DURABILITATEA STRUCTURILOR TEXTILE CU PROPRIETĂȚI DE CAMUFLAJ MULTISPECTRAL

Dr. ing. **Emilia VISILEANU**[1], Drd. ing. **Felicia DONDEA**[1], Chim. **Elena PERDUM**[1], Dr. fiz. **Laurențiu DINCĂ**[1], Dr. ing. **Alina VLADU**[1], Dr. ing. **Ion Răzvan RĂDULESCU**[1]

[1] INCDTP București, România

REZUMAT. În ultimele decenii, dezvoltarea accelerată a tehnologiilor de supraveghere și recunoaștere a modificat semnificativ cerințele privind protecția personalului militar și a echipamentelor utilizate pe câmpul de luptă. Dintre tehnologiile moderne de detecție, sistemele bazate pe radiația infraroșie (IR) ocupă un rol esențial, deoarece permit identificarea țintelor în condiții de lumină redusă sau pe timpul nopții și contribuie la îmbunătățirea detectării în condiții de vizibilitate limitată. În acest context, conceptul de camuflaj a evoluat dincolo de mascarea în spectrul vizibil, orientându-se către camuflajul mult spectral, care urmărește reducerea simultană a detectabilității în mai multe regiuni ale spectrului electromagnetic. Materialele textile funcționale reprezintă o direcție importantă de cercetare datorită masei reduse, flexibilității și posibilității de integrare a unor materiale cu proprietăți optice și termice controlate. Acestea oferă o soluție promițătoare pentru dezvoltarea echipamentelor individuale de protecție destinate aplicațiilor militare și de securitate, în cadrul cărora managementul semnăturii termice constituie un factor esențial pentru reducerea detectabilității și creșterea capacității de supraviețuire. Lucrarea prezintă rezultatele evaluării indicelui de reflexie în infraroșu (IR) al unui material textil de camuflaj în starea inițială și după aplicarea unor solicitări specifice de durabilitate, respectiv teste de frecare (10 000–30 000 de cicluri), agățare, pilling, spălare și expunere la lumină. Totodată, a fost analizată compatibilitatea spectrală a materialului cu diferite tipuri de vegetație, prin compararea indicelui său de reflexie IR cu cel al frunzelor provenite din diverse medii naturale.

Cuvinte chele: camuflaj mult spectral , radiație infraroșie (IR) , materiale textile funcționale ,compatibilitate spectrală, indice de reflexie IR.

ABSTRACT. In recent decades, the rapid development of surveillance and reconnaissance technologies has significantly changed the requirements for protecting military personnel and equipment deployed on the battlefield. Among modern detection technologies, infrared (IR)-based systems play a crucial role, as they enable target identification under low-light or nighttime conditions and contribute to improved detection in environments with limited visibility. In this context, the concept of camouflage has evolved beyond concealment in the visible spectrum toward multispectral camouflage, which aims to simultaneously reduce detectability across multiple regions of the electromagnetic spectrum. Functional textile materials have emerged as an important research direction due to their low weight, flexibility, and the possibility of incorporating materials with controlled optical and thermal properties. These materials offer a promising solution for the development of personal protective equipment intended for military and security applications, where thermal signature management is a key factor in reducing detectability and enhancing survivability. This paper presents the results of the evaluation of the infrared (IR) reflectance index of a camouflage textile material in its initial state and after the application of specific durability tests, namely abrasion testing (10,000–30,000 cycles), snagging, pilling, washing, and light exposure. In addition, the spectral compatibility of the material with different types of vegetation was analysed by comparing its IR reflectance index with that of leaves collected from various natural environments.

Keywords: multispectral camouflage; infrared (IR) radiation; functional textile materials; spectral compatibility; IR reflectance index.

1. INTRODUCERE

Echipamentele militare destinate reducerii detectabilității în domeniul infraroșu (IR), precum uniformele și sistemele textile de camuflaj, trebuie să îndeplinească cerințe complexe privind performanța operațională, rezistența mecanică și stabilitatea proprietăților funcționale în condiții variate de exploatare. Eficiența acestor materiale este determinată de capacitatea de reducere a contrastului spectral și termic față de mediul înconjurător, precum și de menținerea acestor proprietăți pe durata utilizării.

Radiația infraroșie reprezintă o regiune a spectrului electromagnetic cuprinsă aproximativ între 0,7 μm și 1000 μm, fiind utilizată în numeroase sisteme moderne de supraveghere și recunoaștere. În aplicațiile militare, principalele domenii de interes sunt infraroșul apropiat (Near Infrared – NIR, 0,7–1,4 μm), infraroșul cu lungime de undă medie (Mid-Wave Infrared – MWIR, 3–5 μm) și infraroșul cu lungime de undă lungă (Long-Wave Infrared – LWIR, 8–14 μm). Semnătura

infraroșie a unui obiect, definită prin proprietățile de reflexie și emisie a radiației, reprezintă unul dintre principalii parametri utilizați pentru detectarea și identificarea acestuia.

