STRUCTURI TEXTILE NECONVENTIONALE

Autori:mat. Mihai Stan, dr. ing. Emilia Visileanu, dr. ing. Carmen Ghiţuleasa

Institutul Naţional de Cercetare-Dezvoltare pentru Textile Pielărie şi Bucureşti

REZUMAT

Definim drept structuri textile neconvenţionale acele structuri textile (fibre, fire, ţesături, tricoturi), care au in componenţa materialele care se comportă din punct de vedere fizic neconvenţional (respectiv valorile unor parametri fizici nu respecta condiţiile intalnite in fizica conventionala). Amintim in acest sens metamaterialele (materiale artificiale care prezinta indice de refracţie negativ, materialele auxetice care de asemenea sunt caracterizate de un coeficient Poisson negativ). Articolul familiarizeaza cititorul cu aceste noţiuni şi legatura lor cu modalitatile de abordare teoretica vis a vis de structurile textile.

Cuvinte cheie: structuri, textile, neconventionale, metatextil, aixetic.

ABSTRACT

We define as nonconventional textile structures those textile structures (fibres, yarns, woven fabrics, knitted fabrics) which contain materials with a nonconventional behaviour from the physical point of view (the values of certain physical parameters do not observe the conditions met in the conventional physics). We mention in this sense metamaterials (artificial materials which present a negative refraction index, auxetic materials, which are also characterized by a negative Poisson coefficient). The article familiarizes the reader with these notions and their connection with the theoretical approach modalities regarding the textile structures.

Keywords: structures, textiles, nonconventional, metatextile, auxetic.

1. INTRODUCERE

Tehnologiile industriale avansate îşi răsfrâng, direct sau indirect, influenţa benefică, generată de progres, în domeniile vieţii economico-sociale, astfel încât aceste domenii caută armonizarea dezvoltării în cadrul unui beneficiu comun. Deoarece, din punct de vedere social şi economic, industria textilă reprezintă un utilizator major de tehnologii, este normal să încerce să răspundă pozitiv tuturor provocărilor. Beneficiul este reciproc: tehnologia găseşte un utilizator (*consumator*) direct interesat, dispus să facă investiţii în scopul adaptării metodologiei şi a procesului de fabricaţie la noile cerinţe tehnice, iar *consumatorul* (utilizatorul) estimează eficienţa investiţiei prognozate, urmând a fi recuperată din fluxul aplicativ (materii prime-proces de fabricaţie-comercializare), agreat.
Ideea de bază a lucrării constă în evidenţierea elementelor menite să contureze realizările obţinute pe plan mondial în domeniul structurilor cu caracteristici neconvenţionale, respectiv metamaterialele (materiale care sunt caracterizate de un indice de refracţie negativ) si materialele auxetice (caracterizate de un un modul Poisson negativ).
Aplicaţiile ar putea fi multiple, ele implicând realizarea de produse textile „invizibile" (de camuflaj), cu posibilităţi de exploatare nu numai în domeniul militar, dar şi în cel al produselor tehnice din domeniul industrial (camuflarea unor obiective industriale – coşuri de fabrică, clădiri neaspectuoase, realizarea de ferestre speciale, invizibile din exterior, dar perfect funcţionale pentru cei din interior), ori în domeniul designului vestimentar - prin crearea de produse cu caracteristici optice şi de aspect deosebite, nemaintâlnite până în prezent.
Din punct de vedere practic, termenul este relativ, deoarece, pentru om, poate fi invizibil ceva din domeniul spectrului vizibil (700-900 nm), de exemplu din cel al undelor IR, UV etc. Se cunosc, până în prezent, două modalităţi de abordare a fenomenului de „invizibilitate":

- una fundamentată pe o tehnologie sofisticată - televizualitatea şi tehnologia proiecţiei retroreflexive (RPT) [1];
- cealaltă, la fel de inedită, bazată pe posibilitatea existenţei indicelui de refracţie negativ [2], care - deşi reprezintă un subiect teoretic abstract (într-un anumit sens speculativ) - şi-a dovedit utilitatea practică prin realizările tehnologice obţinute de John Pendry, de la Imperial College din Londra [3], acesta validând ipotezele modelului teoretic al lui Veselago.

