

PREOCUPĂRI ACTUALE ÎN DOMENIUL PROTECȚIEI ÎMPOTRIVA DESCĂRCĂRILOR ELECTROSTATICE

Dr. ing. Beatrice GHIȚĂ ¹, Prof. univ. dr. ing. Elena HELEREA ²

¹ Colegiul Tehnic Energetic Remus Răduleț, Brașov, ² Universitatea „Transilvania”, Brașov, România

REZUMAT. Fenomenele de descărcări electrostatice au căpătat o mare amploare odată cu dezvoltarea micro- și nanotehnologiilor, o influență majoră având și mediul ambiant, care cunoaște modificări majore datorate accelerării schimbărilor climatice. În această lucrare sunt rezumate unele din preocupările actuale privind studiul descărcărilor electrostatice, impactul acestora asupra diferitelor arii de activitate și direcțiile preconizate pentru evitarea sau scăderea efectelor acestor fenomene. Sinteza făcută include cercetările actuale din industria de produse electronice, industria auto, domeniul materialelor noi cu proprietăți antistatice / disipative și, nu în ultimul rând, impactul asupra corpului uman. Metodele de testare utilizate sunt cele standardizate iar parametrii de material măsurați sau monitorizați rămân în continuare rezistivitatea de suprafață și de volum.

Cuvinte cheie: Descărcări electrostatice, materiale antistatice, metode de protecție

ABSTRACT. The phenomena of electrostatic discharges have gained a great magnitude with the development of micro- and nanotechnologies, a major influence also having the environment, which is experiencing major changes due to the acceleration of climate change. In this paper are summarized some of the current concerns regarding the study of electrostatic discharges, their impact on different areas of activity and the expected directions for avoiding or decreasing the effects of these phenomena. The synthesis made includes current research in the electronics industry, automotive industry, the field of new materials with antistatic / dissipative properties and, finally, the impact on the human body. The test methods used are standardized and the material parameters measured or monitored remain surface and volume resistivity.

Keywords: Electrostatic discharge, antistatic materials, protection methods

1. INTRODUCERE

Descărcarea electrostatică (ESD) este un fenomen care se produce, în anumite condiții, în urma unei acumulări de sarcini electrice. Procesul de descărcare electrostatică are loc între două corpuri aflate la potențiale electrice diferite, într-un timp foarte scurt, poziționate la o distanță redusă unul față de celălalt [1], [2]. Procesele de încărcare și descărcare electrostatică au fost intens studiate în toată complexitatea lor datorită multitudinii de probleme pe care le produc în domenii de activitate foarte diverse. Deseori, pentru prevenirea daunelor provocate de descărcările electrostatice fabricanții de produse electrice și electronice introduc proceduri proprii de testare la descărcări electrostatice [3]. Cercetările recente au abordat acest subiect în domenii diverse: dispozitive electronice, medii explozive, materiale (îmbrăcăminte sau suprafețe de lucru), medicină, spațiul cosmic [4]-[8]. Cu toate acestea, procesele de descărcări electrostatice au rămas încă un subiect de interes, greu de elucidat și stăpânit, datorită dinamicii și complexității relației dintre material-proprietăți- mediul de lucru.

În ceea ce privește metodele de testare, în majoritatea domeniilor se aplică metodele standardizate. În ceea ce privește calitatea proprietăților antistatice ale materialelor, parametrii de material urmăriți sunt rezistivitatea de suprafață și rezistivitatea de volum.

2. PROTECȚII PENTRU DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE

Datorită miniaturizării componentelor electronice, a creșterii nivelului tensiunii de lucru, a diversificării materialelor utilizate, dispozitivele semiconductoare și circuitele integrate sunt cele mai vulnerabile la descărcări electrostatice.

Defectul des întâlnit la circuitele integrate este distrugere totală în urma căreia circuitul integrat sau dispozitivul semiconductor nu își mai îndeplinește deloc funcția pentru care a fost proiectat. Acest tip de defect constă în topirea pinilor metalici, străpungerea joncțiunii sau pierderea proprietăților semiconductorilor ale materialului.

