

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI**



EVALUAREA SUSTENABILITĂȚII SISTEMELOR DE MANAGEMENT A DEȘEURILOR DE ECHIPAMENTE ELECTRICE ȘI ELECTRONICE

Conducător de doctorat:

Prof. univ. emerit dr.ing. CARMEN TEODOSIU

Doctorand:

Ec. Anișoara Enache (căs. Talpalaru)

Iași, 2025

EVALUAREA SUSTENABILITĂȚII SISTEMELOR DE MANAGEMENT A DEȘEURILOR DE ECHIPAMENTE ELECTRICE ȘI ELECTRONICE

Anișoara Enache (căs. Talpalaru)

Domeniul: Ingineria Mediului

UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE ASACHI" DIN IAȘI

R E C T O R A T U L

Către

Vă facem cunoscut că, în ziua de 24 Septembrie 2025 la ora 10.00, în Sala de Consiliu a Facultății de Inginerie Chimică și Protecția Mediului "Cristofor Simionescu", va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată:

"EVALUAREA SUSTENABILITĂȚII SISTEMELOR DE MANAGEMENT A DEȘEURILOR DE ECHIPAMENTE ELECTRICE ȘI ELECTRONICE"

elaborată de doamna **ec. Anișoara Enache (căsătorită Talpalaru)** în vederea conferirii titlului științific de doctor.

Comisia de doctorat este alcătuită din:

- | | |
|---|------------------------|
| 1. Prof.univ.habil.dr.ing. Cezar Florin Catrinescu
Universitatea Tehnică <i>Gheorghe Asachi</i> din Iași | președinte |
| 2. Prof.univ.emerit dr.ing. Carmen Teodosiu
Universitatea Tehnică <i>Gheorghe Asachi</i> din Iași | conducător de doctorat |
| 3. Prof.univ.habil.dr.chim Ecaterina Matei,
Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București | referent oficial |
| 4. Dr.habil. Carmen-Mihaela Popescu, CSI,
Institutul de Chimie Macromoleculară <i>Petru Poni</i> Iași | referent oficial |
| 5. Prof.univ.emerit dr.ing. Maria Gavrilescu
Universitatea Tehnică <i>Gheorghe Asachi</i> din Iași | referent oficial |

Cu această ocazie vă invităm să participați la susținerea publică a tezei de doctorat.

RECTOR,

Prof.univ.dr.ing. Dan Cașcaval

Secretar universitate,

Ing. Cristina Nagîț

Mulțumiri

Finalizarea acestei teze de doctorat reprezintă încununarea unui parcurs academic complex, marcat de provocări, descoperiri și oportunități de învățare continuă. Acest efort nu ar fi fost posibil fără sprijinul, ghidarea și încurajarea oferite de numeroase persoane cărora doresc să le adresez întreaga mea recunoștință.

*Un gând special de recunoștință se îndreaptă către conducătorul meu de doctorat, **Prof. univ. emerit dr. ing. Carmen Teodosiu**, o persoană de o deosebită valoare academică și profesională, care m-a ghidat cu răbdare, profesionalism și dedicare pe întregul parcurs al acestei cercetări. Îi mulțumesc pentru încrederea pe care mi-a acordat-o, pentru sfaturile valoroase și îndrumarea riguroasă, care m-au ajutat să-mi conturez ideile, să depășesc provocările și să ajung la momentul susținerii acestei teze. Expertiza sa excepțională, abilitatea de a aduce claritate în momentele dificile și viziunea sa academică au avut un impact profund asupra modului în care mi-am structurat și fundamentat cercetarea. De asemenea, îi mulțumesc pentru încurajările constante și inspirația oferită, care m-au motivat să îmi depășesc limitele și să aspir spre excelență în toate aspectele.*

*Adresez sincere mulțumiri **Șef lucr.dr.ing. Daniela Gavrilescu**, pentru sprijinul, disponibilitatea și încurajările oferite pe parcursul întregii perioade de cercetare. Profesionalismul, răbdarea și deschiderea pentru a răspunde întrebărilor mele, precum și sugestiile valoroase au avut un impact semnificativ asupra clarificării unor aspecte esențiale ale acestei teze. Îi sunt profund recunoscătoare pentru feedback-ul atent și detaliat, pentru îndrumarea oferită în momentele de incertitudine și pentru susținerea necondiționată care m-a motivat să continui cu încredere acest proces academic, iar contribuția sa la finalizarea acestei lucrări este deosebit de apreciată.*

*Mulțumirile mele se îndreaptă și către membrii Comisei de îndrumare și integritate academică: doamnei **Conf.dr.habil.ing. Brîndușa-Mihaela Slușer**, **Conf.univ.dr.ing. George Barjoveanu**, de la Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi", din Iași, **Dr.habil.ing. Marcela Mihai**, Institutul de Chimie Macromoleculară Petru Poni Iași, pentru timpul acordat evaluării rapoartelor de cercetare, sugestiile oferite, precum și pentru efortul și expertiza investită în evaluarea acestei teze.*

Îmi exprim profunda recunoștință față de întregul colectiv al Departamentului de Ingineria și Managementul Mediului, precum și față de personalul Facultății de Inginerie Chimică și Protecția Mediului „Cristofor Simionescu”, pentru sprijinul, disponibilitatea și susținerea oferită pe parcursul acestui demers academic.

Nu în ultimul rând, doresc să îmi exprim recunoștința față de părinții, familia și prietenii mei, și tuturor celor care m-au susținut și încurajat în această călătorie academică. Fără sprijinul lor moral, încrederea pe care mi-au oferit-o și răbdarea cu care au acceptat perioadele mele de muncă intensă, acest moment nu ar fi fost posibil.

Această realizare este, în mare parte, rezultatul contribuției fiecărei persoane menționate mai sus, iar pentru acest lucru le sunt profund recunoscător.

Dedic această teză fiicelor mele, Iustina și Casiana, cu speranța că le va fi o sursă de inspirație și motivație.

CUPRINS

Capitolul 1. INTRODUCERE	9
Capitolul 2. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND MANAGEMENTUL DEȘEURILOR DE ECHIPAMENTE ELECTRICE ȘI ELECTRONICE (DEEE-uri)	14
2.1 Generarea deșeurilor de echipamente electrice și electronice (DEEE)	14
2.2 Cantități de DEEE la nivel european	14
2.3 Cantitățile de DEEE la nivelul României	14
2.4 Compoziția DEEE-urilor și aspecte referitoare la materiile prime critice	15
2.5 Deșeuri municipale solide versus particularități asociate DEEE-urilor	16
2.5.1 Diferențe fundamentale între deșeurile municipale și DEEE-uri	16
2.5.2 Impactul asupra mediului	16
2.5.3 Metode de gestionare și reciclare	16
2.5.4 Reglementări și Politici Publice	16
2.5.5 Impactul economic al gestionării deșeurilor	17
2.5.6 OIREP-urile și rolul lor în gestionarea DEEE	17
2.6 Contextul legislativ al managementului deșeurilor de echipamente electrice și electronice	Error! Bookmark not defined.
2.7 Gestionarea DEEE-urilor în Uniunea Europeană și în România	Error! Bookmark not defined.
2.8 Eco-inovarea	18
2.9 Trenduri în compoziția EEE	18
Capitolul 3. METODOLOGII DE EVALUARE A SUSTENABILITĂȚII SISTEMELOR DE MANAGEMENT A DEȘEURILOR DE ECHIPAMENTE ELECTRICE ȘI ELECTRONICE	18
3.1 Metodologii de evaluare a sustenabilității sistemelor de management a deșeurilor de echipamente electrice și electronice	19
3.2 Elaborarea și dezvoltarea metodologiei compozite de caracterizare a sustenabilității – metodologia SUSTWEEE	20
3.3 Caracteristicile modelului de evaluare a impacturilor asociate diferitelor alternative de management al deșeurilor - metodologia US EPA WARM	22
3.4 Prognoza generării deșeurilor de tip DEEE - instrumentul de calcul DEEE, WEEE calculation tool	24
Capitolul 4. EVALUAREA PERFORMANȚEI SISTEMULUI DE MANAGEMENT AL DEȘEURILOR DE ECHIPAMENTE ELECTRICE ȘI ELECTRONICE DIN ROMANIA PRIN METODOLOGIA SUSTWEEE	26
4.1 Informații generale pentru stabilirea contextului și profiluri de generare a DEEE-urilor	26
4.2 Indicatori ai sistemului de management al DEEE	27
4.2.1 Indicatori cantitativi pentru componentele fizice ale sistemului	27
4.2.2 Indicatori calitativi pentru componentele fizice ale sistemului	28
4.2.3 Indicatori pentru evaluarea sustenabilității sistemului de management al DEEE	30
4.3 Validarea setului de indicatori de referință pentru sistemul de management al DEEE – studiu comparativ la nivel național, anul 2014 versus 2021	32
4.3.1 Validarea indicatorilor cantitativi ai componentelor fizice	32
4.3.2 Validarea indicatorilor calitativi ai componentelor fizice ale sistemului	32

4.3.3 Validarea indicatorilor sustenabilității sistemului de management al DEEE	32
4.4 Concluzii parțiale.....	33
Capitolul 5. EVALUAREA PERFORMANȚEI SISTEMULUI DE MANAGEMENT AL DEȘEURILOR DE ECHIPAMENTE ELECTRICE ȘI ELECTRONICE IN ROMANIA PRIN METODOLOGIA USEPA WARM	34
5.1 Selectarea și analiza datelor	34
5.2 Impacturile asociate activităților de management al DEEE-urilor.....	36
5.2.1 Impacturi de mediu.....	36
5.2.1.1 Emisii de gaze cu efect de seră (GES).....	36
5.2.1.2 Consumul de energie	40
5.2.2 Impacturi economice	45
5.2.3 Impacturi sociale	45
5.2.4 Concluzii parțiale.....	46
Capitolul 6. ANALIZA SWOT AL SISTEMULUI DE MANAGEMENT AL DEȘEURILOR ELECTRICE ȘI ELECTRONICE DIN ROMANIA.....	46
6.1 Aplicarea Analizei SWOT	46
6.2 Analiza SWOT a Managementului DEEE în România.....	47
6.3 Concluzii parțiale.....	47
Capitolul 7. RECOMANDĂRI PRIVIND EFICIENTIZAREA SISTEMULUI DE MANAGEMENT AL DEȘEURILOR ELECTRICE ȘI ELECTRONICE.....	48
Capitolul 8. CONCLUZII GENERALE	48
ANEXA 1.....	Error! Bookmark not defined.
BIBLIOGRAFIE	Error! Bookmark not defined.
ACTIVITATEA ȘTIINȚIFICĂ	56

Notă: numerotarea capitolelor, tabelelor, figurilor și abrevierile sunt cele corespunzătoare tezei de doctorat complete.

Capitolul 1. INTRODUCERE

Producția și consumul de echipamente electrice și electronice (EEE) au crescut semnificativ în ultimele trei decenii datorita progresului tehnologic rapid, extinderea piețelor, dispozitive mai noi și mai accesibile, aspect ce reprezintă o provocare tot mai mare la nivel global. Volumul tot mai ridicat de deșeuri de echipamente electrice și electronice (DEEE) creează dificultăți legate de poluarea mediului, riscuri pentru sănătatea umană și epuizarea resurselor naturale, rata de generare crescând de aproape cinci ori mai rapid decât capacitatea oficială de colectare și reciclare din anul 2010, (Balde și colab., 2024).

Deși Directiva 2012/19/EU stabilește obiective clare pentru colectarea și reciclarea DEEE-urilor în Uniunea Europeană, cele mai recente date Eurostat (2022) arată că majoritatea statelor membre nu reușesc să atingă ținta de 65% din media EEE introduse pe piață, în contrast cu perioada de început a Directivei, când pragul de 4 kg/locuitor era atins de cele mai multe state. În plus, eliminarea necorespunzătoare și exporturile ilegale persistă (Balde și colab., 2024). Pe lângă riscurile pentru mediu asociate conținutului de substanțe periculoase (Butturi și colab., 2020), DEEE-urile au și un potențial economic ridicat, conținând până la 60 de elemente valoroase, ceea ce susține dezvoltarea mineritului urban ca alternativă sustenabilă la extracția convențională (Shittu și colab., 2021; Omar și colab., 2024). Un sistem sustenabil de gestionare a acestor deșeuri ar trebui să asigure colectarea integrală, reciclarea eficientă și valorificarea resurselor, contribuind astfel la economia circulară și protejarea mediului (Gavrilescu și colab., 2021).

Caracterizarea sistemelor de gestionare a DEEE în literatura științifică a fost realizată la diferite niveluri și cu ajutorul a unor instrumente diverse.

Studiile asupra gestionării DEEE la nivel continental, național și regional evidențiază provocări precum lipsa sistemelor formale de colectare și tratare, creșterea accelerată a generării deșeurilor și reglementări insuficiente (Shittu și colab., 2021), în timp ce Elia și Gnoni (2015) au propus o taxonomie în trei niveluri pentru analiza gestionării DEEE, abordând colectarea, reciclarea și metodele de evaluare a performanței sistemelor.

O analiză a fluxurilor de materiale (MFA) din 115 studii pentru perioada 2010-2022 indică cercetare limitată în țările non-OCDE (Organisation for Economic Co-operation and Development) și o slabă integrare a economiei circulare în procesele de gestionare DEEE (Azizi și colab., 2023)

În Italia, Elia și colab. (2019) au utilizat simulări pentru compararea alternativelor de colectare a DEEE, concluzionând ca logistica inversată și lanțurile de aprovizionare închise sunt esențiale pentru eficiența reciclării și recuperării resurselor.

Studiile pentru Evaluarea Ciclului de Viață (ECV) subliniază beneficiile reciclării, cum ar fi recuperarea materialelor valoroase și reducerea extracției de materii prime virgine (Ghisellini și colab., 2023). Reutilizarea dispozitivelor mici este avantajoasă pentru mediu, însă electrocasnicele mari cu eficiență energetică scăzută nu oferă aceleași beneficii (Zacho și colab., 2018; Boldoczki și colab., 2018). O analiză comparativă arată că reglementările stricte din Europa îmbunătățesc impactul de mediu, în timp ce reciclarea informală în Asia prezintă riscuri majore (Salhofer și colab., 2016). În România, gestionarea DEEE poate fi optimizată prin creșterea colectării și îmbunătățirea proceselor (Ghiga și colab., 2023).

Un studiu privind amprenta de carbon a gestionării DEEE în cinci țări UE (2007-2014) arată că toate statele au redus emisiile, Germania având cel mai mare progres și că până în 2014, reciclarea a devenit principala metodă de tratare, atingând rate de peste 80% (Ibanescu și colab., 2018).

Obiectivul general și obiectivele specifice ale tezei de doctorat

Obiectivul general al acestei teze de doctorat îl constituie evaluarea sustenabilității sistemului de management al deșeurilor de echipamente electrice și electronice deoarece din câte știm, nu există o metodologie care să evalueze sustenabilitatea sistemului în mod cuprinzător, integrând simultan date de context, detalii tehnice și o evaluare corelată cu cele trei dimensiuni ale dezvoltării sustenabile: socială, economică și de mediu.

Obiectivele specifice ale acestei lucrări sunt:

- elaborarea unei metodologii cuprinzătoare dedicate gestionării fluxului DEEE, bazată pe categorii clar definite de indicatori, atât cantitativi, în măsura în care este posibil, cât și calitativi, selectați pe baza statisticilor oficiale și evaluați conform unor criterii obiective;
- validarea metodologiei propuse, **SUSTWEEE**, prin evaluarea sustenabilității sistemului național de management al DEEE în România pentru anii 2014 și 2021;
- identificarea performanței componentelor individuale și generale a sistemului de management DEEE, dar și a evoluției în timp a acestuia;
- evaluarea performanței sistemului de management al DEEE din România, pentru deșeurile din categoria echipamentelor IT și de telecomunicații cu ajutorul modelului WARM (Waste Reduction Model) dezvoltat de Agenția SUA pentru Protecția Mediului (United States Environmental Protection Agency, US EPA);
- analiza fluxului de materiale din deșeurile de echipamente IT și de telecomunicații, structurată pe șase categorii și evaluarea profilurilor de sustenabilitate ale acestor categorii precum și evoluția lor în timp pe parcursul a patru ani (2018-2021);
- identificarea punctelor forte, a celor slabe, a principalelor provocări și oportunități ce pot fi accesate pentru îmbunătățirea sistemului de management al DEEE în România printr-o analiză SWOT;

- recomandări pentru eficientizarea sistemului de management al DEEE din România ca urmare a rezultatelor obținute din capitolele de validare a metodologiilor SUSTWEEE și US EPA WARM.

Structura tezei de doctorat

Teza de doctorat este alcătuită dintr-un capitol introductiv în care sunt prezentate scopul și obiectivele tezei de doctorat, și alte 6 capitole în care este prezentat stadiul actual al cercetărilor existente în literatura de specialitate, metodologia aplicată pentru studiile de evaluare a sustenabilității și rezultatele obținute în urma validării metodologiilor propuse pentru această lucrare. Capitolul 8 conține concluzii generale privind evaluarea sustenabilității sistemelor de management a deșeurilor de echipamente electrice și electronice.

Teza de doctorat are un număr de 206 de pagini, conține 57 tabele, 52 figuri și un număr de 208 referințe bibliografice dintre care 56 sunt referințe web.

În Capitolul 1, **Introducere** sunt prezentate succint particularitățile deșeurilor de echipamente electrice și electronice, provocările cu care se confrunta sistemul de management al acestora, diversele perspective ale studiilor din literatura de specialitate privitor la managementul DEEE. Obiectivele și structura tezei de doctorat sunt prezentate tot în acest capitol.

Capitolul 2, Stadiul actual al cercetărilor efectuate privind managementul deșeurilor de echipamente electrice și electronice (DEEE-uri) tratează aspecte concrete privind profilurile de generare a DEEE, mișcările transfrontaliere legate de tratare, eficiența globală a colectării și reciclării sunt descrise, particularitățile acestui flux de deșeuri comparativ cu deșeurile municipale solide. În acest capitol se discută și despre cantitățile de EEE introduse pe piața națională, DEEE generate și gestionate la nivelul Uniunii Europene și în țara noastră, și compoziția materială neomogenă a EEE, cu accent special pe materiile prime critice. În plus, cadrul legislativ al managementului deșeurilor de echipamente electrice și electronice este analizat, cu scopul de a stabili contextul și regulile desfășurării activităților legate de gestionarea DEEE. Ultima parte a acestui capitol prezintă aspecte legate de eco-inovare și importanța acestora pentru managementul ulterior al DEEE și tendințe viitoare ale compoziției deșeurilor de EEE.

În **Capitolul 3**, sunt descrise în prima parte cele mai utilizate metodologii de evaluare a sustenabilității sistemelor de management a deșeurilor de echipamente electrice și electronice. Metodologia propusă, **SUSTWEEE**, pentru evaluarea sustenabilității sistemelor de management DEEE, reprezintă contribuția originală ale acestei teze de doctorat; **SUSTWEEE** este o metodologie compozit adaptată după metodologia propusă de Wilson și colab., 2015, pentru deșeurile municipale solide. Metodologia a fost adaptată pentru

particularitățile DEEE, cu indicatori și criterii ținute către acest flux, este structurată pe patru niveluri de informații, evaluată pe baza a șapte categorii de indicatori (3 cantitativi și 4 calitativi). Trei categorii de indicatori evaluează aspectele tehnice ale sistemului, colectare, tratare, reciclare și 4 categorii de indicatori sunt propuși pentru aspecte ce țin de sustenabilitate, precum incluziunea, sustenabilitatea financiară, cadrul legislativ general și indicatorul pentru performanța de mediu (Indicele Zero DEEE).

O altă metodologie pentru evaluarea sustenabilității fluxului de deșeuri din categoria echipamente IT și de telecomunicații este descrisă în acest capitol, modelul **US EPA WARM** (Waste Reduction Model) instrument dezvoltat de Agenția pentru Protecția Mediului din SUA pentru a estima impactul reducerii, reciclării, incinerării și eliminării deșeurilor asupra emisiilor de gaze cu efect de seră (GES), a consumului de energie, câștigurilor salariale și a veniturilor bugetare colectabile, crearea de locuri de muncă. Pentru a utiliza modelul WARM, care necesită date specifice despre echipamentele IT și de telecomunicații, s-a efectuat un pas intermediar, prin modelarea datelor cu ajutorul **WEEE Calculation Tool**, instrument, pus la dispoziție de Comisia Europeană în conformitate cu Regulamentul de punere în aplicare (UE) 2017/699 din 18 aprilie 2017, permite estimarea cantităților de DEEE generate pe baza datelor privind EEE introduse pe piață (IpP).

În **Capitolul 4**, este validată metodologia propusă **SUSTWEEE** prin evaluarea sistemului de management al deșeurilor de echipamente electrice și electronice din România pentru anii 2014 și 2021 ce a evidențiat o serie de puncte forte și slabe, dar și evoluția în timp a sistemului. Indicatorii **cantitativi** au arătat o rată scăzută de colectare a WEEE, una dintre cele mai mici din Uniunea Europeană în anul 2014, dar o situație semnificativ mai bună fiind înregistrată în anul 2021. Totodată, rata de reutilizare este aproape inexistentă în statisticile oficiale, deși există dovezi că multe echipamente sunt păstrate, donate sau revândute în loc să fie colectate formal. În schimb, indicatorii privind tratarea (pe teritoriul național) și reciclarea arată eficiențe ridicate, apropiate de cele ale Uniunii Europene, chiar dacă rata de reciclare este în ușoară scădere în anul 2021, comparativ cu anul 2014, demonstrând existența unei infrastructuri adecvate pentru gestionarea WEEE.

