

Universitatea Politehnica din București

Contract CNCSIS IDEI 98/01.10.2007

Cod UPB ME14/08/01

Cod CNCSIS ID_912

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

Faza 2008

SINTEZA

Director

Prof. dr. ing. Mircea D. PASCOVICI

Echipa de cercetare

Prof. dr. ing. Traian CICONE

As. Dr. ing. Victor MARIAN

Drd. ing. Cristian S. POPESCU

Drd. ing. Christian RUSSU

Preambul

În anul II – 2008, în conformitate cu obiectivele, activitățile și rezultatele propuse a fi livrate, menționate în Anexa II a contractului de finanțare și în actul adițional, am realizat tot ce ne-am propus.

În raportarea anterioară (2007) s-a rezolvat problema impactului suprafețelor aliniate de contur pătrat. Acest caz a fost extins printr-o soluție cvasi-analitică ingenioasă la un contur dreptunghiular oarecare.

În același timp, soluția analitică găsită pentru impactul suprafețelor sferice, a făcut ca la nivelul propus pentru această fază să renunțăm la soluția numerică cu diferențe finite.

Cuprins

Cap. 1. Studiul teoretic al amortizării în condiții XPHD, sub impact/șoc

- 1.a. Procesul de expulzare sub impact în straturile poroase foarte compresibile îmbibate cu lichide, în cazul suprafețelor aliniate de contur dreptunghiular
- 1.b. Impactul unei sfere rigide asupra unui strat poros, puternic compresibil, îmbibat cu un fluid Newtonian (Obiectivul 1)

Cap. 2. Măsurarea permeabilității materialelor poroase și compresibile, posibil a fi utilizate în condiții XPHD de expulzare sub impact/șoc (Obiectivul 2)

Cap. 3. Investigarea capacității de amortizare a șocurilor prin amprentare în condițiile folosirii unor corpuri sferice / bile lansate gravitațional (Obiectivul 3)

Cap. 1. Studiul teoretic al amortizării în condiții XPHD, sub impact/șoc

1.a. Procesul de expulzare sub impact în straturile poroase foarte compresibile îmbibate cu lichide, în cazul suprafețelor aliniate de contur dreptunghiular

Schița modelului cu plăci paralele de configurație rectangulară este prezentată în Figura 1. Problema este tratată în coordonate carteziene 2D, cu simetrie după două axe, cazul restrâns.

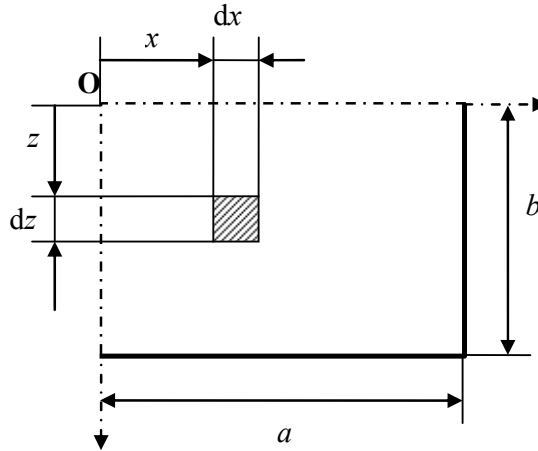


Figura 1 Suprafețe plane paralele, configurație rectangulară

Ecuția de conservare a debitului pentru acest caz este:

$$-\frac{\phi h}{\eta} \left(\frac{\partial p}{\partial x} dz + \frac{\partial p}{\partial z} dx \right) = (1 - \sigma) V dx dz \tag{1}$$

După rearanjarea termenilor și introducerea variației permeabilității și compactității se obține ecuația Reynolds:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = -\frac{\eta V}{D h_0} \frac{\sigma_0^2}{H(H - \sigma_0^2)^2} \tag{2}$$

În forma adimensională, ecuația (2) devine:

$$\bar{b} \frac{\partial^2 \bar{p}}{\partial \bar{x}^2} + \frac{1}{\bar{b}} \frac{\partial^2 \bar{p}}{\partial \bar{z}^2} = -1 \tag{3}$$

unde $\bar{p} = p \frac{4 h_0 D}{\eta V (4 a b)} \frac{H(H - \sigma_0^2)^2}{\sigma_0^2}$ și $\bar{b} = \frac{b}{a}$.

După separarea variabilelor, soluția ecuației este scrisă ca o serie infinită:

$$\bar{p} = \frac{1 - \bar{x}^2}{2 \bar{b}} - \frac{16}{\pi^3 \bar{b}} \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{\sin \left[\frac{2k-1}{2} (\bar{x} + 1) \pi \right]}{(2k-1)^3} \frac{\cosh \left[\frac{2k-1}{2} \bar{b} \bar{z} \pi \right]}{\cosh \left[\frac{2k-1}{2} \bar{b} \pi \right]} \right] \tag{4}$$

Din expresia forței obținută din integrarea distribuției de presiuni, se rețin doar termenii semnificativi:

$$\bar{F}_r \approx \frac{4}{3 \bar{b}} - \frac{256}{\pi^5 \bar{b}^2} \tanh \left(\frac{\pi \bar{b}}{2} \right) \tag{5}$$

Variația forței adimensionale \bar{F}_r în funcție de raportul laturilor \bar{b} este prezentată în Figura 2. Se poate observa că maximum forței este obținut pentru o configurație pătrat $a = b$. De

asemenea, merită menționată valoarea forței și în cazul limită utilizat, $\bar{b} = 4$, care este redusă la jumătate față de valoarea maximă înregistrată.

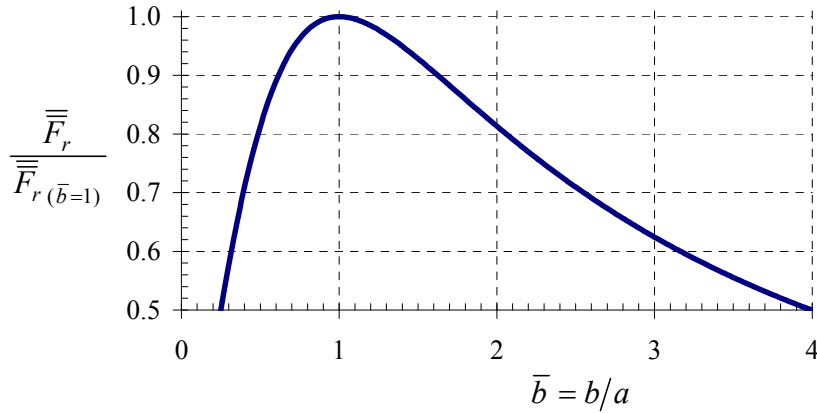


Figura 2 Variația forței în funcție de raportul laturilor pentru plăci rectangulare

Pentru determinarea forței pe durata impactului, s-a apelat la conservarea momentului, metoda propusă de Bowden și Tabor [5]:

$$M dV = - F dt \tag{6}$$

Viteza normală de impact este:

$$V = V_0 - \frac{f_r \eta S_r^2}{M D} \left[\ln \left(\frac{H - \sigma_0}{H(1 - \sigma_0)} \right) + \frac{\sigma_0(1 - H)}{(1 - \sigma_0)(H - \sigma_0)} \right] \tag{7}$$

