

**Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați**  
**Școala doctorală de Inginerie Mecanică și Industrială**



# **TEZĂ DE DOCTORAT**

## **REZUMAT**

**UN STUDIU EXPERIMENTAL ȘI TEORETIC  
PRIVIND REZISTENȚA LA ÎNJUNGHIERE ȘI  
ÎNȚEPARE, A UNOR PANOURI STRATIFICATE**

**Doctorand**  
**ing. Viorel TOTOLICI RUSU**

**Coordonator științific**  
**prof. dr. ing. Lorena DELEANU**

**Seria I6: Inginerie mecanică nr. 73**

**Galați**  
**2023**





**Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați**  
**Școala doctorală de Inginerie Mecanică și Industrială**



# **TEZĂ DE DOCTORAT**

## **REZUMAT**

**UN STUDIU EXPERIMENTAL ȘI TEORETIC  
PRIVIND REZISTENȚA LA ÎNJUNGHIERE ȘI  
ÎNȚEPARE, A UNOR PANOURI STRATIFICATE**

**Doctorand**

**ing. Viorel TOTOLICI RUSU**

<b>Președinte</b>	<b>Prof. univ. dr. ing. Eugen Victor RUSU</b> Președintele Senatului - Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
<b>Conducător științific,</b>	<b>Prof. univ. dr. ing. Lorena DELEANU</b> Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
<b>Referent Oficial</b>	<b>Prof. univ. dr. ing. Adrain ROTARIU</b> Academia Tehnică Militară „Ferdinand I” din București
<b>Referent Oficial</b>	<b>CS II, dr. fiz. Simona Maria SANDU</b> Centrul de Cercetare și Inovare pentru Apărare Chimică, Biologică Radiologică și Nucleară și Ecologie, București
<b>Referent Oficial</b>	<b>Prof. univ. dr. fiz. Gabriel MURARIU</b> Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

**Seria I6: Inginerie mecanică nr. 73**

**Galați**

**2023**



Seriile tezelor de doctorat sustinute public în UDJG începând cu 1 octombrie 2013 sunt:

**Domeniul ȘTIINȚE INGINEREȘTI**

- Seria I 1: **Biotehnologii**
- Seria I 2: **Calculatoare și tehnologia informației**
- Seria I 3: **Inginerie electrică**
- Seria I 4: **Inginerie industrială**
- Seria I 5: **Ingineria materialelor**
- Seria I 6: **Inginerie mecanică**
- Seria I 7: **Ingineria produselor alimentare**
- Seria I 8: **Ingineria sistemelor**
- Seria I 9: **Inginerie și management în agricultură și dezvoltare rurală**

**Domeniul ȘTIINȚE ECONOMICE**

- Seria E 1: **Economie**
- Seria E 2: **Management**

**Domeniul ȘTIINȚE UMANISTE**

- Seria U 1: **Filologie- Engleză**
- Seria U 2: **Filologie- Română**
- Seria U 3: **Istorie**
- Seria U 4: **Filologie - Franceză**

**Domeniul MATEMATICĂ ȘI ȘTIINȚE ALE NATURII**

- Seria C: **Chimie**

## MULȚUMIRI

Doresc să adresez calde mulțumiri tuturor celor care mi-au oferit tot sprijinul și m-au îndrumat pe parcursul acestei teze de doctorat.

Mulțumesc în primul rând, doamnei profesor doctor inginer Lorena Deleanu care, în calitate de conducător științific, cu multă răbdare, dăruire și profesionalism, mi-a oferit îndrumare, m-a încurajat permanent, pe tot parcursul anilor de pregătire și de elaborare a tezei de doctorat.

Adresez de asemenea, mulțumiri întregii comisii de îndrumare a lucrării, formată din domnii profesori: dr. fiz. Gabriel Murariu, dr. ing Boazu Doina și dr. ing. Constantin Georgescu, pentru sprijinul oferit, pentru profesionalismul și obiectivitatea cu care au analizat referatele și teza, pentru toate criticile constructive, pentru recomandările competente care nu au făcut decât să mă ghideze spre rezultatul scontat.

În demersul experimental, am fost sprijinit de către dr. fiz. Simona Sandu, drd. ing. Christian Popescu și a personalului de la CCIACBRNE – Centrul de Cercetare și Inovare pentru Apărare CBRN și Ecologie, București, căruia îi mulțumesc și îl asigur de toată considerația mea.

Doresc să mulțumesc de asemenea domnilor: dr. ing. Mihai Boțan, dr. ing. Cătălin Pîrvu și dr. ing. George Cătălin Cristea, de la Institutul Național de Cercetare Dezvoltare Aerospațială “Elie Carafoli” – INCAS București, pentru tot sprijinul acordat și pentru recomandările pertinente făcute la realizarea experimentelor.

Doresc să mulțumesc tehnicianului sudor Mironov Paul pentru prelucrarea cu măiestrie a armelor albe conform standardului NIJ 0115.00.

Nu în ultimul rând, cu recunoștință, mulțumesc întregii mele familii, care cu multă răbdare și înțelegere, mi-au fost alături, m-au încurajat și m-au sprijinit pe tot parcursul acestei perioade.

Ing. Viorel Totolici-Rusu

Galați, 24.11.2023



# Cuprins

	Teză	Rezumat
<i>Mulțumiri</i> .....	3	3
Cuprins .....	5	5
Summary .....	7	-
Introducere .....	9	
Introduction .....	11	-
Notății și abrevieri .....	13	-
Lista figurilor. Listă tabelor .....	14	-
<b>Capitolul 1.</b> Stadiul actual privind structura, testarea și evaluarea caracteristicilor materialelor la impact cu armă tăioasă .....	21	7
1.1. Introducere.....	21	7
1.2. Scurt istoric despre armuri și arme tăioase și ascuțite .....	21	7
1.3. Materiale pentru protecție la înjunghiere.....	27	8
1.4. Fibre de înaltă performanță folosite în protecție individuală .....	29	8
1.5. Metode de testare pentru evaluarea rezistenței la înjunghiere.....	29	9
1.6. Direcții de cercetare pentru acest studiu.....	51	14
<b>Capitolul 2.</b> Organizarea tezei .....	53	-
2.1. Importanța temei și obiective principale.....	53	-
2.2. Organizarea tezei .....	54	-
<b>Capitolul 3.</b> Aspecte particulare pentru rezolvarea în Explicit Dynamics a modelului panou-cuțit .....	56	15
3.1. Introducere .....	56	15
3.2. Mecanisme de înjunghiere a țesăturii.....	59	16
3.3. Rezistența la înjunghiere a materialelor.....	61	17
3.4. Analiza mecanismului de rezistență dinamică a țesăturii.....	63	17
3.5. Definirea materialelor în Explicit Dynamics .....	65	18
3.6. Definirea conexiunilor .....	66	19
3.7. Modelul geometric .....	67	20
3.8. Analiza rezultatelor simulării.....	71	21
3.9. Concluzii și aspecte de validare a modelului.....	82	29
<b>Capitolul 4.</b> Materiale și metode de testare pentru evaluarea comportării panourilor la înjunghiere și înțepare .....	84	30
4.1. Introducere.....	84	30
4.2. Importanța testării pentru materiale rezistente la arme albe (cuțite, țepușe).....	87	30
4.3. Criterii de clasificare a testelor pentru evaluarea protecției la înjunghiere și înțepare.....	88	31
4.4. Materiale și metode pentru testarea panourilor de protecție la înjunghiere și înțepare .....	90	33
4.4.1. Materiale pentru panourile anti-înjunghiere și anti-înțepare, elaborate de autor .....	90	33
4.4.2. Materiale auxiliare pentru efectuarea probelor de înjunghiere și înțepare.....	95	35
4.5. Amenințări cu arme albe, utilizate la testele de înjunghiere și înțepare .....	97	36
4.6. Tehnologia de obținere a panourilor la nivel de laborator.....	99	37
4.7. Campania de testare pentru evaluarea comportării panourilor elaborate la înțepare și înjunghiere .....	101	38
4.7.1. Procedura de testare de la INCAS .....	103	38
4.7.2 Procedura de realizare a testului pe mașina Instron CEAST 9340 (INCAS).....	105	39



4.7.3. Parametrii măsurați și repetabilitatea testelor de la Instron CEAST 9340.....	111	41
4.7.4. Procedura de testare și instalația de testare de la CCIACBRNE .....	113	42
4.8. Fotografierea probelor în detaliu.....	121	44
4.9. Pregătirea probelor pentru microscopul cu scanare electronică (SEM) .....	124	44
4.10. Concluzii privind testarea la înjunghiere și înțepare .....	126	44
<b>Capitolul 5. Date experimentale privind rezistența la înjunghiere și înțepare pentru panourile testate .....</b>	<b>128</b>	<b>45</b>
5.1. Testarea la înjunghiere și înțepare .....	128	45
5.2. Caracteristicile studiate în procesul de înjunghiere și înțepare .....	130	45
5.3. Rezultate experimentale pe mașina de impact Instron CEAST 9340.....	132	47
5.3.1 Analiza parametrilor curbelor forței, energiei și vitezei, determinate în funcție de timp, pentru teste efectuate cu cuțit S <sub>1</sub> .....	132	47
5.3.1.1. Introducere .....	132	47
5.3.1.2. Influența numărului de straturi asupra curbelor forță, viteză și energie în funcție de timp .....	133	47
5.3.1.3. Influența energiei de lovire asupra curbelor forței, energiei și vitezei în timp ...	142	52
5.3.1.4. Influența numărului de straturi din panou, la lovire cu țepușă, asupra curbelor forței, vitezei și energiei, în funcție de timp .....	145	54
5.3.2. Influența energiei de lovire pentru teste cu țepușă .....	149	56
5.4. Influența armei asupra curbelor forță - timp, energie – timp și viteză – timp .....	152	57
5.5. Evaluarea unor panouri hibride .....	158	59
5.6. Mecanisme de distrugere la înjunghiere și înțepare.....	163	61
5.6.1. Introducere.....	163	61
5.6.2. Analiza proceselor de distrugere la înjunghiere .....	164	62
5.6.3. Analiza mecanismelor de cedare la înjunghiere cu cuțit S <sub>1</sub> , pentru panourile realizate, pe baza imaginilor obținute cu ajutorul microscopului cu scanare electronică .....	165	62
5.6.4. Analiza proceselor de distrugere la înțepare .....	174	66
5.6.5. Analiza proceselor de cedare a firelor și fibrelor la lovire cu țepușă, cu ajutorul imaginilor SEM, pentru panouri din țesătură SRM 509 .....	178	67
5.7. Sinteza rezultatelor experimentale, obținute pe mașina drop-test Instron 9340 .....	184	69
5.7.1. Sinteza rezultatelor obținute în teste cu cuțit S <sub>1</sub> .....	184	69
5.7.2. Concluzii formulate pentru testele efectuate pe mașina drop-test Instron 9340 .....	187	70
5.8. Teste pe instalația de la CCIACBRNE .....	195	75
5.9. Concluzii pentru datele experimentale .....	203	77
<b>Capitolul 6. Concluzii.....</b>	<b>205</b>	<b>78</b>
6.1. Importanța temei .....	205	78
6.2. Concluzii finale asupra rezistenței la înjunghiere a panourilor testate .....	206	79
6.3. Contribuții personale.....	207	80
6.4. Direcții de cercetare inițiate de acest studiu .....	209	82
<i>Lista lucrărilor științifice ale autorului.....</i>	<i>210</i>	<i>83</i>
<i>Bibliografie.....</i>	<i>212</i>	<i>85</i>
<i>Anexe.....</i>	<i>230</i>	<i>-</i>

# Capitolul 1

## Stadiul actual privind structura, testarea și evaluarea caracteristicilor materialelor la impact cu armă tăioasă

### 1.1. Introducere

Amenințarea antipersonal este intenția de a scoate inamicul în afara luptei.

Cuțitul este o unealtă folosită în mod deosebit pentru tăiat. Acesta are ca părți componente un mâner și o lamă. Lama este, de obicei, metalică, poate prezenta, în unele cazuri, zimți și poate varia în ceea ce privește forma tăișului. Cuțitele folosesc ca unelte în bucătărie, ateliere, chirurgie, abatoare sau ca arme încă din cele mai vechi timpuri.

Armura este un echipament pentru protecția individuală a persoanelor care lucrează în domenii de risc. Armura este o armă defensivă, folosită pentru protecția individuală, în situații de risc.. Există mai multe varietăți de armuri, acestea incluzând accesorii pentru cap, corp, brațe, picioare sau chiar pentru vehicule.

Armura a fost folosită de-a lungul întregii istorii, fiind confecționată la începuturi din piei, oase, urmate apoi de cele de bronz și oțel, pentru a se ajunge în vremea noastră până la materialele moderne, de tipul kevlarului sau a materialelor compozite.

### 1.2. Scurt istoric despre armuri și arme tăioase și ascuțite

Cuțitele au fost folosite de-a lungul timpului, ca arme de luptă, instrumente în diverse situații, în construcție, ca ustensile pentru supraviețuire, în prepararea alimentelor din vremuri preistorice, ca un instrument vital în supraviețuire, acesta devenind un instrument de bază ce a permis dezvoltarea tehnologiei, armatei, culturii, științei, ș.a..

Armurile au fost folosite, de-a lungul timpului, atât pentru protecția oamenilor cât și pentru cea a animalelor și chiar pentru protecția vehiculelor, odată apărută această necesitate, în era modernă. Începând cu cel de-al doilea război mondial (1939-1945), folosirea vehiculelor de luptă blindate cu o „armură”, a devenit un standard în domeniu.

Ce este de remarcant, este faptul că armurile au evoluat odată cu armele. De îndată ce au apărut elementele de protecție, au apărut și armele care au încercat să le depășească. Și chiar dacă în această cursă, armele sunt adesea mai avansate, creatorii armurilor nu rămân în urmă și, uneori, ies în față, deși nu pentru mult timp.

Pachetele sau echipamentele de protecție sunt alcătuite din componente, cele mai mari, ca suprafață fiind panourile din fața și spatele purtătorului și pot fi clasificate după criteriul protecției oferite: anti-glonț, rezistente la înjunghiere, sau combinația dintre anti-glonț și rezistentă la înjunghiere. Unele veste pot fi prevăzute cu protecții pentru gât, umăr și abdomenul inferior.

Raportul dintre armele ofensive și cele defensive a fost poate cel mai activ factor în evoluția ambelor categorii, în general fiind sesizabil, cel puțin pentru era modernă, un oarecare avans al elementului ofensiv. Astfel, se poate afirma că: a apărut mai întâi cuțitul și apoi scutul, mai întâi tunul și apoi sistemul de fortificare, mai întâi glonțul și mult mai târziu vesta antiglonț sau mai întâi aviația și doar mai apoi artileria antiaeriană, exemplele putând fi continuate.

### 1.3. Materiale pentru protecție la înjunghiere

În general, îmbrăcămintea balistică și de protecție împotriva armelor ascuțite, numită și armură personală, poate fi purtată de polițiști, militari și alți civili, cum ar fi: jurnaliști, agenți de securitate, pentru a se proteja de amenințări balistice și cuțite etc. [Lewis E., 2021]

Principalele proprietăți mecanice ale fibrelor sunt: sarcina de rupere sau tenacitatea, procentul de alungire la rupere, lucrul de rupere, modulul inițial, modulul de elasticitate, factorul de lucru, recuperarea elastică, limita de oboseală, forța de tăiere, coeficientul de frecare, rezistența de reținere a căldurii, inflamabilitatea, etc. [El Messiry M., 2020].

Exemple de fibre folosite și pentru protecție individuală sunt:

- anorganice: de carbon, ceramice, de sticlă, metalice,
- organice: acrilice, aramidice, elastan, poliamidă, poliester, polietilenă, vinil.

Echipamentul individual de protecție se referă la orice echipament destinat pentru a proteja împotriva unuia ori a mai multor riscuri care ar putea să pună în pericol sănătatea la locul de muncă având anumite performanțe cu ne arată Fig. 1.1.

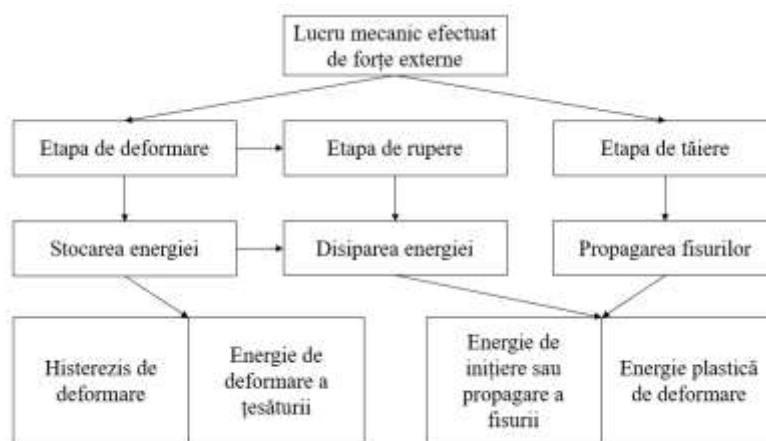


Fig. 1. Selectarea materialului pentru protecție individuală

Pentru realizarea materialelor compozite performante, se folosesc fibre cu rezistențe specifice mari și module specifice înalte, cum sunt fibrele de bor, fibrele de sticlă, în special sticla E, S sau R, fibrele de carbon și fibrele aramidice [Cavallaro, P. V. 2011].

Materialele aramidice au cunoscut o dezvoltare spectaculoasă în fabricarea compozitelor deoarece au proprietăți remarcabile: stabilitate la coroziune, absoarbe vibrațiile, deci amortizează șocurile, rezistență specifică la tracțiune bună, excelentă rezistență la șoc și la oboseală, dilatație termică nulă, bună rezistență chimică față de carburanți, densitate scăzută, rezistență la flacără (nu se topește), degajare redusă de fum [El Messiry M., 2013].

### 1.4. Fibre de înaltă performanță folosite în protecție individuală

Proprietățile mecanice ale fibrelor depind de structura lor moleculară, care poate fi dispusă în formă cristalină sau amorfă.. Moleculele sunt dispuse în principal de-a lungul axei fibrelor și sunt legate cu legături intermoleculare. Fibrele tehnice posedă un nivel ridicat de rezistență și modul cu o densitate scăzută și capabile să reziste la temperaturi ridicate. Au rezistență chimică, rezistență la abraziune, rezistență la oboseală, rezistență termică și rezistență la tăiere.

Fibrele de înaltă performanță se caracterizează prin faptul că au rezistență ridicată (3-7 GPa) și modulul Young (50-400 GPa). Proprietățile lor le fac ideale pentru fabricarea de țesături, pentru aplicații balistice și pentru îmbrăcămintea ce oferă protecție chimică etc. Aceste proprietăți sunt obținute prin intermediul unui izomorfism puternic și continuu și o greutate moleculară ultra-înaltă, cu un șir liniar de fibre covalente de atomi de carbon, legați covalent și legături de hidrogen. Sunt folosite pentru obținerea de țesături avansate, utilizate pentru funcții tehnice speciale, cum ar fi: armuri de rezistență la căldură, țesături de protecție pentru rezistență chimică, mănuși de rezistență la tăiere, plăci dure de absorbție a energiei de impact, plăci electromagnetice, ecranare, veste ignifuge, veste cu scut antiradiații, veste rezistente la înjunghiere, vesta antiglonț etc.

### **1.5. Metode de testare pentru evaluarea rezistenței la înjunghiere**

Având în vedere riscul la care trebuie să facă față o vestă de protecție anti-înjunghiere, metodele de încercare se pot clasifica pe nivele:

- încercări preliminare pe panouri de dimensiuni mici și mașini de testat clasice,
- încercări pe panouri conforme cu standardele,
- încercări pe prototip,
- încercări pe produs.

Pentru a îmbunătăți rezistența la înjunghiere, dar pentru a reduce în același timp greutatea îmbrăcămintei rezistente la înjunghiere, [Xia M., 2019] cercetătorii au pregătit compozitele rezistente la înjunghiere prin acoperirea (căptușirea) țesăturii aramidice cu carbură de bor ( $B_4C$ )/rășină epoxidică. S-a demonstrat că, atunci când diametrul particulei este de 2,5  $\mu m$ , fracția de masă de 49%, iar temperatura de amestecare este de 30 °C, dispersia particulelor este cea mai uniformă. Apoi, dispersia  $B_4C$  a fost amestecată cu rășina epoxidică și cu ea a fost acoperită țesătura de aramidă, după care s-au efectuat teste de rigiditate, smulgere, rupere și perforare cvasistatică pe materialul astfel tratat. Țesătura aramidică a fost tăiată la o dimensiune de 150 mm x 150 mm. Pentru a testa efectele materialelor de umplură  $B_4C$  asupra flexibilității compozitelor acoperite, probele de compozite acoperite au fost evaluate prin metoda grinzilor în consolă, cu partea acoperită și, respectiv, neacoperită ca parte inferioară. Testele au fost în conformitate cu GB/T18318-2001. În procesul de perforare, se generează o zonă de triunghi în jurul muchiei tăiate, care are o influență semnificativă asupra performanței rezistenței la înjunghiere.

Teste de tăiere au fost realizate și de [Wang L., 2021] conform [ISO 13997]. O muchie de tăiere, cu o sarcină specificată și o anumită viteză ( $2,5 \pm 0,5$  mm/s) a fost lăsată să taie probele. În tăiere, au fost implicate sarcina normală și forța tangențială, rezultată din mișcarea de alunecare a lamei. Pentru fiecare sarcină aplicată, se înregistrează distanța de alunecare orizontală a lamei, de la contactul inițial, până la tăiere. Au fost efectuate cinci teste identice și au fost calculate valori medii ale distanței de alunecare.

Curba de sarcină versus distanța rezultată, poate fi utilizată pentru a determina proprietatea de rezistență la tăiere a probei, conform standardului ASTM F1790-04.

Utilizarea tehnologiei, a permis proiectanților [Johnson A., 2015], [Johnson A., 2018] să reducă restricțiile de proiectare convențională pentru fabricarea și asamblarea panourilor de protecție. Acest lucru a oferit designerilor o tehnologie pentru a realiza ansambluri

funcționale de tip textil, inovatoare și complexe din punct de vedere geometric. Armura concepută din material polimeric, fabricat cu aditivi, ca solzi, începe să abordeze unele probleme asociate cu armura corporală, inclusiv:

- utilizarea abordării producției strat cu strat, pentru a încorpora canale de răcire într-un ansamblu complex de blindaj, încercând astfel să sporească confortul termic și performanța operațională;

- încorporarea scanării corporale, pentru a crea o armură personalizată, specifică nevoilor utilizatorului, reducând potențialele răni suferite ca urmare a purtării unei armuri nepotrivite.

Pentru a facilita testarea, a fost necesară o platformă de impact proiectată corespunzător, rezistentă la cuțit și la obiecte tăietoare/înțepătoare, așa cum este definită de [HOSDB, 2007].

Materialul suport, folosit pentru această serie de experimente, a fost un tip de argilă care este de obicei folosit în timpul testelor balistice, pentru a reproduce comportarea corpului uman [HOSDB, 2007], [Johnson A., 2012b], [Croft J., 2007b], [Croft J., 2007c].

Pentru fiecare grosime plană, au existat trei eșantioane, fiecare fabricat cu o dimensiune de 80 mm x 80 mm și prezentând locația de impact în centrul feței sale superioare. Înainte de testare, două zone de impact situate central, au fost identificate pe probele de testare articulate, fiecare locație de impact, fiind testată de două ori. Aceste locații sunt prezentate în Fig. 1.2.

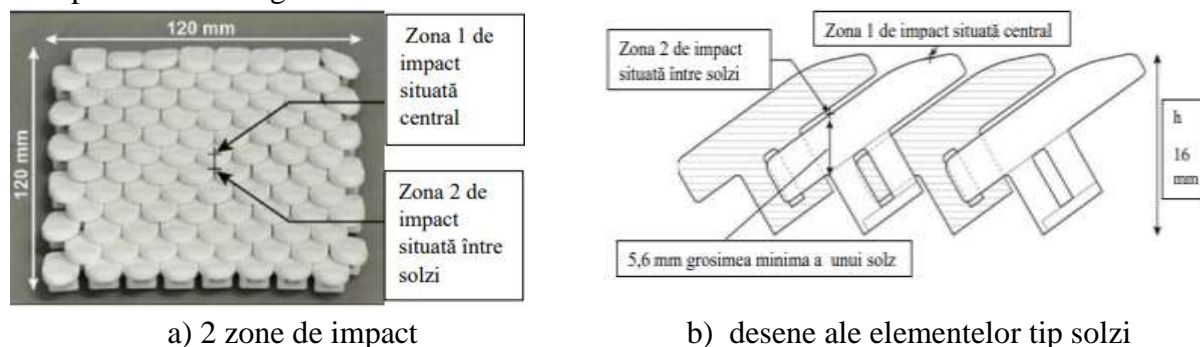


Fig. 1.2. Eșantion de testare [Johnson A., 2012]

Primul loc de impact a fost identificat ca fiind direct pe fața superioară a unui solz, acolo unde materialul era cel mai gros. A doua locație era situată între solzi, unde există o cantitate mai mică de material. La locația dintre solzi, mostrele textile articulate au fost proiectate pentru a avea o grosime minimă de 5,6 mm.

Obiectivul principal al acestui experiment a fost acela de a evalua performanța de rezistență la înjunghiere a eșantioanelor de testare cu o singură grosime, fabricate din două materiale polimerice obișnuite.

La modelele compozite cu țesături și fibre, s-a observat că s-au făcut puține cercetări asupra elementelor de bază în proiectarea structurală a panourilor.

Imitând naturalul, ar putea fi o modalitate nouă de-a fabrica compozite, cu proprietăți mecanice și flexibilitate îmbunătățite. Prin studierea structurilor de armuri biologice, pot fi introduse structuri piramidale interconectate, pentru fabricarea unui nou tip de armură.

Structurile piramidale interconectate, ar putea disipa semnificativ energia de impact și produce o robustețe îmbunătățită. Cu toate acestea, în timp ce armura biologică poate oferi o inspirație pentru un design bun, aceste structuri complexe sunt dificil de produs folosind metode convenționale de fabricație. O posibilă soluție la această problemă este fabricarea aditivă [Bingham G. A, 2007], [Bingham G. A, 2010] cu tehnologia-sinterizare laser (LS), care permite proiectanților să fabrice o piesă, fără restricțiile impuse de metodele tradiționale de fabricație [Jiang C., 2015], [Rafi H. K., 2013]. Efectele materoialului asupra designului elementelor, adică unghiul și grosimea, au fost experimental investigate și analizate.

Mecanismul de disipare a energia de impact, caracteristic materialelor, a fost analizat, folosind o simulare pe calculator. Toate testele de rezistență la înjunghiere ale materialelor de armură, utilizate în acest studiu, s-au utilizat conform standardului național GA 68-2008 (China, 2008). Platforma de testare a fost compusă dintr-un ciocan impactor, un cuțit cu lamă dublă, materiale de testare și material de suport [Gong Z. H., 2019]. Masa totală a impactorului și a cuțitului a fost de 2,4 kg. Acesta a fost eliberat vertical de la 1 m deasupra materialului de testat, în cădere liberă pe materialul de testat. Aceasta a produs o energie de impact de 24 J. În planul de testare, au fost utilizate trei tipuri de materiale pentru LS fabricație: PA 4300 PA/GF, PA 3200 și PA 4300, acestea fiind compuse din pulbere de poliamidă pură, cu diferite compoziții de poliamidă. Materialul PA/GF a fost un compozit cuprinzând poliamidă 60% și fibră de sticlă, 40% [Johnson A., 2012a].

Plăcile pentru experiment au fost fabricate la dimensiunile de 60 mm x 60 mm. La probele cu un singur strat, grosimile probei au fost 12 mm, 11 mm, 10 mm, 9 mm și 8 mm. Pentru speciemenele cu mai multe straturi, grosimea eșantionului a fost de 1 mm și grosimea totală a probei este de 12 mm. Fiecare experiment de rezistență la înjunghiere a fost repetat de trei ori, după Standardul GA 68-2008. [Gong Z. H., 2019]

Cercetătorii [Johnson A., 2012a], [Johnson A., 2013], [Johnson A., 2017] au achiziționat două materiale comune: Dura Form și Dura Form EX. Corpul principal al fiecărui specimen a măsurat 60mm x 60 mm în lungime și lățime și a variat în grosime de la 1,00 m la 15,00 mm, în trepte de 1 mm. Trei eșantioane au fost fabricate în funcție de grosime, fiecare având o tablă de identificare. În total, 180 de speciemeni au fost testate în patru grupuri de materiale, cu 45 de teste pe grup. Materialele suport au fost folosite pentru un test, materialul suport fiind schimbat între teste.

Toate testele de înjunghiere au fost efectuate folosind un turn de cădere instrumentat (Instron 9250 HV). Masa totală a ansamblului de greutate de cădere, inclusiv mandrina cu lame, a fost calibrată la 6,50 kg. Ca material suport este folosită plastilina Roma 1 (Roma Plastilina® no. 1) pentru toate testele. Testele au fost efectuate cu o energie de impact (HOSDB KR1-E1) de 24 J și într-un mediu ambiant într-un interval de temperatură de 21°C +/-6 și un interval de umiditate relativă de 30-70%, [HOSDB 2007], [Croft, 2007c].

Speciemenele de testare, care nu au avut nicio pătrundere totală a lamei prin partea inferioară sau un nivel de penetrare a lamei de 7,00 mm sau sub 7,00 mm, sunt identificate ca oferind un nivel de succes de protecție la înjunghiere în cadrul standardelor [UKHOSDB 2007]. [Johnson A., 2017], [Johnson A., 2014].

Pe măsură ce diametrul particulelor a scăzut și fracția de masă a crescut, un număr mai mare de particule B<sub>4</sub>C au fost dispersate între fire, sarcina și alungirea compozitelor acoperite au crescut pe măsură ce diametrul particulelor de B<sub>4</sub>C a scăzut și fracția de masă a

B<sub>4</sub>C a crescut. Cu diametrul particulelor de 2,5 μm și fracția de masă de 40%, sarcina de tragere și alungirea compozitelor acoperite au crescut cu 227% și, respectiv, 237%, în comparație cu probele neacoperite. Cu scăderea dimensiunii particulelor B<sub>4</sub>C și creșterea fracției de masă a lor, mai multe particule au fost observate între fire, ceea ce a îmbunătățit alunecarea firelor, iar mai multe fire au fost implicate în zona de preluare a sarcinii. Astfel, rezistența compozitelor acoperite a fost îmbunătățită. Cu diametrul particulelor B<sub>4</sub>C în scădere, s-au observat și mai multe particule acoperind uniform suprafața țesăturii, ceea ce este benefic pentru rezistența la înjunghiere. Atunci când diametrul particulelor era de 2,5 μm, acestea nu acopereau doar suprafața țesăturii, ci difuzau și între fire și fibre. Deci, energia lamei ar fi consumată și de interacțiunea ei cu particulele dure [Xia M., 2019].

Unii cercetători au descoperit trei caracteristici ale procesului de înjunghiere:

- lama acționează în mod normal asupra materialului, materialul se deformează în primul rând datorită forței normale;
- lama alunecă orizontal pe materialul deformat, astfel încât acesta este tăiat continuu;
- materialul este tăiat/deșirat/deformat pe măsură ce lama traversează țesătura.

Există patru etape de la contactul inițial până la finalizarea mecanismului de tăiere. În primul rând, lama dreaptă cu sarcini normale a intrat în contact cu țesătura și pe suprafața țesăturii a rămas o adâncitură. Acțiunea lamei asupra țesăturii a dezvoltat o deformare de compresiune, transversală pe țesătură. În această etapă, nu are loc nicio tăiere. Lucrul mecanic efectuat de forța externă a fost transformat în energie de deformare elastică, stocată în țesătură. În al doilea rând, datorită mișcării de alunecare orizontală a lamei cu viteză lentă, contactul dintre țesătură și lamă a dus la tăierea materialului. Cedarea prin tăiere a țesăturii a fost deformarea locală. Firele din vecinătatea lamei au fost solicitate central; dacă lama era ascuțită, firul era ușor tăiat pentru a forma o crăpătură. În al treilea rând, odată ce suprafața firului a avut o fisură, energia potențială elastică stocată în fir va fi eliberată rapid, rezultând o alunecare a firului în interiorul buclei tricotate. Țesătura a continuat să fie supusă sarcinilor, iar rupura s-a propagat. În al patrulea rând, țesătura a fost tăiată. Modurile de rupere a țesăturii tricotate simple, ar putea fi împărțite în patru etape, care includ: deformarea prin compresiune, generarea fisurii, propagarea fisurilor și ruperea [Wang Q. S., 2016].

Conform teoriei echilibrului energetic, Fig. 1.3 arată conversia energetică a țesăturii la tăiere.

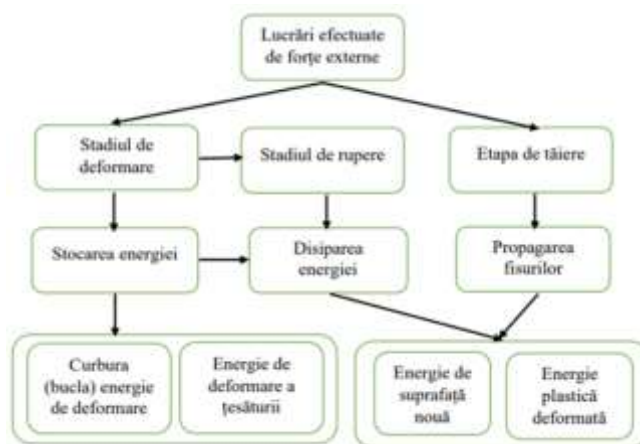


Fig. 1.3. Conversia energetică a țesăturii în tăiere [Wang, 2020]

Întâi, materialul este presat prin sarcină externă, iar energia elastică de deformare poate fi stocată în material. Această etapă este un proces de stocare a energiei, care este recunoscut ca stadiu de deformare elastică. În al doilea rând, forțele externe continuă să acționeze, iar când solicitarea ajunge la tensiunea de rupere a țesăturii/firului, proba/firul se rupe. Această etapă este un proces de disipare a energiei. Energiile disipate se transferă pe noua suprafață a țesăturii și se transformă în energie de deformare plastică a țesăturii deja rupte.

Deoarece țesătura a format o fisură (ruptură), procesul de tăiere ulterior este caracterizat în principal ca propagare a fisurii până la tăierea țesăturii. Modelele matematice pentru cele trei etape sunt descrise de următoarele ecuații:

$$\Delta W_e = \Delta U_e \quad (1.1.)$$

$$\Delta U_e + \Delta W_1 = 2\alpha(\Delta s) + \Delta U_p \quad (1.2.)$$

$$\Delta W'_e + \Delta W'_1 = 2\alpha(\Delta s) + \Delta U'_p \quad (1.3.)$$

unde:  $\Delta W_e$  și  $\Delta W'_e$  - lucrul mecanic efectuat de forțele externe,  $\Delta U_e$  - energia de deformare a țesăturii,  $\Delta W_1$  și  $\Delta W'_1$  - variația energiei interne a țesăturii din cauza deformării firului,  $\alpha(\Delta s)$  - energia de suprafață nouă,  $\Delta U_p$  și  $\Delta U'_p$  - energia de deformare plastică [Wang M., 2019].

Zona de contact dintre lamă și fire în tăiere este mărită, ceea ce poate dezvălui că direcția oblică a țesăturii are o rezistență mai bună la tăiere [Wang, 2020]. Atunci când lama apasă pe fibră, contactul inițial este caracterizat ca deformare compresivă transversală. După aceea, atâta timp cât solicitarea de tăiere a fibrei depășește limita de rupere, se produc fisuri, tăieri sau ruperi locale. În cele din urmă, fibra a fost tăiată din cauza propagării fisurii. Mayo, J.B. și Wetzel E.D. [Mayo J. B., 2014] au evaluat deformarea de tăiere a unei singure fibre care acționează asupra zonei de contact dintre lamă și fibră.

Johnson et al. [Johnson A., 2012] scriu că probele de testare au variat de la 1 la 10 mm grosime, crescând în trepte de 1 mm și au fost fabricate prin depunere cu laser a polimerului PA2200. Testele au demonstrat că a fost necesară o grosime a probei de cel puțin 8 mm pentru a atinge în mod constant un nivel acceptabil de rezistență la penetrare. Rezultatele acestui experiment au evidențiat că 20 din cele 21 de eșantioane plane cu grosimea de 8 mm nu au reușit să atingă o rezistență la înjunghiere în limita acceptabilă, ca în standardul britanic [HOSDB 2007], ci s-au rupt în două sau mai multe bucăți. Când a fost fabricat dintr-un amestec 50:50 de PA2200 pur și reciclat, primul grup de grosime care a demonstrat în mod constant rezistența la penetrarea cuțitului în limite acceptabile, a fost cel al probelor cu grosimea de 6 mm.

Grupul de eșantioane plane, cu grosimea de 5 mm, a avut un rezultat apropiat de limita de penetrare de 7,0 mm. Prin urmare, grupul de probe de 6 mm grosime a fost primul care a atins un nivel constant de rezistență la penetrare a cuțitului, pe toate eșantioanele au sugerat că trebuie testată o gamă mai mare de grosimi de probă, în special în jurul valorii de 5-6 mm grosime. Făcând acest lucru, a existat o oportunitate de a determina o tranziție mai clară între o grosime acceptabilă și inacceptabilă de rezistență la înjunghiere.

Un experiment a prezentat testarea la impact a patru mostre de tip textil AM articulate, cu un design asemănător solzilor. Au fost identificate două zone de impact situate central între un număr de solzi și direct pe fața superioară a unui singur solz.



### **1.6. Direcții de cercetare pentru acest studiu**

Scopul acestei cercetări este caracterizarea unor panouri structurate de autor din punct de vedere al rezistenței la înjunghiere și înțepare, cu materiale apărute recent pe piața echipamentelor de protecție. Studiul va include o documentare, o propunere de tehnologie de laborator a unor panouri, simulări prin metoda elementului finit și teste experimentale pe două instalații de testat la impact, investigații ale mecanismelor de cedare-distrugere.

Ca rezultate principale, se vor stabili:

- influența calității panoului (se vor testa 3 materiale);
- influența grosimii panoului asupra caracteristicilor de impact cu armă albă, pentru două tipuri de teste (pe panouri mai mici, pe mașina drop-test și pe panouri mai mari pe o instalație care respectă prevederile NIJ 0115.01 [NIJ 0115.01]);
- influența formei amenințării (cuțit și țepușă);
- determinarea unor parametri de interes pentru evaluarea calității protecției (forța maximă, energia absorbită, curbe forță-timp, deplasare-timp, adâncimea de pătrundere în materialul suport);
- studiul mecanismelor de cedare pentru materiale testate.

Obiectivele acestui studiu de cercetare sunt:

- analiza unei documentații de ultimă oră, asupra panourilor de protecție la înjunghiere, realizate din compozite, cu ranforsări de fibre, comentându-se atât rezultatele teoretice, cât și experimentale; această documentație a stat la baza formulării unor direcții de cercetare pentru evaluarea comportării la impact cu armă albă a panourilor realizate de autor,
- proiectarea unei metodologii de testare în două etape: o etapă preliminară, de ierarhizare a materialelor pe teste prin cădere și o etapă de testare în condiții apropiate de NIJ,
- realizarea de panouri de protecție pe bază de țesături din fibre aramidice,
- modelarea și simularea impactului armă albă-panou de protecție, la nivel macro (panou din straturi cu caracteristici mecanice echivalente, preluate din literatura de specialitate), având ca scop limitarea numărului de încercări, deoarece sunt relativ scumpe,
- realizarea unei metode de încercare într-un laborator specializat, din care să rezulte un studiu util în evidențierea răspunsului la impact a panourilor realizate,
- investigații ale mecanismelor de cedare a panourilor, utilizând fotografii macro, imagini SEM (la nivel micro, de fibră),
- recomandări privind încadrarea panourilor elaborate în nivele de protecție, conform standardelor.

## Capitolul 3. Aspecte particulare pentru rezolvarea în Explicit Dynamics a modelului panou-cuțit

### 3.1. Introducere

Modelarea numerică este utilă în multe discipline, inclusiv în proiectarea și optimizarea materialelor de protecție la impact/lovire. Algoritmii de tip „împărțiți și cuceriți/rezolvați” sunt folosiți în analiza cu elemente finite, unde problema este defalcată în multe mini-probleme interconectate și rezolvată într-o manieră iterativă. Fiecare iterație generează deformare/solicitare incrementală în elemente, ducând la deformare și/sau cedare conform ecuației constitutive a materialului [SalehM., 2017]. Modelarea numerică permite rezolvarea cuprinzătoare a scenariilor dinamice și complexe, cum ar fi impactul balistic, cu costuri și timp relativ mai mici [Saleh M., 2017]. Geometriile foarte complexe și ierarhice, cum ar fi cele din materialele textile, pot fi modelate la diferite rezoluții (scară micro, scară mezo și scară macro) în domeniul bidimensional (2D) și tridimensional (3D).

Condițiile limită pot fi introduse cu ușurință. Comportarea materialului poate fi simulată cu un model constitutiv de material, care definește relația tensiune-deformare, în timp ce criteriile de rupere/cedare pot fi prespecificate, folosind un algoritm de inițiere.

Geometria și traiectoria armei (cuțit, țepușă) pot fi variate. Contactul dintre fibre/fir/țesătură poate fi definit, folosind algoritmi de contact care includ și frecarea dintre elemente. Unul dintre principalele avantaje ale simulării numerice este capacitatea sa de a produce rezultate informative, precum comportamentul tensiune-deformare, forțele de contact, modelele de distrugere și viteza reziduală. Este o abordare utilă pentru a surprinde etapele procesului de distrugere, de absorbție a energiei, care altfel ar fi imposibil de determinat. Cu toate acestea, procesul de modelare numerică trebuie utilizat cu atenție și validat, deoarece intrările necorespunzătoare și definirea problemei pot genera rezultate înșelătoare [Lemaitre și Desmorat, 2005].

Scenariile mecanismului de penetrare în material textil sunt:

- lovire cu lama ascuțită (cuțit) la viteză mare (săgeată),
- pătrunderea lamei ascuțite la viteză mică,
- tăiere cu lama ascuțită prin mișcări paralele cu suprafața de tăiere.

Forța de perforare a ansamblului fibros are următoarele componente: forța de rezistență la compresiune, forța de frecare între fibre (din cauza compactării, forța de tăiere a fibrei, forța de frecare între fibre și impactor. Schița pătrunderii lamei prin ansamblu fibros (Fig. 3.1) indică faptul că structura fibroasă compactată sub presiunea de perforare, crește densitatea de fibre, până când grosimea este aproape constantă. Energia totală de penetrare a materialului fibros,  $E_{perforare}$ , este dată după cum urmează:

$$E_{perforare} = E_{tăiere} + E_{frecare} + E_{tracțiune} + E_{compactare} \quad (3.1)$$

$$E_{fibrei} = \sum(E_{frecare} + E_{tracțiune} + E_{compactare}) \quad (3.2)$$

$$E_{perforare} = E_{tăiere} + E_{fibrei} \quad (3.3)$$

în care  $E_{tăiere}$  – energia necesară tăierii fibrelor,  $E_{frecare}$  – energia necesară învingerii frecărilor între lamă și pachetul cu fibre, care interacționează,  $E_{tracțiune}$  – energia consumată din solicitarea fibrelor la tracțiune (întindere),  $E_{compactare}$  – energia consumată pentru compactarea fibrelor sub impactor [El Messity M., 2020].

Energia forțelor de frecare este de a depăși frecarea dintre fibre în timpul compactării și între suprafața perforatorului și fibrelor în timpul penetrării perforatorului.

