

RAPORT ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC**Contract 44PTE/2020****Etapă nr. I/2020****Cod proiect: PN-III-P2-2.1-PTE-2019-0432****CASTI DE PROTECTIE ECHIPATE CU COMPONENTE DE
AMORTIZARE DIN MATERIALE POROASE IMBIBATE CU
NANOFLUIDE****1. REZUMATUL ETAPEI**

Activitățile efectuate în cadrul etapei I a proiectului au urmărit proiectarea și execuția unui sector de cască și adaptarea unei capsule flexibile în vederea montării. Pentru realizarea capsulelor flexibile au fost selectate o serie de fluide și materiale poroase compatibile. Pentru montarea pe o structură solidă au fost proiectate trei soluții de celule de amortizare împreună cu un o placă plană și un sector de cască cu suprafață de contact curbă. Un nou sistem de lansare cu aer comprimat a fost proiectat în vederea testării în regim dinamic a sectoarelor de cască echipate cu celule de amortizare. Pentru proiectul care realizează impactul a fost găsită o soluție de realizare modulară care permite montarea unui accelerometru și modificarea masei funcție de condițiile de testare.

2. INTRODUCERE

Proiectul are ca obiectiv derularea activităților de cercetare-dezvoltare necesare implementării unor componente cu caracter inovativ în cadrul structurii căștilor de protecție, utilizate cu scopul de a amortiza și disipa șocurile. Dezvoltarea la nivel de model experimental s-a desfășurat anterior în cadrul unui proiect (PN-II-PT-PCCA - PROTHEIS) la care au colaborat doi dintre partenerii actuali ai propunerii (UPB și STIMPEX S.A.).

În vederea îndeplinirii scopului propus în cadrul proiectului, s-au stabilit următoarele obiective:

- Fabricarea produsului – cască de protecție echipată cu componente de amortizare din materiale poroase îmbibate cu nanofluid – de către SC STIMPEX SA, ca prototip industrial de serie mică, pe baza tehnologiei dezvoltată de UPB;
- Transferul de tehnologie și de „know-how” cu privire la componentele de amortizare și disipare a șocurilor către SC STIMPEX SA, care devine astfel primul agent economic din România care poate oferi acest tip de căști de protecție, devenind competitiv și pe plan mondial;
- Dezvoltarea și menținerea unui parteneriat durabil între SC STIMPEX SA, UPB și ATM, având la bază preocupările complementare ale celor trei instituții în domeniul protecției balistice, oferind ulterior posibilitatea valorificării și a altor rezultate CDI ale UPB și ATM prin transferul tehnologic și introducerea în fabricație;
- Orientarea unei părți din veniturile agentului economic SC STIMPEX SA către cercetare, prin finanțarea și asimilarea unor produse CDI ale UPB și ATM, în scopul valorificării comerciale a acestora pe piața internă și internațională.

Obiectivul pentru Etapa I presupune proiectarea și execuția unui sector de casca cu adaptarea unei capsule flexibile pentru montare pe suprafața interioară a acesteia și pregătirea unei instalații cu propulsie pneumatică în vederea testării în condiții de impact a modelului experimental.

ETAPA I

Soluția inovativă propusă pentru proiectarea unei căști de protecție se bazează pe straturi relativ subțiri de material poros îmbibat cu lichid. Materialul poros îmbibat este încapsulat într-o membrană de protecție, formând astfel elementul constituent al sistemului suplimentar de amortizare, și anume celula de amortizare (SAC). Mai multe celule de amortizare sunt conectate pentru a forma o matrice care poate acoperi diferite suprafețe. Cu acestea se intenționează asigurarea îndeplinirii obiectivului primordial al căștilor de protecție, cel de protejare a capului utilizatorului, prin reducerea semnificativă a suprapresiunilor și a accelerațiilor produse în situația impactului balistic sau a expunerii la unde de șoc.

3. SELECTAREA MATERIALULUI POROS ȘI A FLUIDULUI

Materiale poroase compatibile cu aplicațiile XPHD trebuie să îndeplinească o serie de cerințe specifice: porozitate ridicată ($\varepsilon > 0.9$), structura poroasă cu pori interconectați, deformabilitate ridicată. În acest scop au fost identificate o serie de materiale cu structură omogenă sau sandwich, prezentate în tabelul de mai jos.