În acest context, tehnologiile moderne de camuflaj au evoluat de la mascarea în spectrul vizibil către conceptul de camuflaj multispectral, care urmărește reducerea simultană a detectabilității în mai multe regiuni ale spectrului electromagnetic. Pentru aplicațiile militare, structurile textile de camuflaj trebuie să asigure compatibilitatea spectrală cu mediul natural, menținând în același timp proprietăți mecanice și ergonomice adecvate.

Performanța acestor materiale este influențată de caracteristicile structurale ale textilelor, de compoziția cromatică și de configurația desenului de camuflaj, acestea având un rol important în controlul proprietăților optice și infraroșii. În plus, solicitările specifice utilizării în condiții reale, precum frecarea repetată, agățarea, pilling-ul, spălarea și expunerea la lumină, pot produce modificări ale suprafeței materialului și pot afecta stabilitatea proprietăților de camuflaj.

Prin urmare, evaluarea durabilității proprietăților IR reprezintă o etapă esențială în caracterizarea materialelor textile destinate aplicațiilor de camuflaj. Corelarea modificărilor spectrale cu schimbările microstructurale ale suprafeței materialului, evidențiate prin tehnici de analiză precum microscopia electronică de baleiaj (SEM), permite o înțelegere mai aprofundată a mecanismelor de degradare și a stabilității funcționale a structurilor de camuflaj.

Prezenta lucrare urmărește evaluarea stabilității proprietăților de protecție în infraroșu ale unor structuri textile de camuflaj prin analiza indicelui de reflexie IR înainte și după aplicarea unor teste de durabilitate, precum și investigarea modificărilor microstructurale generate de solicitările de frecare și expunere la lumină.

2. MATERIALE SI METODE

S-a utilizat o țesătură realizată din fire de poliamidă și bumbac, dispuse în urzeală și bătătură, având o structură Ripstop obținută prin introducerea unor fire răsucite suplimentare la o distanță de 1 cm. Raportul de repetare a desenului de camuflaj de tip mozaic este de 81,0 cm pe direcția urzelii și 79,5 cm pe direcția bătăturii.

Țesătura prezintă un comportament mecanic anizotrop pronunțat. Pe direcția urzelii s-a determinat o rezistență la tracțiune de aproximativ 109,5 MPa și un modul elastic inițial de circa 1,03 GPa, în timp ce pe direcția bătăturii rezistența la tracțiune este de 43,9 MPa, iar modulul elastic are o valoare de aproximativ 0,25 GPa. Energia absorbită până la rupere este de aproximativ 188 J pe direcția urzelii și 15 J pe direcția bătăturii, indicând o capacitate superioară de absorbție a energiei în direcția urzelii.

Determinarea reflectanței în infraroșu (IR) reprezintă o metodă spectrofotometrică utilizată pentru evaluarea răspunsului spectral al suprafeței unui material plan, precum materialele textile, prin măsurarea radiației reflectate în funcție de lungimea de undă a radiației incidente.

Măsurătorile au fost realizate utilizând un spectrofotometru UV-VIS-NIR Lambda 950 (Perkin Elmer, seria 950N6050402), cu un domeniu spectral de măsurare cuprins între 185 și 3300 nm. Pentru structura textilă de camuflaj analizată, a fost determinat indicele de reflexie în infraroșu pentru cele cinci componente cromatice ale desenului de camuflaj: bej-maro, maro-roșiatic, negru, verde închis și verde.

Evaluarea proprietăților spectrale a fost efectuată în domeniul infraroșu apropiat (NIR), în intervalul 1000–1200 nm, cu un pas de măsurare de 10 nm, pentru caracterizarea comportării spectrale a fiecărei componente cromatice și determinarea compatibilității spectrale a materialului textil.

Evaluarea stabilității proprietăților de reflexie în infraroșu a fost realizată prin aplicarea unor teste de durabilitate, respectiv teste de abraziune la 10 000, 20 000 și 30 000 de cicluri, teste de agățare și pilling (7000 de cicluri). Testul de agățare s-a efectuat în conformitate cu Metoda INCDTP pe aparatul MARTINDALE-ORBITOR iar testul de rezistenta la la piling s-a efectuat la 7000 de cicluri, în conformitate cu ISO:12945-1:2020 și ISO:12945-4:2020 pe aparatul MARTINDALE-ORBITOR.

După fiecare solicitare, au fost determinate valorile reflectanței IR în domeniul spectral 1000–1200 nm, iar rezultatele obținute pentru fiecare componentă cromatică au fost comparate cu valorile inițiale.

Testul de spălare a fost realizat conform standardului SR EN ISO 105-C06, la temperatura de 40 °C, utilizând detergent ECE fără agent optic, cu fosfați, 10 bile de oțel și un raport de flotă de 150 ml, cu o concentrație de detergent de 4 g/L. Procesul de spălare a fost efectuat utilizând mașina de spălat GIROWASH (James Heal, Anglia).

Evaluarea stabilității proprietăților IR după expunerea la lumină s-a realizat prin supunerea structurii textile la testul de îmbătrânire accelerată în

Xenotest, timp de 105 ore, urmată de determinarea modificărilor indicelui de reflexie în infraroșu.