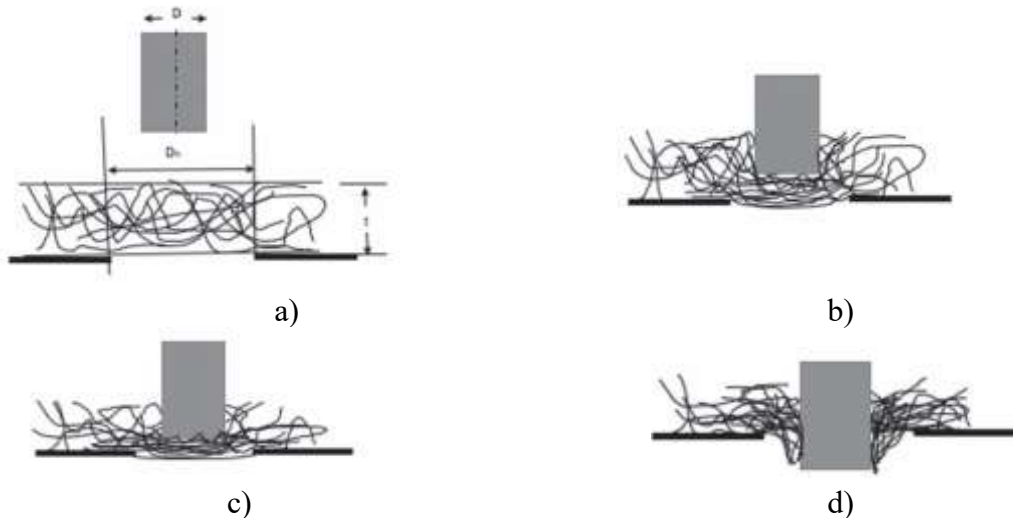


Fig. 3.1. Pătrunderea lamei prin materialul fibros [El Messiry M., 2013]

### 3.2. Mecanisme de înjunghiere a țesăturii

În unele situații, materialul textil este tăiat cu un cuțit sau alte unelte ascuțite, iar mecanismul de distrugere, în acest caz, va fi diferit de cel al pătrunderii cuțitului. Mecanismul de înjunghiere are mai multe scenarii: când cuțitul pătrunde pe vertical, când cuțitul se deplasează orizontal față de panou.

În general, factorii care influențează forța de tăiere a țesăturii sunt: forța necesară pentru tăierea fibrelor și a firelor, arhitectura țesăturii, grosimea țesăturii, densitatea țesăturii, - ascuțirea cuțitului, geometria muchiilor tăietoare (unghiul muchiei tăietoare a cuțitului, unghiul la vârf al cuțitului etc.), unghiul de penetrare a cuțitului față de planul panoului, - viteza de lovire (viteza înainte de atingerea panoului), proprietăți de frecare între fire/straturi și între fire/straturi și cuțit, rezistența la rupere a țesăturii și sensul de tăiere.

Apar diferite mecanisme când un cuțit pătrunde într-o țesătură: împingerea firelor, tăierea firelor cu forfecare din cauza presiunii transversale tocite asupra fibrelor și ruperea firelor atunci când sunt tensionate pentru a se rupe [Jing L., 2011], [Heuse O., 1982]. Trebuie evidențiată tăierea fibrelor prin mișcare transversală a lamei, la unghiuri variate ale lamei și fibrei [Johnson A., 1991], [Johnson A., 2014]. Pe baza normalizării tensiunii lamei, fibrele anorganice demonstrează rezistență la tăiere mai mare decât fibrele organice.

În timpul proceselor de tăiere, fibra va fi deviată sub sarcina lamei, apoi lama începe să pătrundă prin fibră cu o forță crescândă, până când secțiunea transversală a fibrei este redusă la limită și cedează prin forfecare. Forța de tăiere a fibrelor depinde de proprietățile lor mecanice. Tăierea secțiunii transversale a fibrei poate avea patru zone distincte: zona de indentare, deformare a materialului sub presiune la vârful lamei, zona de tăiere, forfecarea materialului de marginea ascuțită a lamei, zona de forfecare-tensiune; și zona de rupere la rupere [Mayo J. B., 2014], [Ding H., 2017].

Rotunjimea vârfului afectează zona de indentare și dezvoltă o presiune de compresiune transversală locală pe vârful lamei. Diametrul mai mare reduce solicitarea locală aplicată pe vârful lamei și este nevoie de mai multă forță pentru a crea zona de indentare [Ding H., 2017].

Forța de tăiere a fibrelor este scădă cu creșterea ascuțirii lamei (a unghiului la vârf). Fibra Dyneema are cea mai mare forță de rezistență la tăiere, în timp ce fibra Zylon oferă cea mai scăzută rezistență, și datorită coeficientului său mai scăzut de frecare între lama de tăiere și fibra Zylon. Tăierea fibrelor este un amestec de forfecare și tensionare a fibrei sub forța de tăiere aplicată. Pentru materialul din fibre cu forță de tăiere mai mică, predomină ruperea sub forțele de tensiune. [Heuse O., 1982]. Distrugerea fibrei se datorează fie tracțiunii, fie forfecării, sau un mecanism combinat. Mecanismul de perforare a țesăturilor este diferit de cel al unui covor fibros. Morfologia țesăturii demonstrează intercalările firelor și porii dintre ele. Comportarea țesăturii sub instrumentul de perforare, depinde de configurația vârfului, materialul și designul țesăturii: țesut, tricotat, triaxial, nețesut sau structură combinată.

### **3.3. Rezistența la înjunghiere a materialelor**

Înțeparea sau tăierea țesăturii cu o lamă ascuțită are următoarele scenarii: tăiere, perforare cvasi-statică și dinamică. Vârful de tăiere a cuțitului este orientat spre împletirea firelor sau între fire, astfel încât forța de rezistență va fi diferită. În timpul pătrunderii vârfului cuțitului printr-un material, firele care vin în contact cu muchia cuțitului au tensiune ridicată și tind să fie întinse și îndoite pe direcția de avans a armei și se vor deplasa în direcția de trecere a muchiei cuțitului. Țesătura va fi deformată sub forța de împingere a cuțitului, tendința fiind diminuată dacă firele încep să fie forfecate.

Forța de tăiere a firului joacă un rol esențial în prezicerea performanței de protecție a țesăturii. Ruperea firului de sub lama de tăiere trebuie analizată cu atenție [Shin, 2016] Ruperea firului se bazează pe structura firului, fie fire sub formă de discuri sau filamente. Firele multifilament continue au o densitate mare de organizare, astfel, aproape toate filamentele vor participa la rezistența la forța de tăiere a firului. S-a raportat că forța de tăiere a firelor Zylon are o valoare mai mare decât cea a firelor tip Kevlarului și Spectra, la toate valorile unghiurilor de tăiere, ascuțirea lamei și sarcinile de pretensionare [Shin H. S., 2006] Vectran HT și NT prezintă o rezistență la tăiere mai mare decât firele aramidice.

### **3.4. Analiza mecanismului de rezistență dinamică a țesăturii**

Energia totală necesară pentru a pătrunde într-o țesătură, se bazează intens pe: energia pierdută pentru a tăia firele, firele se încordează în jurul marginii lamei, energia pentru a depăși frecarea dintre suprafața lamei și suprafața înconjurătoare a țesăturii, precum și țesătura. Țesăturile flexibile rezistente la înjunghiere au fost utilizate pe scară largă în scopuri militare și civile. Au fost depuse eforturi pentru a construi armuri de protecție moi, ușoare, mai bune, folosind fibre de înaltă performanță. Recent, au fost studiate cercetările privind protecția împotriva impactului prin lamă ascuțită sau țepușă [Choi H., 2011], [El Messiry M., 2016], [Mahbub R. F., 2015], [Wang Q. S., 2016], [Wang Q., 2022]. Rezistența la penetrare este un parametru esențial pentru estimarea proprietăților țesăturilor destinate protecției. În plus, o vestă moale ar trebui să ofere, confort utilizatorului, o greutate ușoară și rentabilitate [Mahbub R. F., 2015]. Cu toate acestea, o înțelegere profundă a designului hainelor de protecție rezistente la înjunghiere pentru a minimiza punctele slabe, cum ar fi greutatea, forma și caracteristicile incomode, ar trebui expuse.

În timpul intervalului de timp de pătrundere a lamei, forța de tăiere va crește până la penetrarea completă, iar apoi va scădea treptat [Jing L., 2011]. Pentru a crește performanța de tăiere a țesăturii, este de așteptat să implice fiecare componentă a energiei totale a țesăturii.

La impact, undele longitudinale care se propagă mai rapid, ajută la împrăștierea energiei de impact prin fire. Investigarea modulului dinamic al firelor a arătat că se bazează pe factorul de răsucire și orientările fibrelor [Křemenáková D., 2012], [El Messiry M., 2016]. Modulele dinamice de elasticitate ale țesăturii depind de aranjarea fibrelor în țesătură. S-a specificat că adunarea fibrelor în fire duce la o scădere a nivelului modulului sonic, acesta reprezintă 0,5 până la 0,6 din modulul fibrei, în timp ce țesutul firului în țesătură reduce modulul sonic al țesăturii la aproximativ 0,017 până la 0,25 din cel al fibrelor. S-a verificat corelația dintre viteza sunetului prin material, alinierea fibrelor într-o țesătură, anizotropia materialului, rezistență, rigiditate, elasticitate, reziliență și proprietățile de oboseală [Bilisik K, 2018], [Bilisik K, 2012].

Pe măsură ce firele sunt tensionate complet, lama începe să taie firele cu care vine în contact, până când trece complet prin țesătură. Bilanțul energetic în timpul pătrunderii lamei, pentru a absorbi energia cinetică KE înainte de atingerea țesăturii, va fi egal cu suma energiei consumate pentru distrugerea țesăturii și energia cinetică reziduală a armei. Dacă ultima este nulă, înseamnă că mecanismele de cedare a panoului lovit sunt capabile să absoarbă întreaga energie cinetică a armei.

$E_{F_{\text{injunghiere}}}$  este energia absorbită de panoul de protecție și este suma unor componente:  $E_{Y_{\text{cutting}}}$  – energia de tăiere/frecare a firelor/fibrelor,  $E_{Y_{\text{frecare}}}$  - energia necesară învingerii frecărilor între lamă (tăișuri) și fire/fibre dar și frecarea între componentele panoului,  $E_{Y_{\text{întindere}}}$  – energia consumată pentru întinderea firelor/fibrelor,  $E_{Y_{\text{deformare}}}$  – energia consumată pentru deformarea fibrelor, firelor și chiar a țesăturii,  $E_{F_{\text{con}}}$  – energia. Prin urmare, energia totală de tăiere a țesăturii poate fi exprimată astfel [El Messiry M. , 2020]:

$$E_{F_{\text{injunghiere}}} = E_{Y_{\text{cutting}}} + E_{Y_{\text{frecare}}} + E_{Y_{\text{întindere}}} + E_{Y_{\text{deformare}}} \quad (3.4)$$

Toate componentele energiei de tăiere a țesăturii depind de structura și specificațiile țesăturii, precum și de proprietățile fibrelor, firelor și țesăturii.

O alternativă este determinarea datelor folosind un model numeric. Aici se pot distinge două abordări. Modelul numeric este capabil să determine direct rezistența reziduală și indentarea permanentă [Lopresto V., 2012] față de energia de impact. Este cel mai simplu caz, deoarece este posibilă optimizarea numerică și ușoară a structurii compozite pentru a permite toleranța la deteriorare. Principalul dezavantaj al acestui tip de abordare este că se limitează la tipurile de impact identificate de modelul numeric. Modelul numeric este capabil să simuleze complet deteriorarea impactului, în special cu indentarea permanentă, și rezistența reziduală după impact. Principalul avantaj al acestui tip de abordare este acela de a fi valabil pentru o gamă largă de sarcini de impact și reziduale. Dar acest model poate fi complex și nesigur. Simularea numerică a cedărilor de impact este încă o provocare și face obiectul multor cercetări [Lopresto V., 2012], [Gonzalez E. V., 2012], [Rivallant S., 2013], [Tan W., 2015].

### 3.5. Definirea materialelor în Explicit Dynamics

Modelele constitutive sunt necesare pentru a analiza comportamentul materialului în diferite condiții de încărcare și medii, inclusiv variabile precum temperatură și presiune. Aceste modele implică descrieri matematice elaborate ale răspunsului mecanic al materialului la diverse tipuri de solicitări, cum ar fi elasticitatea, plasticitatea și vâscozitatea, și sunt cruciale în anticiparea acestui răspuns în situații statice sau dinamice.

În simulările numerice cu Explicit Dynamics, variația temperaturii nu este luată în considerare când se determină proprietățile elastice. Astfel, pentru fiecare proprietate, se utilizează o valoare unică, în loc să se ia în calcul modificarea în funcție de temperatură. Aceste valori fixe sunt apoi utilizate de către solver în cadrul rezolvării numerice [Múgica, J. I., 2016].

Ecuția de stare este o expresie matematică complexă care caracterizează comportamentul hidrodinamic al materialelor solide în condiții de deformare la viteze mari. Această situație apare atunci când presiunea hidrodinamică aplicată materialului depășește pragul său de curgere, conform resurselor prezentate în [ANSYS Explicit Dynamics Analysis Guide, 2021], [Benaroya H., 2010]. S-a utilizat ecuația liniară de stare.

Modelele biliniare cu întărire sunt adesea folosite în studiile cu zone mari de deformare. Limita de curgere și modulul tangent sunt cei doi parametri Curba distinctivă a acestui model are două segmente drepte, fiecare cu o pantă distinctă. Modulul de elasticitate al materialului, sau  $E$ , este reprezentat de panta primului segment al curbei, care arată răspunsul elastic al materialului la solicitare. Modulul tangent, care caracterizează comportamentul plastic al materialului după depășirea limitei de curgere, este dat de panta celui de-al doilea segment al curbei.

Pentru utilizarea acestui model sunt necesare două valori: limita de curgere și modulul tangent specific materialului în cauză. Modulul de elasticitate al materialului corespunde primei pante a curbei, în timp ce modulul tangent este asociat cu cea de-a doua pantă [ANSYS Explicit Dynamics Analysis Guide, 2021].

### 3.6. Definirea conexiunilor

Contactul dintre straturile panoului este cu frecare. Valoarea coeficientului de frecare este de 0,35. Contactul dintre panou și cuțit este cu frecare. Condiția de contact dintre straturile panoului și cuțit este frecarea. Valoarea coeficientului de frecare este de 0,35.

Straturile au fost încastrate pe 2 fețe laterale paralele, celelalte două fețe paralele au rămas libere (Fig. 3.2). Pătrățelul simbolizează fixarea pe latura din planul îndepărtat, dar aceeași încastrare (fixare) este pe latura opusă.

Acest aranjament specific, în care straturile sunt încastrate pe două fețe laterale paralele ale panoului, cu celelalte două fețe rămase libere, este important pentru a simula în mod corespunzător modul de fixare a straturilor în panourile reale. Aceasta condiție poate influența modul în care panoul interacționează cu cuțitul; are un impact semnificativ asupra comportamentului său sub solicitările specifice ale experimentului.

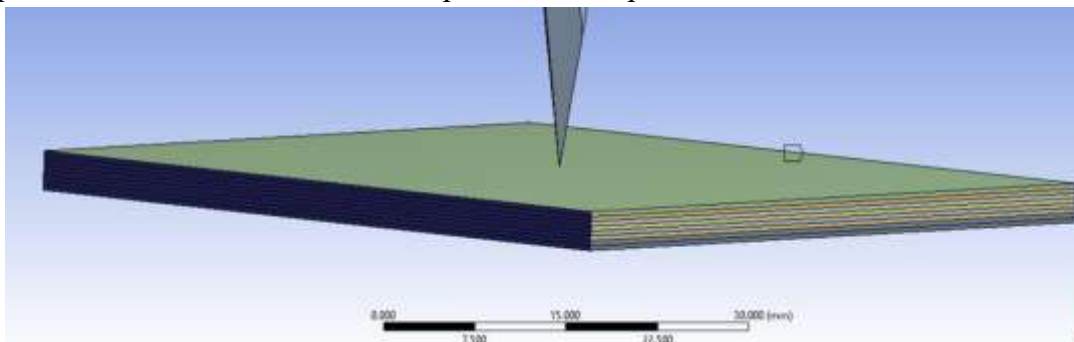


Fig. 3.2. Modul de încastrare straturilor panoului

Acest aranjament reflectă mai aproape condițiile reale ale experimentului pe instalația de la CBRNE, permițând obținerea de date relevante și interpretarea mai realistă a rezultatelor.

### 3.7. Modelul geometric

În această lucrare a fost pusă problema modelării numerice a țesăturii aramidice Twaron SRM509. Această țesătură este un material special, utilizat la fabricarea vestelor anti-înjunghiere. Acest studiu are ca scop crearea unui model numeric, posibil de rezolvat prin intermediul software-ului comercial Ansys.

Figura 3.3 prezintă cuțitul, care este un element cheie al modelului. Geometria sa influențează puternic comportarea la lovire cu această armă. Designul său are ca rezultat o încărcare concentrată mare și, deci, produce cea mai mare densitate de energie pe lamă; în același timp, grosimea corpului lamei previne flambajul. Modelul geometric al cuțitului este realizat conform NIJ Standard 0115.01 Stab Resistance of Body Armor, National Institute of Justice [NIJ Standard 0115.01] (Fig. 3.3). În Fig. 3.4 și Fig 3.5 sunt date detalii ale vârfului cuțitului utilizat în simulare. Modelul geometric al modelului simulat, format din straturi și cuțit este dat în Fig. 3.4 (c).

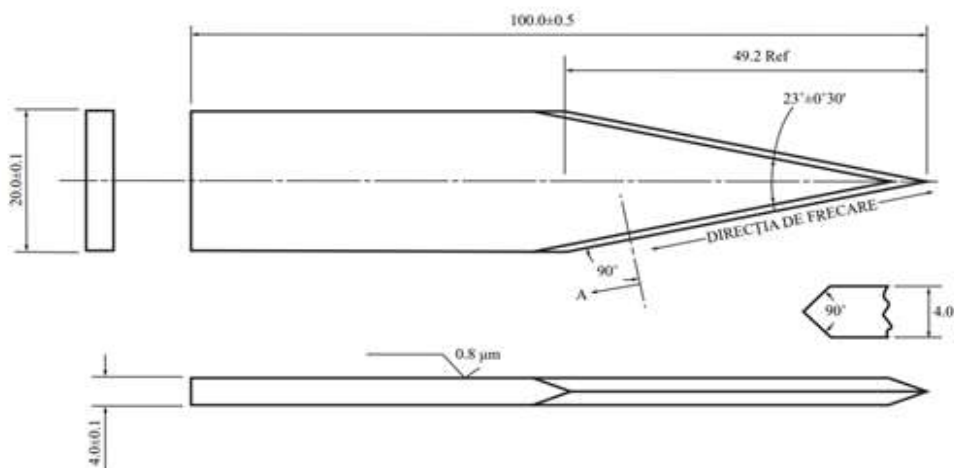


Fig 3.3. Cuțit de testare conform standardului NIJ-0115.00

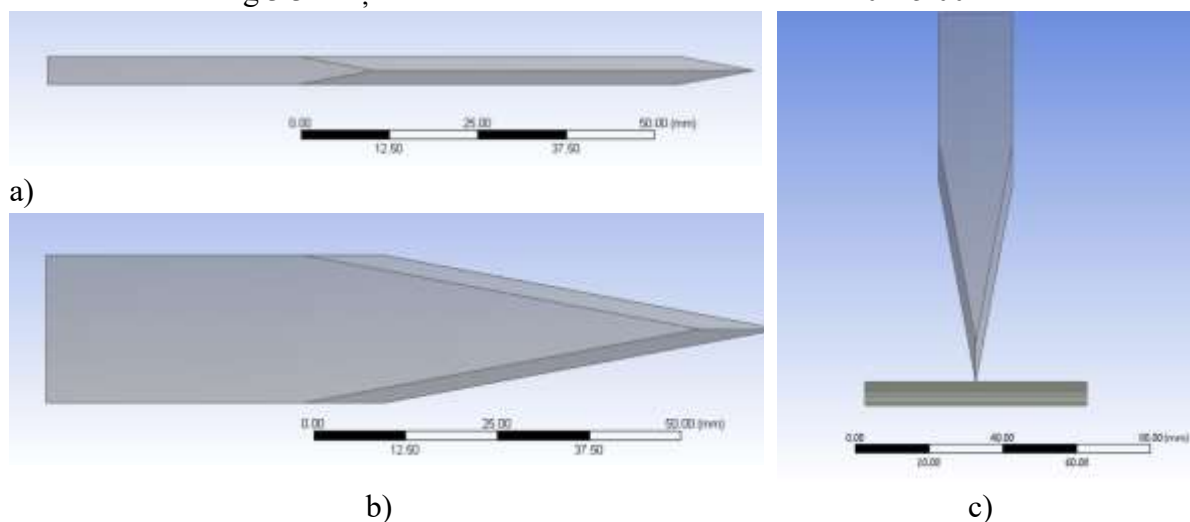
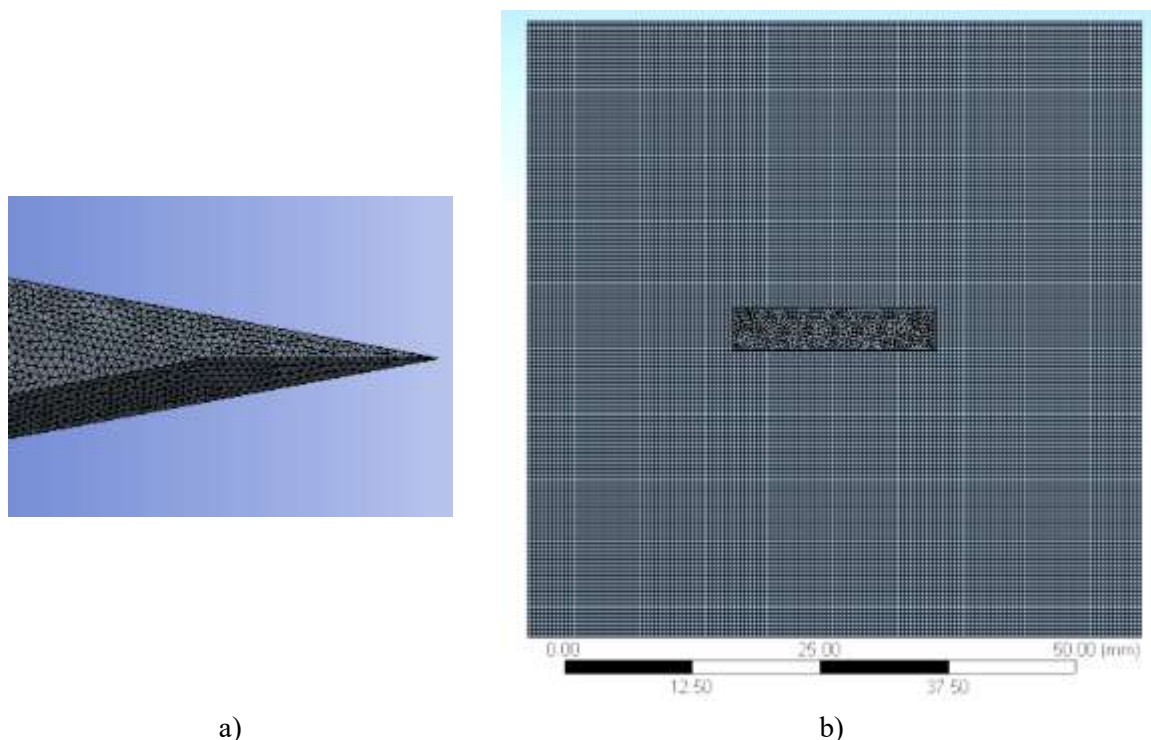


Fig. 3.4. Geometria cuțitului



a)

b)

Fig. 3.5. Discretizarea cuțitului Detaliu vârf

Discretizarea modelului este dată în Fig. 3.5a. În Fig. 3.5b sunt date detalii ale rețelei de discretizare cuțitului. Cu cât discretizarea este mai fină, rezultatele obținute în urma simulării sunt mai plauzibile [Totolici Rusu V., 2021].

### 3.8. Analiza rezultatelor simulării

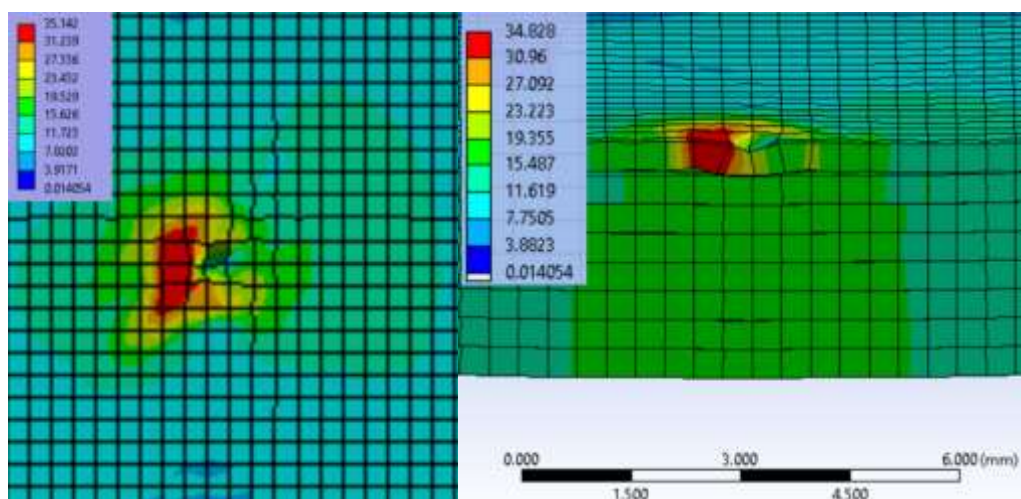
Fiecare imagine din simulare are propria scară de culori pentru distribuția de tensiuni echivalentă (sau von Mises), acestea fiind date în MPa.

În Tabelul 3.1 sunt date proprietățile de material ale straturilor și cuțitului. Cuțitul este considerat rigid în această simulare.

**Tabelul 3.1.** Proprietățile de material, utilizate pentru componentele modelului

Proprietate	Valori pentru strat	Valori pentru cuțit	Unitate de măsură
Densitate	1440	7850	$kg\ m^{-3}$
Modulul lui Young	40000	$2,07 \times 10^{11}$	MPa
Coeficientul Poisson	0,35	0,30	-
Modulul în volum	$4,4444 \times 10^{10}$	$1,725 \times 10^{11}$	Pa
Modulul la forfecare	$1,4815 \times 10^{10}$	$7,9615 \times 10^{10}$	Pa
Temperatură	22	22	°C
<b>Model cu întărire biliniar izotrop</b>			
Limita de curgere inițială	250	Corp perfect rigid	MPa
Modulul tangent	1000		MPa
Deformația plastică la rupere (EPS)	0,04		-





vedere de sus

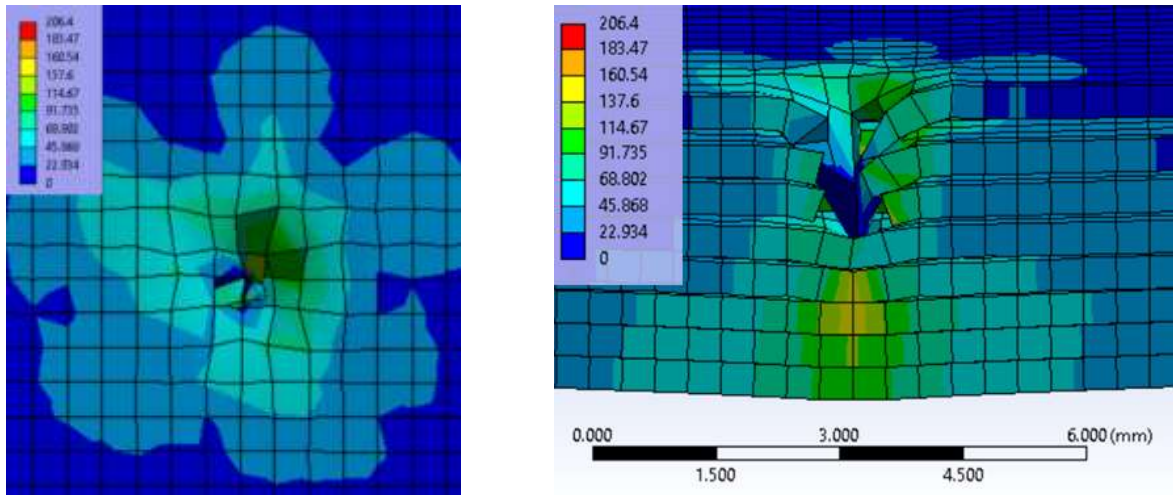
secțiune verticală printr-un plan care conține  
muchii laterale tăietoare ale cuțitului

Fig. 3.6. Distribuția tensiunii von Mises (în MPa) la momentul de timp,  $t = 1,5 \times 10^{-4}$  s, pentru panoul cu 8 straturi

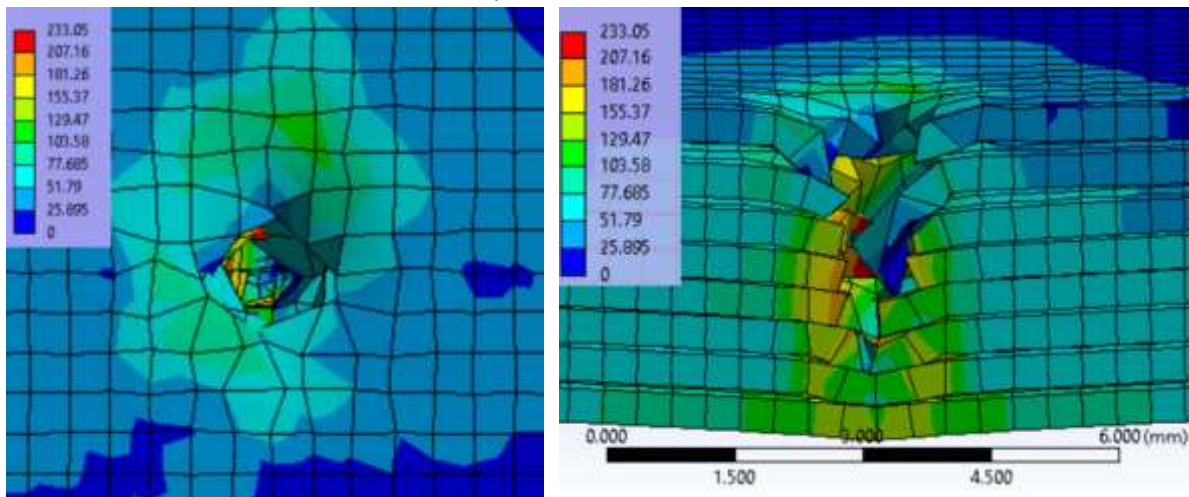
Primul moment al simulării, arată doar o comprimare a stratului 1, cu prezența unei zone cu concentrator de tensiune (Fig. 3.6). Valoarea tensiunii von Mises este de 34 MPa. La momentul de timp,  $t = 7,5 \times 10^{-4}$  s, sunt deja tăiate 3 straturi, stratul 4 este ușor comprimat. La acest moment, valoarea tensiunii von Mises este de 206 MPa. Tăierea nu este simetrică și nici distribuția tensiunii von Mises. La momentul  $t = 1,5 \times 10^{-3}$  s, sunt tăiate 6 straturi. Valoarea tensiunii von Mises este de 233 MPa. Prezența concentratorilor de tensiune este pe marginile tăiate de cuțit. Ultimul moment al simulării înregistrează tăierea tuturor straturilor. Valoarea tensiunii von Mises este de 127 MPa (Fig. 3.7).

Cu ajutorul funcției "Path" din Explicit Dynamics s-a determinat distribuția tensiunii von Mises pe o linie în secțiunea ce trece prin muchiile cuțitului. La primul moment al simulării, firele prezintă o distribuție a tensiunii asemănătoare, stratul 1 prezintă o ușoară creștere a tensiunii, ceea ce este normal deoarece acest strat ia contact primul cu cuțitul. Valoarea tensiunii von Mises pe această linie pentru toate cele 8 straturi este sub 25 MPa.

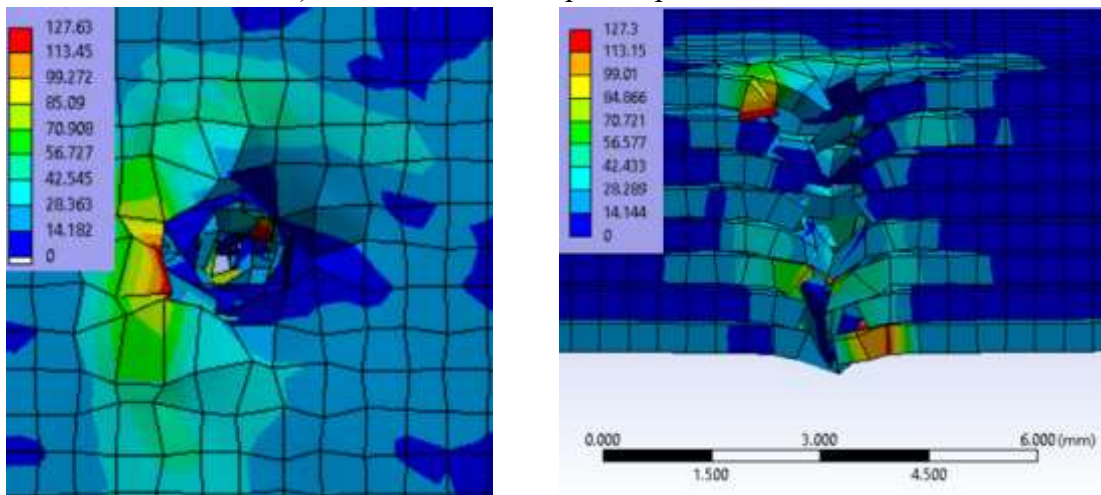
În Fig. 3.8, este dată distribuția tensiunii von Mises pe cele 8 straturi ale panoului format din 8 straturi pentru momentul de timp,  $t = 4,5 \times 10^{-4}$  s. La acest moment, valoarea tensiunii von Mises este înregistrată pe stratul 4. Valoarea cea mai mică a tensiunii von Mises este înregistrată de stratul 3, ceea ce sugerează că acest strat a fost pătruns de cuțit. În Fig. 3.9 este dată distribuția tensiunii von Mises pe cele 8 straturi ale panoului format din 8 straturi pentru momentul de timp,  $t = 1,65 \times 10^{-3}$  s. Atunci când valoarea tensiunii von Mises scade la zero, arată că stratul este tăiat. Acest moment înregistrează tăierea primelor patru straturi. Valoarea maximă a tensiunii von Mises este înregistrată pe stratul 8 (Fig. 3.10).



a)  $t = 7,5 \times 10^{-4} s$ ,



b)  $t = 1,5 \times 10^{-3} s$ , pentru panoul cu 8 straturi



c) momentul de timp  $t = 3 \times 10^{-3} s$

Fig. 3.7. Distribuția tensiunii von Mises (în MPa) la diferite momente de timp pentru panoul cu 8 straturi: în coloana din stânga sunt vederi de sus ale feței primului strat iar în coloana din dreapta sunt secțiuni prin planul muchiilor tăietoare ale cuțitului de tip S1

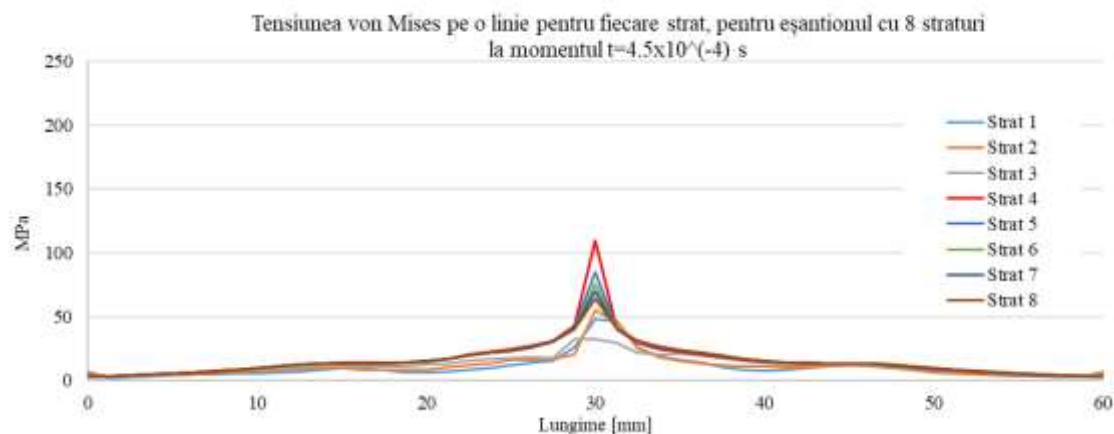


Fig. 3.8. Tensiunea von Mises pe o linie pentru fiecare strat, pentru eșantionul cu 8 straturi, la momentul de timp,  $t = 4,5 \times 10^{-4}$  s.

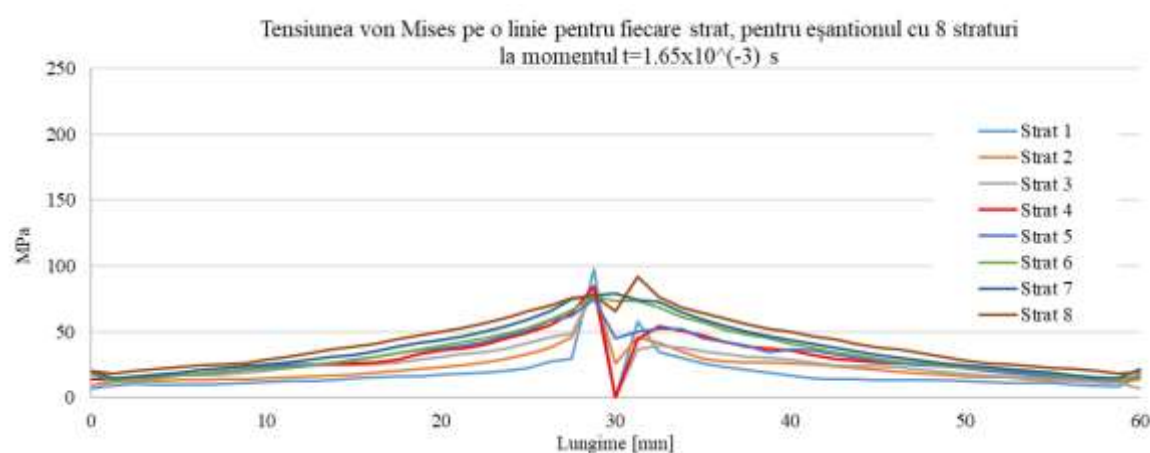


Fig. 3.9. Tensiunea von Mises (în MPa) pentru fiecare strat, în planul care conține muchiile tăietoare ale cuțitului, pentru eșantionul cu 8 straturi la momentul de timp,  $t = 1,65 \times 10^{-3}$  s.

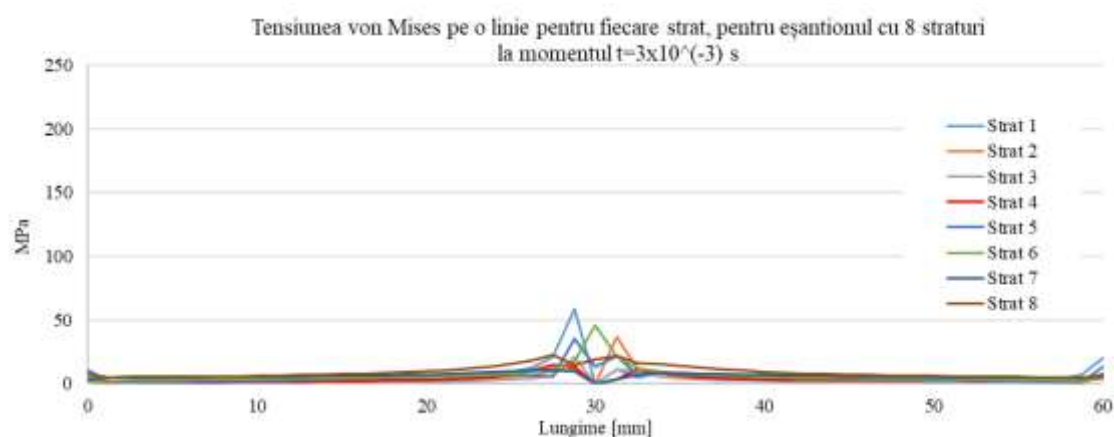


Fig. 3.10. Tensiunea von Mises pe o linie pentru fiecare strat, pentru eșantionul cu 8 straturi, la momentul de timp,  $t = 3 \times 10^{-3}$  s.

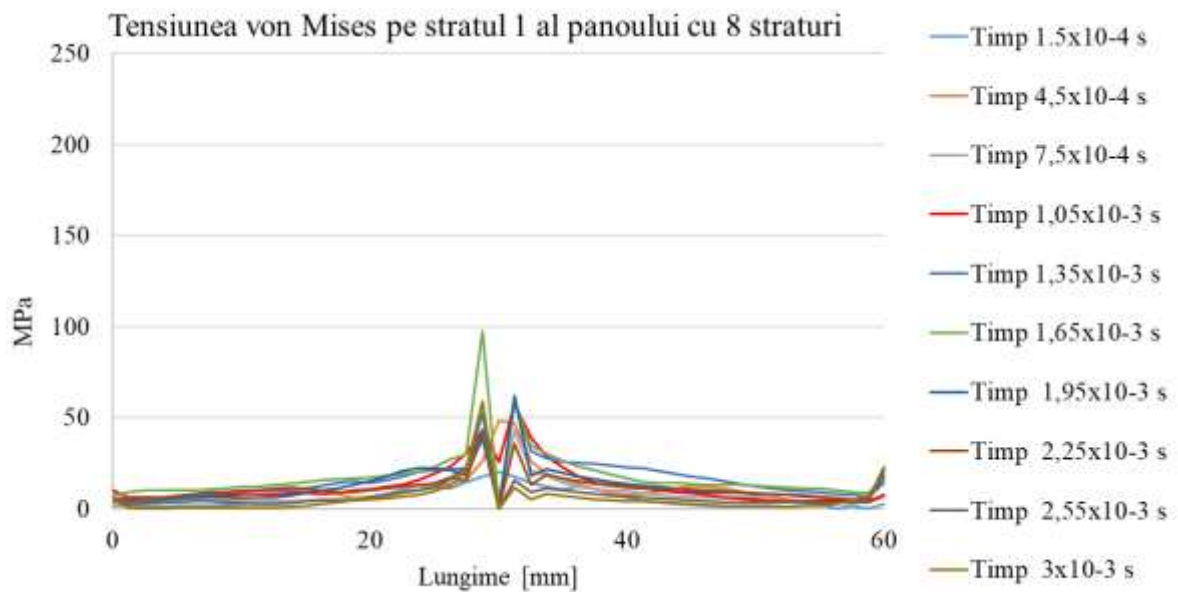


Fig. 3.11. Distribuția tensiunii von Mises la diferite momente de timp din timpul tăierii stratului 1, de cuțit, al panoului format din 8 straturi.

În Figura 3.11 este dată distribuția tensiunii von Mises pentru panoul cu 8 straturi pentru stratul 1 la diferite momente de timp. Acest grafic are ca scop urmărirea evoluției tensiunii von Mises pe parcursul simulării tăierii straturilor de către cuțit. Valoarea cea mai mare, înregistrată pe parcursul simulării tăierii straturilor de către cuțit, este de aproximativ 100 MPa la momentul de timp,  $t = 1,65 \times 10^{-3}$  s.

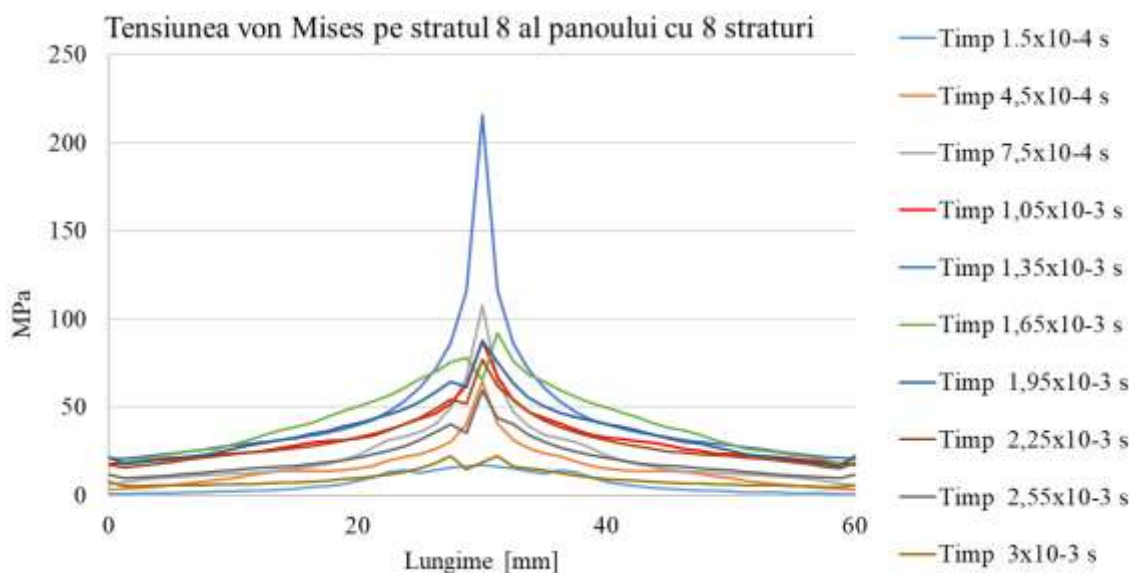


Fig. 3.12. Distribuția tensiunii von Mises la diferite momente de timp, din timpul tăierii stratului 8, de cuțit, al panoului format din 8 straturi.