Forma generală a forței de impact pentru configurația rectangulară:

$$\bar{F}_{sr} = \frac{f_r \sigma_0^2}{H(H - \sigma_0)^2} \left[1 - \frac{f_r}{M} \left(\ln \frac{H - \sigma_0}{H(1 - \sigma_0)} + \frac{\sigma_0(1 - H)}{(1 - \sigma_0)(H - \sigma_0)} \right) \right] \tag{8}$$

Cei doi parametri prezenți în relația forței de impact: masa adimensională \bar{M} și factorul de forță f sunt prezentați în Tabelul 1:

Tabelul 1 Parametrii forței de impact

Parametru	Placă circulară Soluție analitică exactă	Placă rectangulară Soluție analitică aproximativă
S	$S_c = \pi R^2$	$S_r = 4ab$
\bar{F}_s	$\frac{D h_0}{\eta V_0 S_c^2} F_{sc}$	$\frac{D h_0}{\eta V_0 S_r^2} F_{sr}$
f	$\frac{1}{8 \pi}$	$\frac{1}{12 \bar{b}} - \frac{16}{\pi^5 \bar{b}^2} \tanh \left(\frac{\pi \bar{b}}{2} \right)$
\bar{M}	$\frac{M D V_0}{\eta S_c^2}$	$\frac{M D V_0}{\eta S_r^2}$

Este important de menționat că pentru o placă rectangulară îngustă, $\bar{b} > 10$, factorul de forță are valoarea aproximativă:

$$f_r = \frac{1}{12\bar{b}} \tag{9}$$

În modelul analitic, s-a luat în considerare și condiția pentru grosimea minimă, care e limitată de compactitate $\sigma_0 \leq \sigma \leq 1$, respectiv: $h \geq h_0\sigma_0$.

În Figura 3, pentru trei configurații, au fost analizate două cazuri de compactități inițiale, păstrând masa adimensională constantă. Remarcăm că pentru $\bar{b} = 1$ configurația este redusă la o placă pătrată, aceasta prezentând cel mai mic dintre cele trei maxime ale forței de șoc. Este interesant totuși de observat că până la o anumită valoare a grosimii adimensionalizate H amortizarea este mult mai eficient realizată cu cât plăcile sunt mai înguste.

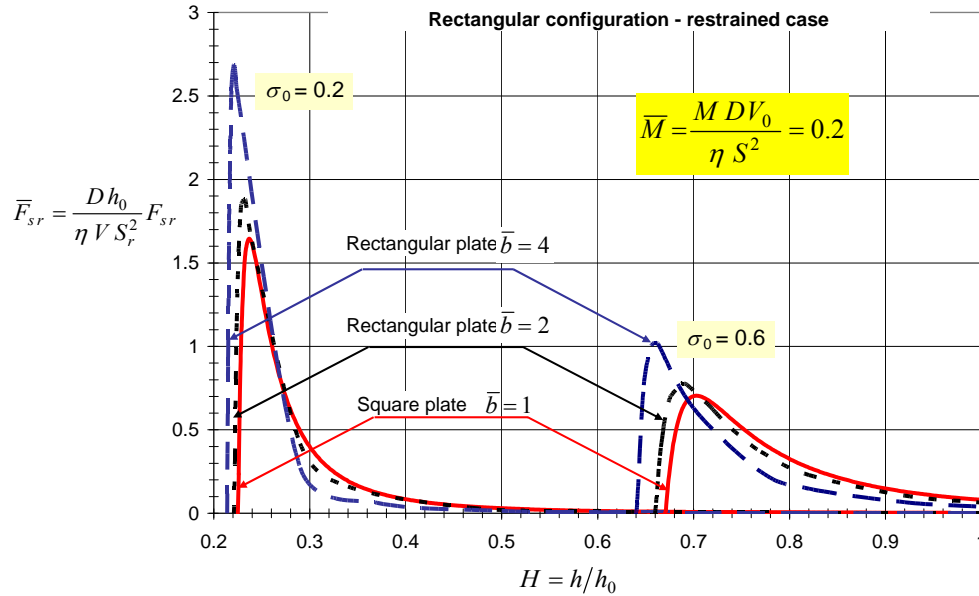


Figura 3 Forța de impact vs grosimea stratului poros, pentru placa rectangulară, cazul restrâns

Acest studiu, în extenso, a fost prezentat în lucrarea *Squeeze process under impact, in highly compressible porous layers, imbided with liquids*, anexată la prezentul raport.

1.b. Impactul unei sfere rigide asupra unui strat poros, puternic compresibil, îmbibat cu un fluid Newtonian (Obiectivul 1)

Configurația ex-poro-hidrodynamică (XPHD) analizată este prezentată în Figura 4. Pentru o geometrie similară, a fost studiat anterior de catre membrii colectivului procesul de expulzare produs de o forță constantă pe toată durata procesului [4].

Pentru modelarea procesului de impact au fost folosite următoarele ipoteze:

- Forțele elastice generate în stratul poros sunt mult mai mici decât forțele de presiune hidrodinamice, de aceea sunt neglijate [2];
- Permeabilitatea este corelată cu porozitatea, respectiv cu compactitatea stratului, după legea Kozeny-Carman:

$$\phi = \frac{D(1-\sigma)^3}{\sigma^2} \tag{10}$$

- Presiunea pe grosimea stratului este considerată constantă și respectă legea lui Darcy;

- Masa solidă este constantă pentru orice grosime a stratului: $\sigma h = \sigma_0 h_0$;

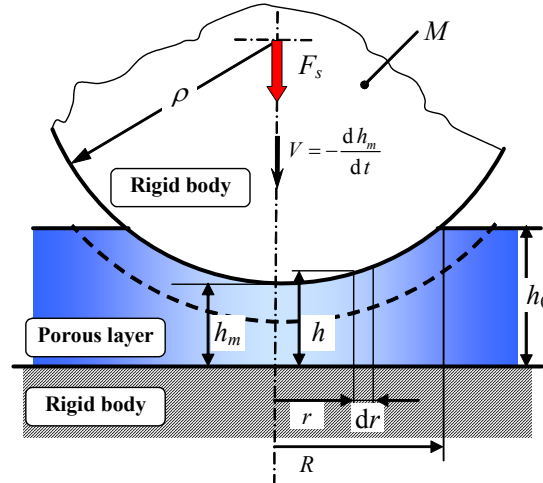


Figura 4 Impactul unei sfere rigide asupra unui strat poros, puternic compresibil

Suprafața de contact între sferă și stratul poros este modelată folosind o aproximare parabolică:

$$h = h_m + \frac{r^2}{2\rho} \text{ respectiv } h_0 = h_m + \frac{R^2}{2\rho}.$$

Aplicând aceste ipoteze, folosind principiul conservării curgerii fluidului, obținem o soluție analitică între viteza sferei și forța impusă:

$$F = -\frac{\pi\eta\rho^2 h_0^2 \sigma_0^2 (1 - H_m)^2}{2D(1 - \sigma_0)^2 H_m} \frac{dH_m}{dt} \quad (11)$$

