

Universitatea POLITEHNICA din București

Contract CNCSIS IDEI 98/01.10.2007

Cod UPB ME14/09/01

Cod CNCSIS ID_912

PROCESE DE LUBRIFICAȚIE ÎN STRATURI
POROASE, FOARTE COMPRESIBILE,
SUPUSE LA SARCINI DE IMPACT

Faza 2009

SINTEZA

Director

Prof. dr. ing. Mircea D. PASCOVICI

Echipa de cercetare

Prof. dr. ing. Traian CICONE

S.l. dr. ing. Victor MARIAN

Drd. ing. Cristian S. POPESCU

Drd. ing. Maria Brîndușa ILIE

Cuprins

Cap. 1. Investigarea capacității de amortizare a șocurilor în condițiile folosirii unor corpuri sferice / bile lansate gravitațional.

- 1.1. Descrierea standului experimental
- 1.2. Rezultate experimentale
- 1.3. Determinarea permeabilității în regim dinamic
- 1.4. Comparație teorie-experiment

Cap. 2. Investigarea capacității de amortizare în condiții XPHD, pentru suprafețe circulare plane și contacte sferice, pe un stand dedicat (CETR-UMT-2)

- 2.1. Descrierea standului experimental
- 2.2. Rezultate obținute pentru configurația circulară plană
- 2.3. Rezultate obținute pentru configurația sferică
- 2.4. Determinarea permeabilității în regim dinamic
- 2.5. Comparații cu rezultatele obținute prin alte căi

Cap. 3. Analiza teoretică a unor amortizoare cu suprafețe circulare plane multiple (multistrat)

- 3.1. Procesul de expulzare prin impact în straturi poroase foarte compresibile, pentru contacte de configurație inelară
 - 3.1.1. Modelul
 - 3.1.2. Cazul expulzării cu viteză constantă
 - 3.1.3. Cazul expulzării cu forță constantă
- 3.2. Generalizarea modelului pentru cazul mai multor straturi

Cap. 4. Măsurarea statică a permeabilității materialelor poroase și compresibile, posibil a fi utilizate în condiții XPHD de expulzare sub impact/șoc pe un stand cu curgere unidirecțională

- 4.1. Descrierea standului experimental
- 4.2. Determinarea permeabilității în regim static
- 4.3. Comparație teorie-experiment

Cap. 1. Investigarea capacității de amortizare a șocurilor în condițiile folosirii unor corpuri sferice / bile lansate gravitațional [7]

1.1. Descrierea standului experimental

Investigarea capacității de amortizare a straturilor poroase extrem de compresibile (SPEC), îmbibate cu un fluid newtonian, a fost realizată prin efectuarea unui test de impact cu bile lansate gravitațional, Fig. 1. Testul de impact a constat în două proceduri: determinarea înălțimii maxime la care energia bilei a fost absorbită în totalitate și determinarea poziției bilei pe durata impactului.

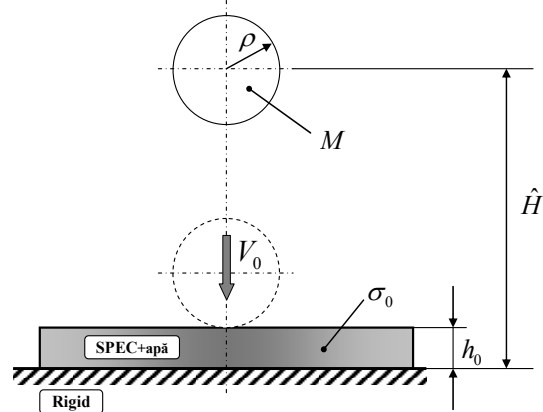


Fig. 1 Configurația testului de impact cu bile lansate gravitațional

Ambele proceduri au fost efectuate cu un SPEC îmbibat cu apă, compus din fibre neșesute cu diametrul fibrelor aproximat la $18\ \mu\text{m}$, având grosimea inițială $h_0 = 3,5\ \text{mm}$ și compactitatea inițială de $\sigma_0 = 0.05$ și, denumit în continuare NW1, Fig. 2.

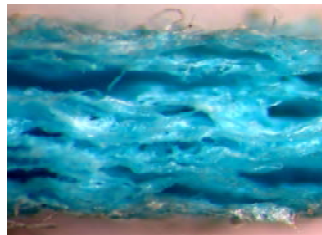


Fig. 2 Detaliu de structură a SPEC NW1 utilizat în testul de impact

1.2. Rezultate experimentale

În primul experiment au fost utilizate cinci sfere cu mase M și raze ρ diferite, din material elastomeric cu modulul de elasticitate de aproximativ $6.8\ \text{MPa}$, putând fi considerate mult mai rigide decât SPEC. Având în vedere că la înălțimi mai mari o parte din energie nefiind disipată de SPEC permite bilei să aibă recul, prin lansări succesive a fost stabilită pentru fiecare bilă înălțimea de cădere \hat{H} la care SPEC absoarbe total energia de impact, Tabelul 1.