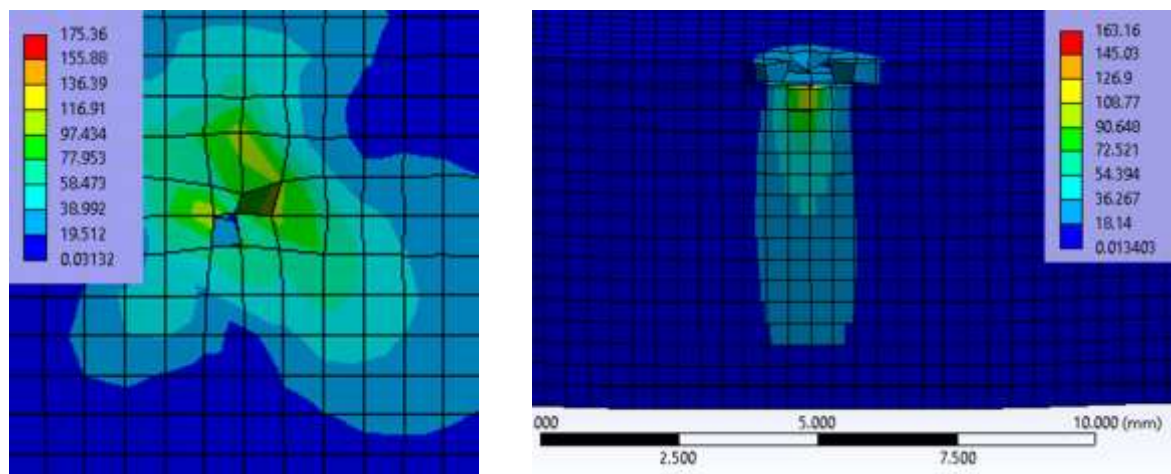
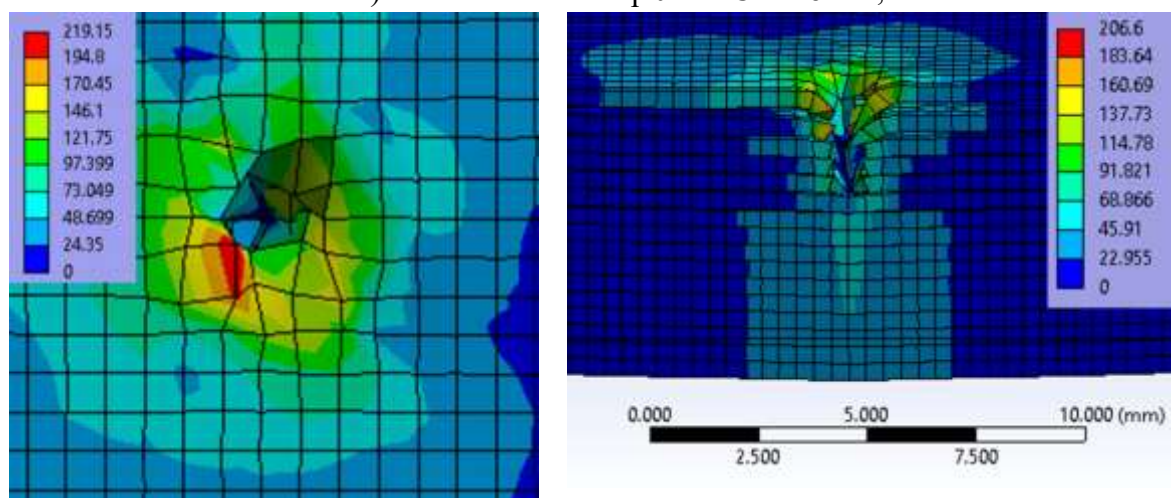
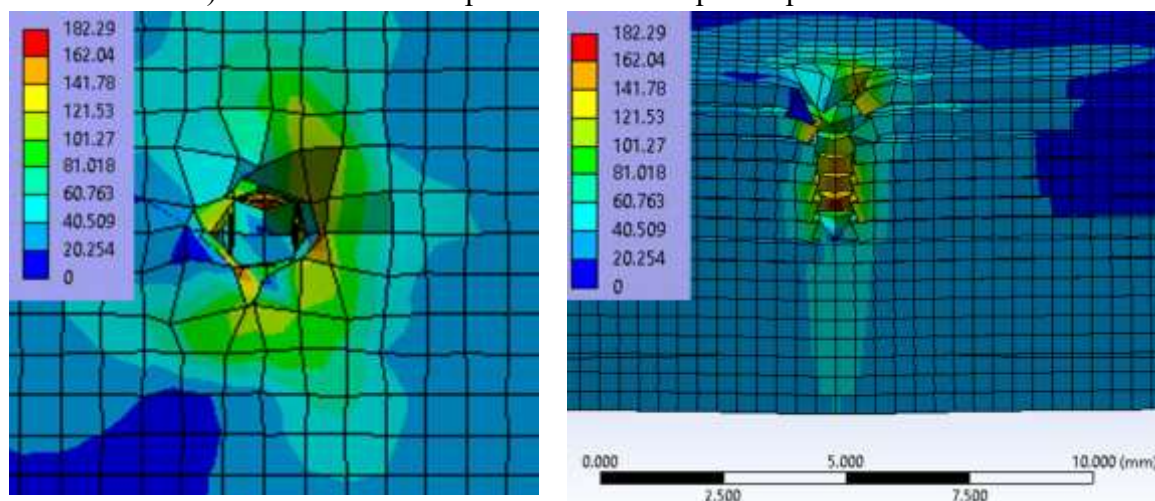
a) momentul de timp  $t = 1.5 \times 10^{-4}$  s,b) momentul de timp  $t = 9 \times 10^{-4}$  s pentru panoul cu 16 straturic) timp  $t = 1,35 \times 10^{-3}$ 

Fig. 3.13. Distribuția tensiunii von Mises (în MPa) la diferite momente de timp pentru panoul cu 8 straturi: în coloana din stânga sunt vederi de sus ale feței primului strat iar în coloana din dreapta sunt secțiuni prin planul muchii tăietoare ale cuțitului de tip S1

În Fig. 3.12 este dată distribuția tensiunii von Mises la diferite momente de timp din timpul tăierii stratului 8, de cuțit, al panoului din 8 straturi. Primul moment al impactului,  $t = 1.5 \times 10^{-4}$  s, arată că primul strat a fost rupt. Ruperea a fost între momentul  $t=0$  și  $t = 1.5 \times 10^{-4}$  s. Distribuția tensiunii von Mises este pe o zonă restrânsă, cu o propagare prin grosime. Valoarea maximă a tensiunii von Mises este de 175 MPa pe întreg panoul și 167 MPa pe jumătatea analizată. Momentul  $t = 9 \times 10^{-4}$  s arată că cinci fire au fost rupte. Valoarea tensiunii von Mises este de 206 MPa pe secțiunea de model analizată și 219 MPa pe întreg modelul simulat. Pe vederea din față, pe stratul 1 este prezent și un concentrator de tensiune. Ruperea straturilor și distribuția tensiunii von Mises nu este simetrică. La momentul  $t = 1,35 \times 10^{-3}$ , sunt rupte șase straturi. Stratul 7 nu este rupt complet, va fi rupt la momentul următor. La acest moment de timp valoarea tensiunii von Mises este de 182 MPa.

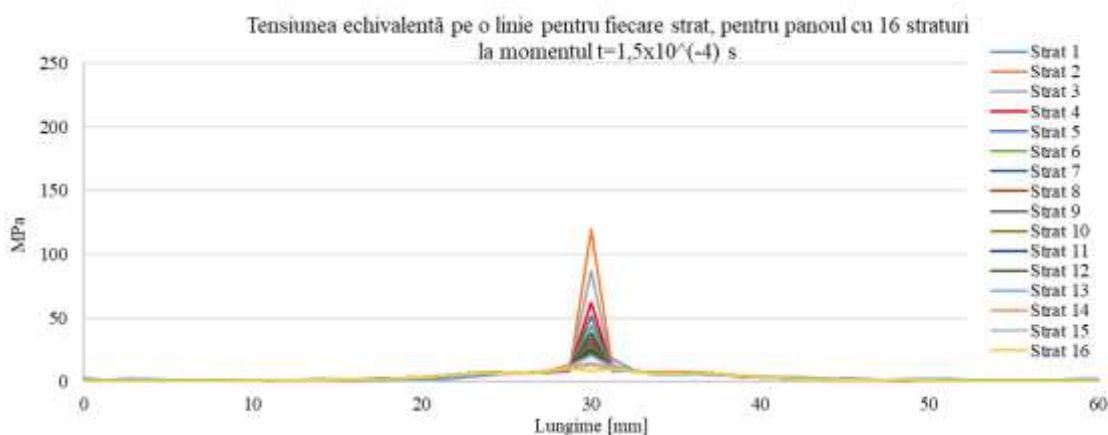
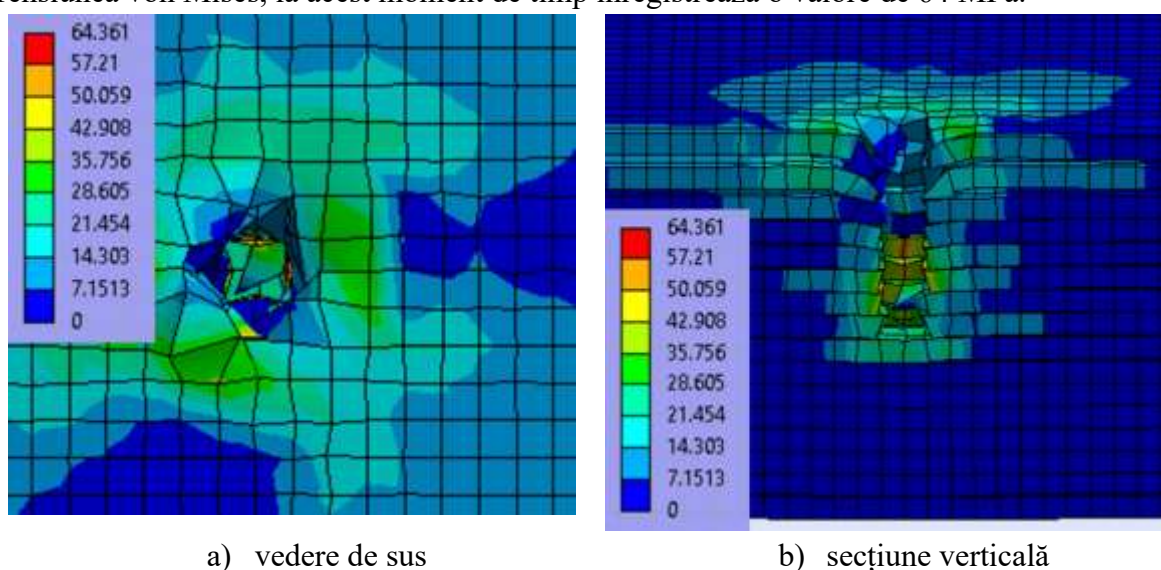


Fig. 3.14 Tensiunea von Mises pe o linie pentru fiecare strat, pentru eșantionul cu 16 straturi la momentul de timp,  $t = 1,5 \times 10^{-4}$  s.

Ultimul moment al simulării,  $t = 3 \times 10^{-3}$  s, înregistrează 8 straturi rupte, straturi care au fost rupte la momentul de timp,  $t = 2,1 \times 10^{-3}$  s, dar și o ricoșare a cuțitului (Fig. 3.15). Tensiunea von Mises, la acest moment de timp înregistrează o valoare de 64 MPa.



a) vedere de sus

b) secțiune verticală

Fig. 3.15. Distribuția tensiunii von Mises (in MPa) la momentul  $t = 3 \times 10^{-3}$ , pentru panoul cu 16 straturi

În Fig. 3.14 este dată tensiunea von Mises pentru panoul cu 16 straturi, pe o linie pentru fiecare strat, la primul moment al simulării. La acest prim moment, ultimile trei straturi înregistrează cea mai mică valoare a tensiunii von Mises.

În Fig. 3.16 este dată tensiunea von Mises pe o linie pentru fiecare strat, pentru eșantionul cu 16 straturi, la momentul de timp,  $t = 1,65 \times 10^{-3}$  s. La acest moment de timp,  $t = 1,65 \times 10^{-3}$  s, se înregistrează 6 straturi tăiate. Valoarea tensiunii maxime este în jur de 125 MPa.

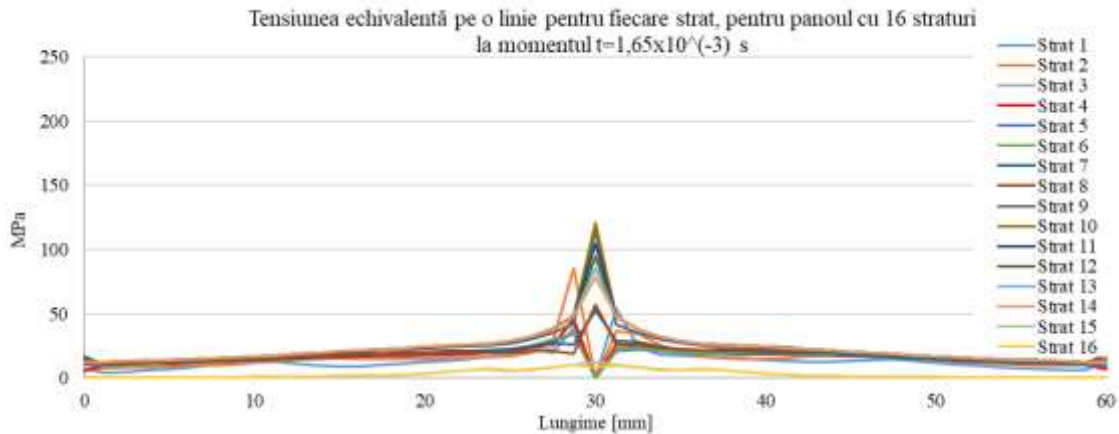


Fig. 3.16. Tensiunea von Mises pe o linie pentru fiecare strat, pentru eșantionul cu 16 straturi, la momentul de timp,  $t = 1,65 \times 10^{-3}$  s.

În Fig. 3.17 este dată tensiunea von Mises pe o linie pentru fiecare strat, pentru eșantionul cu 16 straturi, la momentul de timp,  $t = 3 \times 10^{-3}$  s. Acest moment al simulării înregistrează o relaxare a distribuției tensiunii.

În Fig. 3.18 este dată distribuția tensiunii von Mises pentru eșantionul cu 16 straturi, la diferite momente de timp din timpul tăierii straturilor de către cuțit. Graficul ne arată că stratul 8 a fost rupt după momentul de timp,  $t = 1,65 \times 10^{-3}$  s.

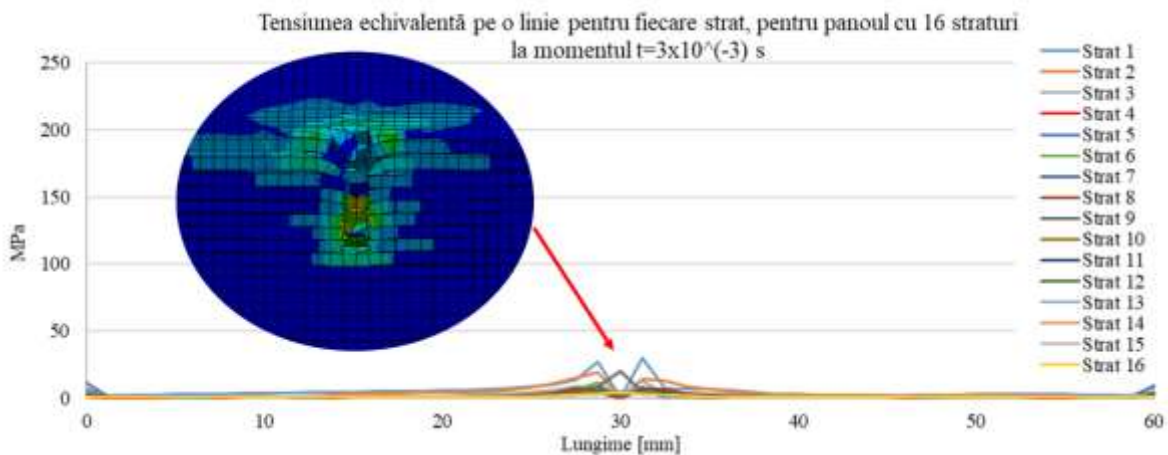


Fig. 3.17. Tensiunea von Mises pe o linie pentru fiecare strat, pentru eșantionul cu 16 straturi, la momentul de timp,  $t = 3 \times 10^{-3}$  s.

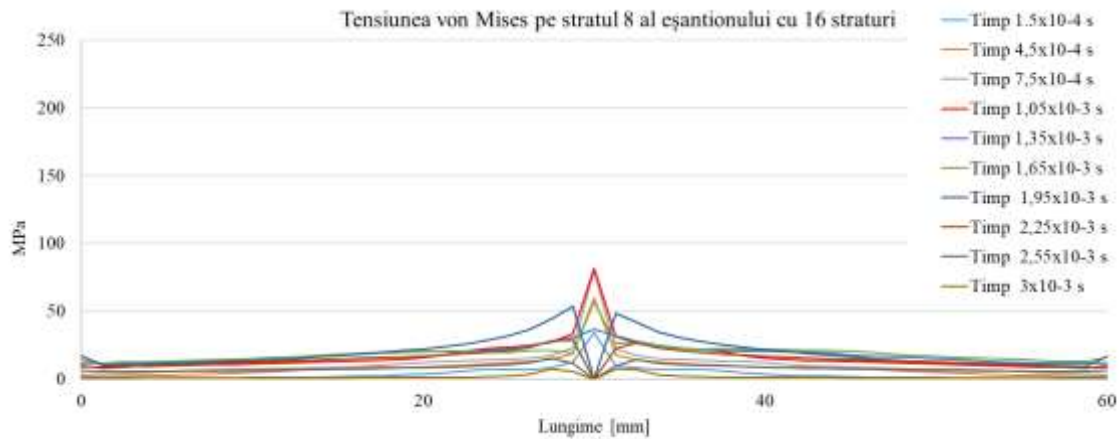


Fig. 3.18. Distribuția tensiunii von Mises la diferite momente de timp, pentru stratul 8, de cuțit, al panoului format din 16 straturi.

### 3.9. Concluzii și aspecte de validare a modelului

Validarea model numeric simulat se face prin evaluarea calitativă (Fig. 3.19., Fig. 3.20) și numerică a straturilor de material tăiate de cuțit. Modelul 16 straturi are 8 straturi tăiate și modelul cu 8 straturi prezintă tăierea tuturor straturilor. Această validare este esențială pentru a asigura că modelul este capabil să ofere rezultate precise și să rămână util în aplicații practice.

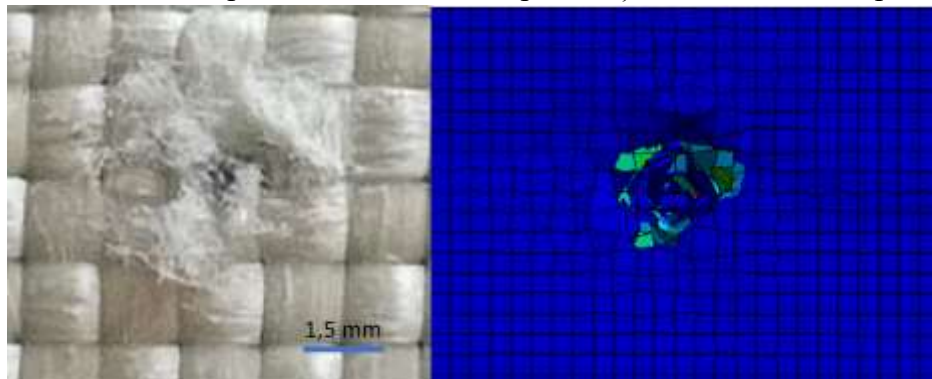


Fig. 3.19. Validarea modelului Distrugerea materialului fizic în partea stângă și distrugerea materialului pe simularea ANSYS în partea dreaptă

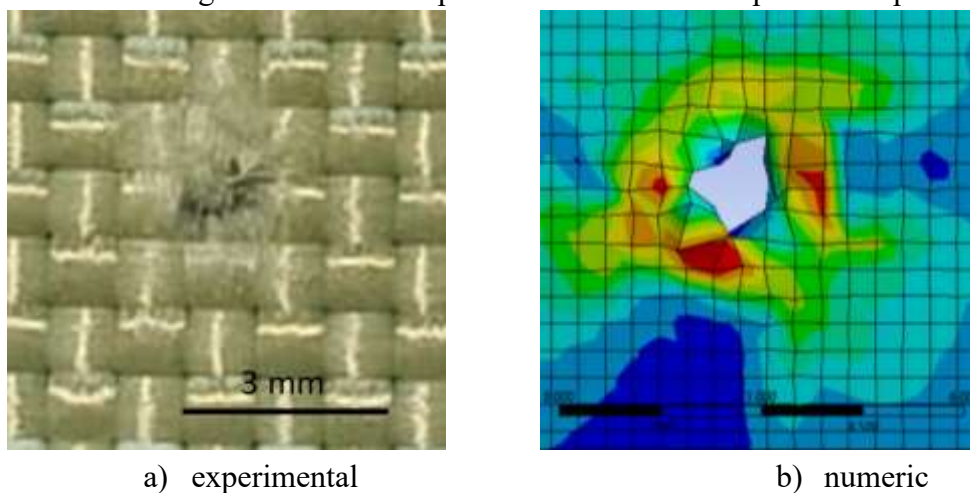


Fig. 3.20. Validarea modului de distrugere a stratului 1 al panoului cu 16 straturi



## Capitolul 4

# Materiale și metode de testare pentru evaluarea comportării panourilor la înjunghiere și înțepare

### 4.1. Introducere

Programul de testare este un efort de cercetare aplicată, care determină nevoile tehnologice ale agențiilor din sistemul judiciar, stabilește standarde minime de performanță pentru dispozitive specifice, testează echipamentele disponibile pe piață, în raport cu aceste standarde și diseminează standardele și rezultatele testelor către instituțiile interesate la nivel național și internațional.

Croft J. și Longhurst D., au revizuit, în anul 2007 standardul britanic, elaborat inițial în 1993 de Home Office Scientific Development Branch (HOSDB), în 3 părți, incluzând cerințe generale ale protecției individuale, protecție balistică și protecție la înjunghiere și înțepare. Partea a 3-a oferă posibilitatea de a alege echipamentul în funcție de trei niveluri de protecție împotriva amenințărilor cu cuțit și țepușe [Croft, J., 2007a], [Croft, J., 2007c].

Toate nivelurile de protecție de mai sus, descrise în partea 2 a standardului, pot fi combinate cu veste de protecție balistică, pentru a oferi o dublă protecție, împotriva înjunghierii și împotriva lovirii cu anumite lovituri balistice.

Documentul elaborat de Dixon și Croft în 2007 [Dixon C., 2007] privind cadrul de calitate, are ca scop standardizarea procedurilor privind evaluarea riscurilor și creșterea gradului de conștientizare a nivelurilor de achiziții/amenințări și a problemelor de sănătate și siguranță, la selectarea, achiziționarea și utilizarea vestelor antiglonț sau anti-înjunghiere.

Testarea vestelor anti-înjunghiere este crucială pentru siguranța și protecția utilizatorilor, pentru conformitatea cu standardele de calitate și siguranță și pentru dezvoltarea continuă a acestor echipamente esențiale în diverse domenii.

Există mai multe standarde internaționale și naționale, care reglementează testarea și certificarea vestelor anti-înjunghiere, elaborate pentru a asigura că aceste echipamente de protecție personală sunt sigure și eficiente în anumite condiții de testare.

Clasificarea unui panou de protecție (armură) care oferă două sau mai multe niveluri de protecție la diferitele locații de pe panou, trebuie să fie cea de protecție minimă, asigurată în orice locație pe panou.

Un sistem de vestă anti-înjunghiere trebuie să ofere protecție împotriva rănilor provocate de penetrare cu cuțite, arme tăioase și arme cu vârf ascuțit, asigurând în același timp faptul că mișcarea purtătorului nu este restricționată în mod nejustificat. Zona protejată asigură acoperirea organelor vitale: inima, ficatul, coloana vertebrală, rinichii și splina.

### 4.2. Importanța testării pentru materiale rezistente la arme albe (cuțite, țepușe)

Examinările deteriorării țesăturilor sunt solicitate în cazuri de înjunghiere sau înțepare. Acestea implică testarea cuțitelor sau a altor arme pentru a determina dacă acestea ar fi putut cauza deteriorarea îmbrăcăminte probatorii. În prezent, un medic legist efectuează aceste teste prin efectuarea manuală a acțiunii de înjunghiere. S-a efectuat un test de performanță biomecanică pentru a evalua modul în care o serie de factori umani contribuie la crearea de deteriorări textile prin înjunghiere. Studiile privind accidentele mortale provocate

de forță ascuțită și rănille penetrante clinice au raportat pieptul și abdomenul ca fiind cele mai frecvente locații țintă pentru rănille prin înjunghiere. S-a constatat că localizarea leziunilor de tip tăietură, înregistrate în timpul testului, este corelată cu localizarea rănilor prin înjunghiere suferite în cazuri reale de înjunghiere. [Croft J., 2007].

Sloan și alții [Sloan K., 2020] au studiat variabilitatea factorului uman care contribuie la acțiunea de înjunghiere, 40 participanți au efectuat acțiuni de înjunghiere cu 3 arme, cu lame (cuțit utilitar, cuțit de vânatoare și o macetă), în fața și în spatele țintei (un manechin). Tipul de armă are un impact diferit asupra acțiunilor. Maceta a fost utilizată în cea mai rapidă acțiune, înregistrând o viteză maximă de 9,6 m/s. Testele efectuate se încadrează în intervalul de viteze de lovire de 3-4 m/s, ceea ce se aliniază la publicațiile de specialitate. Majoritatea scenariilor de înjunghiere sunt dinamice și pozițiile victimelor și agresorilor sunt adesea necunoscute. Cea mai mare variabilă a fost individul. Standardizarea simulării experimentelor prin utilizarea de sisteme mecanice sau robotizate ar fi avantajoasă pentru a elimina variația naturală care este inerentă performanței umane de înjunghiere.

#### 4.3. Criterii de clasificare a testelor pentru evaluarea protecției la înjunghiere și înțepare

O lucrare interesantă, publicată de Johnson, A.A., Bingham, G.A. and Majewski, C.E. [Johnson A., 2017], prezintă teste efectuate pe probe relativ mici (50 mm x 50 mm), decupate dintr-o vestă, pentru a compara rezistența la înjunghiere cu o lamă de atac. Proba este așezată direct pe o cutie cu plastilină balistică și nu este prinsă în sistemul de inele ca la mașina Instron CEAST 9340 pe care s-au făcut testele pentru acest studiu. Pe un eșantion atât de mic, reacția poate fi diferită de reacția unui panou frontal de la o vestă reală. Deși testele sunt particularizate pentru acest studiu, lucrarea este meritorie pentru că evidențiază arme cu risc mai mare de traumă/penetrare. Rezultatele au demonstrat că lamele de tăiere Stanley Tools 1992 au fost de cel puțin trei ori mai puternice în ceea ce privește penetrarea la înjunghiere decât cea a lamei HOSDB P1/B, atunci când au fost testate împotriva specimenelor de veste antiglonț KR1 certificate. Prin urmare, există o valoare semnificativ mai mare de amenințare impusă de lama utilitară, mai ușor disponibilă și mai accesibilă.

Primul nivel de energie, este numit „E1”. În aceste condiții, este permisă o penetrare maximă a lamei sau a vârfului de 7 mm, determinată prin cercetări care indică faptul că leziunile interne ale organelor ar fi extrem de puțin probabile.

O clasificare a testelor executate de cercetători, se poate face astfel:

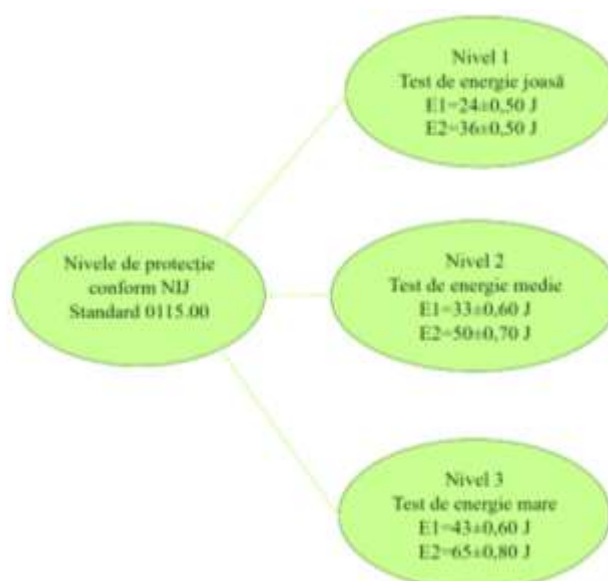


Fig. 4.1. Nivele de energie la testare pentru protecție la înjunghiere și înțepare [NIJ Standard-0115.01]

- teste care pot ierarhiza rezistența la înjunghiere și/sau înțepare, imitând cât mai multe condiții similare atacului real (testele pe mașini drop-test, la care se poate respecta energia de impact, viteza, arma, dar nu imită realist prinderea sau rezemarea panourilor);

- teste conform standardelor acceptate pentru evaluarea rezistenței la înjunghiere, în condiții mai apropiate de realitate [NIJ Standard 0115.01].

Au fost achiziționate următoarele materiale:

- materialele Twaron SRM509 și Twaron CT736CMP; tuburi de spray Tesa profesional (Spray glue extra strong).

- materiale auxiliare: foi de cauciuc, foi bureți de două dimensiuni și calități diferite; hârtie martor polyart;

- materiale pregătirea probelor: cleme de susținere, cuttere cu lame de rezervă, folii protectoare pentru probe;

- materiale pentru armele albe: 4 bare din oțel HSS-CO8%4X20X200, 2 cu secțiunea de 4 mm x 40 mm și 2 cu diametrul de 4 mm,

- materiale auxiliare: creion, riglă, markere permanente, trepid, aparat de fotografiat.

A treia etapă a constat în pregătirea materialelor și probelor de testat.

O altă etapă este realizarea planului de testare. S-au făcut 2 tipuri de teste: teste care sunt mai apropiate de cele realiste pe instalația de la CCIACBRNE, seamăna cu realitatea și teste care ne ajută să ierarhizăm materialele, pe mașina de testat Instron CEAST 9340 de la INCAS, care subliniază importanța testării pentru materialele rezistente la arme albe (cuțite și țepușe).

Testele au fost executate pe 3 tipuri de material: Twaron CT736CMP, Twaron SRM 509 și Twaron SRM 509 lipit.

Operațiile de realizare ale panoului sunt:

- stabilirea dimensiunii acestuia și trasarea cu marker pe țesătură de pe rolă;

- tăierea foilor; s-a lucrat cu panouri de 130mm x130mm la INCAS și panouri 400 mm x 400 mm la CBRN;

- compunerea panourilor a presupus mai multe etape, și anume: stabilirea numărului de straturi, cântărirea și măsurarea grosimii fiecărui în parte.

La panourile de Twaron SRM lipit, au fost necesare operații suplimentare, astfel:

- s-a pulverizat fiecare foaie cu un adeziv tesa® Extra Strong 60022, din cauciuc sintetic, cu formare de peliculă adezivă, pentru lipirea permanentă a materialelor;

- s-au așezat straturile de material parte peste parte și s-au lipit;

- presarea lor cu o greutate de 0,75 kg, sub o placă, timp de 24 de ore;

- probele sunt așezate în plicuri și lăsate pentru a intra în procesul de îmbătrânire naturală timp de 48 ore.

#### **4.4. Materiale și metode utilizate în testarea panourilor de protecție la înjunghiere și înțepare**

##### **4.4.1. Materiale pentru panourile anti-înjunghiere și anti-înțepare, elaborate de autor**

Materialele utilizate în această lucrare de cercetare sunt furnizate de firma Teijin Limited [Teijin Aramid].

Teijin Aramid a dezvoltat și Twaron® SRM, din Fig. 4.2 (b), acesta fiind un material unic, care oferă o protecție superioară împotriva unei game largi de arme. Twaron® SRM încorporează țesătura cu microfilamente Twaron® CT, cu o acoperire dintr-o matrice polimerică și în care sunt înglobate particulele abrazive din carbură de siliciu (Fig. 4.3). Acoperirea absoarbe și amortizează împunsătura lamei sau a acului ca și cum ar fi un corp mai rigid, iar energia impactului este apoi absorbită de rezistența ridicată la impact și tenacitatea firelor para-aramidice din țesătura de dedesubt. Datorită matricei speciale, materialul este destul de flexibil.

Hockauf a testat CT736 CMP pentru aplicații balistice [Hockauf M., 2007]. Această țesătură ce a fost menționată doar în câteva articole recente pe ScienceDirect (Elsevier).

Huang a testat la impact de viteză mică panouri din țesătura Twaron® CT 612, dar nu cu cuțit sau țepușă ci cu un indentor sferic [Huang C., 2021]. Experimentele de impact cu greutate de cădere la joasă viteză ale țesăturii simple Twaron® CT 612 la o energie de impact de 15 J, 20 J și 30 J, sunt efectuate pe un tester de impact. Rezultatele experimentale reafirmă faptul că Twaron® este un material sensibil la rata de impact și că o energie de impact mai mare a dus la o sarcină de rupere mai mare, o deformare de rupere mai mare, o absorbție de energie mai mare și o durată mai scurtă de contact cu țesătura.

Cercetările efectuate de Kędzierski P. (în care a folosit CT709), au confirmat faptul că structurile brodate, în combinație cu structurile țesute, pot îmbunătăți semnificativ proprietățile țesăturii de protecție folosită la apărarea personalului [Kędzierski P., 2022].

Panourile codificate SRM509 lipit, sunt panouri executate de autor, prin lipirea cu un adeziv relativ elastic (flexibil) a straturilor de SRM509.

Adezivul este pulverizabil, marca tesa® Extra Strong 60022, din cauciuc sintetic, cu formare de peliculă adezivă pentru lipirea permanentă a materialelor gen plastic, textile, carton, spumă de cauciuc, materiale izolante, vinil, piele, piele sintetică, cauciuc, metal și lemn. Adezivul rezistă la umezeală și la temperaturi de până la 100°C pe termen scurt, respectiv 80°C pe termen lung. Pentru lipirea bucăților de țesătură SRM509 s-a curățat suprafața în jet de aer moderat pentru înlăturarea prafului.

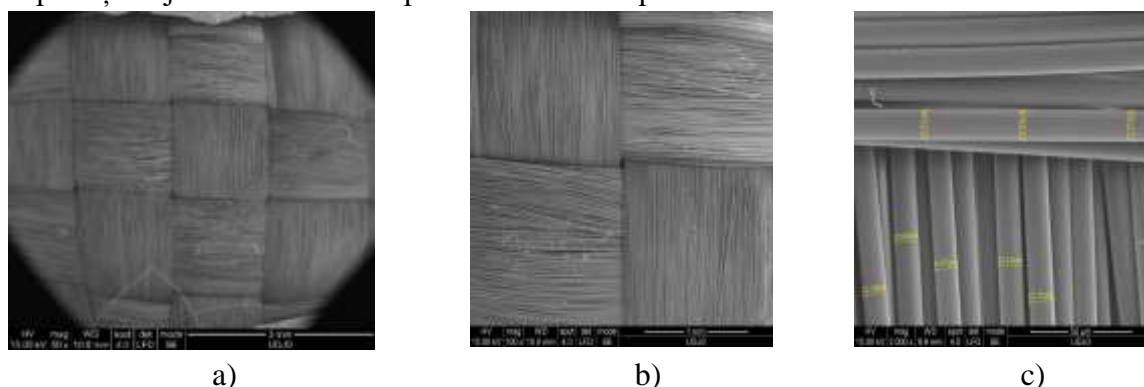


Fig. 4.2. Imagini SEM a materialului CT736 (a) și (b) țesătura (c) dimensiunea fibrei

Twaron® CT736 și Twaron® CT737, cu 1680 dtex - tip 2000 [Teijin. Handbook of ballistic materials, QMB1.1 20181001EN], prima folosită în acest studiu, sunt țesături balistice de 410 g/m<sup>2</sup>. CT736 poate avea aranjarea firelor în basket 2x2 sau de tip plană sau 1/1. CT737 este o țesătură twill 2x2 Z, pentru o mai bună capacitate de drapaj în cazul

pieselor cu forme dificile: căști balistice de ultimă generație, cizme de mină. Twaron® CT736 este o țesătură folosită cu succes pentru producția de căști balistice moderne de ultimă generație, dar și pentru alte aplicații balistice. Această țesătură este disponibilă impregnată cu PVB pur sau cu PVB fenolic.

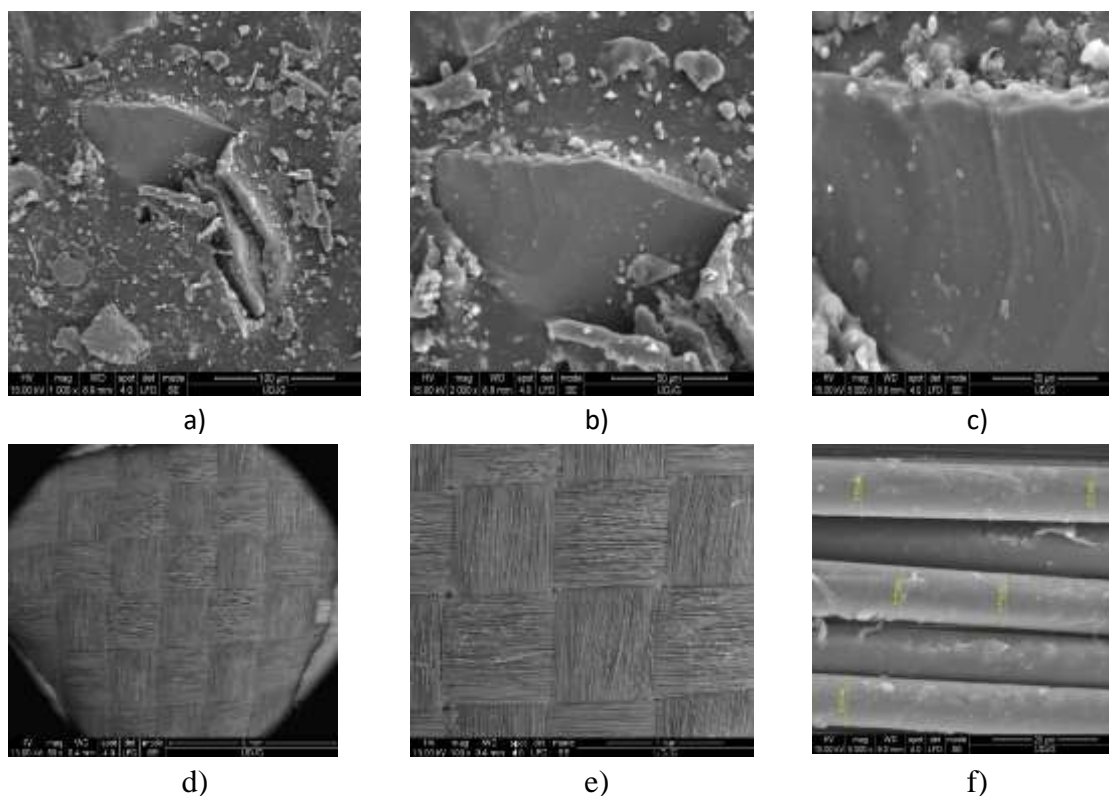


Fig. 4.3. Imagini SEM ale țesăturii SRM509 (a), (b), (c), , carbură de siliciu fața materialului, (d), (e), spatele materialului reprezentat de țesătura, (f) dimensiunea fibrei

Pe lângă protecția împotriva impactului balistic, protecția împotriva atacurilor cu arme ascuțite a devenit o chestiune din ce în ce mai prioritară. Din ce în ce în mai multe țări, ofițerii de poliție se confruntă cu amenințarea tot mai mare a unei game largi de arme albe.

Teijin Aramid a dezvoltat și Twaron® SRM, un material unic care oferă o protecție superioară împotriva unei game largi de arme. Twaron® SRM încorporează țesătura cu microfilamente Twaron® CT cu un înveliș funcțional din carbură de siliciu, care este înglobat într-o matrice. Acoperirea absoarbe și amortizează împunsătura lamei sau a acului ca și cum ar fi o folie mai rigidă, iar energia impactului este apoi absorbită și de rezistența ridicată la impact și tenacitatea firelor de para-aramidă din țesătura de dedesubt. Datorită matricei speciale, materialul este flexibil [Teijin Ballistics Material Handbook, 38-14-05/2012].

#### 4.4.2. Materiale auxiliare pentru efectuarea probelor de înjunghiere și înțepare

Au fost folosite aceleași materiale auxiliare pentru ambele seturi de teste, cel pe mașina drop-test Instron CEAST 9340 și cel realizat pe instalația de la CBRNE.

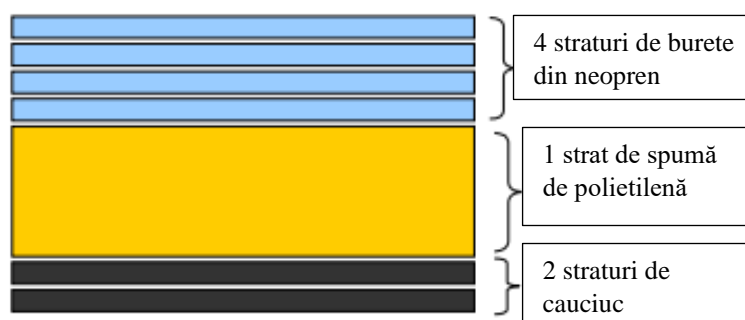


Fig. 4.4 Material suport din straturi de burete și cauciuc [NIJ 0115.01, 2020]

Pentru materialul suport [NIJ 0115.01] se recomandă configurația din Fig. 4.4. Ținând cont de aceste recomandări și de posibilitățile de aprovizionare, am selectat următoarele materiale pentru pachetul suport al panoului de testat prezentate în Tabelul 4.1.

**Tabelul 4.1.** Caracteristici ale componentelor materialului suport folosite în această teză

Materialul componentei	Specificații	Furnizor din România
Burete	25 kg/m <sup>3</sup> , tip HR, rezistența presiune 2000 kPa 8 mm grosime	Intex Conect SRL Giugiu
Burete moale	35 kg/m <sup>3</sup> densitate, tip HR, rezistența presiune 2500 kPa, 30 mm	Intex Conect SRL, Giugiu
Placa tehnică cauciuc SBR -	6mm grosime, lis, negru, 1400mm lățime Duritate 65±5°Shore A, 6mm grosime	SC Arte Rubber Distribution SRL

Hârtia martor este o hârtie specială care nu se deșiră după testare și, deci, lungimea tăieturii este realist apreciată de lungimea tăieturii în hârtie. În panou și în plăcile de burete, efectul de revenire/relaxare a materialelor ecranează lungimea tăieturii reale. În această lucrare s-a folosit o singură hârtie martor, așezată între spatele panoului și prima placă de burete de 8 mm.

Standardul [NIJ 0115.01] recomandă o singură foaie de hârtie polyart, plasată între eșantion și materialul suport pentru măsurarea pătrunderii cuțitului. Calitatea hârtiei este caracterizată prin: densitatea superficială de 140g/m<sup>2</sup>, grosimea de 0.178 mm. În această lucrare a fost folosită hârtie PolyArt, de la firma Antalis SA București, care au livrat hârtia tăiată la dimensiuni de 130 mm x130 mm și 400 mm x400 mm, dimensiuni ale eșantioanelor testate în această lucrare. PolyArt este o "hârtie" sintetică, realizată din HDPE (polietilena de mare densitate), tratată pe ambele fețe, durabilă, rezistentă la apă și la factori mecanici. Hârtia Polyart este utilă pentru determinarea adâncimii de pătrundere numai atunci când se utilizează lame de cuțit. Ea nu este eficientă pentru testele cu țepuță, deoarece țepușele nu lasă o urmă bine definită în hârtia martor. Adâncimea de penetrare a țepușelor se măsoară direct cu o riglă cu scală milimetrică.

