

## I. Analiza stării de tensiune a tricotelor cu legături de bază

### I.1 Determinarea proprietăților mecanice a firelor

S-au determinat caracteristicile fizice și mecanice (rezistență la tracțiune în fir drept și buclă, coeficient de frecare fir-fir) pentru mai multe fire clasice (fire PNA, amestec PNA și lână, amestec PNA și bumbac, fire PES polifilamentare) și fire tehnice (PES de înaltă tenacitate și sticlă).

Tabel 1. Valorile experimentale pentru caracteristicile fizice

	Tipul firului	Finete fir			Torsiune				Diametru [mm]
		Val. nominală	Val. reală	Cv [%]	T [răs/m]	Cv [%]	am	atex	
1	Fir PNA 100% răsucit	Nm 28/2	28,45	2,56	246,6 zs	5,77	45,5	1437,2	0,400
2	Fir PES HT	1110 dtex	1084,33	1,16	-	-	-	-	0,308

Tabel 2. Valorile experimentale pentru rezistența la tracțiune

	Tipul firului	Rezistență fir drept			Rezistență în buclă		
		F [N]	$\epsilon$ [%]	Tenacitate [cN /tex]	F [N]	$\epsilon$ [%]	Tenacitate [cN /tex]
1	Fir PNA 100% răsucit	7,42	22,2	10,39	12,98	19,72	18,17
2	Fir PES HT	69,42	10,69	76,36	101,85	8,76	112,03

Tabel 3. Valorile experimentale ale coeficientului de frecare fir-fir

	Tipul firului	Coeficient de frecare $\mu$ fir-fir						
		$V_1 = 2$ mm/min	$V_1 = 5$ mm/min	$V_1 = 10$ mm/min	$V_1 = 15$ mm/min	$V_1 = 20$ mm/min	$V_1 = 25$ mm/min	$V_1 = 30$ mm/min
1	Fir PNA 100% răsucit							
2	Fir PES HT							

### I.2. Caracterizarea stării de tensiune a tricotelor din bătătură cu legături de bază

Au fost studiate un număr de modele referitoare la starea de tensiune din ochiul de tricot, care pot fi grupate în: modele care realizează o analiză a forțelor și momentelor din fire (ochiul este împărțit în segmente, cărora li se atașează la capete forțe și momente conform unor ipoteze de lucru – modelul Pierce, modelul Postle și Munden, modelul Shanahan și Postle, modelul Hepworth, etc) și modele care analizează deformații (modelul Hepworth, modelul Wu, modelul Loginov). Toate modelele studiate sunt modele teoretice și au la bază ipoteze simplificatoare restrictive. Modelele depind de de ipotezele privitoare la fire, de structura tricotelor (numai glat la modelele bazate pe analiza forțelor în ochi) și de ipotezele de încărcare. Nici un model nu surprinde deformarea reală a tricotelor și nici comportarea acestora

### I.3. Determinări experimentale ale stării de tensiune din tricot

Pentru determinarea practice a stării de tensiune în tricot, în cazul structurilor cu legături de bază s-a realizat un program experimental care reflectă factorii de influență considerați semnificativi pentru starea de tensiune a ochiurilor, care respectă matricea experimentală pentru determinarea stării de tensiune din subcapitolul II.1. Folosind firele precizate, au fost realizate mostre de tricot din cele trei legături de bază – glat, patent 1x1 și linc 1x1. Programarea tricotelor s-a realizat pe o stație de programare M1, în timp ce mostrele au fost produse pe o mașină CMS 330 TC (Stoll).

Valorile parametrilor de structură determinați practic și calculați sunt centralizate în tabelul I. În cazul **tricotelor produse cu fire PES de înaltă tenacitate**, rigiditatea deosebită a materiei prime (care a ridicat suficiente probleme de prelucrare) a determinat și variații semnificative ale aspectului tricotelor funcție de parametrii tehnologici aleși.

Pentru determinarea rezistenței la solicitarea de tracțiune s-a utilizat o mașină de încercat Tinius Olsen, model H5KS. Testarea variantelor experimentale s-a realizat conform ISO 1421, în următoarele condiții: distanță între cleme – 100 mm; viteză de testare – 250 mm/min; lățime mostre – 50 mm, pretensionare – 0 N. Pentru fiecare variantă din matricea experimentală s-a realizat un număr de 5 teste pe direcție transversală (direcția rândului) și 5 teste pe direcție longitudinală (direcția șirului). La testarea tricotelor s-au determinat următoarele: limita de proporționalitate (forță și alungire în mm), limita de curgere (forță și alungire în mm) și limita de rupere (forță și alungire relativă).