3. REZULTATE SI DISCUTII

În fig.1 este prezentată evoluția reflectanței IR pentru fiecare culoare după testele de frecare, comparativ cu valorile inițiale.

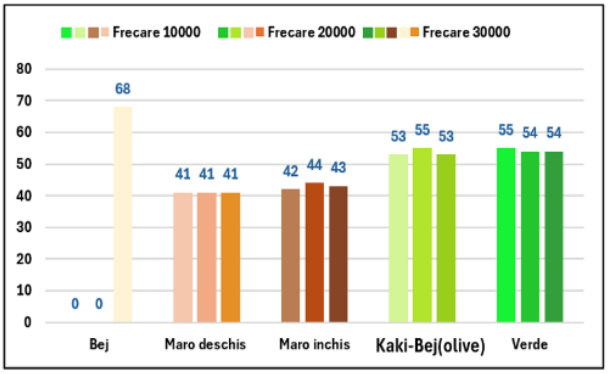


Fig. 1. Evolutie IR dupa testul de frecare

După testul de frecare, majoritatea culorilor prezintă variații mici față de valoarea inițială (între aproximativ −5,3% și +12,8%), ceea ce indică o stabilitate relativ bună a camuflajului în timp, cu excepția culorii bej, care manifestă un comportament anormal (64% inițial → 0 la 10000 și 20000, respectiv 68% la 30000, adică −100% și apoi +6,25%), sugerând fie o posibilă eroare de măsurare, fie o modificare de suprafață foarte sensibilă la frecare (de exemplu pierderea temporară a stratului de pigment urmată de expunerea sau refacerea substratului). Maro deschis rămâne aproape constant (−2,38%), kaki-bej oscilează minim în jurul valorii inițiale (±1,85%), verde scade ușor (până la −5,26%), iar maro închis crește progresiv (+7,69% până la +12,82%), indicând o ușoară intensificare a contrastului după frecare. Materialul este considerat stabil după frecare, cu excepția culorii bej, care prezintă o evoluție atipică.

În fig.2 este prezentată evoluția reflectanței IR pentru fiecare culoare după testul de agățare și piling, comparativ cu valorile inițiale.

Analiza rezultatelor obținute evidențiază următoarele aspecte: culoarea bej-deschisă prezintă cea mai mare modificare a reflexiei după solicitările mecanice. După piling, reflexia crește cu 11 unități (+17,2%), iar după agățare cu 8 unități (+12,5%), indicând o sensibilitate ridicată la aceste tratamente. Culoarea maro deschis înregistrează o reducere a reflexiei atât după piling (-9,5%), cât și după agățare (-4,8%), sugerând o ușoară închidere a aspectului optic. Culoarea maro închis rămâne practic neschimbată, variațiile fiind nesemnificative (0–2,6%). Culoarea kaki-bej(Olive) prezintă o scădere modestă după piling (-3,7%), urmată de o creștere similară după agățare (+3,7%), ceea ce indică o bună stabilitate a proprietăților de reflexie. Culoarea verde manifestă o reducere moderată a reflexiei după ambele solicitări (-5,3%), fără diferențe între efectele pilingului și agățării.

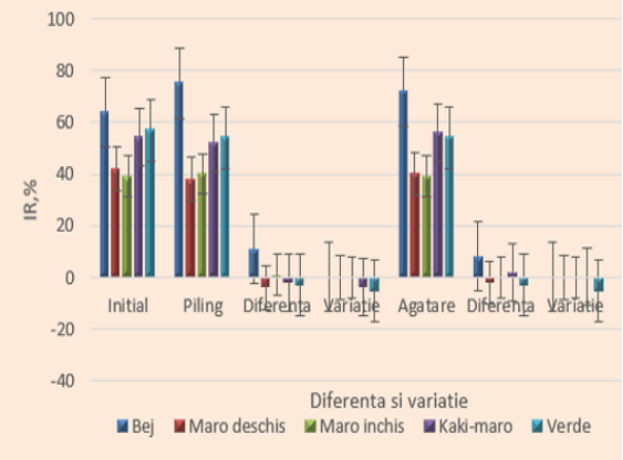


Fig. 2. Evolutie IR dupa testul de agatare si pilling

În ansamblu, majoritatea culorilor își mențin relativ stabil nivelul de reflexie după testele de piling și agățare, cu variații sub ±10%. Excepția este culoarea bej, care prezintă o creștere semnificativă a reflexiei, ceea ce poate afecta uniformitatea optică și performanța de camuflare a materialului după utilizare. Cea mai bună stabilitate este observată pentru culorile maro închis și kaki-bej (olive).

În fig.3 este prezentată evoluția reflectanței IR pentru fiecare culoare după testul de spălare (10-15 cicli) comparativ cu valorile obținute după testele de agățare, piling si valorile inițiale iar in fig.4 cromatograma suprapusa dupa 15 cicluri de spalare.