În ceea ce privește indicatorii **calitativi**, România a obținut rezultate variate. Acoperirea și calitatea colectării DEEE arată progrese în intervalul studiat, aceeași situație fiind și pentru calitatea celor 3R – reducere, reutilizare și reciclare. Sustenabilitatea financiară a sistemului, participarea producătorilor și consumatorilor la procesul de colectare formală, cadrul național al gestionării DEEE rămân constante în intervalele de performanță, chiar dacă fiecare înregistrează o ușoară creștere în timp. Performanța de mediu, prin indicele zero DEEE cunoaște o creștere semnificativă din intervalul MEDIU în intervalul

RIDICAT de performanța în anul 2021 (96%), ceea ce indică un sistem eficient de procesare și recuperare a materialelor.

În ansamblu, rezultatele evaluării metodologiei SUSTWEEE subliniază faptul că problema majoră a României nu este capacitatea de reciclare sau tratare a WEEE, ci lipsa unei colectări eficiente.

Modelul US EPA WARM, este aplicat în **Capitolul 5** pentru a evalua impacturile de mediu, economice și sociale ale diferitelor modalități de tratare a unui flux în creștere de deșeuri de echipamente electrice și electronice, din categoria IT și telecomunicații în România (6 tipuri de echipamente). Analiza acoperă perioada 2018-2021, fiind aleasă datorită disponibilității celor mai recente date privind echipamentele electrice și electronice introduse pe piața națională și a deșeurilor generate. Studiul urmărește evoluția în timp a impacturilor analizate, oferind o perspectivă detaliată asupra dinamicii acestui sector.

Două scenarii sunt modelate în acest capitol pentru evaluarea impacturilor, în scenariul 1 sunt modelate datele extrase din baza de date Eurostat, iar în scenariul 2 sunt utilizate datele prepopulate în Instrumentul de Calcul DEEE. Datele din ambele scenarii constituie date de intrare pentru modelul US EPA WARM, iar rezultatele din procesele de gestionare sunt emisii de gaze cu efect de seră (tone CO_{2e}), consumuri de energie (Gj/tonă), salarii (USD), venituri bugetare (USD), locuri de muncă (ore de muncă) necesare.

Rezultatele obținute arată că reciclarea are cele mai importante beneficii în toate categoriile de impact, iar din cele 6 categorii de echipamente IT și Telecomunicații, Ecranele cu panou plat (Televizoare și Monitoare Flat Screen) au cel mai semnificativ impact.

Capitolul 7, prezintă o analiză SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats) a sistemului de management al DEEE. Se evidențiază punctele forte ale sistemului, precum infrastructura de reciclare deja implementată, reglementările în conformitate cu standardele europene și progresele înregistrate în tratarea WEEE. În schimb, punctele slabe subliniază provocările actuale, cum ar fi rata scăzută de colectare, lipsa conștientizării populației și dificultățile financiare în menținerea unui sistem eficient de gestionare a deșeurilor. Oportunitățile identificate sunt reprezentate de economia circulară, care încurajează reutilizarea și reciclarea materialelor critice, alături de avansurile tehnologice în procesele de tratare și valorificare a WEEE.

Pe lângă analiza SWOT, în **Capitolul 7**, se propune o serie de recomandări bazate pe concluziile obținute din capitolul 2 și rezultatele validate prin metodologiile SUSTWEEE și US EPA WARM. Aceste recomandări vizează atât îmbunătățirea colectării, creșterea gradului de informare general al populației, cât și optimizarea tratării și reciclării prin implementarea unor tehnologii mai eficiente. În plus, se subliniază necesitatea unei mai bune colaborări între autorități, producători și reciclatori, pentru a asigura o colectare și

tratare eficientă și o mai bună raportare a fluxurilor de deșeuri. Totodată, integrarea principiilor economiei circulare și crearea unor politici de susținere financiară pentru sectorul de reciclare pot contribui la creșterea sustenabilității pe termen lung a sistemului de gestionare a DEEE.

Capitolul final oferă concluziile generale ale acestui studiu, sintetizând principalele rezultate și implicațiile cercetării. Acesta este urmat de o secțiune dedicată referințelor bibliografice utilizate în elaborarea tezei de doctorat. De asemenea, sunt incluse lucrările publicate în reviste de specialitate internaționale indexate ISI, precum și lista comunicărilor științifice susținute la conferințe naționale și internaționale.

Capitolul 2. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRIILOR PRIVIND MANAGEMENTUL DEȘEURILOR DE ECHIPAMENTE ELECTRICE ȘI ELECTRONICE (DEEE-uri)

2.1 Generarea deșeurilor de echipamente electrice și electronice (DEEE)

DEEE este fluxul de deșeuri cu cea mai rapidă creștere la nivel mondial (3-5%) (Helena și colab., 2022), la nivel mondial, cantitatea de EEE introduse pe piață a crescut de la 62 miliarde kg în 2010 la 96 miliarde kg în 2022 și se estimează că aceasta va crește la 120 de miliarde de kg în 2030. În aceeași perioadă, cantitatea de DEEE-uri generate anual a crescut de la 34 de miliarde de kg la un nivel record de 62 de miliarde de kg, cu estimări pentru 82 de miliarde de kg până în 2030.

2.2 Cantități de DEEE la nivel european

Dacă în anul 2012 cantitatea de echipamente electrice și electronice introduse pe piață în UE a fost de 7,6 milioane de tone în anul 2012, aceasta s-a dublat în anul 2022 ajungând la o valoare de 14,4 milioane de tone. Referitor la cantitatea de DEEE-uri colectată la nivelul UE și aceasta a crescut de la 3 milioane de tone în anul 2012 la 5,0 milioane de tone în 2022. Dar această creștere apărută în cadrul procesului de colectare, de 67,9 %, nu ține pasul comparativ cu creșterea de 89,3% a cantității de produse EEE introduse pe piață.

2.3 Cantitățile de DEEE la nivelul României

La nivelul țării noastre se regăsește aceeași situație ca la nivelul UE, mai exact ponderea de DEEE reciclate este apropiată de media europeană, la 79.66 % (valoarea medie pentru perioada 2013-2021). Cel mai mare procent a fost înregistrată anul 2014 când rata de reciclare a fost de 87,3 % corespunzătoare unei cantități de DEEE colectată de 31159 tone. Din analiza datelor referitoare la anul 2022 (prezentate în cadrul Figurii 2.10), prin compararea valorii corespunzătoare cantității de EEE introduse pe piață și a valorii cantității de DEEE colectate se constată că doar 45,4% EEE sunt în final colectate. De

mentionat este faptul ca pentru anul 2022, datele raportate sunt date preliminare ce nu au fost validate, motiv pentru care in capitolele ulterioare, se vor folosi cele mai recente date disponibile raportate in Octombrie 2024 in baza de date Eurostat, date pentru anul 2021.

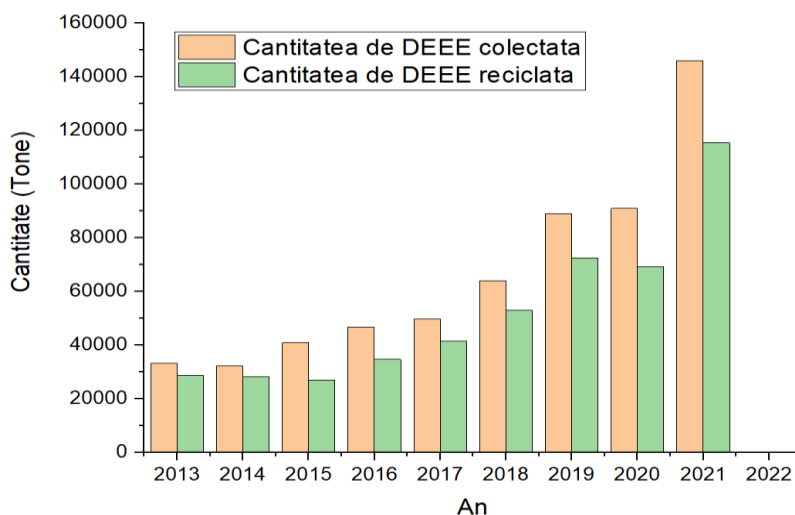


Fig. 2.10 Variația cantității de DEEE colectată și reciclată la nivelul României

2.4 Compoziția DEEE-urilor și aspecte referitoare la materiile prime critice

Compoziția materială a DEEE reprezintă un factor esențial în alegerea tehnologiei de tratare adecvate, având în vedere diversitatea produselor incluse, de la echipamente de consum și IT la electrocasnice mari. Generic, compoziția materială a DEEE cuprinde următoarele elemente (www.eco-point.ro):

- metale feroase (fier, oțel) - cu o pondere cuprinsa intre 40% - 50%;
- materiale plastice - aproximativ 21%;
- metale neferoase, inclusiv metale prețioase (cupru, aluminiu, aur, argint): aproximativ 13%;
- sticlă, circa 5%;
- componente electronice (placi de circuite, cipuri), 3-5%;
- substanțe periculoase: metale grele plumb, mercur, cadmiu), substanțe ignifuge bromurate (BFR), gaze refrigerante (CFC, HCFC), aproximativ 3%;
- materiale diverse (lemn, cauciuc, ceramică), 1% - 5%.

Conform unui studiu ITU si UNITAR (2024) cantitatea de materiale recuperată din cadrul DEEE-urilor variază în intervale foarte largi, de la 10^9 kg la 10^3 kg.

UE consideră accesul la materii prime critice (CRM) o prioritate strategică, acestea fiind esențiale pentru industrii cheie și tehnologii emergente. Un subgrup, materiile prime strategice (SRM), este vital pentru tranziția verde și digitală. Recuperarea acestor resurse din DEEE este crucială pentru reducerea dependenței de importuri și susținerea economiei circulare.

2.5 Deșeuri municipale solide versus particularități asociate DEEE-urilor

Deși atât deșeurile municipale cât și deșeurile de echipamente electrice și electronice de deșeuri necesită o administrare atentă și responsabilă, ele prezintă diferențe esențiale în ceea ce privește compoziția, impactul asupra mediului și metodele de reciclare.

2.5.1 Diferențe fundamentale între deșeurile municipale și DEEE-uri

Deși ambele tipuri de deșeuri necesită gestionare atentă, diferențele majore constau în compoziția lor și în metodele specifice de colectare și de reciclare. Deșeurile municipale sunt mai variate și includ o gamă largă de materiale - resturi organice, ambalaje, hârtie, textile, deșeuri voluminoase și alte reziduuri generate de activitățile casnice, comerciale și administrativ., în timp ce DEEE-urile sunt specifice EEE-urilor, cu un conținut mai ridicat de materiale valoroase, având un impact mai mare asupra mediului dacă nu sunt gestionate corespunzător.

2.5.2 Impactul asupra mediului

Deșeurile municipale pot provoca poluarea solului, apei prin intermediul levigatului, emisii de gaze cu efect de seră și problemele de sănătate publică. Aceste probleme afectează în mod direct calitatea vieții urbane și pot duce la creșterea costurilor de gestionare a deșeurilor (e-Circular, 2024). În schimb, DEEE-urile prezintă un risc mai mare de contaminare cu metale grele și substanțe toxice, care pot pătrunde atât în sol cât și în apă, afectând astfel ecosistemele și sănătatea umană.

2.5.3 Metode de gestionare și reciclare

Referitor la modul de gestionare a deșeurilor municipale, aceasta presupune colectarea selectivă a materialelor reciclabile, compostarea deșeurilor organice, incinerarea cu recuperare de energie și depozitarea controlată a deșeurilor care nu pot fi reciclate. În cazul DEEE-urilor gestionarea eficientă a acestora presupune colectarea separată, ținând cont de cele 6 categorii, transportul în centre specializate, demontarea și reciclarea componentelor valoroase, precum și tratarea în condiții sigure a substanțelor periculoase. Datorită conținutului ridicat de metale și materiale prețioase, reciclarea DEEE-urilor are un potențial economic semnificativ, permițând re folosirea unor resurse valoroase și reducerea impactului negativ asupra mediului.

2.5.4 Reglementări și Politici Publice

În UE, Directiva 98/2008 stabilește principiile gestionării deșeurilor, promovând economia circulară. În cazul DEEE-urilor, producătorii au obligații clare de colectare și reciclare a echipamentelor puse pe piață impuse prin Directiva 2012/19/EU.

2.5.5 Impactul economic al gestionării deșeurilor

Gestionarea deșeurilor municipale și a DEEE-urilor implică costuri semnificative, dar și oportunități economice importante. Investițiile în infrastructura de reciclare, centre de colectare și tehnologii de tratare a deșeurilor pot genera locuri de muncă și pot contribui la dezvoltarea unor industrii sustenabile. În plus, reciclarea materialelor recuperabile din DEEE-uri poate reduce dependența de importuri de materii prime și poate stimula inovația în domeniul tehnologiilor verzi.

2.5.6 OIREP-urile și rolul lor în gestionarea DEEE

Gestionarea DEEE se realizează preponderent de către OIREP-uri, spre deosebire de deșeurile municipale obișnuite, gestionate direct de autoritățile locale, iar pentru aceasta este necesară o infrastructură specifică și procese specializate pentru gestionare (Balde și colab., 2024).

2.6 Contextul legislativ al managementului deșeurilor de echipamente electrice și electronice

Cadrul legislativ este constituit dintr-un set de directive pe care statele membre sunt obligate să le transpună în legislația națională, adaptându-le la propriile particularități. Printre acestea se numără următoarele directive (<https://eur-lex.europa.eu/>):

- Directiva 2002/96/CE (prima directiva), ale cărei obiective au fost prevenirea generării de DEEE, îmbunătățirea reutilizării, reciclării și valorificării acestora și reducerea impactului asupra mediului și sănătății;
- În anul 2011, prin Directiva 2011/65/UE (ROHS) s-au impus o serie de restricții prin care se limita utilizarea anumitor substanțe periculoase în EEE;
- **Noua Directivă 2012/19/UE**, adoptată în iulie 2012, urmărește creșterea colectării separate și a tratării corecte, stabilind ținte progresive pentru fiecare stat membru (obiectivul de colectare anual de 45% din greutatea totală a EEE-urilor introduse pe piață în ultimii trei ani, crescând la 65% în 2019; alternativ statele membre au opțiunea de a calcula obiectivul în funcție de greutatea DEEE generate, acesta fiind de 85% din deșeurile generate);
- Directiva 2009/125/CE (ErP – Energy-related Products) a stabilit cerințe de eco-proiectare pentru produsele care au impact energetic;

Aceste reglementări au fost transpuse prin diverse acte normative în legislația din România.

2.7 Gestionarea DEEE-urilor în Uniunea Europeană și în România

În anul 2022, în Uniunea Europeană s-au colectat, în medie, 11,2 kg de deșeuri de echipamente electrice și electronice pe locuitor, Bulgaria, Letonia și Slovacia au fost singurele state membre care au reușit să atingă ținta de colectare de 65%, raportată la

cantitatea de echipamente electrice și electronice introduse pe piață în ultimii trei ani, în timp ce rata medie a UE a fost de 40,1%, în scădere față de anul precedent când s-a situat la un nivel de 46,2%, situație ce arată că gestionarea DEEE încă este o provocare pentru statele membre (<https://ec.europa.eu/eurostat>). În România, pentru ultimul an raportat, 2021, s-au colectat 7,63 kg DEEE pe cap de locuitor, corespunzător unei rate de 47,78%.

2.8 Eco-inovarea

Creșterea consumului de EEE duce la volume mari de deșeuri, iar gestionarea eficientă a acestora este esențială. În acest context, eco-inovarea devine vitală pentru soluții sustenabile de reciclare, reutilizare și protecția mediului ce trebuie să abordeze toate aspectele procesului de gestionare a deșeurilor DEEE, de la colectare și transport, până la reciclare și reutilizare, câteva dintre aceste soluții fiind (<https://www.indecogrup.ro>):

1. **Sisteme avansate de colectare și reciclare** precum punctele de colectare automatizate, sistemele de recompensare a utilizatorilor și aplicațiile mobile care ghidează consumatorii către centrele de reciclare;
2. **Tehnologii de reciclare eficiente** și aici se pot enumera: reciclarea criogenică, extracția biologică a metalelor, nanotehnologii pentru recuperarea materialelor;
3. **Design ecologic al produselor electronice** – cum ar design for disassembly, care facilitează demontarea rapidă a produselor pentru reciclare.
4. **Reutilizarea și economia circulară** - un alt aspect al eco-inovării îl reprezintă programele de recondiționare și reutilizare a produselor electronice;
5. **Politici și reglementări** - guvernele și organizațiile internaționale promovează legislații stricte privind gestionarea DEEE.

2.9 Trenduri în compoziția EEE

Câteva dintre tendințele majore în compoziția EEE sunt descrise succint în cele ce urmează (Bachér și colab., 2017):

- miniaturizarea și integrarea componentelor;
- materiale avansate și sustenabile;
- eficiența energetică;
- Internetul lucrurilor (IoT) în EEE;
- durabilitatea și longevitatea;
- tehnologii de producție avansate;
- creșterea utilizării bateriilor în dispozitive electronice;
- noi tehnologii de reciclare;
- reglementări și standarde de mediu.

Capitolul 3. METODOLOGII DE EVALUARE A SUSTENABILITĂȚII SISTEMELOR DE MANAGEMENT A DEȘEURILOR DE ECHIPAMENTE ELECTRICE ȘI ELECTRONICE

3.1 Metodologii de evaluare a sustenabilității sistemelor de management a deșeurilor de echipamente electrice și electronice

Evaluarea sustenabilității sistemelor de management al DEEE-urilor implică utilizarea unor metodologii specifice care analizează impactul asupra mediului, eficiența operațională și beneficiile economice, cele mai utilizate dintre acestea fiind:

1. Evaluarea Ciclului de Viață (ECV) al Produsului o metodă cuprinzătoare care evaluează impactul de mediu al unui produs pe parcursul întregului său ciclu de viață, de la extracția materiilor prime până la eliminarea finală. Evaluarea ciclului de viață a EEE se poate face utilizând 2 metode:

a. Metodologia CML (Centrum voor Milieukunde Leiden) se concentrează pe evaluarea impactului de mediu prin categorii de impact, cum ar fi schimbările climatice, acidificarea și eutrofizarea (Ghiga și colab., 2024), orientată pe categorii de impact intermediare (midpoints) fiind integrată în majoritatea programelor software pentru ECV, cum sunt SimaPro sau GaBi.

b. Metodologia ReCiPe de evaluare a impactului asupra mediului integrează atât perspectivele la nivel de categorii intermediare de impact, cât și pe cele de la nivelul efectelor finale pentru a oferi o imagine completă a impactului asupra sănătății umane, ecosistemelor și resurselor (Ghiga și colab., 2024).

2. Indicatorii Environmental, Social, and Governance (ESG) sunt utilizați pentru a evalua performanța unei organizații în ceea ce privește impactul unei activități asupra mediului, impactul social și guvernare sau modul în care o companie este administrată (Laurel, 2023),

3. Evaluarea Impactului asupra Mediului (EIA) este o metodologie care evaluează potențialele efecte asupra sănătății umane și mediului ale unui proiect sau unei activități înainte de implementare, inclusiv cele legate de gestionarea deșeurilor și deși nu se concentrează exclusiv pe DEEE, oferă un cadru general aplicabil (MMAP, 2020).

4. Analiza Cost-Beneficiu (ACB) este o metodă care compară costurile și beneficiile unui proiect sau unei politici pentru a determina viabilitatea sa economică (Ghiga, 2023).

Dintre metodele de evaluare a sustenabilității sistemelor de gestionare a DEEE, Evaluarea Ciclului de Viață este cea mai utilizată, fiind aplicată în peste 61 de studii datorită caracterului său cuprinzător (Gavrilescu și colab., 2021). Metodele bazate pe ESG sunt

mai rar folosite, din cauza incertitudinilor, dar pot oferi perspective complementare față de abordările clasice.

3.2 Elaborarea și dezvoltarea metodologiei compozite de caracterizare a sustenabilității – metodologia SUSTWEEE

SUSTWEEE este o metodologie originală, dezvoltată de un colectiv de autori din care face parte doctoranda, și propune o abordare holistică a sistemului de management al DEEE, începând din momentul în care EEE se transformă în DEEE și se termină cu etapa finală de tratare. SUSTWEEE se bazează pe cele trei dimensiuni ale sustenabilității - protejarea mediului, dezvoltarea economică și incluziunea socială, dar și interacțiunea dintre acestea, fiind flexibilă și adaptabilă deoarece poate fi utilizată la orice nivel: local, regional, național, permițând compararea între sisteme de același nivel dar și dinamica în timp a sistemului/sistemelor. SUSTWEEE poate fi considerat un instrument de diagnosticare eficient, capabil să evalueze și să evidențieze starea fiecărui aspect analizat în cadrul sistemului de gestionare a DEEE, și să ofere o imagine clară și detaliată a performanței acestuia din perspectiva sustenabilității.