Testarea variantelor de tricot realizate din fire PNA 100% a decurs fără probleme. În cazul variantelor de tricot realizate din fire PES de înaltă tenacitate, testarea variantelor inițiale (matrice experimentală identică cu cea pentru tricotelor din fire acrilice) s-a dovedit problematică. Testarea pe direcție transversală a fost imposibilă, indiferent de structura mostrelor, datorită deșirării complete pe durata solicitării. Cauza acestui fenomen stă în valoarea scăzută a coeficientului de frecare fir-fir pentru firele PES HT, care facilitează alunecarea firelor în punctele de legare ale ochiurilor și implicit deșirarea.

Pentru a elimina problema deșirării, care făcea imposibilă finalizarea testării prin rupere, mostrele de tricot au fost refăcute la dimensiunile standardizate, având la margine rânduri/șiruri de ochiuri din fire PNA pentru protecție. La repetarea mostrelor de tricot, s-a optat pentru o nouă valoare a variabilei poziția camei de buclare NP, care să elimine problemele de uniformitate a tricoturilor.

Testarea tricoturilor indică existența unei limite de curgere și a unei limite de rupere. În cazul testării pe direcție transversală, limita de curgere este mai mică decât limita de rupere, în timp la testarea pe direcție longitudinală cele două limite coincid sau au diferențe ne semnificative (figura 1 și 2, pentru tricoturile patent). Această situație se explică prin nivelul forțelor specifice la testarea pe cele două direcții – pe direcție longitudinală, forțele (definite la limita de elasticitate, curgere și rupere) sunt cel puțin duble față de forțele înregistrate pe direcție transversală. Migrarea de fir în ochi la întindere este mult mai mică pe direcție longitudinală, ceea ce determină fenomenul de blocare (jamming) să apară mai repede, eliminând etapa de curgere. Justificarea valorilor mai mici ale forțelor pe direcție transversală stă în numărul de elemente (fire) din secțiune, care este mai redus, indiferent de structură.

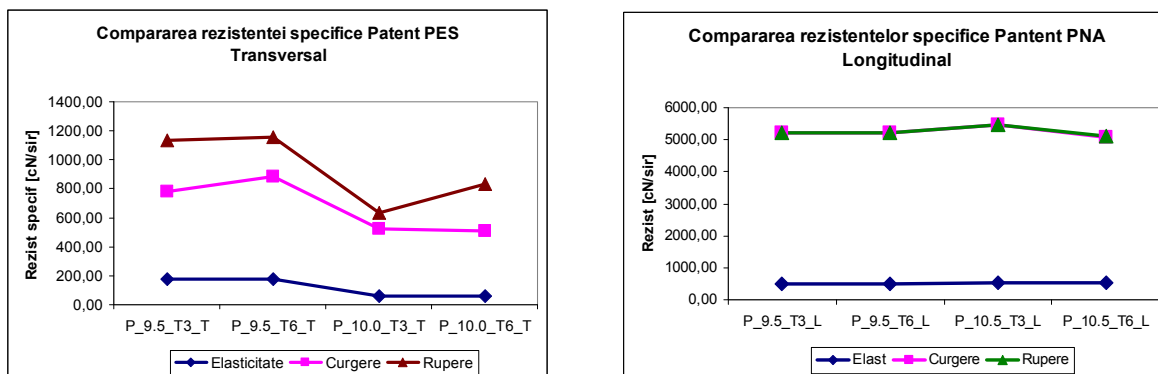


Figura 2. Compararea rezistenței specifice pentru tricoturile patent din fire PNA