Dacă are loc perforarea/penetrarea panoului, hârtia martor păstrează dimensiunea pătrunderii (ca lungime), dimensiune care poate fi folosită pentru determinarea adâncimii de pătrundere. Tien D. T. et al. [Tien D. T., 2010] au folosit alt aranjament al materialelor

suport. Este printre puținele lucrări care au testat două arme (cuțit S1 și țepușă) recomandate în [NIJ 0115.01], dar doar la un singur nivel de energie, 24 J.

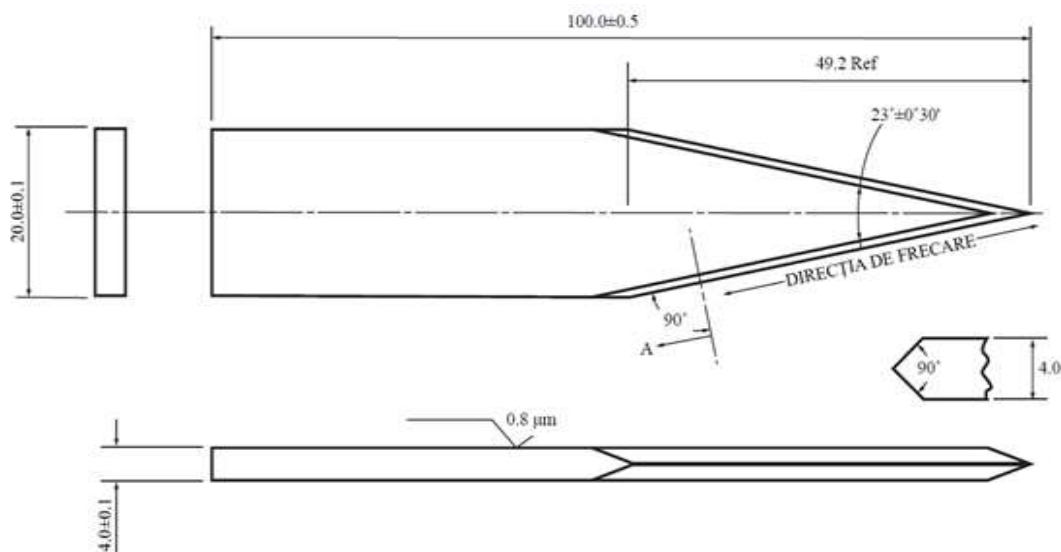
În această teză s-au realizat teste la trei nivele de energie, la valorile recomandate în NIJ 0115.01, atât pentru testele de ierarhizare a materialelor cât și cele executate pe panouri mai mari, cu prindere recomandată în acest standard. Materialul suport al probelor de testat, se înlocuiește atunci când acesta nu mai poate fi folosit, deoarece a fost tăiat/înțepat la loviturile anterioare [NIJ 0115.01].

#### 4.5. Arme albe, utilizate la testele de înjunghiere și înțepare

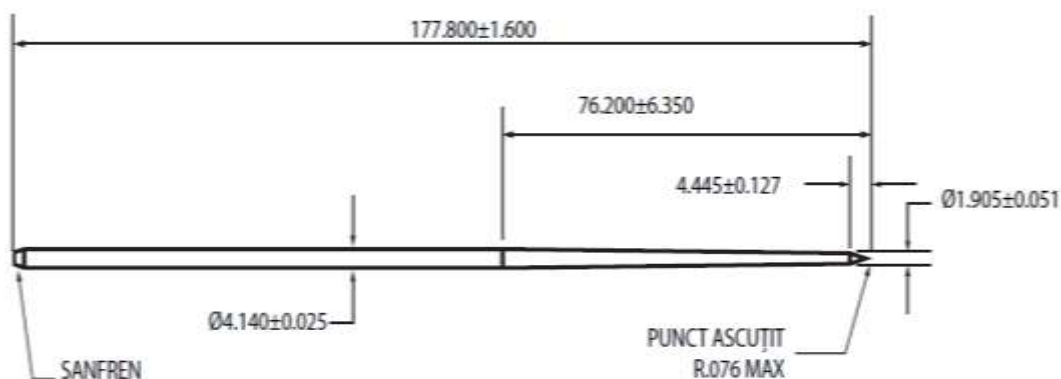
Din amenințările enumerate de standardul NIJ 0115.01 au fost alese două din cele trei recomandate din motive de timp de realizare a testelor și de cheltuieli cu materialele de protecție, care sunt relativ scumpe. Lama de cuțit S1 și țepușă au fost executate conform desenului din Fig. 4.5 și respectând geometria dată în [NIJ 0115.01].

Pentru acest studiu s-au achiziționat platbande și o bară rotundă din oțel B01 (oțel rapid de scule, cu duritate 52...55 HRC), de la firma Proma Machinery SRL. Bara a avut dimensiunile inițiale 20 mm x 4 mm x 200mm, cod B014/20x04, iar barele rotunde au avut diametrul de 4 mm, cod B012/04. Prelucrarea a fost realizată la Facultatea de Inginerie din Universitatea „Dunărea de Jos”.

B01 BS4659 este un oțel destinat confecționării sculelor de prelucrare la rece. Materialul este compus dintr-o combinație de mangan, crom și wolfram. Oțelul pentru scule B01 oferă caracteristici care includ o bună duritate a suprafeței după revenire, stabilitate dimensională în călire și prelucrabilitate. Acesta este echivalent cu mărcile AISI 01, GB 9CrWMn, JIS SKS3, ASTM A681, DIN 17350, BS ISO 4957:2018. [B01 tool steel (4659), <https://www.smithmetal.com/bo1-tool-steel.htm>]. Oțelul B01 marca HSS-Co 8% are următoarele caracteristici: stabilitate dimensională, prelucrabilitate bună, durabilitate bună, o excelentă rezistență la uzură și pentru utilizarea lui ca lame de tăiere, duritate superficială foarte bună și constantă pe suprafața tratată termic. Călirea lui se face în ulei. Aplicațiile includ: unelte, poansoare, unelte de punctat, componente active de matrițe și ștanțe.



(a)



(b)

Fig. 4.5. Dimensiunile armelor albe cu care s-au realizat testele conform (NIJ 0115.00.)  
cuțit (a) și țepușă-sulă (b)

#### 4.6. Tehnologia de obținere a panourilor la nivel de laborator

Dintr-o rolă de Twaron SRM509 cu dimensiunea de 1,64 m s-au măsurat pătrate cu dimensiunea de 400 mm x 400 mm, care apoi s-au tăiat. Ulterior, aceste pătrate au fost împărțite în pătrate mai mici, cu dimensiunea de 130 mm x 130 mm fiecare, datorită faptului că la aparatul de testat probe Instron 934, de la Institutul Național de Cercetare Dezvoltare Aerospațială “Elie Carafoli” – INCAS București, pe care s-au făcut o parte din teste, nu încap probe de dimensiuni mai mari. La fel am procedat și cu plăcile de material Twaron CT 736CMP, din acest material am realizat doar nouă pachete (de 16, 24 și 32 straturi).

După ce au fost tăiate la dimensiunile stabilite, foile au fost grupate în pachete de câte 16 straturi, 24 straturi, 32 straturi și, respectiv, 40 straturi. Unele pachete de probe s-au realizat prin lipire, strat cu strat, folosind spray Tesa profesional (Fig.4.6). Probele au fost introduse individual în folii protectoare, cu etichetele de identificare corespunzătoare.

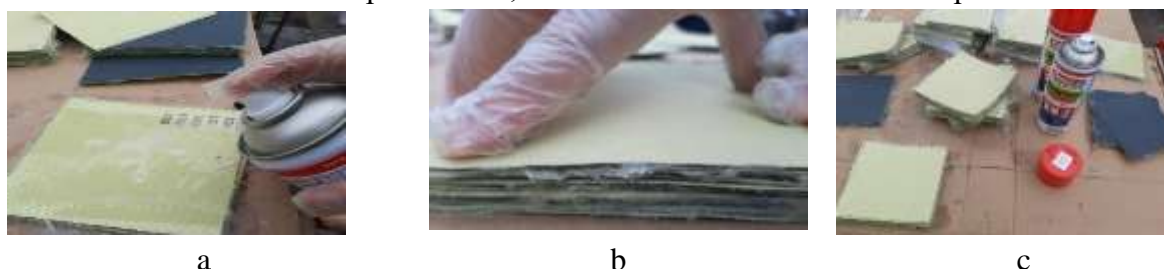


Fig. 4.6. Lipirea plăcilor, strat cu strat, folosind spray Tesa profesional. (a) pulverizarea probei de dimensiuni de 130mm x130 mm, c) formarea panourilor

#### 4.7. Campania de testare pentru evaluarea comportării panourilor elaborate la înțepare și înjunghiere

##### 4.7.1. Procedura de testare pentru mașina drop-test Instron 9340 de la INCAS

Următoarele planuri de testare sunt date pentru un singur material. Aceste planuri de testare din Figurile 4.7 și 4.8 au fost respectate pentru panouri realizate din SRM509 și SRM509 lipit. Pentru panourile din CT736 s-au făcut câteva teste (câte 3 teste pentru  $E_N=24 \text{ J}$  și panouri cu 16, 24, și 32 straturi).



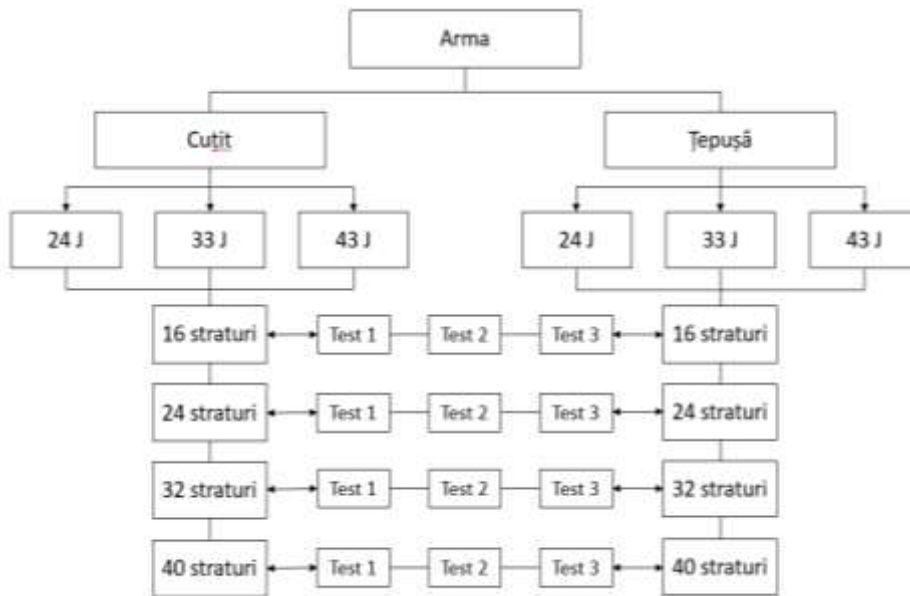


Fig. 4.7. Plan de teste pentru mașina drop-test Instron 9340, din cadrul Institutului Național de Cercetare Dezvoltare Aerospațială “Elie Carafoli” – INCAS București

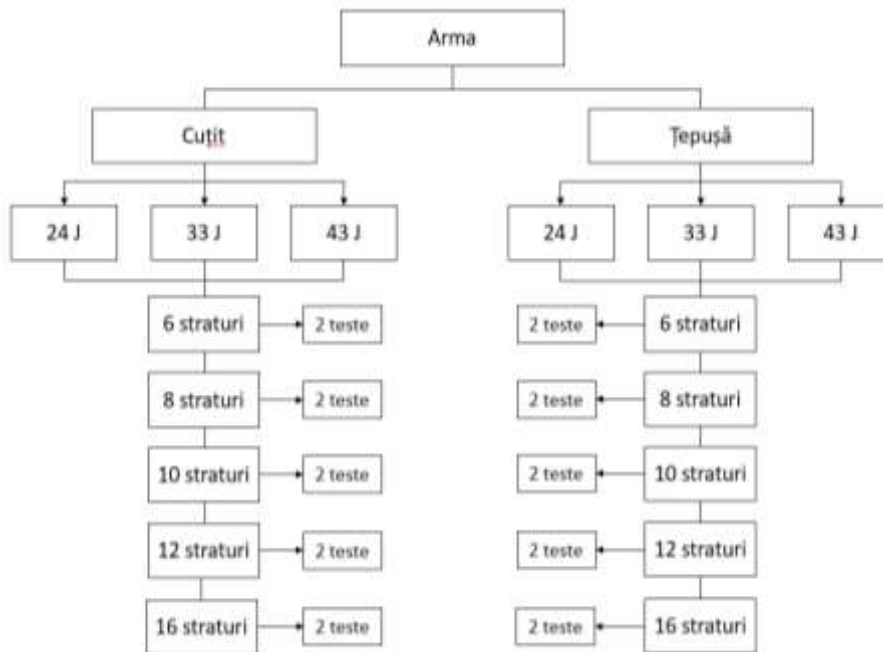


Fig. 4.8. Plan de teste pentru instalația de testare de la CCIACBRNE București

Lotul de pachete de probe pregătite pentru testare pe mașina Instron 9340 a fost:

- teste cu cuțit S1 - 72 probe Twaron SRM509 + 9 probe Twaron CT 736CMP
- teste cu țepușă - 72 probe Twaron SRM509.

Total probe efectuate la INCAS București = 153 teste.

Un grup de teste la o anumită valoare a energiei de lovire și cu un anumit număr de straturi, va fi format din trei mostre de armură, dimensionate.

Probele au fost realizate pe trei nivele, pentru fiecare energie în parte: 24 J, 33J, 43J, așa cum apare în NIJ Standard-0115.00.

Pentru materialul CT 736 s-au făcut câte 3 teste pentru energia 24J și 3 numere de straturi și teste.

Realizarea pachetelor a fost conform NIJ Standard-0115.00. În partea inferioară au fost așezate cele 2 straturi de cauciuc, peste ele au urmat straturile de bureți, apoi hârtia polyart sau martor, peste acestea a fost așezată proba de executat, cu eticheta inscripționată cu detaliile eșantionului, după cum arată Fig. 4.9.

#### 4.7.2. Procedura de realizare a testului pe mașina Instron CEAST 9340 (INCAS).

Următoarele planuri de testare sunt date pentru un singur material. Aceste planuri de testare au fost respectate pentru panouri din țesături SRM și SRM lipit.

Procedura de testare pe mașina Instron 9340 cuprinde următoarele operații [Instron, CEAST 9340 Instructions for Use and Maintenance, 7510.000MN1r, ed. 1 rev. 1]:

- verificarea calității materialului și a numărului de straturi,
- verificarea parametrilor testului (numărul probei, 1, 2 sau 3, nivelul de energie),
- verificarea etichetelor setului de 3 probe, să aibă aceeași informație: material, număr de straturi, masă, grosime, energie, amenințare, test număr, dată,
- verificarea materialului suport ca ordine a componentelor (hârtie, burete, numărul de foi, hârtie, bureți subțiri 8mm x 3, burete gros 30 mm și cauciuc 2 bucăți x6 mm,
  - cântărirea probei și consemnarea în tabel,
  - măsurarea grosimii probei; se măsoară în patru puncte, se trec în tabel, se calculează media și abaterea standard,
  - se așează un singur strat de hârtie polyart, care este plasat între armură și stratul superior al materialului suport compozit, pentru a oferi un posibil mijloc de măsurare a penetrării cuțitului, în testele de înjunghiere cu lamă. Dacă are loc pătrunderea completă a armurii, hârtia martor va fi tăiată sau străpunsă. Dimensiunile tăieturii pot fi utilizate pentru a determina adâncimea de penetrare după cum arată Fig.4.10.b,
  - eticheta – unde se găsește denumirea materialului (nume, număr sau altă descriere); care servește la identificarea în mod unic a unei configurații specifice de armură, pe baza detaliilor construcției panoului de protecție (adică numărul de straturi din unul sau mai multe tipuri de material rezistent la înjunghiere, masa eșantionului, grosimea probei, energia de lovire, tăietura sau urma pe panou lăsată de armă, față sau spate, număr test, data când s-au făcut testele și numele celui care exploatează materialele de testat după cum sunt prezentate,
  - verificarea armei (tăiș sau vârful), să nu aibă urme de abraziune de la testele anterioare. Dacă există, lama se rectifică din nou și se verifică unghiul la vârful și unghiul muchiei de tăiere,



Fig. 4.9. Pregătirea probelor pentru testare pe mașina Instron 9340

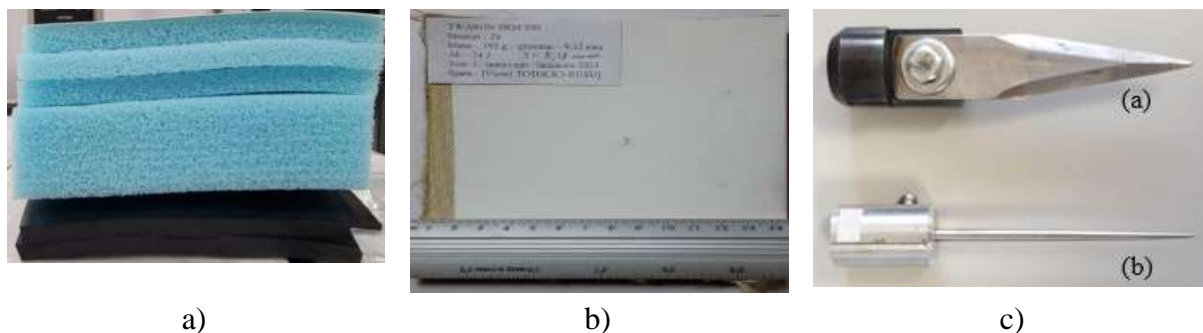


Fig. 4.10. Așezarea straturilor (a) vedere din lateral 2 straturi de cauciuc 2x6 mm în partea inferioară, 1 burete de dimensiunile 30mm (mijloc) și 3 trei straturi de bureți subțiri cu dimensiunea de 8mm (partea superioară), (b) hârtia polyart sau martor; c) Dispozitivele de prindere a armelor pentru mașina de testat Instron CEAST 9340 INCAS cuțit (a) și țepușă (b)

- reglarea mașinii - stabilirea parametrilor de interes de la mașină: forță, deplasare, viteză, energie și stabilirea formei de înregistrare a rezultatelor,
- prinderea armelor de impactorul mașinii se face cu un sistem șurub-piuliță, după cum arată în Fig. 4.10c,
- montarea probei în suportul ei: pachetului panou cu materialul suport,
- strângerea pachetului cu inele la 0,8 MPa,
- închiderea ușii deoarece altfel nu pornește mașina de testare,
- realizarea testului,
- scoaterea probei testate din mașina și verificarea tăieturii,
- etichetarea hârtiei martor,
- după testare, prinderea straturilor panoului cu 2 cleme și etichetarea panoului,
- efectuarea a trei teste consecutive și verificarea dacă rezultatele sunt apropiate (curba forță - timp și curba energie - timp),
- verificarea înregistrărilor în memoria calculatorului,
- verificarea listei de teste și închiderea mașinii, scoaterea mașinii de sub tensiune,
- măsurarea dimensiunilor tăieturii pentru cuțit și a orificiului pentru țepușă,
- introducerea probelor, individual, în folii protectoare, cu etichetele de identificare.

După finalizarea testelor, s-a trecut la crearea bazei de date cu rezulate obținute (după cum se poate observa în Anexa 5 cu date experimentale). Prelucrarea datelor s-a făcut prin calcularea mediilor parametrilor mășurați s-au calculați și a deviației standard pentru fiecare.

#### 4.7.3. Parametrii mășurați și repetabilitatea testelor de la Instron CEAST 9340

Repetabilitatea reprezintă gradul de concordanță dintre rezultatele măsurătorilor succesive ale aceleiași măsuri, atunci când sunt efectuate în aceleiași condiții de măsurare. O măsurătoare este repetabilă atunci când această variație este mai mică decât un criteriu de acceptare prestabilit. Pentru stabilirea repetabilității trebuie îndeplinite următoarele condiții: - același observator, -aceleiași condiții, -aceleiași instrument de măsurare utilizat în aceleiași condiții, -aceiași locație, -repetarea pe o perioadă scurtă de timp, aceleiași obiective [JCGM 100:2008, Evaluation of measurement data].

Figura 4.11 este un exemplu de prelucrare a datelor experimentale pentru un set de 3 teste efectuate în aceleași condiții.

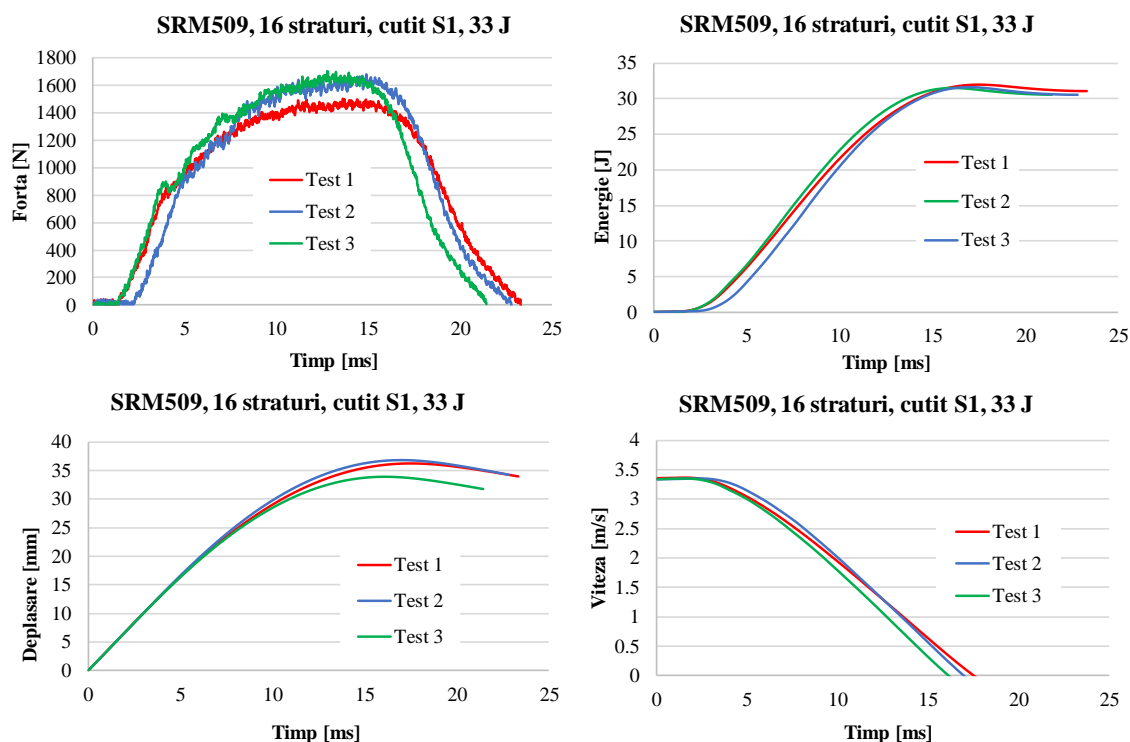


Fig. 4.11. Exemplu de grafice cu datele experimentale obținute în urma testării cu mașina de testat Instron CEAST 9340 de la INCAS, pentru evidența repetabilității

#### 4.7.4. Procedura de testare și instalația de testare de la CCIACBRNE

Deși inițial planul de teste a fost stabilit asemănător pentru mașina drop-test și pentru instalația de testat de la CBRNE, diferența dintre mărimea probelor și sistemele de prindere a acestora, și rezultatele preliminare mult diferite pentru probele cu 16 straturi, au dus la modificarea planului de testare de pe instalația de testat la înjunghiere de la CBRNE.

A doua parte a testelor, s-a realizat la CCIACBRNE – Centrul de Cercetare și Inovare pentru Apărare CBRN și Ecologie București. Instalația de la CCIACBRNE este prezentată de Fig. 4.27.

Pachetele de probe, pentru această etapă de testare, s-au realizat din plăci de material Twaron SRM509, cu dimensiunea de 400mm x 400mm. Pachetele de probe au fost realizate, în acest caz, prin suprapunerea plăcilor, în număr de 6 straturi, 8 straturi, 10 straturi, 12 straturi, respectiv 16 straturi, obținându-se un număr de 11 pachete. Totalul de probe utilizate pe instalația de la CCIACBRNE a fost de 11 panouri și 66 teste.

Lotul de pachete de probe pregătite pentru testare în cadrul CCIACBRNE, este prezentat în tabelul 4.8. de mai jos:

Totalul testelor executate sub instalația de testare la înjunghiere și înțepare din cadrul CCIACBRNE este de 66 teste.

Încercările se efectuează utilizând un ansamblu de tuburi de ghidare. Acest sistem a fost proiectat pentru a permite ca masa de cădere (arma albă) să cadă sub influența gravitației

și să lovească proba de armură într-un punct de impact prestabilit. Sistemele de prindere, situate în exteriorul tubului, împiedică ca tubul să se rotească în jurul axei sale sau să cadă în lateral stânga sau dreapta în timpul testului, asigurând ca lama cuțitului sau vârful țepușei de testare din interiorul tubului, să lovească la orientarea corectă și continuă, până când se oprește.

Armele sunt prinse într-un dispozitiv cu un șurub, formând sistemul impactor sau masa de cădere.

Lama de cuțit este prelucrată și proiectată pentru a reprezenta un tip de armă cu tăiș, folosită în atacuri. Lama de cuțit reproduce o lamă în stil comando cu vârf ascuțit, mai groasă și are două margini de tăiere cu o coloană rigidă.

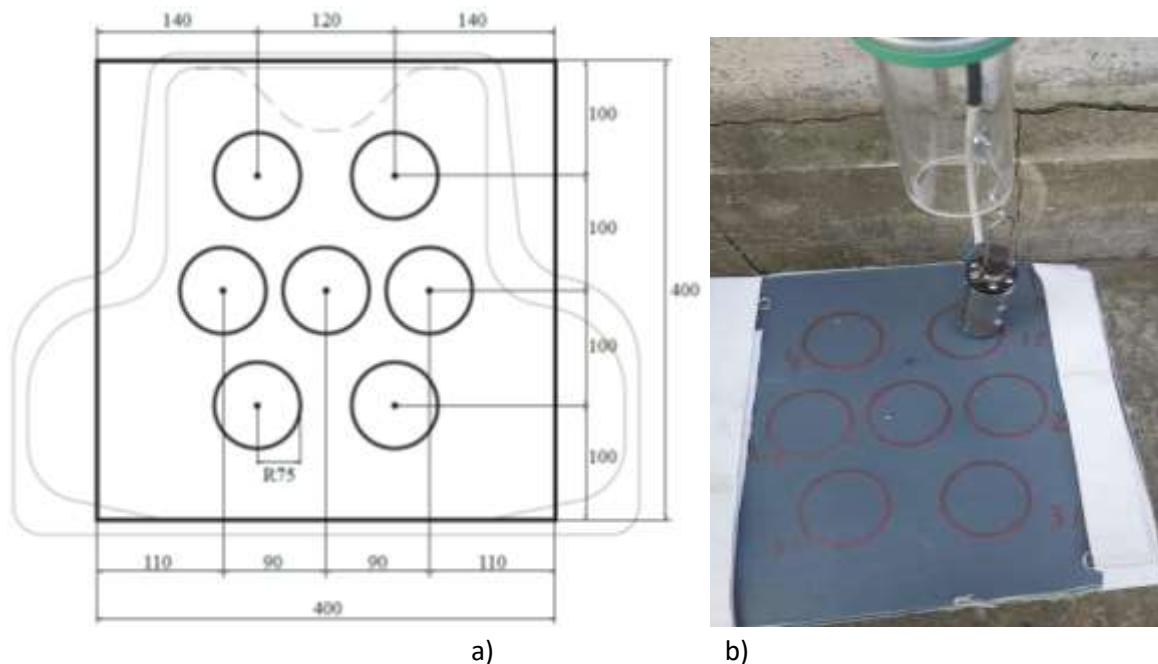


Fig. 4.12. a) Șablon pentru poziționarea loviturilor pe panoul de testat, pe un model de tipar de vestă, partea frontală și spatele, cu dimensiunile din standardul (NIJ 0115.00) după care s-a executat șablonul pentru poziționarea loviturilor b) Pregătirea instalației electromagnetice de testare cu tub de ghidare și prinderea cu chingă a probei testate

Se utilizează un șablon pentru a marca locațiile pozițiilor de impact, prevăzute pentru înjunghiere. Figura 4.12 ilustrează un model tipic de șablon pentru un panou frontal și unul posterior. Un singur impact poate fi plasat în fiecare zonă de impact prezentată în Fig.4.12. Nu se va utiliza poziția centrală.

Dispozitivul de cădere constă dintr-o lamă sau un vârf de cuțit proiectat, un dispozitiv de prindere (Fig. 4.13) pentru a ține lama cuțitului sau vârful în poziție și sabotul de nailon, conceput pentru a se asigura că lama cuțitului sau vârful cade vertical în interiorul aparatului tubului de cădere.

O procedură de testare include operațiile și ordinea acestora în detaliu privind verificarea probei, montarea probei în instalația CBRN, reglarea parametrilor testului etc.



Fig. 4.13. Masa impactorului (a) cu cuțit S1, (b) cu țepușă (în kg)

**Tabelul 4.2.** Înălțimea de cădere a impactorului pentru a avea o anumită energie

E [J]	$h_{(\text{cuțit S1}), [m]}$	$h(\text{țepușă-sulă}) [m]$
24	1,1	1,2
33	1,6	1,7
43	2,0	2,2

Am realizat teste preliminare pe un panou de 16 straturi de 400 mm x 400 mm, la energia 43 J și 62 J și s-a observat că nivelul de energie este mai mic. Pe baza acestor teste preliminare, s-au modificat grosimile panourilor care vor fi testate pe această instalație. Panourile de probe au fost realizate cu un număr de 6 straturi, 8 straturi, 10 straturi, 12 straturi, respectiv 16 straturi, obținându-se un număr de 11 pachete. Totalul de probe utilizate pe instalația de la CCIACBRNE a fost de 11 panouri și 66 teste.

Înainte de testare și în timpul executării probelor se fac următoarele operații:

- scoaterea din folia individuală protectoare a pachetelor cu etichetele de identificare,
- operații de cântărire și măsurare a panoului,
- prinderea straturilor panoului cu cleme,
- calculul înălțimii de cădere a impactorului pentru fiecare energie (24 J, 33 J și 43 J),
- verificarea panourilor măsurate și pozițiile de impact,
- poziționarea probei și a materialului-suport pe suportul din plastilină, cu strângerea chingilor peste panoul testat (Fig. 4.11) și montarea armei (cuțit sau țepușă) în suport,
- după montarea panoului și ridicarea la înălțime a impactorului, se verifică perimetrul de încercare să nu fie nimeni în zona de impact, iar persoanele care exploatează instalația să fie dispuse la o distanță de siguranță pentru a evita producerea unui accident de muncă,
- apăsarea butonul pornire reprezintă demagnetizarea, sistemului de susținere a impactorului prin curent electric și căderea armei prin tubul de ghidaj, până la lovirea probei,
- măsurarea parametrilor testelor,
- introducerea probelor în folii protectoare, cu etichetele de identificare.

Repetabilitatea testelor este evidențiată prin graficele din Capitolul 5 și din Anexa cu date experimentale. Se verifică urma lăsată de cuțit sau țepușă pe posteriorul panoului și a hârtiei polyart.

#### **4.8. Fotografierea probelor în detaliu**

După finalizarea celor două proceduri experimentale (pe mașina Instron 9340 și pe instalația de la CCIACBRNE), s-a trecut la o etapă de fotografiere a probelor. Fotografiile au fost realizate în modurile normal și macro (pentru detalii), față – spate, pentru toate eșantioanele testate.

#### **4.9. Pregătirea probelor pentru microscopul cu scanare electronică (SEM)**

O altă etapă în demersul experimental a fost pregătirea probelor pentru scanarea electronică. Straturile unui panou au fost tăiate în dimensiuni de 20 mm x 20 mm, apoi așezate fiecare în folii protectoare de aluminiu, care au și rolul de a delimita ecranul de scanare, rezultând o imagine îmbunătățită. Sunt evidențiate aspecte din pregătirea probelor în vederea studierii amănunțite a acestora la microscop. Acestea au fost, așa cum am specificat mai sus, tăiate la dimensiunea de 20 mm x 20 mm, după care a urmat un proces de aurire al probelor.

#### **4.10. Concluzii privind testarea la înjunghiere și înțepare**

Rezistența la înjunghiere a probei este evaluată cu ajutorul unor lame de încercare prelucrate sau țepușe de dimensiuni uniforme. În cadrul acestor teste, lama de cuțit sau țepușă de testare sunt ținute într-o greutate (masă) de cădere, de masă specificată. Greutatea este lăsată să cadă de la diferite înălțimi, într-un aparat care controlează orientarea și poziția de impact a lamei sau a țepușei de încercare. Armura este susținută pe un material suport compozit. Măsura testului este adâncimea de penetrare a lamei sau a țepușei, prin armură, la energii de impact specificate. Solicitantul încercării trebuie să precizeze clasa de protecție și nivelul de protecție dorit.

Testele pe mașina de încercat de tip drop-test (aici Instron 9430) se fac numai pentru ierarhizarea materialelor testate și studiul mecanismelor de cedare. De ce?

- Pentru că prinderea diferă de testul NIJ (întreg pachetul format din panou și materialele auxiliare sunt prinse strâns între inele de prindere, deci răspunsul materialului va diferi dacă prinderea este alta,
- Suprafața panoului testat este mică și, deci, nu favorizează deformarea elastică mai mare ca în cazul panourilor testate după NIJ.

Testele făcute pe panourile mai mari cu prinderea ușoară în chingi, fără presarea întregului pachet, este mai aproape de comportarea vestei în realitate. De aceea rezultatele testelor pot fi diferite.

Acest capitol argumentează selectarea materialelor, cele 2 planuri (campanii) de teste efectuate.

## Capitolul 5. Date experimentale privind rezistența la înjunghiere și înțepare pentru panourile testate

### 5.1. Testarea la înjunghiere și înțepare

Din punctul de vedere al rezultatelor încercărilor pentru evaluarea rezistenței la înjunghiere și înțepare, există mai multe criterii

- teste pentru ierarhizarea materialelor sau sistemelor proiectate,
- teste care simulează Realitatea dar sunt realizate pe componente sau panouri
- teste pe prototip.

Din punct de vedere al normării acestor teste, există

- teste standardizate conform
  - standardelor internaționale (ISO) [ISO 6603-2:2000], regionale (EN) sau naționale (vezi testele britanice și NIJ, dar care sunt recunoscute și pe plan internațional),
  - standardelor militare.
- teste nestandardizate, dar relevante pentru evaluarea calității materialelor sau a sistemelor de protecție în întregime.

Compararea diagramelor forță – deplasare, dar și forță – timp, și analiza micro și macro a distrugerii eșantionului pot duce la o formulare realistă a scenariului de deteriorare.

### 5.2. Caracteristicile studiate în procesul de înjunghiere și înțepare

Având în vedere că sunt două seturi de teste, fiecare caracterizat prin arma albă utilizată (cuțit S1 și țepușă), caracteristicile fiecăruia, rezultate din testele efectuate pe mașina Instron CEAST 9340, sunt date în continuare, împreună cu simbolurile respective (aceleași utilizate și în tabelele din Anexa cu date experimentale). Înțelegerea lor se poate face și cu ajutorul schițelor din Fig. 5.1.

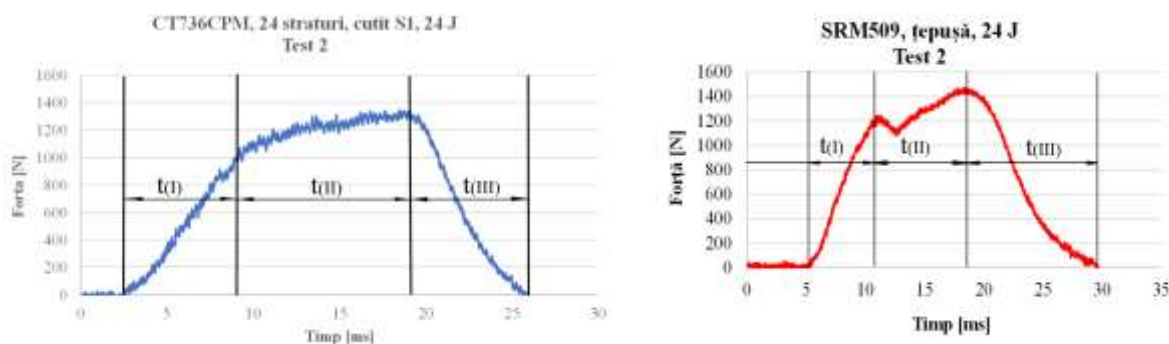


Fig. 5.1. Durata etapelor pentru înjunghiere (stânga) și înțepare (dreapta)

Timpul I: Zona de compresiune - mecanismul de perforare a materialului fibros, cum ar fi structura benzii, diferă de țesăturile țesute sau tricotate, prin urmare, valoarea scăzută a compresiunii structurii face o modificare critică a densității de ambalare ( $v$ ) sub lama de perforare și zona din jurul lui. În timpul procesului de perforare, fibra se întinde și se încurcă cu lama de perforare. Forța de rezistență este forța de compresiune pe vârful lamei perforatorului.



Timpul II: odată cu mișcarea lamei perforatorului, structura fibroasă devine mai comprimată și fibrele mai încordate pentru a rezista la perforare. Tensiunea fibrei se bazează pe forța de frecare cu suprafața perforatorului și pe frecarea cu celelalte fibre din jur. Mișcarea fibrelor în timpul penetrării perforatorului este în mare măsură responsabilă pentru diferența în comportamentul de perforare a structurii fibroase. Forța de perforare este rezultanta frecării fibrelor la punctele de contact dintre fibre și forța de comprimare pe vârful lamei perforatorului.

Timpul III - (mecanisme controlate prin tăiere); cu o penetrare suplimentară a perforatorului, fibrele implicate cu vârful perforatorului vor începe să cedeze și/sau să alunece. Forța totală de rezistență este rezultatul forței de încordare pentru toate fibrele implicate cu lama perforatorului și a forțelor de frecare dintre fibrele contactate la suprafața lamei și forța de compactare pe vârful lamei perforatorului pentru o înălțime de penetrare „h”. Distrugerile ulterioare ale fibrelor adiacente au loc în toate direcțiile. Dacă covorașul fibros are o valoare mare a densității de împachetare și fibrele sunt lungi și bine încurcate, rezistența la perforare va fi cea mai mare, deoarece majoritatea fibrelor de sub lama de perforare vor fi tăiate.

#### Pentru cuțit S1

$g_p$  – grosime panou, în mm  
 $F_{max}$  – forța maximă, în N  
 $E_{max}$  – energie maximă, în J  
 $E_{total}$  – energia totală, în J  
 $\delta_{max}$  – deplasare maximă, în mm  
 $\delta_{total}$  – deplasare maximă, în mm  
 $H_0$  – înălțimea de impact, în mm  
 $v_0$  – viteza nominală de impact, în m/s  
 $E_N$  – energia nominală de impact, în J  
 $L_f$  – lungimea tăieturii pe fața panoului, în mm  
 $L_s$  – lungimea tăieturii pe spatele panoului, în mm  
 $L_h$  – lungimea tăieturii pe hârtia PolyArt, în mm  
 $m$  – masa panoului, în g  
 $h_{calculat}$  – adâncimea de pătrundere a cuțitului, în mm

#### Pentru țepușă

O parte din notații sunt identice cu cele de la testele cu cuțit ( $H_0$ ,  $E_N$ ,  $m$ ,  $g_p$ ,  $F_{max}$ ,  $E_{max}$ ,  $E_{total}$ ,  $\delta_{max}$ ,  $v_0$ ). Pentru caracterizarea urmei lăsate de țepușă au fost introduse  
 $d_{max\text{ față}}$  – diametrul maxim pe fața panoului, în mm  
 $d_{max\text{ spate}}$  – diametrul maxim pe spatele panoului, în mm  
 $d_{max\text{ hârtie}}$  – diametrul maxim pe hârtia PolyArt, în mm

Caracteristicile determinate din testele realizate pe instalația de la CBRNE. Această instalație, deși nu este instrumentată, respectă recomandările NIJ în ceea ce privește nivelurile de energie, sistemul de prindere și mărimea probelor.

Pe diagrama forță-timp, atât pentru cuțit dar și pentru țepușă, se disting clar 3 etape:

1. forța crește repede aparent după o dreaptă,
2. o pantă care unește creșterea forței etapa I cu etapa II,
3. etapa de descreștere a forței până la 0 (zero) pentru material are porțiuni liniare.

Pe graficul forță-timp se pot identifica următoarele puncte:

- punctul inițial de impact, când  $t_0=0$  și  $F_0=0$ , în care ambele valori sunt considerate nule, dar sunt ultimele valori nule în șirul perechilor ( $t$ ,  $F$ ).

Figura 5.1 arată o curbă tipică pentru forță – timp pentru un test de lovire cu cuțit și unul pentru un test de înțepare, specificând parametrii care vor fi urmăriți pe diagramele înregistrate.

$t_0$  este momentul inițial al impactului (forța  $F$  oscilează în jurul valorii nule pe durata parcurgerii distanței până la atingerea panoului, deci este momentul ultimei valori nule a forței, când aceasta începe să crească),

$t_f$  este momentul când forța  $F$  atinge prima valoare nulă după impact, deci  $F(t_f) = 0$ .

- durata etapelor

- etapa I are o zonă crescătoare liniară a forței în timp

$$t_I = t_{FM} - t_0 \quad (5.1)$$

- etapa II se termină la momentul atingerii forței maxime,  $F_{max}$ ,

$$t_{II} = t_{Fmax} - t_{FM} \quad (5.2)$$

- etapa III cuprinde o zonă în care forța care acționează asupra epruvetei scade de la  $F_{max}$  până la zero

$$t_{III} = t_f - t_{Fmax} \quad (5.3)$$

### 5.3. Rezultate experimentale pe mașina de impact Instron CEAST 9340

#### 5.3.1. Analiza parametrilor pe curbela forței, energiei și vitezei, determinate în funcție de timp, pentru teste efectuate cu cuțit S1

##### 5.3.1.1. Introducere

De subliniat este faptul că aceste teste, așa cum au fost realizate, sunt teste de ierarhizare a materialelor și de determinare a factorilor care influențează rezistența la înjunghiere sau înțepare. Răspunsul panourilor testate depinde foarte mult de mărimea acestora și de sistemul de prindere a întregului pachet (panou de testare, material suport). Se va acorda atenție evidențierii diferențelor între rezultatele celor două campanii de testare.

Din motive obiective (prețul materialelor raportat la finanțarea temei de cercetare) au fost realizate teste pe următoarele materiale:

- CT736 (panouri cu 16 straturi, 24 straturi și 32 straturi, la energia de impact de 24 J),
- SRM509 (panouri cu 16 straturi, 24 straturi, 32 straturi și 40 straturi, la energia de impact de 24 J, 33 J și 43 J)
- SRM509 lipit (panouri cu 16 straturi, 24 straturi, 32 straturi și 40 straturi, la energia de impact de 24 J, 33 J și 43 J),
- panouri hibride, din straturi de CT736 și SRM509 (panouri cu 16 straturi, 24 straturi și 32 straturi, la energia de impact de 24 J), care vor fi discutate într-un alt subcapitol.

##### 5.3.1.2. Influența numărului de straturi asupra curbelor forță și energie în funcție de timp

În acest rezumat al tezei de doctorat sunt prezentate numai analiza curbelor forță – timp și energie absorbită de panou – timp.

Influența numărului de straturi asupra curbei forță – timp se vede în Fig 5.2, pentru fiecare nivel de energie testat.

Pentru teste efectuate la 24 J (Fig. 5.2), s-au obținut două tipuri de curbe forță – timp: forma caracteristică pentru CT736, cu trei pante distincte și forma specifică panourilor cu țesătură SRM509, asemănătoare unui clopot asimetric. Forța maximă înregistrată crește cu creșterea numărului de straturi pentru toate materialele testate, iar durata loviturii scade tot cu creșterea acestui parametru.