Tabel 1. Proprietățile materialelor selectate

Denumire comercială (Symbol)	Pore size* [mm]	Material initial density [kg/m ³]	Initial porosity, (ε_0)	Porozitate [pori/inch]	Tip
FILTREN® TM45-25133 (F133)	1.06-1.66	19-22	0.9854	7-15	spuma
FILTREN® TM30-25190 (F190)	1.6-22	19-22	-	15-25	spuma
FILTREN® TM20-25280 (F280)	2.2-3.4	22-34	-	25-35	spuma
FILTREN® TM10-25450 (F450)	3.40-5.60	19-22	0.9870	35-50	spuma
BULPREN	2.3-3.3	23-27	-	-	spuma
Impregnated BULPREN	2.3-3.3	23-27			spuma
Spacer 3D	-	~7[kg/m ²]	0.97	-	sandwich

Din punctul de vedere al fluidelor candidate, au fost studiate doar fluide biocompatibile cu corpul uman:

1. Soluții lichide pe bază de glicerină. Glicerina este un lichid cu un comportament Newtonian și care se poate folosi ca bază pentru soluții.
2. Pasta pe bază de apă și suspensie de nano-particule solide.
3. Creme pe baza de apă și glicerina. Acestea sunt caracterizate de un proces de fabricare facil și accesibilitate din punct de vedere al prețului. Pentru pastele și cremele selectate au fost identificate caracteristicile reologice.

Realizarea celulei de amortizare constă în îmbibarea în diverse lichide a unor elemente de dimensiuni mici din material poros prin metode specifice, funcție de porozitatea materialului și vâscozitatea lichidului. Nivelul de îmbibare poate varia între 50% și 80%.

Pentru aceasta, au fost studiate diferite soluții de îmbibare:

a. **Pre-îmbibarea materialului poros prin comprimare** este un proces simplu și economic, dar care nu asigură o precizie ridicată și poate fi utilizat doar pentru porozități relative mari. Pentru a obține nivelul dorit de comprimare trebuie adăugată o cantitate suplimentară de lichid în interiorul membranei de capsulare.

b. **Impregnarea prin injectare** este un procedeu mai eficient care necesită un sistem de dozare și este foarte practic pentru spume. În cazul materialelor tip sandwich (ex: SPACER 3D), poate fi utilizat doar pentru dimensiuni mici.

Dacă vâscozitatea fluidului de îmbibat este ridicată și îmbibarea sau impregnarea nu reprezintă o soluție viabilă, se poate utiliza o configurație bazată pe rezervoare de fluid și inele din material poros uscat (fig.1). La impact, datorită comprimării, fluidul curge din rezervor prin inelul de material înconjurător.

ETAPA I

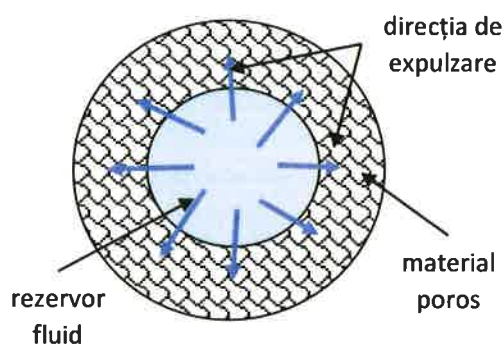


Fig.1 Celulă cu rezervor de fluid cu reprezentarea direcției de expulzare radială a lichidului

Elementul constituant al sistemului de amortizare este celula de amortizare (SAC), care este o structură flexibilă, compusă din materialul poros îmbibat cu un fluid, încapsulat într-o membrană ușor deformabilă, și care funcționează autonom atunci când este supusă unei sarcini prin impact. Este important de menționat ca materialele care intră în componenta SAC nu trebuie să fie nocive pentru corpul uman sau mediu, chiar dacă sunt încălzite sau iau foc.

Pentru a putea fi integrată în cadrul unei căști de protecție, forma fundamentală a celulei SAC a fost adaptată pentru a asigura creșterea capacității de amortizare. Două soluții constructive au fost identificate:

a. **Matrice de celule individuale (fig.2).** Această soluție constructivă prezintă avantajul unei bune funcționări în cazul loviturilor multiple, fiecare celulă funcționând individual, performanțele unei singure celule nefiind condiționate de funcționarea celulelor vecine. Exista totuși dificultăți tehnologice în construcția și realizarea unui aranjament echidistant, astfel încât zona vulnerabilă dintre celule să fie redusă la minimum. Din punct de vedere al dimensiunilor, celulele trebuie să fie de dimensiuni reduse pentru ca volumul fluidului expulzat să fie diminuat, iar membrana trebuie să poată permite expulzarea. Gradul de îmbibare va fi cuprins între 50-80%.