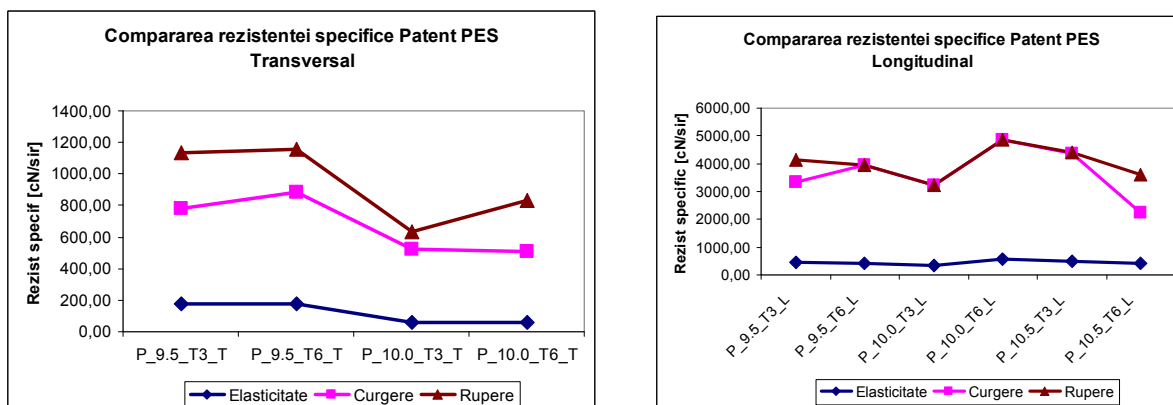


Figura 2. Compararea rezistenței specifice pentru tricoturile patent din fire PES HT

## II. Modelarea stării de tensiune din tricoturi

### II.1. Stabilirea matricei factorilor care generează stări de tensiune remanente

Matricea experimentală a factorilor care generează starea de tensiune (tabel 4) a fost stabilită considerând informațiile experimentale existente și literatura de specialitate, care indică materia primă și procesul de tricotare ca influențând semnificativ starea de tensiune a tricoturilor. Din punct de vedere al **materiei prime**, au fost selectate două tipuri de fire cu proprietăți și utilizare diferite și anume:

1. un fir PNA 100%, răsucite, Nm 28/2/3, folosit la realizarea produselor de îmbrăcăminte. Corespunzător fineții utilajului de tricotare, s-au utilizat 3 fire alimentate în paralel.
2. un fir polifimanetar PES de înaltă tenacitate 2x1110/100 dtex, utilizat în aplicații tehnice. S-au alimentat două fire de PES 1110 dtex alimentate în paralel.

Un alt set de variabile au fost considerate la nivelul **procesului de tricotare**, fiind aleși ca variabile de intrare următorii parametri tehnologici:

1. **poziția camei de buclare** (corespunzătorare adâncimii de buclare) – acest parametru are cea mai mare influență asupra desimii pe verticală a tricoturilor și implicit asupra compactității acestora.
2. **tensiunea în fir la alimentare** – este un factor determinant în stabilirea lungimii de fir din ochi. Cu cât tensiunea în fir la alimentare este mai ridicată, cu atât lungimea de fir din ochi este mai mică.

Tabel 4 . Organizarea experimentului

	Structură	Variabile inițiale					
		Materia primă x1	Poziție camă de buclare NP x2			Tensiune în fir la alim. T <sub>a</sub>	
			Minim	Mediu	Maxim	Minim	Maxim
1	Glat	PNA	11.5	-	12.5	11-13	22-24
		PES HT	11.5	12.0	12.5	12-14	32-34
2	Patent 1x1	PNA	9.5	-	10.5	11-13	22-24
		PES HT	9.5	10.0	10.5	12-14	32-34
3	Lincs 1x1	PNA	11.5	-	12.5	11-13	22-24
		PES HT	11.5	12.0	12.5	12-14	32-34

## II.2. Elaborarea de modele mecanice

Se va crea un model mecanic care ia în considerație deformațiile tricoturilor din bătătură cu legături de bază, utilizând studiul în timp real a comportamentului mecanic al acestor structuri textile, combinat cu elemente extrase din modele mecanice teoretice privind starea de tensiune în ochiurile de tricot prezentate anterior, în subcapitolul I.2.

Acest mod de abordare reprezintă o noutate, neexistând până în prezent nici o referire în literatura de specialitate. Noutatea absolută a acestui studiu constă în faptul că se consideră comportamentul real al tricoturilor pe durata solicitărilor, eliminându-se ipotezele simplificatoare restrictive, pe baza cărora sunt construite modelele teoretice bazate pe analiza forțelor sau pe analiza deformațiilor. A doilea element de noutate este dat de faptul că modelul va cuprinde comportamentul mecanic în totalitatea aspectelor privind solicitările.