În limitele sistemului (prezentate în figura 3.1) sunt incluse activități publice și private în gestionarea DEEE, împreună cu reutilizarea și reciclarea resurselor valoroase din DEEE. În România, autoritățile consideră sistemele de gestionare a DEEE ca fiind separate de sistemele de management informal, ce funcționează în paralel (Ciocoiu, Târtiu, 2012).

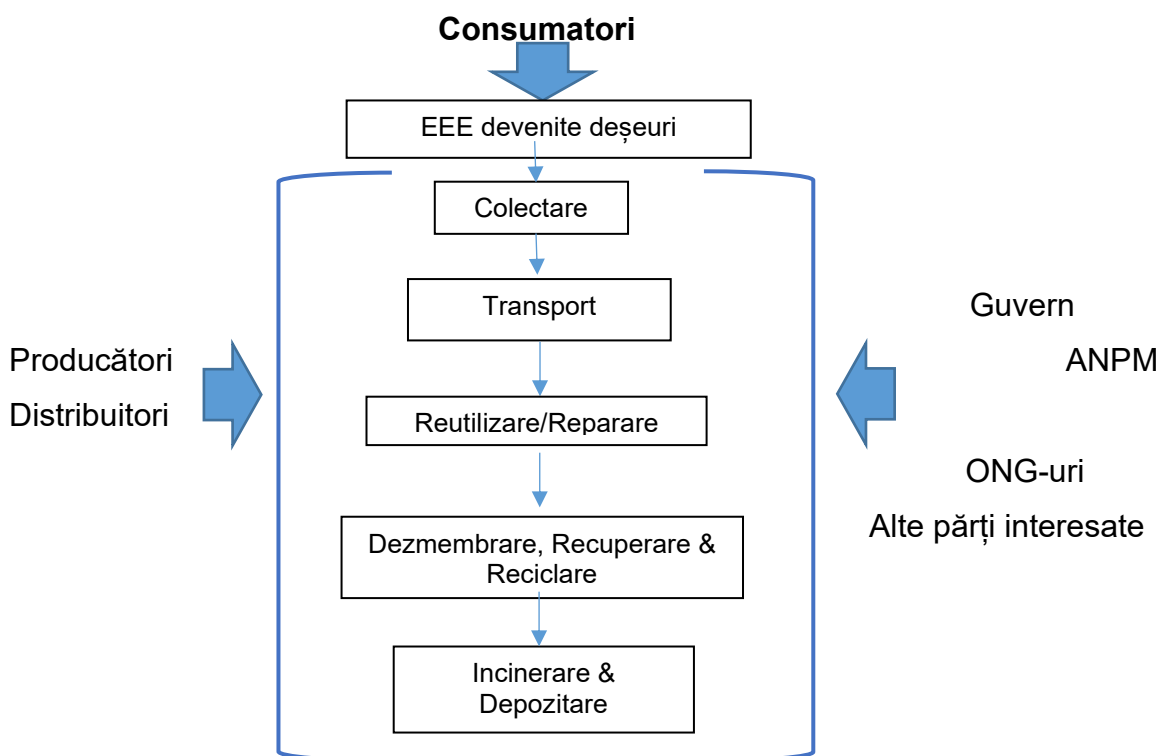


Figura 3.1 Limitele sistemului de gestionare a DEEE și factorii relevanți care îl influențează. Sursa: Gavrilescu și colab., 2021

Metodologia propusă SUSTWEEE pentru evaluarea sistemului de management al DEEE a fost elaborată pornind de la metodologia „Wasteaware” dezvoltată de Wilson și

colab. (2014) ce au propus un set de indicatori de referință pentru evaluarea performanței sistemelor de gestionare a deșeurilor municipale solide, permițând compararea orașelor în gestionarea deșeurilor, monitorizarea progresului și identificarea punctelor slabe ale sistemului.

Metologia SUSTWEEE, elaborata ca o matrice de evaluare extinsă, este structurată pe patru niveluri: (1) informații de bază care oferă contextul general al sistemului de gestionare a DEEE, (2) profilul de generare al DEEE, (3) performanța tehnică, care evaluează eficiența colectării, tratării și reciclării DEEE, (4) performanțele sociale, economice și de mediu, integrând impactul sistemului asupra comunității, viabilitatea economică și sustenabilitatea ecologică.

Pentru evaluarea nivelului întâi prin SUSTWEEE (Figura 3.3) , noi categorii de indicatori sunt propuși comparativ cu alte metodologii similare, necesitatea extinderii setului de indicatori pentru contextul general de analiză fiind determinată de particularitățile fluxului DEEE, de contextul socio-economic în care echipamentele electrice și electronice (EEE) sunt introduse pe piață și de nivelul național al analizei (Gavrilescu și colab., 2021).

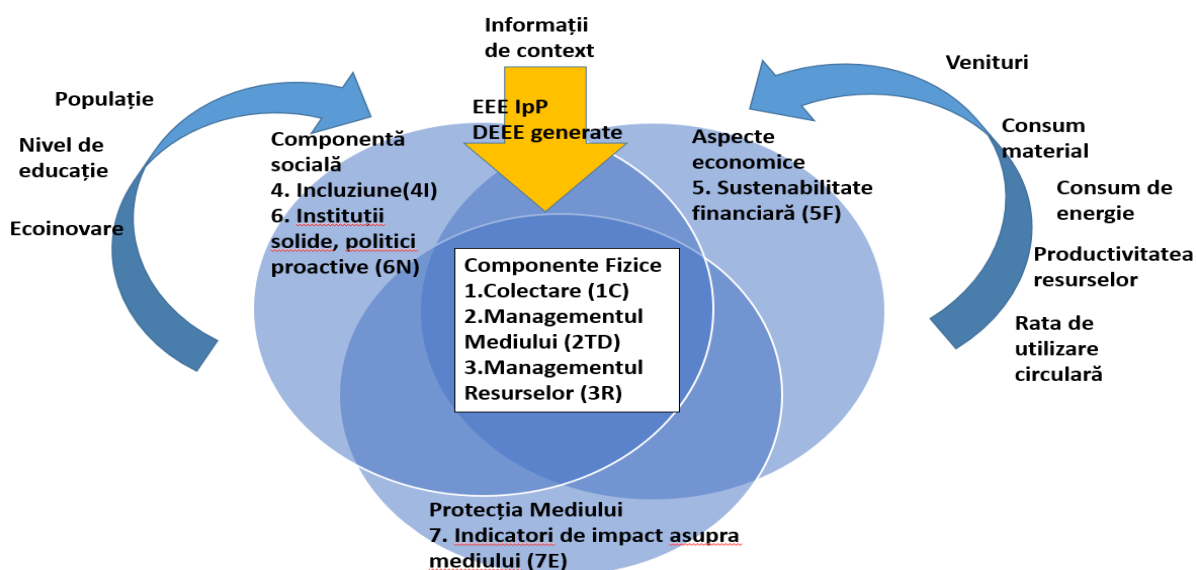


Figura 3.3 Cadrul de management SUSTWEEE pentru evaluarea performanței sistemului.

Nivelurile 3 și 4 ale matricei de evaluare SUSTWEEE se bazează pe 7 categorii principale de indicatori (tabelul 3.1) , împărțite în: trei componente „hard” (fizice) și patru componente „soft”.

Tabelul 3.1 Indicatorii evaluați în cadrul metodologiei SUSTWEEE (Sursa:Gavrilescu si colab., 2021)

Categorie	Indicator	Tip	Număr criterii de evaluare
Componente fizice			
Colectarea DEEE	1.1 Gradul de acoperire a serviciilor de colectare a DEEE	Cantitativ	1
	1.2 DEEE Colectate	Cantitativ	1
	1C.Calitatea colectării DEEE	Calitativ	7

Managementul mediului în tratarea și eliminarea DEEE	2.1.Tratare si eliminare controlată	Cantitativ	1
	2.2.Tratare internă/externă DEEE	Cantitativ	1
	2TD.Gradul de protecție a mediului în tratarea și eliminarea DEEE	Calitativ	7
Managementul resurselor: reducere, reutilizare și reciclare	3.1.Rata de reciclare	Cantitativ	1
	3.2.Rata de reutilizare	Cantitativ	1
	3R.Calitatea celor 3R – Reducere, reutilizare și reciclare	Calitativ	9
Componentele Soft			
Incluziune	4I.Incluziunea utilizatorului și furnizorului	Calitativ	5
Sustenabilitatea financiară	5F.Sustenabilitatea financiară	Calitativ	6
Cadrul național al gestionării DEEE	6N.Instituții solide și politici proactive	Calitativ	5
Performanța de mediu	7E.Indicele zero deșeuri	Cantitativ	5

Pentru validarea metodologiei, au fost utilizați indicatori cantitativi, calculați pe baza datelor din Eurostat, ANPM și literatura de specialitate, completați cu indicatori calitativi compoziți, evaluați pe baza unor criterii multiple (Anexa 1). Fiecare indicator calitativ este notat pe o scară de la 1 la 5, scorul mediu fiind transformat într-un procent și clasificat calitativ de la SCĂZUT la RIDICAT. Sistemul include coduri de culoare pentru interpretarea vizuală rapidă a performanței fiecărui indicator facilitând identificarea zonelor cu performanțe slabe în gestionarea DEEE(Tabel 3.2).

Tabel 3.2 Corelația dintre evaluarea calitativă, performanțele relative și codificarea prin culori. Sursa: **Gavrilescu și colab., 2021**

Evaluare calitativă	Pondere (%)	Cod de culoare
SCĂZUT	0-20%	roșu
SCĂZUT/MEDIU	21-40%	chihlimbar
MEDIU	41-60%	portocaliu
MEDIU/RIDICAT	61-80%	galben
RIDICAT	81-100%	verde

3.3 Caracteristicile modelului de evaluare a impacturilor asociate diferitelor alternative de management al deșeurilor - metodologia US EPA WARM

Metodologia WARM (Waste Reduction Model) al Agenției pentru Protecția Mediului din SUA (United States Environmental Protection Agency) este un instrument creat pentru actorii implicați în luarea deciziilor în gestionarea alternativelor de management al deșeurilor. Acesta oferă estimări privind reducerea emisiilor de GES, economiile de energie și impactul economic asociate diverselor practici de gestionare a deșeurilor, precum reciclarea, compostarea, digestia anaerobă, incinerarea și depozitarea în depozitele de deșeuri. WARM ajută la compararea alternativelor de gestionare și facilitează luarea unor decizii sustenabile în gestionarea materialelor în contextul schimbărilor climatice.

Începând cu anul 2019 se poate evalua impactul gestionării anumitor tipuri de deșeuri de echipamente electrice și electronice de natura echipamentelor IT și de telecomunicații și

anume: Unități centrale (Desktop CPUs), Dispozitive electronice portabile, Ecrane cu panou plat, Ecrane CRT, Echipamente Periferice, Echipamente de tipărire, Electronice mixte – o categorie ce cuprinde o combinație de dispozitive electronice.

În modelul WARM, economiile potențiale de gaze cu efect de seră (GES), cele de energie, impacturile economice și cele de natură socială sunt determinate prin compararea emisiilor estimate rezultate din gestionarea materialelor într-un scenariu alternativ cu emisiile estimate din scenariul de referință al utilizatorului (practicile actuale). Această abordare diferă de metoda simplă de înmulțire a cantității de materiale gestionate cu un factor de emisie.

Pentru a calcula emisiile nete de GES, WARM folosește următoarea formulă:
Emisii nete GES = Emisii brute de producție - (Creșterea stocurilor de carbon + Emisii evitate din utilități)

Modelul WARM al EPA include și impacturi economice, precum locuri de muncă, salarii și taxe, rezultate din activități directe și indirecte legate de reciclare și gestionarea deșeurilor. Aceste estimări se bazează pe date din studiul REI și modele Input-Output (US EPA, 2020).

Pentru această lucrare, datorită specificului echipamentelor electrice și electronice, pentru care metodele biologice de tratare nu sunt posibile, dar și a disponibilității datelor (reducerea la sursă), opțiunile de tratament al căror impact de mediu, economic și social va fi analizat, sunt: reciclarea, incinerarea și depozitarea.

Evaluarea impacturilor de mediu – emisiile de GES și consum de energie, impacturi economice și sociale aferente fiecărei opțiuni de tratare se face cu ajutorul ecuațiilor de mai jos, cunoscând factorul de emisie corespunzător fiecărei categorii de impact.

Amprenta de carbon

Ecuația pentru amprenta de carbon:

$$CF = Q \times FE \quad (\text{ec. 3.1})$$

unde:

- CF – amprenta de carbon (tone CO₂e/an)
- Q – cantitatea de deșeuri per tip de material (tone/an)
- FE – factorul de emisie per tip de material și opțiune de tratare (tone CO₂e/tonă de deșeu)

Impactul energetic

Ecuația pentru impactul energetic:

$$IE = Q \times FIE \quad (\text{ec. 3.2})$$

unde:

- IE – impactul energetic (MBTU/an)
- Q – cantitatea de deșeuri per tip de material (tone/an)
- FIE – factorul de impact energetic per tip de material și opțiune de tratare (MBTU /tonă de deșeu)

Impactul economic

Ecuția pentru impactul economic (salarii și taxe):

$$W/T = Q \times \text{EconIF} \quad (\text{ec. 3.3})$$

unde:

- W, T – impactul economic (USD/an)
- Q – cantitatea de deșeuri per tip de material (tone/an)
- FIEcon – factorul de impact economic per tip de material și opțiune de tratare (USD/tonă de deșeu)

Impactul social

Ecuția pentru impactul social:

$$IS = Q \times \text{FIS} \quad (\text{ec. 3.4})$$

unde:

- IS – impactul social (ore de muncă/an)
- Q – cantitatea de deșeuri per tip de material (tone/an)
- FIS – factorul de impact social per tip de material și opțiune de tratare (ore de muncă/tonă de deșeu)

3.4 Prognoza generării deșeurilor de tip DEEE - instrumentul de calcul DEEE, WEEE calculation tool

Instrumentul de calcul al DEEE (WEEE Calculation Tool) ca și componentă a Regulamentului de punere în aplicare, a fost conceput pentru a calcula atât greutatea echipamentelor electrice și electronice (EEE) introduse pe piață, cât și cantitatea de DEEE generată, exprimată ca masă, în fiecare stat membru al UE. Instrumentul este personalizat pentru fiecare stat membru și este pus la dispoziția țărilor membre de Comisia Europeană, asigurând consistență, dar și integrarea datelor specifice fiecărei țări. În total, au fost create 28 de versiuni ale instrumentului, ultima versiune fiind revizuită în iunie 2024, de United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), toate bazate pe aceeași metodologie, dar preîncărcate cu date specifice fiecărui stat membru privind cantitatea de EEE introduse pe piață în perioada 1980-2018, precum și cu date privind durata de viață a produselor pentru aceeași perioadă.

Instrumentul permite introducerea datelor privind cantitățile introduse pe piața (IpP), fie obținute prin metodologia consumului aparent, fie preluate direct din registrele naționale. Acesta calculează cantitățile de EEE puse pe piață conform categoriilor definite în Anexele I și III ale Directivei 2012/19/UE, precum și cantitatea totală de DEEE generată.

Metoda consumului aparent estimează greutatea EEE introduse pe piața unui stat membru în decursul unui an de conform următoarei ecuații :

$$\text{EEE introduse pe piață}(t) = \text{producția internă}(t) + \text{importurile}(t) - \text{exporturile}(t) \quad (\text{Ec.3.5})$$

Calculul DEEE generate într-un anumit an, pe teritoriul unui stat membru, cu ajutorul Instrumentului de calcul se bazează pe:

- Cantitatea de EEE introdusă pe piață (IpP) în anii precedenți;

- Durata de viață corespunzătoare a produselor, care determină momentul în care acestea devin deșeuri.

Instrumentul de calcul al DEEE permite estimarea duratei de viață a oricărui EEE pus pe piață, identificând momentul în care acesta devine deșeu și momentul în care întreaga cantitate de EEE introdusă pe piață se transformă în DEEE. Această estimare se realizează utilizând distribuția Weibull și funcția de distribuție cumulativă Weibull, care au ca parametri principali scara (notată cu λ) și forma (notată cu k), exprimată astfel:

$$f(x; \lambda, k) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k} & x \geq 0, \\ 0 & x < 0, \end{cases} \quad (\text{ec.3.6})$$

Ambii parametri, k și λ , sunt pozitivi. Parametrul de formă k – determină modelul ratei de eșec, în timp ce parametrul de scară λ – definește perioada de timp în care majoritatea produselor cedează. Parametrii de formă (k) și de scară (λ) ai distribuției de probabilitate, sunt stabiliți pentru fiecare stat membru în parte, și sunt incluși în instrumentul de calcul sub formă de valori implicite. Valoarea supraunitară a k indică o creștere a ratei de defectare în timp, ceea ce reflectă procesul de uzură al produselor sau situația componentelor care devin mai predispuse la defecțiuni pe măsură ce trece timpul – un fenomen frecvent întâlnit la echipamentele electrice și electronice.

Instrumentul de calcul DEEE a fost elaborat în Microsoft Excel 2013 ca o foaie de calcul (spreadsheet) .xslm, într-o manieră relativ simplă, compatibilă cu alte versiuni Excel și sisteme de operare (Tabel 3.6).

Tabelul 3.6 Prezentare generală a foilor de calcul vizibile din instrumentul de calcul DEEE. Sursă: UNITAR, 2024

Denumire foaie de calcul	Descriere / scop
FrontPage	Interfață utilizator
Indicators	Tabel ce afișează un rezumat al cantităților pentru fiecare indicator (IpP și DEEE generat)
ResultPOM	Tabel ce afișează cantitățile de EEE introduse pe piață (IpP) conform clasificărilor EU-6 și EU-10. De asemenea, este prezentat un tabel cu valorile medii de referință ale țărilor cu economii similare.
ResultWG	Tabel ce afișează cantitățile de WEEE generate pe categorii EU-6 și EU-10
GraphLifespan	Grafic care ilustrează durata de viață a produsului selectat (UNU Key)
GraphPOM_EU6	Grafic ce ilustrează datele privind introducerea pe piață pentru o anumită țară în cele 6 categorii
GraphWG_EU6	Grafic ce ilustrează datele privind deșeurile generate (DEEE) pentru o anumită țară în cele 6 categorii
POM	Foaie utilizată pentru introducerea datelor de plasare pe piață a EEE pentru o țară.
Benchmark	Foaie ce afișează indicatorii de referință ai țărilor cu economii similare și valorile medii pentru aceste țări.
GraphPOM_EU10	Grafic ce ilustrează datele privind introducerea pe piață EEE pentru cele 10 categorii pentru o anumită țară
GraphWG_EU10	Grafic ce ilustrează deșeurile generate în cele 10 categorii per țară

Capitolul 4. EVALUAREA PERFORMANȚEI SISTEMULUI DE MANAGEMENT AL DEȘEURILOR DE ECHIPAMENTE ELECTRICE ȘI ELECTRONICE DIN ROMANIA PRIN METODOLOGIA SUSTWEEE

4.1 Informații generale pentru stabilirea contextului și profiluri de generare a DEEE-urilor

Pentru a descrie contextul socio-economic al țării sunt propuși 10 categorii de indicatori, iar pentru fiecare categorie au fost luați în considerare unul sau mai mulți indicatori ce au relevanța pentru metodologia de evaluare a sistemului de management al DEEE propus (Tabel 4.1).

Tabel 4.1 Context socio-economic pentru generarea DEEE, anul 2014 vs. 2021

Nr.	Categorie	Indicator	Rezultat					
Țara: România, an: 2014, 2021								
Context national (socio-economic profile)			2014			2021		
B1	Venit	Categoria de venit – Fondul Monetar Internațional	Venituri medii-superioare			Venituri medii-superioare		
		PIB per capita (EUR/cap de locuitor)	7600			14.946,6		
B2	Populație	Total populație	19.947.311			19.229.519		
		Rural/urban (%)	46,13% 53,87%			46,4% 53,6 %		
B3	Educație	Competențe	S	M	R	S	M	R
		- Scazut (S)						
		- Mediu (M)						
		- Ridicat @						
		Nivelul competențelor de utilizare a internetului de către indivizi (%)	29	23	5	13,34	22,44	67,29
		Nivelul competențelor de utilizare a calculatorului de către indivizi (%)	18	13	7	65,73	48,42	27,82
		Rata ocupării forței de muncă % (15-64 ani)	61%			61,9%		
B4	Consum	Consumul intern de material pe cap de locuitor exprimat in (tone)	16,79			29,4		
B5	Resurse	Productivitatea Resurselor (EUR/kg)	0,3735			0,81		
B6	Consum de energie	Consum energetic pe cap de locuitor (tep/capita)	1.584			1,73		
B7	Circularitatea materiala	Rata de utilizare circulară a materialelor (%)	2,1			1,3		
B8	Ecoinovarea	Indicele ecoinovării	Locul 23 din 27; scor 65			Locul 24 din 27; scor 71		
B9	EEE IpP	EEE introduse pe piață pe cap de locuitor (kg/an)	139.587 tone, 7,01 kg/cap/year			365.050, 19,09 kg/cap/year		
B10	DEEE generate	DEEE generate (tone/an)*	32 159			145.907		

Categoriile de DEEE utilizate în metodologia propusă (Tabel 4.2) sunt cele din Directiva 2012/19/UE – Directiva DEEE și aceleași din Ordonanța de Urgență nr. 5 din 2015 privind DEEE. Compoziția materială a DEEE-urilor utilizată pentru metologia propusă (Tabel 4.2) în această lucrare este compusă din 10 fracții, dintre care ponderea metalelor (feroase

și neferoase) este cea mai mare, urmată de plastic, sticlă, lemn, circuite imprimate, agenți frigorifici, ulei, condensatori și altele (<http://ewasteguide.info/>).