În lucrare sunt prezentate sintetic cele două idei. Sunt dezvoltate, în special, rezultatele modelului Veselago, întrucât, pe lângă fundamentarea teoretică, acestea sunt dublate de realizări tehnologice de netăgăduit, spre deosebire de primul model la fel de eficace, care implică, însă, un întreg ansamblu tehnologic de o complexitate ridicată, deosebit de

materialele obişnuite, adică în cele cu $n > 1$, poziția relativă a vectorilor câmpului magnetic şi electric al unei unde se poate afla foarte uşor folosind aşa-numită "regula a mâinii drepte". Pentru materialele cu indicele de refracție negativ, această regulă nu mai este valabilă, fiind necesar să se folosească "regula mâinii stângi". Ele mai sunt denumite "*materiale cu undă inversată*" (backward wave materials - BWM), aceasta fiind o aluzie la faptul că energia undei se propagă în sens opus față de sensul de propagare a undei, sau "*materiale cu indice de refracție negativ*" (negative refractive index - NRI). Ca o consecință logică a celor expuse, noțiunea va fi extinsă şi la clasa structurilor textile care prezintă o serie de particularități (discontinuități structurale, neomogenități etc.) şi cărora le atribuim încă o proprietate, şi anume aceea de a fi caracterizate din punct de vedere optic de un indice de refracție negativ, aşa încât aceste structuri textile vor fi denumite *structuri metatextile.*

Interesul față de materialele cu indicele de refracție negativ a fost însă reconsiderat cu câțiva ani în urmă, respectiv în anul 2000, când fizicianul englez John Pendry, de la Imperial College din Londra, a propus [3] construirea, cu ajutorul acestor materiale, a unor lentile perfecte, care ar putea trece peste limita maximă de formare a contrastului imaginii, impusă de efectul de difracție în lentilele obişnuite.

Printre consecințele imediate ale refracției negative, se numără:

- din punctul de vedere al opticii ondulatorii, un material cu indicele de refracție negativ va modifica în aşa fel unda de lumină, încât aceasta va produce vibrații într-o direcție, iar energia undei se va propaga în sens opus;
- efectul Doppler va fi inversat, respectiv frecvența unei surse de lumină care se apropie de observator nu se va mări (deplasarea spre violet), aşa cum este firesc, ci se va micşora (deplasarea spre rosu);
- efectul Cerenkov va fi, de asemenea, inversat, adică lumina generată - datorită faptului că mediul respectiv este traversat de o particulă încărcată - va fi emisă în spatele particulei şi nu în fața ei;
- conform cercetărilor lui Veselago, o simplă pană plan-paralelă va funcționa ca o lentilă, creând o imagine a obiectului în interiorul penei şi alta de partea cealaltă a acesteia;
- plecând de la ideea lui J. Pendry cu privire la lentilele perfecte, se constată că undele evanescente ale unui corp ar putea fi amplificate de o lentilă cu indicele de refracție negativ, aceste unde având o lungime de undă foarte mică şi, de obicei, nedepăşind suprafața corpurilor. *Datorită lungimii de undă mici, ele conțin informația cea mai detaliată despre corp.*