Folosind teorema conservării variației impulsului, propusă de Bowden și Tabor [5], pentru expulzare prin impact, obținem următoarea ecuație diferențială:

$$MdV = -Fdt \quad (12)$$

Dacă forța de contact, în condiții dinamice, este egală cu forța din ecuația (11), atunci din ecuațiile (11) și (12) rezultă:

$$V = V_0 + \frac{\pi\eta\rho^2 h_0^2 \sigma_0^2}{2MD(1 - \sigma_0)^2} \int_1^{H_m} \frac{(1 - H_m)^2}{H_m} dH_m \quad (13)$$

Prin integrare obținem:

$$V = V_0 + C(\ln H_m + 0.5H_m^2 - 2H_m + 1.5) \quad (14)$$

unde:

$$C = \frac{\pi\eta\rho^2 h_0^2 \sigma_0^2}{2MD(1 - \sigma_0)^2} \quad (15)$$

Introducând ecuația (14), $V = -\frac{dh_m}{dt} = -h_0 \frac{dH_m}{dt}$ în ecuația (11), rezultă expresia forței de impact:

$$\bar{F}_s = \frac{0.5\sigma_0^2 (1 - H_m)^2}{(1 - \sigma_0)^2 H_m} \left[1 + \frac{\sigma_0^2}{2\bar{M}(1 - \sigma_0)^2} (\ln H_m + 0.5H_m^2 - 2H_m + 1.5) \right] \quad (16)$$

unde: $\bar{F}_s = \frac{DF_s}{\pi\eta V_0 \rho^2 h_0}$ și $\bar{M} = \frac{MDV_0}{\pi\eta\rho^2 h_0^2}$.

Pentru a menține un proces XPHD pe toată durata procesului, compactitatea inițială este necesar să fie mai mare decât grosimea adimensională minimă $H_m > \sigma_0$. Pentru a îndeplini

această condiție masa adimensională trebuie să fie determinată ($V = 0$ la $H_m = \sigma_0$). Utilizând aceeași condiție, se poate afla expresia masei critice:

$$\bar{M}_{cr} = \frac{\sigma_0^2 (2\sigma_0 - \ln \sigma_0 - 0.5\sigma_0^2 - 1.5)}{2(1 - \sigma_0)^2} \quad (17)$$

Din această analiză rezultă că masa adimensională \bar{M} , care asigură un proces XPHD pe toată durata impactului, trebuie să satisfacă inegalitatea $\bar{M} < \bar{M}_{cr}$. Variația funcției masei critice, în funcție de compactitate, este prezentată în Figura 5.

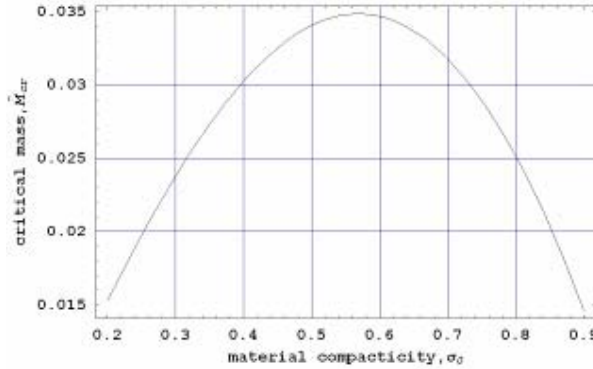


Figura 5 Variația funcției masei critice în funcție de compactitate

În comparația între datele experimentale și modelul teoretic, ar trebui luată în considerare variația distribuției de presiuni, pe durata impactului. Pornind de la forma dată a presiunii [4]:

$$p = \frac{\eta \rho V}{4D} \frac{\sigma_0^2}{(1 - \sigma_0)^2} \left(1 - \frac{\sigma_0}{1 - X^2}\right) \frac{(X^2 - x^2) [2(1 - \sigma_0) - (X^2 - x^2)]}{[(1 - \sigma_0) - (X^2 - x^2)]^2} \quad (18)$$

Introducând variația vitezei de impact din ecuația (14), utilizând succesiv relațiile:

$$X^2 = 1 - H_m, H_m = \sigma_0 + \delta, x = \frac{r}{\sqrt{2\rho h_0}} \text{ cu } \delta \in (0, 1 - \sigma_0) \text{ și } x \in (0, \sqrt{1 - \sigma_0 - \delta})$$

obținem în final expresia variației presiunii adimensionale, în funcție de parametrul adimensional δ , asociat cu penetrarea:

$$\bar{p} = \frac{1}{4} \frac{\sigma_0^2}{(1 - \sigma_0)^2} \frac{\delta}{(\sigma_0 + \delta)} \left[\left(\frac{1 - \sigma_0}{\delta + x^2} \right)^2 - 1 \right] \left[1 - k \frac{\ln(\sigma_0 + \delta) + 0.5(\sigma_0 + \delta)^2 - 2(\sigma_0 + \delta) + 1.5}{\ln \sigma_0 + 0.5\sigma_0^2 - 2\sigma_0 + 1.5} \right] \quad (19)$$

Pentru a evita discontinuitatea în punctul central pentru $\delta = 0$, a fost introdus coeficientul masei de impact $k > 1$ în ecuația (19). De aceea, la $x = 0$, obținem următoarea expresie pentru maximul presiunii adimensionale:

$$\bar{p}_{max} = \frac{\sigma_0^2}{4} \frac{[(1 - \sigma_0)^2 - \delta^2]}{\delta(1 - \sigma_0)^2(\sigma_0 + \delta)} \left[1 - k \frac{\ln(\sigma_0 + \delta) + 0.5(\sigma_0 + \delta)^2 - 2(\sigma_0 + \delta) + 1.5}{\ln \sigma_0 + 0.5\sigma_0^2 - 2\sigma_0 + 1.5} \right] \quad (20)$$

Valoarea maximă a masei critice a fost determinată rezolvând ecuația $\frac{\partial \bar{M}_{cr}}{\partial \sigma_0} = 0$, folosind metode numerice, $\bar{M}_{cr_{max}} = 0.0349$ pentru $\sigma_0 = 0.568$. această valoare fiind aproape de cea a cartilagiului uman [6].

Prin înlocuirea masei critice în ecuația (17) se obține expresia forței de impact:

$$\bar{F}_s = \frac{0.5\sigma_0^2(1-H_m)^2}{(1-\sigma_0)^2 H_m} \left[1 - \frac{(\ln H_m + 0.5H_m^2 - 2H_m + 1.5)}{\ln \sigma_0 + 0.5\sigma_0^2 - 2\sigma_0 + 1.5} \right] \quad (21)$$

Variația forței de impact, în funcție de H_m este prezentată în figura următoare:

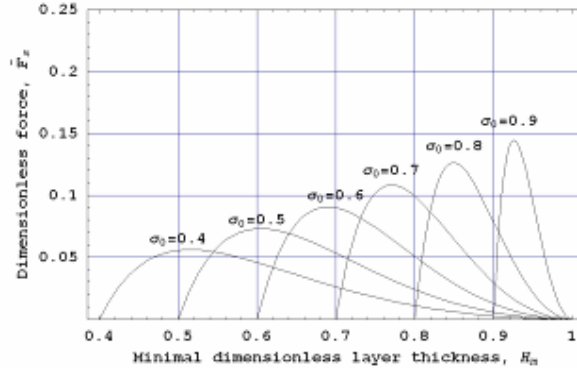


Figura 6 Variația forței adimensionale de impact, în funcție de grosimea adimensională minimă a stratului

Energia absorbită este definită astfel:

$$\bar{E} = \int_1^{\sigma_0} \bar{F}_s dH_m = -\frac{\sigma_0^2(3-4\sigma_0+\sigma_0^2+2\ln\sigma_0)}{8(\sigma_0-1)^2} = \frac{\bar{M}_{cr}}{2} \quad (22)$$

Rezultatul oarecum paradoxal al ecuației (22) se explică prin asemănarea masei adimensionale, ca structură, cu energia adimensională absorbită, și pentru că în condiții critice, având un regim XPHD asigurat pe toată durata impactului, atunci:

$$E = \frac{M_{cr}V_0^2}{2} \quad (23)$$

Valoarea maximă a energiei absorbite se va produce evident la aceeași compactitate $\sigma_0=0.568$. Trebuie menționat că această valoare este aceeași cu care conduce la masa critica adimensională maxima.