Tabel 4.2 Profilul de generare și compoziție DEEE, an 2014 și 2021

Tablă 12. Profilul de generare și compoziție DEEE, an 2014 și 2021

DEEE profil de generare			EEE tone/an		DEEE tone/an		DEEE Kg/cap de locuitor	
W1	EEE IpP/DEEE colectate		2014	2021	2014	2021	2014	2021
			139.587	365.050	32 159	145.907	1,62	7,63
W2	DEEE Categorii:							
W2.1	C1 - Echipamente de transfer termic		91.308		24.472		1,28	
W2.2	C2 - Ecrane monitoare și echipamente care conțin ecrane cu o suprafață mai mare de 100 cm²		25.759		17.395		0,91	
W2.3	C3 - Lampi		2.367		642		0,03	
W2.4	C4 - Echipamente de mari dimensiuni, având oricare dintre dimensiunile externe mai mare de 50 cm (tone/year)		160.115		82.012		4,29	
W2.5	C5 - Echipamente de mici dimensiuni (nicio dimensiune externă mai mare de 50 cm)		75.146		12.966		0,68	
W2.6	Echipamente informatice și de telecomunicații de dimensiuni mici, nicio dimensiune externă mai mare de 50 cm		10.354		8.421		0,44	
W3	DEEE compoziție generică:							
W3.1	Metale	Metale feroase (%)	43,63					
		Metale neferoase (%)	4,6					
W3.2	Sticlă	Sticlă (%)	10,01					
W3.3	Materiale Plastice	Materiale plastice (%)	14,61					
W3.4	Lemn	Lemn (%)	2					
W3.5	Condensatori	Condensatori (%)	0,1					
W3.6	Plăci de circuite imprimate	Plăci de circuite imprimate	2,2					
W3.7	Materiale Nereciclabile	Non-recyclable (%)	4					
W3.8	Refrigeranți	Materiale Nereciclabile (%)	0,02					
W3.9	Uleiuri	Uleiuri (%)	0,1					
W3.10	Altele	Altele (%)	18,71					

4.2 Indicatori ai sistemului de management al DEEE

4.2.1 Indicatori cantitativi pentru componentele fizice ale sistemului

Indicatorii de referință pentru componentele fizice ale sistemului de management al DEEE includ șase indicatori cantitativi, după cum se arată în Tabelul 4.3, plus trei indicatori compoziți cu mai multe atribute ai calității furnizării serviciilor pentru fiecare componentă, așa cum se arată în Tabelele 4.4–4.6.

Tabel 4.3 Indicatorii cantitativi pentru componentele fizice ale sistemului de management al DEEE

Nr.	Componenta fizică	Indicator	Definiție	Codificarea pe culori a rezultatelor				
				SCAZUTĂ	SCAZUTĂ / MEDIE	MEDIE	MEDIE/ RIDICATĂ	RIDICATĂ
1.1	Colectarea DEEE	Gradul de acoperire a serviciilor de colectare a DEEE	Număr de centre de colectare Număr of campanii de colectare Tipuri de colectare „1 la 1” sau „1 la 0”	0-49%	50-69%	70-80%	81-90%	91-100%
1.2		DEEE Colectate	Se referă la rata de colectare impusă de legislație, în funcție de perioada pentru care se efectuează studiul : • 2016: minim 40 % din greutatea medie a EEE introduse pe piață în cei 3 ani precedenți; • 2017-2020: 45 % din greutatea medie a EEE introduse pe piață în cei 3 ani precedenți; • din 2021*: minim 65 % din greutatea medie a EEE introduse pe piață în cei 3 ani precedenți;	0-25%	26-44%	45-65%	66-80%	81-100%
2.1	Management ul mediului	Tratare si eliminare controlată	% din totalul DEEE colectate care ajung fie la o unitate de tratare, fie la eliminarea după tratare	0-49%	50-69%	70-79%	80-94%	95-100%
2.2		Tratare internă/externă DEEE	% DEEE tratate în țară; % DEEE tratate în afara teritoriului național	0-59%	60-69%	70-79%	80-94%	95-100%
3.1	Management ul resurselor – 3R reducere, reutilizare și reciclare	Rata de reciclare	% din totalul DEEE colectat care este reciclat. Rata de reciclare poate fi definită ca: - DEEE reciclate versus DEEE tratate; -DEEE reciclate versus DEEE colectate;	0-49%	50-59%	60-74%	75-85%	86-100%
3.2		Rata de reutilizare	% din cantitatea de DEEE reparată și refolosită raportat la cantitatea colectată	0-5%	6-10%	11-20%	21-50%	51-100%

4.2.2 Indicatori calitativi pentru componentele fizice ale sistemului**1C – Calitatea colectării DEEE****Tabel 4.4** Criterii utilizate pentru evaluarea Indicatorul 1C: Calitatea colectării DEEE

Nr.	Criteriu	Descriere
1C.1	Creșterea numărului de puncte de colectare DEEE	Constatarea creșterii în timp a numărului de puncte de colectare
1C.2	Amplasarea punctelor de colectare a DEEE	Amplasarea adecvată a centrelor de colectare a DEEE și conștientizarea acestora în rândul populației țintă
1C.3	Eficacitatea colectării în zonele defavorizate	Este eficientă colectarea DEEE în zonele dezavantajate din punct de vedere social și economic? Indicarea unuia dintre – punctele fixe/ mobile de colectare, numărul de campanii de colectare organizate de autoritățile locale
1C.4	Eficacitatea punctelor de colectare a DEEE	Sortare preliminară pentru EEE reutilizabile, dotarea facilităților de colectare cel puțin la cerințelor legale
1C.5	Respectarea obiectivului de colectare impus de legislație	Se respectă obiectivul de colectare impus de lege?

1C.6	Eficiența și eficacitatea transportului DEEE	Evitarea afectării sănătății populației (inclusiv pentru personalul implicat) și monitorizarea menținerii condițiilor de mediu adecvate ale transportului DEEE
1C.7	Planificarea și monitorizarea adecvată a serviciilor de colectare	Implementarea, managementul și supravegherea serviciilor de colectare DEEE conforme cu necesitățile

2TD – Gradul de protecție a mediului în tratarea și eliminarea DEEE

Tabel 4.5 Criterii utilizate pentru evaluarea indicatorului 2TD: **Gradul de protecție a mediului în tratarea și eliminarea DEEE**

Nr.	Criteriu	Descriere
2TD.1	Gradul de control asupra recepției DEEE și managementului general al facilității de tratare	Gradul de control asupra recepției și manipulării DEEE la fiecare unitate
2TD.2	Gradul de control asupra tratării și eliminării DEEE	Controlul asupra procesului de tratare a DEEE la instalație și asupra oricăror emisii potențiale, prezența tehnologiilor necesare și procedurile operaționale pentru utilizarea corectă a acestora. Eliminarea numai a materialelor/pieselor tratate, tratarea materialelor și substanțelor periculoase
2TD.3	Nivelul de monitorizare și verificare a sistemului de management al mediu	Include existența și implementarea regulată a: procedurilor robuste de autorizare/licențiere de mediu; păstrarea, monitorizarea și verificarea periodică a registrelor de date efectuate de unitatea însăși; Și monitorizarea, inspecția și verificarea de către un organism de reglementare independent
2TD.4	Adecvarea instalațiilor de tratare	Evaluează capacitatea de tratare a DEEE – se evită acumularea de stocuri netratate
2TD.5	Eficacitatea tratării DEEE	Evaluează cantitatea de DEEE care este ajunge la depozitare
2TD.6	Gradul de competență tehnică în planificare, managementul și operarea procesului de tratare și eliminare	Evaluarea nivelului de competență tehnică a sistemului din trei perspective: (i) autoritatea responsabilă cu furnizarea serviciului; (ii) gestionarea instalațiilor de tratare și eliminare; și (iii) personalul operațional din prima linie
2TD.7	Sănătatea și securitatea în muncă a personalului	Utilizarea echipamentului de protecție corespunzător și existența procedurilor în sprijinul acestora

3R – Calitatea celor 3R – Reducere, reutilizare și reciclare

Tabel 4.6 Criterii utilizate pentru a evalua indicatorul 3R: **Calitatea celor 3R – reducere, reutilizare și reciclare**

Nr.	Criteriu	Descriere
3R.1	Separarea la sursă a DEEE	Evaluat pe baza proporției din cantitatea totală de DEEE colectate care sunt livrate pe baza categoriei și/sau a potențialului de contaminare sau a potențialului de reutilizare/reparare
3R.2	Dezasamblare facilă	Existența echipamentului, tehnologiei și a nivelului de calificare a personalului necesare
3R.3	Eficiența recuperării materialelor reciclabile	Recuperarea materialelor reciclabile este eficientă?
3R.4	Recuperarea materialelor valoroase - metale rare și nobile	Posibilitate de recuperare a metalelor rare și nobile
3R.5	Separarea și controlul substanțelor periculoase	Deșeurile care conțin substanțe periculoase sunt separate?
3R.6	Integrarea comunităților și/sau a sectorului informal de reciclare cu sistemul oficial de management al DEEE	O evaluare a existenței dar și a succesul eforturilor depuse pentru a include sectorul de reciclare informal (în țările cu venituri mici și medii) și a societății civile(ONG-uri, asociații etc) interesate de reutilizare și reciclare (în țările cu venituri mari) în sistemul oficial de management al DEEE
3R.7	Protecția mediului în reciclare	Impactul asupra mediului al lanțului de reciclare, de la colectare până la sortare și procesarea materialelor sortate. NOTĂ: impactul asupra mediului al instalațiilor de tratare a deșeurilor care generează și

		materiale pentru reciclare este luat în considerare în cadrul indicatorului 2TD
3R.8	Aderarea la instrumentele voluntare	Există companii care aderă la instrumente voluntare pentru activitățile de gestionare a DEEE (WEEELABEX, PAS 141:2011)?
3R.9	Sănătatea și securitatea în muncă	Utilizarea echipamentului de protecție corespunzător și existența procedurilor în sprijinul acestora

4.2.3 Indicatori pentru evaluarea sustenabilității sistemului de management al DEEE

Pentru indicatorii de referință ai Sistemului de Management DEEE, pe lângă componentele fizice, au fost luate în considerare aspecte „soft” pentru evaluarea sistemului de management al DEEE, în cadrul celor trei piloni ai sustenabilității: incluziunea socială, sustenabilitatea financiară și protecția mediului.

4I – Incluziunea utilizatorului și furnizorului

Tabel 4.7 Criterii utilizate pentru evaluarea indicatorilor 4I: **Gradul de incluziune a utilizatorului și furnizorului**

Nr.	Criteriu	Descriere
4I.1	Cadrul legal	Măsura în care legile și/sau alte instrumente juridice există și sunt implementate la nivel național sau local, ceea ce permite atât sectorului public, cât și celui privat să ofere un serviciu solid de gestionare a DEEE
4I.2	Echitatea serviciului oferit	Măsura în care toți utilizatorii actuali sau potențiali au acces la serviciu, fără discriminare (locatie, venit, afacere/populație) și care protejează sănătatea publică și calitatea mediului.
4I.3	Echilibrul dintre obiectivele sectorului public și al celui privat în furnizarea de servicii	Măsura în care există mecanisme de reglementare adecvate la nivel local, astfel încât serviciile de gestionare a DEEE să fie furnizate fie de sectorul public, fie de sectorul privat, într-o manieră care este reciproc avantajoasă și nu dezavantajează în mod substanțial niciuna dintre părți.
4I.4	Nivelul de implicare a publicului și mecanismele de feedback	Măsura în care autoritățile se consultă și iau în considerare opiniile părților interesate în procesul de luare a deciziilor de management, planificare și implementare. Existența și utilizarea mecanismelor de feedback public privind serviciile de gestionare a DEEE.
4I.5	Educație și conștientizare	Implementarea unor programe eficiente de educație publică și de conștientizare corelate cu urmărirea schimbărilor ce intervin în tiparele de comportament privind DEEE

5F - Sustenabilitatea financiară

Tabel 4.8 Criterii utilizate pentru evaluarea indicatorului 5F: **Gradul de sustenabilitate financiară**

Nr.	Criteriu	Descriere
5F.1	Scheme care implementează REP (Răspunderea Extinsă a Producătorului).	Implementarea la nivel național a REP și măsura în care EEE introduse pe piața națională sunt acoperite de REP
5F.2	Eco-taxa	Există o taxă de gestionare a DEEE? Dacă există, este această taxă suficientă pentru a acoperi costurile pentru colectarea și gestionarea DEEE?
5F.3	Reglementarea eco-taxei	Extent of scrutiny by the authorities for eco fee – level, distribution Amplourea verificărilor și controlului exercitat de autorități asupra eco-taxei– nivel, distribuție
5F.4	Percepția populației asupra eco-taxei	Este publicul larg conștient de existența și scopul eco-taxei? Are impact asupra comportamentului de cumpărare?
5F.5	Buy back	Există o opțiune de răscumpărare pentru EEE ieșite din uz?
5F.6	Sustenabilitate financiară pentru furnizorii de servicii de management al DEEE	Este gestionarea DEEE percepută ca o activitate solidă din punct de vedere economic? Acoperă costul de funcționare; este profitabil?

6N – Cadru național al gestionării DEEE - instituții solide și politici proactive

Tabel 4.9 Criterii utilizate pentru evaluarea indicatorilor pentru instituții solide și politici proactive: **6N – Cadru național al gestionării DEEE**

No.	Criteriu	Descriere
6N.1	Legislație și reglementări	Existența legislației naționale pentru gestionarea DEEE și a metodologiilor pentru aplicare
6N.2	Strategii/Politici	Există o strategie națională recentă pentru gestionarea DEEE, politici clare implementate?
6N.3	Ghiduri și proceduri de implementare	Ghiduri clare pentru autoritățile locale cu privire la modul de implementare a legislației și strategiei privitoare la DEEE
6N.4	Instituții naționale responsabile cu implementarea strategiei/politicii de gestionare a DEEE	Existența unei sau mai multor instituții la nivel național care sunt însărcinate cu responsabilitatea implementării și coordonării strategiei/politicii DEEE
6N.5	Instituții pentru reglementare și verificare	Există o agenție de reglementare a mediului bine organizată și dotată cu resurse adecvate? Implementează legislația astfel încât să asigure condiții de concurență echitabile pentru toți actorii implicați în gestionarea DEEE?

7E – Indicatori ai performanței de mediu

Pentru performanța de mediu a sistemului de management al DEEE, se propune indicele zero DEEE, derivat din indicele zero deșeuri (Zero Waste Index – ZWI), elaborat de Zaman și Lehmann (2013) pentru deșeurile municipale. Indicele zero DEEE, estimează potențialele economii de materii prime virgine, energie, emisii de gaze cu efect de seră (GES) și apă datorită cantităților de DEEE reutilizate și reciclate, prin sistemul de management al DEEE.

Performanța de mediu a sistemului de management al DEEE este evaluată folosind indicele DEEE zero care poate fi calculat cu următoarea ecuație (Ecuația 4.1):

$$\text{Indicele Zero DEEE} = \frac{Q_{m,i}^{WEEE} \times SF_{m,i}}{Q_c^{WEEE}} \quad (\text{Ec. 4.1})$$

unde,

$Q_{m,i}^{WEEE}$ = cantitatea potențială de DEEE gestionată de țară și tratată cu i tip de tratament, t/an

SF= factor de substituție, în funcție de beneficiul/impactul asupra mediului

Q_c^{WEEE} = cantitatea totală de DEEE colectate pe țară, t/an

Tabel 4.11 Criterii utilizate pentru evaluarea indicatorului **7E – Performanța de mediu**

Nr.	Criteriu	Descriere	SCĂZUT	SCĂZUT/ MEDIU	MEDIU	MEDIU/ RIDICAT	RIDICAT
7E.1	Apă	Cantitatea de apă substituită prin reutilizarea și reciclarea DEEE (kL/locuitor)	<- 10%	-10%-0%	0%	0-10%	>10%
7E.2	Aer	Cantitatea de emisii care ar ajunge în atmosferă dacă DEEE sunt depozitate (tone CO ₂ e/locuitor)					
7E.3	Resurse	Cantitatea de materii prime virgine substituită prin reutilizarea și reciclarea DEEE (kg/persoană)					

7E.4	Energie	Cantitatea de energie substituită prin reutilizarea și reciclarea DEEE (Gj/locuitor)					
7E.5	Indexul Zero DEEE	Resurse recuperate prin sistemele de management al DEEE din cantitatea de DEEE generată (%)					

4.3 Validarea setului de indicatori de referință pentru sistemul de management al DEEE – studiu comparativ la nivel national, anul 2014 versus 2021

4.3.1 Validarea indicatorilor cantitativi ai componentelor fizice

4.3.2 Validarea indicatorilor calitativi ai componentelor fizice ale sistemului

4.3.3 Validarea indicatorilor sustenabilității sistemului de management

Rezultatele obținute în etapele de validare ale metodologiei SUSTWEEE, ale indicatorilor cantitativi ai componentelor fizice ale sistemului de management al DEEE din România, ale celor calitativi pentru componentelor fizice, cât și a indicatorilor sustenabilității sistemului de management sunt curpinși in Tabelul 4.26, iar in Figura 4.9 performanța generală a sistemului este ilustrată.

Tabel. 4.26 Performanța tehnică și organizatorică a sistemului de management DEEE

Performanța tehnică și organizatorică a sistemului de management DEEE			2014	2021		
1.1	DEEE colectate	Acoperirea colectării DEEE	76% M	100 % R		
1.2		DEEE colectate	1,62 kg/locuitor 24,37% S	7,63 kg/locuitor 47,78% M		
1C		Calitatea colectării DEEE	60 % M	71,42% M/R		
2.1	Managementul mediului – DEEE tratare și eliminare	Tratare și eliminare controlată	100% R	97,93% R		
2.2		Tratare internă/externă	96,26% H	99,06% R		
2TD		Gradul de protecție a mediului pentru tratarea și eliminare DEEE	80% M/H	80% M/H		
3.1	Managementul Resurselor – reducere, reutilizare și reciclare	Rata de reciclare	87,3% H	78,96% R		
3.2		Rata de reutilizare	0% S	0,04 % S		
3R		Calitatea celor 3R – reducere, reutilizare și reciclare	57,8% M	75,5% M/R		
Durabilitatea sistemului de management DEEE						
4I	Incluziune	Gradul de incluziune – utilizator și furnizor	48% M	52% M		
5F	Financiar	Gradul de sustenabilitate financiară	76.66% M/R	80% M/R		
6N	Cadrul național al gestionării DEEE	Instituții solide și politici proactive	52% M	64% M		
7E	Indicator performanța de mediu	Economii de apa, aer, materii prime, energie și indicele Zero DEEE	68% M	96% R		

Iar Figura 4.9 oferă și o vizualizare facilă a scorurilor acordate pentru cei 7 indicatori calitativi ai sistemului de management al DEEE, anii 2014 și 2021.

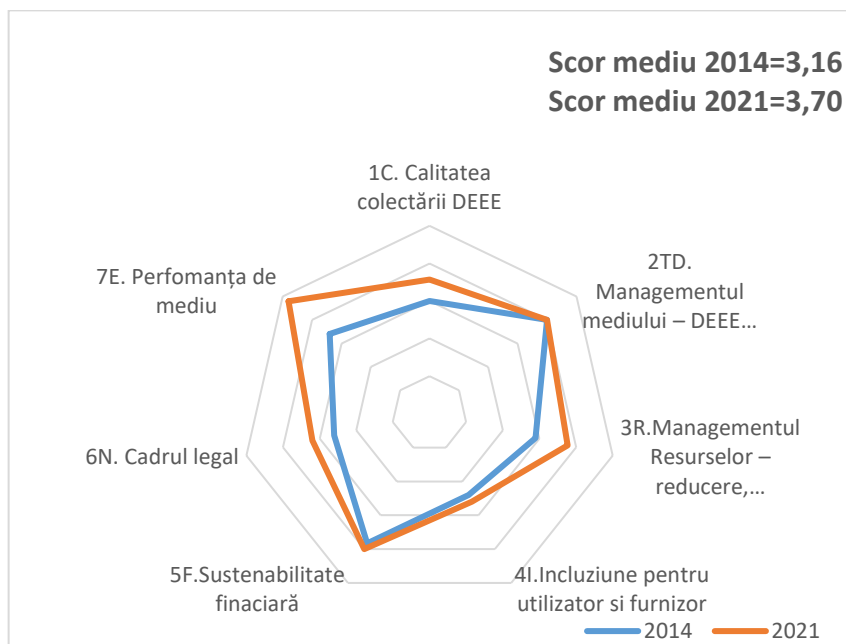


Figura 4.9 Performanța generală a sistemului de management al DEEE în România, anii 2014 și 2021, evaluată cu metodologia SUSTWEEE

4.4 Concluzii parțiale

Aplicarea metodologiei SUSTWEE pentru evaluarea gestionării DEEE în România a generat tabele detaliate cu 11 indicatori cantitativi, 6 calitativi și date de context socio-economic, evidențiind evoluția în timp a generării și compoziției DEEE.