Un alt tip de defect este defectarea latentă: distrugerile nu sunt vizibile și nu pot fi puse ușor în evidență, însă, în timp, durata de viață a dispozitivului semiconductor sau a circuitului integrat se reduce.

În contextul dezvoltării tot mai mari a aplicațiilor electronice, a automatizărilor, a mecatronicii, a electrificării transporturilor, se pune tot mai mult accent pe funcționarea în siguranță a sistemelor care au în componența lor dispozitive semiconductoare și circuite integrate.

Producătorii de dispozitive semiconductoare / circuite integrate investesc sume importante atât pentru dezvoltarea de sisteme de protecție împotriva descărcărilor electrostatice pentru reducerea pierderilor ce apar pe linia de producție, cât și pentru proiectarea unor circuite protejate la descărcări electrostatice[5]. Spre exemplu, în prezent, în industria transporturilor, se implementează, în diferite etape, sisteme de conducere autonomă. În iluminatul autovehiculelor cât și la afișajul ecranelor (displayere-lor) sunt folosite sisteme OLED. Aceste sisteme au o vulnerabilitate ridicată la descărcările electrostatice. Merită menționat studiul [5], publicat în 2019 în *Jurnalul Advanced Materials Technologies*, în care colective mixte de cercetători din mediul academic și mediul economic și-au unit eforturile și au realizat un sistem de protecție pentru diodele organice emitente de lumină (OLED) puternic segmentate.

În funcție de modul de realizare al sistemelor OLED, s-a propus un nou concept de protecție în segmentele OLED care constă în introducerea a două straturi suplimentare în substraturile OLED (Fig. 1). O astfel de soluție este ieftină, simplă și nu are impact asupra proceselor de fabricație existente pentru OLED-urile flexibile.

Testarea și evaluarea comportamentului noilor dispozitive OLED este făcută prin spectroscopie de impedanță. S-a pus în evidență impactul celor două straturi suplimentare asupra capacității totale a unui singur segment OLED.

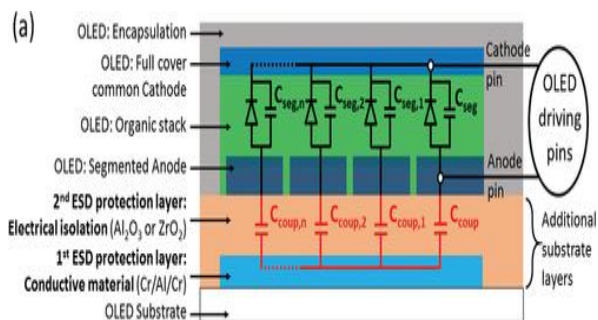


Fig. 1. Îmbunătățirea structurii OLED [5].

Un alt exemplu este cel al tranzistoarelor HEMT (High-Electron-Mobility Transistor), în care se

utilizează frecvent combinația de materiale GaAs cu AlGaAs. Tranzistoarele HEMT sunt capabile să funcționeze la frecvențe mai mari decât tranzistoarele obișnuite, frecvențe de undă milimetrice, cu aplicații diverse, ca: telefoanele mobile, receptoarele de televiziune prin satelit, convertoarele de tensiune și echipamentele radar. De asemenea, sunt utilizate pe scară largă în receptoarele de satelit, în amplificatoarele cu putere redusă și în industria de apărare [9].

Deși s-au făcut pași mari în proiectarea și realizarea de astfel de dispozitive fiabile, totuși s-a demonstrat că la aceste dispozitive electronice de putere cu poartă izolată sau poartă semi-izolată nu există un canal eficient în structura porții lor pentru descărcarea sarcinilor electrostatice, ceea ce face ca structura acestora să fie ușor deteriorată de astfel de evenimente. Soluțiile sunt legate de integrarea unor structuri monolitice în tranzistorul HEMT, dar și utilizarea unor structuri exterioare de protecție [9].

Un domeniu de mare interes privind reducerea pericolului de apariție a descărcărilor electrostatice, este cel al autovehiculelor. Sunt propuse diferite soluții de diminuare a perturbațiilor radiate și conduse generate de diferite surse. Soluții sunt căutate în special pentru cablurile de comunicație la autovehicule [10].

