STUDIU PRACTIC PRIVIND PRELUCRABILITATEA FIRELOR DE ÎNALTĂ PERFORMANȚĂ

Dr. ing. **Luminiţa CIOBANU,** Dr. ing. **Savin Dorin IONESI,** Drd. ing. **Emil Constantin LOGHIN,** Dr. ing. **Ionuț DULGHERIU**

Universitatea Tehnica „Gheorghe Asachi" din Iaşi

REZUMAT. Lucrarea abordează problema prelucrabilității prin tricotare a firelor de înaltă performanță caracterizate prin fragilitate și rezistență la încovoiere scăzută (fibre de sticlă). Pentru a evalua gradul de distrugere a filamentelor prin tricotare s-a propus un experiment care a avut în vedere caracteristicile firelor (finețe) și parametri tehnologici de tricotare (adâncime de buclare). După tricotarea mostrelor s-au prelevat fire prin deșirare. Acestea au fost testate pentru determinarea rezistenţei la întindere, rezultatele fiind comparate cu valorile obținute pentru firele nepreiucrate, S-au putut identifica astfel condițiile optime pentru minimizarea gradului de distrugere a filamentelor și s-a descris mecanismul de rupere a acestora pe durata tricotării, evidenţiindu-se zona critică.

Cuvinte cheie: tricotabilitate, fire de sticlă, grad de distrugere, rezistență la întindere.

ABSTRACT. The paper approaches the problem of knitting fragile high performance yarns with low bending strength (glass fibres). In order to evaluate the degree of filament breaking during knitting, an experiment was carried out, considering the yarn characteristics (yarn fineness) and the knitting technological parameters (position of the stitch quality cam). After knitting, yarns were taken out from the samples. These yarns were tested to determine their tensile strength and the results were compared with the results obtained for the unprocessed yarns. It was possible to identify the optimum condition for the minimum degree of filament breaking and also the filament breaking mechanism was described, pointing out the critical area.

Key words: knittability, glass yarns, degree of breaking, tensile strength.

1. INTRODUCERE

Producerea unui material compozit de calitate, cu rezistenţa şi rigiditatea necesară, necesită utilizarea unor ranforsări realizate din fire de modul înalt, precum firele de sticlă, de carbon sau aramidice. Aceste materiale sunt produse prin diferite procese tehnologice, de la straturi fibroase sau înfăşurări de filamente, la materiale 2D şi 3D – ţesături, tricoturi sau materiale împletite.

Folosirea firelor de sticlă pentru producerea tricoturilor reclamă o atenţie deosebită pentru întregul proces, datorită în principal fragilităţii extreme a sticlei, a rigidităţii la încovoiere şi a valorii scăzute a coeficientului de frecare. Aceste caracteristici ale firelor de sticlă pot cauza probleme în ce priveşte buclarea, specifică procesului de tricotare. Pe durata unui ciclu de tricotare firul este supus tensionării – cu vârfuri de tensiune, datorate extensibilităţii practic zero a sticlei – şi încovoierii, uneori în mod simultan. Aceste solicitări determină distrugerea completă sau parţială a unor filamente, influenţând în mod negativ proprietăţile mecanice ale tricotului.

Prelucrabilitatea prin tricotare (tricotabilitatea) firelor de sticlă se exprimă prin gradul maxim de compactitate a tricotului posibil în condiţii de calitate, proporţia de filamente distruse prin tricotare şi consumul de ace.

Cercetări anterioare [1], [2] au caracterizat tricotabilitatea firelor de sticlă folosind teste – rezistenţă la întindere, rezistenţă în buclă şi frecare, precum şi analiză microscopică a firelor în tricoturile din bătătură produse. Unul din experimente [1] a analizat tricoturi din bătătură produse pe maşini rectilinii electronice, în timp ce pentru al doilea experiment [2] mostrele au fost realizate pe o maşina automatizată (ANVH-BLM-ES - Stoll) şi pe maşini circulare.