În al doilea experiment a fost utilizată bila numărul trei lansată de la înălțimea $\hat{H} = 282\ \text{mm}$. Prin înregistrarea video rapidă a impactului a fost determinată poziția bilei pe durata impactului. Prin procesarea datelor a fost posibilă efectuarea calculului grosimii minime a SPEC deformat și viteza bilei. Rezultatele experimentale sunt prezentate în Fig. 3. Experimentul a fost efectuat cu o

cameră de filmare rapidă, la 6000 cadre/secundă, în cadrul “Laboratorului de Mecanica Solidelor” (LMS), al Universității din Poitiers.

Tabel 1 Rezultate experimentale în primul test de impact

Bila Nr.	M [g]	ρ [mm]	\hat{H} [mm]
1	10.206	13	445
2	8.833	13.17	490
3	13.535	15.25	510
4	17.992	16.90	305
5	25.327	18.85	245

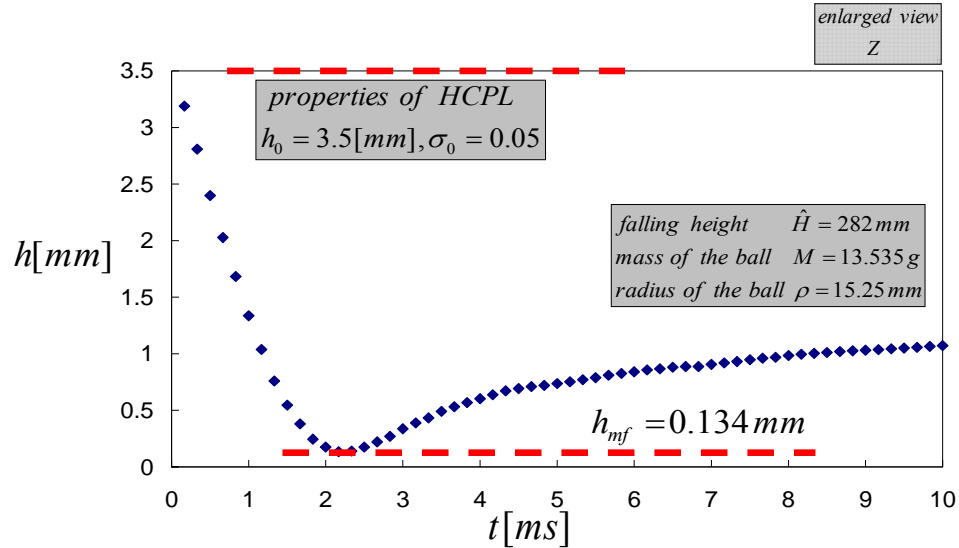


Fig. 3 Rezultate experimentale pentru al doilea test de impact, poziția bilei pe durata impactului

1.3. Determinarea permeabilității în regim dinamic

Impulsul adimensional maxim generat de o bilă în cădere liberă, cu viteza inițială $V_0 = \sqrt{2g\hat{H}}$, este exprimat prin relația:

$$\bar{M}_{\max} = \frac{M\sqrt{\hat{H}}}{\rho^2} \frac{\sqrt{2g}}{\eta} \quad (1)$$

Considerând că ultimul raport din ecuația (1) a fost constant pe durata experimentului, grupul dimensional constituit din restul de parametrii ar trebui să rămână constant. Această ipoteză a fost confirmată de rezultatele obținute în prima procedură, prezentate în Tabelul 2 și Fig. 4.

Impulsul adimensional maxim poate fi exprimat și în funcție de compacitatea inițială

$$\bar{M}_{\max} = \frac{3\pi}{4} \text{Po} \frac{\sigma_0^2}{(1-\sigma_0)^2} (2\sigma_0 - 0.5\sigma_0^2 - 1.5 - \ln \sigma_0) \quad (2)$$

unde $\text{Po} = \frac{h_0^2}{D}$ reprezintă o proprietate adimensională a materialului, iar D parametrul complex al SPEC din relația de variație a permeabilității Kozeny-Carman [11]:

$$\phi = \frac{D(1-\sigma)^3}{\sigma^2} = \frac{D\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2} \quad (3)$$

Parametrul complex al SPEC este obținut din relațiile (1) și (2)

$$D = \frac{3\pi}{4} \frac{\rho^2}{M\sqrt{\hat{H}}} \frac{\eta h_0^2}{\sqrt{2g}} \frac{\sigma_0^2}{(1-\sigma_0)^2} (2\sigma_0 - 0.5\sigma_0^2 - 1.5 - \ln \sigma_0) \quad (4)$$

În cazul experimentului de față, D a fost calculat utilizând următoarele valori:

$$h_0 = 3.5 \text{ mm}; \eta = 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}; \sigma_0 = 0.05; M\sqrt{\hat{H}} / \rho^2 = 1.186 \text{ g}\cdot\text{mm}^{-1.5}.$$

Valoarea obținută pentru parametrul complex, în cazul considerat $D = 0.7674 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$, permite calculul permeabilității în regim dinamic: $\phi = 2.63 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2$.