Vehiculul electric nu poate funcționa fără să realizeze schimb informațional cu unitatea electrică de control (ECU). Pentru aceasta se utilizează sisteme cu protocoale variate de comunicații precum CAN, CAN cu viteză flexibilă de date (CAN FD), rețea de interconectare locală (LIN), FlexRay Ethernet auto etc. Semnalul electric, transmis prin cablurile de comunicație, trebuie să fie păstrat intact, evitând pierderile de date sau întreruperile de comunicare. Din acest motiv este firesc să se cunoască cum se comportă sistemul atunci când apar perturbații complexe suprapuse. Frecvența lor de repetiție poate fi mare sau scăzută, cu un conținut ridicat sau scăzut de energie, care poate deveni critică pentru garantarea fiabilității sistemului

Standardele de testare au în vedere reproducerea complexului de perturbații, variate din punct de vedere al amplitudinii, domeniului de frecvență, fazei, modulației și modului de propagare - modul comun (CM) sau modul diferențial (DM). Procedurile de testare, pentru acest caz [10], se referă la teste de imunitate efectuate, respectiv:

- injecție de curent în volum și cuplaj de undă tubulară (BCI și TWC), conform ISO 11452-1 [7] și ISO 11452-4 [8];
- imunitate la supratensiune și explozie evenimente, conform IEC 61000-4-5 [9] și IEC 61000-4-4;
- imunitate la descărcare electrostatică (ESD), conform ISO 10605;
- trenuri de impulsuri tranzitorii rapide și lente, conform ISO 7637-2 [12] și ISO 7637-3 [13].

Testele efectuate au rolul de a stabili tipurile de protecții la o multitudine de factori perturbatori, care să asigure imunitatea cablurilor și a semnalelor transmise prin ele, perturbațiile multiple putând să se producă simultan.

3. MATERIALE CU PROPRIETĂȚI ANTISTATICE/DISIPATIVE PENTRU SUPRAFEȚE DE LUCRU, AMBALARE ȘI HAINE DE PROTECȚIE ESD

Progresele obținute în domeniul materialelor folosite în sistemele de protecție împotriva descărcărilor electrostatice s-au concretizat în utilizarea nanotuburilor de carbon, introduse în structura unor materiale polimerice gazdă.

Pentru obținerea de suprafețe de lucru cu proprietăți antistatice, în [11] sunt analizate proprietățile mecanice și cele electrice, pentru diferite proporții de nanotuburi/nanoplachete de carbon.

Studiul realizat de Arigbabowo et al în 2023, publicat în *Materials Science & Engineering B*, asupra poliamidei PA 6 supusă la temperaturi ridicate indică valori mult diferite ale rezistivității de volum ale eșantioanelor cu diferite ponderi de nanoplachete de carbon (Fig. 2).

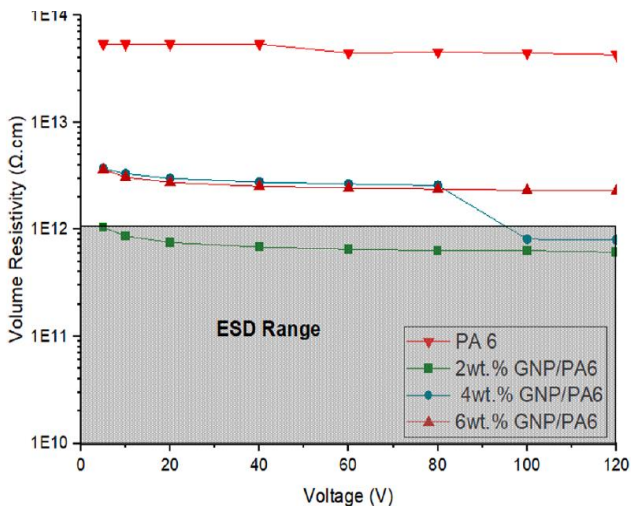


Fig. 2. Variația rezistivității de volum pentru diferite eșantioane de poliamida PA6, cu inserții diferite de nanoplachete de carbon [12].