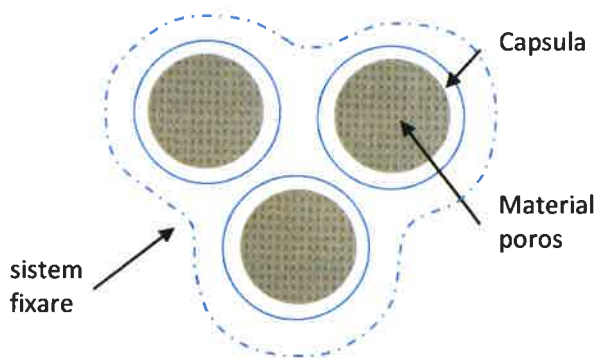


Fig.2 Configurație matrice de celule autonome

b. **Matrice de celule interconectate (fig.3 și fig.4).** Celulele sunt interconectate prin canale de evacuare a fluidului expulzat la comprimare. Nivelul de îmbibare va fi cuprins între 50-80%. În această configurație, celulele pot avea dimensiuni mai mari, și prin urmare, zona vulnerabilă va fi redusă. Pentru capsulare se poate utiliza o membrană impermeabilă lipită pe contur. Formarea canalelor necesită o atenție ridicată la realizarea lipiturilor. Pentru a asigura un debit controlat de lichid canalele pot fi realizate și cu ajutorul unor tuburi subțiri.

ETAPA I

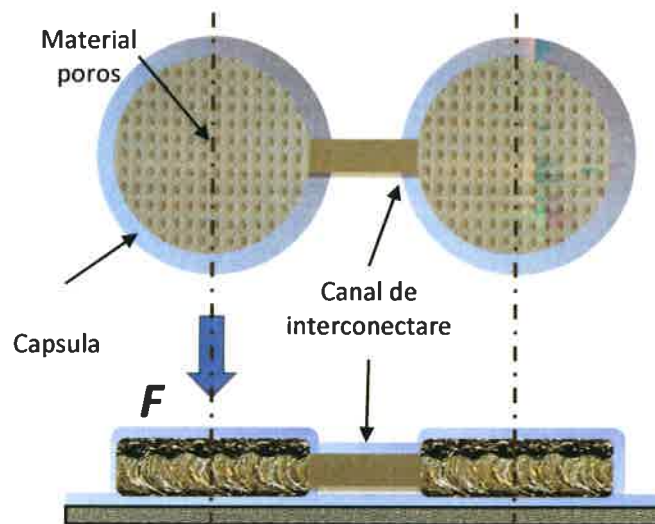


Fig. 3 Celule de amortizare interconectate

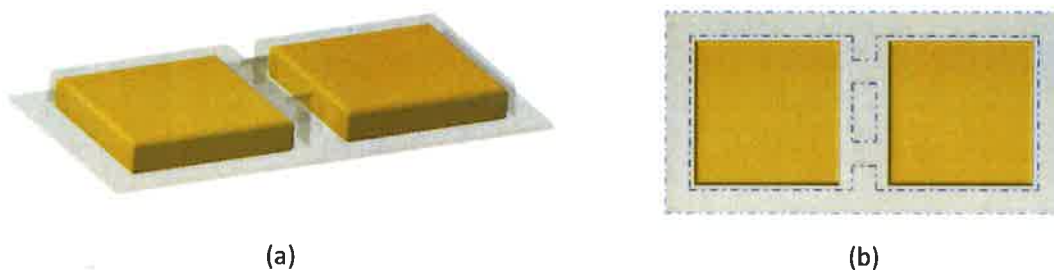


Fig.4 Celule de amortizare interconectate – vedere axonometrica (a) si vedere 2D (b)

4. CONCEPȚIA CĂȘTII DE PROTECȚIE

Soluția propusă de cască de protecție are potențialul de a oferi o capacitate de amortizare mai mare comparativ cu produsele similare actuale. Mai multe elemente de amortizare sunt conectate pentru a forma o matrice care poate acoperi într-o proporție de minimum 70% suprafața interioară a căștii, aflate în contact cu capul.