Tabel 2 Valori ale grupului dimensional

No.	$M\sqrt{\hat{H}} / \rho^2$ [g·mm ^{-1.5}]
1	1.274
2	1.126
3	1.314
4	1.101
5	1.116

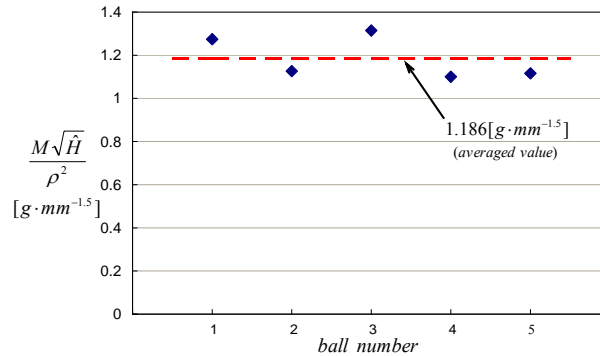


Fig. 4 Reprezentare valorii medii a grupului adimensional

1.4. Comparație teorie-experiment

Din întregul proces de impact a fost luată în considerare doar perioada de impact, de la viteza inițială V_0 ($\bar{V} = 1$) până la $V = 0$, viteza adimensională fiind exprimată prin relația:

$$\bar{V} = 1 + \frac{\pi \text{Po}}{8 \bar{M}} f_2(\sigma_0, H_m) \quad (5)$$

unde

$$f_2(\sigma_0, H_m) = \frac{\sigma_0^2}{(1-\sigma_0)^2} \left\{ \frac{2(H_m - \sigma_0)(1-\sigma_0)^2}{H_m} \ln \left(\frac{1-\sigma_0}{H_m - \sigma_0} \right) + 6 \ln H_m + \right. \\ \left. + (1-H_m) \left[\frac{\sigma_0(3-2\sigma_0)}{H_m} + \sigma_0 + 6 - 2H_m \right] \right\} \quad (6)$$

Utilizând valorile menționate mai sus, în Fig. 5 este prezentată comparația dintre experiment și modelul analitic a vitezei adimensionale \bar{V} , în funcție de grosimea adimensională H_m , de la valoarea inițială h_0 până la cea finală $h_{mf} = h_0\sigma_0$.

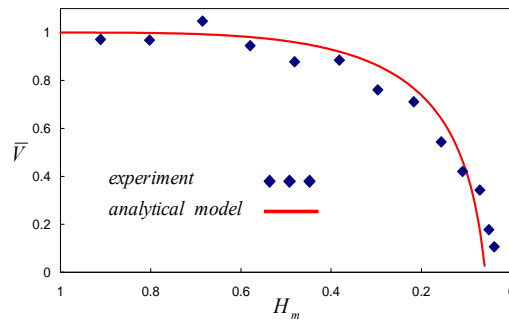


Fig. 5 Viteza adimensională în funcție de grosimea SPEC în urma impactului unei bile rigide

Suprapunerea modelului analitic peste valorile experimentale este impresionantă, această metodă putând fi considerată o bună validare a modelului analitic de expulzare prin impactul unei sfere pe un SPEC, îmbibat cu un fluid newtonian.

Cap. 2. Investigarea capacității de amortizare în condiții XPHD, pentru suprafețe circulare plane și contacte sferice, pe un stand dedicat (CETR-UMT-2) [8]

2.1. Descrierea standului experimental

Aparatul utilizat, CETR UMT-2, este destinat testelor tribologice standard, experimentul de față constituind un metodă de utilizare a acestui aparat diferită de cele pentru care a fost proiectat.

Testul de expulzare la viteză constantă a fost considerat pentru două tipuri de configurații: suprafețe plane circulare, impactorul fiind reprezentat de un disc, (Fig. 6, a) și suprafețe sferice, impactorul fiind reprezentat de o sferă, (Fig. 6, b), utilizând trei SPEC îmbibate cu două lichide: apă și ulei (SAE20W50).

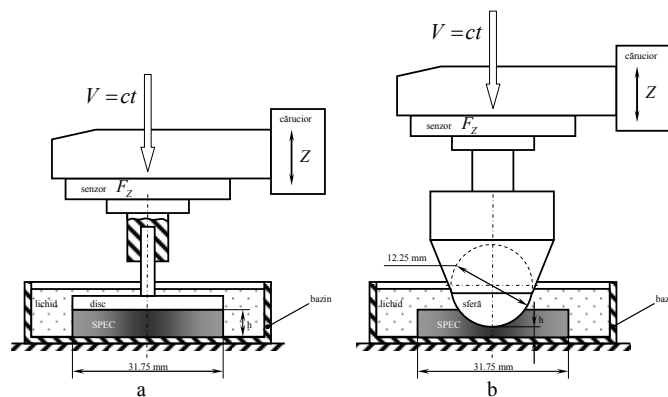


Fig. 6 Configurația pentru expulzarea SPEC la viteză constantă, a) cazul suprafețelor plane circulare, b) cazul suprafețelor sferice

Pentru cele două configurații, în funcție de posibilitățile aparatului, au fost selectate 3 viteze: $v=0.1;0.5;1$ mm/s. La fiecare viteză au fost efectuate 3-5 încercări. Prin alegerea cotei inițiale de la care a început testul, s-a avut în vedere ca impactorul să poată atinge o viteză constantă înainte de a ajunge în contact cu SPEC-ul. Pentru a evalua corect distanța parcursă, respectiv grosimea SPEC, înainte de fiecare test a fost setată poziția de zero, referința fiind constituită prin suportul pe care materialul a fost așezat, respectiv fundul bazinului. Condiția de final a testului a fost stabilită luând