Determinările efectuate arată, în ceea ce privește rezistivitatea de volum, că doar eșantionul ce conține 2 grame substanță/100 grame substanță de bază sau solvent (2wt%) se încadrează în clasa materialelor cu proprietăți antistatice.

Rezistivitatea de volum, cuprinsă în intervalul 10^{10} - 10^{12} Ωcm, s-a determinat conform standardului ASTM

D257 (Metode de încercare pentru rezistența la curent continuu sau conductanța materialelor izolante).

În domeniul mediilor explozive, studiile au urmărit găsirea de soluții pentru creșterea siguranței în funcționare a echipamentelor. S-au dezvoltat materiale cu caracter ignifug cărora li s-au adăugat și alte proprietăți (antistatice sau hidrofuge) prin aplicarea unor tratamente suplimentare).

Astfel, Wang și Mahltig în 2022 [12] au studiat fibrele de Kynol care au proprietăți ignifuge precum și adăugarea de alte proprietăți prin folosirea unor tratamente specifice. Fibrele Kynol sunt fibre rezistente la flacără, de înaltă performanță, pe bază de rășini novoloide, care sunt preparate prin reacția de condensare a formaldehidei cu fenolul (Fig. 3).

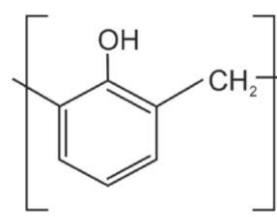


Fig. 3. Structura monomerului de rășină fenol-formaldehidică [12].

Acoperirea antistatică se realizează prin metoda de umplere. Soluțiile folosite provin de la diferiți furnizori (Zerostat FC NEW, Avistat G 100, Avistat AZ NEW). Zerostat FC NEW este un compus organic anionic fosforic, Avistat G 100 este un agent neionic pe bază de acizi grași și esteri de poliglicol, Avistat AZ NEW este un agent cationic bazat pe un produs de condensare a acizilor grași [12].

Pentru realizarea acoperirii antistatice, agenții de finisare furnizați sunt diluați cu apă dedurizată pentru a realiza concentrația dorită (Fig. 4, Fig. 5).

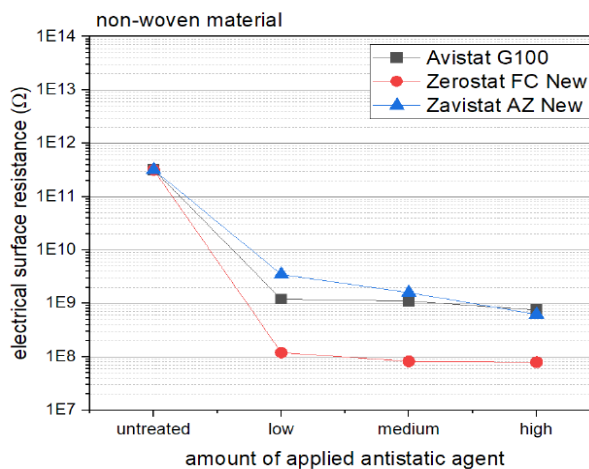


Fig. 4. Variația rezistenței electrice de suprafață în funcție de tipul de acoperire antistatică – eșantion nețesut [12].

Este descris procesul de depunere a acoperirii antistatice: presiunea la aplicarea agentului antistatic este de 2 bari; după aplicarea soluției materialele se usucă la 150°C timp de 2 minute. Cele două tipuri de eșantioane de Kynol (țesut și nețesut), fără tratament adecvat, nu prezintă proprietăți antistatice/disipative.

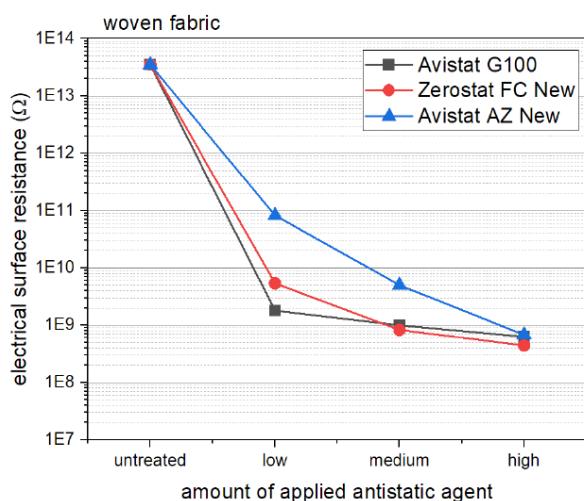


Fig. 5. Variația rezistenței electrice de suprafață în funcție de tipul de acoperire antistatică – eșantion țesut [12].