Mai trebuie cunoscut faptul că, pe plan mondial, literatura de specialitate devine tot mai bogată în acest domeniu. De exemplu, în anul 2007, a apărut primul număr al revistei *Metamaterial*, care abordează acest interesant şi incitant subiect, iar în perioada 23-25 septembrie 2008, la Pamplona - Spania, a avut loc cel de-al doilea simpozion pe această temă. De fapt, după anul 2003, noul domeniu cucereşte tot mai mult teren, astfel încât apar numere speciale de reviste de optică dedicate metamaterialelor, de exemplu: *Optics Express,* aprilie 2003, ***nr. 11*** (7); *J. Opt. Soc. Am.*, martie 2006, ***B 23***, precum şi cărți axate pe această tematică (Eleftheriades, G. V., Balmain, K. G. *Negative-Refraction Metamaterials: Fundamental Principles and Applications*, Wiley - Canada, 2005; Caloz, C., Itoh, T. *Electromagnetic Metamaterials: Transmission Line Theory and Microwave Applications*, Wiley - Hoboken, NJ, 2006; Engheta, N., Ziolkowski, R. W., Eds. *Electromagnetic Metamaterials: Physics and Engineering Explorations*, Wiley, 2006).

Practic, pot fi sintetizate următoarele idei:

- Din punct de vedere practic, domeniul metamaterialelor este la început de drum, majoritatea subiectelor fiind abordate doar din punct de vedere teoretic.
- Un interes aparte îl prezintă cristalul fotonic, în structura căruia se află o bandă fotonică interzisă (PBG - Photonic Band Gap). PBG-ul definește domeniul de frecvență în care lumina este blocată în cristal, pe o direcție dată. O bandă complet interzisă apare atunci când aceste domenii se suprapun pentru toate direcțiile (4π steradiani). Proiectând corect spectrul şi poziția spațială a golurilor, putem controla foarte bine propagarea luminii. De exemplu, un cristal cu banda complet interzisă serveşte ca o oglindă perfectă pentru propagarea luminii în toate direcțiile. Pe de altă parte, o bandă parțial interzisă permite propagarea luminii numai pe o direcție dată şi se poate folosi ca substrat pentru emisia direcțională. Mai mult, în prezența unui defect, cristalul fotonic are stări fotonice localizate, ale căror proprietăți sunt dictate de natura defectului. Un defect punctual poate acționa ca o microcavitate, iar un defect liniar ca un ghid de undă. Abilitatea de a modela benzile fotonice pentru aplicații specifice ne ajută să controlăm proprietățile undelor electromagnetice.

Metodele prezentate în literatura de specialitate furnizează următoarele abordări ale cristalelor fotonice (PBG photonic band gap materials):

- metoda matricei de transfer (TMM);
- metode inspirate din teoria rețelelor de difracție:
  - metoda cuplajului undelor RCWA ("Rigorous coupled-wave analysis", cunoscută şi ca metoda Fourier modală),
  - metoda dezvoltării în moduri proprii (EME),
  - metoda matricei *S* ("Scattering matrix method"- SMM),
  - metoda elementului finit (FEM);

- metoda diferențelor finite în domeniul temporal ("Finite difference time-domain" - FDTD)
- metoda undei plane (PWM).

Datorită caracterului accentuat teoretic, o abordare pragmatică ar necesita, pe lângă *cunoştinţe fundamentale de fizică* generală privind teoria câmpurilor - cu trimitere clară la teoria câmpului electromagnetic, respectiv ecuațiile lui Maxwell, legi constitutive specifice - şi *cunoştinte matematice*, care să asigure posibilitatea unei abordări virtuale a modelului adoptat, bine fundamentată ştiințific - din punct de vedere calitativ şi cantitativ, astfel încât finalitatea demersului să aibă certificare practică ulterioară;

Complexitatea problemelor necesită conlucrarea în cadrul unui colectiv experimentat, eterogen profesional (tehnologi, matematicieni, informaticieni etc.), dar care să prezinte prin experiența câstigată, garanția atingerii scopului propus;

Din punct de vedere teoretic, cel puțin la această oră, s-au impus următoarele metodologii:

- teoria multipolilor, care până acum se pare că a condus la rezultate numerice rezonabile,
- metoda elementului finit de evaluare a unor caracteristici specifice procesului abordat, cu rezultate acceptabile, furnizate via FEMLAB (COMSOL),
- metodologia asociată diferențelor finite - TDFP (finite difference time-domain), care abordează şi componenta dinamică a câmpurilor interactive,
- metoda omogenizării, care permite stabilirea modului comportamental al unui macrosistem, în funcție de componentele micro.