în considerare forța maximă acceptată de senzor. În acest caz a fost utilizat senzorul DFH-20, ce poate suporta forțe până la 200N, cu o rezoluție de 10mN. Achiziția de date a fost efectuată cu placa National Instruments NI-6013, la 100 kHz. Aparatul a fost manevrat cu ajutorul programului UMT-2 System Software, furnizat de producător, prin intermediul unor secvențe automate ce permit setarea timpului de test, a vitezelor și accelerațiilor căruciorului, precum și a condițiilor impuse pe durata testului. Datele achiziționate au fost filtrate și exportate, cu ajutorul programului UMT Test Viewer, ca fișiere de tip text ce au fost ulterior importate și prelucrate în Microsoft Excel.

În experiment au fost utilizate SPEC constituite din materiale poroase neșesute, Fig. 7.

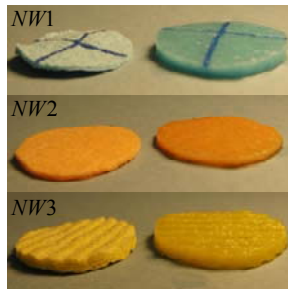


Fig. 7 SPEC utilizate în experimentul pentru expulzarea lichidului la viteză constantă

NW1 cu diametrul aproximativ al fibrelor de $18 \mu\text{m}$ a fost menționat în testul de impact. Pentru NW2 diametrul mediu măsurat a fost de aproximativ $12 \mu\text{m}$. NW1 și NW2 au fost utilizate în experimentul pentru determinarea permeabilității în regim static, pe un stand cu curgere axial simetrică [9].

2.2. Rezultate experimentale obținute pentru configurația circulară plană

Pentru exemplificarea rezultatelor experimentale a fost selectată configurația NW1 îmbibat cu ulei și expulzat la viteză constantă de disc, Fig. 8.

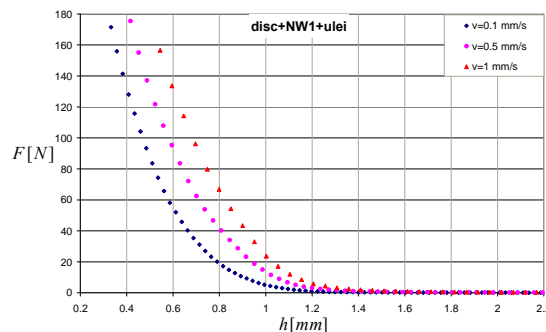


Fig. 8 Rezultate experimentale ale expulzării la viteză constantă a SPEC, configurația disc+NW1+ulei

2.3 Rezultate experimentale obținute pentru configurația sferică

Pentru exemplificarea rezultatelor experimentale a fost selectată configurația NW3 îmbibat cu ulei și expulzat la viteză constantă de sferă, Fig. 9.

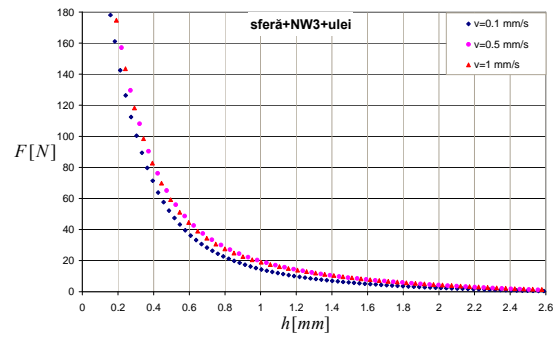


Fig. 9 Rezultate experimentale ale expulzării la viteză constantă a SPEC, configurația sferă+NW3+ulei

2.4. Determinarea permeabilității în regim dinamic

Variația permeabilității a fost considerată utilizând relația Kozeny-Carman (3), referită în cele ce urmează cu K-C, precum și relația Pseudo-Kozeny-Carman (P-K-C) demonstrată validă în experimentele pentru determinarea permeabilității în regim static:

$$\phi = \frac{D(1-\sigma)^2}{\sigma} \quad (7)$$

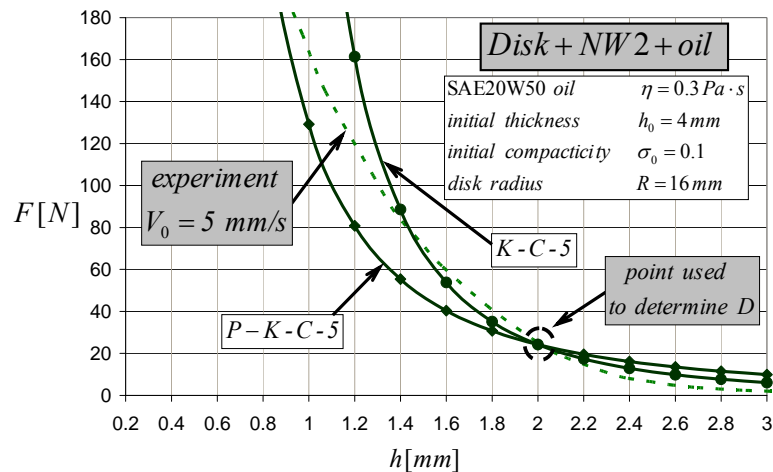
Parametrul complex al SPEC exprimat în funcție de cele două variații ale permeabilității este:

$$D_{K-C} = \frac{\pi \eta \sigma_0^2 R^4 V_0}{8FH(H-\sigma_0)^2 h_0} \quad (8)$$