Pentru eșantionul de Kynol nețesut cu tratament antistatic, în cazul utilizării Zerostat FC NEW ca agent de tratare, s-a obținut o valoare a rezistenței de suprafață acceptabilă acestui scop.

Într-un alt studiu se pune problema utilizării grafitului reciclat din deșeuri spațiale ca agent antistatic [13]. Grafitul este purificat astfel încât să nu prezinte urme de alte substanțe solide sau uleiuri. După etapa de reciclare urmează determinarea proprietăților folosind metode precum analiză termogravimetrică, spectroscopie în infraroșu cu transformata Fourier (FT-IR), difracție cu raze X, scanare utilizând microscopia electronică. Grafitul reciclat (GR) și verificat este utilizat ca agent antistatic prin introducerea lui într-o matrice Poli-Trimetilen Tereftalat (PTT), în diferite procente prin topirea polimerului de bază folosind un extruder. Pentru obținerea unei mai bune dispersii a grafitului în topitura polimerică se folosește un agent care crește compatibilizarea celor două substanțe și anume anhidrida maleică.

Studiul a vizat găsirea celei mai bune combinații de PTT/GR cu grafit reciclat, cu sau fără agent de compatibilizare, pentru ambalarea și transportul componentelor electronice sau subansamblelor electronice.

Cercetări ample sunt efectuate pentru stabilirea metodelor optime de obținere a polimerilor cu conductivitate extrinsecă prin adăugarea de materiale pe bază de carbon precum negru de fum [14], carbon

sticlos [15], nanotuburi de carbon [16, 17], grafit și grafenă [18–20]. Există polimeri cu conductivitate intrinsecă dată de propria structură chimică precum polianilina și polipirolul.

Cercetările au pus în evidență faptul că adăugarea unor procente diferite de grafit reciclat modifică proprietățile mecanice, termice și electrice ale polimerului de bază. Din experimentele realizate și testele făcute, compozitul PTT/GR cu 10% grafit reciclat și cu agent de incorporare satisface cerințele de utilizare ca material antistatic.

În [21] este realizat un studiu de sinteză, în care sunt prezentate principalele cercetări în domeniul textilelor cu proprietăți antistatice. Autorii prezintă evoluția pieței pentru textilele cu proprietăți conductoare: un procent de 82% dintre producători folosesc textilele cu fire conductoare, 27% utilizează polimeri conductori și 47% cerneluri conductoare. O clasificare a fibrelor este utilă:

1) *Fire conductoare*- în general au puritate ridicată cel mai des întâlnite sunt argintul, cuprul și oțelul inoxidabil, fiind obținute produse prin metode diferite [22]. Fibrele metalice au mai multe avantaje, printre care rezistența, compoziția, inerția biologică și disponibilitate imediată în formă textilă la un nivel scăzut al costurilor de producție. Nu sunt afectate de spălare sau transpirație. Prezintă unele neajunsuri și anume sunt incapabile să furnizeze încălzire omogenă iar natura fragilă poate provoca daune pe termen lung mașinilor de filat. Chiar dacă au o conductivitate ridicată nu sunt suficient de elastice iar prin utilizarea unor interconexiuni, conductivitatea scade.

2) *Fibre/fire tratate chimic pentru a fi conductoare*- această grupă de fibre/fire este obținută prin acoperiri cu polimeri conductivi convenționali, substanțe galvanice sau săruri metalice. Mai frecvent, procesele de acoperire utilizate sunt placarea fără electrozi, depunere prin evaporare, pulverizare și acoperire cu polimeri conductivi. De asemenea, fibrele conductoare pot fi obținute și prin tratarea suprafeței firelor textile tradiționale, care se poate realiza prin acoperirea cu polimeri, cum ar fi polipirolul [23], prin depunere pe suprafața substraturilor textile sau prin imprimarea cu cerneluri conductoare și formarea unui strat conductor.