În ceea ce privește **generarea de DEEE** se observă o creștere exponențială a EEE IpP dar și a colectării DEEE, obiectivul atins de 47,78% este apropiat mediei europene de 46,2%.

În ceea ce privește **tratarea DEEE la nivel național**, țara noastră a înregistrat o ușoară scădere comparativ cu anul 2014, aspect ce poate fi pus și pe seama faptului ca o cantitate de 4,5 ori mai mare a fost tratată în anul 2021, majoritar în instalațiile de tratare din țară. Referitor la **reciclare**, se constată o scădere a randamentului prin comparație cu anul 2014, explicat tot prin cantitatea mult mai mare care a fost colectată și apoi tratată în anul 2021. Pentru anul se constată existența în evidențele naționale a unei cantități de DEEE reutilizate, un progres, chiar dacă mic față de anul 2014.

Referitor la indicatorii calitativi, pentru partea de colectare, indicatorul **1.C Calitatea colectării DEEE** a cunoscut o evoluție în perioada evaluată, cu un scor mediu de 3,57 performanța situându-se în intervalul MEDIU/RIDICAT. **Indicatorul 2.TD – Gradul de protecție a mediului în tratarea și eliminarea DEEE** are unul din cele mai mari scoruri, rezultatul evaluării fiind MEDIU/MARE (80%). Acest scor se datorează în principal faptului că fluxul de DEEE evaluat include doar instalațiile de tratare a DEEE autorizate. **Indicatorul 3R. Managementul Resurselor** înregistrează un progres comparativ cu anul 2014, 75,5% versus 57,8%, performanța acestuia încadrându-se în intervalul MEDIU/RIDICAT.

Gradul de incluziune al utilizatorului și furnizorului în gestionarea DEEE, indicatorul 4I, performanța agregată a acestuia fiind de nivel MEDIU, comparativ cu anul 2014 crescând foarte ușor de la 48% la 52%. Indicatorul 5F: **Gradul de sustenabilitate financiară**, comparativ cu anul 2014 a cunoscut o creștere marginală a performanței de la 76.66% la 80% de nivel MEDIU/RIDICAT. **Cadrul național al gestionării DEEE**- Instituții solide și politici proactive, indicatorul 6N, este evaluat cu ajutorul a 5 criterii, acesta având un progres considerabil față de anul 2014 de la 52% la 64%, aflându-se în intervalul MEDIU de referință.

Pentru 7E. Performanța de mediu a sistemului de management al DEEE, s-a utilizat **indicele zero DEEE**, derivat din indicele zero deșeuri. După calcularea substituițiilor de materiale, energie, apă și GES realizate în anul 2021, prin tratarea și valorificarea prin reciclare a DEEE, se observă că performanța acestui indicator a crescut aproape de valoarea maximă la 96%, fiind indiscutabil o performanță RIDICATĂ, mult peste cea realizată în anul 2014 de 68%.

Performanța generală a sistemului de management al DEEE în România, evaluată folosind metodologia SUSTWEEE arată ca o îmbunătățire a performanței generale, scorul mediu total obținut în anul 2021 este de 3,70 față de 3,16 cât a fost obținut în anul 2014. S-au constatat progrese semnificative în ceea ce privește **colectarea** – cantitativ, rată a colectării impusă de legislație, număr puncte de colectare, **reciclarea** – **Managementului Resurselor** a cunoscut o îmbunătățire, **cadrul legislativ** – prin adoptarea în legislația națională a Directivei EU pentru DEEE, elaborarea unor ghiduri pentru autoritățile locale, adoptarea PNGD.

Capitolul 5. EVALUAREA PERFORMANȚEI SISTEMULUI DE MANAGEMENT AL DEȘEURILOR DE ECHIPAMENTE ELECTRICE ȘI ELECTRONICE ÎN ROMANIA PRIN METODOLOGIA USEPA WARM

5.1 Selectarea și analiza datelor

Utilizând instrumentul de calcul DEEE, se pot modela două scenarii, primul scenariu fiind bazat pe datele raportate referitoare la cantitățile de EEE introduse pe piața națională în baza de date Eurostat (S1), iar al doilea pe cantitățile conform metodei Consum Aparent (CA) (S2), iar astfel au rezultat cantitățile din Tabelele 5.1 și 5.2 atât pentru EEE introduse pe piața națională (IpP), cât și pentru DEEE generate pe cele 6 categorii principale de echipamente electrice și electronice în perioada 2018-2021 (**Talpalaru și colab., 2025**).

Tabel 5.1 Cantități EEE introduse pe piața națională 2018-2021

EU _6	2018		2019		2020		2021	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
1	71258	82521	77574	67886	84912	58160	91308	58015

2	7942	16416	25521	17142	26063	17410	25759	17562
3	5422	4443	2132	4517	2434	4691	2367	4453
4a	90501	137164	116724	134326	122642	149249	159440	153488
4b	18075	760	888	773	221	0	675	4673
5	57110	69248	57312	69794	62673	68519	75146	74737
6	10843	10339	9585	10677	10101	11887	10354	10811

Tabel 5.2 Cantități DEEE generate 2018-2021

EU_6	2018		2019		2020		2021	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
1	53108	53325	55762	56124	58348	58648	60884	60885
2	9424	9949	10731	10565	12001	11154	13178	11708
3	3228	3091	3104	3173	3024	3267	2946	3329
4a	89367	91578	91992	94779	94650	98404	98740	102298
4b	1721	1693	2081	1998	2423	2285	2745	2559
5	43571	44136	44982	46084	46645	47747	49060	49663
6	10166	10132	10094	10258	10091	10459	10118	10508

Prin corelarea categoriilor naționale conform Directivei cu cele ale categoriilor UNU-KEY corespunzătoare, se pot calcula fracțiunile aferente fiecărei categorii, folosind cele mai recente date IpP disponibile în foaia „POM” a instrumentului de calcul al DEEE. Această asociere permite identificarea ponderii fiecărei categorii naționale în cadrul sistemului UNU-KEY.

Pentru a evalua performanța sistemului de gestionare a DEEE-urilor din România prin metodologia USEPA WARM a fost necesară extragerea și corelarea datelor relevante. Aceste date au fost preluate din Instrumentul de calcul al DEEE și asociate cu categoriile de DEEE pentru care metodologia USEPA WARM permite analiza impactului asupra mediului – calculând emisiile de gaze cu efect de seră (GES), consumul de energie, impactul economic și social al diferitelor practici de gestionare a deșeurilor (**Talpalaru și colab., 2025**).

Tabel 5.6 Cantități DEEE Generate, pe coduri UNU KEY si clasificare USEPA WARM, anii 2018-2021
UM = tone scurte

UNU KEY	US EPA WARM	2018		2019		2020		2021	
		S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
302	Desktop CPUs	2524	2527	2531	2530	2551	2616	2575	2692
0303+ 0305+ 0306	Dispozitive electronice portabile	3165	3134	3285	3104	3410	3079	3526	2963
0309+ 0408	Ecrane cu panou plat	7876	8569	9247	9341	10584	10078	11833	10781
0308+ 0407	Ecrane CRT	1502	1502	1411	1411	1325	1325	1244	1244

301	Echipamente periferice	1945	1936	1968	2160	2005	2311	2045	2386
304	Echipamente de imprimare	4247	4198	4233	4110	4224	4109	4235	4086

* CPU - Central Processing Unit (Unitate centrală de procesare)

** CRT - Cathode Ray Tube (Tub cu raze catodice)

5.2 Impacturile asociate activităților de management al DEEE-urilor

5.2.1 Impacturi de mediu

5.2.1.1 Emisii de gaze cu efect de seră (GES)

Emisiile GES rezultate pentru cei 4 ani analizați pentru fiecare din cele 6 categorii de DEEE evaluate cu Metologia USEPA WARM, sunt prezentate grafic mai jos, comparativ pentru datele extrase din Instrumentul de Calcul DEEE – date din Eurostat și Consum Aparent.

1. Desktop CPU

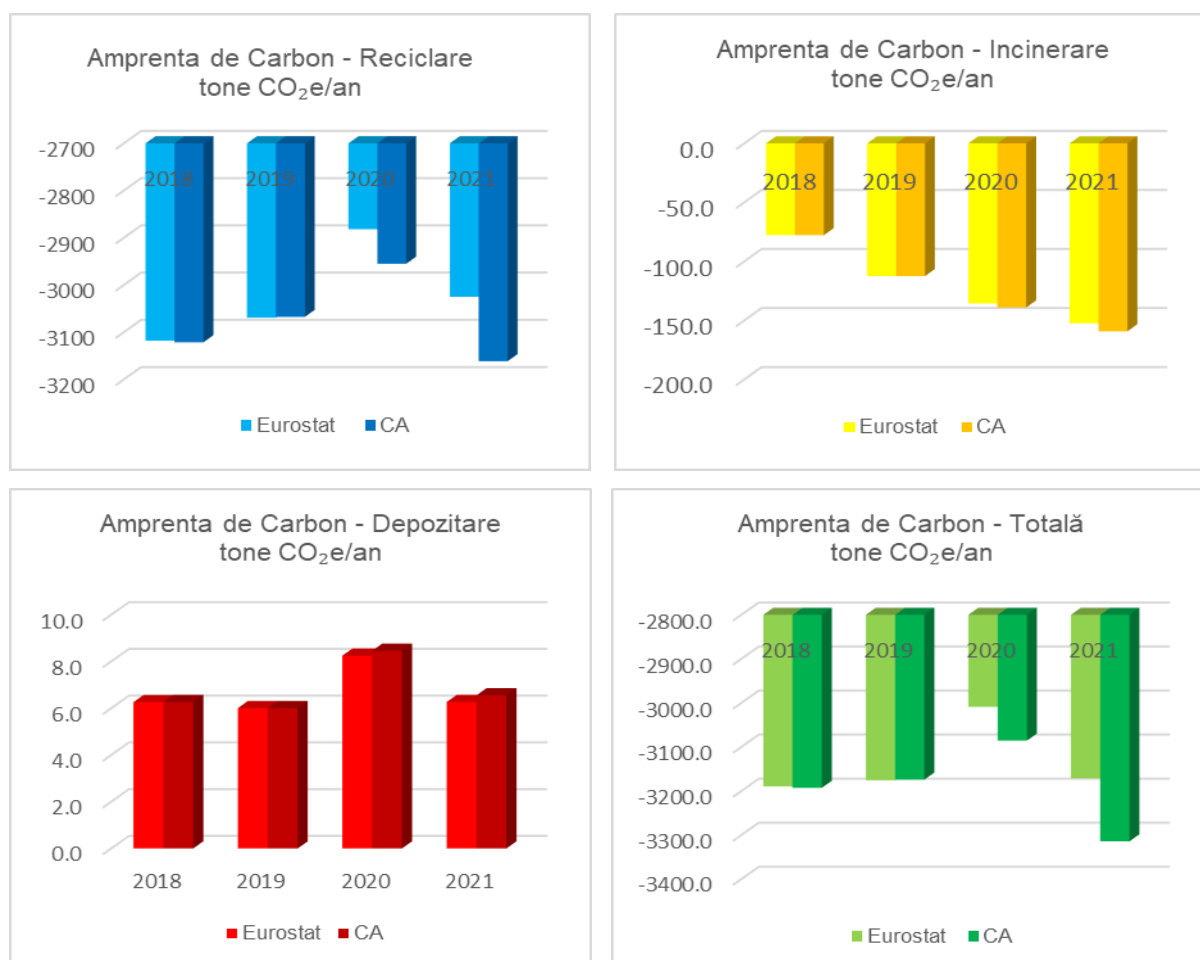


Figura 5.1 Amprenta de carbon pentru categoria **desktop CPU**, $\text{tone CO}_2\text{e}/\text{an}$

2. Dispozitive electronice portabile

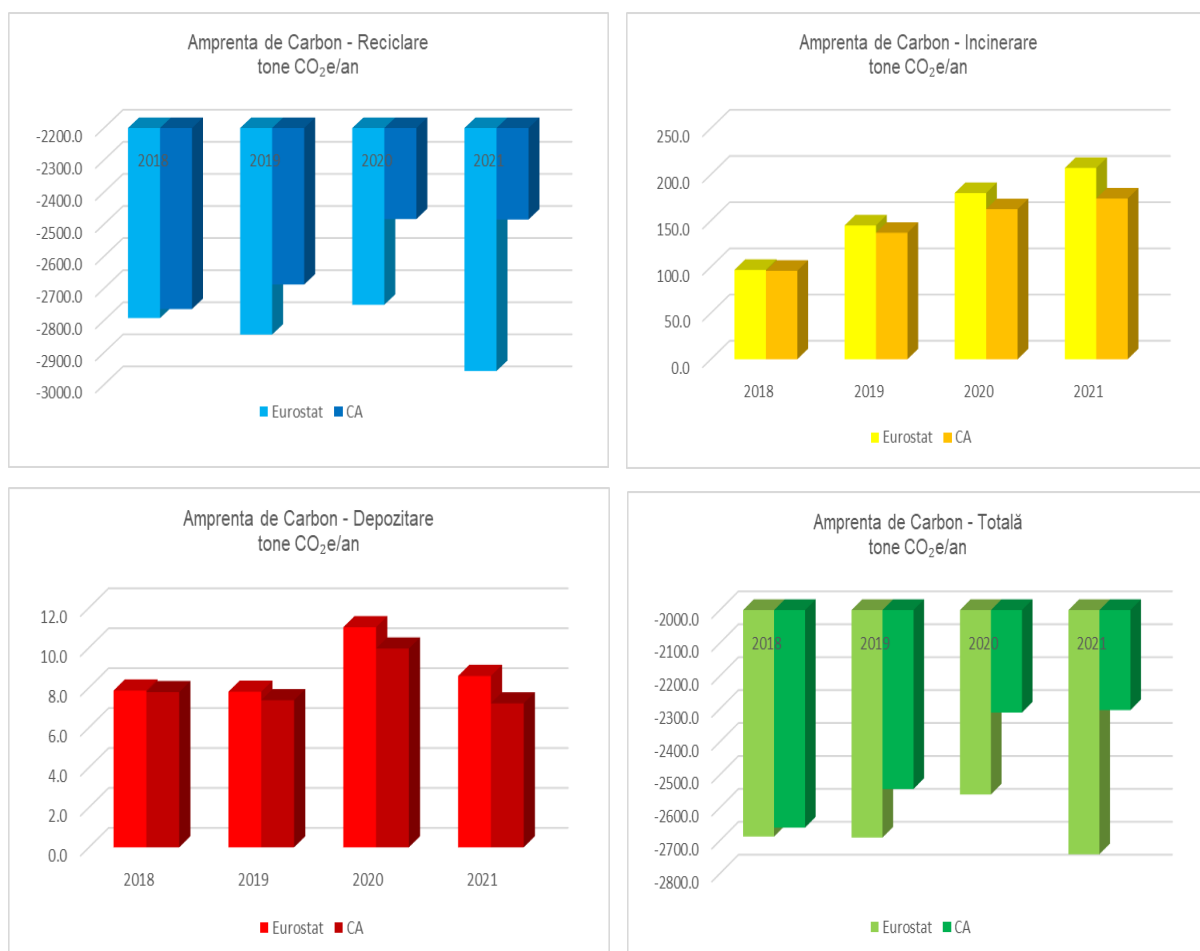
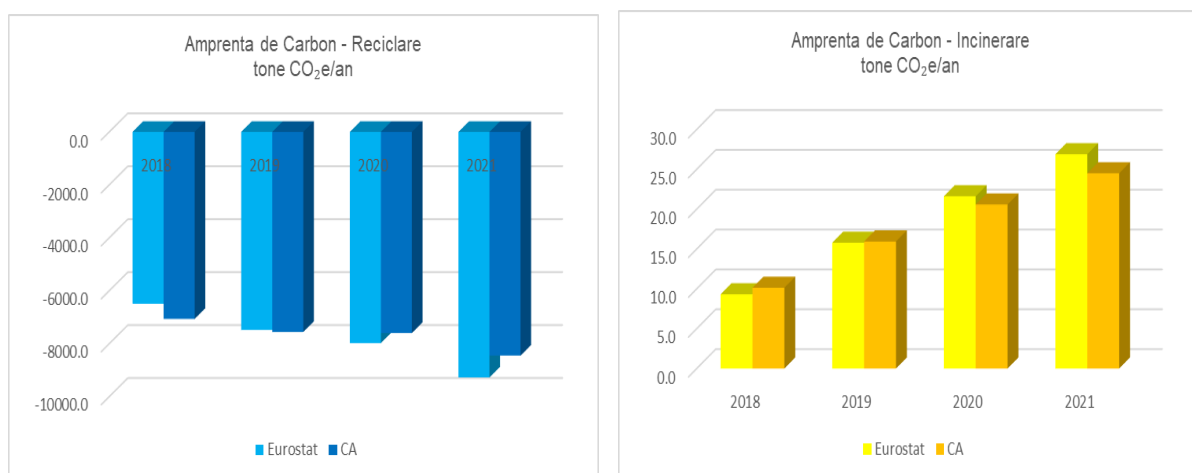


Figura 5.2 Amprenta de carbon pentru categoria **Dispozitive electronice portabile**, $\text{tone CO}_2\text{e}/\text{an}$

3. Ecrane cu panou plat



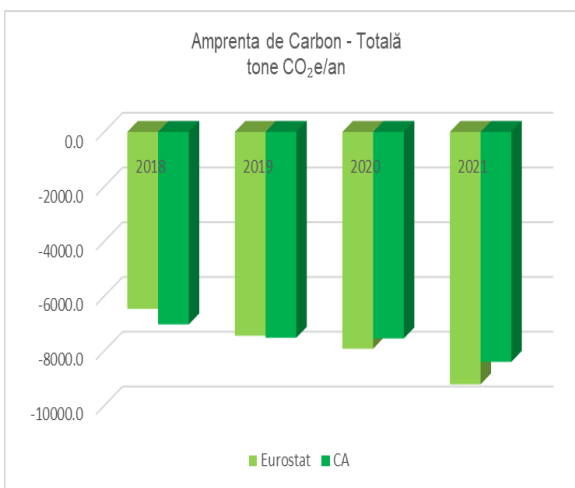
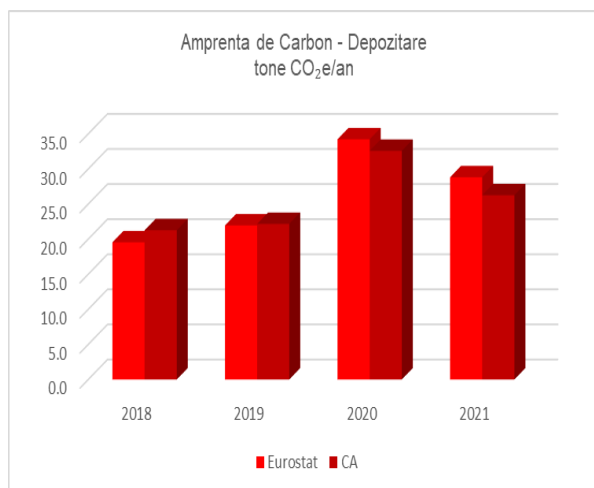


Figura 5.3 Amprenta de carbon pentru categoria **Ecrane cu panou plat**, tone CO₂e/an
4. Ecrane CRT (tub catodic)