Integrarea celulelor de amortizare în căști de protecție prezintă dificultăți specifice (acoperirea întregii suprafețe interioare, fixarea fermă, funcționare multiplă), dar există o paletă largă de soluții care au fost dezvoltate pentru amortizoare cu spume uscate sau materiale textile. În literatură, sunt disponibile brevete care prezintă configurații de așezare a elementelor de protecție și soluții de montare a acestora pe suprafața interioară a căștii de protecție. În acest context, au fost proiectate trei configurații, de celule de amortizare care pot fi montate pe căști de protecție:

(a) **Sistem cu celule interconectate:** Construcția modulară bazată pe celule de dimensiuni mici oferă avantajul unui grad ridicat de acoperire. Celulele pătrate (fig.5.b) prezintă un avantaj pentru fabricație, dar din punct de vedere al raportului greutate/performanță, sunt mai dezavantajoase decât celulele disc (fig.5.a). Expulzarea la impact are loc radial și prin urmare celulele disc oferă o mai justă utilizare a materialului. O altă provocare în realizarea acestei soluții o reprezintă canalele de legătură, care formează o structură relativ complexă.

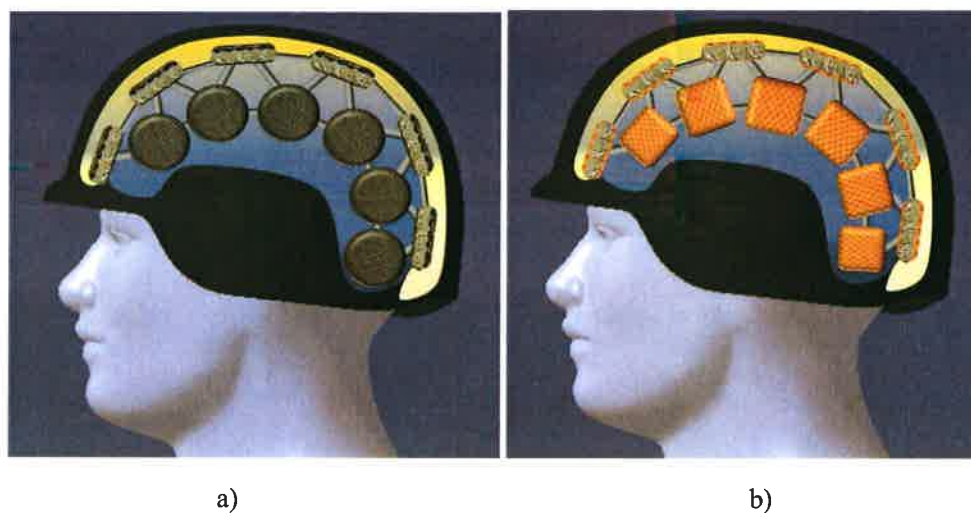


Fig.5 Cască cu celule interconectate: a) disc și b) pătrat

O altă soluție inovativă pentru realizarea unui sistem de celule interconectate presupune realizarea unei matrice de celule pe baza unui suport din cauciuc siliconic profilat cu alveole (fig.5) în care vor fi atașate bucăți de material poros îmbibat.