Obținerea informațiilor privind comportamentul dinamic al structurilor de tricot este posibilă prin utilizarea unui sistem avansat de analiză optică 3D a deformațiilor materialelor, produs de firma GOM. Firma producătoare oferă două sisteme de analiză optică, Pontos și Aramis. Sistemul Pontos permite analiza deformațiilor prin puncte, în timp ce sistemul Aramis permite analiza deformațiilor la nivelul suprafeței materialelor.

Analiza optică a deformațiilor este des folosită în cazul materialelor clasice (caracterizate de defomații mici la forțe mari, cum ar fi cazul materialelor metalice). Există referințe privitoare la utilizarea sistemului Aramis pentru studierea deformațiilor țesăturilor din fibre de carbon și a materialelor compozite ranforsate cu materiale textile. Aceste tipuri de materiale au o comportare similară comportării materialelor clasice. Tricoturile însă sunt caracterizate de un comportament diferit, respectiv deformații extrem de mari la forțe foarte mici. Din acest punct de vedere, utilizarea acestor sisteme pentru studierea deformațiilor tricoturilor este o soluție cu potențial ridicat și este o noutate în domeniu.

S-a încercat utilizarea ambelor sisteme. Inițial s-a încercat studiul deformațiilor prin **sistemul Aramis**, considerându-se că oferă cele mai bune informații la nivelul suprafeței mostrelor de tricot. Acest sistem se bazează pe distribuirea unei vopsele speciale pe suprafața mostrei, care trebuie să aibe o culoare deschisă (pentru contrast). Aplicarea vopselei constă în împrôscarea mostrei, distribuindu-se astfel cât mai uniform un număr aleator de puncte pe unitatea de suprafață. Aceste puncte sunt utilizate de sistem în crearea unor modele geometrice virtuale (patrulater), care apoi sunt urmărite pe parcursul deformației. Rezultă astfel o modelare a deformației la nivelul patrularului, interpretată apoi de un soft specializat.

În care mostrelor de tricot realizate din fire PAN 100%, vopseaua specială a fost absorbită de fire, făcând imposibilă orice analiză pentru acest tip de tricoturi. Tricoturile din fire PES HT au putut fi împrôscate cu vopsea, dar au ridicat următoarele probleme:

- Imposibilitatea distribuirii uniforme a punctelor pe suprafață, datorită geometriei specifice ochiului de tricot (în unitatea de volum există zone fără fir).
- Această distribuire neuniformă a punctelor a determinat imposibilitatea identificării unor puncte care să definească patrulaterale virtuale.
- Structura discontinuă a tricoturilor (accentuată de compactitatea redusă a tricoturilor din fire PES, caracterizată și justificată anterior) a determinat o claritate insuficientă a imaginii, ceea ce reprezintă un alt motiv pentru care nu s-a putut obține prelucrarea ulterioară a datelor.

Din motivele menționate mai sus, s-a trecut la analiza optică a deformațiilor prin puncte, folosindu-se în acest scop **sistemul Pontos**. Sistemul Pontos se bazează pe urmărirea deplasărilor pe durata solicitării a unor markeri speciali, poziționați pe mostra de tricot (vezi figura 3). Urmărirea deformațiilor se face utilizându-se un sistem complex de camere video, prezentat în figura . Mostrele de tricot corespunzătoare matricii experimentale au fost testate folosind o mașină de încercat la tracțiune Lloyd. În figura 4 se ilustrează întregul sistem experimental (preluare imagini, sistem Pontos și mașină de încercat a tracțiune).

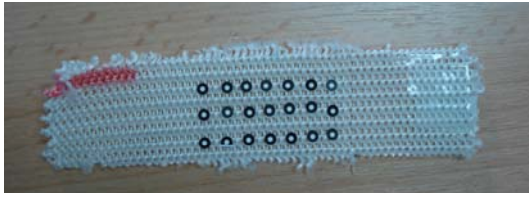


Figura 3. Poziționarea markerilor pe mostra de tricot



Figura 4. Aparatura experimentală – vedere de ansamblu

Poziționarea markerilor pe mostre s-a făcut în funcție de lățimea acestora. Markerii au fost dispuși în formatul 3 coloane x 7 rânduri pe suprafața de testare mostrelor de tricot (vezi figura 3).