3) *Materiale conductoare pe bază de carbon*-diferite grupuri de cercetare au combinat materiale conductoare pe bază de carbon cu materiale textile datorită conductivității electrice ridicate, calităților mecanice îmbunătățite, și costurilor scăzute de fabricare, cel mai răspândit material folosit pe bază de carbon pentru textilele conductoare fiind grafena.

4. MATERIALE CU PROPRIETĂȚI ANTISTATICE PENTRU PREVENIREA DEGRADĂRII PĂRULUI UMAN

Tendențele actuale în materie de imagine proprie și percepția celorlalți oameni asupra propriei persoane au dus la tendința de vopsire regulată a părului și schimbări de culori care implică utilizarea oxidanților puternici în cazul culorilor deschise și foarte deschise. Cu timpul, acest lucru dăunează regenerării părului și produce modificări vizibile prin pierderea luciului natural, scăderea rezistenței mecanice ceea ce face ca părul să fie vulnerabil la rupere.

Toate aceste transformări pot produce modificări în percepția vizuală a propriei persoane și implicit pot conduce la scăderea stimei de sine [24]. De asemenea, utilizarea uscării părului cu aer cald, în timp foarte scurt, poate să accentueze pierderea culorii și uscarea excesivă a părului.

Un alt factor care afectează părul sunt razele ultraviolete care afectează keratina, lipidele și concentrația de melanină în păr. După expunerea la raze ultraviolete se observă o acumulare de oxigen reactiv care va crește la expuneri repetate. Radiațiile UV produc degradarea proteinelor și transformări care facilitează apariția de cavități în interiorul firului de păr. Mai mult firul de păr deja degradat se electrizează foarte ușor prin frecare, se încurcă ușor, trebuie pieptănat cu grijă, se încarcă electrostatic la pieptănare, se poate rupe și din aceste motive apare necesitatea aplicării unor produse cosmetice suplimentare care să amelioreze aceste neajunsuri.

În [24] autorii realizează o cercetare asupra utilizării compușilor polifenolici care sunt substanțe organice cu proprietăți multifuncționale, ca: aderență puternică, biocompatibilitate excelentă și capacitate bună de acoperire. Utilizarea lor regulată duce la prelungirea duratei de viață a firului de păr și ameliorarea problemelor cauzate de vopsire precum și la prevenirea încărcării electrostatice a acestuia datorită acidului tanic care oferă protecție UV [25]. Prin creșterea conductivității electrice a suprafeței firului de păr se reduce electricitatea statică, ceea ce contribuie la limitarea procesului de deteriorare a firului de păr.

5. CONCLUZII

Procesele de încărcare și descărcare electrostatică nu sunt încă pe deplin cunoscute și ținute sub control, ceea ce afectează produsele și procesele de fabricație. Industria produselor electronice, industria auto, a conductoarelor de comunicații sunt domenii puternic

afectate de efectele descărcărilor electrostatice, de neneglijat fiind și impactul asupra corpului uman.

Pentru componentele electronice, protecția la descărcări electrostatice se efectuează atât prin metode interne, de introducere a unor noi elemente în structura componentului, cât și prin metode externe, de utilizare a unor sisteme suplimentare de protecție.

Metodele de testare la descărcări electrostatice sunt cele standardizate, indicatori fiind rezistivitatea de suprafață și de volum a materialelor componente.

Pentru obținerea de materiale cu proprietăți antistatice/disipative, utilizate pentru suprafețele de lucru și pentru țesături antistatice, s-au dezvoltat o serie de compozite pe bază de nanotuburi de carbon, grafit reciclat, negru de fum.

Polifenolii introduși în produse de îngrijire a părului uman limitează producerea fenomenului de electrizare.