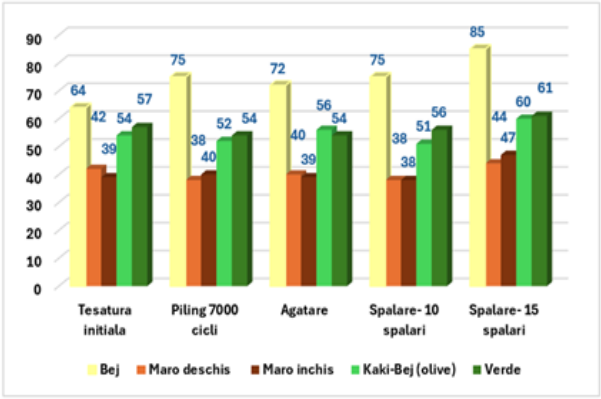


Fig. 3. Evolutie IR dupa testul de spalare

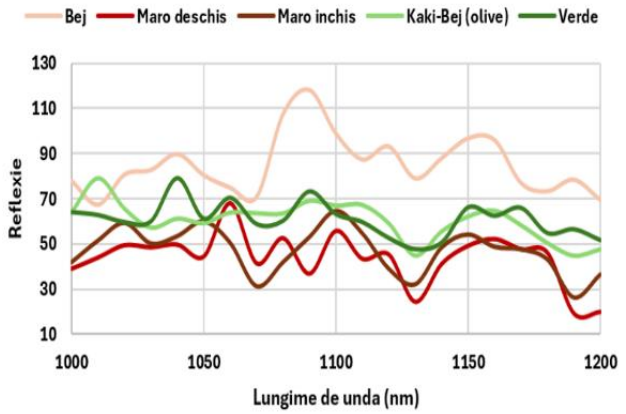


Fig. 4. Cromatograma suprapusa dupa 15 cicluri de spalare

După 10 spălări, majoritatea culorilor prezintă modificări reduse (între −1,8% și −9,5%), cu excepția culorii bej, care suferă o modificare semnificativă (+17,2%). După 15 spălări, toate culorile înregistrează o creștere față de valorile inițiale, ceea ce indică faptul că efectul spălărilor devine mai pronunțat odată cu creșterea numărului de cicluri.

Din punctul de vedere al stabilității culorii, ordinea performanței după 15 spălări este: Maro deschis (+4,0%) – cea mai bună stabilitate; Verde (+7,0%); Kaki-bej (olive) (+11%); Maro închis (+20%); Bej (+32%) – cea mai mare modificare și cea mai redusă stabilitate cromatică.

În ansamblu, rezultatele indică faptul că maro deschis și verde își păstrează cel mai bine caracteristicile cromatice după spălări repetate, în timp ce bejul este cel mai sensibil la efectul ciclurilor de spălare, prezentând cea mai mare modificare a parametrului de culoare.

În fig.5 este prezentata cromatograma suprapusa dupa testul de expunere la lumina (105h).

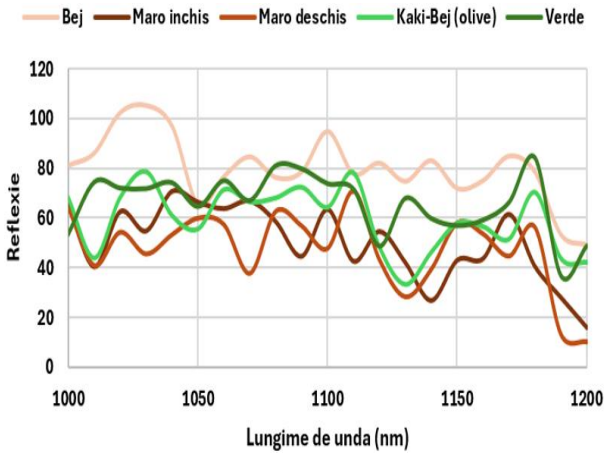
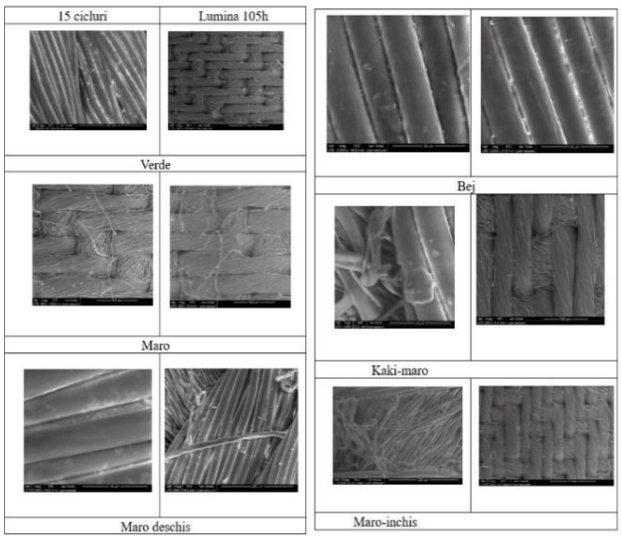


Fig. 5. Cromatograma suprapusa dupa testul de expunere la lumina(105h)

În tab.1 sunt prezentate imaginile SEM ale morfologiei de suprafață a structurii textile după 15 cicluri de spălare și expunere la lumina de 105 h.