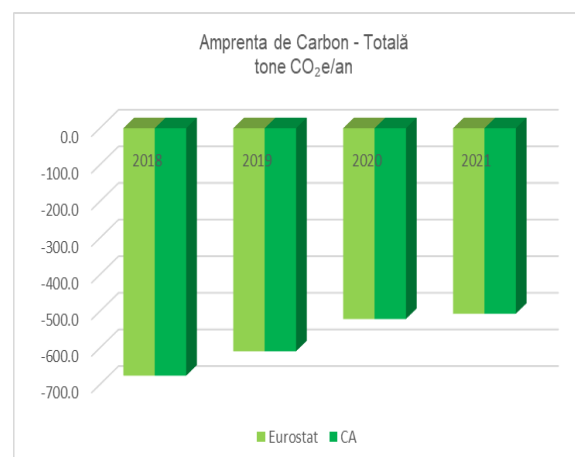
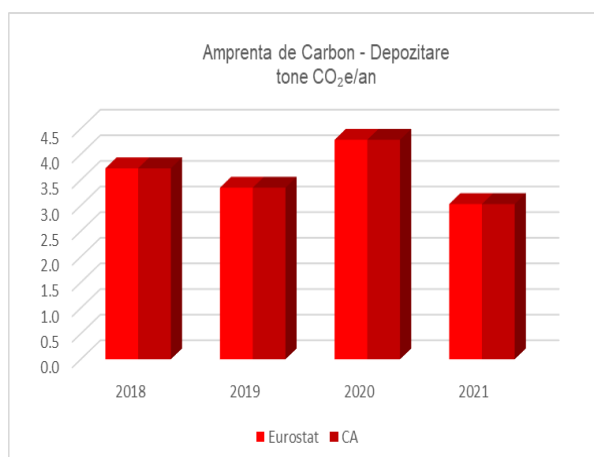
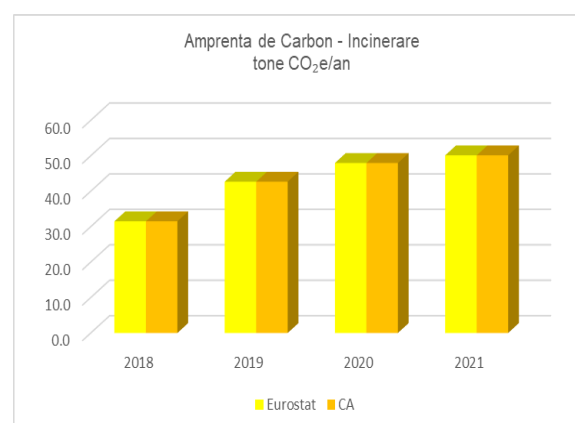
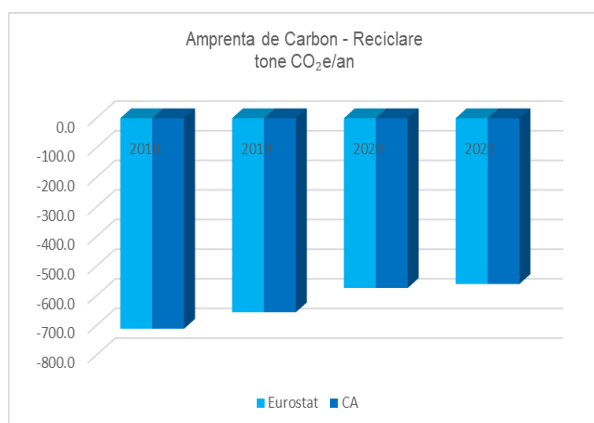
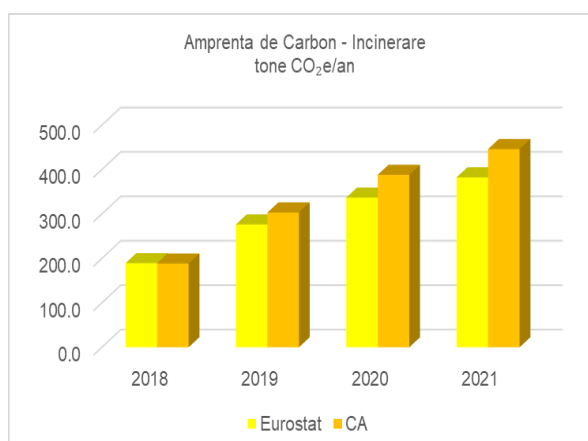
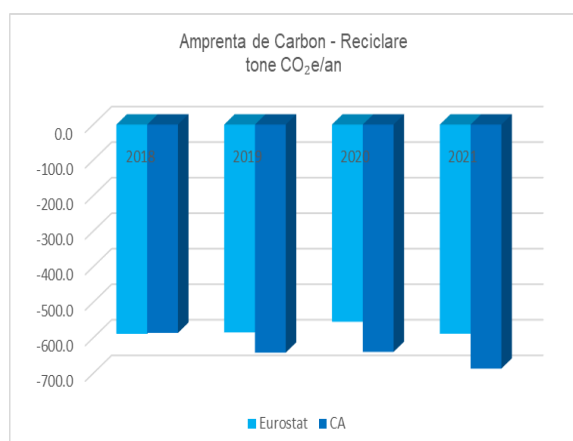


Figura 5.4 Amprenta de carbon pentru categoria **Ecrane CRT (tub catodic)**, tone CO₂e/an
5. Echipamente periferice



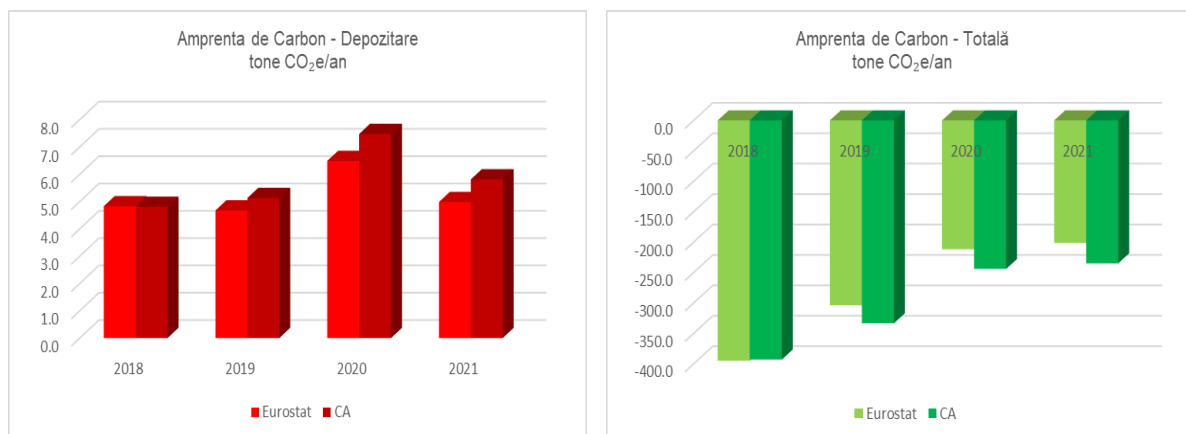


Figura 5.5 Amprenta de carbon pentru categoria **Echipamente periferice**, tone CO₂e/an
6. Echipamente pentru tipărire

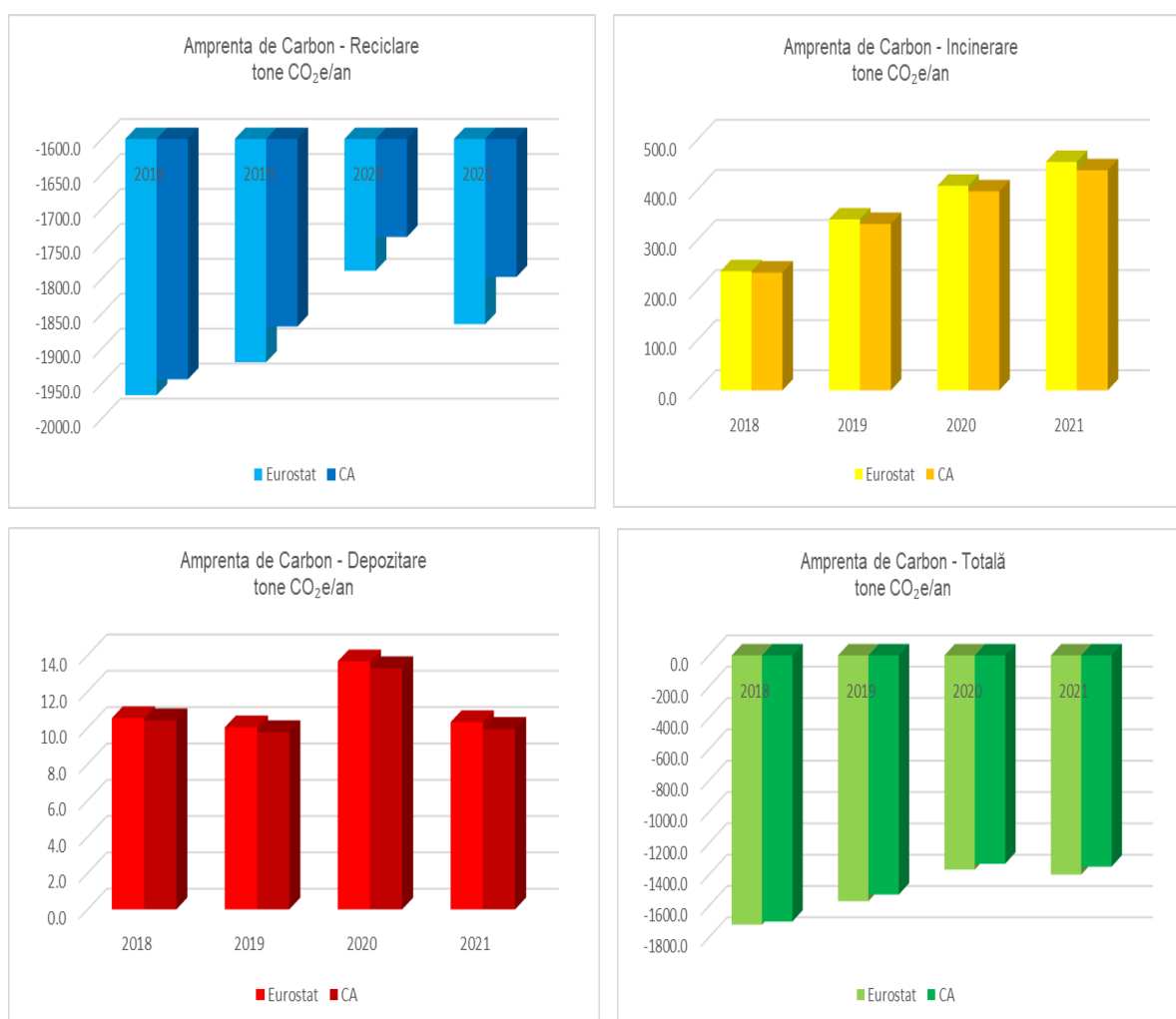


Figura 5.6 Amprenta de carbon pentru categoria **Echipamente pentru tipărire**, tone CO₂e/an

Amprenta de Carbon Totală

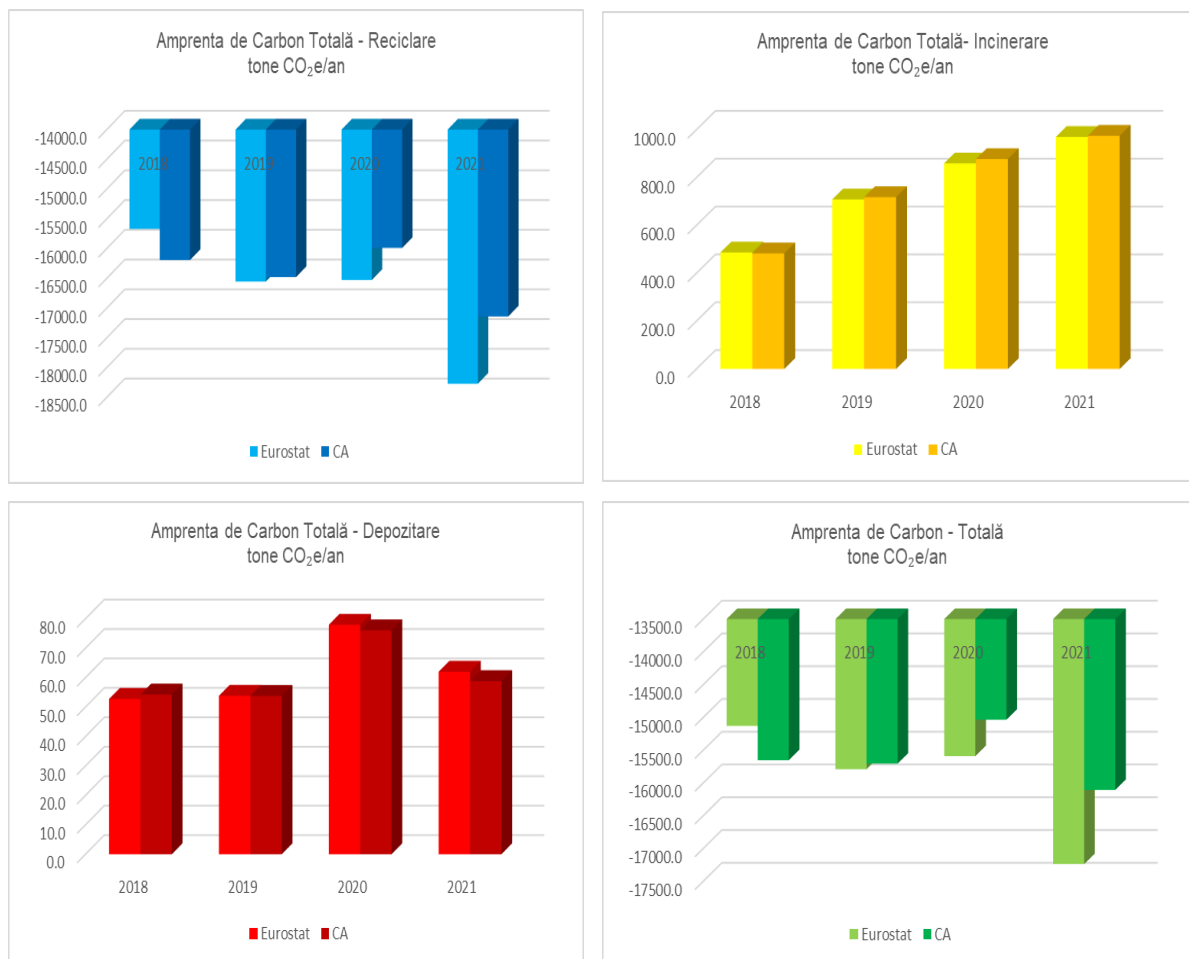
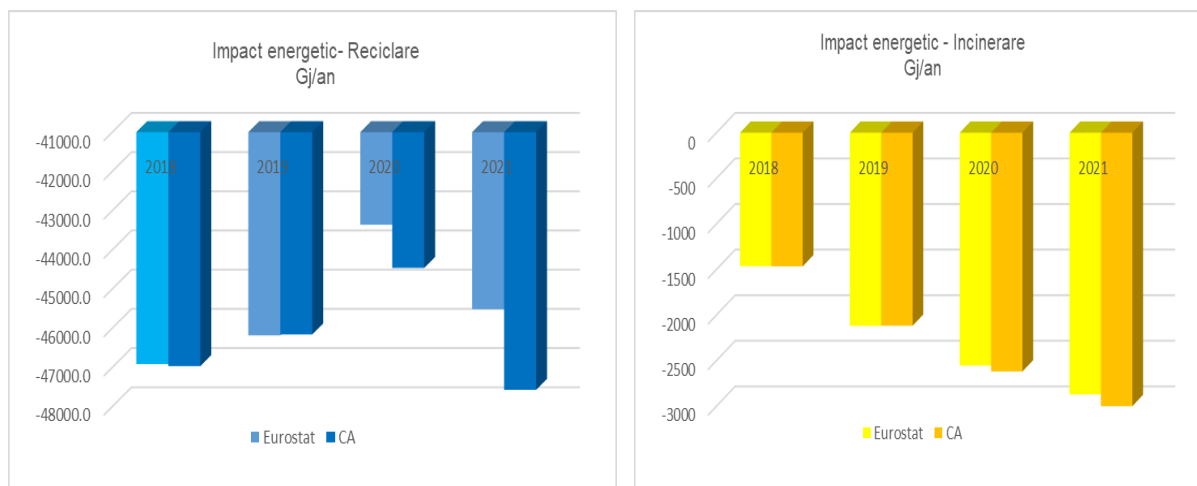


Figura 5.7 Amprenta de carbon totală, tone CO₂e/an

5.2.1.2 Consumul de energie

În metodologia USEPA WARM, impactul energetic este evaluat pentru a măsura economiile sau consumul de energie asociat cu diferite metode de gestionare a deșeurilor. Acest model analizează modul în care reciclarea, incinerarea, compostarea și depozitarea influențează consumul de energie pe parcursul ciclului de viață al materialelor.

1. Desktop CPU



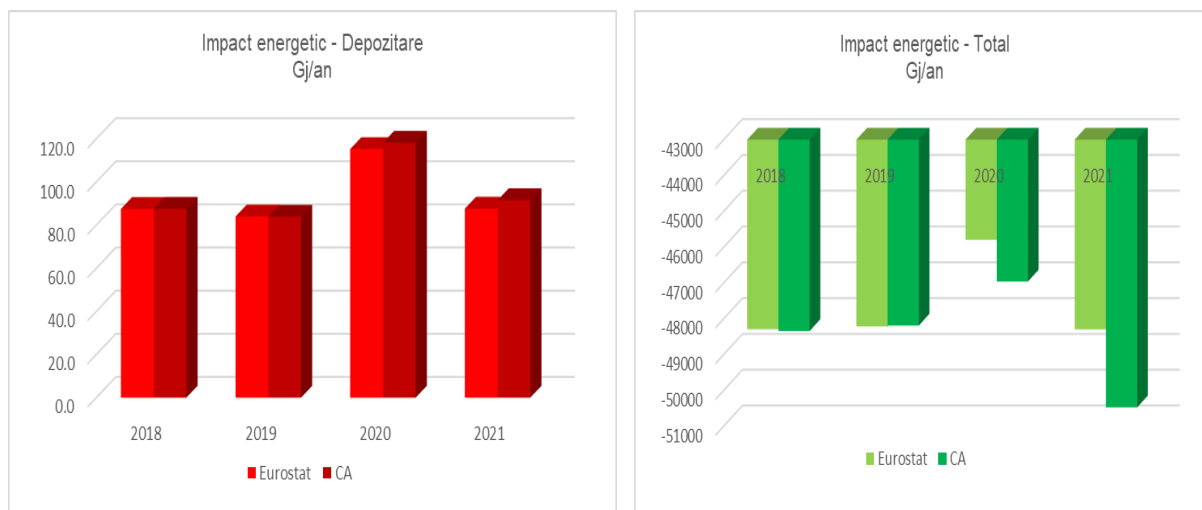


Figura 5.8 Impactul energetic pentru categoria **Desktop CPU**, GJ/an
2. Dispozitive electronice portabile

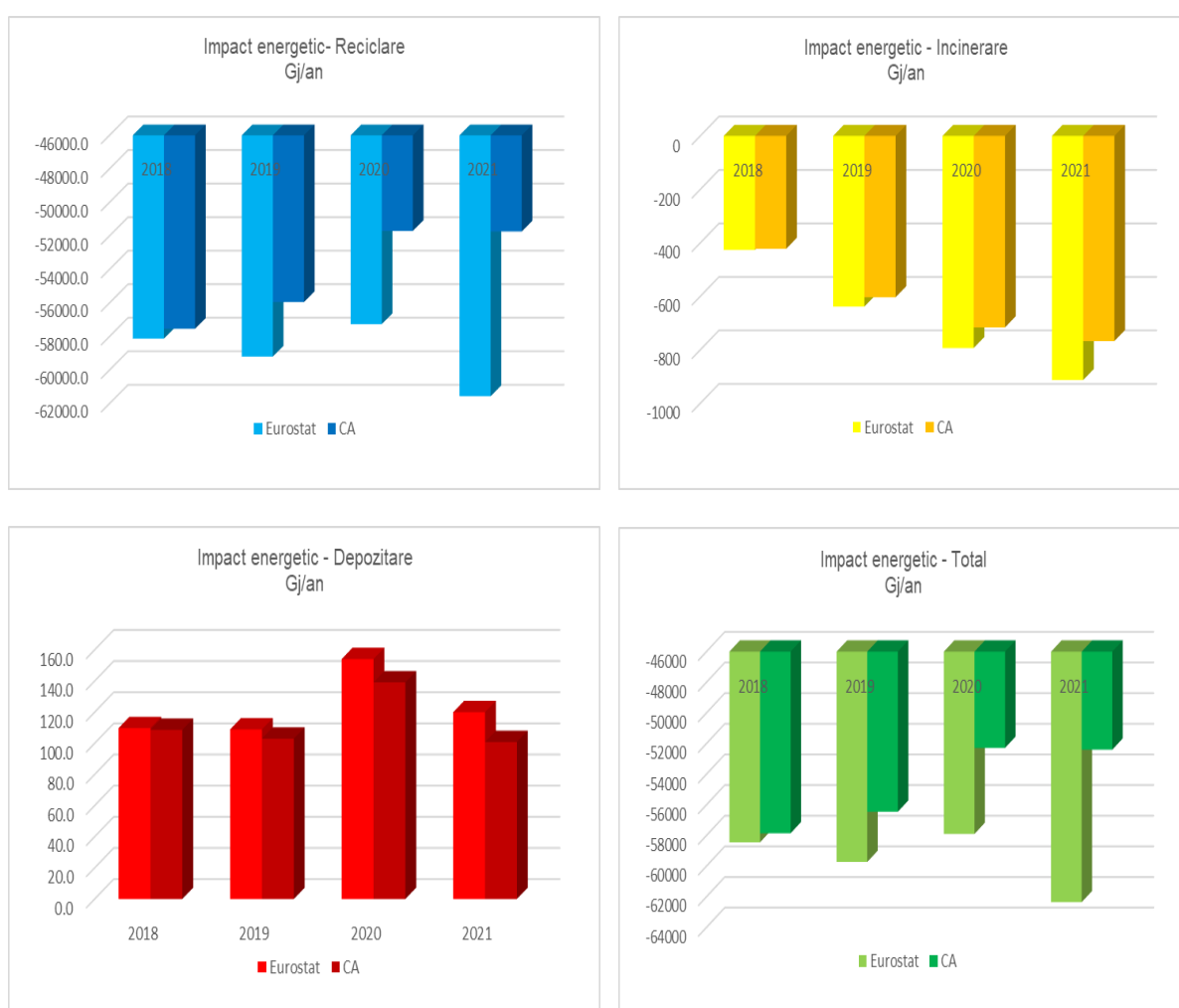


Figura 5.9 Impactul energetic pentru categoria **Dispozitive electronice portabile**, GJ/an