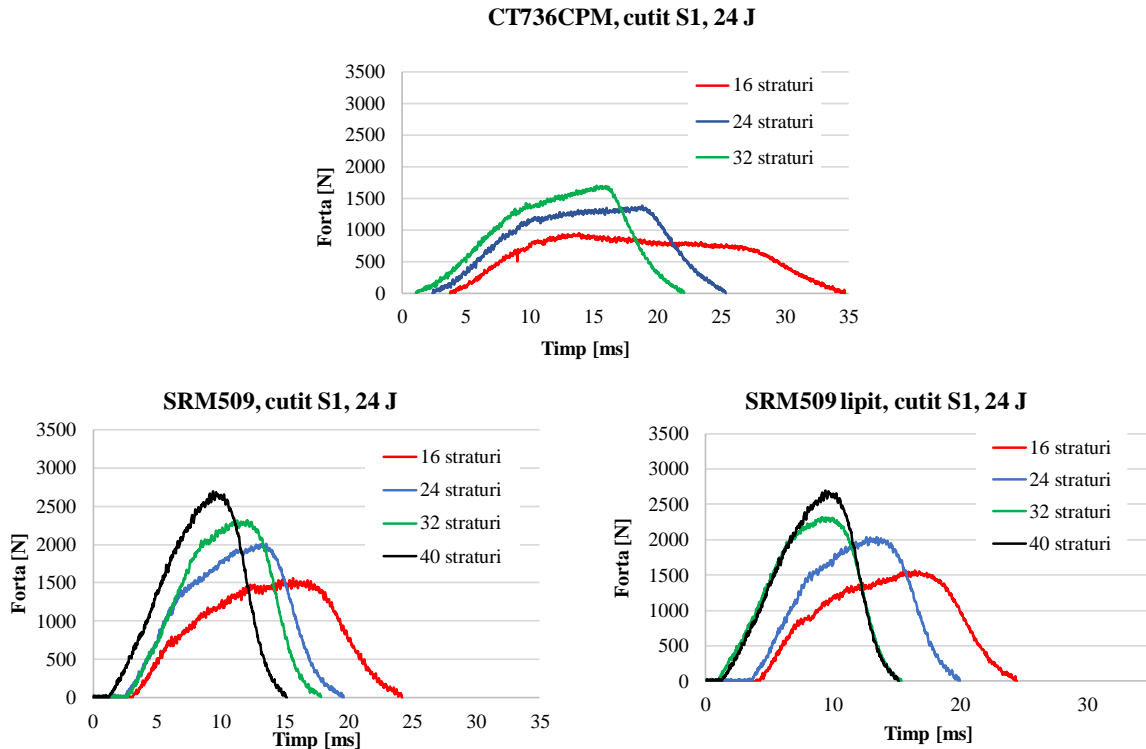


Fig. 5.2. Influența numărului de straturi asupra curbei forță – timp, pentru o energie de impact de 24 J

Panta primei etape la energia de 24 J, crește cu numărul de straturi, indiferent de material, dar este mai diferențiată pentru panourile din țesătură CT736. La fel și panta etapei 3, este mai abruptă odată cu creșterea numărului de straturi. S-a observat că, pentru panourile din CT736, la etapa 2 s-a schimbat orientarea pantei (negativă), pentru acele pachete cu numărul de straturi mai mare de 16.

Din diagrama forță-timp se observă că timpul procesului de înjunghiere este mai mare pentru pachetul cu număr mai mic de straturi. Analizând calitativ aceste curbe (a fost ales un singur test din cele 3 efectuate cu același set de parametri, testul cu valori intermediare, considerat tipic), pe intervalul de straturi testate la acest nivel de energie, se pot formula următoarele observații:

- forța maximă măsurată,  $F_{max}$ , crește odată cu creșterea numărului de straturi,
- durata procesului de lovire scade odată cu creșterea numărului de straturi,
- pentru panourile din CT736, forța maximă se poziționează la sfârșitul etapei II, dar pentru celelalte panouri din SRM509 și SRM509 lipit, curba forței are formă de clopot pentru panourile de 32 de straturi și 40 de straturi, iar pentru panourile mai subțiri, curbele au un grad de asimetrie mai mare, etapa a doua fiind caracterizată de o durată mai mare și de o formă ascendentă (nu neapărat liniară).

- panourile din țesătură cu acoperire abrazivă au valori apropiate pentru  $F_{\max}$ , la același număr de straturi, mult mai mari decât cele obținute pentru panourile din țesătură aramidică: la 16 straturi  $F_{\max (CT736) (16)} \sim 900$  N, dar pentru panourile din semifabricate SRM509, lipite sau nu,  $F_{\max (SRM509) (16)} \sim F_{\max (SRM509 \text{ lipit}) (16)} \sim 2700$  N.
- SRM509 are pantele mai abrupte decât cele de la CT736 la același număr de straturi. Înseamnă că energia este absorbită într-un timp mai scurt, ceea ce înseamnă că materialul SRM509 este mai performant,

În Fig. 5.3 sunt date imagini ale tăieturii obținute pe panourile din țesătură CT736CMP, în funcție de numărul de straturi. Se observă că lungimea tăieturii pe față, scade cu creșterea numărului de straturi, iar pe suprafața ultimului strat (din spate) se observă că pentru 32 de straturi, ultimul strat nu este străpuns. Totuși lungimea tăieturii pe față,  $L_{\text{față}}$ , și lungimea tăieturii pe spatele ultimului strat,  $L_{\text{spate}}$ , nu este relevantă pentru proces deoarece țesătura își revine și, deci, lungimea măsurată include și fenomenul de relaxare și revenire a firelor / fibrelor. De aceea, lungimea tăieturii pe hârtia martor,  $L_{\text{hârtie}}$ , este relevantă. Acest tip de hârtie are procesele de revenire și relaxare neglijabile.

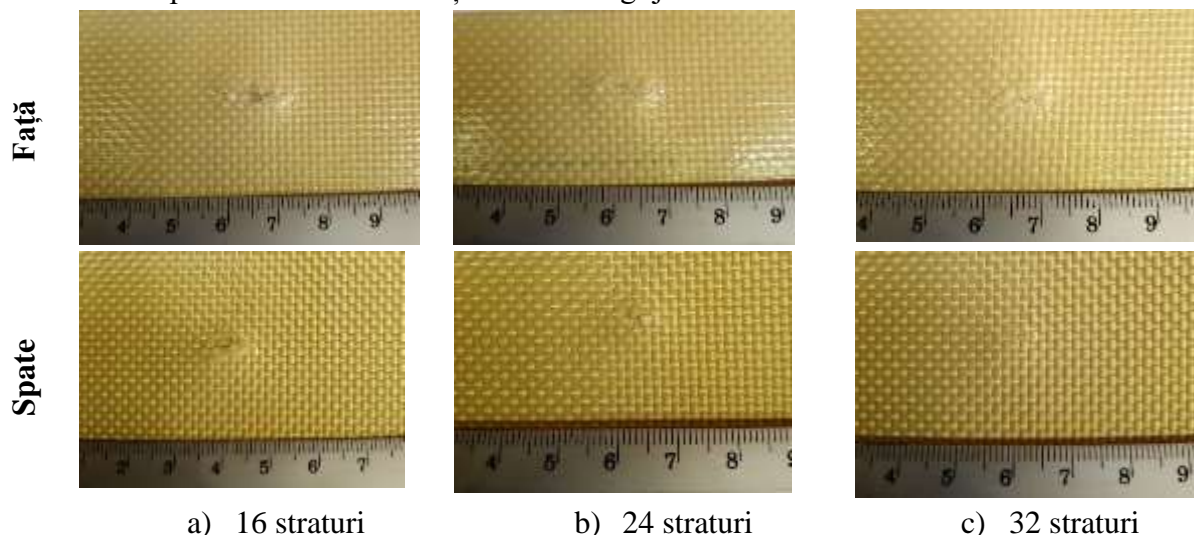


Fig. 5.3. Fotografii ale tăieturilor pe panourile din țesătură CT736CMP, realizate cu cuțit S1, la un nivel de energie de 24 J

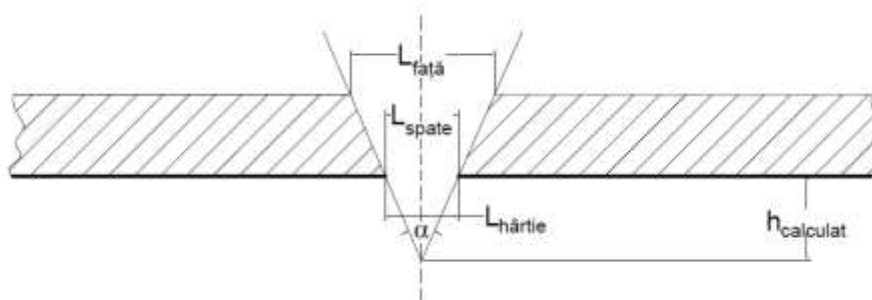


Fig. 5.4. Schița pentru calculul înălțimii de pătrundere a cuțitului

Conform NIJ Standard-0115.01 [NIJ Standard-0115.01], parametrul prin care se evaluează rezistența la înjunghiere este adâncimea (sau înălțimea) calculată a lamei care depășește ultimul strat. Această dimensiune se calculează ținând seama de Fig. 5.4 și de următoarea relație geometrică:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{L_{\text{hârtie}}}{h_{\text{calculat}}} \rightarrow h_{\text{calculat}} = \frac{L_{\text{hârtie}}}{2} \frac{1}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \quad (5.4)$$

în care  $h_{\text{calculat}}$  este lungimea măsurată a tăieturii pe hartia-martor, în mm,  $\alpha$  este unghiul la vârf al cuțitului tip S1, conform NIJ Standard-0115.01 [NIJ Standard-0115.01].

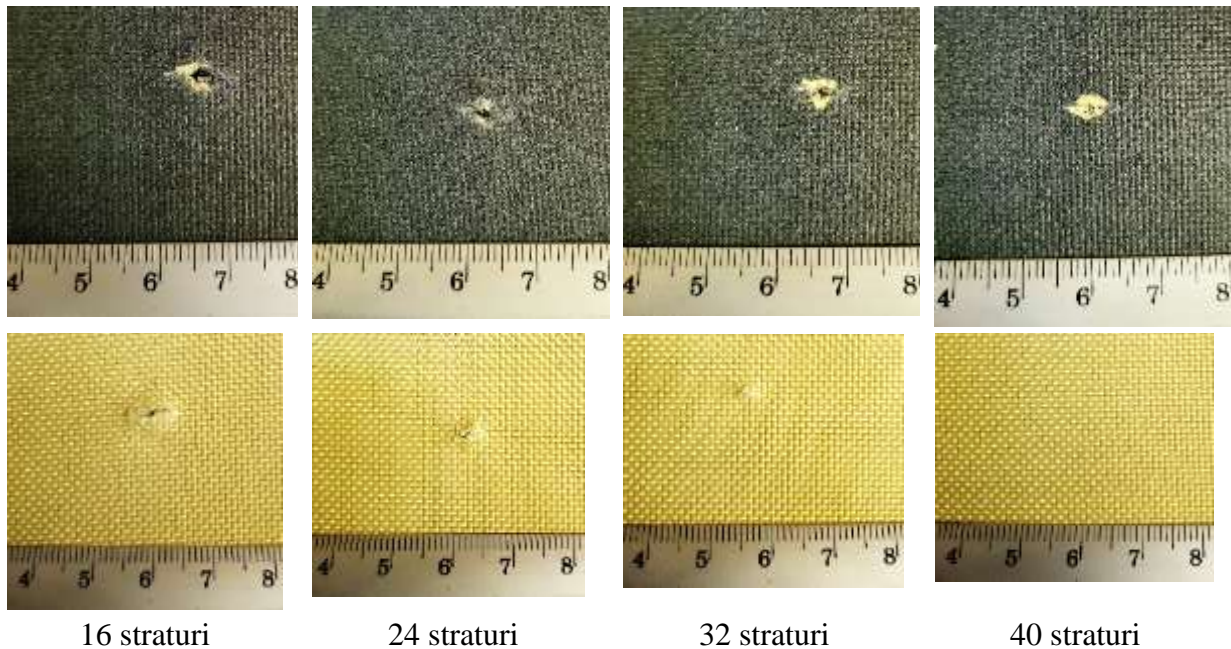


Fig. 5.5. Panouri cu SRM 509, număr diferit de straturi, nivel de energie 24 J, după testare cu cuțit S1 (sus – fața panoului, jos – spatele panoului)

Pentru panourile realizate din țesătura SRM509, în variante nelipite (Fig. 5.5) se observă din fotografii că pe fața panourilor, zona distrusă scade cu creșterea numărului de straturi. Totuși, diferența vizuală între două panouri succesive este mai dificil de diferențiat iar pentru panourile lipite, această zonă este greu de diferențiat, cu excepția panoului de 40 de straturi. Pentru ambele tipuri de panouri, cele cu 40 de straturi nu au fost străpuse pe spatele panoului.

Panourile au determinat caracteristici specifice materialului și tehnologiei de asamblare (lipre cu adeziv):

- timpul total al acțiunii forței este mai mare pentru panoul obținut prin lipire,
- se păstrează ordinea valorilor pentru  $F_{\text{max}}$ , de la 16 straturi, până la 40 de straturi,
- pentru panourile din 24 și 40 de straturi,  $F_{\text{max}}$  a avut valori mai mari pentru panourile obținute prin lipre, dar diferența este sub aproximativ 10%.

Pe spatele panourilor nelipite, lungimea tăieturii scade vizibil și proporțional cu numărul de straturi. Panourile lipite au extremele zonelor deteriorate, similare cu cele ale panourilor nelipite. O concluzie de natură calitativă ar fi că lipirea (cu adezivul și tehnologia aplicată), nu îmbunătățește vizibil comportarea la înjunghiere, la o energie de 33 J.

Figura 5.6 prezintă diagrame tipice forță – timp, obținute pentru cel mai înalt nivel de energie testat, 43 J. La acest nivel de energie de impact, ierarhizarea curbelor este diferită la panourile formate simplu, prin adaugarea foilor de semifabricat, față de panourile obținute din

aceleași semifabricate, dar lipite. Pentru panourile din SRM 509 nelipite (Fig.5.7), forța maximă crește odată cu creșterea numărului de straturi, dar pentru panourile lipite, timpul de acțiune al forței scade odată cu creșterea numărului de straturi; palierul cu pantă crescătoare foarte mică în timp de la panoul cu 16 straturi, are tendința să dispară, iar la panoul de 40 de straturi, forma graficului este de tip clopot, aproape simetrică. Pentru panourile lipite, creșterea forței maxime cu numărul de straturi din panou se păstrează până la panoul cu 32 de straturi, iar pentru panoul cu 40 de straturi, forța maximă scade și palierul ușor înclinat este mai mare. La extremitățile intervalului pentru numărul de straturi  $F_{max}$  pentru panourile lipite este mai mică decât pentru panourile nelipite, dar duratele acțiunii forței sunt mai mari.

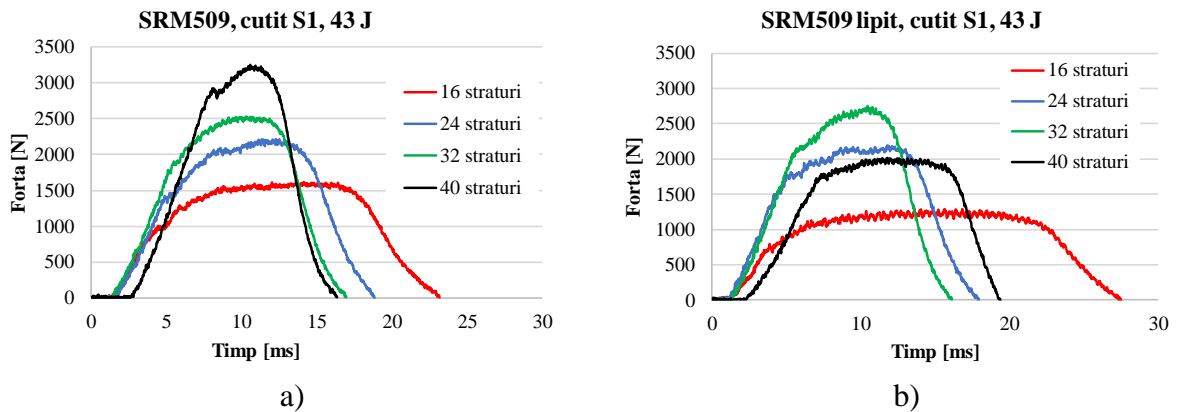


Fig. 5.6. Diagrame forță – timp în funcție de numărul de straturi, pentru a) SRM 509, b) SRM 509 lipit, la un nivel de energie de 43 J

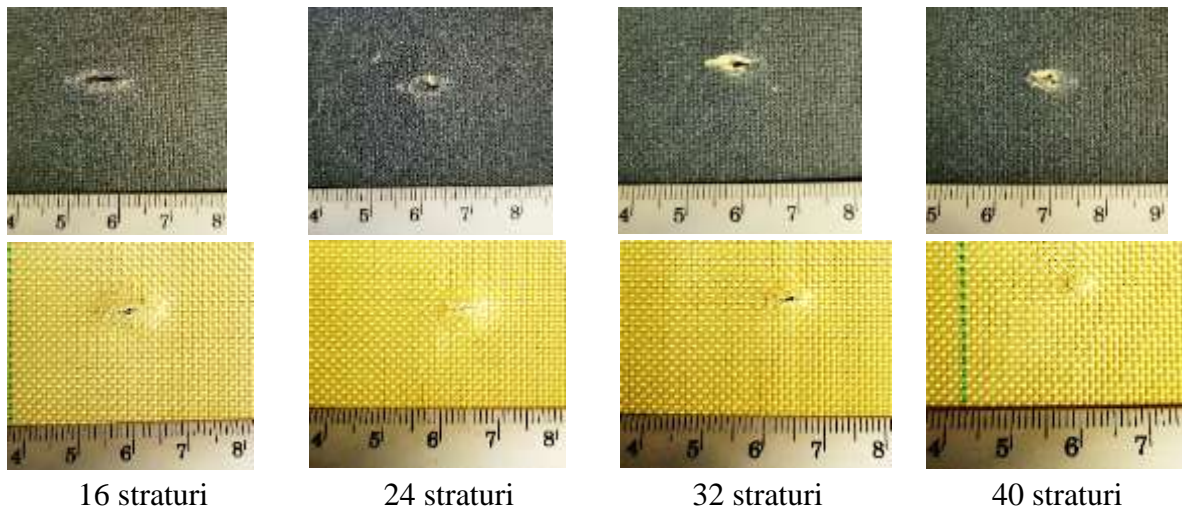


Fig. 5.7. Panouri cu SRM509, număr diferit de straturi, nivel de energie 43 J, după testare cu cuțit S1 (sus – fața panoului, jos – spatele panoului)

Graficele energie – timp la 24 J, dar și la alte energii de lovire, sugerează un răspuns mai bun pentru materialele la care panta de creștere a energie absorbite este mai mare. Creșterea numărului de straturi de CT 736 CPM (Fig. 5.8), a determinat mărimea pantei evoluției energiei absorbite, dar pentru panourile din SRM509, lipite sau nu, diferența între pantele acestor curbe este mică, o diferență distinctă văzându-se doar între panourile de 16 straturi și următoarele.

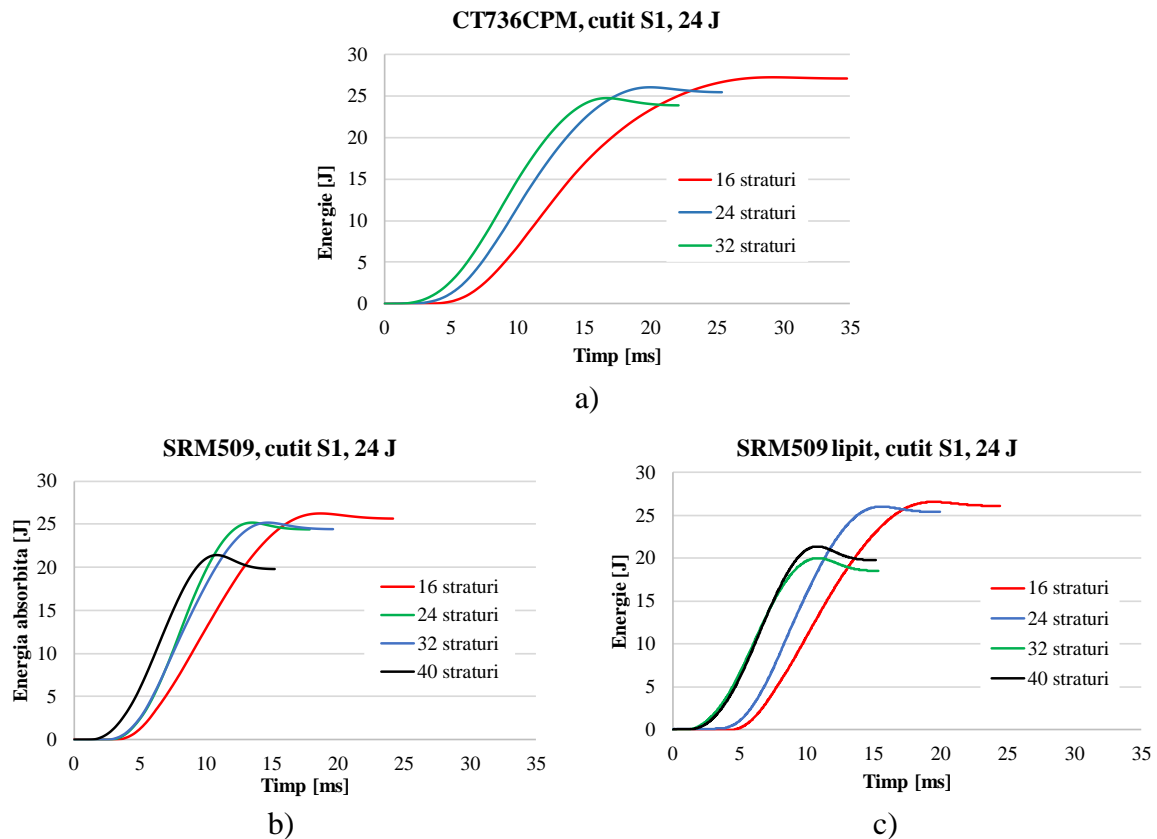


Fig. 5.8. Influența numărului de straturi asupra curbei energie – timp, pentru o energie de impact de 24 J

Pentru testele la 43 J, pantele energiei absorbite cresc odată cu creșterea numărului de straturi, diferența fiind mai pronunțată pentru panourile din SRM509 nelipite (Fig. 5.9).

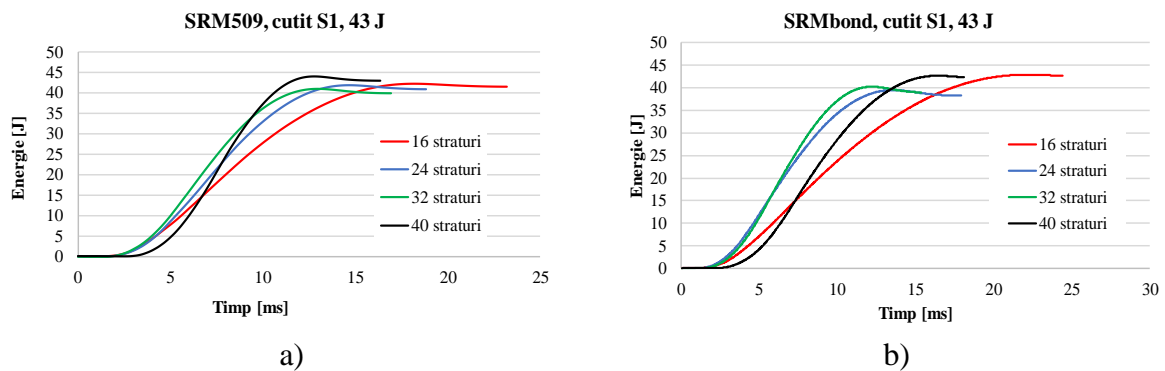


Fig. 5.9. Influența numărului de straturi asupra curbei energie – timp, pentru o energie de lovire de 43 J

### 5.3.1.3. Influența energiei de lovire asupra curbelor forței, energiei și vitezei în timp

În acest subcapitol vor fi comparate doar panourile realizate pe bază de semifabricate SRM509, adică panourile realizate doar prin adăugarea straturilor (cu prindere pe margine) și a celor realizate prin lipirea straturilor cu adeziv, codificate SRM509 lipit.

Panourile cu 16 și 24 de straturi au valoarea forței maxime mai puțin dependentă de energia de lovire. Diferența mare în poziționarea curbelor forță – timp, apare în special la panourile din SRM509 lipite, la 32 straturi și 40 straturi (Fig 5.10).

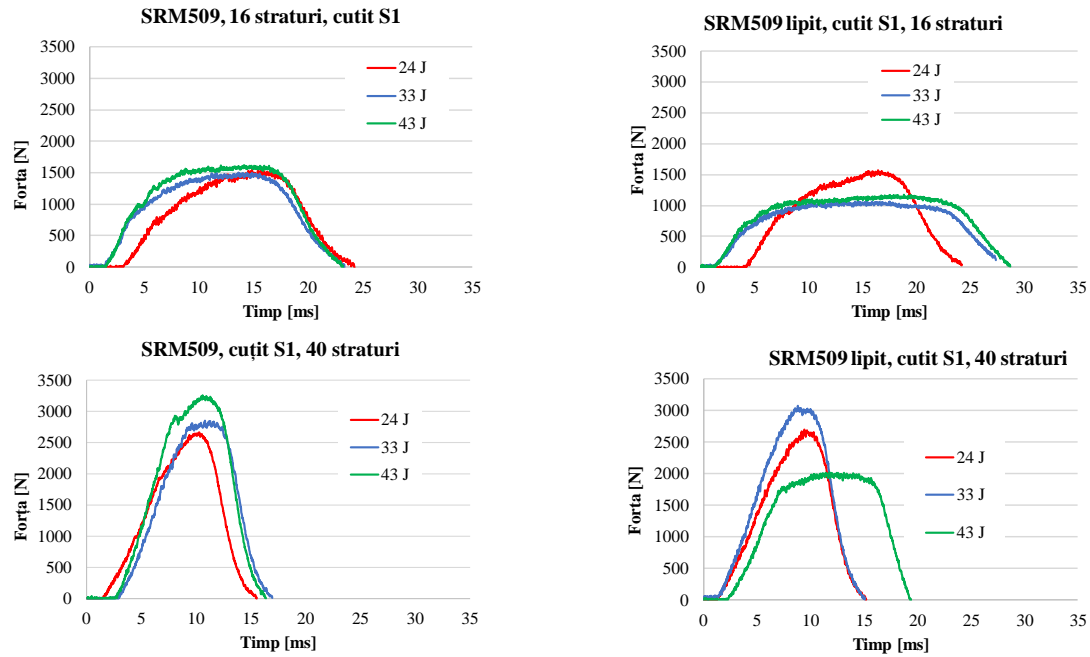
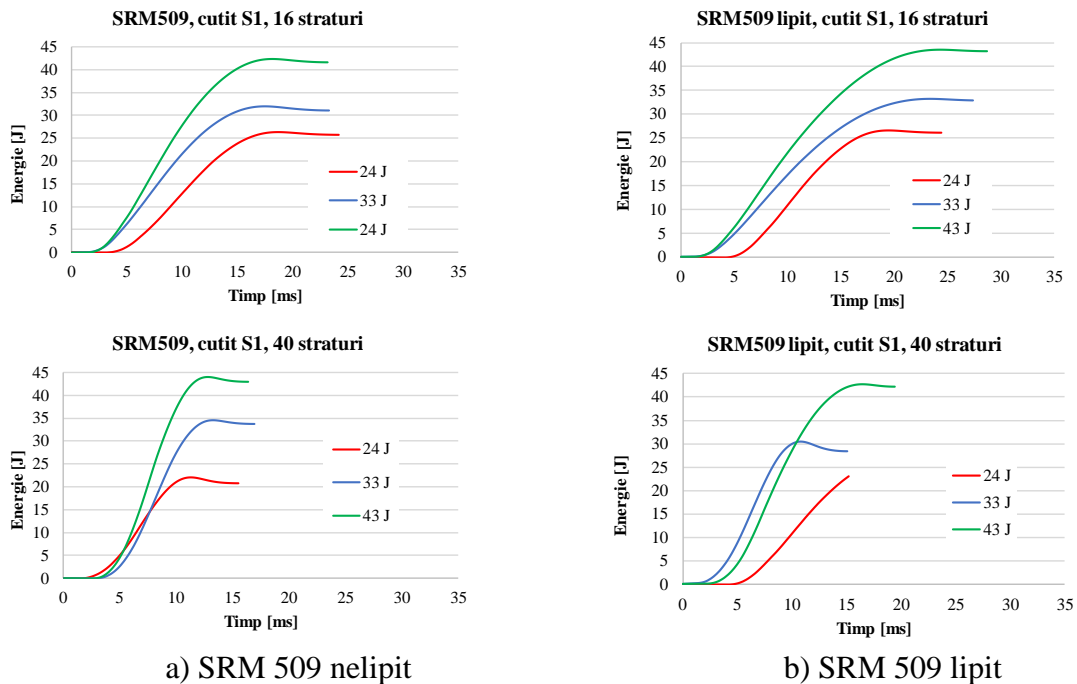


Fig. 5.10. Influența energiei de impact asupra curbei forță – timp pentru cele două tipuri de panouri



a) SRM 509 nelipit

b) SRM 509 lipit

Fig. 5.11 Analiza energie absorbită – timp

Durata impactului scade cu creșterea numărului de straturi.

- Forța maximă crește substanțial cu creșterea numărului de straturi, de la 1500 N la 16 straturi, acest maxim fiind caracteristic tuturor nivelurilor de energie de impact la 3200 N pentru 40 de straturi la energia maximă de 43 J.



- Cu creșterea numărului de straturi,  $F_{\max}$  are valori proporționale cu energia de impact.
- Zona de palier, caracteristică panourilor cu 16 straturi, se modifică în sensul creării unei pante crescătoare sau scurtării palierului.
- Pantele de început (etapa I) diferă mai mult la panourile mai subțiri (16 straturi).

Analiza graficelor energie absorbită – timp, relevă o rată de absorbție mai mare cu cât energia de lovire este mai mare (Fig. 5.11).

#### 5.3.1.4. Influența numărului de straturi din panou, la lovire cu țepușă, asupra curbelor forței, vitezei și energiei, în funcție de timp

Influența acestui parametru este discutată pe grupe de grafice : (a) forță – timp, (b) energie – timp, (c) viteză – timp.

Influența numărului de straturi asupra curbei forță – timp a impactului cu țepușă se observă în Fig. 5.12, pentru fiecare nivel de energie testat. Pentru panourile din SRM509 lipite și nelipite, forța maximă crește cu creșterea numărului de straturi. Durata procesului de lovire scade concomitent cu creșterea numărului de straturi.

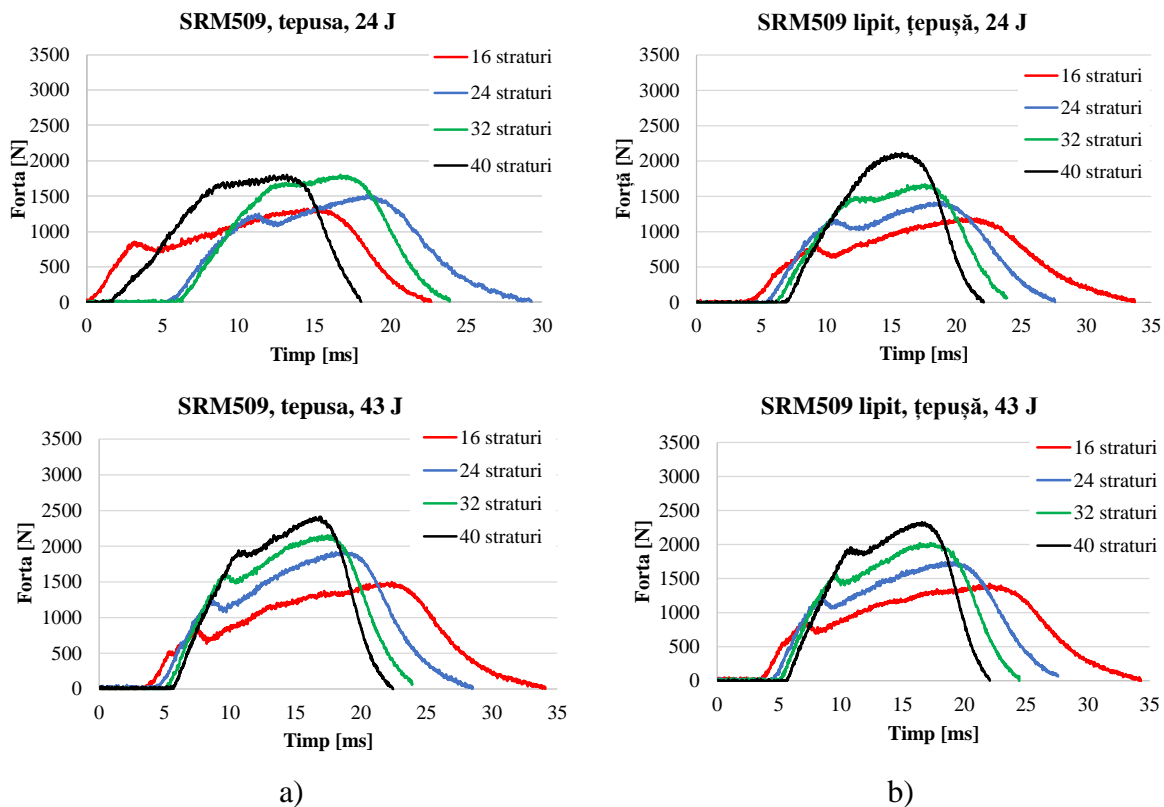
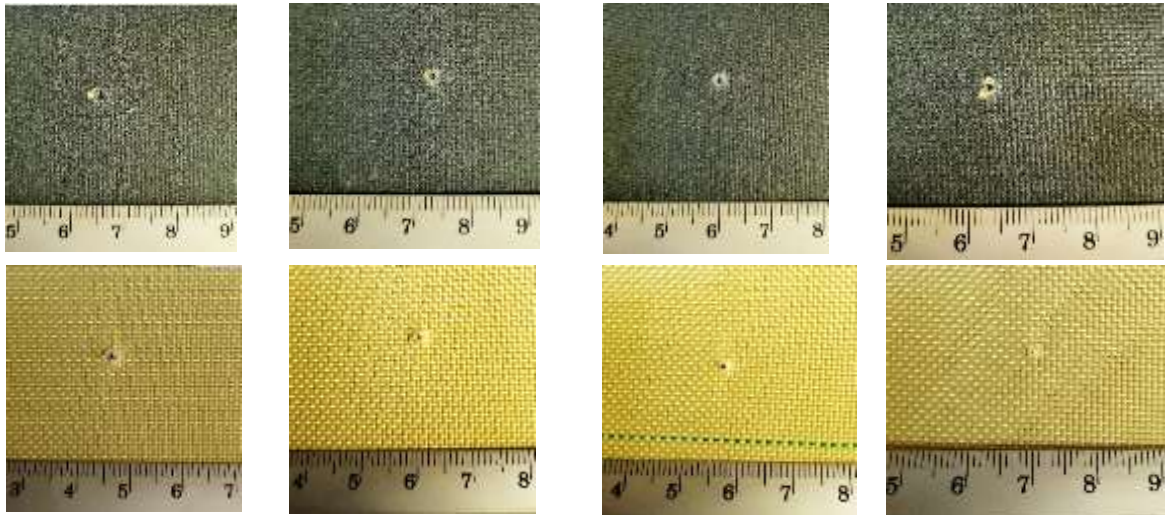


Fig. 5. 12. Diagrame forță – timp, în funcție de numărul de straturi, pentru a) SRM509, b) SRM509 lipit

Figura 5.13 prezintă panouri din straturi de SRM509, lovite cu țepușă, la o energie de de 24 J (sus – fața panoului, jos – spatele panoului). Forma și dimensiunile orificiului format de țepușă nu sunt mult diferite, diferența mai mare observându-se pe spatele ultimului panou.



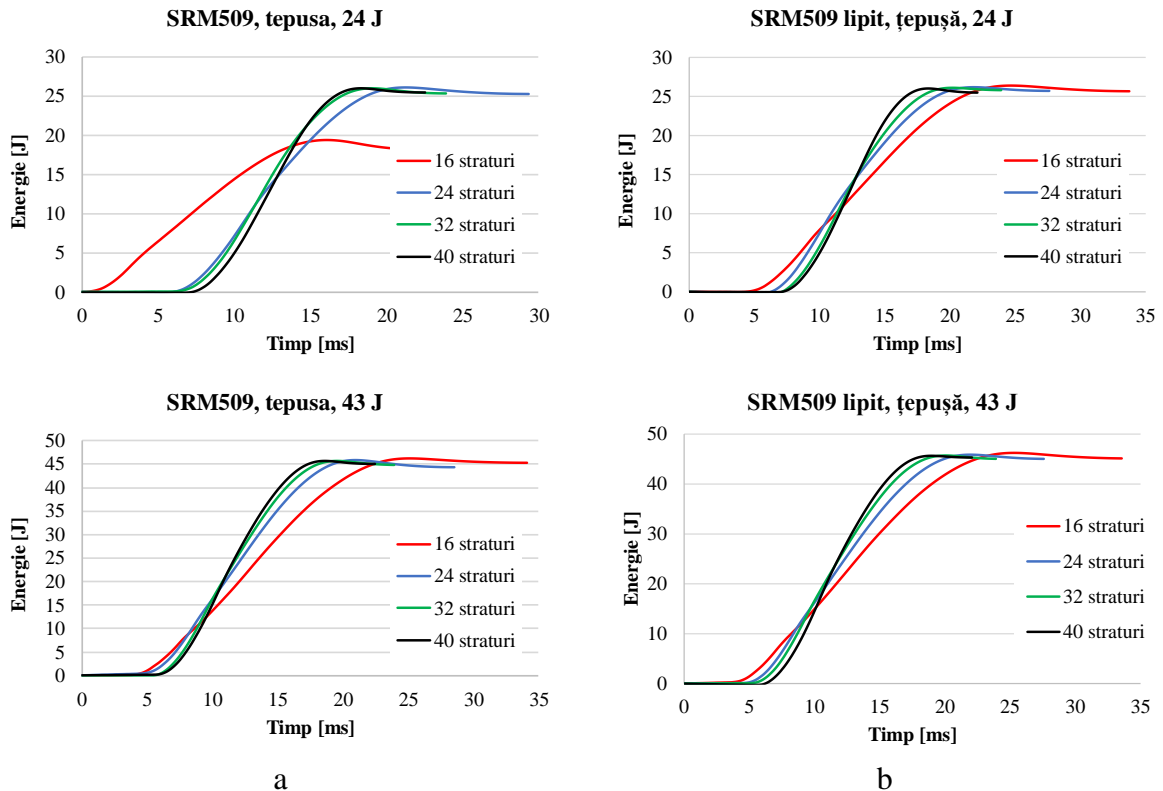
16 straturi

24 straturi

32 straturi

40 straturi

Fig. 5.13. Panouri din straturi de SRM509, lovite cu țepușă, la o energie de lovire de 24 J (sus – fața panoului, jos – spatele panoului)



a

b

Fig. 5.14. Influența numărului de straturi asupra curbei energie – timp, pentru o energie de impact

Pentru testele efectuate la 43 J, pantele cresc cu creșterea numărului de straturi, diferența este mai pronunțată pentru panourile din SRM509 nelipite (Fig. 5.14). Aceste nivele de energie de impact, la aceleași panouri, cu același număr de straturi, ierarhizarea curbelor nu este diferită la panourile formate simple, față de panourile obținute din aceleași semifabricat, dar lipite.

### 5.3.2. Influența energiei de lovire pentru teste cu țepușă

Influența energiei de impact asupra curbei forță – timp pentru panourile cu 16 straturi, 24 straturi, 32 straturi, 40 straturi, executate cu țepușă, este reprezentată în Fig. 5.15. Pantele de la panourile mai subțiri de 16 straturi diferă mai mult față de panourile cu 24 straturi, 32 straturi și 40 straturi.

Analiza graficelor energie absorbită – timp relevă o rată de absorbție mai mare, cu cât energia de lovire este mai mare. Pantele curbelor cresc cu creșterea energiei de lovire. Panta este mai mică pentru energia de 24 J. Celelalte două pante, cea de 33J și cea pentru 43 J sunt mai apropiate.

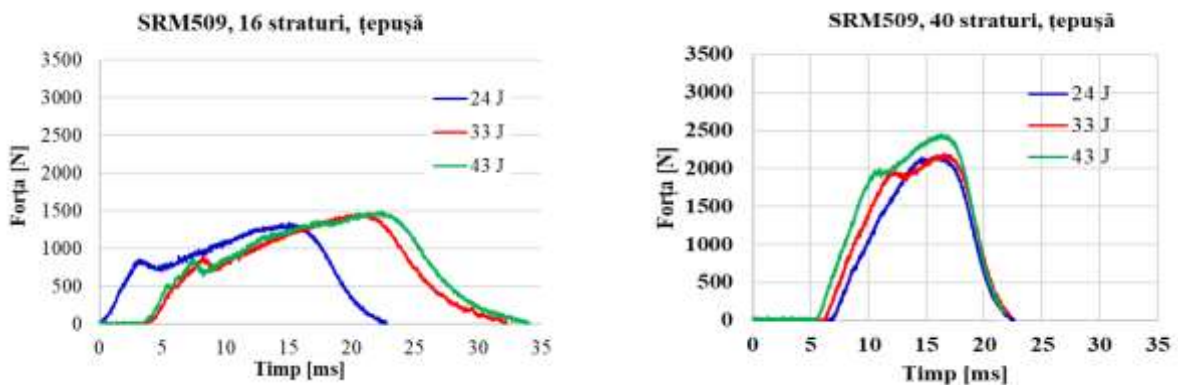


Fig. 5.15. Influența energiei de impact asupra curbei forță – timp, pentru panourile cu 16 straturi, 24 straturi, 32 straturi, 40 straturi, executate cu țepușă

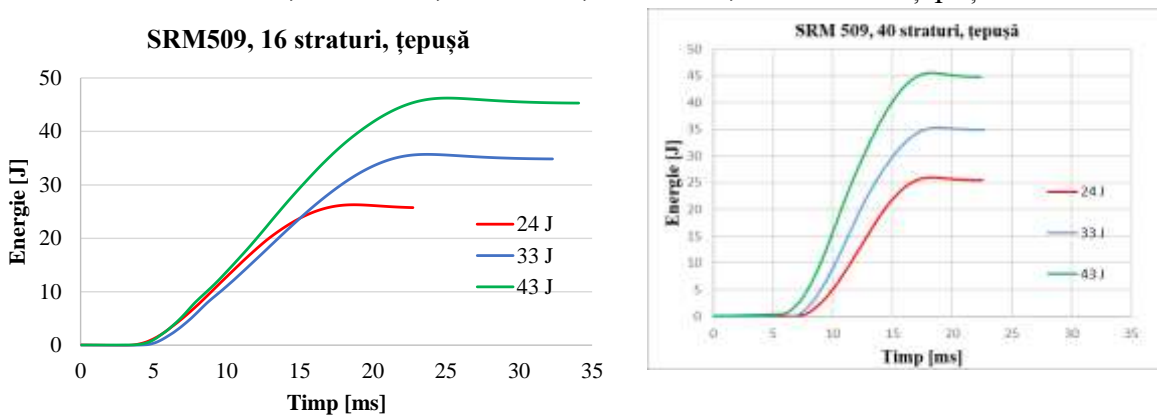


Fig. 5.16. Grafice energie absorbită - timp

Analiza graficelor energie absorbită – timp, relevă o rată de absorbție mai mare cu cât energia de lovire este mai mare (Fig. 5.16), din care rezultă că pantele curbelor cresc odată cu creșterea energiei de lovire.

Influența numărului de straturi ale panourilor din SRM509, lovite cu țepușă, la o energie de lovire de 43 J (sus – fața panoului, jos – spatele panoului), sunt reprezentate de fotografiile din Fig. 5.17.