Tabelul 1. **Imagini SEM**



După 15 spălări se constată următoarele aspecte: fibrele individuale sunt bine conturate și își păstrează geometria longitudinală. Se observă striațiile caracteristice ale suprafeței fibrelor, ceea ce indică faptul că morfologia de bază rămâne bine conservată. Apar local mici depuneri sau particule pe suprafață, posibil reziduuri provenite din procesul de spălare sau fragmente de colorant. Se disting ușoare zone de uzură superficială, însă nu sunt evidente fisuri majore sau degradări structurale extinse. Aspectul general sugerează că ciclurile de spălare au produs în principal o uzură superficială și o posibilă îndepărtare parțială a colorantului, fără afectarea semnificativă a integrității fibrelor.

După 105 ore de expunere la lumină : structura țesăturii rămâne intactă, fibrele și firele păstrându-și organizarea. Suprafața fibrelor pare mai rugoasă și mai neuniformă decât după spălare. Se observă zone cu exfolieri fine și mici fragmente de colorant desprinse, ceea ce poate indica degradarea stratului superficial sub acțiunea radiației luminoase (foto-degradare). În anumite regiuni apar microfisuri și discontinuități superficiale mai evidente decât în proba după spălare. Nu s-au observat rupturi complete ale fibrelor sau deteriorări severe ale arhi-tecturii textile.

Comparativ cu proba supusă la 15 cicluri de spălare, proba expusă timp de 105 ore la lumină prezintă o degradare superficială mai accentuată. În timp ce spălarea determină predominant îndepărtarea locală a unor particule de colorant și o uzură mecanică

limitată, expunerea la lumină conduce la o creștere a rugozității suprafeței, la apariția exfolierilor și a microfisurilor, caracteristice proceselor de foto-degradare. Cu toate acestea, în ambele cazuri, integritatea structurală a fibrelor și arhitectura țesăturii sunt păstrate, ceea ce indică o bună stabilitate generală a materialului în condițiile de testare.

Diferenta de culoare

Diferențele de culoare au fost identificate pe aparatul HunterLab dupa testele de spalare (25 cicluri) si expunere la lumina. S-au obtinut curbele de reflectanță/transmisivitate R/T și remisie K/S pentru fiecare culoare (fig.6) si parametrii L*, a*, b* comparativ cu varianta inițială (tabel 2) Valorile diferenței de culoare s-au apreciat conform ISO Grey Scale (D65/10).

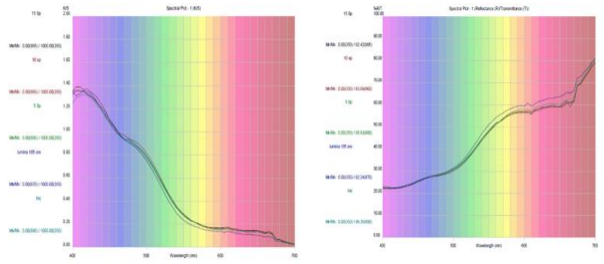


Fig. 6. Curbele de R/T și K/S-spălare și lumină, culoare bej

Tabelul 2

ID	L*	a*	b*	dL*	da*	db*	dE*
bej	73.73	8.92	27.01	73.73	8.92	27.01	
+Tolerances				0.00	0.00	0.00	0.00
-Tolerances				0.00	0.00	0.00	0.00
5 Sp	73.59	8.58	26.99	-0.14	-0.34	-0.02	0.37
10 sp	73.24	8.98	27.12	-0.49	0.06	0.11	0.51
15 Sp	73.37	8.36	26.76	-0.36	-0.57	-0.26	0.72
lumina 105 ore	74.90	8.60	29.45	1.17	-0.32	2.43	2.72

Pentru culoarea bej, ciclurile de spălare determină modificări cromatice reduse, caracterizate prin valori negative ale coordonatelor Δa* și Δb*, ceea ce indică deplasări în Cadranul III al spațiului CIELAB. Aceste modificări sugerează o diminuare ușoară a componentelor roșie și galbenă, fără impact vizual semnificativ. Expunerea la lumină determină o modificare cromatică vizibilă (ΔE* = 2,72), caracterizată prin creșterea luminozității (ΔL* > 0), reducerea componentei roșii (Δa* < 0) și accentuarea componentei galbene (Δb* > 0). Deplasarea cromatică se realizează în Cadranul II al spațiului CIELAB, indicând o tendință de îngălbenire și deschidere a nuanței bej sub acțiunea radiației luminoase.

Pentru culoarea maro deschis, rezistența la spălare este foarte bună, modificările coloristice după 15 cicluri fiind minime (ΔE ≤ 0,62). Expunerea la lumină timp de 105 ore determină o decolorare semnificativă, evidențiată prin creșterea luminozității (ΔL* = +3,38) și o diferență totală de culoare perceptibilă și evidentă (ΔE* = 3,85). Pentru culoarea maro deschis, toate modificările cromatice se încadrează în Cadranul III al spațiului CIELAB, caracterizat prin valori negative ale coordonatelor Δa* și Δb*, indicând o reducere a componentelor roșie și galbenă.