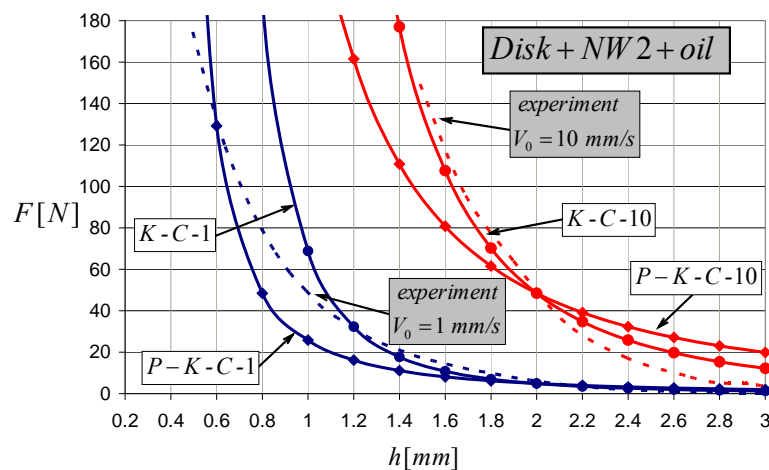
și

$$D_{P-K-C} = \frac{\pi \eta \sigma_0 R^4 V_0}{8FH(H-\sigma_0)h_0} \quad (9)$$

Utilizând rezultatele experimentale obținute în urma expulzării la viteza $V_0 = 5 \text{ mm/s}$, respectiv forța la anumită grosime, cu ajutorul relațiilor (8) și (9) a fost determinat parametrul complex al SPEC NW2 îmbibat cu ulei (SAEW50), respectiv $D_{K-C} = 4.83 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2$ și $D_{P-K-C} = 1.93 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2$, Fig. 10 a. Cu aceste valori se poate determina permeabilitatea în regim dinamic la o anumită compactitate, de exemplu la $\sigma_0 = 0.1$: $\phi_{K-C} = 3.52 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$ și $\phi_{P-K-C} = 1.56 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$. Revenind la relațiile (8) și (9), cu parametrul complex fixat, au fost trasate variațiile forței la alte vitezele $V_0 = 1 \text{ mm/s}$ și 10 mm/s , Fig. 10, b. Diferența între curbele obținute analitic și cele experimentale este acceptabilă.



a.



b.

Fig. 10 Determinarea permeabilității (a) și verificarea acesteia (b) pentru experimentul de expulzare la viteză constantă a SPEC, configurația disc+NW2+ulei

Cap. 3. Analiza teoretică a unor amortizoare cu suprafețe circulare plane multiple (multistrat)

3.1. Procesul de expulzare prin impact în straturi poroase foarte compresibile, pentru contacte de configurație inelară

În fazele precedente s-a analizat procesul de expulzare în straturi poroase relativ subțiri, foarte compresibile pentru următoarele configurații ale corpului rigid în mișcare de apropiere normală:

- 1) suprafața plană circulară cu condiții la limită extinse respectiv cu condiții la limită restrânse
- 2) suprafața plană rectangulară cu condiții la limită restrânse

În faza actuală este dezvoltat modelul pentru cazul suprafețelor inelare. În Fig. 11 este prezentată schematic esența procesului de expulzare a lubrifianului, îmbibat într-un strat poros

deformabil, de grosime inițială h_0 , printr-un impact (șoc) produs de o masă M , care cade de la o înălțime H_f , peste un corp circular rigid cu rază exterioară R , de masă neglijabilă. Corpul cu secțiune circulară definită de raza interioară, R_i , respectiv raza exterioară, R_e , produce o încărcare axial-simetrică asupra stratului poros deformabil care are aceleași dimensiuni în secțiune (ceea ce revine la a considera suprafața masei M paralelă cu suprafața stratului poros). În consecință, grosimea instantanee a stratului poros deformat, h , este uniformă pe toată suprafața de contact. Consecvent cu ipotezele utilizate în lucrările anterioare [4], [6], se presupune că variația permeabilității stratului poros, ϕ , la variația compactității, σ , sau a porozității, ε , induse de variația grosimii, h , în timpul impactului ascultă de legea Kozeny-Carman (3).