Tinând cont de aceste considerente, în abordarea tematică a caracterizării unei structuri metatextile, se impune următoarea succesiune metodologică:

- abordarea comportamentului în cadrul existenței unui câmp electromagnetic al unei fibre de cristale fotonice, într-o primă etapă;
- trecerea la medii nanocompozite, după obținerea unor rezultate convingătoare;
- trecerea la structuri textile de la mezo-scală;
- abordarea modelului structurilor metatextile macroscopice;
- proiectarea de structuri metatextile.

3. CONSIDERATII ASUPRA STRUCTURILOR TEXTILE AUXETICE

Un material este denumit auxetic dacă la tracțiuni axiale longitudinale, secțiunile transversale in loc sa se comprime se dilată (fig. 3). Ele sunt in general caracterizate de valori negative ale coeficientului Poisson.

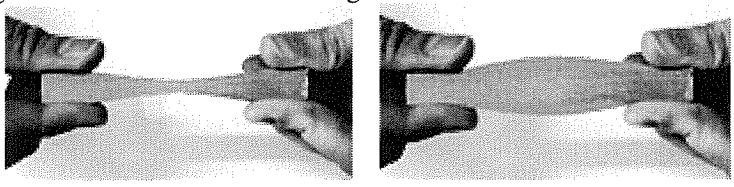


fig. 3a Material conventional fig. 3b Material neconventional (auxetic)

Prin definiție modulul (coeficientul, raportul) Poisson este determinat de relația:

$\nu = - \varepsilon_{trans} / \varepsilon_{longitudinal}$ (1)

in care ε_{trans}, respectiv $\varepsilon_{longitudinal}$ reprezinta alungirea pe direcție transversală, respectiv longitudinală, conform relației:

$\varepsilon = \Delta L/L$ (2)

în care L reprezintă lungimea inițială pe direcția dorita, iar ΔL variația lungimii corespunzătoare direcției respective.

Coeficientul (modulul) lui Poisson este legat de ceilalti coeficienti elastici ai unui material (modulul de forfecare G, modulul volumic K)

$$G = \frac{\sigma_{xy}}{\varepsilon_{xy} + \varepsilon_{yx}} = \frac{\sigma_{xy}}{2\varepsilon_{xy}} = \frac{\sigma_{xy}}{\gamma_{xy}} = \frac{E}{2(1+\upsilon)} \quad (3)$$

$$K = \frac{\sigma}{\Delta V / V} = \frac{\sigma}{\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}} = \frac{E}{3(1-2\upsilon)} \quad (4)$$

$E = \frac{\sigma_{xx}}{\varepsilon_{xx}}$ reprezintă modulul lui Young, σ_{xx} tensiunea care actioneaza asupra materialului, iar ε_{xx} alungirea.

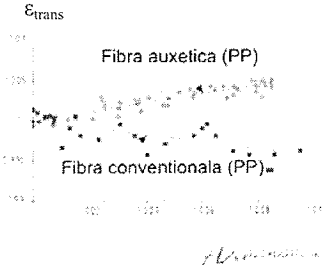
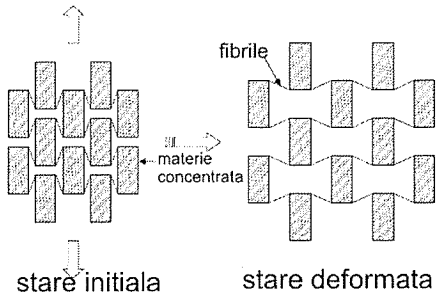


fig. 4

Din care rezultă conditiile G>0 la fel K>0, de unde rezulta $+1 < \nu <= 0.5$

In fig. (5) este redat comportamentul unui filament de polipropilena convențională

şi unul auxetic (coeficientul lui Younge cuprins in intervalul 0.2...2 GNm^{-2}, iar diametrul in intervalul 180 μm..1mm.
Exemplu de noi abordari de cercetare in domeniu, pentru cazul unei structuri de tip fagure.