Pentru culoarea maro închis, modificările cromatice induse de spălare sunt reduse, cu valori ΔE* cuprinse între 0,53 și 0,60 și deplasări în Cadranul III al spațiului CIELAB, caracterizate prin scăderea ușoară a componentelor roșie și galbenă. Aceste rezultate indică o stabilitate foarte bună la spălare. În urma expunerii la lumină, se observă o modificare a direcției cromatice către Cadranul II (Δa* negativ, Δb* pozitiv), asociată cu o ușoară creștere a componentei galbene și o reducere a celei roșii. Valoarea ΔE* = 1,49 indică o modificare perceptibilă, dar moderată, ceea ce sugerează o rezistență la lumină mai redusă comparativ cu spălarea.

Pentru culoarea kaki-bej (olive), modificările cromatice induse de spălare sunt reduse (ΔE* = 0,60–0,88), cu variații de direcție cromatică între Cadranul IV și Cadranul III, indicând o ușoară instabilitate locală a componentelor cromatice, fără impact vizual semnificativ. În ansamblu, comportamentul la spălare indică o bună stabilitate coloristică. Expunerea la lumină determină o modificare a direcției cromatice în Cadranul II (Δa* negativ, Δb* pozitiv), asociată cu reducerea componentei roșii și creșterea componentei galbene. Valoarea ΔE* = 1,66 indică o modificare perceptibilă, dar moderată, ceea ce sugerează o sensibilitate mai mare la lumină comparativ cu spălarea.

Pentru culoarea verde, modificările cromatice induse de spălare sunt moderate (ΔE* = 1,36–1,89), fiind însoțite de variații ale direcției cromatice între Cadranul IV și Cadranul II al spațiului CIELAB, ceea ce indică o instabilitate parțială a nuanței. Expunerea la lumină determină o deplasare cromatică în Cadranul I, caracterizată prin creșterea simultană a componentelor roșie și galbenă, conducând la o nuanță mai caldă. Valoarea ΔE* = 3,46 indică o modificare semnificativă, sugerând o sensibilitate ridicată la acțiunea radiației luminoase.

Evaluarea indicelui de reflexie pentru mediul exterior

În domeniul materialelor textile cu utilizare militară, camuflajul eficient depinde de capacitatea materialului de a se integra vizual și spectral în mediul natural. Pe lângă analiza vizuală în domeniul

vizibil, un parametru important este comportamentul în domeniul infraroșu (IR), deoarece detectarea modernă a obiectelor se realizează frecvent prin senzori termici și IR.

Vegetația naturală prezintă valori caracteristice ale reflectanței în infraroșu apropiat (NIR), care variază în funcție de tipul și culoarea frunzelor, structura clorofilei și gradul de hidratare. Prin compararea indicelui IR al unui material textil de camuflaj cu cel al frunzelor din diferite medii naturale, se poate evalua gradul de compatibilitate spectrală al materialului cu diverse tipuri de vegetație.

Scopul analizei este identificarea mediului natural în care materialul textil se integrează cel mai bine, contribuind astfel la optimizarea designului de camuflaj pentru aplicații militare.

S-a determinat spectrofotometric valoarea indicelui de reflexie pe 6 frunze diferite (maro deschis, maro inchis, maro rosiatic, maro-olive, verde deschis, verde inchis-fig.6). Măsurătorile au fost efectuate în intervalul 1000-1200 nm, cu pas din 10 în 10 nm.

In fig.7 sunt prezentate valorile medii ale reflectantei IR pentru mediul inconjurator iar in fig.8 cromatogramele suprapuse.

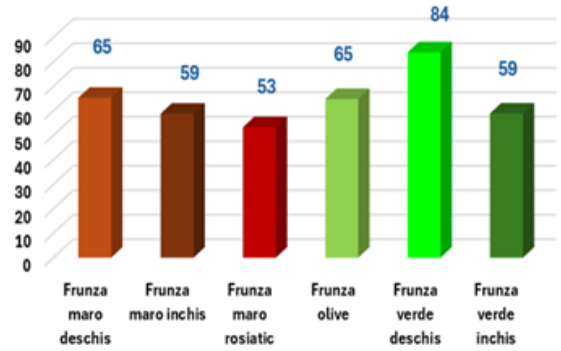


Fig. 7. Valori medii ale IR pentru mediul inconjurator

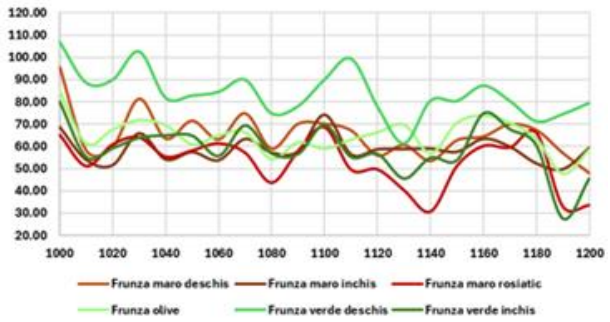


Fig. 8. Cromatograme culori mediul exterior

Reflectanța globală a mediului exterior analizat (frunze) este de 64%.