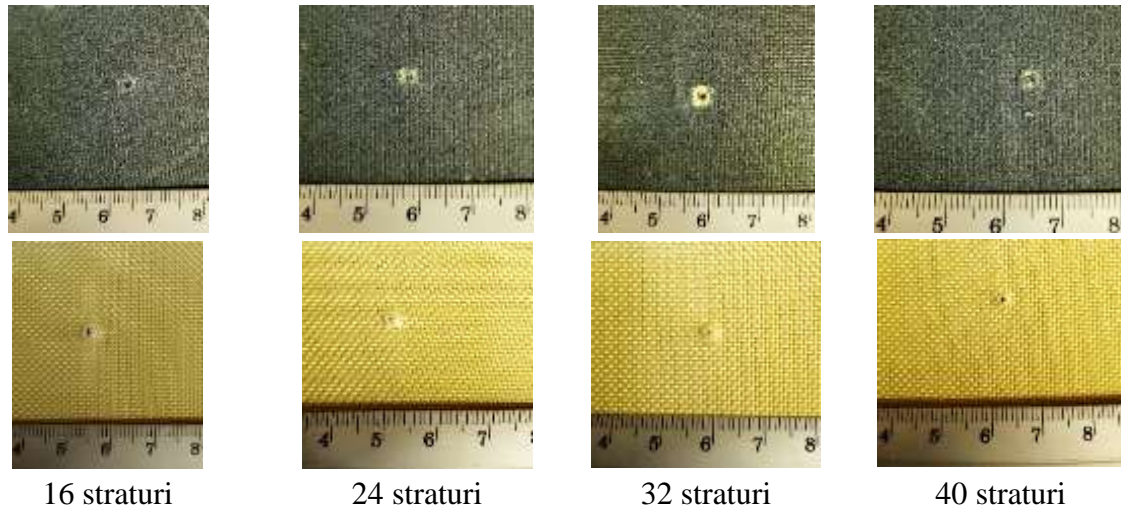


Fig. 5.17. Panouri din straturi de SRM509, lovite cu țepușă, la o energie de lovire de 43 J (sus – fața panoului, jos – spatele panoului)

#### 5.4. Influența armei asupra curbelor forță - timp, energie – timp și viteză – timp

Următoarele grafice (Figurile 5.18-5.21) prezintă în coloana din stânga informații referitoare la lovirea cu cuțit S și în partea dreaptă- informații referitoare la lovirea cu țepușă, ceilalți parametri (material, energie de lovire) fiind păstrați constanți.

Figura 5.18 prezintă diagrame forță – timp, în funcție de numărul de straturi, pentru SRM509, la nivele de energie diferite (24 J și 43J), în partea stângă, arma folosită este cuțit, iar în partea dreaptă, arma folosită pentru impact, este țepușă.

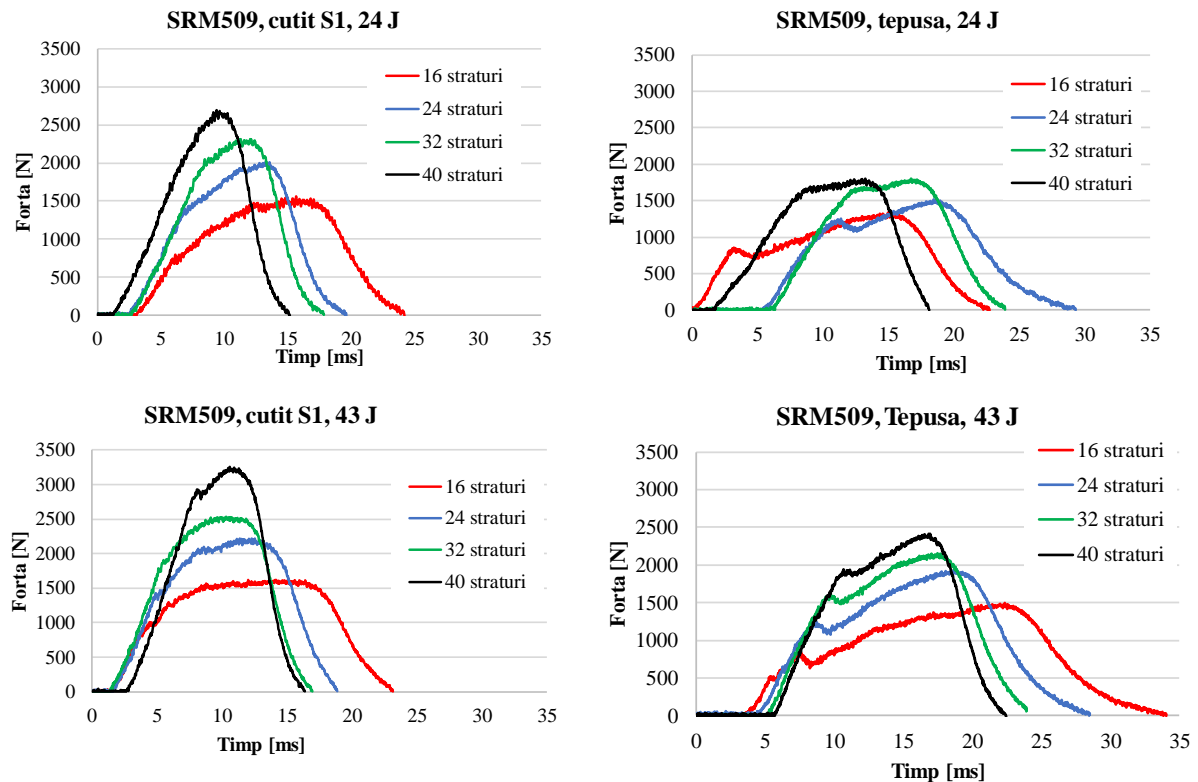


Fig. 5.18. Diagrame forță – timp în funcție de numărul de straturi, pentru SRM 509, la nivele de energie diferite (24 J și 43 J), stângă – cuțit S1, dreapta – țepușă

Pe intervalul de straturi testate la acest nivel de energie, se pot formula următoarele observații:

- forța maximă măsurată,  $F_{max}$ , crește cu creșterea numărului de straturi,
- curbele au un grad de neregularitate mare,
- durata procesului de lovire scade cu creșterea numărului de straturi.

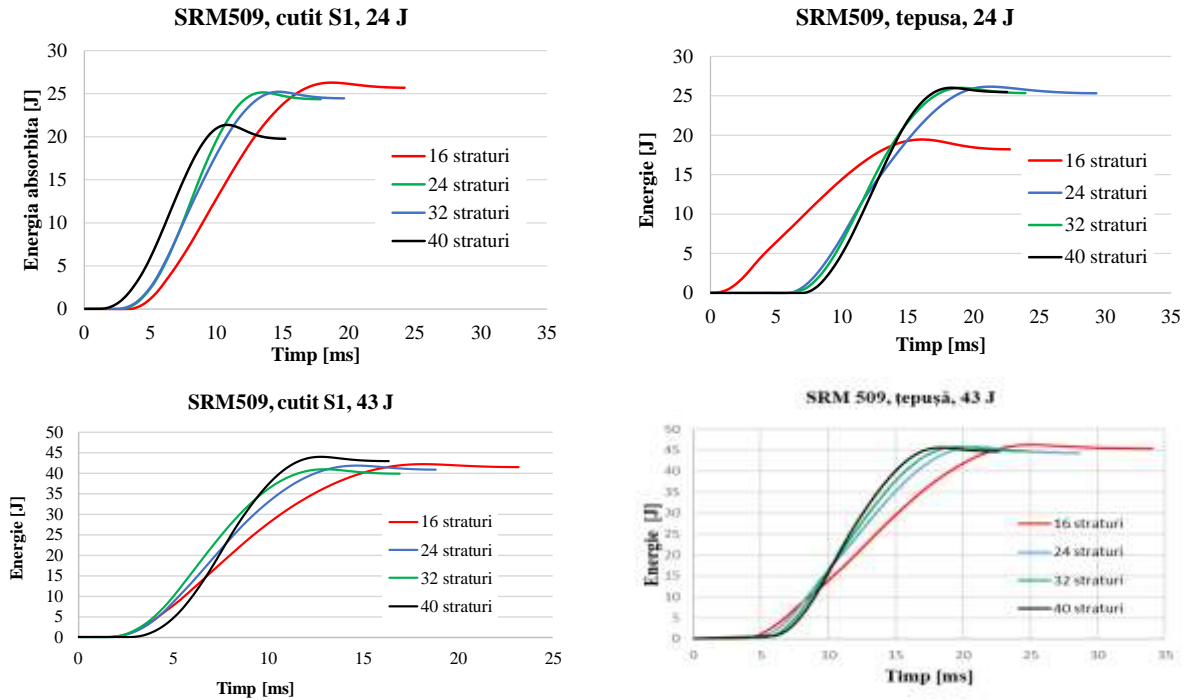


Fig. 5.19. Influența numărului de straturi asupra curbei energie – timp, pentru energie de impact de 24 J,33J,43J, în stânga amenințarea este cuțit, iar în dreapta țepușă

Influența numărului de straturi asupra curbei energie – timp, pentru energie de impact de 24 J și 43 J; în dreapta amenințarea este cuțit, iar în stânga țepușă este dată în Fig. 5.19.

Se observă:

- pantele curbelor sunt diferite pentru ambele amenințări,
- panourile de 16 au pantele curbelor mai diferite față de panourile de 24 straturi,
- panourile cu straturile 32 și 40 pantele curbelor sunt mai puțin diferite.

Pantele graficelor vitezelor cresc odată cu creșterea numărului de straturi, diferența fiind mai mare între panourile cu 16 straturi și 24 straturi.

În Fig. 5.20, este prezentată comparația între graficele forță – timp, pentru același material, SRM 509 lipit, pentru cele două arme albe testate, cuțit S1 (coloana din stânga) și țepușă (coloana din dreapta)

Diferența mare în poziționarea curbelor forță – timp, apare în special la panourile din SRM 509 lipite, la 32 straturi și 40 straturi, la testele executate cu cuțit. Panourile care au fost încercate cu țepușă, au poziționarea curbelor forță- timp la o diferență mai mică.

Pe intervalul de straturi testate la acest nivel de energie, se pot formula următoarele observații:

- durata impactului scade cu creșterea numărului de straturi,

- forța maximă crește substanțial cu creșterea numărului de straturi, de la 1500 N la 16 straturi, acest maxim fiind caracteristic tuturor nivelurilor de energie de impact la 3000 N, pentru 40 de straturi la energia de 33 J.

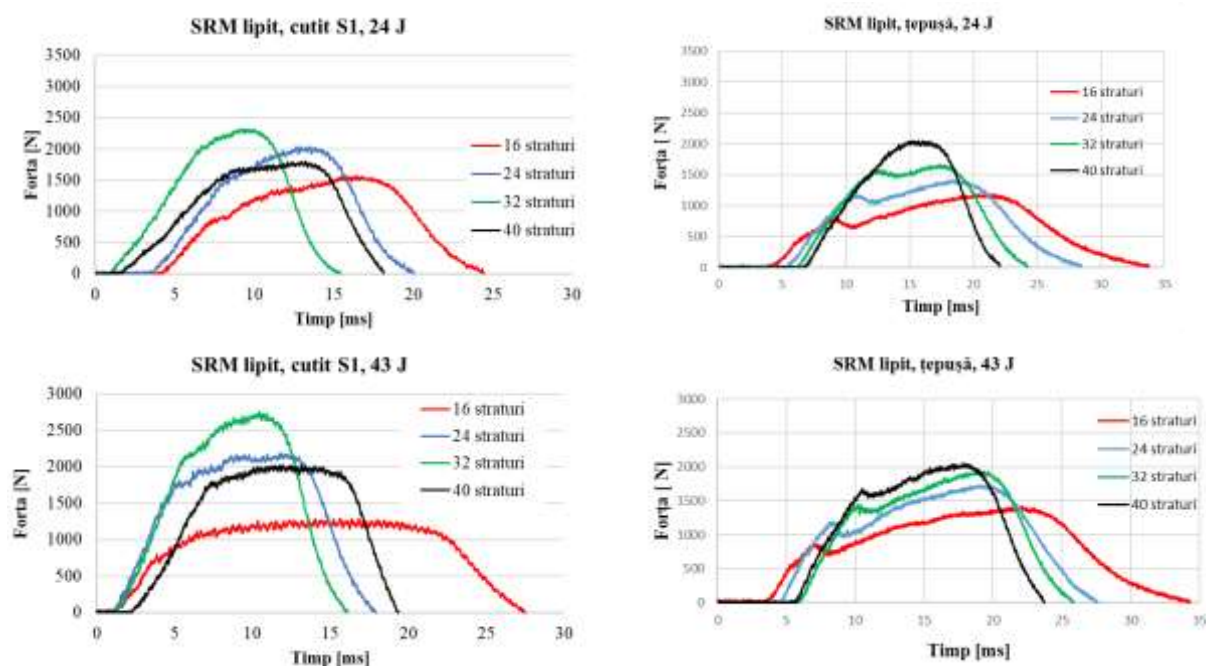


Fig. 5.20. Comparație între graficele forță – timp pentru același material, SRM 509, lipit, pentru cele două arme albe testate, cuțit S1 (coloana din stânga) și țepușă (coloana din dreapta)

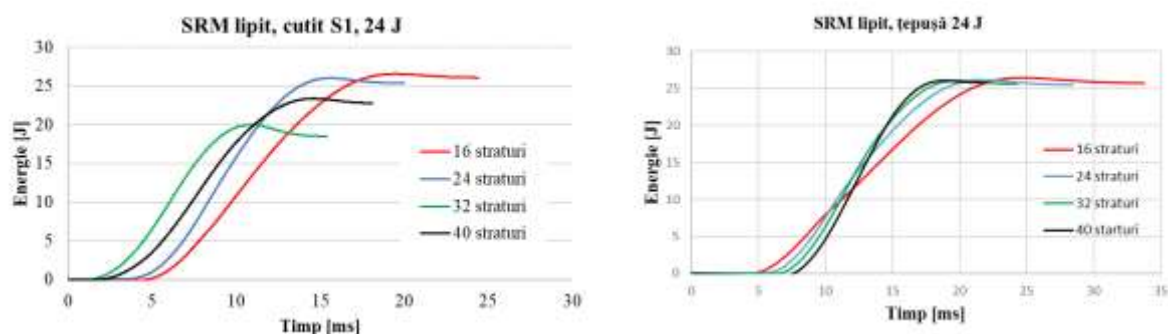


Fig. 5.21. Comparație între graficele energie – timp pentru același material, SRM 509, lipit, pentru cele două arme albe testate, cuțit S1 (coloana din stânga) și țepușă (coloana din dreapta)

Analiza graficelor energie absorbită – timp relevă o rată de absorbție mai mare cu cât energia de lovire este mai mare. Pantele curbilor cresc cu creșterea energiei de lovire. În Fig. 5.21 există o comparație între graficele energie – timp pentru același material, SRM 509 lipit, pentru cele două arme albe, cuțit S1 (coloana din stânga) și țepușă (coloana din dreapta).

### 5.5. Evaluarea unor panouri hibride

Acest subcapitol prezintă rezultate și discuții asupra unor panouri hibride și comparația lor cu două țesături aramidice, pentru a stabili rezistența lor la înjunghiere. SRM509 și CT736CMP, au fost dispuse în într-o combinație a acestora (10 straturi SRM 509

și 10 straturi CT736 CMP). S-au tăiat mostre de 130 mm x 130 mm din țesături și 150 mm x 150 mm, s-au cântărit și măsurat pe grosime. Testele au fost efectuate pentru o energie de impact de 24 J (3 m/s). Lama S1a avut geometria recomandată în [NIJ Standard-0115.01].

Tabelul 5.1 prezintă panourile testate, cu câteva caracteristici. Foile de țesături SRM 509 au fost dispuse succesiv, cu suprafața acoperită orientată spre amenințare (lama).

**Tabelul 5.1.** Caracteristicile panourilor testate pentru evidențierea sistemului hibrid

Material	Număr de straturi	Grosime [mm]	Masa [g]	Densitate superficială [kg/m <sup>2</sup> ]	E [J]
(130 mm x 130 mm)	20	7.83	166	9.82	24
Hibrid (20 straturi) (130 mm x 130 mm) 10 straturi (primele) Twaron CT736CMP + 10 straturi Twaron SRM509	20	10.00	159	9.42	24

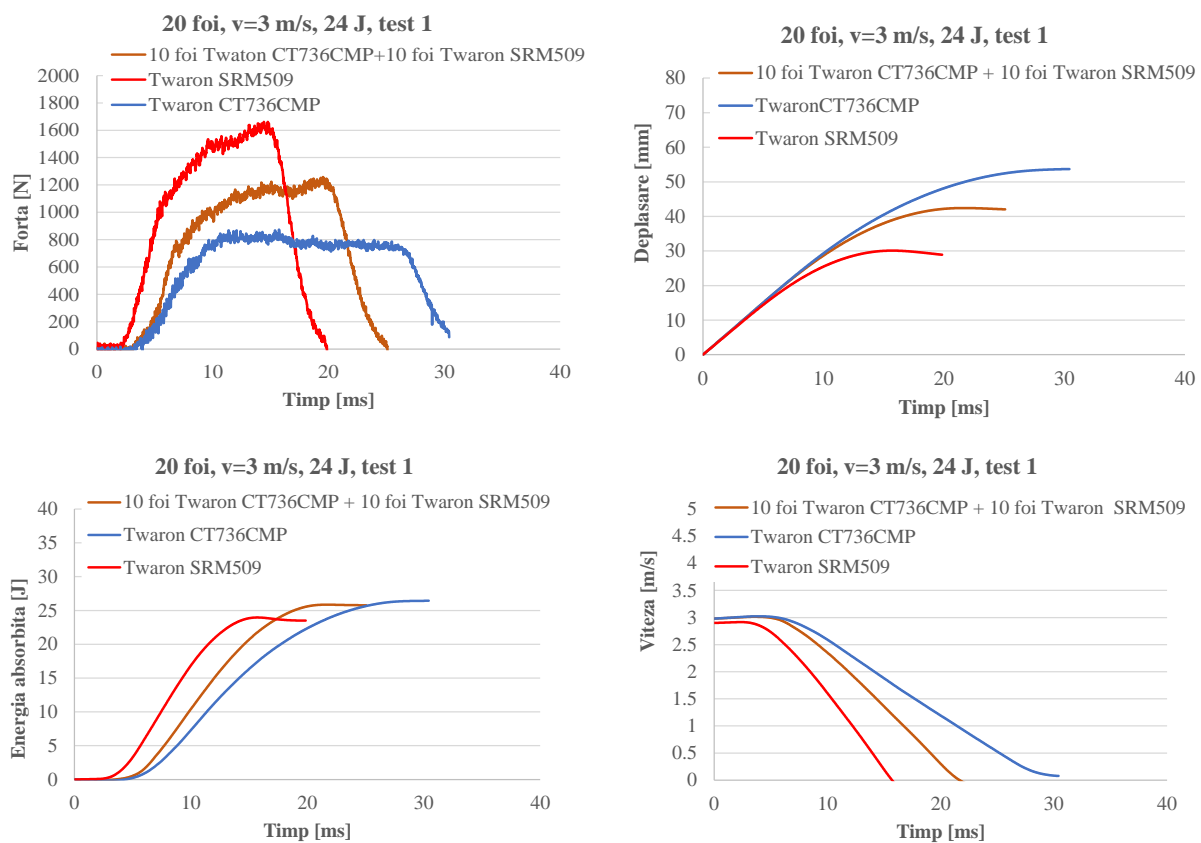


Fig. 5.22. Parametrii înregistrați și calculați pentru testele cu panouri cu 20 de straturi, realizate din aceeași țesătură și un panou hibrid realizat din 10 straturi de SRM509 (în față) și 10 straturi de CT36CMP (în spate).

Testele au fost efectuate pe mașina Instron CEAST 9340, instrumentată. Panoul a fost fixat strâns cu ajutorul unei cleme inelare, cu o presiune de 5 bari (ceea ce nu se întâmplă în realitate, chingile sau husa vestei neajungând la această valoare). Figura 5.22 prezintă rezultatele unui panou hibrid realizat din Twaron SRM509 (primele 10 straturi) și din Twaron CT736CMP (următoarele 10 straturi, în ordinea impactului lamei) [Totolici-Rusu, V., 2022].

Durata impactului este aproximativ la jumătate din intervalul panourilor uniforme, adică  $25 \times 10^{-3}$  s, forma curbei forței este mai asemănătoare cu cea a panoului realizat din Twaron SRM509, dar vârful forței scade cu 400 N. Gradientul energiei absorbite este aproape la fel ca în cazul panourilor acoperite cu țesături.

Concluzia acestei analize este că un bun comportament la înjunghiere se obține pentru panourile care au gradienti mai mari în timp pentru toate cele patru caracteristici discutate aici: forță, deplasarea armei, energie absorbită de panou și viteza armei.

Lungimea tăieturii în panoul hibrid are, de asemenea, o lungime intermediară, o valoare între panourile cu straturi realizate dintr-o singură țesătură. Aici este prezentat doar panoul hibrid (Fig. 5.23), cu detalii ale tăieturii pe fața panoului și pe spatele acestuia.



Fig. 5.23. Fotografii ale panoului hibrid (130 mm x 130 mm) cu 10 straturi de Twaron SRM 509 și 10 straturi de Twaron CT736 CMP: a) față, b) spate

Chiar dacă aceste teste nu respectă întocmai metodele standard în confruntarea cu amenințările, rezultatele obținute din testele efectuate pe o mașină de tip "drop test" indică faptul că un răspuns mai bun în ceea ce privește protecția la înjunghiere (evaluată prin lățimea tăieturii pentru penetrarea completă) se va obține pentru panourile cu o pantă mare, atât pentru energia absorbită și cât și pentru scăderea vitezei în timpul impactului și valori ridicate ale forței maxime de înjunghiere cu formă de rampă, nu platou.

Atunci când se utilizează panouri hibride, rezultatele ar putea fi intermediare față de cele ale componentelor, această soluție ar putea fi recomandată din motive precum greutatea, panoul prezentând același nivel de protecție.

## 5.6. Mecanisme de distrugere la înjunghiere și înțepare

### 5.6.1. Introducere

Energia cinetică absorbită de țesătură,  $E_{\text{absorbită}}$  este definită de următoarele șase componente diferite:  $E_S$ : energia de forfecare a firelor.  $E_D$ : energia de deformare a tuturor celorlalte fire.  $E_T$ : energia până la ruperea prin tracțiune a firelor direct afectate.  $E_F$ : energia necesară pentru a învinge frecarea dintre straturile de țesătură.  $E_J$ : energia necesară pentru a depăși frecarea dintre lamă și fire.  $E_M$ : energia necesară pentru a deplasa țesătura în timpul impactului. Deci, se poate scrie

$$E_{\text{absorbită}} = E_S + E_D + E_T + E_F + E_J + E_M \quad (5.5)$$

În intervalul de timp de la impact, valoarea forței de perforare va crește până la penetrarea completă, iar apoi va scădea treptat. Pentru a crește energia de absorbție a țesăturii,



este de așteptat să evolueze fiecare componentă a energiei de absorbție a țesăturii, creșterea frecării dintre lamă și firele țesăturii [Wang, 2012].

### 5.6.2 Analiza proceselor de distrugere la înjunghiere

Pe baza literaturii studiate și a analizei fotografiilor macro și SEM efectuate asupra probelor înțepate, Fig. 5.24 prezintă sintetic procesele de distrugere care apar la înjunghiere cu armă tip lamă. De menționat este faptul că, analiza fotografiilor obținute din testele efectuate sunt pentru lama simetrică, de tip S<sub>1</sub>, conform [NIJ Standard-0115.01].

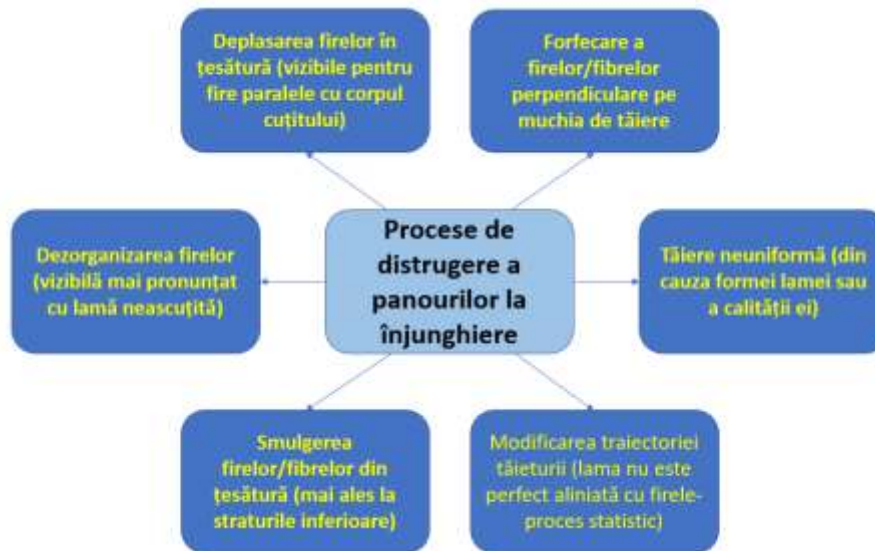


Fig. 5.24. Procese de distrugere a panourilor la înjunghiere

### 5.6.3. Analiza mecanismelor de cedare la înjunghiere cu cuțit S1, pentru panourile realizate, pe baza imaginilor obținute cu ajutorul microscopului cu scanare electronică

Figura 5.25 prezintă aspecte ale tăieturii cu cuțit S1, pe stratul 1 – față, pe panoul de 16 straturi de CT736.

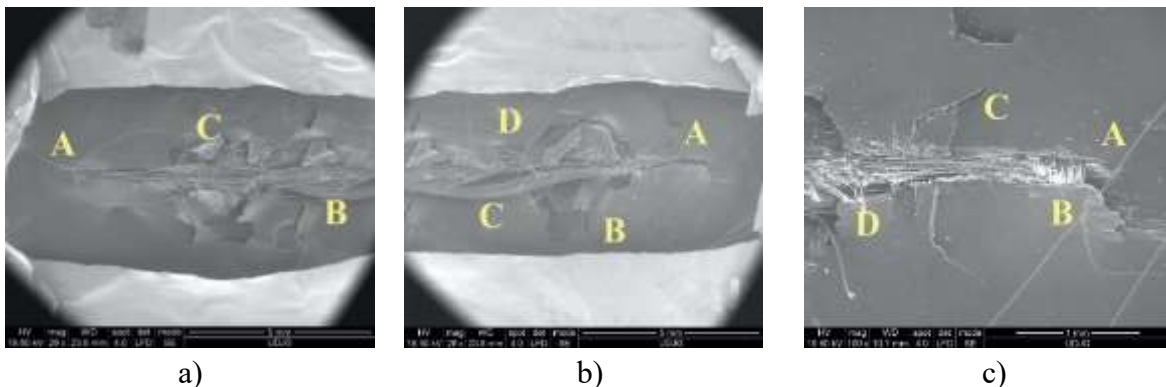


Fig. 5.25. Aspectul tăieturii cu cuțit S1, pe stratul 1 de pe panoul cu 16 straturi de CT736

Aspectul tăieturii se observă încă de la mărimi mici (x29, vezi imaginea din a) și b), detaliile firelor fiind ușor de observat la o mărire mai mare (x100): a) A – colțul din stânga al tăieturii, B – fir dezorganizat în timpul pătrunderii cuțitului și tăierii firelor perpendiculare, C – folia de polimer, ruptă, b) A – colțul din stânga al tăieturii, B – zona de trecere de la muchia

tăietoare a cuțitului, la corpul paralelipipedic al lui, C – fir dezorganizat în timpul pătrunderii cuțitului și tăierii firelor perpendiculare, D – câteva fibre rupte din firul dezorganizat (notat cu C aici imagine), c) A – folia polimerică de protecție a țesăturii, B – o parte dintr-un fir tăiat, cu fibre distruse mai mult prin forfecare, C – o fisură în folia aplicată țesăturii, D – câteva fibre rupte din firul dezorganizat.

Figura 5.26 prezintă detalii ale unui fir rupt de pe tăietura cu cuțit S1, de pe fața stratului 1, de pe panoul cu 16 straturi de CT736, la diferite mărimi, pentru a evidenția forme de distrugere a fibrelor, specifice tăierii cu muchie ascuțită a armei:

a) A – folia de protecție a țesăturii aramidice, ruptă, B – fibră ruptă printr-o combinație de forfecare cu întindere, C – fibre rupte, inițial făcând parte din firul D, D – fir cu fibre forfecate aproape în același plan,

b) A – fibră ruptă printr-o combinație de forfecare cu întindere, B – fibre rupte, inițial făcând parte din firul D, C – fibră cu fibrilație (fisurat pe lungimea fibrei, D – fibră forfecată (de formă tipică, obținută la tăierea fibrei aramidice), E – o fibră forfecată și cu capătul îndoit, F – fibră ruptă și prin întindere,

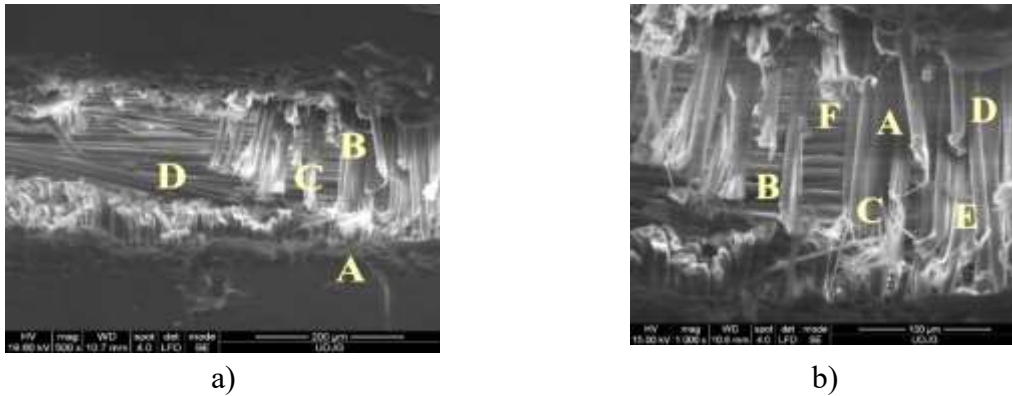


Fig. 5.26. Imagini SEM ale tăieturii cu cuțit S1, cu o energie de 24 J, pe stratul 1 – față de pe panoul cu 16 straturi de CT736

Figura 5.27 arată detalii ale fibrelor rupte prin forfecare de la tăietura cu cuțit S1, cu o energie de 24 J, pe stratul 2 – spate de pe panoul cu 16 straturi de CT736: a) dezorganizarea smulgerea și tăierea firelor a țesăturii, b) capăt de fibră, ruptă dominant prin forfecare, dar cu detașarea fibrilelor de dimensiuni transversale diferite, c) fibră ruptă prin întindere

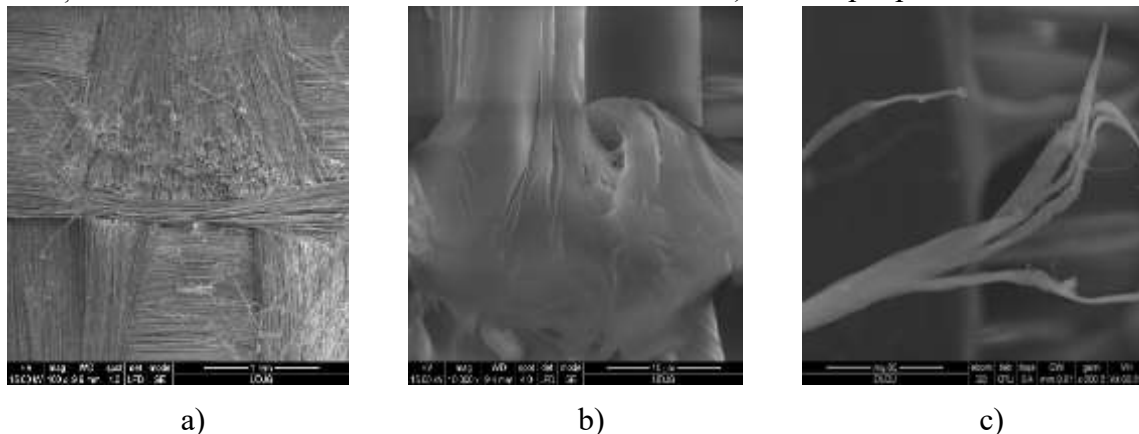


Fig. 5.27. Detalii ale fibrelor rupte prin forfecare de la tăietura cu cuțit S1, cu o energie de 24 J, pe stratul 2 – spate de pe panoul cu 16 straturi de CT736

Figura 5.28 prezintă tăietura prin stratul 1 – față, prin panoul de 16 straturi de SRM509, după lovire cu cuțit S1, cu 24 J:

a) o mărire de x30 a permis măsurarea cu precizie a lungimii tăieturii,  $L_{față}$ , pe fața stratului 1; se observă procesele care au absorbit energia de lovire : tăierea fibrelor, răsucirea altora și îndoire, desprinderea acoperirii cu particule abrazive

b) detaliu al imaginii a), la o mărire x100 : A – fragment de acoperire, rotit de avansul cuțitului, pe care se observă urmele fibrelor, B – fir cu fibre întinse, deformate plastic, rupte la tracțiune, C – fir cu fibre forfecate, D – partea superioară a aceluiași fir, deplasat de avansul cuțitului, E – fragment de acoperire, F – fisura de margine a acoperirii abrazive,

c) un detaliu al imaginii din b) pentru firul cu fibre forfecate aproape în același plan: A – fir cu fibre tăiate prin forfecare, fibrele fiind tăiate la același nivel, B – fragment din stratul polimeric cu abraziv, pe care se vad urmele fibrelor smulse, C – alt fir parțial tăiat, lângă literă este o particulă abrazivă, parțial desprinsă din acoperire, D – acoperirea cu abraziv, parțial desprinsă, E – fragment de acoperire.

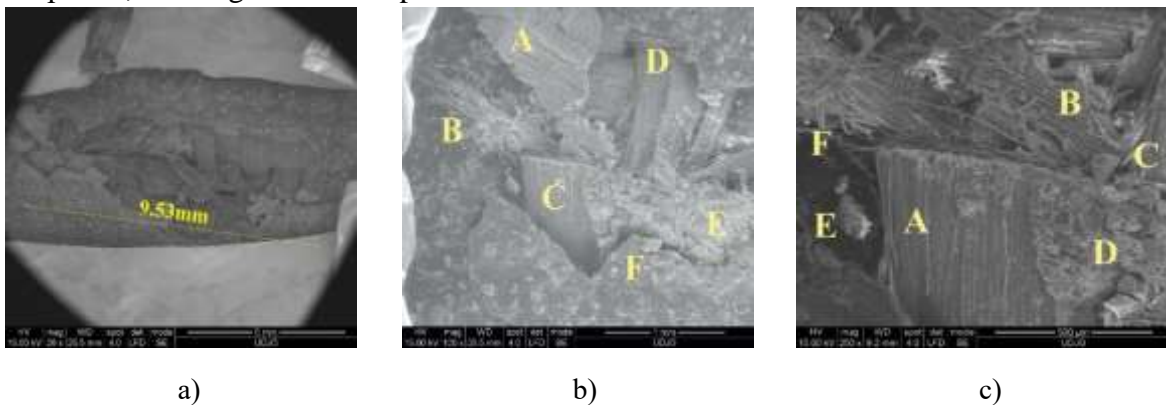


Fig. 5.28. Imagini SEM ale stratului 1 – față din panoul cu 16 straturi de SRM509, după lovire cu cuțit S1, cu 24 J

Figura 5.29 prezintă detalii ale particulelor abrazive rupte prin forfecare la tăietura de cuțit, cu o energie de 24 J, pe stratul 1 – față de pe panoul cu 16 straturi de SRM 509: a), particule abrazive notate cu A1, A2, A3, A4, A5, diferite față de cele din imaginea anterioară, b) un detaliu obținut la o mărire de x5000, în care se văd două particule dure, chiar la marginea tăieturii, deci, foarte probabil au interacționat cu lama cuțitului. perire, F – câteva fibre rupte prin întindere dintr-un fir aproximativ paralel cu tăietura

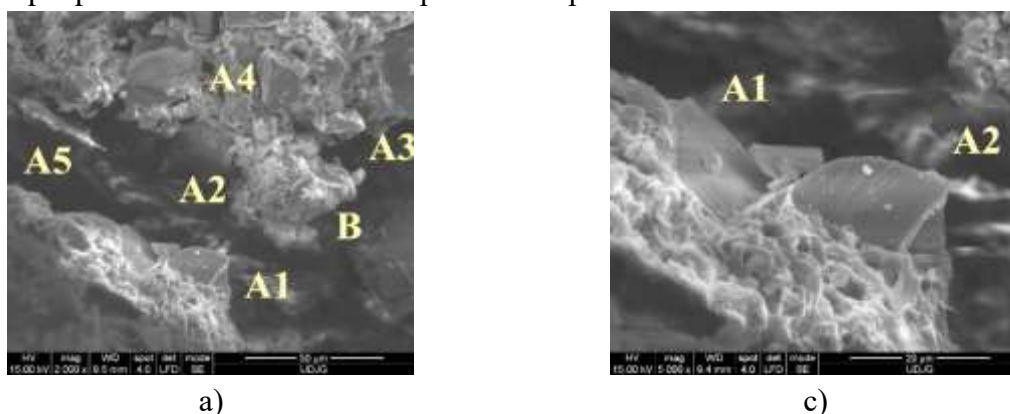


Fig. 5.29. Detalii ale particulelor abrazive rupte prin forfecare de la tăietura cu cuțit S1, cu o energie de 24 J, pe stratul 1 – față de pe panoul cu 16 straturi de SRM509

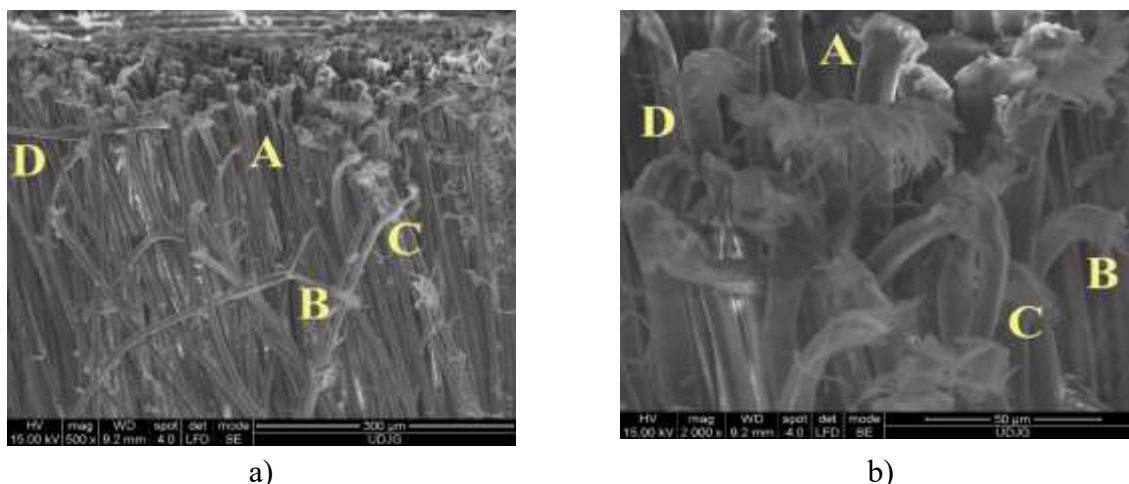


Fig. 5.30. Detalii ale fibrelor rupte prin forfecare de la tăietura cu cuțit S1, cu o energie de 24 J, pe stratul 1 – spate de pe panoul cu 16 straturi de SRM 509

Figura 5.30 prezintă detalii ale fibrelor rupte prin forfecare de la tăietura cu cuțit S1, cu o energie de 24 J, pe stratul 1 – spate de pe panoul cu 16 straturi de SRM 509 :

a) A – fibre forfecate, B – fibră fibrilată la capăt, fibrilele sunt rupte prin întindere, C – fibră ruptă prin întindere și forfecare, cu zone gătuite, indicând diferite în gradul de cristalinitate și/sau micro defecte în fibrile, D – fibră forfecată dar antrenată de lama, cu o zonă aplatizată,

b) A – fibra a fost forfecată, formând o „floare de cui”, tipică pentru fibrele aramidice, B -C-îndoirea fibrei și secționată, capătul tăiat al fibrei este ca deschiderea unei flori.

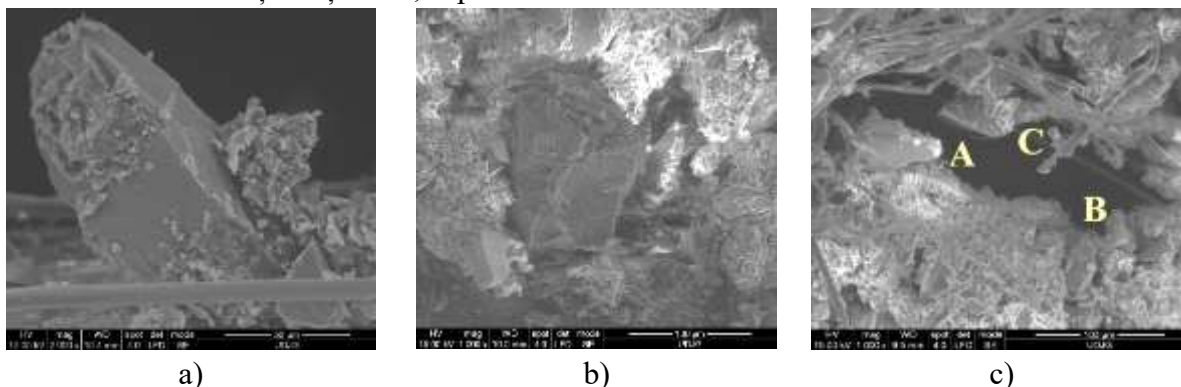


Fig. 5.31. Detalii SEM ale particulelor abrazive rupte prin forfecare la tăietura de cuțit, cu o energie de 24 J, pe stratul 2 – față de pe panoul cu 16 straturi de SRM 509

Figura 5.31. Prezintă detalii ale particulelor abrazive rupte prin forfecare la tăietura de cuțit, cu o energie de 24 J, pe stratul 2 – față de pe panoul cu 16 straturi de SRM 509

a) și b) particulele se observă cu dimensiuni și forme diferite, dar particulele au muchii ascuțite, care pot zgâria lama cuțitului, consumând prin frecare mai multă energie din energia de lovire comparativ cu panoul din țesătură fără acoperire,

c) un detaliu la o mărire de x5000, cu particule dure, cu fibre, A -B forfecat la întindere prin cedarea unei părți din particulă, C - forfecat la întindere formând o zonă aplatizată.

#### 5.6.4. Analiza proceselor de distrugere la înțepare

Pe baza documentației studiate, dar și pe baza studiului realizat la nivel micro, cu ajutorul microscopului cu scanare electronică, am realizat diagrama din Fig. 5.32, care prezintă sugestiv procesele de distrugere a panourilor realizate din fibre/fire, țesute sau nu.