Concluzii rezultate din cele două studii sunt următoarele:

- ✓ Firele de modul înalt pot rezista solicitării de încovoiere la care le supun organele de formare a ochiurilor, deşi se constată ruperea de filamente. Ruperea este influenţată negativ de creşterea fineţii acelor de tricotat. În plus, trebuie subliniată capacitatea firelor de sticlă de a se încovoia sub cârligul acului fără a se înregistra ruperi de filamente, în condiţiile în care firul nu este tensionat.
- ✓ Tricoturile prezintă distorsionarea semnificativă a rândurilor şi a şirurilor, cauzată de frecarea existentă între fir şi organele de formare a ochiurilor.
- ✓ Distrugerea filamentelor se produce mai ales în zona capului acelor, datorită vârfurilor de tensiune

care apar în momentul buclării. Dacă are loc cedare de fir către ochiurile vecine, punctul de tensiune maximă se deplasează înaintea buclării.

✓ Creşterea lungimii de fir din ochi determină o amplificare a fenomenului de distrugere a filamentelor.

✓ Factorul de influenţă cel mai important pentru lungimea de fir din ochi este adâncimea de buclare.

✓ Comparat cu alte tipuri de fire, folosite în mod normal pentru tricotare, energia de rupere care caracterizează firele de sticlă este inferioară, ceea ce sugerează o rezistenţă la impact redusă.

Toate modelele existente pentru predicţia comportării mecanice a tricoturilor utilizează în calcule modulul lui Young. Cum pe durata procesului de tricotare filamentele din firele de sticlă sunt distruse într-o cantitate semnificativă, valoarea modulului lui Young pentru firul din tricot nu mai este cea iniţială. Este deci important a putea determina gradul în care filamentele de sticlă sunt distruse prin tricotare precum şi cauzele acestei distrugeri. Astfel va fi posibilă exprimarea tricotabilităţii firelor de sticlă, reflectând direct calitatea procesului.

Studierea proprietăţilor firelor de sticlă tricotate iniţial şi apoi deşirate permite compararea proprietăţilor firelor prelucrate cu valorile specifice pentru firele normale. Este astfel posibil să se evalueze efectul pe care tricotarea îl are asupra firelor de sticlă, în raport cu proprietăţile mecanice. Tricotabilitatea va fi exprimată prin **forţa şi tenacitatea la rupere** a firelor de sticlă tricotate, calculându-se un **coeficient relativ de scădere,** care să reflecte gradul de distrugere a filamentelor prin tricotare. Acest coeficient va exprima pierderea relativă înregistrată prin prelucrarea firelor pentru forţa şi tenacitatea la rupere.

Experimentul proiectat, bazat pe studiul direct al firelor de sticlă după tricotare, urmăreşte:

✓ Determinarea intervalelor de variaţie pentru parametrii tehnologici (în principal adâncimea de buclare şi forţa de tragere), care să asigure calitatea maximă a tricotului;

✓ Identificarea mecanismului de rupere a filamentelor, precum şi a factorilor săi de influenţă.

Determinarea intervalelor de variaţie pentru parametrii tehnologici reprezintă practic determinarea condiţiilor de tricotare pentru firele de sticlă, care să fundamenteze variabilele alese pentru experiment.

2. MATERIALE ŞI METODE

Determinarea parametrilor tehnologici optimi, care să asigure tricotului calitate şi cea mai bună comportare mecanică s-a făcut în cazul evoluţiei glat. Tricoturile au fost produse pe o maşină rectilinie electronică, **CMS 320 TC** a firmei Stoll, cu următoarele caracteristici: fineţe 10 E, alimentare prin furnizor cu rezervă (IRO NOVA), platine de închidere şi tragere [3].

Metodologia de lucru presupune producerea unor mostre de tricot în structură glat (exemplificate în figura 4.6), cu dimensiuni de 200 rânduri şi 200 de şiruri. S-au folosit fire de sticlă **EC 13 136 Z30 P100** şi **EC 11 408 Z28 T6**. Pentru fiecare tip de fir s-a variat adâncimea de buclare. Bazat pe experienţa practică acumulată, s-au selectat câte 5 valori pentru adâncimea de buclare, precum şi un anumit nivel al forţei de tragere, prezentate în tabelul 1.

Mostrele au fost lăsate să se relaxeze până nu au mai prezentat variaţii dimensionale şi apoi au fost deşirate, prelevându-se aleatoriu zece mostre de fir. În deşirare s-au evitat zonele de margine, unde, datorită distribuţiei forţelor de tragere şi a zonelor de întoarcere a conducătorilor de fir, gradul de distrugere constat este mult mai mare.

Atât pentru firele prelevate din mostre, cât şi pentru firele normale, s-a determinat rezistenţa la întindere în fir drept, folosindu-se o maşină de încercat Housenfield H100KS, conform standardului ASTM D2256 [4].