Adecvanța spectrală a suportului textil de camuflare a fost evaluată prin compararea reflexiei medii în intervalul 1000–1200 nm cu reflexia mediului de referință, determinată în aceleași condiții experimentale. Gradul de potrivire a fost exprimat printr-un indice de adecvanță spectrală, valorile mai apropiate de 100% indicând o integrare mai bună a materialului în mediul analizat.

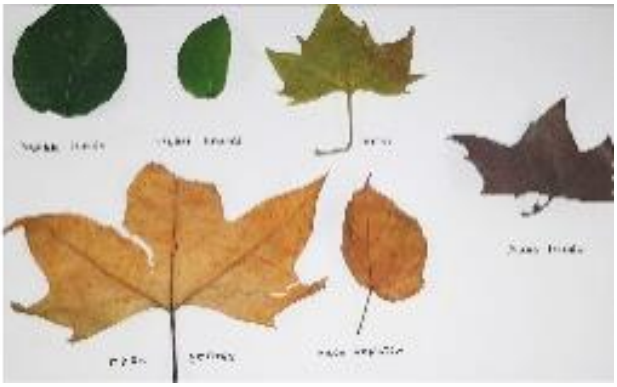


Fig.9. Frunze de diferite culori

Tabelul 2. ***Reflexia IR pe culori***

Culoarea	Structura textila	Mediu
Maro deschis	42	65
Maro inchis	39	59
Maro rosiatic	-	53
Kaki-bej	54	65
Verde deschis	-	84
Verde inchis	57	59
Bej-maro	64	-
Negru	-	-

In tabelul 2 sunt prezentate valorile medii ale reflexiei în infraroșu pentru structura textilă analizata și mediul înconjurător (frunze).

Indicele de nepotrivire spectrala se calculeaza cu formula (1):

$$INS = \frac{\sum |Material - Mediu|}{n} \quad (1)$$

INS mic = adaptare spectrală mai bună la mediu;

INS mare = nepotrivire cromatică mai mare;

Rezultă pentru structura textila analizata:

$$INS_{Combat} = \frac{23 + 20 + 11 + 2}{4} = \frac{56}{4} = 14.0$$

Analiza multi-criterială (medie, varianță, normalizare și scor compozit) indică pentru materiualul textile analizat:

- performanță spectrală superioară (INS redus);
- capacitate de adaptare contextuală bună (valori foarte mici pe anumite medii);

- variabilitate ridicată, ceea ce sugerează dependență de tipul de habitat**;**
- scor compozit superior (22.22) .

Structura textilă este optimă pentru medii forestiere dense / vegetație închisă, unde contrastul cromatic este minim. Este tipic pentru scenarii de tip: pădure matură, vegetație deasă, zone umbrite.

4. CONCLUZII

- Țesătura de camuflare si protecție IR își menține performanțele de camuflaj în domeniul infraroșu apropiat după solicitări mecanice și cicluri repetate de spălare, demonstrând o bună stabilitate spectrală și funcțională.
- Majoritatea componentelor cromatice prezintă o stabilitate optică și coloristică ridicată, însă nuanța bej deschis este cea mai sensibilă la degradare, iar expunerea la lumină reprezintă principalul factor de afectare a proprietăților coloristice.
- Tesatura oferă o integrare spectrală superioară în mediul natural și combină performanțe mecanice ridicate cu proprietăți radiative stabile, fiind adecvată pentru echipamente tactice moderne.
- Eficacitatea camuflajului în infraroșu este o funcție de potrivire spectrală contextuală (material–mediu) și nu de minimizare absolută a reflectanței.

ACKNOWLEDGEMENT

Această lucrare a fost realizată în cadrul Programului „Nucleu”, inclus în Planul Național de Cercetare-Dezvoltare și Inovare 2022-2027, cu sprijinul MCID, proiect nr. 6N/2023, PN 23 26, titlul proiectului „Echipament inteligent pentru asigurarea supraviețuirii combatanților în condiții operaționale”, acronim: IRHEM.

BIBILOGRAFIE

1. Cuthill, I. C., Stevens, M., Sheppard, J., Maddocks, T., Párraga, C. A., & Troscianko, T. S. (2005) *Disruptive coloration and background pattern matching*, Nature, 434(7029), 72–74.
2. Steele, W. M., et al. (2014) *Infrared signature management for military textiles*, Journal of Defense Materials, 20(3), 145–160.
3. Holmberg, K., et al. (2012) *Advanced functional textiles for military applications*, Textile Research Journal, 82(12), 1205–1219.
4. Bevan, D., & Pearce, E. (2010) *Military clothing and protective systems: camouflage and IR reduction,* Defence Technology, 6(3), 155–162.