Preluarea informațiilor s-a făcut în următoarele condiții:

- ❖ Mașina de încercat la tracțiune - lățime cleme – 25 mm; distanță între cleme – 100 mm; viteza de încercare – 25 mm/min (viteză selectată pentru a permite realizarea analizei optice în condiții de calitate)
  - ❖ Sistemul de înregistrare a imaginilor - Viteza de preluare a cadrelor = 1 cadru / secundă
- Mostrele de tricot au fost testate și pe direcție transversală (direcția rândurilor) și pe direcție longitudinală (direcția șirurilor). Datele au fost înregistrate de sistemul Pontos și ulterior prelucrate, obținându-se următoarele:

1. Se consideră un număr de trei puncte dispuse pe trei nivele distincte (inferior, median și superior), în care se măsoară deformația – vezi figura 5.
2. Direcțiile de deplasare în diferite puncte, considerate pe suprafața tricotului. Figura 6 ilustrează modul în care punctele considerate se deplasează în urma solicitării.
3. Modul în care structura este deformată prin considerarea a trei puncte inițiale, care determină un unghi  $\varphi$  și stabilirea modului de variație a unghiului în urma solicitării. Acest unghi (figura 7) definește contracția pe direcția perpendiculară solicitării a tricotului, fiind folosit la stabilirea modificărilor dimensionale pe durata testării, esențială pentru modelarea comportării mecanice a ochiurilor. O altă modalitate de definire a deformațiilor este dată de deplasarea punctelor considerate față de o linie mediană virtuală, considerată de la începutul solicitării.
4. Măsurarea deplasărilor punctelor pe cele trei axe de coordonate și stabilirea deformațiilor în planul xy (vezi figura 8).
5. Stabilirea istoricului deformațiilor pe durata solicitării. Pe baza acestui istoric se pot stabili, interpreta diferitele faze prin care trece materialul tricotat în mod dinamic, pe întreaga durată a solicitării.

### Interpretarea studiului în timp real a deformațiilor

Analiza optică a deformațiilor tricoturilor din bătătură în timp real și pe întreaga durată a solicitării permite formularea următoarelor observații:

1. se identifică mai multe etape a procesului de deformare a tricoturilor, în raport cu procesul de deformare a firelor (proces considerat avut în vedere de modelele teoretice).

Etapizarea fenomenului de deformare scoate în evidență faptul că până la deformarea firului (care conduce la ruperea tricotului) au loc deformări la nivelul ochiului, în funcție de geometria specifică legăturii.

Tricoturile cu legături de bază pot fi definite din punct de vedere al dispunerii ochiurilor în două grupe:

- tricoturi cu ochiurile dispuse într-un singur plan (corespunzător fonturii pe care sunt realizate) – în această categorie sunt incluse numai tricoturile glat.
- Tricoturi cu ochiurile dispuse în două planuri (față și spate) – tricoturi patent (ochiurile se dispun în două planuri, iar suprapunerea ochiurilor se face pe direcție transversală, la nivelul buclei de platină) și tricoturi lincs (suprapunerea ochiurilor se face pe direcție longitudinală, la nivelul flancurilor).