Distribuția presiunii este prezentată în Figura 7, unde apare variația presiunii ariei aparente a contactului, pe durata procesului de impact, descrisă pentru diferite valori ale lui δ .

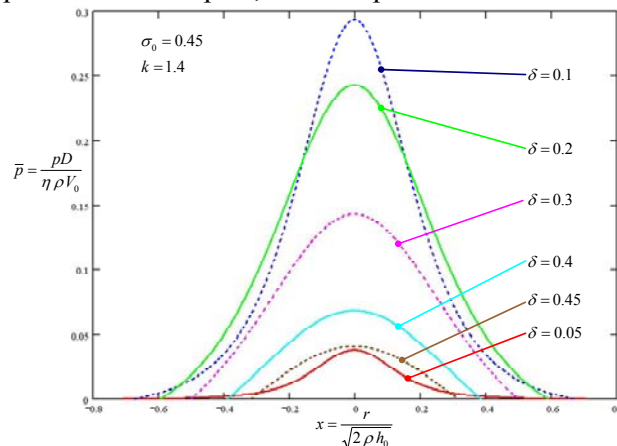


Figura 7 Distribuția presiunii pe durata procesului de impact, pentru diferite valori ale lui δ

În Figura 8 este prezentată variația presiunii maxime funcție de parametrul δ , la diferite valori ale compactității.

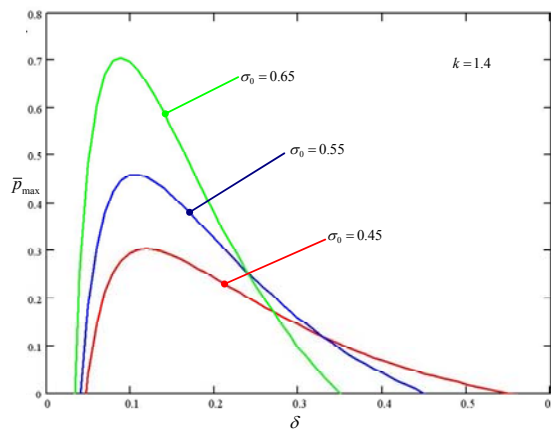


Figura 8 Variația presiunii maxime cu δ , pentru diferite valori ale lui σ_0

Acest studiu, în extenso, a fost prezentat în lucrarea *Impact of a rigid sphere on a highly compressible porous layer imbibed with a Newtonian liquid*, anexată la prezentul raport.

1. Măsurarea permeabilității materialelor poroase și compresibile, posibil a fi utilizate în condiții XPHD de expulzare sub impact/șoc (Obiectivul 2)

Materialele poroase pot fi clasificate în funcție de modul de aranjare a fibrelor în două categorii: țesute și nețesute. Studiul de față este concentrat în exclusivitate asupra straturilor poroase nețesute, cu fibre distribuite aleator.

Standul experimental pentru determinarea permeabilității este prezentat în Figura 9. Din considerente evidente, lichidul folosit în experiment este apa. Presiunea este generată datorită diferenței de nivel între rezervorul de apă și suportul metalic. Materialul poros este așezat între cele două plăci, compactitatea fiind asigurată cu distanțiere de diferite mărimi. Grosimea stratului poros rămâne constantă pe durata experimentului. Permeabilitatea este calculată volumetric cu ajutorul debitului, apa fiind colectată într-un cilindru gradat.

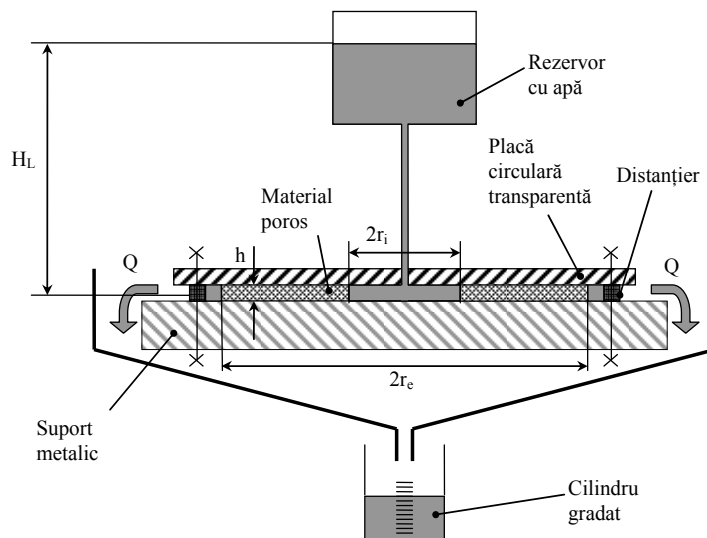


Figura 9 Stand pentru măsurarea debitului curgerii printr-un strat poros foarte compresibil [Error! Reference source not found.]

În Figura 10 sunt prezentate componentele de bază ale standului: materialul poros, placa circulară și suportul metalic.

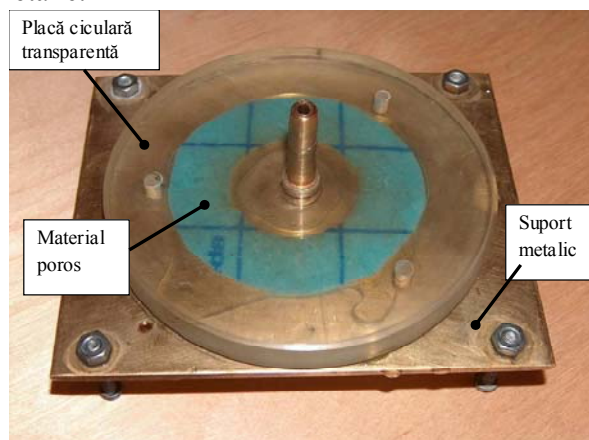


Figura 10 Componentele principale ale standului

În experiment au fost folosite două tipuri de straturi poroase nețesute, denumite în continuare M1 și M2. Structurile acestor materiale sunt prezentate în Figura 11.