BIBLIOGRAFIE

- [1] [EOS/ESD Fundamentals Part 1 | EOS/ESD Association, Inc.](#)
- [2] <https://www.ti.com/interface/circuit-protection/esd-surge-protection-ics/overview.html>
- [3] Osram, Application notes no. AN 020, ESD protection while handling LEDs, 12.07.2019, p.21.
- [4] Khandelwal S., Bavi D., „ASM-ESD – A comprehensive physics-based compact model for ESD Diodes”, 2022 IEEE International Reliability Physics Symposium (IRPS), 2022, pp. 5C.1-1-5C.1-6, doi:10.1109/IRPS48227.2022.9764453
- [5] Bechert H., Almora O., Regau K., Matt G.J., Brabec C.J., Wehler T., „Thin-Film Electrostatic Discharge Protection for Highly Segmented OLEDs in Automotive Applications”, *Advanced Materials Technologies* 4 (5):1800696, doi:10.1002/admt.201800696.
- [6] Smallwood J.M., „Electrostatic discharge charge transfer measurements in electrostatic hazard evaluation”, *Journal of Electrostatics*, 125, September 2023. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2023.103817>.
- [7] Lei Z., Liu J., Zhao Y., Zhao X., Li Q., „Preparation and Properties of Flame Retardant and Antistatic Foamed Wood-Plastic Composite with APP/ZB System”, *Coatings*, 2023, 13, 789. <https://doi.org/10.3390/coatings13040789>.
- [8] Telipan G., Moașa B., Helerea E., Carpus E., Scarlat R., Enache Gh., „ESD Knitted Fabrics from Conductive Yarns Used as Protective Garment for Electronic Industry”, *Textiles for Advanced Applications*, Ed. Intech Open Croația, 2017, DOI: 10.5772/intechopen.69843.
- [9] Shi Y., He Z., Huang Y., i Cai Z. et al., „Experimental Investigation and Model Analysis on AGaN Electrostatic Discharge Clamp”, *IEEE Journal of the Electron Devices Society*, 2022, doi 10.1109/JEDS.2022.3218020.
- [10] Righi S., Dossi L., Tacchini A., Antonio Camarda A., Vincetti L., „Review Overview about E-Mobility Conducted Immunity Tests on ESA Communication Lines”, *Electronics* 2023, 12, 1850. <https://doi.org/10.3390/electronics12081850>, p. 13.
- [11] Ferreira Braga N., Ferreira da Silva T., Ribeiro dos Anjos E.G., Morales Zaggo H., Nicolau Wearn Y., Antonelli E. and