3. Ecrane cu panou plat

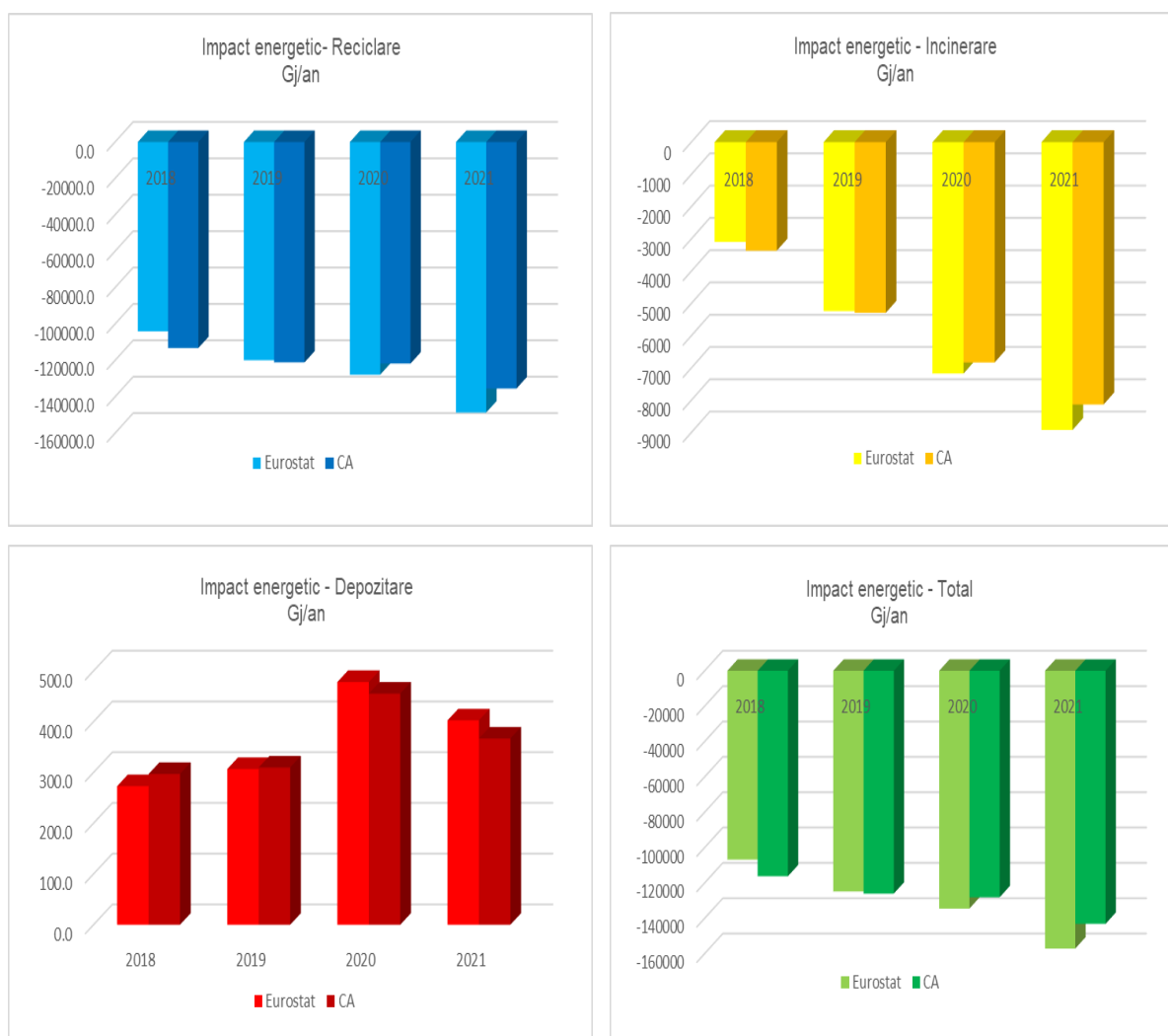
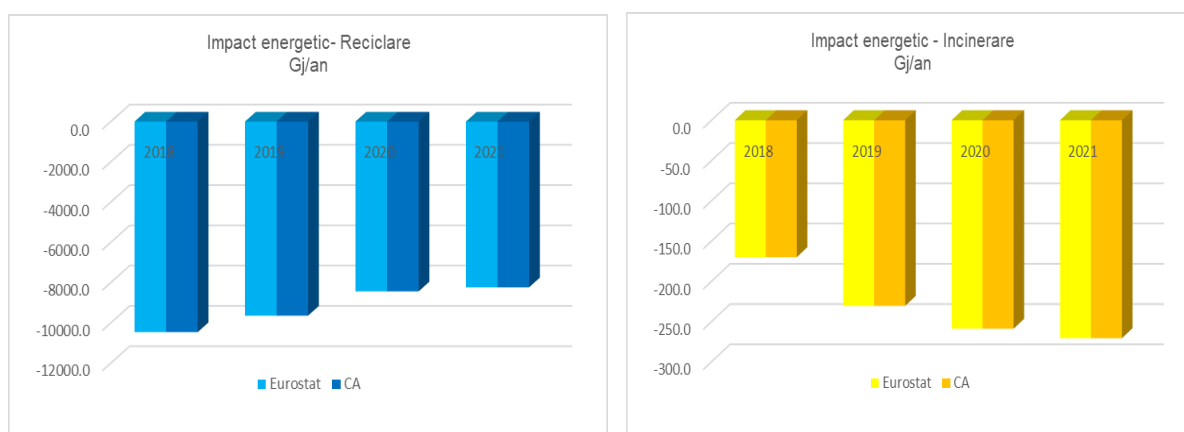


Figura 5.10 Impactul energetic pentru categoria **Ecrane cu panou plat**, GJ/an
4. Ecrane CRT (tub catodic)



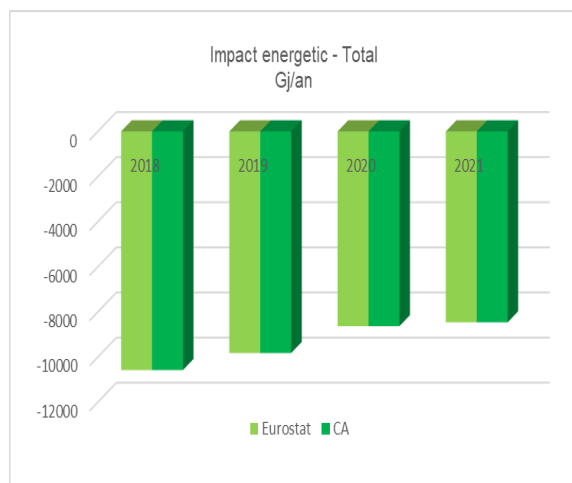
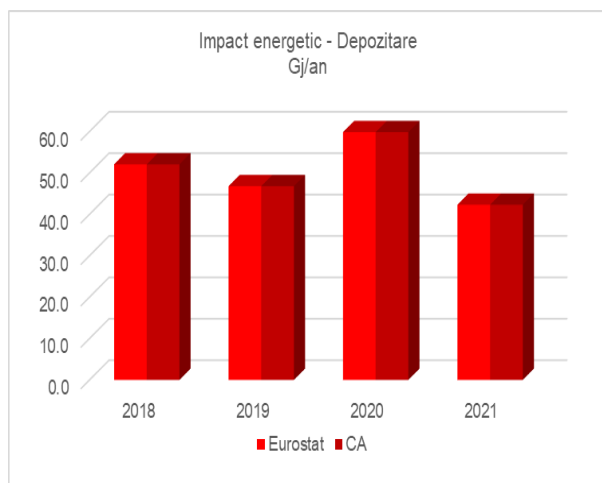


Figura 5.11 Impactul energetic pentru categoria **Ecrane CRT (tub catodic)**, Gj/an
5. Echipamente periferice

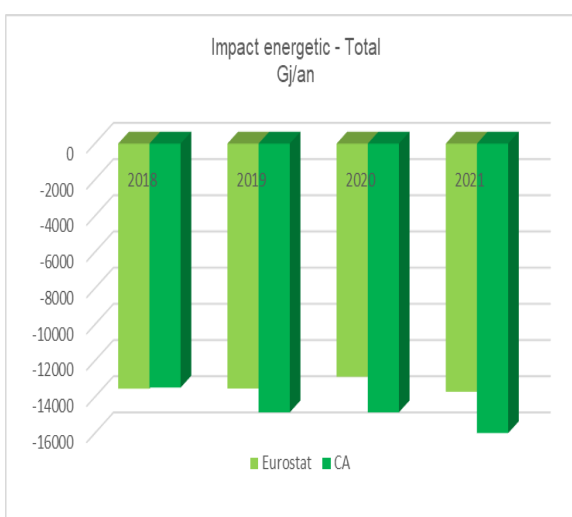
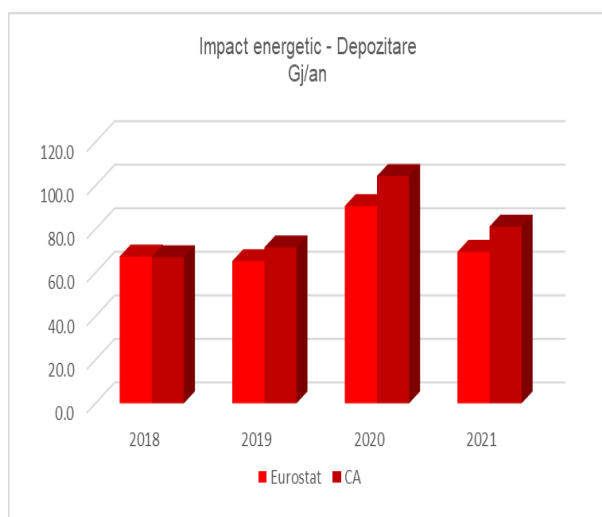
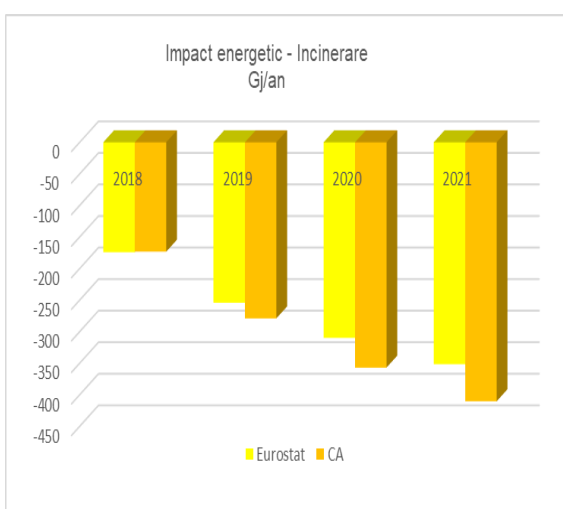
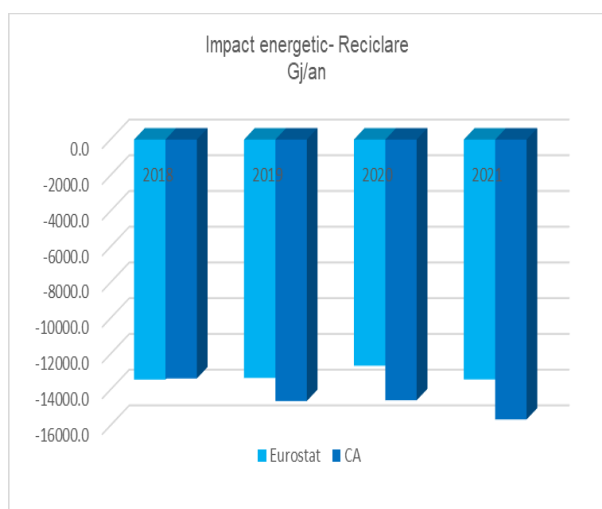


Figura 5.12 Impactul energetic pentru categoria **Echipamente periferice**, Gj/an

6. Echipamente pentru tipărire

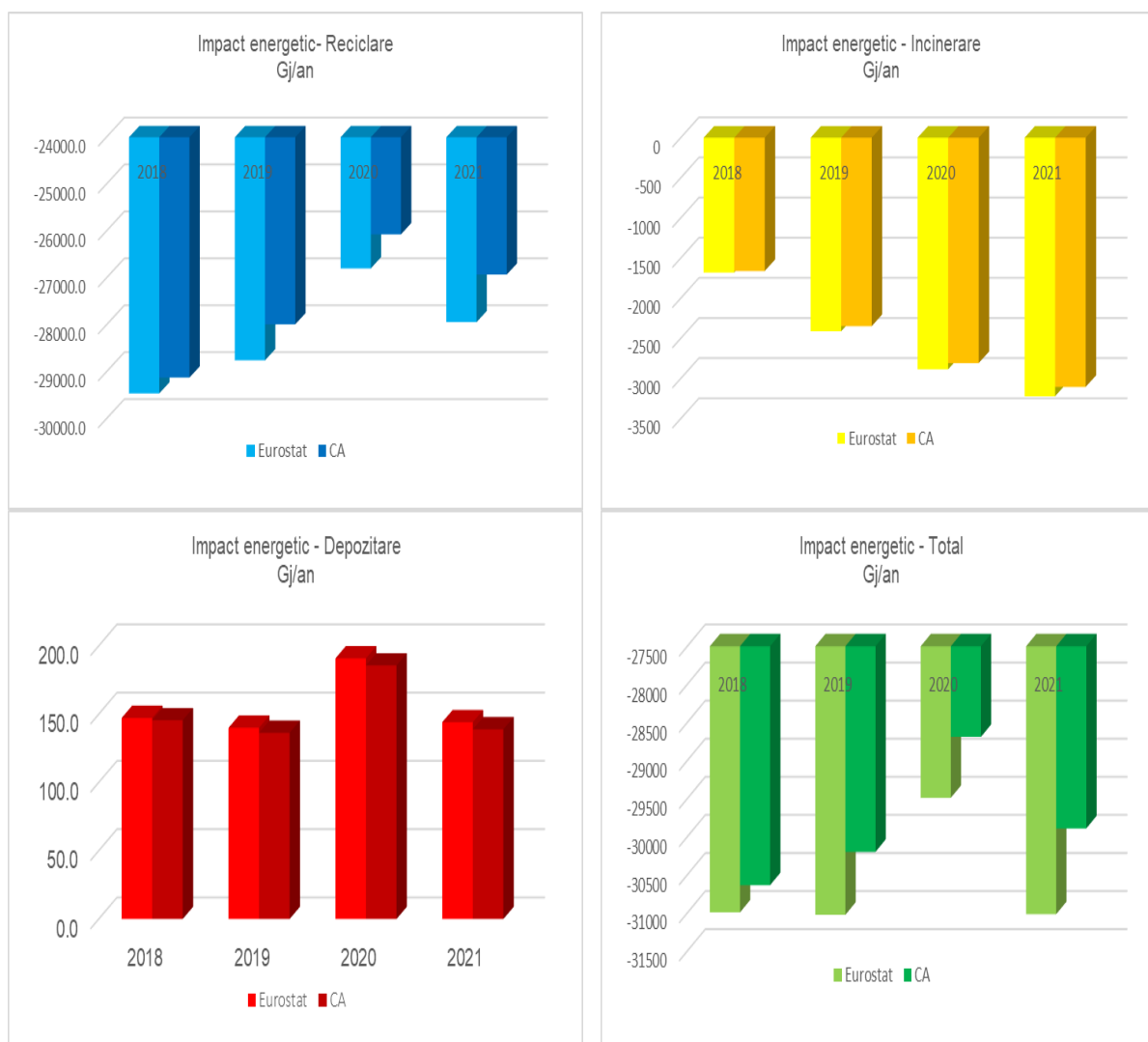


Figura 5.13 Impactul energetic pentru categoria **Echipamente de tipărire**, Gj/an
7. Impactul Energetic Total

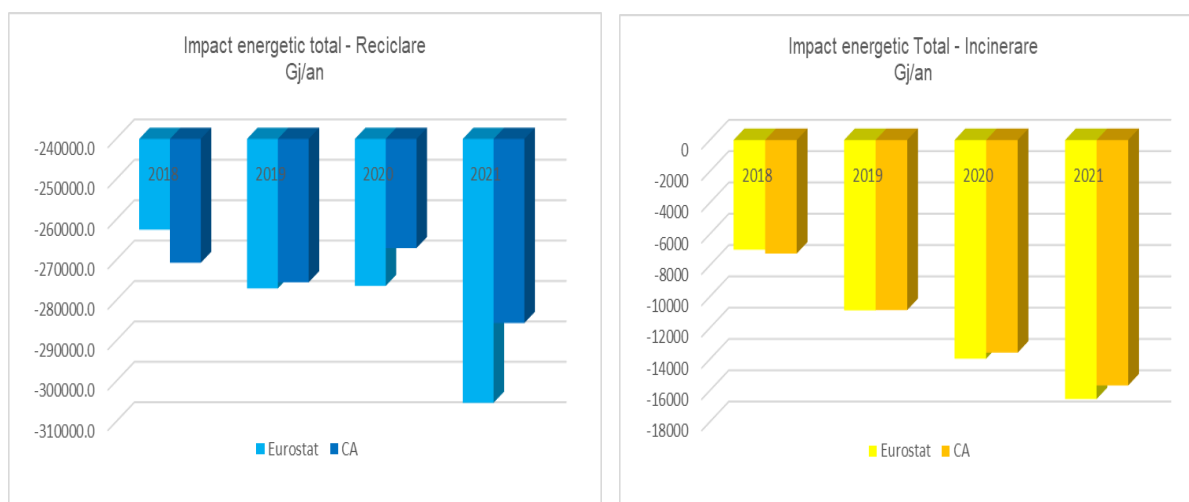




Figura 5.14 Impactul energetic Total, Gj/an

5.2.2 Impacturi economice

Pentru evaluarea impactului economic al metodelor de gestionare a deșeurilor, modelul USEPA WARM utilizează următorii parametri:

- venituri din muncă - includ salariile, beneficiile angajaților și veniturile proprietarilor de afaceri (Tabel 5.10);
- impact fiscal - taxe colectate de guvern (federale, statale, locale) din taxarea corporativă, pe veniturile populației și pe alte venituri comerciale (Tabel 5.14);

Tabel 5.10 Impactul economic total al salarizării (\$)

An	Reciclare		Incinerare		Depozitare		Total	
	Eurostat	CA	Eurostat	CA	Eurostat	CA	Eurostat	CA
2018	45,010,800	46,293,939	42,860	44,082	112,343	115,545	45,166,002	46,453,567
2019	42,339,854	47,079,748	65,936	65,912	114,595	114,554	42,520,385	47,260,214
2020	46,656,181	45,530,828	83,879	81,856	165,982	161,979	46,906,042	45,774,662
2021	51,249,492	48,611,183	98,634	93,557	132,044	125,247	51,480,171	48,829,986

Tabel 5.14 Impactul economic total al fiscalității (\$)

An	Reciclare		Incinerare		Depozitare		Total	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
2018	10,321,440	10,615,677	15,905	16,358	41,689	42,878	10,379,034	10,674,914
2019	9,158,655	10,795,871	24,468	24,459	42,525	42,510	9,225,648	10,862,841
2020	10,698,743	10,440,688	31,127	30,376	61,595	60,109	10,791,464	10,531,173
2021	11,752,037	11,147,045	36,602	34,718	49,001	46,478	11,837,640	11,228,241

5.2.3 Impacturi sociale

Impactul asupra forței de muncă în modelul USEPA WARM evaluează modul în care diferitele metode de gestionare a deșeurilor cum ar fi reciclarea, compostarea, incinerarea și depozitarea afectează ocuparea forței de muncă și veniturile (Tabel 5.18). Aceste impacturi sunt esențiale pentru a înțelege beneficiile economice, dar și sociale ale practicilor sustenabile de gestionare a deșeurilor.

Tabel 5.18 Impactul social total (ore de muncă)

	Reciclare	Incinerare	Depozitare	Total
--	-----------	------------	------------	-------

An	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
2018	1,198,215	1,232,373	1,237	1,272	3,243	3,335	1,202,695	1,236,981
2019	1,150,805	1,253,292	1,903	1,902	3,308	3,306	1,156,015	1,258,501
2020	1,242,016	1,212,059	2,421	2,363	4,791	4,675	1,249,228	1,219,097
2021	1,364,293	1,294,060	2,847	2,700	3,811	3,615	1,370,951	1,300,375

5.2.4 Concluzii parțiale

Modelul USEPA WARM analizează reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră (GES), economiile de energie, impacturile economice și sociale asociate unor practici precum reducerea la sursă, reciclarea, compostarea, digestia anaerobă, incinerarea și depozitarea. Acesta este un instrument comparativ pentru a evalua impacturile diferitelor scenarii de management, nu destinat deciziilor de facto asupra facilităților de tratare a deșeurilor sau pentru elaborarea inventarelor de emisii de GES.

Conform valorilor negative obținute în diferiți ani, pentru toate categoriile de deșeuri și tipuri de tratament, atât în ceea ce privește amprenta de carbon, cât și consumul de energie, se poate concluziona că în ansamblu metodele de tratare aplicate, dar și ponderea acestora (reciclarea a avut cel mai ridicat impact pozitiv) a generat beneficii pentru mediu, beneficiile cele mai ridicate putând fi observate în anul 2021, pentru ambele scenarii (Figurile 5.7 și 5.14).