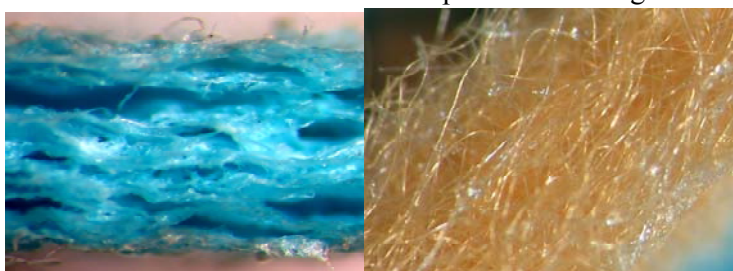


Figura 11 Structura poroasă a materialelor M1 (stânga) și M2(dreapta)

Diametrul mediu al fibrelor a fost măsurat folosind un microscop Nikon, cu o scară gradată, pentru M1 fiind aproximat la 18 μm , iar pentru M2 la 12 μm .

Materialul M1 are în compoziție celuloză și bumbac, iar M2 este compus din fibre sintetice. Diferența majoră dintre cele două materiale este sesizabilă la saturarea acestora cu apă, grosimea lui M1 mărindu-se de circa 4 ori, față de M2, la care nu intervine o modificare majoră a dimensiunilor. Cu toate acestea, este important de menționat că grosimea lui M1 este mult mai mică decât a lui M2, în stare uscată. Aceste caracteristici sunt prezentate în Figura 12. Pentru a asigura o saturare completă, straturile poroase au fost imersate în apă cu 24 de ore înainte de experiment.

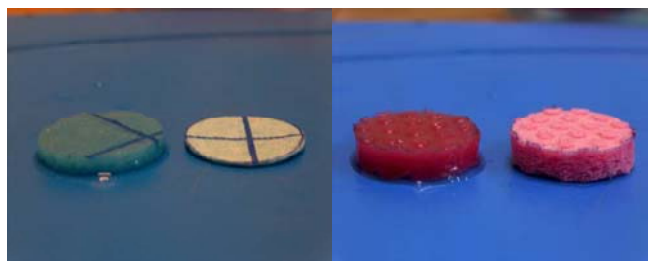


Figura 12 Modificarea grosimii la saturare cu apă a materialelor M1 (stânga) și M2 (dreapta)

Compactitatea materialului poros este definită ca raportul dintre volumul părții solide și volumul total:

$$\sigma = \frac{vol_s}{vol_{tot}} \quad (24)$$

unde $vol_{tot} = h S_{imbibat}$.

Exemplu pentru determinarea compacității inițiale pentru materialul M1, de o formă rectangulară cu dimensiunile următoare:

- Mediu poros uscat: $S_{uscat} = 122\text{ mm} \times 134\text{ mm}$
- Mediu poros îmbibat cu apă: $S_{imbibat} = 151\text{ mm} \times 136\text{ mm}$

Având o eprubetă gradată, umplută cu apă la un volum prestabilit vol_i , introducem mostra uscată de material poros. Vom observa o creștere a nivelului, evidențiată pentru una din măsurători în Figura 13, putând astfel măsura volumul total vol_{tot} . Efectuând diferența între cele două volume vom obține vol_s , volumul solid al materialului poros.



Figura 13 Determinarea volumului solid al stratului poros

Pentru materialul poros M1, cu dimensiunile menționate mai sus, $vol_s = 3.25\text{ mL}$.

Pentru calculul permeabilității se pornește de la formula debitului, exprimată în coordonate polare, pentru o curgere Poiseuille:

$$Q = -2\pi r \frac{\phi h}{\eta} \frac{dp}{dr} \tag{25}$$

Presiunea este calculată în funcție de diferența de nivel:

$$p_H = \rho g H_L \tag{26}$$

După integrare și aplicarea condițiilor la limită, obținem permeabilitatea, în funcție de debit, viscozitate, diferența de presiune și dimensiunile geometrice:

$$\phi = \frac{Q}{p_H} \frac{\eta}{2\pi h} \ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right) \tag{27}$$

Pentru cele două materiale folosite, la presiunile generate, funcția de variație a permeabilității statice, raportată la diametrul mediu al fibrelor, este aproximată cu relația Kozeny-Carman și cu o variație de grad mai mic, care, în cazul de față se dovedește mult mai aproape de valorile experimentale obținute, Figura 14. Grosimea stratului poros a fost în cele trei cazuri: $h_1 = 1,2\text{ mm}$, $h_2 = 0,6\text{ mm}$ și $h_3 = 0,4\text{ mm}$.

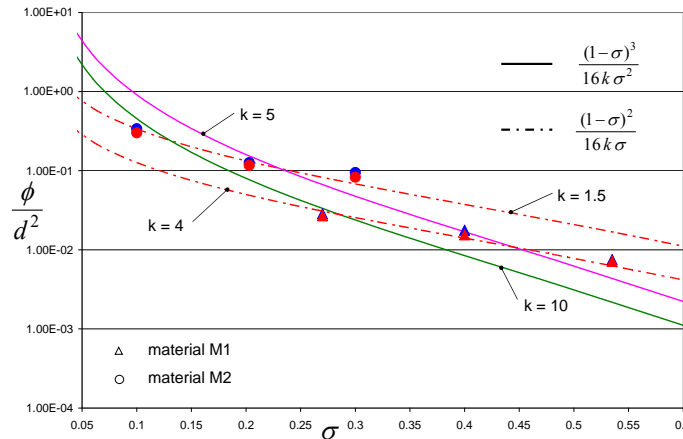


Figura 14 Permeabilitatea, raportată la diametrul mediu al fibrelor, funcție de compacitate

Acest studiu, în extenso, a fost prezentat în lucrarea *Experimental and theoretical analysis of the permeability for highly compressible porous layers*, anexată la prezentul raport.

2. Investigarea capacității de amortizare a șocurilor prin amprentare în condițiile folosirii unor corpuri sferice / bile lansate gravitațional (Obiectivul 3)

Standul folosit pentru evaluarea amortizării straturilor poroase foarte compresibile este prezentat în Figura 15. Identorul folosit pentru ambele teste a fost o bilă. Colierul, prin strângerea capătului cilindrului, permite susținerea și centrarea bilei, în scopul lansării libere a acesteia. Bila cade de la o înălțime de 1 m și nu lovește pereții cilindrului, așa că nu putem vorbi de o cădere ghidată. Cilindrul este susținut de un suport metalic, în interiorul căruia se situează ansamblul ce preia șocul.