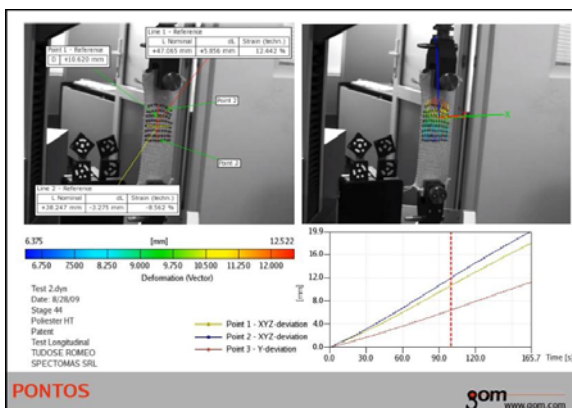


Figura 5. Informații privind deformația în trei puncte separate

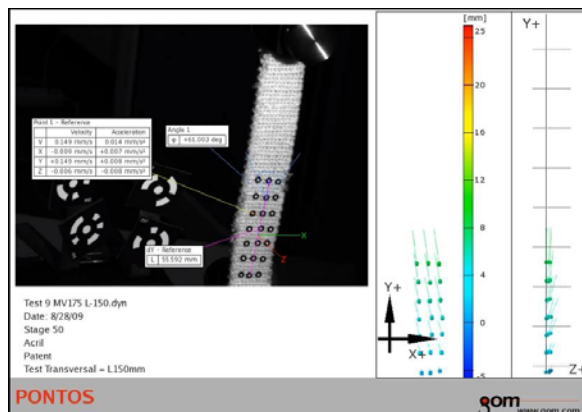


Figura 6. Evidențierea direcțiilor de deplasare a punctelor considerate

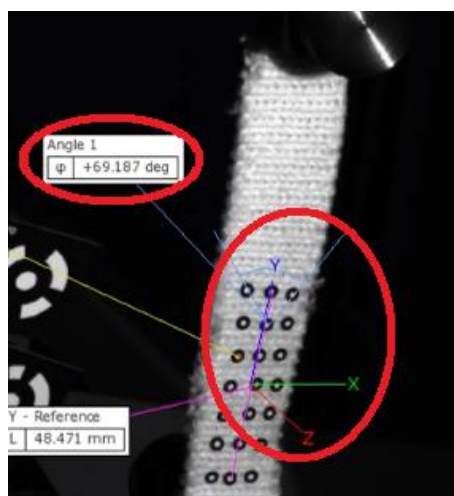


Figura 7. Definirea unghiului inițial considerat

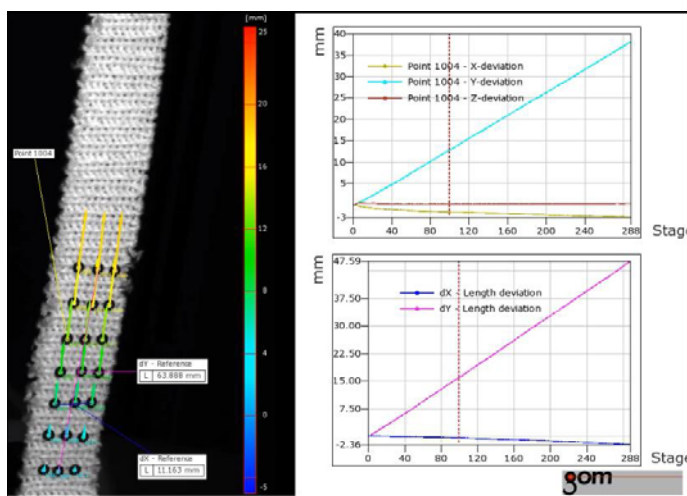


Figura 8. Deplasările unui punct considerat la un moment  $t$  pe direcția axelor de coordonate și deformațiile considerate în planul  $xy$

Funcție de geometria specifică a legăturilor, etapele de deformare premergătoare etapei în care se deformează firul sunt:

- **Modificarea poziției ochiurilor** (eliminarea suprapunerii ochiurilor pe direcție transversală pentru tricourile patent și longitudinală pentru tricourile lincs), fără a modifica ochiurile dimensional. Această etapă apare numai la tricourile realizate pe două fonturi.
- **Modificarea dimensională a ochiurilor**, prin migrarea de fir din ochi și redistribuirea lui pe direcția de solicitare. Din acest punct de vedere, direcția de solicitare este deosebit de importantă. În cazul solicitării pe transversală, cantitatea de fir care se poate redistribui vine din flancurile ochiului spre bucle și este mai mare decât în cazul solicitării pe direcție longitudinală. La solicitarea pe direcție longitudinală, migrarea firului se face din bucle spre flancuri, ceea ce înseamnă că va migra o cantitate mult mai mică de fir.

Migrarea firului în ochi este condiționată cantitativ și ca durată de valoarea coeficientului de frecare fir-fir. Frecarea se manifestă în punctele de contact ale ochiului. Un fir clasic (în cazul nostru PNA 100%) are un coeficient de frecare fir-fir mai mare, în timp ce firele tehnice (PES HT, sticlă, etc) au un coeficient de frecare mult mai redus. La un moment dat, migrarea de fir nu mai este posibilă datorită fenomenului de jamming (ochiurile s-au redistribuit astfel încât toate firele sunt în contact, sunt strivite, iar forțele de frecare sunt atât de mari încât orice deplasare relativă nu mai este posibilă). Din acest moment deformația ajunge la nivelul firului. Trebuie subliniat că aceste etape de rearanjare și redistribuire a ochiurilor corespund forțelor mici. Foarte important este să se evidențieze că aceste procese nu au loc deodată pentru toate ochiurile din mostra de tricot.

