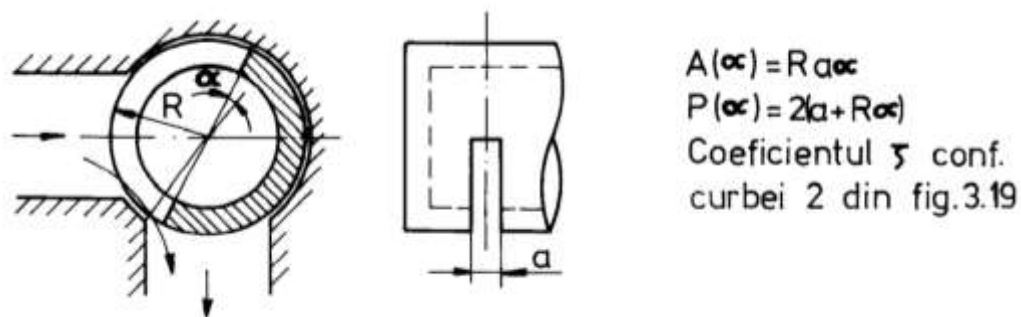


Fig. 11 Drosel cu fantă dreptunghiulară în sertar cilindric tubular rotativ

Fenomenul de obliterate

Se constată experimental că la cădere de presiune constantă, debitul unei fante sau al unui orificiu de mici dimensiuni scade treptat; fenomenul, numit "obliterate", depinde de geometria și dimensiunile deschiderii, de natura, temperatura și gradul de contaminare al lichidului și de materialul din care sunt confecționați pereții deschiderii.

Obliteratea poate fi provocată de aderența substanțelor coloidale (de exemplu gudroanele) și a particulelor solide la pereții deschiderii, dar ea se manifestă și la lichidele funcționale curate. În acest caz explicația fenomenului este de natură electrică. Orice lichid hidrostatic conține molecule polarizate, iar pereții metalici înmagazinează o mică cantitate de energie sub forma unui câmp electric exterior. Restrâns în apropierea pereților izolați, câmpul electric se extinde considerabil între doi pereți apropiați, intensitatea sa fiind invers proporțională cu distanța dintre aceștia. În timpul trecerii printr-o deschidere mică, moleculele polarizate aderă la pereții acesteia, formând un strat a cărui grosime poate atinge 10 μm , cu proprietăți fizice diferite de cele ale lichidului; practic ele reprezintă un mediu solid care poate rezista la diferențe de presiune foarte mari (de ordinul zecilor de bar).

Stratul de molecule polarizate se formează imediat după aplicarea diferenței de presiune; pe măsură ce se îngroașă, el formează un ecran care micșorează intensitatea câmpului electric; astfel legătura dintre moleculele depărtate de pereți slăbește, iar viteza de obliterate scade. În figura 12 se prezintă variația în timp a debitului relativ, $Q(t)/Q(0)$ al unor fante dreptunghiulare de lățime constantă, alimentate la diferențe de presiune constante cu lichid AMG 10.

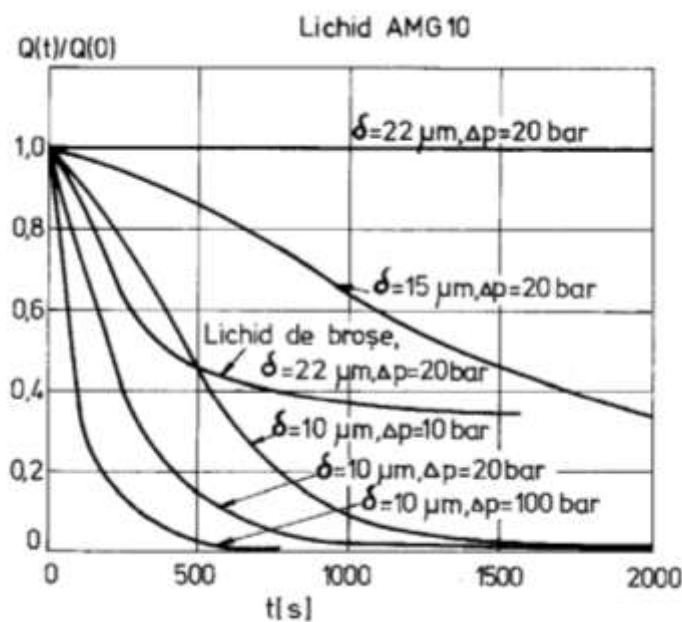


Fig. 12 Variația debitului relativ al unor fante dreptunghiulare de lățime constantă în timp

Curbele indică creșterea vitezei de obliterate la creșterea diferenței de presiune aplicată unei fante; pentru o cădere de presiune constantă viteza de obliterate crește la micșorarea deschiderii. Fantele alimentate cu lichid hidraulic standard se înfundă complet dacă au lățimea δ mai mică de 10 μm și nu se înfundă de loc dacă deschiderea lor depășește 22 μm . Alte lichide, ca de exemplu uleiul pentru broșe hidrostatice, se comportă diferit în aceleași condiții (figura 12) deși au la bază tot petrolul.

Diminuarea graduală a debitului se observă și în cazul orificiilor circulare. Diametrul minim care asigură evitarea obliteratei depinde în mare măsură de lichid. Pentru lichidul AMG 10 acest diametru este de 0,12 mm, iar pentru uleiul de broșe hidrostatice - 0,5 mm.

Mijlocul cel mai eficient de evitare a obliteratei constă în îndepărtarea mecanică a stratului de molecule polarizate prin deplasarea relativă a pereților fantei. De exemplu, în cazul fantelor realizate între o bușă și un sertar cilindric, una dintre piese este rotită continuu (soluție utilizată la servovalvele reguletoarelor electrohidraulice de turație și putere produse de ICM Reșița în licență Neyrpic, pentru turbine hidraulice) sau este supusă unei mișcări de translație alternativă cu frecvență mare și amplitudine mică (soluție întrebuințată la servovalvele electrohidraulice produse de firma MOOG-S.U.A.).

Stratul de molecule polarizate poate fi distrus aplicând orificiului sau fantei o diferență de presiune mai mare, dar obliteratea se produce din nou, cu o intensitate sporită.

În cursul proiectării și încercării elementelor hidraulice care conțin fante și orificii de mici dimensiuni trebuie să se prevadă soluții de evitare sistematică a fenomenului descris.