- Passador F.R., „Antistatic Packaging for Electronic Devices of PTT-Based Polymer Blends, Composites, and Nanocomposites” in *Materials Horizons: From Nature to Nanomaterials book series* (MHFNN), ed. Springer Link, mai 2023, pp 251–274.
- [12] Wang J., Boris Mahltig B., „Treatment of Kynol fiber materials – Part 2: Antistatic and water-repellent functionalization”, *Communications in development and assembling of textile products*, August 2022, pp. 62-71, DOI: 10.25367/cdatp.2022.3.p62-71
- [13] Zaggo H.M., Braga N.F., dos Anjos E. G.R., Montagna L.S., Antonelli E. și Fabio R. Passador F.R., „Effect of Recycled Graphite as an Antistatic Agent on the Mechanical, Thermal, and Electrical Properties of Poly(Trimethylene Terephthalate)”, *Macromolecular Symposia*, **406**, 2022, 2200014.
- [14] Silva, T. F., Menezes F., Montagna L. S., Lemes A. P., Passador F. R., „Preparation and characterization of antistatic packaging for electronic components based on poly(lactic acid)/carbon black composites”, *Journal of Applied Polymers Science*, **136** 2018, 47273.
- [15] Santos M. S., Montagna L. S., Rezende M. C., Passador F. R., „Effect of Recycled Graphite as an Antistatic Agent on the Mechanical, Thermal, and Electrical Properties of Poly(Trimethylene Terephthalate)”, *Journal of Applied Polymer Science*, **136**, 2018, 47204.
- [16] Braga N. F., Ding H., Sun L., Passador, F. R., „Antistatic packaging based on PTT/PTT-g-MA/ABS/MWCNT nanocomposites: Effect of the chemical functionalization of MWCNTs”, *Journal of Applied Polymers Science* 2020, **138**, 1.
- [17] Braga N. F., Zaggo H. M., Montagna L. S., Passador F. R., „Effect of Carbon Nanotubes (CNT) Functionalization and Maleic Anhydride-Grafted Poly(trimethylene terephthalate) (PTT-g-MA) on the Preparation of Antistatic Packages of PTT/CNT Nanocomposites”, *Journal of Composites Science* 2020, **4**, 44.
- [18] Zheng W., Wong S. C., „Electrical conductivity and dielectric properties of PMMA/expanded graphite composites”, *Composites Science and Technology* **63**, Ed. Elsevier, 2003, pp. 225-235.
- [19] Wang H., Xie G., Fang M., Ying Z., Tong Y., Zeng, Y., „Electrical and mechanical properties of antistatic PVC films containing multi-layer graphene”, *Composites Part B: Engineering*, 2015, vol. **79**, Elsevier, 2015, pp. 444-450.
- [20] Zou J. F., Yu Z. Z., Pan Y. X., Fang X. P., Ou, Y. C., „Conductive mechanism of polymer/graphite conducting composites with low percolation threshold”, *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, vol. **40**, 2002,, pp. 954-963.
- [21] Shabani A., Hylli M., Kazani I., „Investigating Properties of Electrically Conductive Textiles: A Review”, *Tekstilec*, 2022, Vol. **65** (3), 194–217 | DOI: 10.14502/tekstilec.65.2022045
- [22] Uzun M., Sancak, E., Usta, I., „The use of conductive wires for smart and protective textiles”, 2015 E-Health and Bioengineering Conference (EHB), (November 2015), 2016, doi: 10.1109/EHB.2015.7391494.
- [23] Banaszczyk, J., Mey G. De, Schwarz A., „Current Distribution Modelling in Electroconductive Fabrics”, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, **17** (2), p. 28–33, 2009.
- [24] Won, H.J.; Kim, T.M.; An, I.-s.; Bae, H.J.; Park, S.Y., „Protection and Restoration of Damaged Hair via a Polyphenol Complex by Promoting Mechanical Strength, Antistatic, and Ultraviolet Protection Properties”, *Biomimetics* 2023, **8**, 296. <https://doi.org/10.3390/biomimetics8030296>
- [25] Ma W., Ding Y., Zhang M., Gao S., Li, Y., Huang C., Fu G., „Nature-Inspired Chemistry toward Hierarchical Superhydrophobic, Antibacterial and Biocompatible Nanofibrous Membranes for Effective UV-Shielding, Self-Cleaning and Oil-Water Separation.”, *Journal of Hazardous Materials* 2020, **384**, 121476.

Despre autoare

Dr. ing Beatrice GHITĂ

Colegiul Tehnic Energetic Remus Răduleț, Brașov, România

Absolventă a Universității „Transilvania” din Brașov, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor – 2009, doctor inginer din anul 2015. În prezent este cadru didactic la Colegiul Tehnic Energetic Remus Răduleț din Brașov. În decursul anilor a publicat lucrări științifice indexate ISI sau în baze de date internaționale, un capitol de carte la editura INTECH OPEN Croația, lucrări publicate în reviste școlare cu ISSN. Domenii de competență sunt: materiale electrotehnice, compatibilitate electromagnetică, istoria tehnologiei.

Prof.univ. dr.ing. Elena HELEREA

Universitatea „Transilvania” din Brașov, Brașov, România

Absolventă a Institutului Politehnic din Brașov – 1970, specializarea Electromecanică, doctor inginer din anul 1987, profesor la Universitatea „Transilvania” din Brașov, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, conducător de doctorat în domeniul Inginerie electrică, membră AGIR. În perioada 2008-2013 a ocupat funcția de director al Bibliotecii Universității „Transilvania” din Brașov, în perioada 2008-2004 a ocupat funcția de prorector cu activitatea didactică. Din 2011 este profesor onorific al Universității din Pecs Ungaria. În decursul anilor a publicat numeroase lucrări științifice indexate ISI sau în baze de date internaționale, monografiile și cursuri dedicate studenților. Domeniile de competență sunt: materiale electrotehnice, compatibilitate electromagnetică, calitatea energiei electrice, istoria tehnologiei.