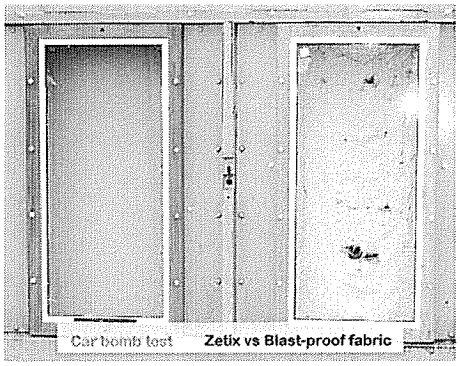


In acest caz se pot observa abordări de noi căi de cercetare:

- din punct de vedere teoretic: medii elastice de tip Cosserat
- din punct de vedere tehnologic textil: structuri auxetice textile (fibre, fire, țesături, tricoturi).

fig. 5 Exemplu de structură auxetică de tip fagure

Aplicatiile sunt numeroase in cele mai diverse domenii: electronica (senzori inteligenți de 6 ori mai precisi decat cei clasici si mult mai ieftini), in construcții la armături (mai subțiri şi mai rezistente), in domeniul militar ca veste antiglonț, in textile la realizarea unor țesături foarte rezistente (ex. țesătura de tip Zetix fig. 6), in medicină (stomatologie prin utilizarea unor cimenturi auxetice speciale, mult mai reyistente decât cele clasice, in structuri osoase pentru suturare).



În fig. 6, se pot observa urmele exploziei asupra uşii fabricată din țesătură de tip Zetix. Datorită marimii foarte mari de absobție a şocurilor precum şi a puterii ridicate de dispersiei a energiei rezultate in urma exploziei, daunele sunt practic nule.

fig. 6 Uşă anti-ex din țesătura de tip Zetix

Bibliografie

[1] Proceedings of the 5th Virtual Reality International Conference (VRIC 2003), p. 69/1-69/9, Laval Virtual, France, May 13-18, 2003,VRIC 2003 Proceedings - 69/1
[2] Veselago, G. *The electromagnetysm with substances with simultaneously negative of ε and v.* În: Soviet Fiziki Uspehi, iulie, 1967, vol. 92, p. 517
[3] Pendry, J. B. *Negative refraction makes a perfect lens.* În: Physical Review Letters, oct. 2000, vol. 85, nr. 18
[4] Nemes, G. *Materiale cu indice de refracție negativ (metamateriale): Principii fizice şi perspective.* Seminar Academia Română, 4 decembrie 2006
[5] Valentine, J., Zhang, S., Zentgraf, Th., Ulin-Avila1, E., Genov, Dentcho A., Bartal, G., Zhang, X. *Three-dimensional optical metamaterial with a negative refractive index.* În: Nature, nr. 455, august 2008
[6] Yao, J., Liu, Zh., Liu, Y., Wang, Y., Sun, Ch., Bartal, G., Stacy, M. A., Zhang, X. *Optical Negative Refraction in Bulk Metamaterials of Nanowires.* În: *Science,* 2008, nr. 321, p. 930
[7] Lakes, R.S. *Foam structure with negative Poisson's ratio materials,* În: Science, 1038-1040,1987.
[8] Lakes, R.S. *Negative Poisson's ratio materials,* În: Science, 238,551,1987.
[9] Lakes, R.S.*Lateral deformation in Extrem Matter perspective,* În: Science, 288,1976,June (2000).
[10] http://gizmodo.com/gadgets/blast_proof-fabric-defies-belief/zetix-blast+proof-fabric-res...