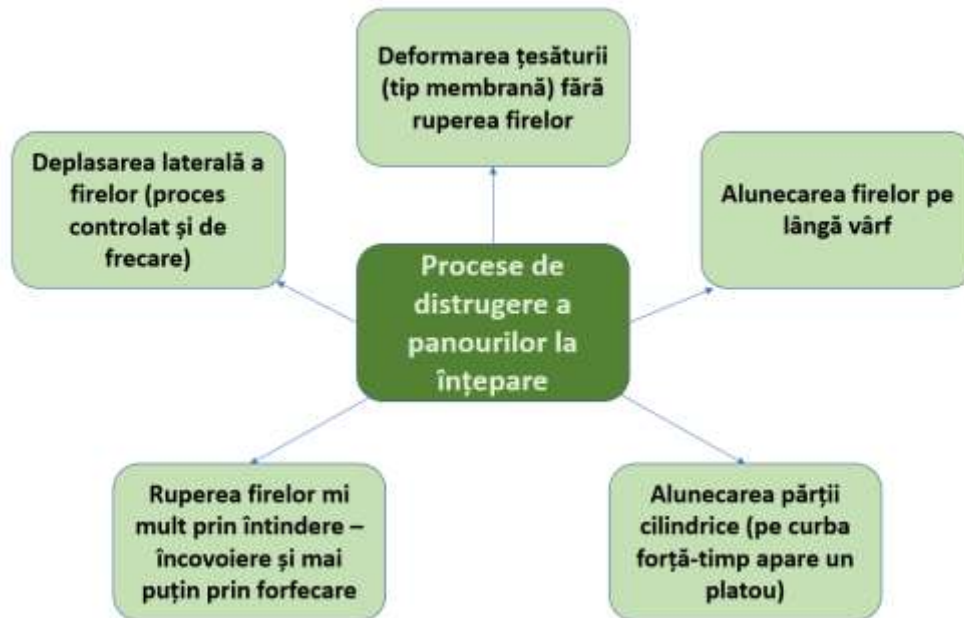


Fig. 5.32. Procese de distrugere la înțepare a țesăturilor

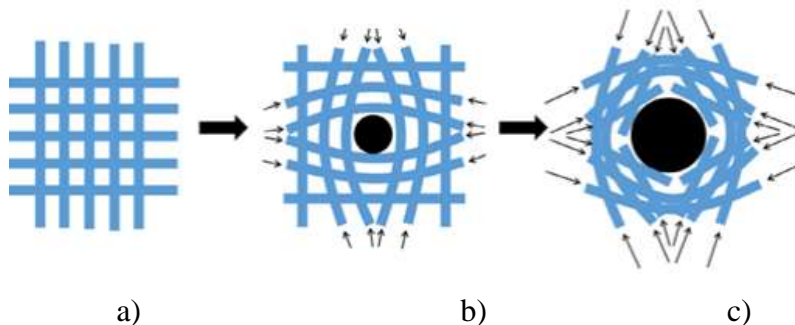


Fig. 5.33. Diagrama schematică de penetrare pentru mecanismul de deteriorare  
a) țesătura b) forța împinge firele deoparte c) distrugerea țesăturii [Wang Q., 2016],  
[Termonia Y., 2006]

Figura 5.33 arată mecanismul de cedare al firelor și țesăturii pe durata înțepării cvasi-stactice [Wang Q., 2016]. Atunci când adâncimea de penetrare a armei a crescut, firele care se aflau în apropierea vârfului s-au îndoit, s-au răsucit, iar presiunea de contact și forța de reținere asupra firelor au crescut dramatic. După cum se observă în Fig. 5.33c, firele din centru se rup, iar firele din jur se îndoaie în mod evident, iar unele fire sunt strânse împreună. Frecarea dintre armă și fibre a avut un efect remarcabil asupra proprietății de rezistență la înjunghiere a țesăturilor. Presiunea de contact și frecarea armei cu fibrele au avut principala funcție de împiedicare a procesului de penetrare și, în cele din urmă, a rămas o gaură (un orificiu) în țesătură.

### 5.6.5. Analiza proceselor de cedare a firelor și fibrelor la lovire cu țepușă, cu ajutorul imaginilor SEM, pentru panouri din țesătură SRM509

Figura 5.34 este un exemplu de distrugere a materialului, din care rezultă că această metodă de evaluarea a distrugerii panoului este valabilă pentru lovire cu țepușă. Imaginile s-au realizat la mărimi diferite: a) x50 și b) x100.

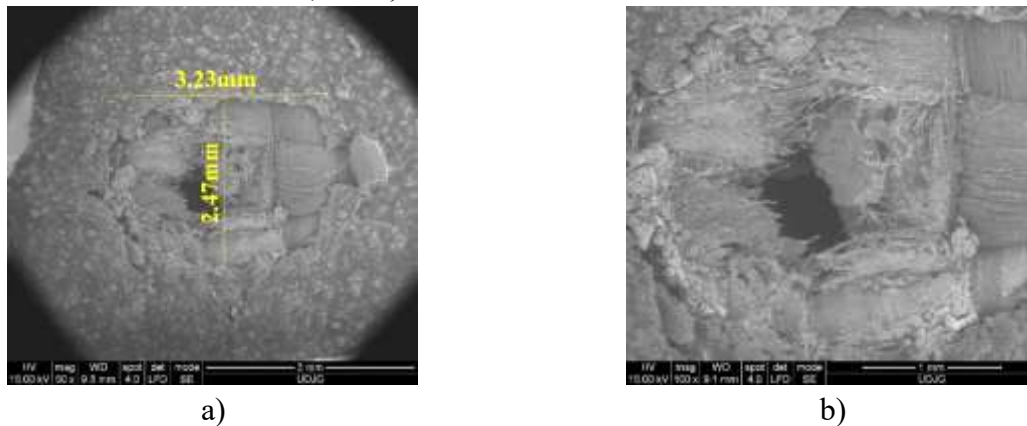


Fig. 5.34. a) și b) Aspecte ale orificiului rezultat pe fața stratului 1, la lovire cu țepușă, cu o energie de 24 J, pentru un panou de 16 straturi de SRM509;

În Fig. 5.34a și b sunt prezentate aspecte ale orificiului rezultat pe fața stratului 1, la lovire cu țepușă, cu o energie de 24 J pentru un panou de 16 straturi de SRM509.

Figura 5.35 prezintă imagini SEM ale orificiului de pătrundere a țepușei într-un panou de 16 straturi din SRM509 (vederea întregului orificiu este în Fig. 5.34): a) margine din care se observă mecanismul diferit de cedare al fibrelor, unele prin forfecare altele prin întindere, în partea dreaptă se observă modul de rupere al stratului cu particule abrazive, b) o mărire x1000 arată moduri diferite de rupere a fibrelor: A – fibră ruptă prin forfecare, B – fibră ruptă prin smulgere/întindere într-o zonă în care, probabil, a existat un defect pe fibră, C – fibră deformată local la întindere (în dreapta literei de indicație) și D – capăt rupt prin forfecare cu câteva fibrile alungite excesiv, E – rupere prin întindere, F – zonă a fibrei deformată prin răsucire și subțiere și rupere prin întindere, c) un detaliu la o mărire x2000 a fibrei F.

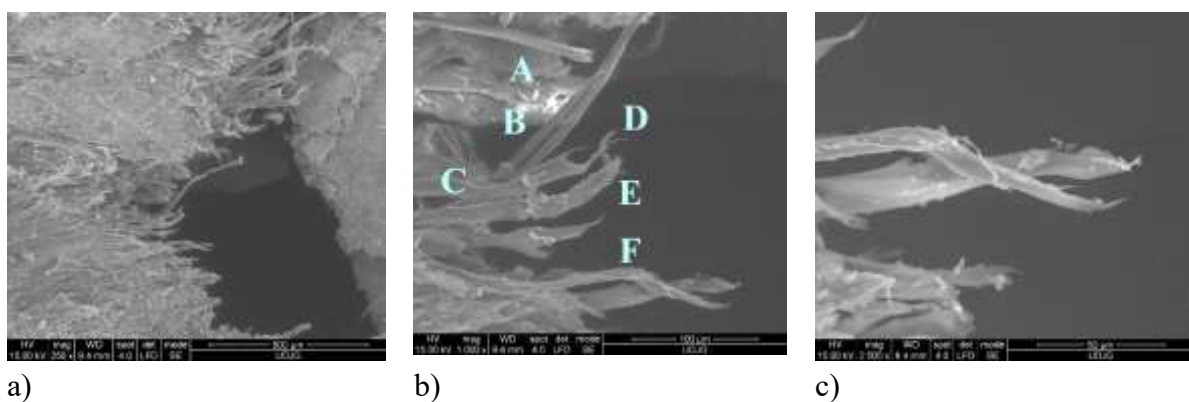


Fig. 5.35. Imagini SEM ale marginii orificiului de penetrare la un panou din 16 straturi de SRM509, lovit cu țepușă, cu o energie de 24 J

Figura 5.36 prezintă o particulă abrazivă rămasă în matricea polimerică, aflată chiar la marginea orificiului de pătrundere pe stratul 1: a) A1 – particulă abrazivă sfărmată, A2 – particulă abrazivă ruptă, A3 – zona de particule abrazivă neafectată, b) particulele se observă cu dimensiuni și forme diferite, dar particulele au muchii ascuțite, care pot zgâria lama cuțitului, consumând prin frecare mai multă energie din energia de lovire comparativ cu panoul din țesătură fără acoperire, c) un detaliu la o mărire x2000 a unei particule abrazive.

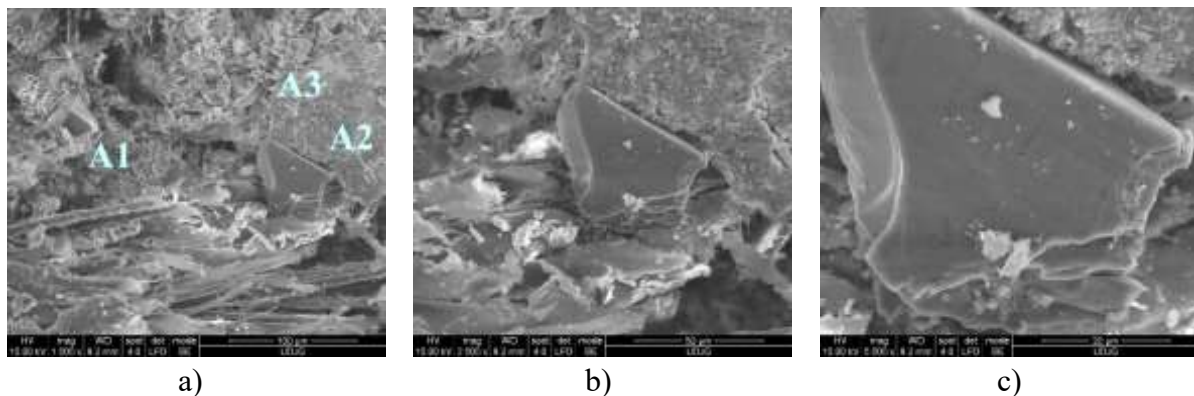


Fig. 5.36. Imagini SEM ale unei particule abrazive, sparte din cauza acțiunii țepușei. Imagini de pe stratul 1 al panoului de 16 straturi din SRM509

Figura 5.37 arată imagini SEM ale fibrelor, spate, rupte la întindere din cauza acțiunii țepușei de pe stratul 1 al panoului de 16 straturi din SRM509 stratul 1, spate, 24 J după cum urmează: a) fibrele tăiate prin întindere, după ce au fost eliberate de amenințare fibrele s-au desprins haotic neavând o formă de tăiere a firului ca la cuțit, b) și c) fibre rupte și așchiate, despicate în lungimea particulei, la întindere.

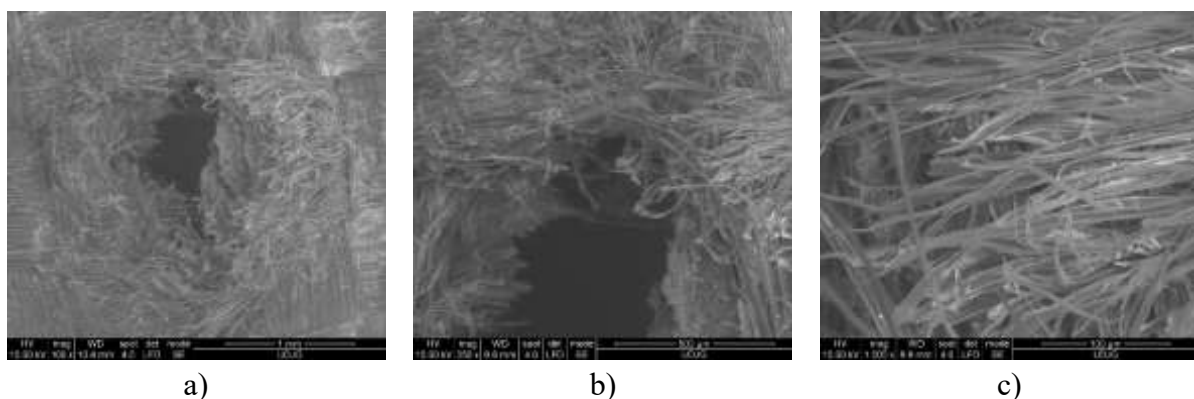


Fig. 5.37. Imagini SEM ale fibrelor, spate, rupte la întindere din cauza acțiunii țepușei. Imagini de pe stratul 1 al panoului de 16 straturi din SRM509 stratul 1, spate, 24 J

Figura 5.38 prezintă aspectul orificiului obținut pe fața ultimului strat (stratul 16), la înțepare cu țepușă, a unui panou de 16 straturi, cu o energie de 24 J, la diferite mărimi: a) x50, b) x100 și c) x250. Se observă că stratul compozit (rășină + particule abrazive) este deteriorat, prin strivire, rupere prin forfecare sau/și din cauza diferențelor de tensiuni între fire și acest strat.

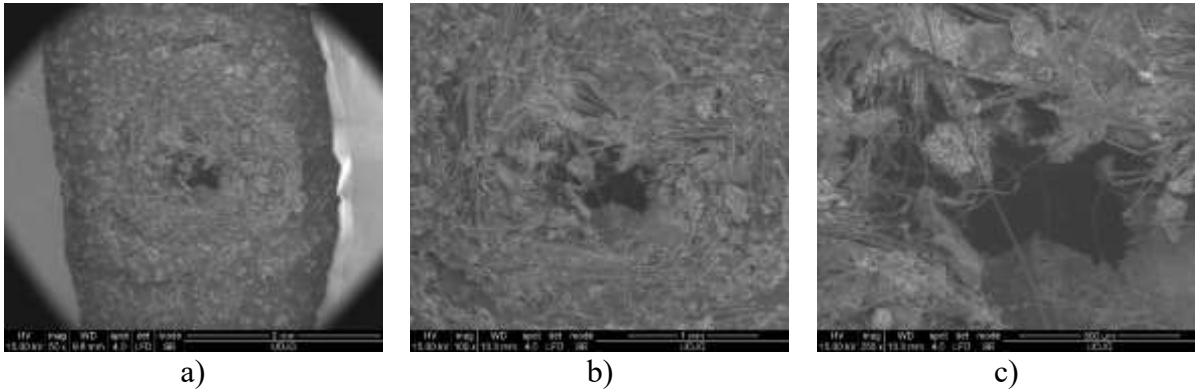


Fig. 5.38. Aspectul orificiului obținut pe fața ultimului strat (stratul 16), la înțepare cu tepușă, a unui panou de 16 straturi, cu o energie de 24 J

## 5.7. Sinteza rezultatelor experimentale, obținute pe mașina drop-test Instron 9340

### 5.7.1. Sinteza rezultatelor obținute în teste cu cuțit S1

Figura 5.39 prezintă sintetic valorile medii ale forței maxime înregistrate pentru testele cu cuțit S1, în funcție de numărul de straturi și de energia de lovire.

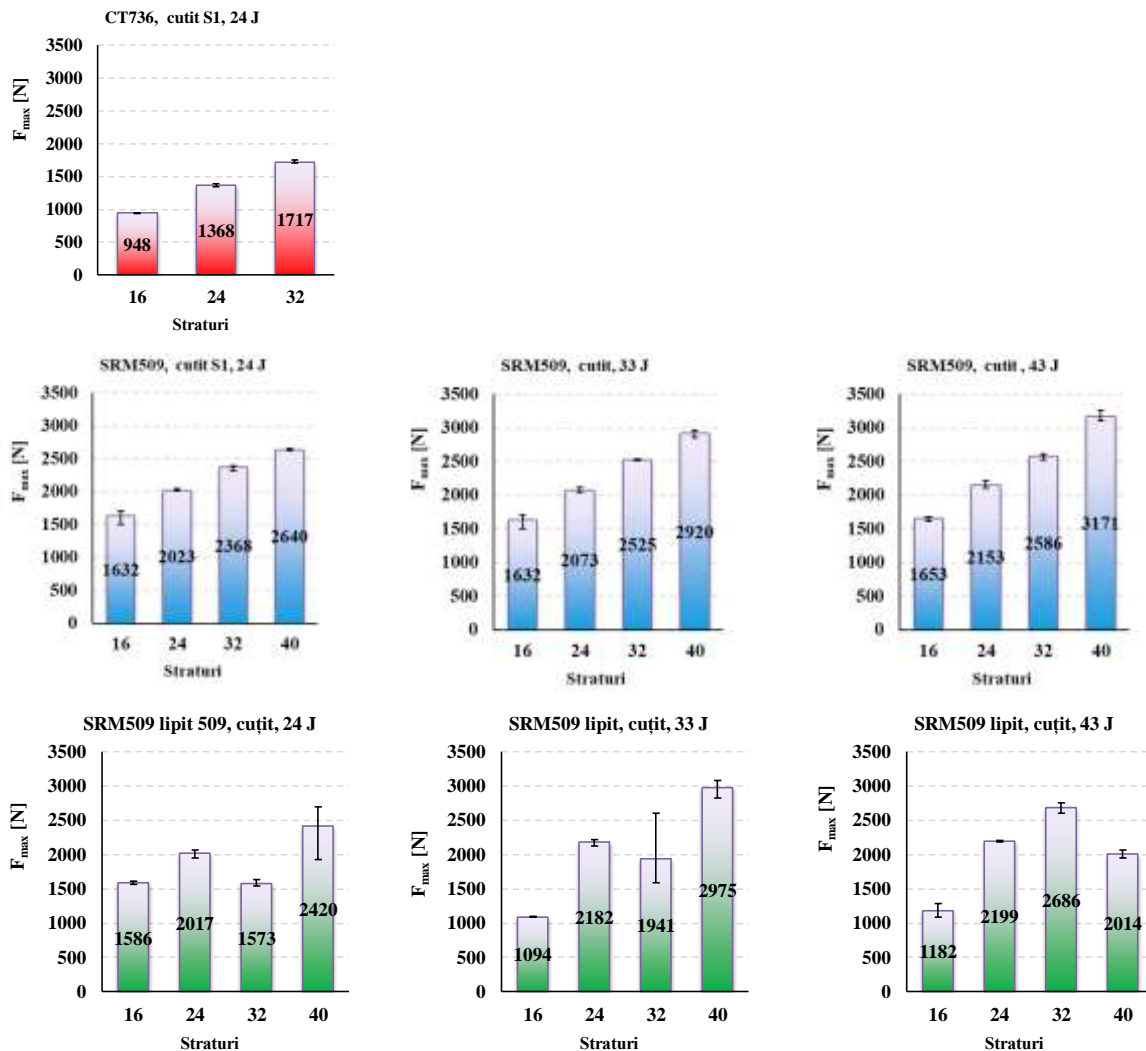


Fig. 5.39. Valoarea medie a forței maxime măsurate,  $F_{max}$ , pentru teste cu cuțit S1



Dependența are o tendință liniară de creștere de la panoul cu 16 straturi, la panoul cu 40 de straturi, pentru ambele variante de panouri.

Durata impactului crește odată cu creșterea numărului de straturi, având o creștere liniară. Diferențe mai mari sunt între SRM509 și SRM509 lipite. Materialele lipite au răspuns diferit, datorită factorilor de lipire, între straturi nu a fost o soluție omogenă cântărită în mod egal datorită pulverizării manuale a substanței de lipire. Unele pachete de SRM509 lipit au ieșit mai rigide și energia de impact a fost preluată și de acest compozit forțând să disperseze pachetele (lipiturile). Influența impactului asupra materialului scade odată cu creșterea numărului de straturi, având o descreștere liniară.

### 5.7.2. Concluzii formulate pentru testele efectuate pe mașina drop-test Instron 9340

Figura 5.40 prezintă dependența unui parametru important la testele de înjunghiere,  $h_{\text{calculat}}$ . Se observă o scădere cu creșterea numărului de straturi, indiferent de energia de lovire.

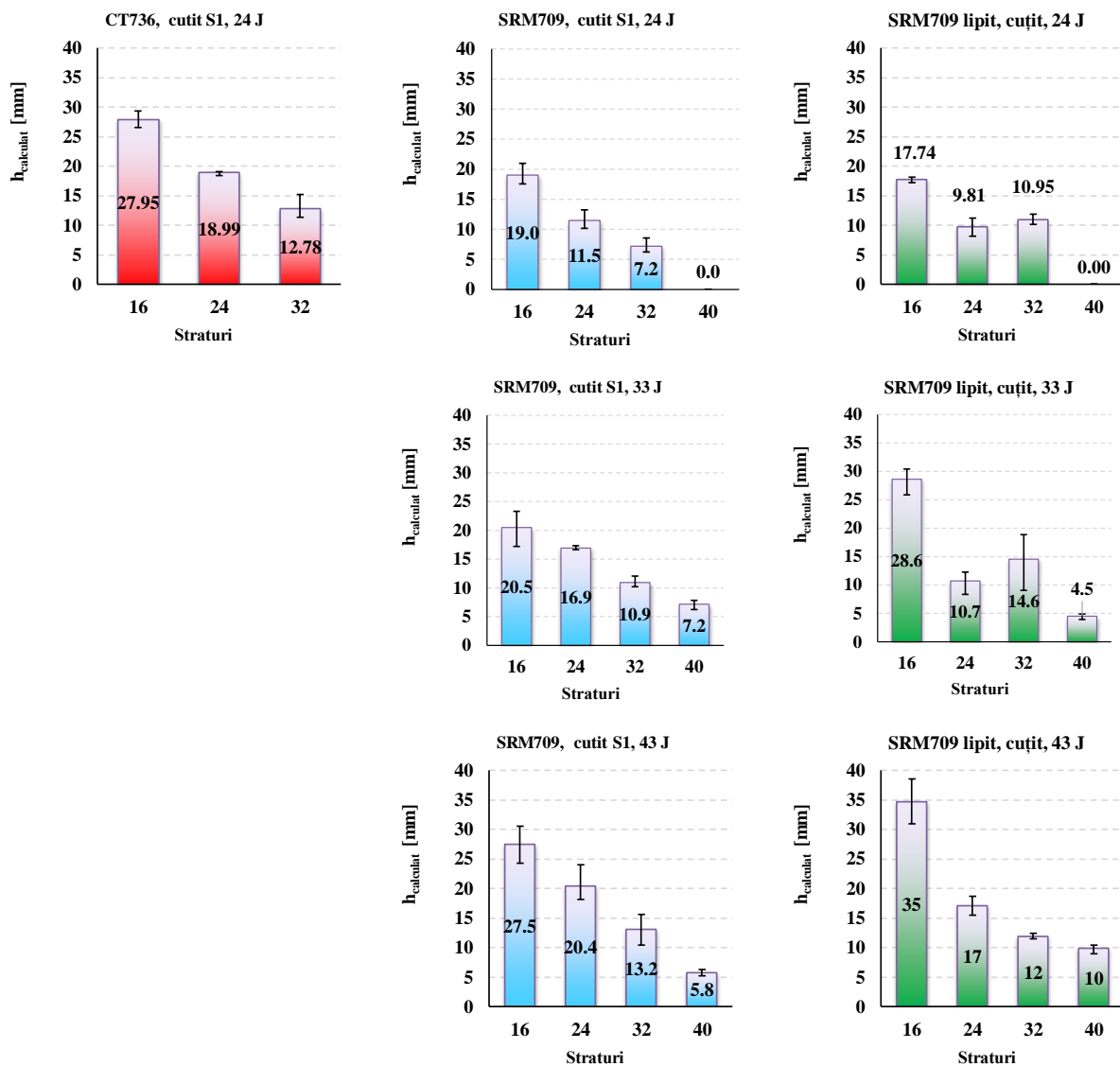


Fig. 5.40. Influența materialului asupra  $h_{\text{calculat}}$ , pentru teste de 24 J, 33 J și 43 J (cu cuțit S1)

Testele realizate pe mașina drop-test Instron 9340 a permis analiza rezistenței panourilor, pe diferite criterii:

- numărul de straturi de țesătură,
- adâncimea de pătrundere a cuțitului S1,  $h_{\text{calculat}}$ , numai pentru teste cu cuțit, pentru țepușă, acest parametru nefiind relevant din cauza formei cilindrice a țepușei și dependența unor parametri ca  $F_{\text{max}}$  (Fig. 5.41),
- durata procesului de lovire,  $t_f$ , de materialul panoului, de numărul de straturi din panou, de energia de lovire și de forma armei albe.

Din această analiză rezultă care material rezistă mai bine la aceste procese de distrugere, dar din datele experimentale rezultă doar o ierarhie a materialelor testate, nu și recomandări privind grosimea panourilor pentru protecție individuală deoarece probele sunt relativ mici ca suprafață și prinderea lor diferă de prinderea pe purtătorul vestei, dar această ierarhizarea a calității materialelor nu este la fel de costisitoare la testele efectuate pe probe de suprafețe mari, așa cum sunt cerute de standarde [NIJ Standard-0115.00 - Rezistența la înjunghiere a vestei de protecție personale].

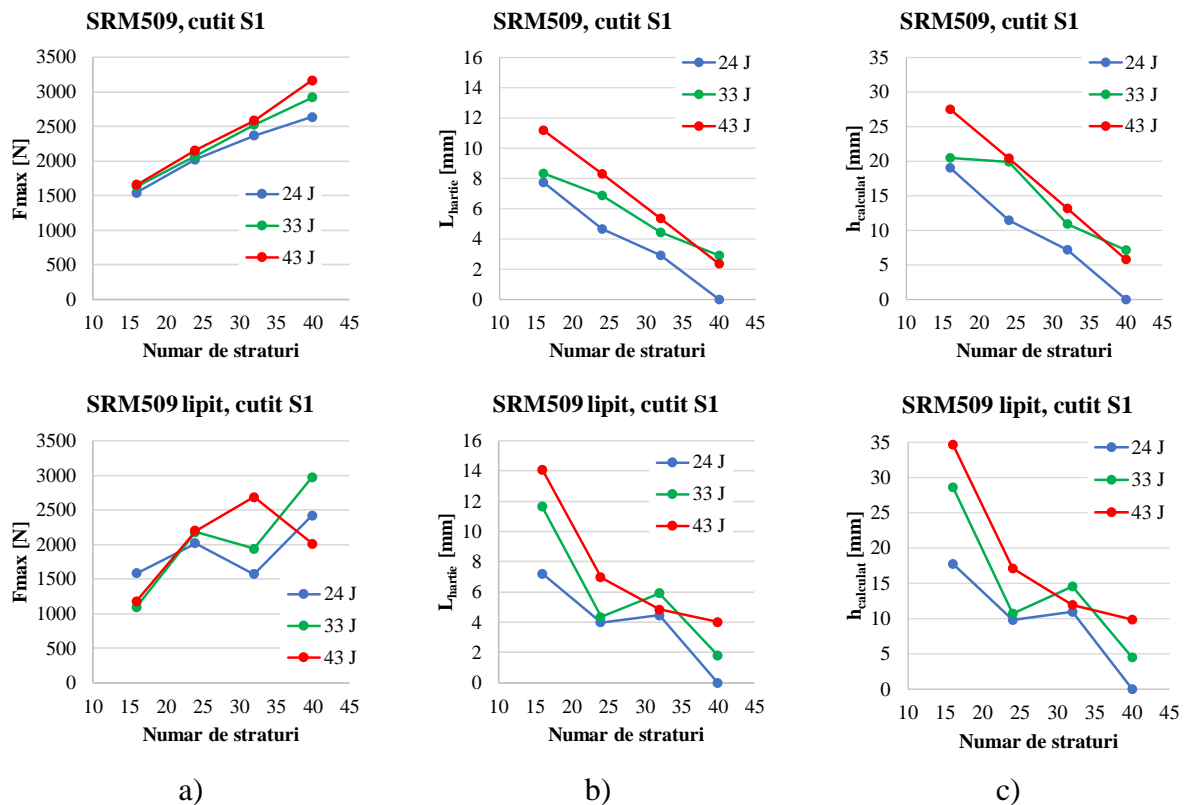


Fig. 5.41. Sinteza rezultatelor experimentale pentru teste cu cuțit S1, pentru a) panouri din SRM509, b) panouri din SRM509 cu straturile lipite cu adeziv

Rezultate mai bune s-au obținut pentru panourile din SRM509 nelipite. Panourile lipite au avut o comportare mai imprevizibilă și cu valori mai mari pentru  $h_{\text{calculat}}$ , deși pentru unele teste (24 J, 16 straturi și 24 straturi) valorile au fost mai mici decât pentru panourile nelipite. Este probabil ca tehnologia sa fie calitativ aplicată la toate probele: timp de întărire, uniformitatea acoperirii cu adeziv etc.) (Fig. 5.41). În plus se adaugă faptul că panoul devine mai rigid, ceea ce va stânjeni mișcările purtătorului.

În Fig. 5.42, reprezentarea grafică este pentru durata impactului pentru teste cu cuțit, iar în Fig. 5.43 durata impactului pentru teste cu țepușă. Cele trei culori ale fiecărei coloane indică etapele procesului de înjunghiere sau înțepare, stabilite la începutul capitolului.

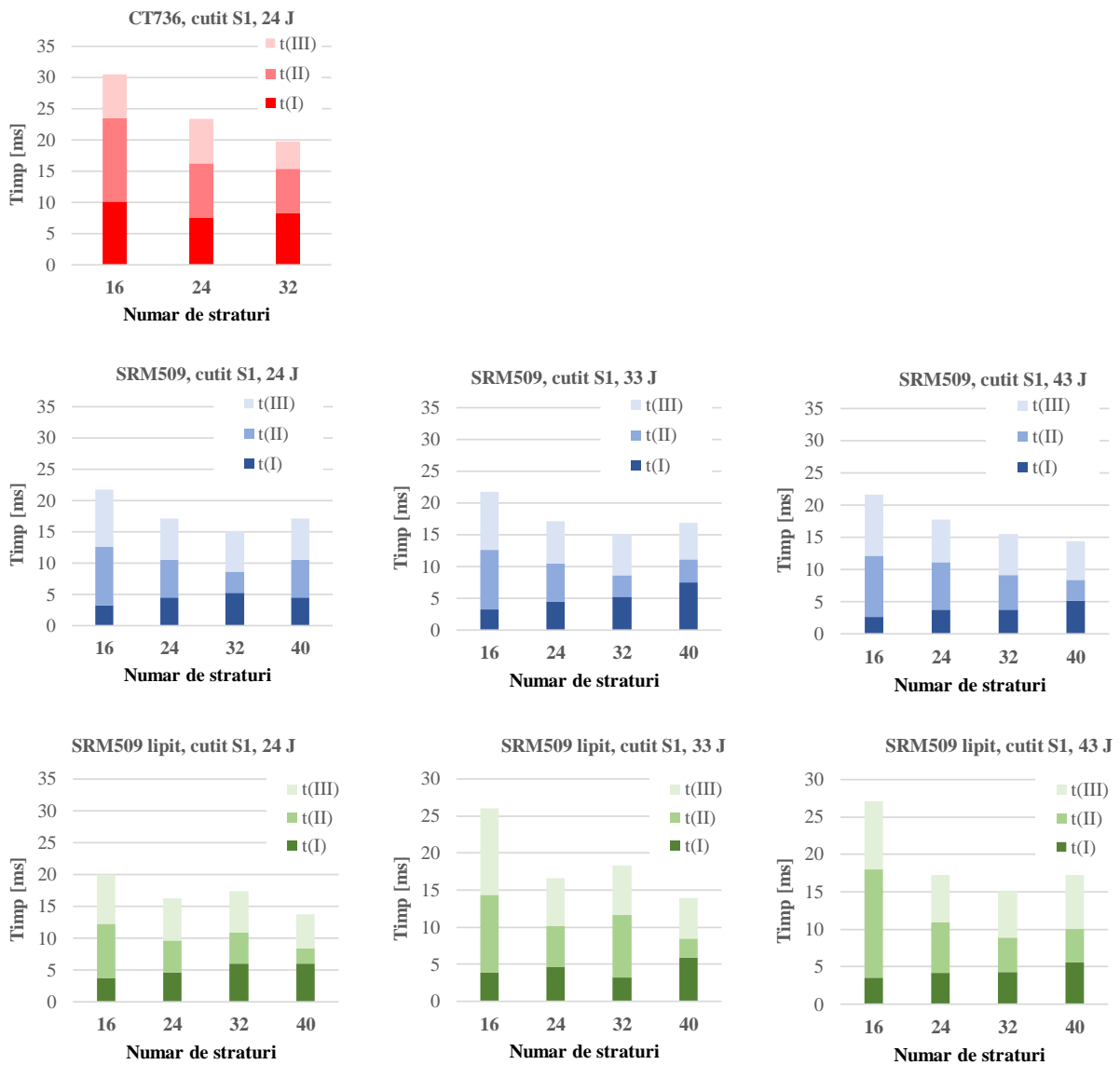


Fig. 5.42. Durata impactului pentru teste cu cuțit, reprezentată ca sumă a celor trei etape ale procesului de lovire

Făcând comparație între grafice (Fig. 5.42), se observă următoarele.

- Pentru fiecare material, creșterea numărului de straturi determină micșorarea parametrului  $h_{\text{calculat}}$ .
- La 16 straturi, panoul din SRM 509 doar legat lateral, a avut acest parametru, cel mai mic pentru energiile de impact de 33 J și 43 J.
- Din cele trei variante de panouri, valorile cele mai mici la același număr de straturi s-au obținut pentru SRM509 lipit, dar pentru 32 de straturi  $h_{\text{calculat}}$  a fost același pentru SRM 509 și SRM509 lipit; pentru aceste panouri se recomandă repetarea testului.

- Pentru panoul cu 40 de straturi SRM509 lipit, pe ultimul strat,  $L_{\text{calculat}}=L_{\text{spate}}=L_{\text{hârtie}}=0$ , pentru toate cele trei teste.

Cele mai mici valori sunt obținute pentru panourile lipite cu adeziv. Mai departe, executarea panourilor la dimensiunile pentru testarea lor ca niște componente de veste va trebui să stabilească și dacă panourile astfel obținute sunt suficient de flexibile pentru a fi purtate.

Calitatea materialelor folosite se observă din intervalele foarte mici de variație pentru grosime și masă pentru toate panourile testate.

Se observă următoarele:

- Cele mai mici valori s-au obținut pentru panourile din țesătură SRM 509 lipite, dar diferența față de panourile din SRM 509 este foarte mică și setul de panouri lipite nu are o comportare uniformă ca a panourilor nelipite.
- Valorile cele mai mari s-au obținut pentru panourile din CT 736.

Figura 5.43 prezintă durata impactului când arma folosită este țepușă. Se observă o scădere a duratei, considerată de la  $F(t_0=0)$  până la următorul moment când forța se anulează după trecerea ei prin valoarea maximă. Culorile fiecărei coloane reprezintă cele trei etape ale procesului de înțepare, așa cum au fost stabilite la începutul acestui capitol.

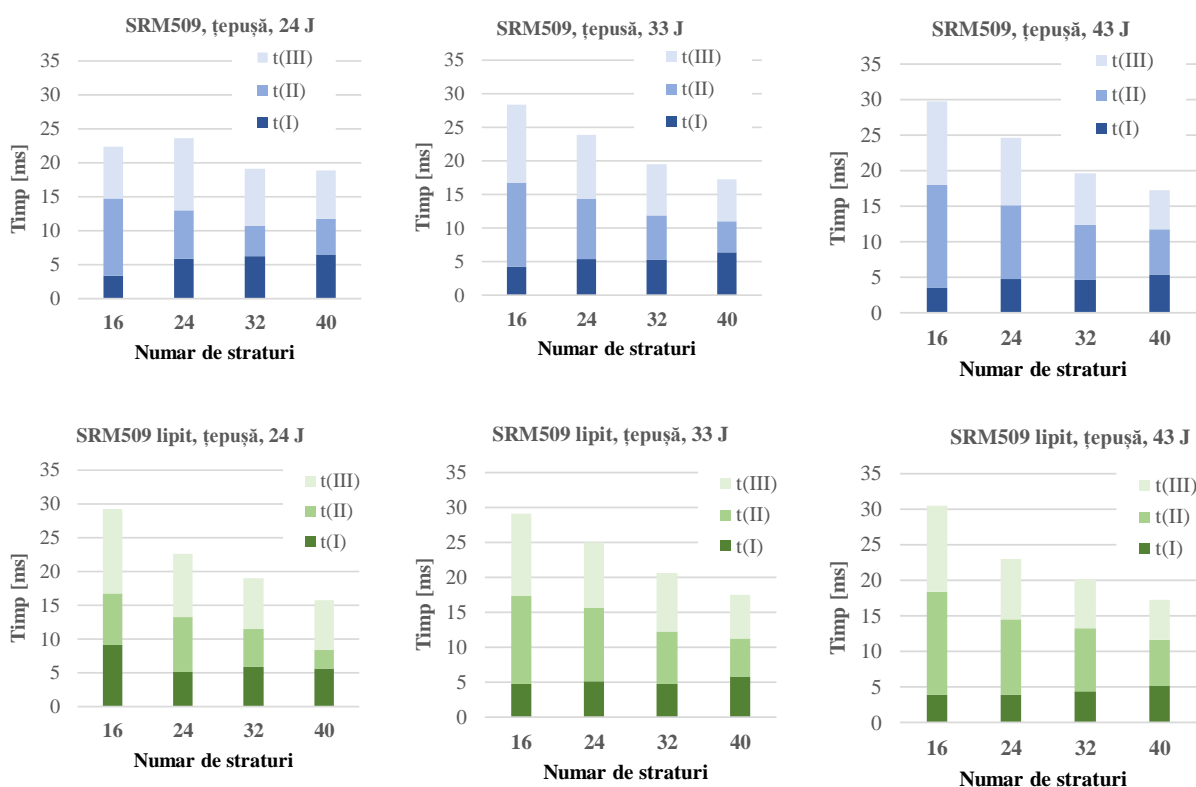


Fig. 5.43. Durata impactului pentru teste cu țepușă

Durata lovirii cu țepușă scade cu creșterea numărului de straturi. Durata cea mai mare nu depășește 30 ms (la energia de 43 J) iar durata cea mai mică este în jurul valorii de 16...17 ms.  $F_{\text{max}}$  evoluează diferit: pentru panouri din SRM509, tendința pare tot liniară, dar cu valori mai mari decât la țepușă, fapt explicabil pentru că mai puține fire se rup la atacul cu țepușă.

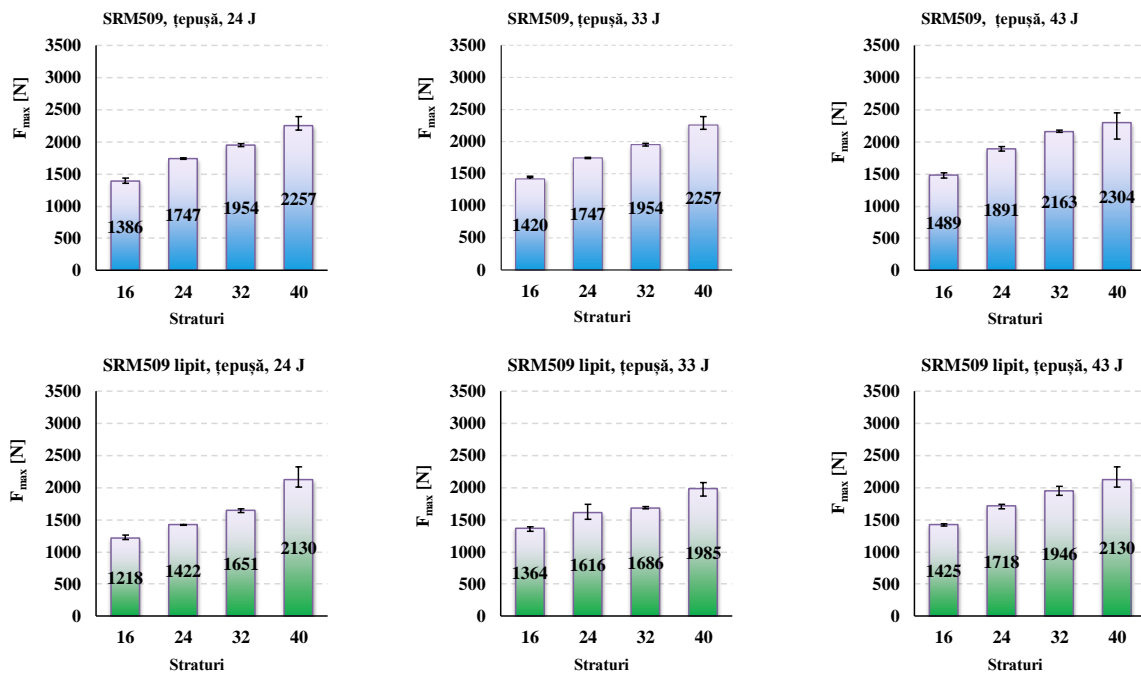


Fig. 5.44. Valoarea medie a forței maxime măsurate,  $F_{max}$ , pentru teste cu țepușă

Figura 5.45 prezintă grafic concluzii privind testele efectuate pe mașina Instron 9340 pentru evoluția valorii medii a  $F_{max}$ .

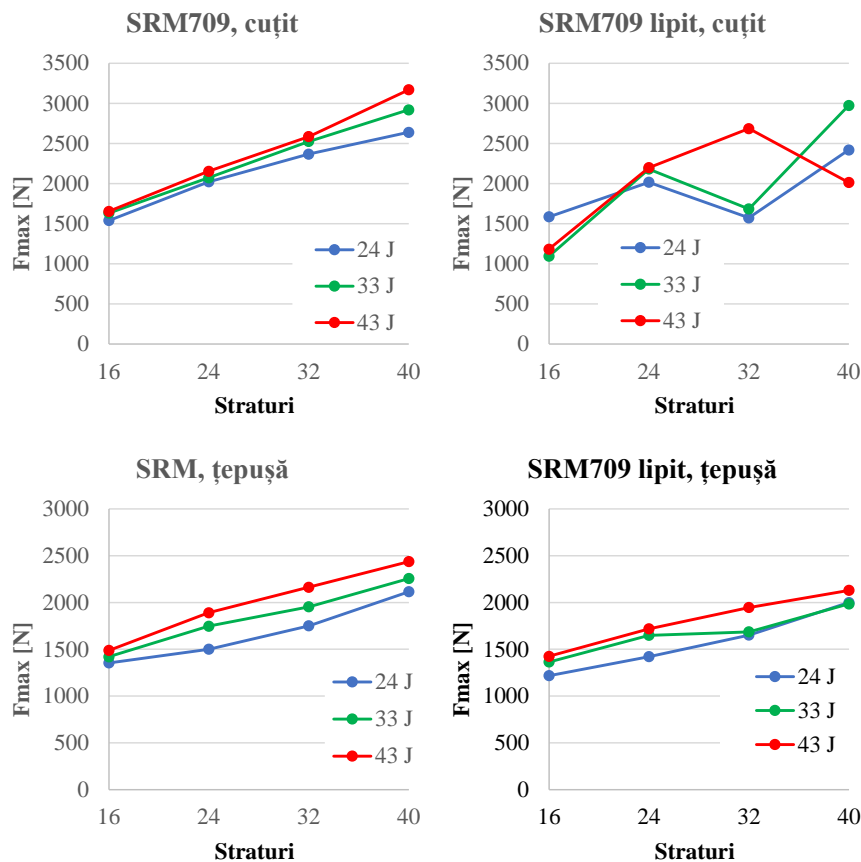


Fig. 5.45. Dependența forței maxime la lovire de tipul armei (cuțit și țepușă), numărul de straturi și energia de lovire

Se observă mai bine tendința de creștere cu numărul de straturi pentru panourile din SRM509 și creșterea valorii lui  $F_{max}$  cu creșterea energiei de lovire, atât pentru testele cu cuțit S1, cât și pentru cele cu țepușă. Pentru SRM509 lipit nu s-a constatat o proporționalitate a lui  $F_{max}$  cu energia de lovire și nici cu numărul de straturi. Testele cu panouri lipite, lovite cu cuțit S1 nu au o tendință clară a dependenței  $F_{max}$  de numărul de straturi și energia de lovire. Faptul ar fi explicabil prin calitatea neuniformă a aplicării adezivului și a nerespectării timpului de îmbătrânire naturală, așa cum este specificat în fișa tehnică a adezivului.

Pentru testele cu țepușă, răspunsul celor două tipuri de panouri este asemănător, o creștere aproape liniară a forței maxime cu numărul de straturi și o ordonare crescătoare a valorilor cu creșterea energiei, pentru același număr de straturi ale panoului.

### 5.8. Teste pe instalația de la CCIABRNE

Nefiind o instalație instrumentată, parametrul relevant a fost adâncimea de pătrundere, calculată în funcție de lungimea tăieturii pe hârtia martor, pentru testele efectuate cu cuțit. Pentru testele cu țepușă, evaluarea a fost doar calitativă (penetrare sau oprirea țepușei în panou, fără deteriorarea ultimului strat.