Tabelul 1. **Valorile alese pentru adâncimea de buclare**

Fir [tex]	Adâncime de buclare					Tragere (WM)
	NP 1	NP 2	NP 3	NP 4	NP 5	
408	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	20
136	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	18

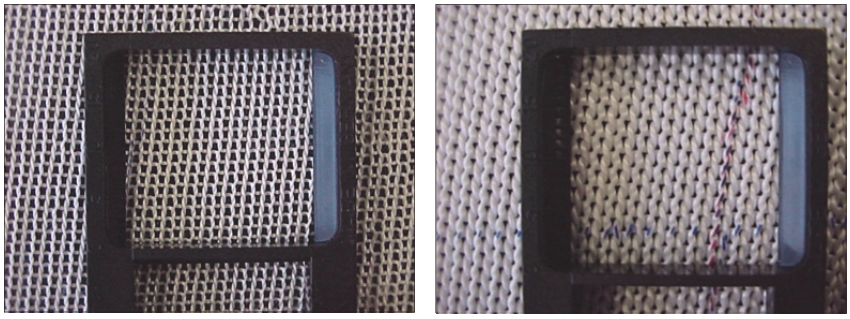

Fig. 1. Aspectul tricotului glat, realizat cu fire de sticlă 136 tex şi 408 tex.

3. REZULTATE ȘI DISCUȚII

Experienţa de tricotare pe maşini rectilinii a demonstrat că lungimea de fir din ochi prezintă o limită inferioară de tricotabilitate şi nu una superioară. Valori mai mici ale lungimii de fir din ochi nu garantează calitatea minimă pentru tricot, iar gradul de rupere a filamentelor este atât de mare încât firul este complet distrus. În cazul experimentului realizat, pentru alimentare s-au utilizat furnizoare cu rezervă de fir model IRO NOVA – figura 2, ceea ce a permis în primul rând însăşi procesul de alimentare a firelor de sticlă şi realizarea acestuia la tensiuni scăzute şi uniforme. Variaţiile de tensiune la întoarcerea conducătorului de fir au fost atenuate prin antene compensatoare.

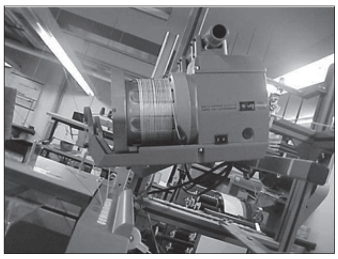

Fig. 2. Furnizor cu rezervă de fir IRO NOVA.

În figura 3 se prezintă aspectul tricotului glat produs cu fir 408 tex, cu adâncimea de buclare NP1. Filamentele rupte se dispun în principal la nivelul buclelor de platină, şi nu în zona buclelor de ac. Mai mult, se poate observa că dispunerea semnificativă a filamentelor rupte se repetă la două rânduri, ceea ce indică că ruperea este mai mare la deplasările pare ale saniei cu lacăte, situaţie explicabilă prin faptul că acele primesc mai puţin fir. Firele tricotate cu această adâncime de buclare s-au rupt la deşirare. Din acest motiv, datele pentru tricoturile realizate cu adâncimea de buclare NP1 sunt neglijate.

Dacă se încearcă tricotarea cu adâncimi de buclare inferioare celor prevăzute, firele ies de sub cârligele acelor, iar tricotul nu prezintă nici o calitate. Figura 4 exemplifică această situaţie pentru firul 136 tex, produs cu o adâncime de buclare inferioară la NP 1. În partea inferioară se poate remarca efectul de „pluş" creat de filamentele distruse aproape complet. Tot pentru firul 136 tex, firele obţinute din tricotul produs cu NP 2 s-au rupt la deşirare şi în consecinţă această variantă este şi ea neglijată.

Aşa cum era de aşteptat, pentru ambele fineţi de fir se constată o diminuare semnificativă a proprietăţilor mecanice ale firelor după tricotare. Această diminuare este invers proporţională cu numărul de filamente din fir şi cu lungimea firului din ochi. Tabelul 2 prezintă valorile calculate funcţie de datele obţinute din curbele de testare.