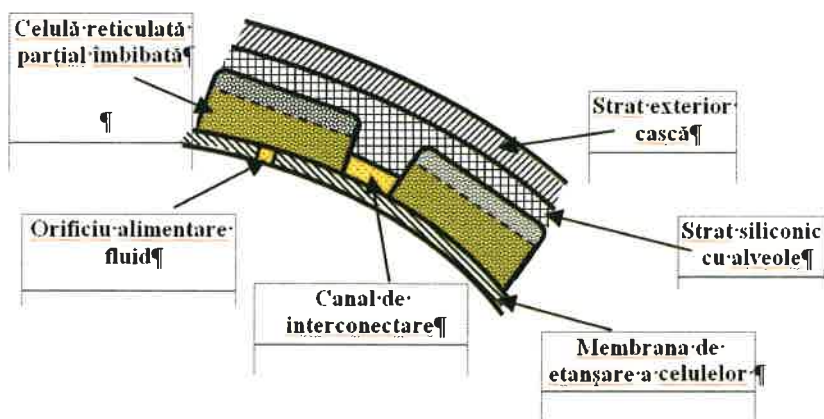
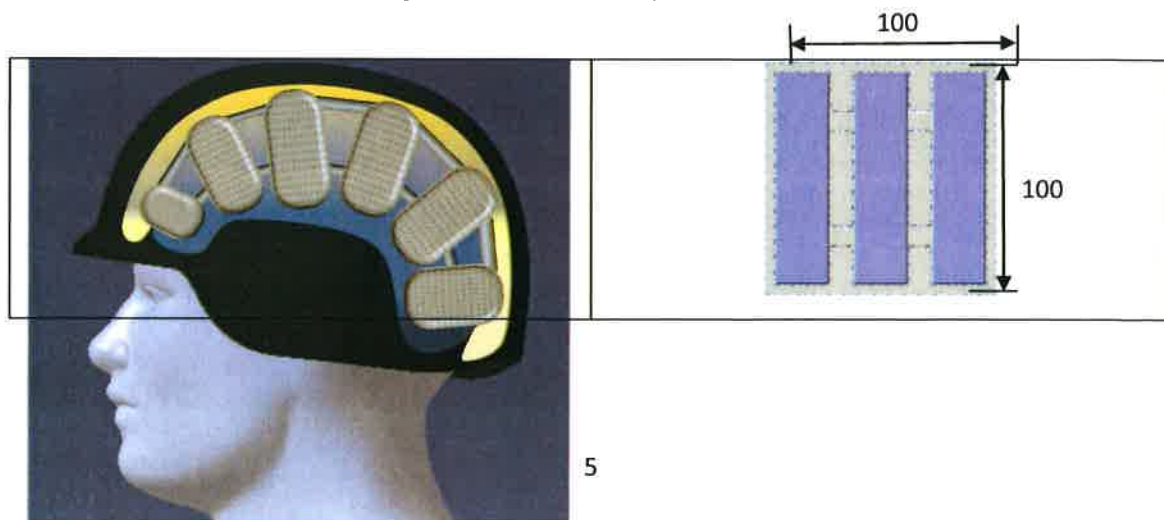


Fig.6 Matrice de celule construite pe o baza de silicon

(b) **Sistem cu benzi interconectate (fig.6):** Sistemul cu benzi interconectate prezintă avantaje vizibile din punctul de vedere al fabricației și al gradului de acoperire al suprafeței interioare a căștii. Dezavantajul îl constituie faptul că, în cadrul unei benzi, lichidul de îmbibare se poate acumula gravitațional, provocând scăderea performanțelor la funcționare.



ETAPA I

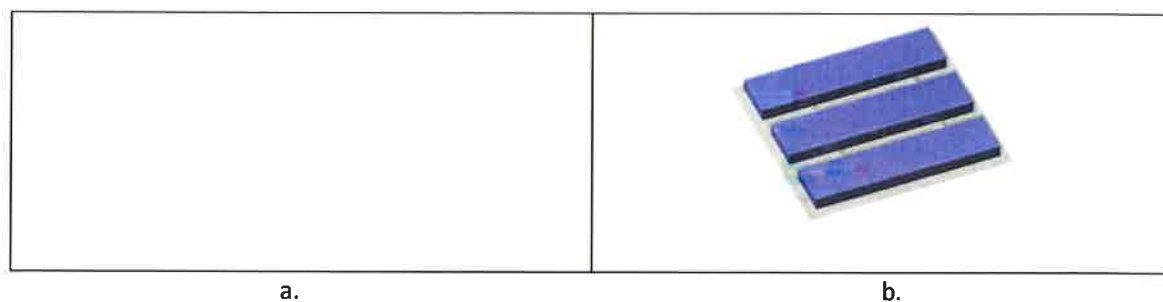


Fig.6 Cască cu benzi interconectate: a) montate pe cască, b) vedere 3D

(c) **Sistem cu grup de celule (fig.7):** Pentru a asigura o geometrie relativ simplă și ușor de realizat, trei celulele de amortizare au fost grupate și interconectate pentru a obține un grup autonom. Mai multe grupuri de celule asamblate asigură o acoperire a suprafeței interioare a căștii de peste 70%.