De asemenea, se consideră că „partea solidă” a materialului rămâne constantă la variația grosimii lui:

$$\sigma h = \sigma_0 h_0 \tag{10}$$

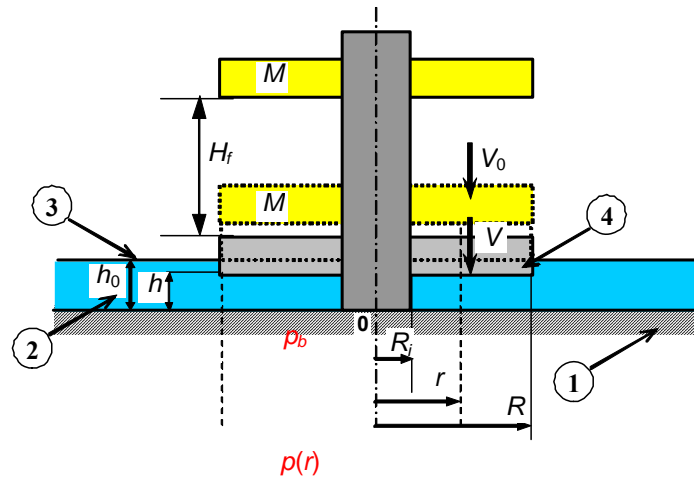


Fig. 11 Geometria configurației plane inelare încărcată prin impact

În modelarea analitică a procesului se consideră că stratul poros **2** este solidar cu stratul rigid **1** și este ecranat/izolat de mediul exterior cu o peliculă foarte subțire **3**, care împiedică curgerea pe direcția grosimii stratului. S-a considerat cazul simplu în care presiunea este nulă (presiune atmosferică) la marginea exterioară a suprafeței de impact:

$$\text{la } r = R; \quad p = 0 \tag{11}$$

iar la raza interioară nu există curgere (inelul este ghidat la interior dar și etanșat):

$$\text{la } r = R_i; \quad \frac{dp}{dr} = 0 \tag{12}$$

Rezolvarea problemei propuse presupune soluționarea a trei etape distincte:

- a) Determinarea distribuției de presiuni, p , respectiv a forței de expulzare, F , pentru o viteză normală constantă, V ;
- b) Determinarea variației grosimii stratului comprimat în funcție de timp $h(t)$, pentru o forță de expulzare cunoscută, F ;
- c) Determinarea variației forței de contact F_s , în funcție de grosimea momentană a stratului $h(t)$, pentru un impuls MV_0 dat.

Pentru primul caz, distribuția presiunii se obține după integrarea ecuației Reynolds [10] în forma adimensională

$$\bar{p} = \frac{\sigma_0^2 V}{4 H (H - \sigma_0)^2} \left[1 - \bar{R}^2 + 2\bar{R}^2 \ln \frac{r}{R} \right] \tag{13}$$

unde \bar{R} este raportul razelor inelului: $\bar{R} = R_i/R$

Prin integrarea presiunii pe suprafața inelară se obține forța portantă adimensională:

$$\bar{F} = \frac{\pi \sigma_0^2 V}{8 H (H - \sigma_0)^2} (1 - 4\bar{R}^2 + 3\bar{R}^4 - 4\bar{R}^4 \ln \bar{R}) = \frac{\pi \sigma_0^2 V}{8 H (H - \sigma_0)^2} f(\bar{R}) \quad (14)$$

Dupa cum se observa, forta portanta are o expresie similara cu cea obtinuta in cazul suprafetelor circulare plane, diferenta fiind data de functia de corectie $f(\bar{R})$ care tine cont de razele inelului. Prin trecere la limita in functia $f(\bar{R} \rightarrow 0)$ se obtine relatia pentru suprafete circulare [10].

In cazul suprafetelor inelare multiple, daca nu se ia in considerare masa inelelor rigide, forta portanta a z inele inseriate este suma algebrica a fortelor pentru o pereche de inele: $F_z = F_1 \cdot z$.

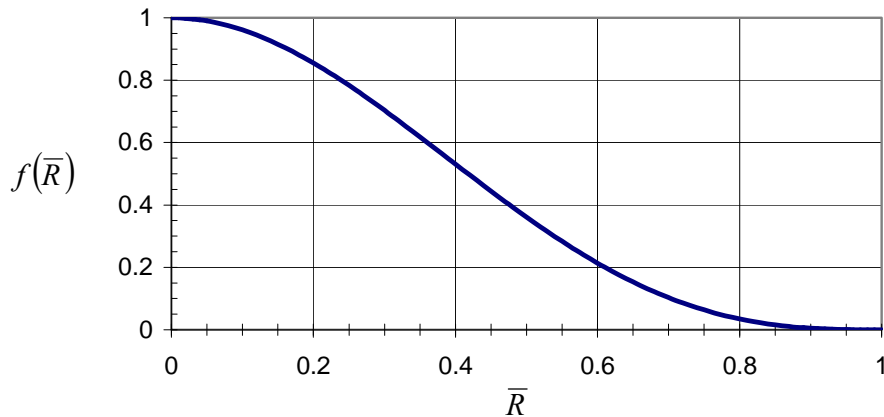


Fig. 12 Variația funcției de corectie pentru suprafețe inelare

Cap. 4. Măsurarea statică a permeabilității materialelor poroase și compresibile, posibil a fi utilizate în condiții XPHD de expulzare sub impact/șoc pe un stand cu curgere unidirecțională [8]

S-a realizat un stand de curgere unidirecțională pentru măsurarea permeabilității în condiții statice specializat pe SPEC țesute. Necesitatea realizării unui astfel de stand a fost susținută de imposibilitatea unei testări relevante a materialelor poroase țesute pe standul axial-simetric realizat în faza din 2008 [9],[10].