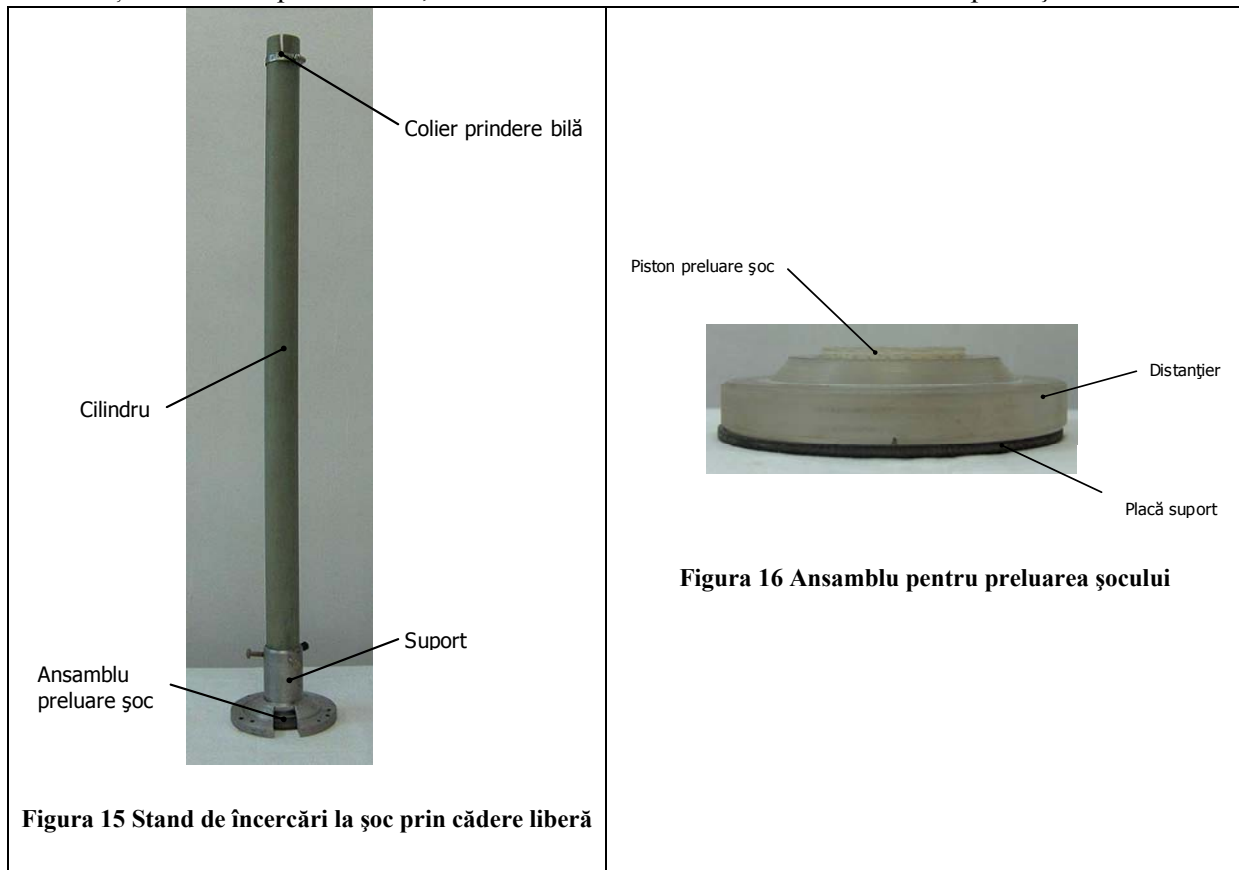


Figura 15 Stand de încercări la șoc prin cădere liberă

Figura 16 Ansamblu pentru preluarea șocului

Ansamblul pentru preluarea șocului, Figura 16, este alcătuit dintr-o placă suport, un distanțier și un piston. Forma distanțierului, diametrul acestuia și al plăcii au fost alese astfel încât să nu permită sistemului mișcări nedorite în urma șocului. Distanțierul a fost prevăzut pe partea inferioară cu patru canale, pentru a permite eliberarea aerului comprimat în timpul procesului.

Desenul de ansamblu este prezentat în Figura 17.

Pentru a centra bila și pentru a distribui greutatea acesteia, contactul între bilă și piston a fost realizat printr-o suprafață conică, vizibilă în Figura 18. Contactul dintre piston și materialul poros este realizat, prin două suprafețe paralele sau înclinate.

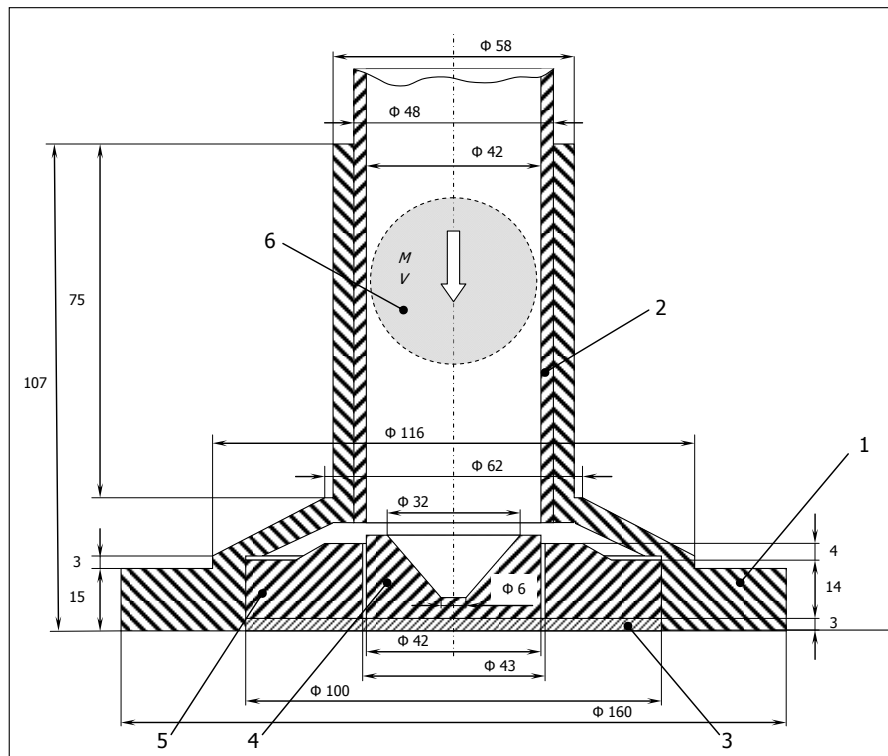


Figura 17 Desenul de ansamblu al standului de încercări la șoc prin cădere liberă: 1. suport, 2. cilindru, 3. placă suport, 4. piston preluare șoc, 5. distanțier, 6. bilă



Figura 18 Piston pentru preluarea șocului

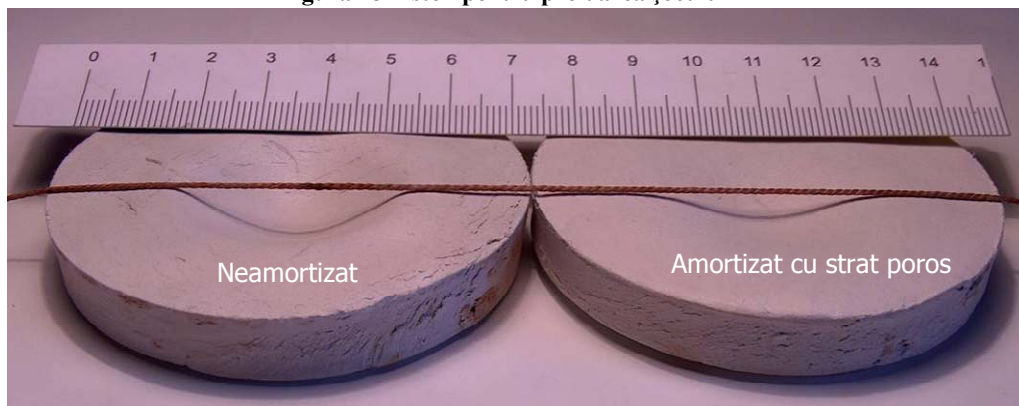


Figura 19 Evaluarea amortizării prin procesul de amprentare

Pentru procesul de amprentare, a fost utilizată pastă de modelare. Stratul omogen a fost divizat în mai multe recipiente, după care s-a efectuat testul de șoc. Proba a fost extrasă din suport după uscare. În mod evident, acest experiment nu a fost efectuat cu ajutorul subansamblului (reperele 4 și 5 din Figura 17) pentru preluarea șocului.