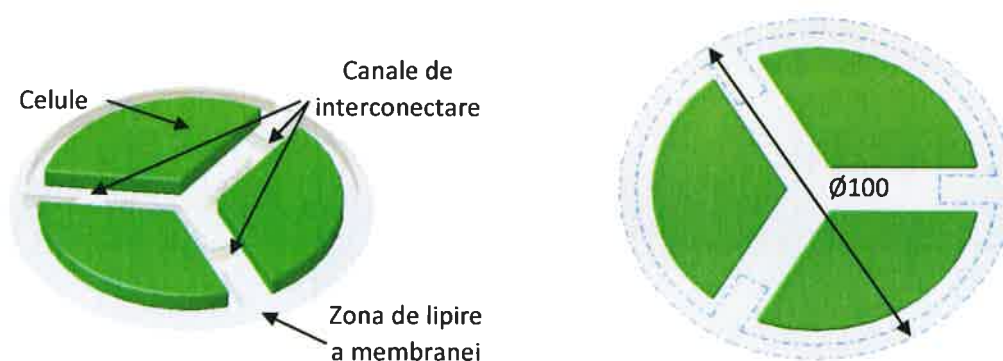


Fig.7. Grup de celule de amortizare

5. MODELUL EXPERIMENTAL

În vederea evaluării inițiale a capacității de amortizare a matricelor de celule au fost proiectate două modele experimentale:

- Placă plană
- Sector de cască

Modelul experimental placa plană va fi folosit pentru evaluarea comparativă a configurațiilor alese (cu celule interconectate sau independente) și identificarea celei mai bune soluții (fig.8). Acest model experimental este foarte ușor de utilizat pe o instalație cu propulsie pneumatică pentru ca poate fi sprijinită prin intermediul unui suport direct pe un senzor de forță.

ETAPA I

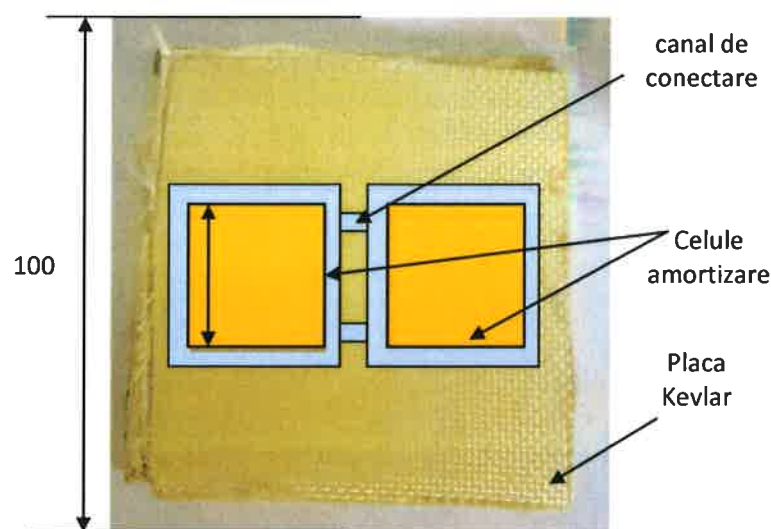


Fig.8 Modelul placa plană cu matrice de celule

Modelul experimental sector de cască are o configurație similară cu cea a unei căști de protecție și poate evidenția mai bine capacitatea de amortizare a soluțiilor propuse, însă este foarte dificil de utilizat într-un studiu experimental. Acest model (fig.9) necesită un suport cu o geometrie asemănătoare cu cea a capului uman și este complicat de integrat cu un senzor de forță. Direcția forței de impact nu se poate controla și un astfel de model se poate utiliza într-un mod mai eficient împreună cu un suport de plastilină pe care se evaluează efectul impactului.

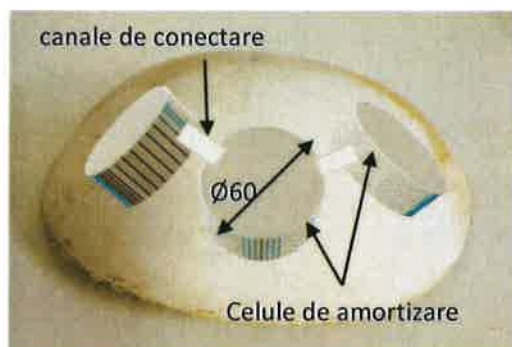


Fig.9 Modelul sector cască cu matrice de celule (cu celule interconectate sau independente)