4.1. Descrierea standului experimental

Fig.13 prezintă schema și componentele principalele ale standului experimental unidirecțional utilizat pentru determinarea permeabilității în regim static a materialelor poroase țesute. Permeabilitatea statică a SPEC în funcție de compactitate se obține prin măsurarea debitului la presiune constantă. Se măsoară debitul de fluid (apă) ce trece prin materialul poros fixat între două plăci rigide. Strângerea probei de material este realizată la diferite grosimi ce rămân constante pe durata fiecărei măsurări. Prin varierea grosimii SPEC, h , se obțin diferite porozități/compactități. Pentru asigurarea unei strângeri uniforme peste cele două plăci este așezat un cadru rigid în formă de „U”, iar etanșarea este asigurată pe trei laturi, astfel încât curgerea este orientată pe lungimea materialului. Presiunea este generată datorită diferenței de nivel între rezervorul de apă și suportul metalic, fiind folosite cote diferite. Pentru a avea un nivel constant în rezervor a fost utilizată pompa peristaltică 913 MityFlex. Fluidul este colectat într-un vas gradat și permeabilitatea este calculată volumetric.

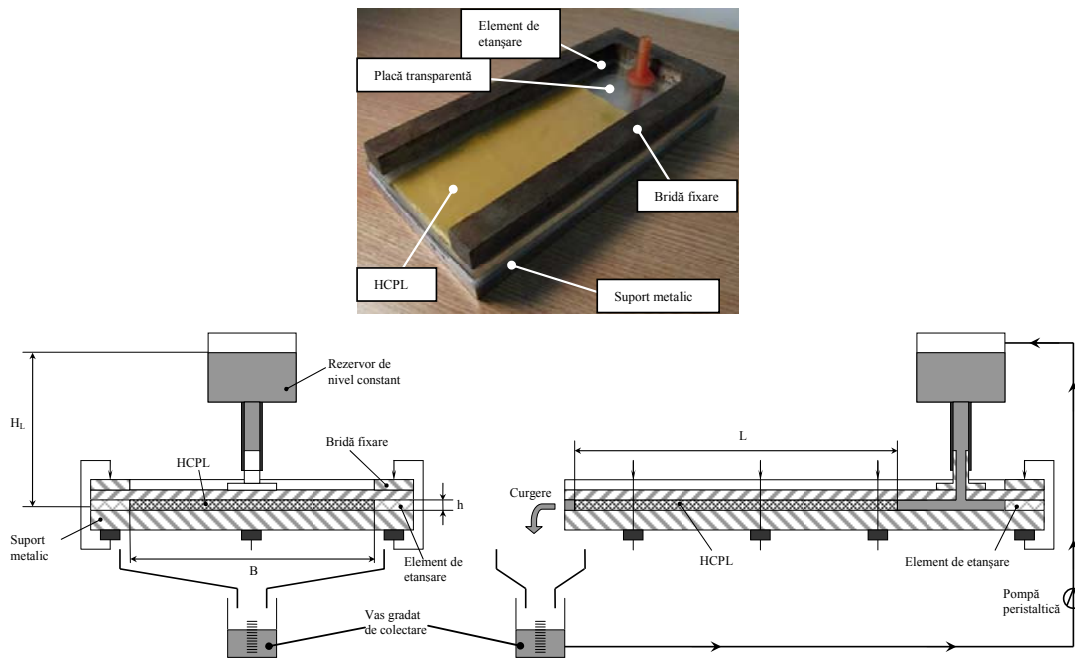


Fig.13 Stand unidirecțional utilizat pentru măsurarea debitului prin materiale poroase țesute

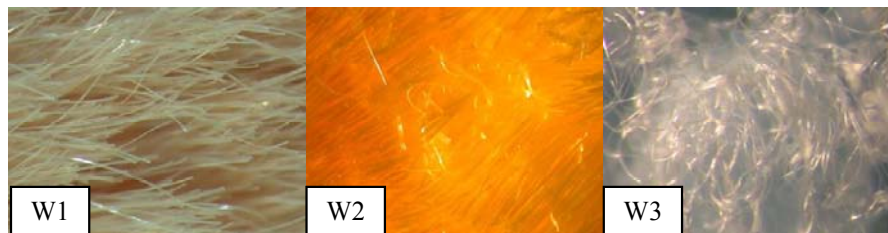


Fig.14 Structura materialelor țesute utilizate în experiment

În experiment au fost utilizate trei materiale țesute din fibre sintetice având structură diferită (Fig.14). Materialele s-au folosit în stare de saturare completă, fiind imersate cu 24 h înainte de utilizare. Diametrele medii ale fibrelor au măsurate cu ajutorul microscopului Nikon SMZ 1000 echipat cu un obiectiv X8. Ulterior au fost realizate fotografiile utilizând un obiectiv X16. Diametrele fibrelor sunt astfel: pentru materialul W1 - $d_{w1} \cong 26 \mu m$, pentru materialul W2 - $d_{w2} \cong 46 \mu m$, pentru W3 - $d_{w3} \cong 7 \mu m$.