Despre autori

CS1, Dr. ing. **Emilia VISILEANU**
INCDTP București România

Cercetător științific gr.I, dr.ing., la INCDTP-București, absolventă a Institutului Politehnic „Gh. Asachi„ Iași – Facultatea de Industrie Ușoara cu peste 50 ani experiență în participarea și coordonarea de proiecte de cercetare, derulate în programele naționale și internaționale de CDI și peste 20 ani în managementul organizațional și al activității de cercetare - dezvoltare. Recunoașterea științifică s-a materializat prin publicarea a 16 cărți în calitate de autor și coautor, 56 lucrări științifice publicate în reviste sau proceeding-uri ale unor conferințe, 15 brevete de invenții și peste 95 de premii și medalii ale saloanelor de invenții și inovații. Președinte de onoare al SIT-AGIR, președinte CT-103 ASRO, vicepreşedinte ASRO.

CS, Drd. Ing. **Felicia DONDEA**
INCDTP - București, România

Este doctorand în domeniul Ingineriei Materialelor în cadrul Școlii Doctorale de Știința și Ingineria Materialelor a Universității Naționale de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București și asistent de cercetare în cadrul Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Textile și Pielărie (INCDTP), București. A absolvit programul de licență în Inginerie Medicală și programul de master în Biomateriale Metalice în cadrul Facultății de Știința și Ingineria Materialelor-UNSTPB.

CS3, Dr. ing. **Alina Florentina VLADU**
INCDTP - București, România

Este cercetător științific gradul III (R2) în cadrul Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Textile și Pielărie (INCDTP), cu peste șapte ani de experiență în activitatea de cercetare-dezvoltare. Activitatea sa științifică se

desfășoară la interfața dintre ingineria materialelor, biomateriale și medicina regenerativă. Este absolventă a Facultății de Inginerie Medicală din cadrul Universității Naționale de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București, unde și-a construit baza cunoștințelor în domeniul biomaterialelor și al dispozitivelor medicale. A obținut titlul de doctor în Inginerie Chimică în cadrul Școlii Doctorale de Inginerie Chimică și Biotehnologii a Universității Naționale de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București, unde a desfășurat cercetări privind dezvoltarea de scaffold-uri compozite pe bază de colagen și hidroxiapatită funcționalizate cu agenți terapeutici pentru tratamentul osteosarcomului și regenerarea țesutului osos

CS3, dr. fiz. **Laurențiu DINCĂ**
INCDTP - București, România

Cercetător științific gr. III la INCDTP, doctor în fizică în urma absolvirii Școlii Doctorale de Ingineria și Aplicaţiile Laserilor și Acceleratorilor (SDIALA) - Universitatea Națională de Știință și Tehnologie 'POLITEHNICA Bucharest' (UNSTPB). A urmat Facultatea de Fizică - Universitatea din București obținând licența în fizică și masteratul în Interacțiuni Atomice, Nucleare, Particule Elementare, Astrofizică și Aplicații. Ulterior a obținut mastetratul în Inginerie de Mentenanță pentru ELI-NP în cadrul Facultății de Inginerie Mecanică și Mecatronică - Universitatea 'POLITEHNICA' din București. Temele de cercetare în care s-a implicat, de-a lungul timpului, acoperă domeniul științei materialelor și vizează diverse aplicații, cum ar fi tratamente și investigații fizico-chimice ale materialelor sintetizate sau depuse cu filme subțiri, SEM, determinări ale conținutului de formaldehidă liberă și hidrolizată, reflexie în infraroșu prin metodă spectrofotometrică.

CS3, chim. **Elena PERDUM**

A absolvit studii de licență în Chimia mediului și studii de masterat în Chimie analitică, Universitatea București – Facultatea de Chimie. Activitatea de cercetare este derulată în cadrul a peste 10 proiecte naționale și internaționale (EUREKA, PED, Nucleu etc.), atât în calitate de manager proiect, cât și membru în echipe interdisciplinare. Activitatea curentă se desfășoară în domeniul functionalizarii materialelor textile cu nano-particule si uleiuri esentiale, analizelor eco-toxicologice din textile/pielarie (determinare formaldehida, amine aromatice) si de caracterizare a materialelor textile functionalizate (determinare reflexie in IR, diferenta de culoare, grad de alb).

CS2 dr. ing. **Ion Răzvan RĂDULESCU**
INCDTP - București, România

A obținut titlul de doctor în științe inginerești (2018) cu tema modelării atenuării electromagnetice prin structuri textile neconvenționale. Deține expertiză în domeniul textilelor conductive electric (e-textiles) și în în domeniul sustenabilității și impactului materialelor textile asupra mediului prin evaluarea ciclului de viață – LCA (SimaPro). Are totodată expertiză în domeniul prelucrării statistice a datelor experimentale (MATLAB, MODDE, EXCEL) și în programarea diferitelor aplicații web pentru domeniul textil (PHP/MySQL). Este administrator certificat Moodle și a realizat numeroase instrumente de e-learning. Deține abilități în managementul proiectelor prin coordonarea a cinci proiecte de parteneriat strategic Erasmus+ și a unui proiect ERA-NET Manunet. A publicat peste 30 de articole cu factor de impact. Este președintele Societății Inginerilor Textiliști din AGIR din anul 2018.