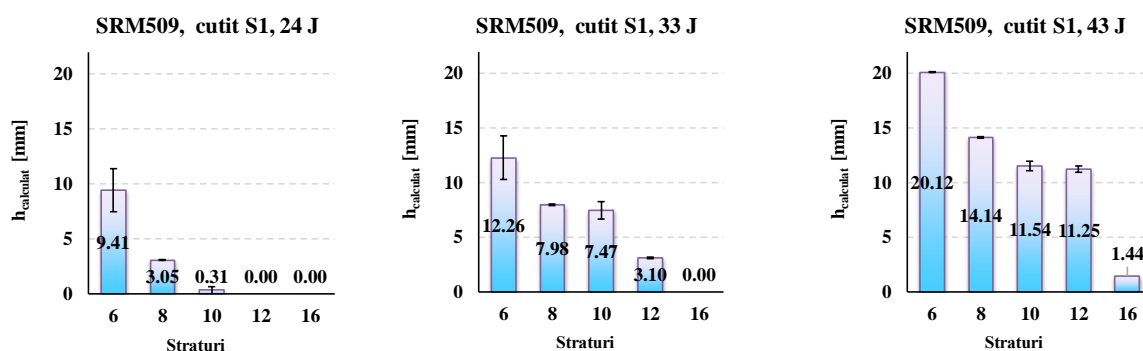


Fig. 5.46. Lungimi măsurate ale tăieturilor pentru panourile cu 6, 8, 10, 12, 16 straturi testate la 24J, 33J, 43 J

Influența impactului asupra materialului scade odată cu creșterea numărului de straturi, având o descreștere liniară. Figura 5.46 arată influența materialului asupra  $h_{calculat}$ , din care rezultă influența puternică a energiei de lovire. Astfel, pentru 24 J, panourile din 8 straturi SRM509 oferă o protecție cerută de standardul american [NIJ Standard 0115.01]. Pentru panourile de 8 și 10 straturi, testate la 33 J, valorile sunt doar puțin peste 7 mm, ceea ce ar sugera că panouri de 11 straturi ar trebui testate. La 43 J, între panourile cu 12 straturi și cele cu 16 straturi scăderea acestui parametru este mult mai bruscă decât scăderea lui  $h_{calculat}$  de la 8 straturi la 12 straturi. Se cer teste cu valori intermediare ale straturilor (13, 14 și 15 straturi) pentru a avea acest parametru doar puțin sub 7 mm. Evident, următoarea campanie ar trebui să conțină teste mai numeroase.

Probele au fost notate cu următoarele coduri (Fig. 5.47): - 1P - lovitură la energia de 24 J, testată cu cuțit, - 2P - lovitură la energia de 33 J, test cu cuțit, - 3P - lovitură la energia de 43 J, test cu cuțit, - 1S - lovitură la energia de 24 J, test cu țepușă, - 2S - lovitură la energia de 33 J, test cu țepușă, - 3S - lovitură la energia de 43 J, test cu țepușă.

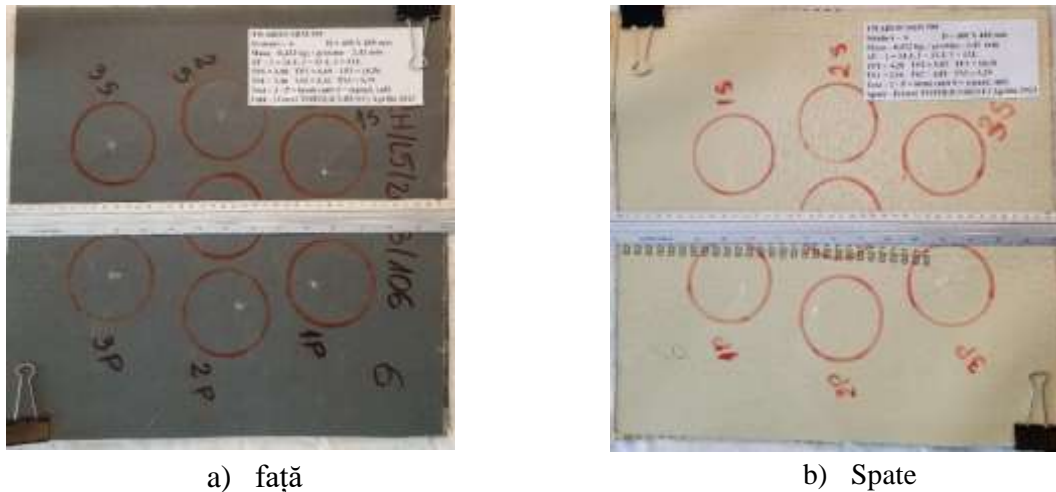


Fig. 5.47. Panoru cu 6 straturi din SRM 509

Figura 5.48 prezintă pe același grafic, mai mulți parametri ( $L_{față}$ ,  $L_{spate}$ ,  $L_{hârtie}$  și  $h_{calculat}$ ) pentru teste cu cuțit S1, cu energie de 24 J, 33 J și, respectiv, 43 J. Se observă că evoluția lungimilor măsurate pe panouri, pe fața și spatele lor, dar și cea de pe hârtie nu evoluează cu pantă așa de mare ca  $h_{calculat}$ . Aceiași analiză este realizată în Fig. 5.49, dar pentru fiecare parametru, la energii de lovire diferite.

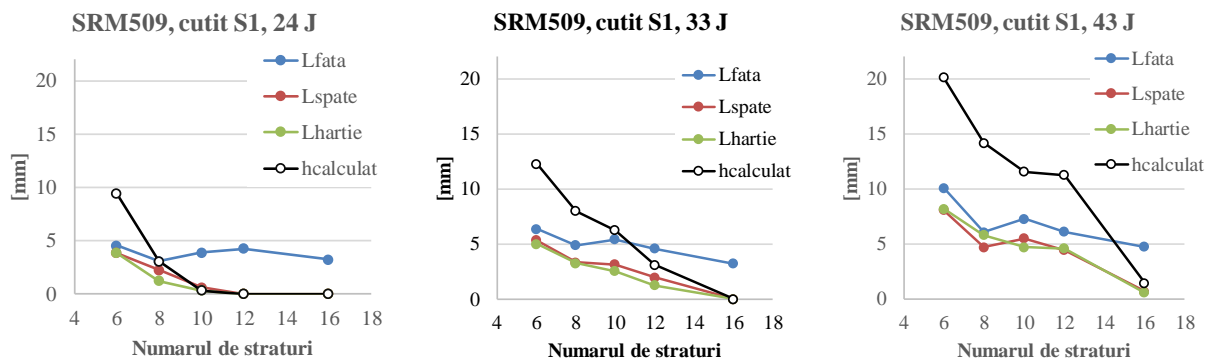


Fig. 5.48. Rezultate experimentale (valori medii) în funcție de numărul de straturi de țesătură SRM 509 (teste efectuate pe instalația de la CBRNE)

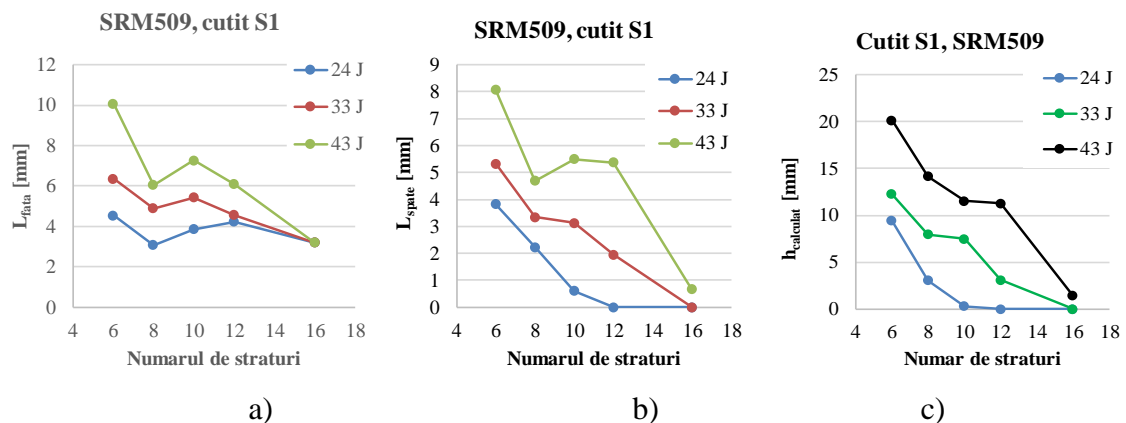


Fig. 5.49. Rezultate experimentale (valori medii) în funcție de numărul de straturi de țesătură SRM 509 a) lungime față, b) lungime spate, c)  $h_{calculat}$

## **5.9. Concluzii pentru datele experimentale obținute din testele pe mașina Instron 9340**

Rezultatele arată că, cu cât este mai mare numărul de straturi, cu atât este mai bună performanța rezistenței la înjunghiere și înțepare.

Creșterea grosimii materialului, poate prelungi procesul de perforare, absorbind mai multă energie de impact. Modurile de rupere, în cazul unui impact prin perforare, includ în principal fisurarea fibrelor, alunecarea, desprinderea și ruperea prin forfecare și întindere. Creșterea energiei de impact va duce la o creștere a adâncimii de perforare și a suprafeței deteriorate, dar modul de rupere rămâne neschimbat.

Dacă la panourile cu 16 straturi,  $F_{max}$  are valori similare atât la impact cu cuțit, cât și la lovire cu țepușă, la toate nivelele energetice testate, pe măsură ce numărul de straturi crește, se obțin valori mai mari la loviturile de țepușă.

În ceea ce privește panourile obținute din SRM 509 lipit și nelipit, rezultatele sunt diferite.

La testul cu țepușă panourile SRM 509 lipit s-au comportat similar cu materialul SRM nelipit, dar s-au înregistrat valori mai mici la 33J și 43J. Acest lucru se explică prin faptul că energia cinetică este disipată pentru dezlipirea panourilor.

Durata forței maxime la testul cu 40 straturi este de aproape de 10 ms, pe când la testele cu 32 straturi durata de acțiune a forței maxime este de 7 ms (milisecunde).

Variația forței  $F_{max}$  nu este foarte mare de la un nivel la altul. De la 24 J la 33 J saltul energetic reprezintă 37,5% din valoarea inițială, pe când saltul pentru forță, reprezintă un salt de 5,9% față de forța maximă înregistrată la 24 J.

Forța de smulgere și frecare a firelor a limitat alunecarea firelor, ceea ce a făcut ca mai multe fire din jurul împunsăturii să disipeze energia.

Materialele, flexibile la solicitări au îmbunătățit semnificativ rezistența la tensiune a țesăturilor, ceea ce oferă o perspectivă strălucitoare în domeniile armurii corporale moi, și a dispozitivelor de amortizare.

SEM a fost ales pentru a analiza probele de țesături, deoarece această tehnică poate realiza imagini la rezoluție înaltă și oferă o adâncime de câmp mai mare decât microscopia optică. Astfel, capetele fibrelor au putut fi analizate la o rezoluție înaltă, pentru a observa orice deteriorare a acestora. Se demonstrează prin imagini, la rezoluții mai mici sau mai mari, deteriorarea țesăturii de către armele albe. Penetrarea și deteriorarea fibrelor diferă pentru fiecare dintre arme.

În ceea ce privește răspunsul SRM lipit la lovire cu cuțit, rezultatele testelor efectuate sunt relativ diferite, deși cele trei teste repetate au înregistrat valori foarte apropiate.

Panourile din SRM 509 au o dependență aproape liniară, crescătoare cu numărul de straturi în testele efectuate la aceeași parametri. La un număr de straturi mai mare,  $F_{max}$  se obține la nivelul de energie cel mai mare.

Influența numărului de straturi asupra lui  $F_{max}$  este mai mare decât influența energiei de lovire.



## Capitolul 6

### Concluzii

#### 6.1. Importanța temei

Obiectele ascuțite și tăioase pot provoca răni unui om, în funcție de vârful sau lama lor (prin perforare, înjunghiere, rupere, tăiere sau o combinație a acestor mecanisme). Potențialul de rănire al unui cuțit sau a altei arme albe, depinde, în primul rând, de forma vârfului și a tăișului. De exemplu, rănilor prin perforare sunt cauzate de vârfuri ascuțite sau rotunjite și tăieturi cauzate de un vârf ascuțit care este forțat în corp. Mecanismul de penetrare a țesuturilor moi folosește o combinație de tăiere și înjunghiere, rezultând o penetrare profundă a țesuturilor. Această traumă de penetrare depinde de greutatea, forța și distanța de la care este îndreptat cuțitul și de tipul de țesut întâlnit. Foarte importantă este zona în care leziunile prin înjunghiere sunt produse, astfel că o leziune toracică, spre deosebire de o leziune a brațului, de exemplu, poate conduce mult mai des la complicații severe sau chiar la deces.

În unele cazuri, moartea nu este cauzată direct de leziunea cuțitului, ci de pierderea de sânge, de o infecție ulterioară, septicemie, pneumonie sau hipotensiune.

Prin urmare, în cazurile în care nu sunt detectate reziduuri de împușcături sau fragmente de gloanțe recuperate, cuțitele cu vârf ascuțit ar putea fi considerate o potențială armă criminală. În aceste situații, purtătorul ar avea nevoie de o îmbrăcăminte de protecție. Aceasta trebuie să aibă capacitate sporită de protecție, să fie ușor de purtat și să respecte standardele de calitate în vigoare.

Deteriorarea țesăturii poate apărea în multe moduri diferite, în funcție de armele utilizate, cum ar fi de exemplu, ruperea, acolo unde forța de tracțiune asupra țesăturii provoacă întinderea și/sau ruperea firelor sau tăierea, acolo unde fibrele sunt tăiate. Deteriorarea prin perforare a îmbrăcăminteii este produsă de instrumente ascuțite fără margini tăietoare, iar penetrarea depinde de forma vârfului și de forța aplicată. Tipul de îmbrăcăminte afectează capacitatea de penetrare. De exemplu, țesătura Twaron SRM509 oferă o protecție mai mare împotriva înjunghierii spre deosebire de Twaron CT736CMP. În cadrul experimentelor realizate în acest studiu de cercetare, tăieturile cauzate de cuțite au fost examinate, de aici constatându-se că vârful lamei a atacat țesătura, împingând în fire, provocând în cele din urmă cedarea unor fire și ducând astfel, la tăierea sau ruperea materialului. Capacitatea de penetrare a lamei a fost influențată de mai mulți factori, inclusiv grosimea lamei și raza vârfului și/sau ascuțirea. S-a constatat că, dacă vârful este mai tocit, pătrunderea este mai dificilă, rezultând o deformare mai mare a țesăturii și fire uzate, întinse, mai degrabă decât fire tăiate.

S-a emis ipoteza că îmbrăcăminteii lejeră ar oferi o rezistență mai mare la penetrare, deoarece ar absorbi energie, reducând astfel viteza și energia cinetică a cuțitului; că pachetele de teste cu dimensiunea de 400 mm x 400 mm ar oferi o rezistență mai mare la pătrundere din cauza transformării energiei cinetice a armei în energie de deformare a straturilor panoului, transfer cu atât mai mare cu cât suprafața acestuia este mai mare și prinderea laterală este mai slabă, astfel încât se consumă energie cinetică și prin deformarea materialului suport, dar această deformare trebuie să fie suportată și de corpul uman fără a risca viața purtătorului de

vestă. Prin urmare, fibrele, firele, țesăturile care posedă rezistențe mari la tracțiune și deformări mari la rupere, pot absorbi cantități considerabile de energie.

Armura personală este concepută pentru a face față amenințărilor balistice și de înjunghiere și ar putea fi folosită de personalul care acționează în medii riscante, cum ar fi poliția, soldații, jurnaliștii, agenții de securitate, gărzile de corp etc. Aceste amenințări ar putea acționa ca un eveniment combinat, efectul fiecărei amenințări acționând simultan sau într-un timp scurt asupra aceleiași protecții. Existența unei armuri realizată corespunzător ajută la păstrarea integrității corporale și reduce semnificativ riscul de deces, în cazul unor situații ce implică risc. În plus, asigură un grad de confort psihic în realizarea misiunii.

## **6.2 Concluzii finale asupra rezistenței la înjunghiere a panourilor testate**

Principalul obiectiv de cercetare al lucrării de față a vizat amenințarea reprezentată de cuțitele ușor accesibile, care pot fi ușor achiziționate de la producători și testarea unor materiale la înjunghiere, ce pot fi folosite în realizarea unor armuri de protecție. Armele sunt, de obicei, de înaltă calitate și au muchii tăioase foarte ascuțite, cu vârfuri fine și sunt ascuțite mecanic. Dar și răspunsul materialelor poate fi adaptat prin diverse procedee să facă față acestor amenințări.

Aplicarea standardelor a dus, fără îndoială, la îmbunătățirea rezistenței armurilor la înjunghiere și înțepare, cu toate că există încă o serie de minusuri care vizează: un compromis între protecție și mobilitate, utilizare restrictivă și greoaie, probleme și răni legate de armura nepotrivită, implicațiile financiare ale desfășurării pe scară largă pentru tot personalul implicat în acțiuni cu risc ridicat, gestionarea slabă a umidității și a temperaturii, rezultând stres termic, îmbolnăviri și performanțe operaționale îngreunate.

Utilizând posibilitățile de proiectare oferite în zilele noastre, de noile tehnologii, există oportunitatea, din ce în ce mai mare, de a fabrica o armură cu un grad ridicat de protecție, care să asigure purtătorului manevrabilitate și confort termic., interesul fiind și pentru sisteme de protecție împotriva unor amenințări combinate.

Scopul prezentei lucrări este de determinare a caracteristicilor de rezistență la înjunghiere ale unor serii de probe, respectând unel specificații ale standardului american []și de formulare a unor recomandări pentru stabilirea grosimii minime necesare, care asigură protecție împotriva înjunghierii și înțepării. Caracteristicile de rezistență la înjunghiere au fost determinate în timpul testării unei serii de eșantioane plane, folosind instalații de testare omologate, unul instrumentat (Instron 9340), celălalt neinstrumentat (instalația de la CRBRNE). Toate eșantioanele de probe realizate au fost testate folosind principiul de testare prin căderea liberă a unui corp. Acestea au fost lovite în timpul experimentelor cu lame de tăiere, respectiv, țepușe din oțel rapid la diferite nivele de energie de impact.

Lucrarea de față a fost structurată în șase capitole, prezentate succint în cele ce urmează.

În Capitolul 1 este prezentat cadrul teoretic și experimental, care face referire la structura, testarea și evaluarea caracteristicilor materialelor la impact cu armă tăioasă sau ascuțită, a țesăturilor și semifabricatelor implicate. Sunt prezentate aici teoriile privind diversele modele de evaluare, metode de testare a materialelor la înjunghiere și înțepare, și rezultatele obținute în urma testelor. Tot în acest capitol sunt structurate aspecte privind:

- definiții și concepte legate de rezistența la înjunghiere a unor panouri stratificate,
- teorii legate de întrebuințarea materialelor și a metodelor folosite pentru înjunghiere,
- feluri de materiale folosite în practica tehnică,
- informații pertinente referitoare la rolurile și funcțiile materialelor compozite de protecție la impact cu armă tăioasă.

Capitolul 2 cuprinde, succint, informații legate de importanța alegerii temei, enumerarea obiectivelor urmărite și metodologia cercetării. Este prezentată tot aici și diagrama tezei, care prezintă, sintetic, etapele de organizare a prezentei lucrări.

În capitolul 3 se prezintă aspectele legate de modelarea și simularea unor panouri stratificate de protecție, ce sunt supuse la înjunghiere, în diferite condiții. Modelul este realizat la nivel macro, în sensul că fiecare strat al panourilor modelate este considerat omogen și izotrop, dar cu o comportare asemănătoare celui real.

Capitolul 4 este rezervat metodologiei cercetării temei stabilite și cuprinde informații despre materialele și metodele de testare. Sunt descrise pe rând și metodologiile de testare, modul de obținere a panourilor.

Capitolul 5 prezintă analiza și interpretarea datelor rezultate în urma campaniilor de testare. Au fost înregistrate datele experimentale privind: rezistența la înjunghiere și înțepare la testarea probelor mici de 130 mm x 130 mm (teste realizate pe mașina Instron 9340) și probelor cu suprafață mare (400 mm x 400 mm), testate pe instalația de la CCICBRNE. De menționat că rezultatele obținute pentru aceste panouri sunt utile pentru proiectare unui prototip, pentru că eșantionul cerut în standarde este de 500 mm x 500 mm; iar poziționarea loviturilor sunt cele recomandate în standardul american. Au fost studiate următorii parametri ai impactului cu cuțit S1 și țepușă: forța maximă, adâncimea de pătrundere, durata procesului de atac cu armă albă. S-au stabilit dependențe ale acestor parametri de natura materialului (CT736 CMP, SRM 509 și SRM509 lipit), de numărul de straturi, de armă (cuțit S1 și țepușă), energia de lovire. Rezultatele care s-au obținut în urma testelor efectuate au condus la validarea direcției de cercetare și la realizarea obiectivelor stabilite la începutul demersului de cercetare. S-a demonstrat astfel, utilitatea materialului Twaron SRM509, în prevenirea și minimalizarea leziunilor, cauzate de pătrunderea obiectelor ascuțite. Un subcapitol a fost dedicat studiului mecanismelor de cedare a fibrelor și firelor în funcție de material

În capitolul 6, în vederea susținerii rezultatelor obținute în urma demersului de cercetare, este subliniată încă o dată, importanța folosirii panourilor stratificate în protecția împotriva înjunghierii și/sau înțepării, și înțelegerea comportării acestor materiale de protecție la înjunghiere și a factorilor care influențează performanțele lor, într-un domeniu atât de important din punct de vedere al siguranței și supraviețuirii.

### **6.3 Contribuții personale**

Având în vedere conținutul lucrării, contribuțiile autorului sunt:

- analiza documentației de specialitate pe tema materialelor și soluțiilor constructive la înjunghiere și înțepare, din baze de date accesibile (Scopus, Elsevier, MDPI), din standardele de profil accesibile, standardele americane, standardele britanice, standardele europene, teze de doctorat și rapoarte de cercetare, care au fost publicate în ultimii 20 ani,

- proiectare celor 2 campanii de testare, una pentru mașina Instron CEAST 9340 din cadrul Institutului Național de Cercetare Dezvoltare Aerospațială “Elie Carafoli” – INCAS București și o altă campanie pe instalația de testare la înjunghiere în cadrul Institutului Centrului de Cercetare și Inovare pentru Apărare CBRN și Ecologie, București, pentru a observa influența unor parametri (numărul de straturi, natura materialului, energia de lovire) asupra unor caracteristici precum forța maximă la lovire, durata procesului de atac al armei, adâncimea de pătrundere a cuțitului de tip S1, și rezistența la înjunghiere a panoului,

- ierarhizarea materialelor pentru realizarea panourilor (Twaron SRM509, Twaron CT 736 CMP și Twaron SRM 509 lipit),

- modelarea procesului de înjunghiere pentru un panou la un nivel macro, considerând fiecare panou fiind realizat din straturi izotrope și omogene, care să dea un rezultat apropiat de rezultatele experimentale executate la CBRN, astfel încât modelul să fie util în evaluarea preliminară în intervalele utile ale parametrilor de intrare pentru proiectarea panourilor rezistente la înjunghiere și înțepare,

- realizarea probelor, grupate în pachete de câte 16 straturi, 24 straturi, 32 straturi și, respectiv, 40 straturi, cu dimensiuni de 130 mm x 130 mm, datorită faptului că nu încap probe de dimensiuni mai mari pe mașina Instron CEAST 9340, din cadrul Institutului Național de Cercetare Dezvoltare Aerospațială “Elie Carafoli” – INCAS București,

- asamblarea prin lipire a probelor din materialul Twaron SRM509, grupate în pachete de câte 16 straturi, 24 straturi, 32 straturi și, respectiv, 40 straturi, cu dimensiuni de 130 mm x 130 mm pentru mașina Instron CEAST 9340 – INCAS București,

- realizarea probelor, grupate în pachete de câte 6 straturi, 8 straturi, 10 straturi, 12 straturi și, respectiv, 16 straturi, cu dimensiuni de 400 mm x 400 mm pentru instalația de testare la înjunghiere, din cadrul Institutului Centrului de Cercetare și Inovare pentru Apărare CBRN și Ecologie București,

- realizarea planului de testare pe mașina drop-test Instron CEAST 9340 – INCAS București și pentru instalația de testare de la CCIACBRNE,

- realizarea armelor albe (în număr de 4 bucăți: 2 țepușe și 2 cuțite S1) care au fost utilizate la testele de înjunghiere și înțepare,

- fotografierea probelor în detaliu,

- studiul mecanismelor de cedare a materialelor la nivel macro prin fotografiere post-testare și examinare la nivel micro cu ajutorul microscopului cu scanare electronică (SEM),

- prelucrarea rezultatelor experimentale,

- diseminarea parțială a rezultatelor în lucrări publicate și prezentate la conferințe.

Rezultatele obținute pe mașina Instron CEAST 9340 au permis ierarhizarea materialelor testate și studiul mecanismelor de cedare; suprafața panoului testat fiind mică, nu favorizează deformarea elastică și, deci, comportarea acestora probe nu este foarte apropiată de panourile vestelor reale.

Testele realizate pe panourile mai mari, cu prinderea ușoară în chingi, executate pe instalația de testare la înjunghiere de la CCIACBRNE, fără presarea întregului pachet, este mai aproape de comportarea vestei în realitate, de aceea, rezultatele testelor sunt diferite; acestea au fost mai bune în sensul că probele cu arie mai mare s-au comportat mai bine la un număr de straturi mai mic.

Panourile din Twaron SRM509 s-au comportat mai bine față de Twaron CT 736 CMP, iar panourile Twaron SRM 509 lipite au avut o comportare similară cu cele nelipite, dar tehnologia de asamblare prin lipire cu acest adeziv a dat rezultate mai împrăștiate și mai puțin predictibile decât panourile din același material, SRM509, dar nelipite.

Prin analiza imaginilor SEM am constatat ca distrugerile la nivelele micro ale firelor și fibrelor includ aceleași mecanisme, dar pentru cuțit predoimină forfecarea firelor, mai ales pe primele straturi, pe când la înțepare, ruperea fibrelor se face și prin forfecare dar și prin întindere. Imaginile SEM au relevat că particulele dure de pe suprafața țesăturii SRM509, interacționează cu arma și participă la disiparea energie de lovire, deoarece s-au evidențiat urme de abraziune, fisurare și spargere a colțurilor particulelor.

#### **6.4. Direcții de cercetare inițiate de acest studiu**

Plecând de la lucrarea de față, se deschid posibile direcții de cercetare, legate de utilizarea materialelor aramidice, rezistente la înjunghiere. Sunt enumerate mai jos, câteva dintre acestea:

- continuarea studiului unor panouri hibride, realizate și cu țesături cu fibre de carbon, cu alte tipuri de acoperiri, pentru a obține rezultate mai bune la o densitate superficială mai mică,
- realizarea și testarea altor panouri din fibre aramidice (realizate dintr-un număr de straturi diferite) pentru protecție corporală, respectând standardele actuale,
- studierea comportamentului la înjunghiere în cazul unor parametri diferiți, cum ar fi de exemplu, unghiul de lovire la înjunghiere.

## Lista de lucrări științifice ale autorului

### Articole în reviste indexate Web of Science (WoS), sau Scopus

1. **Totolici-Rusu, V.**, Ojoc, G.G., Cristea, G.C., Chiper, L.T., Botan, M., Muntenita, C. & Deleanu, L. (2022). Characteristics of Stab-resistance Panels Made of Twaron Aramid Fabrics. *Materiale Plastice*, Vol. 59(4), p.144-154. <https://doi.org/10.37358/MP.22.4.5633>
2. Ojoc G. G., **Totolici-Rusu V.**, Pîrvu C., Deleanu L. (2021). How Friction Could Influence the Shape and Failure Mechanism in Impact, With the Help of a Finite Element Model, *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*. Vol. 83(3):185-192. ISSN 1454-2358, [https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev\\_docs\\_arhiva/reza6a\\_789278.pdf](https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/reza6a_789278.pdf)
3. Ojoc G.-G., **Totolici-Rusu V.**, Popescu C., Pîrvu C., Deleanu L. (2020) Influence of friction in a case of impact simulation. *INCAS Bulletin*, Volume 12, Issue 4, pp. 145-154, DOI: 10.13111/2066-8201.2020.12.4.13; <https://doi.org/10.13111/20668201.2020.12.4.13>

### Articole în reviste de specialitate sau conferințe internaționale indexate BDI

1. **Totolici-Rusu V.**, Ojoc G. G., Pîrvu C., Deleanu L. (2020). Influence of element size in a case of impact simulation. *Mechanical Testing and Diagnosis*, Vol. 10(4), 24-29. <https://doi.org/https://doi.org/10.35219/mtd.2020.4.03>
2. **Totolici-Rusu, V.** (2017). Design of a composite and impact tests, published in *Mechanical Testing and Diagnosis* volum 4, pag. 9-16.
3. Chiper Titire L., **Totolici-Rusu V.**, Sandu S. (2022). Influence of material characteristics on impact response for fabrics made of glass and aramid fibers. *The 10th International Conference on Advanced Concepts in Mechanical Engineering (ACME 2022)*. 09 – 10 june, Online. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 1262, IOP Publishing Ltd. DOI 10.1088/1757-899X/1262/1/012045

### Participări la conferințe internaționale

1. Cantaragiu (Ceoromila) A., Ojoc G. G., Titire (Chiper) L., **Totolici-Rusu, V.**, Deleanu L., *Composites and Polymers Failure Processes in Tribology by Scanning Electron Microscopy*, PPE 2021, The 6th International Conference on Polymer Processing in Engineering, 18 -19 November 2021, Galati, Romania, <http://www.if.ugal.ro/PPE2021/PPE2021Abstracts.pdf>
2. Chiper Titire L., Ojoc G. G., **Totolici-Rusu, V.**, Deleanu L., Influence of material of unidirectional fabrics in modeling the impact with a sphere, *Scientific Conference of Doctoral Schools, Book of Abstract*, p. 62, <http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/2020->

2/abstracts-2023 (prezentare orală)

3. Ojoc G. G., **Totolici-Rusu, V.**, Pirvu C., Deleanu L., How Friction Could Influence the Shape and Failure Mechanism in Impact, with the Help of a Finite Element Model. 8th International Conference on Materials Science and Technologies – RoMat 2020, Bucharest (Romania), 26-27 November, 2020, [http://www.mse.pub.ro/images/ RoMAT2020/RoMAT-2020\\_Program-Stiintific.pdf](http://www.mse.pub.ro/images/RoMAT2020/RoMAT-2020_Program-Stiintific.pdf) (prezentare orală)

4. Chiper Titire L., Ojoc G. G., **Totolici-Rusu, V.**, Deleanu L., Influence of yarn architecture in simulating the impact with a sphere, 4th International Conference of the Doctoral School “Gheorghe Asachi” Technical University of Iasi, May 19–21, 2021 IASI, ROMANIA, p 44, [http://www.csd2021.tuiasi.ro/docs/ CSD2021\\_Program\\_Detailed.pdf](http://www.csd2021.tuiasi.ro/docs/CSD2021_Program_Detailed.pdf) (prezentare orală)

5. Chiper Titire L., **Totolici-Rusu, V.**, Sandu S., Influence of material characteristics on impact response for fabrics made of glass and aramid fibers, The 10th International Conference on Advanced Concepts in Mechanical Engineering (ACME 2022). 09 – 10 june, 2022, Online. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 1262, IOP Publishing Ltd. DOI 10.1088/1757-899X/1262/1/012045

6. **Totolici-Rusu, V.**, Determinarea caracteristicilor mecanice dinamice ale materialelor compozite. Sesiunea Națională de Comunicări Științifice Studentești ”Anghel Saligny”. Universitatea ”Dunărea de Jos”. Galați, 17-18 mai 2018.

## Bibliografie

- [1] Benaroya H. (Ed.) (2010). *The Finite Element Method for Mechanics of Solids with ANSYS Applications*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA.
- [2] Bilisik K. (2018) Impact-resistant fabrics (ballistic/stabbing/slashing/spike), pp. 377-434, in Miao M., Xin J. H. (editors) *Engineering of High-Performance Textiles*, Woodhead Publishing of Elsevier, Cambridge, United States
- [3] Bilisik, K. (2012). Multiaxis three-dimensional weaving for composites: a review. *Textile Research Journal*, 82(7), 725-743.
- [4] Bingham, G. A. (2010). *Revolving Investment Fund for Research: Stab-resistant RM Textile Structures*, De Montfort University, Leicester.
- [5] Bingham, G. A., Hague, R. J. M., Tuck, C. J., Long, A. C., Crookston, J. J., Sherburn, M.N., (2007). Rapid manufactured textiles. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, **20(1)**, 96-105
- [6] Cavallaro, P. V. (2011). *Soft body armor: an overview of materials, manufacturing, testing, and ballistic impact dynamics*. Nuwc-Npt Technical Report, 12(1).
- [7] Choi, H., Hong, T., Lee, E. (2011). Stab Resistance of Aramid Fabrics Reinforced with Silica STF, *18th International Conference on Composite materials*, Jeju Island, South Korea, 21–26 August 2011, The Korean Society of Composite Materials
- [8] Croft, J., Longhurst, D. (2007a). HOSDB Body Armour Standards for UK Police. Part 1: General Requirements – 39/07/A, Home Office, London
- [9] Croft, J., Longhurst, D. (2007c), HOSDB Body Armour Standards for UK Police. Part 3: Knife and Spike Resistance – 39/07/C, Home Office, London
- [10] Dixon, C., Croft, J., (2007) Body Armour Good Practice and Quality Framework, Publication No. 44/07, ISBN: 978-1-84726-489-3
- [11] El Messiry, M. (2013). *Study of puncture cut resistance in protective fabrics*. ICCE-21 Tenerife.
- [12] El Messiry, M. (2020). *Protective Armor Engineering Design*, Apple Academic Press Inc. 3333 Mistwell Crescent Oakville, ON L6L 0A2 Canada USA, pp. 328 [357]
- [13] Gong Z., Qian X., Yuan M. (2019). Structural design of a 3-D printed stab resistant body armor, *Rapid Prototyping Journal*, **25(1)**, 143–151, DOI 10.1108/RPJ-05-2017-0086]
- [14] Gong, Z. H., Qian, X. and Yuan M., M., (2019), *Structural design of a 3-D printed stab resistant body armor*, School of Mechanical Engineering, *Beijing Institute of Technology*, Beijing, China, 25(1), 143–151
- [15] Gonzalez, E.V., Maimi', P., Camanho, P.P., Turon, A., Mayugo, J.A. (2012). Simulation of drop-weight impact and compression after impact tests on composite laminates. DOI:10.1016/j.compstruct.2012.05.015
- [16] Heuse, O. (1982). Damage to clothing caused by stabbing tools. *Archiv fuer Kriminologie*, 170, 129-45
- [17] Hockauf, M., Meyer, L.W., Pursche, F., Diestel, O. (2007). Perforația dinamică și măsurarea forței pentru materiale ușoare prin impact balistic inversat, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **38(3)**, 849-857
- [18] Huang, C., Cui, L., Liu, Y., Xia, H., Qiu, Y., Ni, Q.Q. (2021). Low-velocity drop weight impact behavior of Twaron® fabric investigated using experimental and numerical simulations, *International Journal of Impact Engineering*, **149**, 103796, <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2020.103796>



- [19] Jing, L., Wang, Z., Ning, J., & Zhao, L. (2011). The mechanical response of metallic sandwich beams under foam projectile impact loading. *Latin American Journal of Solids and Structures*, **8**, 107-120
- [20] Johnson, A. (2010). The development of stab-resistant textiles realised by Additive Manufacturing. MSc thesis, Faculty of Technology, De Montfort University, Leicester. (The) National Institute of Justice (2000), Stab resistance of personal body armour, NIJ Standard – 0115.00.
- [21] Johnson, A. (2014). Establishing design characteristics for the development of stab resistant laser sintered body armour, Materials Science
- [22] Johnson, A. A., Bingham, G. A., Majewski, C. E. (2015), Laser sintered body armour: Establishing guidelines for dual-layered stab protection, *International Journal of Rapid Manufacturing*, 5(1), 3, [www.inderscience.com/link.php?id=73545](http://www.inderscience.com/link.php?id=73545)
- [23] Johnson, A. A., Bingham, G. A., Majewski, C. E. (2017). Comparing the penetrative stab performance of the UK HOSDB P1/B and Stanley Tools 1992 trimming blades on certified body armour specimens. *The Police Journal*, **90(1)**, 24-39, <https://doi.org/10.1177/0032258X16671029>
- [24] Johnson, A. A., Bingham, G., Majewski, C., (2018), Laser sintered body armour – establishing single layer stab protection, *Rapid Prototyping Journal*, 24(1), 130–137, DOI 10.1108/RPJ-11-2015-0173
- [25] Johnson, A., Bingham, G. A., Majewski, C. E. (2012b). AMBA – additive manufactured body armour. Loughborough University & the University of Sheffield.
- [26] Johnson, A., Bingham, G. A., Majewski, C.E. (2012a), Establishing the performance requirements for stab resistant additive manufactured body armour (AMBA), International Solid Freeform Fabrication Symposium
- [27] Johnson, A., Bingham, G., Wimpenny, D. (2013), Additive manufactured textiles for high-performance stab resistant applications, *Rapid Prototyping Journal*, 19(3), 199-207, DOI 10.1108/135525 41311312193
- [28] Johnson, N. (1991, November). Physical damage to textiles. In Proceedings of Police Technology: Asia Pacific Police Technology Conference (pp. 12-14).
- [29] Kędzierski, P., Morka, A. (2022). A comprehensive approach to the modeling and simulation of ballistic textiles, *Composite Structures*, **292**, 115643, <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.115643>.
- [30] Křemenáková, D., & Militký, J. (2012, July). Acoustic dynamic modulus of staple yarns. In The 4 th RMUTP international conference: textiles & fashion (pp. 3-4).
- [31] Lemaitre, J. and Desmorat, R. (2005) Engineering Damage Mechanics. Springer, New York.
- [32] Lewis E, Carr D. J. (2016). *Personal armor*. In: Lightweight ballistic composites. Military and law-enforcement applications, A. Bhatnagar (editor), Elsevier Ltd, pp. 217-229
- [33] Lopresto, V., Caprino, G., (2012). Damage mechanisms and energy absorption in composite laminates under low velocity impact loads, in: Dynamic Failure of Composite and Sandwich Structures. Springer, Dordrecht, Heidelberg: New York, London. (Chapter 6)
- [34] Mahbub, R.F. (2015), Comfort and stab-resistant performance of body armour fabrics and female vests, PhD Thesis, RMIT University.
- [35] Mayo, J. B., Wetzel, E. D. (2014). Cut resistance and failure of high-performance single fibers. *Textile Research Journal*, **84**, 1233-1246, DOI:10.1177/0040517513517966

- [36] Múgica, J. I., Aretxabaleta, L., Ulacia, I., & Aurrekoetxea, J. (2016). Rate-dependent phenomenological model for self-reinforced polymers. *Composites: Part A*, 84, 96-102.
- [37] Rafi, H. K., Karthik, N. V., Gong, H., Starr, T. L., Stucker, B. E. (2013), Microstructures and mechanical properties of Ti6Al4V parts fabricated by selective laser melting and electron beam melting, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 22(12), 3872-3883
- [38] Rivallant, S. Bouvet, C., Hongkarnjanakul, N. (2013). Failure analysis of CFRP laminates subjected to compression after impact: FE simulation using discrete interface elements. *Composites. Part A* 55:83–93. DOI:10.1016/j.compositesa.2013.08.003
- [39] Saleh, M., Edwards, L., & Crouch, I. G. (2017). *Numerical modelling and computer simulations*. In *The science of armour materials* (pp. 483-579). Woodhead Publishing.
- [40] Shin, H. S., Erlich, D. C., Simons, J. W., & Shockey, D. A. (2006). Cut resistance of high-strength yarns. *Textile Research Journal*, 76(8), 607-613
- [41] Sloan, K., Robertson J., Fergusson, M., Spratford, W. (2020). An evaluation of human stabbing performance to inform the standardisation of textile damage examinations: Do simulation trials correlate to reported stabbings? *Forensic Science International*. 312, 110305. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110305>
- [42] Sun, Y., Xu, W., Wei, W., Ma, P., and Xia, F. (2019). Stab-resistance of auxetic weft-knitted fabric with Kevlar fibers at quasi-static loading. *Journal of Industrial Textiles*, 50(9), 1384–1396, DOI: 10.1177/1528083719865044
- [43] Tan, W., Falzon, B.G., Chiu, L.N.S., Price, M. (2015), Predicting low velocity impact damage and compression-after-impact behaviour of composite laminates. *Composites Part A Applied Science Manufacturing*. Vol. 71. Pp. 212–226.
- [44] Termonia, Y. (2006). Puncture resistance of fibrous structures. *International Journal of Impact Engineering*, 32(9), 1512-1520
- [45] Tien, D. T., Kim, J.S., Huh, Y. (2010). Stab-resistant Property of the Fabrics Woven with the Aramid/Cotton Core-spun Yarns. *Fibers and Polymers*, 11(3), 500-506, DOI 10.1007/s12221-010-0500-3
- [46] Totolici Rusu V., Ojoc G. G., Pirvu C., Deleanu L., (2021). Influence of element size in a case of impact simulation. *Mechanical Testing and Diagnosis*, 10(4), 24-29. <https://www.gup.ugal.ro/ugaljournals/index.php/mtd/article/view/4068>
- [47] Totolici-Rusu, V., Ojoc, G. G., Cristea, G. C., Chiper, L. T., Botan, M., Muntenita, C. & Deleanu, L. (2022). Characteristics of Stab-resistance Panels Made of Twaron Aramid Fabrics. *Materiale Plastice*, 59(4), 144-154. <https://doi.org/10.37358/MP.22.4.5633>, WOS:00096503 0700013
- [48] Wang, L., Gu, Ch., Liu, N., He, Y., and Du, Z. (2021). Cut resistant characteristic of weft plain-knitted structure for protective clothing. Emerald Publishing Limited, 0955-6222. *International Journal of Clothing, Science and Technology*, 33(1), 35-46, DOI 10.1108/IJCST-11-2019-0168
- [49] Wang, Q., Wang, S., He, C., Dong, J., Fan, X., Sun, R. (2022). Puncture resistance behaviors and efficiencies of angle-interlock fabrics impregnated with shear thickening fluids. *Journal of materials research and technology*, 20, 415-427. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.07.047>
- [50] Wang, Q.S., Sun, R.J., Tian, X., Yao, M., Feng, Y. (2016b). Quasi-static puncture resistance behaviors of high-strength polyester fabric for soft body armor, *Results in Physics*, 6, 554 - 560. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rinp.2016.08.018>

- [51] Xia, M., Quan, Z., Wang, X., Yu, J., (2019). Preparation and characterization of B<sub>4</sub>C particle coated composites for stab-resistance. *Composite Structures*, **228**, 111370. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111370>
- [52] \*\*\* ANSYS Explicit Dynamics Analysis Guide (2021). ANSYS, Inc., USA
- [53] \*\*\* B01 Tool steel, accesat 12.03.2021, <https://www.smithmetal.com/bo1-tool-steel.htm>
- [54] \*\*\* Catalog Teijin Ballistics Material Handbook QMB1.1-20181001EN
- [55] \*\*\* Catalog Teijin Ballistics Material Handbook, 38-14-05/2012
- [56] \*\*\* HOSDB 2007 (knife and spike resistance), <https://protectiongroupdenmark.com/articles/?cat=2>
- [57] \*\*\* Instron, CEAST 9340 Droptower Impact Systems, Instructions for Use, and Maintenance, 7510.000MN1r, ed. 1 rev. 1
- [58] \*\*\* ISO 6603-2: 2000 Plastics. Determination of puncture impact behavior of rigid plastics. Part 2: Instrumented impact testing
- [59] \*\*\* JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement (PDF), Joint Committee for Guides in Metrology, 2008
- [60] \*\*\* Militare, accesat 10.08.2023, <https://www.neramo.ro/produs/vesta-antiinjunghiere>
- [61] \*\*\* NIJ Standard 0115.01 Stab Resistance of Body Armor, National Institute of Justice, 2020
- [62] \*\*\* Total Trust in performance, accesat 15.08.2023, <https://www.tejginaramid.com/en/industries/ballistics>