6. INSTRUMENTAREA INSTALAȚIEI DE TESTARE

În vederea testării în regim dinamic a sectoarelor de cască cu componente de amortizare din materiale poroase îmbibate cu fluide, s-a analizat dotarea materială existentă în prezent în ATM. În urma analizei, s-a decis confecționarea unui nou sistem de lansare cu aer comprimat, fig. 10, care să înlocuiască sistemului de propulsie pneumatică a sistemului bare Hopkinson, prevăzut inițial a fi folosit în cadrul proiectului. În acest sens, s-a întocmit o documentație tehnică pentru producerea principalelor repere ale sistemului ce urmează a fi realizat, și s-a demarat un proces de achiziție a componentelor specializate ce urmează a fi integrate în sistem (rezervor, electrovalvă, accelerometre și traductoare de forță). Dimensiunile sistemului și parametrii de lucru au fost aleși astfel încât energiile de impact estimat să atingă pragul de 3000J, nivel ce depășește valorile energiilor la gura țevii pentru majoritatea munițiilor de infanterie.

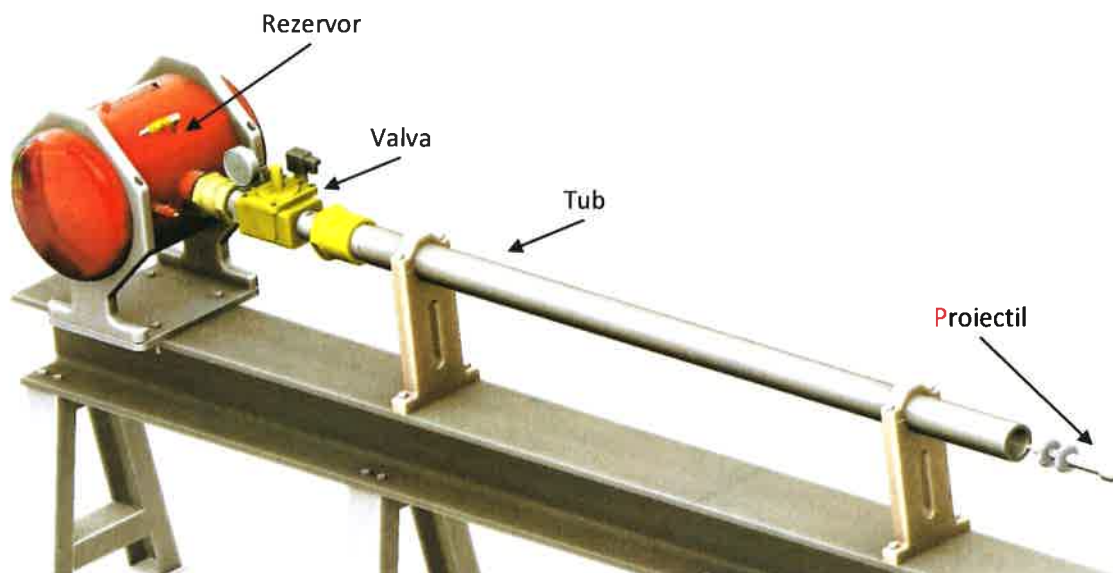


Fig. 10 Vedere de ansamblu cu sistemul balistic cu aer comprimat

Caracteristicile tehnice ale sistemului balistic proiectat sunt: calibru 60mm, lungime țeavă 2m, presiunea maximă de lucru 8bar, energia de impact (valoare obiectiv) 3000J. Proiectilul va fi echipat cu un accelerometru PCB 350B01 cu gama de lucru de ± 100000 g, ce se montează în partea dinapoi a proiectilului. Măsurarea forței se face pe un suport echipat cu senzor de forță (fig.11) care asigură și prinderea modelului experimental.

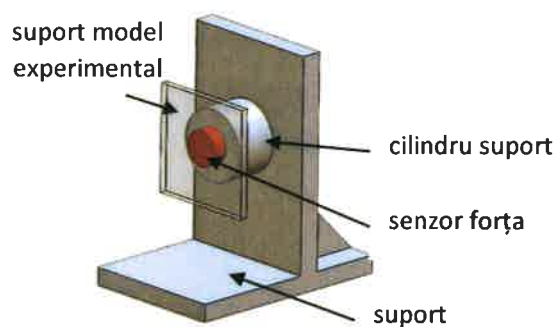


Fig.11 Suport pentru model experimental echipat cu senzor de forță

Concepția proiectilului are la bază principiul modularității, fiind realizat din repere demontabile. În funcție de viteza de impact, accelerometrul poate fi înlocuit cu un alt model cu gama de lucru ± 10000 g, PCB 350C03. De asemenea, masa proiectilului poate fi modificată prin înlocuirea cilindrului intermediar (fig. 12-13) ce leagă capul de impact cu ansamblul sabotului.