2. Etapizarea procesului de deformare este ilustrată de imaginile preluate prin sistemul de analiză optică Pontos în cazul unui tricot patent din fire acrilice. Figura 9 prezintă dinamica deformației tricotului (incrementul timpului fiind stabilit la 25 de secunde).

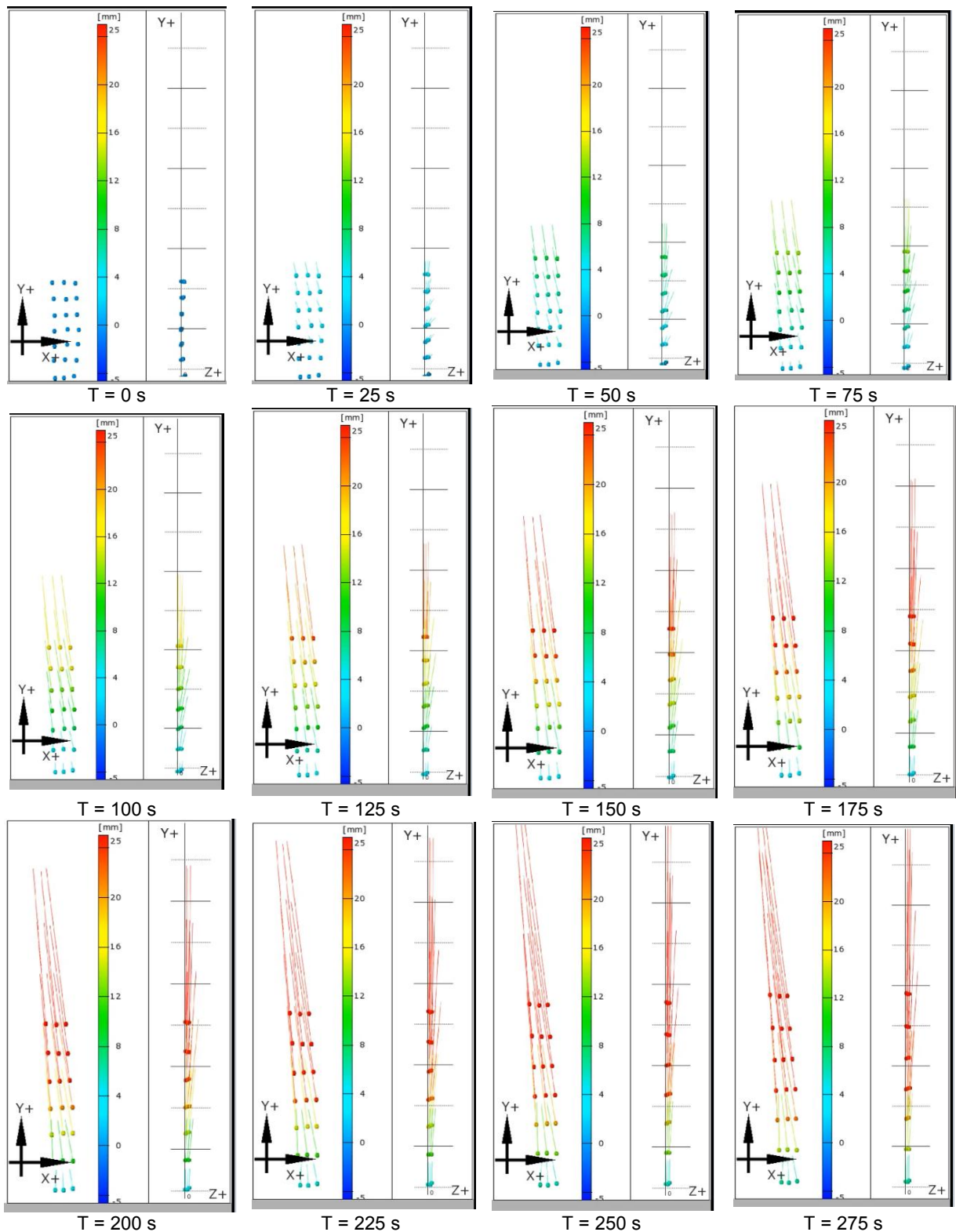


Figura 9. Prezentarea deformațiilor în diferite momente ale testului

Din imaginile ilustrate în figură se observă că punctele din jumătatea superioară a mostrei își încep deformarea odată cu începerea sollicitării și au o rată de deformare mai mare, în timp punctele din jumătatea inferioară nu suferă deformații o durată semnificativă din test (circa 100 de secunde din totalul de 285 de secunde, corespunzând la o treime din durata testului). Această situație este cauzată de rearanjarea ochiurilor în tricot fără deformare.