Comparația a fost efectuată cu ajutorul unui fir, poziționat pe diametrele amprentelor, Figura 19. Proba din partea stângă poartă amprenta contactului direct între bilă și pasta de modelare, iar în partea dreaptă se află proba la care șocul a fost preluat în primul rând de stratul poros, îmbibat cu apă. Diferența dintre cele două amortizări poate fi observată cu ajutorul umbrei firului. Acest experiment a fost efectuat doar cu materialul M1.

Măsurarea a fost efectuată prin prelucrarea fotografiilor. După cum se observă în Figura 20, adâncimea de amprentare pentru proba neamortizată este de 5 mm, în vreme ce la proba amortizată cu stratul poros, adâncimea este de 3 mm. În această figură, bila a fost aleasă ca referință.

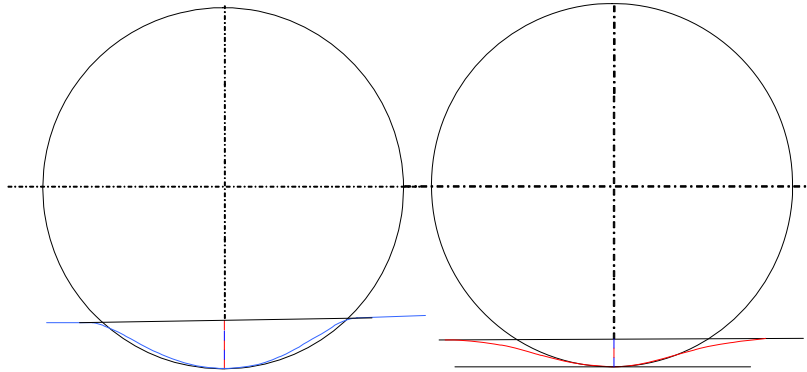


Figura 20 Determinarea adâncimii de amprentare

Pentru o mai buna vizualizare, s-a ales ca referință suprafața superioară a probelor din pastă de modelare, Figura 21.

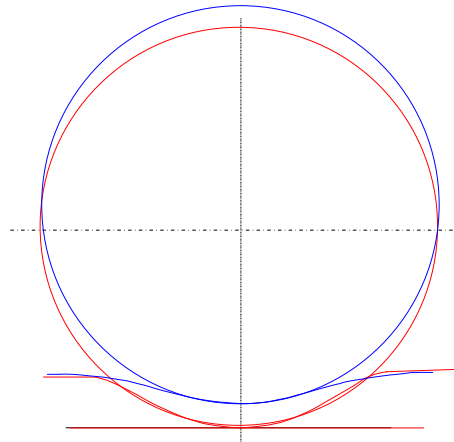


Figura 21 Vizualizare comparativă a testului de amprentare

Volumul dislocuit s-a considerat direct proporțional cu energia preluată prin șoc de pasta de modelare. Energia generată de impact a fost preluată diferit în cele două situații. Putem sesiza cu ușurință că la șocul direct între bilă și pasta de modelare, marginile amprentei permit aproximarea volumului dislocuit cu calotă sferică și reprezintă volumul Vol_0 . În schimb, la proba amortizată cu stratul poros îmbibat cu apă, energia a fost distribuită pe zonă mult mai largă, cu volumul Vol_+ , îngreunând aproximarea volumului dislocuit cu o calotă sferică. Totuși, printr-un calcul estimativ, putem evalua amortizarea cu ajutorul volumelor calculate aproximativ:

$$Amortizare \approx 1 - \frac{Vol_+}{Vol_0} \cong 50\% \quad (28)$$

Determinarea distribuției de presiuni la încercările prin șoc este dificil de realizat. În funcție de forma suprafețelor care intră în contact, energia impactului este transmisă corpului de probă și suportului, pe care acesta e așezat. O metodă clasică, pentru determinarea presiunilor, ar presupune

plasarea diversilor captori de forță, de presiune, pe una dintre aceste suprafețe. Acest lucru este dificil pentru anumite materiale și dimensiuni, sau dacă condițiile testelor nu ne permit.

Metoda aleasă folosește tehnologia *Prescale Measurement Pressure Film* de la *FujiFilm* cu care se poate măsoară presiunea local, putând astfel să fie creată o distribuție globală a presiunii. Acest film piezo-sensibil, prezentat în Figura 22, este compus din două straturi: un strat este format din celule încapsulate cu o anumită culoare, roșu de regulă, și un alt doilea strat, care reține culoarea. Aceste celule sunt strivite în concordanță cu presiunea aplicată, iar agentul colorant, eliberat din celule, reacționează chimic cu stratul care reține culoarea. Pentru că micro-capsulele sunt strivite la anumită forță, astfel încât nuanțele de roșu generate depind de presiunea aplicată. În funcție de modelul folosit, filmul poate avea unul sau două straturi de protecție, din poliester.

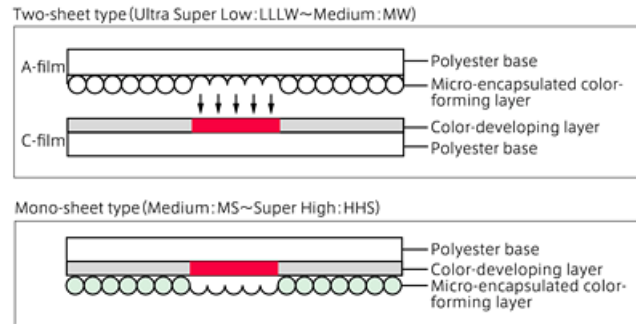


Figura 22 Principiul de funcționare al *Prescale Measurement Pressure Film* [8]

Cu acest procedeu, se pot măsura presiuni în intervalul 0,2-300 MPa, utilizând tipul de film indicat în Figura 23. Acest sistem impune ca distribuția de presiune măsurată să se încadreze cât mai exact între presiunea maximă admisibilă și cea minimă posibilă, pentru tipul de film utilizat. În caz contrar testul trebuie refăcut, utilizând tipul de film adecvat, combinând rezultatele obținute.

Product (Code)	Pressure range [MPa] 1 MPa ≈ 10.2 kgf/cm ²								Product size W (mm) x L (m)	Type	
	0.2	0.5	0.6	2.5	10	50	130	300			
	29	73	87	363	1,450	7,250	18,850	43,500			
Pressure range [psi] 1 psi ≈ 6895 Pa											
Ultra Super Low Pressure (LLLW)	■								270 X 5	Two-sheet	
Super Low Pressure (LLW)	■		■						270 X 6	Two-sheet	
Low Pressure (LW)		■		■					270 X 12	Two-sheet	
Medium Pressure (MW)			■		■				270 X 12	Two-sheet	
Medium Pressure (MS)				■		■			270 X 12	Mono-sheet	
High Pressure (HS)					■		■		270 X 12	Mono-sheet	
Super High Pressure (HHS)						■		■		270 X 12	Mono-sheet

Notes: W in the product codes indicates two-sheet type, S indicates mono-sheet type

Figura 23 Tipuri de film posibile, pe intervale de presiuni pentru filmul *Prescale - FujiFilm* [8]

Cu toate că încercarea la șoc este un proces dinamic, trebuie precizat că experimentele efectuate au fost cu un șoc unic, deoarece măsurarea presiunilor cu acest film exclude încercarea la șocuri multiple. De aceea, putem considera că măsurătoarea obținută nu are relevanță pentru procesul dinamic, în schimb ne oferă informații foarte importante despre șoc din punct de vedere static: presiune și forță maximă.