Pentru a putea compara rezultatele obţinute, se defineşte factorul K, scăderea relativă a forţei de rupere şi a tenacităţii firelor prelucrate raportate la valorile normale:

$$K_F = \frac{F_{rn} - F_{rp}}{F_{rn}} * 100 \quad [\%] \qquad (1)$$

$$K_T = \frac{T_n - T_p}{T_n} * 100 \quad [\%] \qquad (2)$$

unde: F_{rn} este forţa de rupere medie pentru firul normal [N]; F_{rp} – forţa de rupere medie pentru firul prelucrat [N]; T_n – tenacitatea medie pentru firul normal [cN/tex]; T_p – tenacitatea medie pentru firul prelucrat [cN/tex].

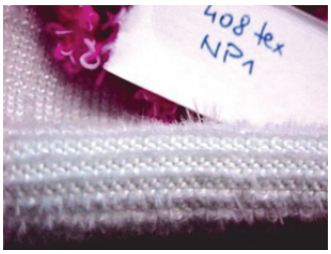

Fig. 3. Aspectul tricotului glat, 408 tex, produs cu NP1 =10,5.

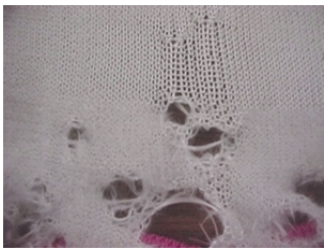

Fig. 4. Aspectul unui tricot produs cu o adâncime de buclare inferioară limitei minime.

Tabelul II. **Valorile caracteristicilor mecanice pentru rezistenţa la întindere a firelor deşirate şi neprelucrate**

Fir [tex]	Variantă	Forţa de rupere [N]	Tenacitatea [cN/tex]	Modulul lui Young [N/tex]	Alungirea relativă [%]	Rezilienţa la rupere [J/g]	Timpul de rupere [s]
136	Normal	75,67	55,59	27,37	2,2	6,64	6,89
	NP 3	23,59	17,27	14,79	1,38	1,45	4,14
	NP 4	30,92	22,73	18,26	1,42	1,93	4,24
	NP 5	37,51	27,58	21,24	1,55	2,47	4,66
408	Normal	229,87	56,34	84,65	2,46	6,86	6,76
	NP 2	118,73	29,10	61,18	1,87	3,01	5,60
	NP 3	156,59	38,37	69,52	2,00	4,29	6,01
	NP 4	165,05	40,45	70,08	2,12	4,86	6,38
	NP 5	167,83	41,14	71,66	2,15	4,87	6,44

În cazul firelor 136 tex, procesul de tricotare distruge filamentele într-o cantitate considerabilă, valorile coeficienţilor K_F şi K_T pentru adâncimile de buclare considerate fiind de 50%, respectiv 63%.

Pentru firele 408 tex, această scădere este mult diminuată, pentru variantele NP 4 şi NP 5 coeficienţii de scădere pentru forţa de rupere, tenacitate şi rezilienţă fiind inferiori la 30%. Valorile extrem de apropiate pentru variantele NP 4 şi NP 5 pot indica că există şi un prag superior după fenomenul de distrugere al filamentelor stagnează. Cu alte cuvinte, tricotarea unor ochiuri cu lungime de fir mai mare decât lungimea corespunzătoare acestui prag nu mai aduce nici o îmbunătăţire comportării mecanice a firelor în structură.

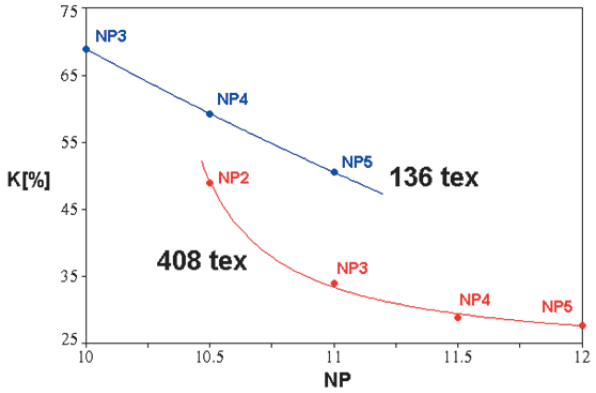

Fig. 5. Variaţia coeficienţilor de scădere K_F şi K_T cu adâncimea de buclare.