4.2. Determinarea permeabilității în regim static

Permeabilitatea este calculată volumetric pornind de la debit pentru o curgere de tip Poiseuille:

$$Q = -Bh \frac{\phi}{\eta} \frac{dp}{dx} \tag{15}$$

Presiunea este calculată în funcție de diferența de nivel, H_L :

$$p_H = \rho g H_L \tag{16}$$

4.3. Comparație teorie-experiment

Permeabilitatea obținută experimental și raportată la diametrul fibrelor este reprezentată pentru cele trei materiale utilizate (Fig. 15). Rezultatele sunt prezentate pentru toate grosimile considerate pentru fiecare material și, respectiv, pentru două presiuni diferite. Acestor rezultate le sunt corelate cele două funcții de variație a permeabilității cuprinse în ipotezele teoretice (3), (7), fiind considerate diferite valori pentru constanta k .

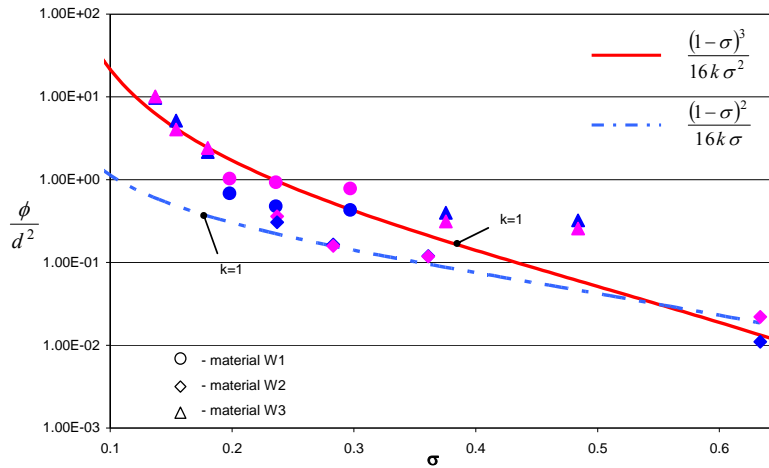


Fig.15 Permeabilitatea statică unidirecțională raportată la diametrul mediu al fibrelor în funcție de compactitate

NOTATII

B – lățimea probei SPEC

D – parametru complex al SPEC

d – diametrul fibrei SPEC

F – forța portantă

H – grosimea adimensională a SPEC

H_L – diferență de nivel

\hat{H} – înălțime de cădere

h – grosimea SPEC

k – constantă în ecuația Kozeny-Carman

L – lungimea probei SPEC

M – masa de impact

p – presiune

Po – proprietate dimensională a SPEC

Q – debit

q – debit unitar

R – raza ariei aparente/nominale a unui cerc/disc

\bar{R} – raportul razelor inelului

r – coordonată radială

U – viteză tangențială

u – viteza fluidului în interiorul stratului

V – viteză de normală (de expulzare)

ε – porozitate

η – vîscozitate

ρ – rază

σ – compactitate

ϕ – permeabilitate

NOTATIONS

NW – material poros neșesut

W – material poros șesut

SUBSCRIPTS

0 – inițial (strat nedeformat)

BIBLIOGRAFIE

- [1] Bowden, F.P. and Tabor, D., 1950, *The Friction and Lubrication of Solids*, Oxford, Clarendon Press, pp. 259-284.
- [2] McCutchen, C.W., 1962, *The frictional properties of animal joints*, *Wear*, Vol. 5, pp. 1-17.
- [3] Pascovici, M.D., 2007, *Lubrication processes in highly compressible porous layers*, JFT, Poitiers University.
- [4] Pascovici, M.D., 2001, *Lubrication by Dislocation: A New Mechanism for Load Carrying Capacity*, Proceedings of 2nd World Tribology Congress, Vienna, p.41.
- [5] Pascovici, M. D., Cicone, T., Marian, V., 2008, *Squeeze process under impact, in highly compressible porous layers, imbibed with liquids*, presented at the 13th Nordic Symposium on Tribology, Tampere, Finland.
- [6] Pascovici, M.D. and Cicone, T., 2003, *Squeeze-film of unconformal compliant and layered contacts*, *Tribology International* 36, pp. 791-799.
- [7] Pascovici, M.D., Popescu, C.S. and Marian, V.G., 2009, *Impact of a rigid sphere on a highly compressible layer imbibed with a newtonian liquid*, 4th World Tribology Congress, Kyoto.
- [8] Pascovici, M.D., Popescu, C.S. and Ilie, M. B., 2009, *Squeeze process in highly compressible porous layer imbibed with liquid*, 36th Leeds-Lyon Symposium on Tribology, Lyon, 1-3 Sept. 2009, invited paper.
- [9] Popescu, C.S., Marian, V. and Pascovici, M.D., 2009, *Experimental and theoretical analysis of the permeability for highly compressible porous layers*, *J. of the Balkan Tribological Association*, Vol. 15, No. 1, 86-92.
- [10] „*Procese de lubrificație în straturi poroase, foarte compresibile, supuse la sarcini de impact*”, Sinteză, Faza 2008, Contract CNCSIS IDEI 98/01.10.2007.
- [11] Scheidegger, A.E., 1974, *The physics of flow through porous media*, Third edition, University of Toronto Press.