Etapile de deformare menționate anterior pot fi identificate ca durată în figura , astfel:

- Intervalul 0 – 75 secunde corespunde rearanjării ochiurilor de tricot, fără modificări dimensionale ale acestora;
- Intervalul 75 – 175 secunde corespunde modificării dimensionale a ochiurilor prin migrarea de fir; la terminarea aceluia interval se produce fenomenul de jamming;
- Intervalul 175 – 285 secunde corespunde transferului sollicitării la nivelul firelor din ochiuri.

Toate aceste observații conduc la concluzia că deformațiile nu sunt constante pe direcția de testare și nu au o rată constantă. Apare astfel ipoteza că există zone critice pe suprafață în care se pot iniția ruperi de fir.

Datorită limitărilor mașinii de testare, testarea nu s-a putut finaliza până la rupere, deși durata de testare a fost de minim 4 minute, iar mostrele au fost deformată intervalul 100 – 150 mm, funcție de structura tricotului și natura materiei prime. Aceste intervale sunt considerate suficiente pentru ca studiul realizat să fie semnificativ, toate etapele procesului de deformare fiind atinse.

3. forțele de frecare manifestate în punctele de contact ale ochiurilor se dovedesc a fi esențiale în stabilirea unor modele mecanice (lucru deja indicat în literatura de specialitate), ele influențând decisiv comportarea mecanică a tricoturilor.

4. procesul de deformare se manifestă pe două direcții, reciproc perpendiculare – direcția de solicitare și grosimea tricotului. Pe direcția grosimii se identifică o comprimare de dimensiuni și cu o rată a deformațiilor reduse, care se oprește în momentul apariției fenomenului de jamming (blocarea ochiurilor).

5. comportarea tricoturilor la solicitare de tracțiune a fost unitară, indiferent de natura materiei prime și structură. Această observație permite eliminarea restricțiilor legate de structură din modelele teoretice existente.

### II.3. Validarea modelelor

Modelele definite, corespunzătoare matricei experimentale stabilite anterior, sunt comparate cu modelele teoretice cunoscute, prezentate în subcapitolul I.2.

Abordarea modelului în timp real prezintă avantajul surprinderii tuturor etapelor de deformare a tricoturilor, arătând interdependența lor, modul de propagare al deformației în tricot (figura 10) și rata deformației.

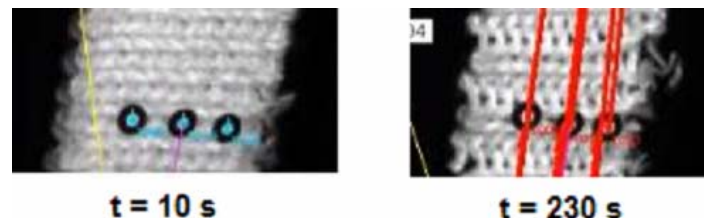


Figura 10. Deformația ochiurilor pe durata solicitării

Această modalitate de abordare a modelării comportării mecanice a tricoturilor oferă un set complet și unitar de informații. Caracterul experimental al studiului presupune validarea implicită a modelului rezultat.

În ideea de rigurozitate științifică, se poate compara modelul definit cu modelele teoretice existente, la nivelul ipotezelor de lucru. Specific modelelor teoretice sunt ipotezele simplificatoare, care permit definirea unui aparat matematic cât mai simplu posibil. În acest mod, se amplifică gradul de aproximare al rezultatelor (deformațiilor ochiului).

Modelele teoretice consideră un sistem de solicitare la nivelul ochiurilor care conduce la rezultate ce au în vedere deformarea ochiului urmare a solicitărilor. Modelul propus pornește de la deformația ochiului, prin analiza unor puncte dispuse pe suprafața tricotului.

Sistemul de solicitare diferă funcție de modelul teoretic propus, toate sistemele având la bază doar considerente teoretice. Acest lucru accentuează gradul de aproximare a răspunsului.

Director proiect,  
S.I. dr. ing. Luminița Ciobanu