Chiar dacă cele mai bune proprietăţi sunt obţinute în cazul valorilor maxime pentru adâncimea de buclare, trebuie avut însă în vedere şi compactitatea tricoturilor, factor important pentru ranforsarea materialelor compozite. Din acest motiv se consideră ca valoare optimă pentru adâncimea de buclare valoarea NP 4.

Rezultatele practice indică că tensiunea în fir pe durata formării ochiului nu depăşeşte nivelul de rupere, ceea ce o elimină ca principală sursă de distrugere a filamentelor. Din acest motiv, se poate considera că ruperea filamentelor este rezultatul unui cumul de factori: fenomenul de frecare, tensiunile remanente din filamentele de sticlă şi forţa aplicată tricotului prin tragere. Aşa cum s-a discutat, tensiunile remanente din filamente conduc la distrugerea acestora, dar este un fenomen de durată, asemănător în manifestare fluajului. Forţa de tragere exercitată pentru îndepărtarea tricotului din zona de formare a ochiurilor nu atinge valoarea critică pentru firele de sticlă, afectând numai filamentele cu defecte de fabricaţie sau care au fost parţial distruse prin tricotare. Frecarea fir-organe de producere a ochiurilor este cea mai importantă cauză pentru distrugerea filamentelor şi se are loc:

- **Pe durata alimentării firului**. Tensiunea în fire generată prin frecarea între fir şi ochiurile de ghidare este cu atât mai mare cu cât unghiul sub care se dispune firul la ieşire, raportat la intrare este mai mare. Figura 6 prezintă un exemplu în care unghiul de înfăşurare al firului în ochiul de ghidaj al furnizorului cu rezervă de fir depăşeşte 90^0. Deşi nu are o pondere importantă, fenomenul este vizibil în situaţii ca cele ilustrate în figură. Evitarea pe cât posibil a unghiurilor de înfăşurare mari reduce amplitudinea fenomenului de distrugere.
- **Pe durata formării ochiurilor**. Singura explicaţie pentru distrugerea filamentelor rămâne frecarea acestora cu organele de producere a ochiurilor. Ciclul de formare a ochiurilor, este caracterizat de buclare cu cedare de fir, ceea ce înseamnă că o cantitate de fir va migra spre acul anterior. La această deplasare, firul se află încovoiat pe dintele de aruncare dintre canalele respective, sub unghiuri foarte mari.

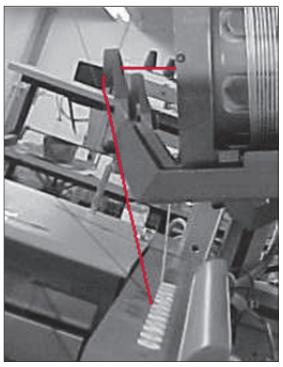

Fig. 6. Traseul firului la ieşirea din furnizorul cu rezervă de fir.

Încovoierea firului şi tensiunile din fir, acumulate prin alimentare şi tricotare, determină apariţia unor forţe de frecare care distrug filamentele într-un proces dinamic (figura 7). Dinţii de aruncare acţionează ca un cuţit asupra filamentelor din fire, forfecându-le. Se explică astfel de ce o lungime inferioară de fir în ochi (o adâncime de buclare mai mică) are o influenţă negativă asupra gradului de distrugere a firului prin tricotare. Cu cât adâncimea de buclare creşte, tensiunile în firul cedat sunt mai mici şi numărul filamentelor rupte scade.

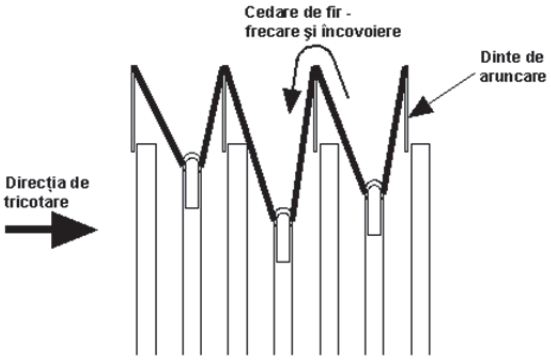

Fig. 7. Cedarea de fir după buclare – reprezentare schematică.

4. CONCLUZII

Prezenta lucrare studiază prelucrabilitatea firelor de sticlă în cazul tricotării pe maşini de tricotat rectilinii. Astfel de tricoturi pot fi folosite în aplicaţii tehnice, în principal ca ranforsare a materialelor compozite cu matrice polimerică. Gradul de distrugere a filamentelor este o măsură a tricotabilităţii firelor de sticlă, exprimat prin **forţa de rupere şi tenacitatea firelor prelucrate** în comparaţie cu cele ale firelor înainte de tricotare.