În primul rând s-a avut în vedere contactul direct, al unei bile ce cade liber de la înălțimea de 1 m, Figura 24. Aici, a fost surprins contactul multiplu în urma șocului.



Figura 24 Distribuția presiunii în urma contactului între bilă și un suport rigid

În experiment, au fost folosite două materiale poroase: materialul M1, și materialul M2. Scalarea măsurătorii a fost efectuată cu programul *Pressure Distribution Mapping System* furnizat de *FujiFilm*. Rezultatele sunt prezentate în: Figura 25 pentru materialul M1 și Figura 26 pentru materialul M2, semnificația datelor prezente pe imaginile scalate fiind următoarea:

1. ponderea suprafeței analizate [%];
2. aria presată [mm²];
3. presiunea medie [MPa];
4. presiunea maximă [MPa];
5. forța [N];
6. aria măsurată [mm²].

Imaginea cuprinde în partea stângă rezultatele încercării la șoc fără material poros și respectiv în partea dreaptă, rezultatele amortizării cu un singur strat poros. Pentru M1 a fost folosit filmul *LLLW*, care ne oferă câmpul de presiuni de la 0,2 MPa la 0,6 MPa, iar pentru M2 filmul *LLW*, care se încadrează între 0,5 MPa și 2,5 MPa.

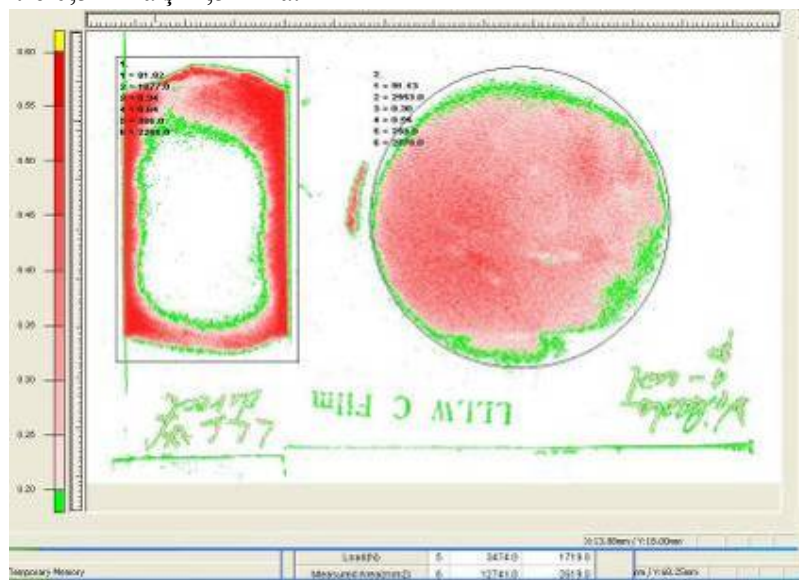


Figura 25 Scalare film pentru materialul M1

Din Figura 25, se observă că la șocul direct (partea stângă) a fost depășită cu mult valoarea maximă, pe când la cel amortizat (partea dreaptă) avem o distribuție de presiuni ce se încadrează în intervalul filmului folosit. În schimb, în cazul materialului M2, Figura 26, observăm că ambele încercări la șoc, direct și amortizat, se păstrează în limitele de presiune ale filmului utilizat.

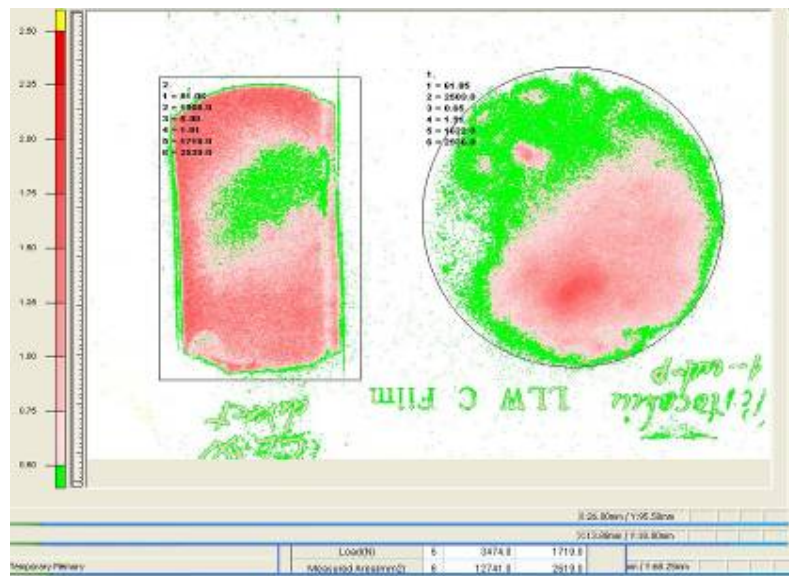


Figura 26 Scalare film pentru materialul M2

Pentru studiul la impact asupra materialelor poroase, după o investigație minuțioasă a standurilor de impact existente, s-a decis achiziționarea standului Dynatup MiniTower Instrumented Impact Testing System (Figura 27), ce asigură o cădere liberă prin ghidare cu ajutorul coloanelor. Cu ajutorul acestui aparat, care beneficiază și de un sistem de achiziție furnizat de același producător, se pot obține funcții de variație a accelerației, vitezei de impact, grosimii stratului poros, forței și energiei de impact.



Figura 27 Dynatup MiniTower Instrumented Impact Testing System [9]

De asemenea, s-a achiziționat aparatul de filmare foto Casio Exilim Pro EX-F1 [7]. Acest aparat permite filmarea cu viteză rapidă, (1200 cadre pe secundă), precum și fotografiere cu viteză ultra-rapidă, 60 fotografii pe secundă. După filmarea impactului, filmul sau pozele pot fi procesate pentru determinarea variației grosimii stratului poros și vizualizarea curgerii pe perioada contactului.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Pascovici, M.D., 2007, Lubrication processes in highly compressible porous layers, JFT, Poitiers University.
- [2] Pascovici, M.D., 2001, Lubrication by Dislocation: A New Mechanism for Load Carrying Capacity, Proceedings of 2nd World Tribology Congress, Vienna, p.41.
- [3] 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.
- [4] Pascovici, M.D. and Cicone, T., 2003, Squeeze-film of unconformal compliant and layered contacts, Tribology International 36, pp. 791-799.
- [5] Bowden, F.P. and Tabor, D., 1950, The Friction and Lubrication of Solids, Oxford, Clarendon Press, pp. 259-284.
- [6] McCutchen, C.W., 1962, The frictional properties of animal joints, Wear, Vol. 5, pp. 1-17.
- [7] http://exilim.casio.com/browse_cameras/exilim_pro/EX-F1/
- [8] <http://www.fujifilm.com/products/prescale/index.html>
- [9] http://www.instron.us/wa/products/impact/series_min타워.aspx