În ceea ce privește capul de impact, acesta este interschimbabil, pentru această fază fiind concepute trei geometrii:

- cap de impact plat pentru studiul comportamentului structurilor de amortizare cu geometrie plană;
- cap de impact semisferic pentru încărcări localizate;
- cap de impact cu montură pentru gloanțe.

ETAPA I

Dacă primele două versiuni de cap de impact au o geometrie simplă, care este mai ușor de modelat matematic, a treia geometrie (fig.14) a fost aleasă pentru a reproduce cât mai fidel condițiile de impact dintre proiectilul real și căștile de protecție.

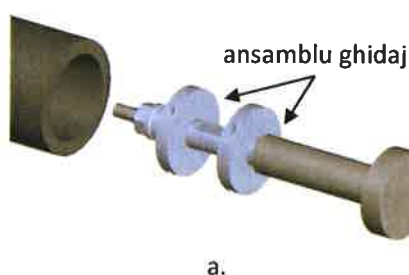


Fig. 12 Proiectil cu cap de impact plat

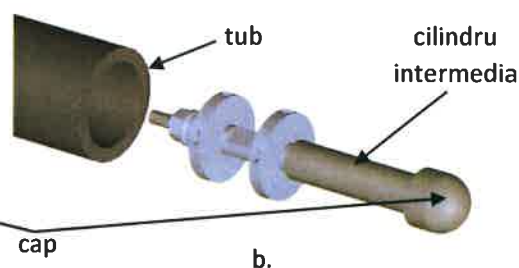


Fig. 13 Proiectil cu cap de impact sferic

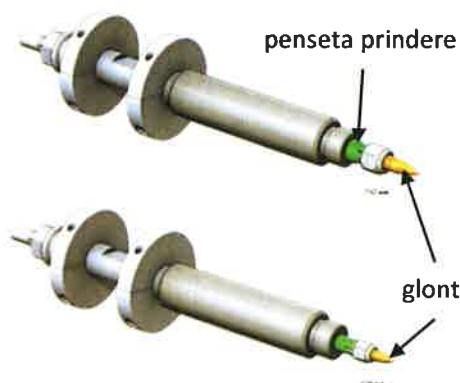


Fig. 14 Proiectil cu montură pentru gloanțe

7. CONCLUZII GENERALE

În cadrul Etapei I au fost definite și achiziționate materialele poroase ce sunt compatibile cu aplicațiile XPHD ce îndeplinesc condițiile impuse.

Au fost realizate mai multe modele 3D experimentale pentru cască de protecție balistică, cu o configurație similară cu cea a unei căști de protecție obișnuite, pentru a putea vizualiza poziționarea celulelor imbibate în interiorul acesteia precum și pentru a evidenția mai bine capacitatea de amortizare a soluțiilor propuse. Sectorul de cască a fost decupat dintr-o cască de protecție balistică existentă în linia de fabricație curentă.

În vederea testării în regim dinamic a sectoarelor de cască prevăzute cu componente de amortizare din materiale poroase imbibate cu fluide, a fost întocmită o documentație tehnică și a fost definită instalația de testare în vederea realizării fizice a acesteia. Instalația are la bază principiul modularității, fiind realizată din repere demontabile, astfel încât să poată fi organizate variante capabile de a evidenția parametrii și variabilele sistemului de amortizare în cadrul căștilor de protecție balistică.

ETAPA I

8. REZULTATELE ETAPEI

- Documentație tehnică pentru realizarea structurilor plane realizate din compozite pe bază de Kevlar necesare pentru efectuarea testelor
- Documentație tehnică pentru realizarea a 3 variante de celule SAC
- Documentație tehnică pentru realizarea structurilor cu suprafață curbă pentru simularea formeii căștilor în cadrul testelor
- Documentație tehnică pentru reperele necesare confecționării ansamblului sabot/proiectil accesoriizat cu un accelerometru

**Director de proiect,
dr. ing. Achim Veronica**