Din acest motiv s-au comparat caracteristicile mecanice pentru rezistența la întindere în cazul firelor prelucrate cu cele obținute pentru firele neprelucrate.

Prima concluzie este legată de lungimea de fir din ochi, care prezintă o limită inferioară de tricotabilitate şi nu una superioară. Valori mai mici ale lungimii de fir din ochi nu garantează calitatea minimă pentru tricot, iar gradul de rupere a filamentelor este atât de mare încât firul este complet distrus. Tricotarea cu adâncimi de buclare inferioare celor prevăzute se dovedeşte imposibilă.

Pentru a putea compara rezultatele obţinute s-a definit factorul K, care reflectă scăderea forţei de rupere şi a tenacităţii firelor prelucrate raportate la valorile normale. În cazul firelor 136 tex, procesul de tricotare distruge filamentele într-o pondere considerabilă, valorile coeficienţilor K_F şi K_T pentru adâncimile de buclare considerate fiind de 50%, respectiv 63%. Pentru firele 408 tex, această scădere este mult diminuată, pentru variantele NP 4 şi NP 5 coeficienţii de scădere pentru forţa de rupere, tenacitate şi rezilienţă fiind inferiori la 30%.

Rezultatele practice indică faptul că tensiunea în fir pe durata formării ochiului nu depăşeşte nivelul de rupere, ceea ce o elimină ca principală sursă de distrugere a filamentelor. Din acest motiv, se poate considera că ruperea filamentelor este rezultatul unui cumul de factori: fenomenul de frecare, tensiunile remanente din filamentele de sticlă şi forţa aplicată tricotului prin tragere. Frecarea fir tensionat - organe de producere a ochiurilor este cea mai importantă cauză pentru distrugerea filamentelor.

BIBLIOGRAFIE

[1] Lau, K.W., Dias, T. (1994), *Knittability of High – Modulus Yarns*, Journal of the Textile Institute, vol. 85, 2, pp. 173-190.

[2] Savci, S., Curiskis, J.I., Pailthorpe, M.T. (2001), *Knittability of Glass Fiber Weft – Knitted Preforms for Composites*, Textile Research Journal, vol. 71, 1, pp. 15-21.

[3] Stoll, cartea tehnică a maşinii CMS 330TC.

[4] ASTM D2256 (2000) *Annual Book of ASTM Standards*, section 7, vol. I, Easton MD, USA, (format electronic).

Despre autori

Luminița CIOBANU
Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi" din Iaşi

A absolvit Facultatea de Textile Pielărie în 1989, specializarea Tricotaje Confecții. Din 1991 este cadru didactic la Facultatea de Textile, Pielărie și Management Industrial, specializându-se în tricoturi și textile tehnice. În 2003 și-a susținut teza de doctorat în domeniul tricoturilor tehnice. E-mail: luminita.ciobanu@tex.tuiasi.ro

Savin Dorin IONESI
Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi" din Iaşi

A absolvit Facultatea de Textile, Pielărie și Management Industrial in 2009, specializarea Tricotaje Confecții. Din 2012 este cadru didactic la Facultatea de Textile, Pielărie și Management Industrial specializându-se în materiale compozite, tricoturi și textile tehnice. În anul 2012 și-a susținut teza de doctorat în domeniul materialelor compozite. E-mail: dionesi@tex.tuiasi.ro

Emil Constantin LOGHIN
Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi" din Iaşi

A absolvit Facultatea de Textile, Pielărie și Management Industrial in 2013, specializarea Inginerie și Management. Din 2014 este doctorand în cadrul Facultății de Textile, Pielărie și Management Industrial, domeniul Inginerie Industrială, specializându-se în studiului materialelor textile funcționale, dezvoltarea de noi materiale avansate si studiul proprietăților specifice ale acestora.

Ionut DULGHERIU
Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi" din Iaşi

A absolvit Facultatea de Textile, Pielărie și Management Industrial in 2008, specializarea Tricotaje Confecții. Din 2011 este cadru didactic la Facultatea de Textile, Pielărie și Management Industrial. În anul 2011 și-a susținut teza de doctorat în domeniul protecției balistice.