Pentru a evalua impactul economic și social s-au analizat veniturile salariile, veniturile bugetare de natură fiscală și orele de muncă generate de practicile de gestionare a deșeurilor. Se poate observa din Tabelele 5.10, 5.14 și 5.18, că acestea au crescut de-a lungul perioadei evaluate, cu un ușor regres în anul 2019, dar valorile atinse pentru anul 2021, au fost cele mai ridicate, pentru scenariul Eurostat.

Categoriile cu cel mai amplu și cel mai redus impact, în toate categoriile, au fost cele din categoria Ecrane – cele plate având pe cel mai ridicat, iar cele cu tub catodic pe cel mai redus, aspect ce poate fi explicat de tendințele curente în dezvoltarea tehnologică

Capitolul 6. ANALIZA SWOT A SISTEMULUI DE MANAGEMENT AL DEȘEURILOR ELECTRICE ȘI ELECTRONICE DIN ROMANIA

Analiza SWOT este un instrument de planificare strategică utilizat pentru a identifica punctele forte, cele slabe, oportunitățile și amenințările asociate unui anumit sistem, organizație sau proiect (Chen și colab., 2019) ce oferă o abordare structurată pentru evaluarea factorilor interni și externi care influențează performanța elementelor analizate și direcția strategică viitoare.

6.1 Aplicarea Analizei SWOT

Analiza SWOT oferă un cadru valoros pentru îmbunătățirea strategiilor de gestionare a DEEE, facilitând luarea deciziilor bazate pe o înțelegere clară a punctelor forte, a punctelor

slabe, a oportunităților și a amenințărilor care influențează acest sector fiind este de utilă pentru: evaluarea eficienței sistemelor existente de management al DEEE; identificarea domeniilor care necesită îmbunătățiri în legislație, infrastructură și conștientizare publică; analiza oportunităților de piață pentru afacerile din domeniul reciclării și inovațiilor ecologice; anticiparea riscurilor legate de eșecurile politicilor, lacunele tehnologice sau recesiunea economică.

6.2 Analiza SWOT a Managementului DEEE în România

O analiză SWOT a sistemului de management al DEEE din România oferă informații valoroase despre situația actuală și domeniile care necesită îmbunătățiri (Tabel 6.1).

Tabel 6.1 Analiza SWOT a sistemului de management al deșeurilor DEEE din Romania

Strengths (Puncte Forte)	Weaknesses (Puncte Slabe)
• Legislația națională aliniată cu cea a UE • Facilități de tratare în dezvoltare • REP prin cele 19 OIREP-uri • Intensificarea acțiunilor pentru conștientizarea publicului • Stimulente financiare guvernamentale • Aderarea la instrumentele voluntare • Implicarea retailerilor în colectarea DEEE	• Clasificarea DEEE ca deșeuri periculoase • Rata redusă de colectare • Infrastructură limitată de gestionare a DEEE • Grad scăzut de conștientizare publică • Gestionare informală a DEEE • Aplicare ineficientă a reglementărilor • Lipsa unui sistem de stimulente eficiente • Implicare qvasi-inexistentă a autorităților publice locale
Opportunities (Oportunități)	Threats (Amenințări)
• Potențială sursă de materii prime secundare • Aplicarea eficientă a legislației existente • Politicile europene privind Economia Circulară • Progrese tehnologice • Digitalizarea și utilizarea tehnologiilor smart • Pașaportul digital al produselor • Programe educaționale și creșterea conștientizării publice • Parteneriate publice-private • Achizițiile publice verzi • Reducerea impactului asupra mediului, crearea de locuri de muncă	• Importuri ilegale de deșeuri electronice • Creșterea producției și învechirea rapidă a EEE • Noi tipuri de DEEE • Constrângerile economice • Comportamentul consumatorilor care se schimbă lent în timp • Impactul asupra mediului și sănătății umane

6.3 Concluzii parțiale

Sistemul de gestionare a DEEE în țara noastră se află într-un proces de dezvoltare continuă, însă necesită îmbunătățiri majore pentru a îndeplini obiectivele europene și naționale de colectare și reciclare. Deși există progrese în alinierea legislativă și inițiative publice și private de gestionare, infrastructura de colectare rămâne insuficient dezvoltată, iar rata de colectare este sub media UE, afectând atingerea Țintelor impuse. Pentru a îmbunătăți eficiența acestui sistem, este esențială aplicarea mai eficientă a instrumentelor legislative, extinderea rețelei de colectare, în special în zonele rurale, implementarea de stimulente financiare pentru cetățeni, programe de educație și conștientizare, dezvoltarea și implementarea de tehnologii avansate pentru recuperarea materialelor critice și aplicarea mai strictă a legislației împotriva colectării ilegale. De asemenea, implicarea activă a marilor

retaileri în schemele de gestionare a echipamentelor uzate poate contribui semnificativ la creșterea gradului de colectare. Prin valorificarea acestor oportunități și implementarea unor strategii coerente, România poate deveni un exemplu de bună practică în domeniul economiei circulare și al gestionării sustenabile a DEEE în Uniunea Europeană.

Capitolul 7. RECOMANDĂRI PRIVIND EFICIENTIZAREA SISTEMULUI DE MANAGEMENT AL DEȘEURILOR ELECTRICE ȘI ELECTRONICE

Din informațiile , datele și rezultatele obținute în capitolele anterioare ale acestei teze de doctorat se pot identifica unele aspecte sensibile ale sistemului de management al DEEE, pe baza cărora se pot emite recomandări pentru eficientizarea acestuia:

1. Ajustarea metodei de calculare a obiectivului de colectare de la “introdus pe piață” la “disponibil pentru colectare”;
2. Extinderea și modernizarea infrastructurii de colectare;
3. Îmbunătățirea calității proceselor de valorificare a DEEE;
4. Consolidarea cadrului legal pentru gestionarea și raportarea DEEE;
5. Creșterea gradului de conștientizare și educare a populației;
6. Promovarea reutilizării și reparării EEE;
7. Introducerea de stimulente financiare și a mecanismelor de sprijin pentru populație și industrie;
8. Monitorizarea fluxurilor de DEEE pentru a îmbunătăți colectarea;
9. Distribuie echitabilă a responsabilităților între toate părțile implicate;
10. Conceptul de Clearing House.

Capitolul 8. CONCLUZII GENERALE

Gestionarea sustenabilă a deșeurilor de echipamente electrice și electronice reprezintă o provocare majoră pentru țările Uniunii Europene, inclusiv România. Scopul acestui studiu este de a analiza performanța sustenabilității actualului sistem de gestionare al DEEE din România, identificând zonele sensibile privitor la dimensiunile sustenabilității – aspecte de mediu, sociale, economico-financiare. Potențiala performanță a sistemului actual, plecând de la premiza că toate deșeurile generate au fost gestionate conform opțiunilor actuale disponibile de gestionare este de asemenea evaluată în această teză, pentru un flux de deșeuri în creștere și diversificate, echipamente IT și de telecomunicații.

Metodologia propusă, SUSTWEEE, este dezvoltată exclusiv pentru analiza DEEE, ce se bazează pe o abordare în patru niveluri, incluzând indicatori pentru: contextul general, generarea DEEE, performanța tehnică a DEEE și sustenabilitatea sistemului. Aceste două niveluri din urmă, performanța tehnică și sustenabilitatea sunt evaluate prin șapte categorii principale de indicatori, atât cantitativi, cât și calitativi, analizați conform a 44 de criterii.

Cele șapte categorii principale au fost structurate astfel: trei pentru componentele fizice (colectare, tratare și depozitare, gestionarea resurselor), și patru pentru evaluarea sustenabilității (incluziune - utilizatori și furnizori; sustenabilitate financiară; instituții solide, politici proactive și performanța de mediu).

Pentru fiecare categorie principală, au fost definiți indicatori cantitativi și calitativi, ce au fost supuși unui proces de alocare a scorului individual și de normalizare astfel: indicatorii cantitativi au fost calculați și apoi clasificați calitativ pe o scară de evaluare de la SCĂZUT la RIDICAT, în timp ce indicatorii calitativi au fost evaluați prin scoruri de la 1 la 5, pe baza unor criterii prestabilite, ulterior performanța acestora fiind evaluată pe aceeași scară de clasificare, rezultând astfel o matrice de evaluare a DEEE. Pe lângă acestea, este propusă și o codificare a scorurilor obținute pe culori pentru o vizualizare mai clară a rezultatelor.

În etapa de validare, metodologia a fost testată cu succes la nivel național pentru a evalua sustenabilitatea sistemului de gestionare a DEEE în România, pentru doi ani de referință în țara noastră 2014 și 2021. Anul 2014 reprezintă un an de tranziție dintre două strategii de gestionare a deșeurilor, corespunzătoare ciclurilor de 7 ani, respectiv 2007-2013 și 2014-2020, în timp ce anul 2021 este primul an în care ținta de colectare în țara noastră se calculează conform noului obiectiv de 65% din media EEE introduse pe piața națională în cei trei ani precedenți.

Matricea finală SUSTWEEE oferă o imagine de ansamblu rapidă, permițând identificarea imediată a punctelor critice, gestionarea DEEE în România fiind un proces complex, cu performanțe eterogene în diferite domenii, principalele constatări realizate din evaluarea performanței celor doi ani fiind:

- lipsa practicilor de reutilizare, cel puțin conform datelor oficiale;
- performanța colectării realizată de țara noastră este aproape de media realizată în țările UE în anul 2021 (47,78%), și aproape dublă comparativ cu anul 2014 (24,37%);
- domenii cu performanță ridicată sunt: Tratarea și eliminarea controlată (100% dintre DEEE tratate în mod controlat în anul 2014 și 97,93% în anul 2021 din care, 96,26% pentru anul 2014, și respectiv 99,06% în anul 2021 fiind procesate în țară), Performanța de mediu (92% în anul 2012 și 100% în anul 2021), înregistrând o creștere semnificativă în anul 2021 comparativ cu anii precedenți, și acoperirea colectării DEEE ce a făcut un salt ajungând la o acoperire de 100%;
- rata reciclării DEEE a înregistrat un regres în anul 2021 (78,96%), comparativ cu anul 2014 (87,3%);
- în ceea ce privește indicatorii calitativi, aceștia s-au aflat preponderent în categoria MEDIE de performanță, (incluziunea utilizatorilor și furnizorilor, gradul de sustenabilitate financiară, instituții solide și politici proactive), în timp ce, gradul de protecție a mediului în

tratarea și eliminarea DEEE rămâne constant încadrat între MEDIU și RIDICAT, iar Calitatea celor 3R – reducere, reutilizare și reciclare a progresat spre o performanță MEDIE/RIDICATĂ.

Per ansamblu, evaluarea sistemului de management al DEEE, cu ajutorul celor metodologiei SUSTEWEEE, comparativ pentru anii 2014 și 2021, a arătat un progres al sistemului atât pentru componentele fizice, de natură cantitativă (rata de colectare, acoperirea colectării), cât și calitativă (calitatea colectării și tratării DEEE).

Pe lângă evaluarea sustenabilității sistemului actual de gestionare al DEEE în România, un alt obiectiv al tezei îl constituie evaluarea sustenabilității potențiale, plecând de la presupunerea că toate deșeurile generate sunt colectate și tratate conform capacităților curente ale sistemului din România. Obiectul acestei evaluări îl constituie fluxul de deșeuri din categoria echipamentelor IT și de Telecomunicații, perioada considerată pentru evaluare fiind 2018-2021 din perspectiva EEE introduse pe piață și a ciclului de utilizare a echipamentelor.

Metodologic, acest demers a inclus două etape,

- determinarea cantităților de DEEE generate pentru fluxul și perioada analizată, utilizând Instrumentul de Calcul DEEE al Uniunii Europene;
- iar apoi evaluarea impacturilor cu sprijinul modelului US EPA WARM asupra: mediului, impacturile economice, societății.

Analiza fluxului material al sistemului a fost realizată conform a două scenarii. Rezultatele indică o creștere semnificativă a deșeurilor de echipamente IT și telecomunicații între 2018-2021, cu un maxim de 25.458 tone (scenariul 1) și 24.152 tone (scenariul 2) în 2021. Reciclarea a demonstrat cele mai mari beneficii asupra mediului, în special pentru ecranele cu panou plat, care au generat o amprentă de carbon negativă și economii energetice semnificative. Evaluarea impacturilor economice arată beneficii importante de 51,48 milioane USD asupra venituri din muncă și 11,84 milioane USD în taxe colectabile (Scenariul 1), confirmând potențialul gestionării eficiente a DEEE.

Utilizând Instrumentul de calcul DEEE au mai putut fi trase și alte concluzii privitoare la generarea tuturor DEEE și gestionarea acestora în perioada 2018-2021:

- cantitățile introduse pe piața națională sunt mai mari în scenariul 2, comparativ cu scenariul 1, cu excepția anului 2021, când situația este inversă;
- volumul DEEE generate este mai mare în scenariul 2, comparativ cu scenariul 1 pentru toți anii, chiar dacă nu în mod dramatic;
- dacă țara noastră ar fi optat pentru obiectivul de 85% din DEEE generate pentru anul 2021, o cantitate de aproape 205 mii de tone de DEEE ar fi trebuit colectate ceea ce ar fi fost mult peste cele 145.907 tone efectiv colectate, făcând distanța pâna la obiectivul de

colectare mult mai dificil de atins, aproximativ 29%, comparativ cu 17,2% cât este la momentul actual pentru obiectivul 65% din media IpP în cei trei ani precedenți.

Analiza SWOT a sistemului de gestionare a DEEE din România evidențiază atât punctele forte, cât și deficiențele, alături de oportunități și riscuri care influențează sustenabilitatea acestuia. Printre atuurile sistemului sunt cadrul legislativ armonizat cu UE și existența infrastructurii pentru tratarea și reciclarea DEEE, în timp ce ratele scăzute de colectare (comparativ cu obiectivele), lipsa practicilor de reutilizare, nivel scăzut de conștientizare publică asupra opțiunilor de gestionare corespunzătoare a DEEE și implicarea limitată a autorităților locale în colectarea DEEE constituie puncte slabe. Oportunitățile ce pot fi accesate pentru o mai bună gestionare a DEEE sunt constituite de dezvoltarea economiei circulare prin reciclare, reutilizare, modernizare și digitalizare, disponibilitatea fondurilor structurale pentru modernizarea sistemului, parteneriate între sectorul public și privat pentru îmbunătățirea colectării pentru a contracara amențărilor cu care se confruntă sistemul: costurile în creștere ale reciclării și volatilitatea pieței materiilor prime secundare, creșterea accelerată a volumului de DEEE generate ce creează presiune suplimentară asupra sistemului.

Pentru îmbunătățirea gestionării sistemului pot fi urmărite câteva direcții strategice cum sunt extinderea infrastructurii de colectare și valorificare, creșterea conștientizării publice și stimularea reutilizării, aplicarea strictă a reglementărilor și monitorizarea mai riguroasă a fluxurilor de DEEE pentru combaterea gestionării ilegale, investiții în tehnologii avansate cu eficiențe ridicate de recuperare, politici de sprijin pentru operatorii care gestionează DEEE, toate acestea având potențialul de genera efecte pozitive din punct de vedere a sustenabilității, pentru că așa cum s-a arătat în capitolele de validare a metodologiilor din această lucrare, volumele mai ridicate de DEEE gestionate în special prin reciclare au beneficii asupra mediului, măsurate atât prin Indicele Zero DEEE, cât și prin US EPA WARM, pot genera venituri pentru cei implicați și bugete, crea avantaje de natură socială, cum sunt locurile de muncă.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

Andersen, T., Jæger, B., Mishra, A., (2020), *Circularity in Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Directive. Comparison of a Manufacturer's Danish and Norwegian Operations*, Sustainability, vol. 12, no. 13.

ANPM (2023), *Raport anual privind starea mediului în România, anul 2022*, Agenția Națională pentru Protecția Mediului, București.

ANPM (2024), *Raport anual privind starea mediului în România, anul 2023*, Agenția Națională pentru Protecția Mediului, București.

ANPM, (2017) Planul National de Gestionare a Deseurilor, Agenția Națională pentru Protecția Mediului București.

Azizi, D.D.S., Hanafiah, M.M., Woon, K.S., (2023), *Material Flow Analysis in WEEE Management for Circular Economy: A Content Review on Applications, Limitations, and Future Outlook*, Sustainability, vol. 15, 3505.

Bachér, J., Yli-Rantala, E., zu Castell-Rüdenhausen, M., Mroueh, U.-M., (2017), *Future Trends in WEEE Composition and Treatment – A Review Report*, Research Report No. D2.3-2 & D4.2-6, CLIC Innovation Oy, Helsinki, Finland.

Baldé, C.P., Forti, V., Gray, V., Kuehr, R., Stegmann, P., (2017), *The Global E-waste Monitor – 2017: Quantities, flows and resources*, United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA).

Baldé, C.P., Iattoni, G., Xu, C.T.Y., (2022), *Update of WEEE Collection Rates, Targets, Flows, and Hoarding – 2021 in the EU-27, United Kingdom, Norway, Switzerland, and Iceland*, United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), Bonn, Germany, no. Issue.

Baldé, C.P., Kuehr, R., Blumenthal, K., Fondeur, G.S., Kern, M., Micheli, P., Magpantay, E., Huisman, J., (2015), *E-Waste Statistics: Guidelines on Classifications, Reporting and Indicators*, UNU, IAS - SCYCLE, Bonn, Germany.

Baldé, C.P., Wagner, M., Iattoni, G., Kuehr, R., (2020), *In-depth Review of the WEEE Collection Rates and Targets in the EU-28, Norway, Switzerland, and Iceland*, United Nations University (UNU) / United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosting the SCYCLE Programme, Bonn, Germany.

Brazier, J., Prasetyo, J., (2022), *Robotic Solution for the Automation of E-waste Recycling*, Journal of Applied Science and Advanced Engineering, vol. 1, pp. 11-17.

Boldoczki, S., Thorenz, A., Tuma, A., (2019), *The environmental impacts of preparation for reuse: a case study of WEEE reuse in Germany*, Journal of Cleaner Production, vol. 252, 119736.

Butturi, M.A., Marinelli, S., Gamberini, R., Rimini, B., (2020), *Ecotoxicity of Plastics from Informal Waste Electric and Electronic Treatment and Recycling*, Toxics, vol. 8, no. 99.

Chen, X., Li, J., (2019), *Study on WEEE Collection and Recycling Scheme in Typical Asia-Pacific Countries*, Environmental Engineering and Management Journal, vol. 18, no. 7, pp. 1487-1495.

Ciocioiu, C.N., Dobrea, C., Târțiu, V., (2011), *The role of consumer behavior in e-waste management system in Romania*, Review of International Comparative Management, vol. 1, pp. 208-214.

Ciocioiu, C.N., Târțiu, V., (2012), *The role of informal sector within WEEE management systems: a Romania perspective*, Theoretical and Empirical Researches in Urban Management, vol. 7, no. 1, pp. 27-38.

Colesca, S.E., Popescu, M.L., (2013), *Managing waste electrical and electronic equipment in Romania: Comparative analysis with other countries in Europe*, Proceedings of the 7th International Management Conference “New Management for the New Economy”, pp. 704-712, 7-8 noiembrie 2013, București, România.

Comisia Europeană, (2017), *Regulamentul de Punere în Aplicare (UE) 2017/699 al Comisiei din 18 aprilie 2017 de stabilire a metodologiei comune pentru calcularea greutateii echipamentelor electrice și electronice introduse pe piață în fiecare stat membru și a*

cantității de deșeuri de echipamente electrice și electronice generate în fiecare stat membru, Jurnalul Oficial al Uniunii Europene,

De Felice, F., Petrillo, A., Autorino, C., Carlomusto, A., (2013), *Sustainable Decision-Making Model Based on Analytical Hierarchy Process and SWOT Analysis: "S-AHP" Model*, Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process.

De Meester, S., Nachtergaele, P., Debaveye, S., Vos, P., Dewulf, J., (2019), *Using material flow analysis and life cycle assessment in decision support: A case study on WEEE valorization in Belgium*, Resources Conservation and Recycling, vol. 142, pp. 1-9.

de Oliveira Neto, J. F., Candido, L. A., de Freitas Dourado, A. B., Santos, S. M., Florencio, L., (2022), *Waste of electrical and electronic equipment management from the perspective of a circular economy: A review*, Waste Management & Research, vol. 41, no. 4, pp. 760-780.

Dieste M, Viagi A. F., Panizzolo R, and Biazzo S., (2017), *A Comparison of Different Models for Collection of WEEE in Europe*, International Journal of Environmental Science and Development, Vol. 8, No. 8.

DIGITALEUROPE, (2024), *Masters of Digital 2024*, disponibil la: <https://www.digitaleurope.org/events/masters-of-digital-2024/>.

Directive 2011/65/EU of the European Parliament and of the Council of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment.

Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE).

e-Circular, (2024), *Managementul Deșeurilor*, vol. 42, no. Issue

Ecotic and GBD Research, (2016), *Attitudes and habits related to waste electrical and electronic equipment (WEEE) recycling*.

Ecotic and GBD Research, (2022), *Obiceiurile populației României cu privire la echipamentele electrice de mici dimensiuni*.

Ecotic, and UN University (2015), *Cuantificarea Deseurilor de Echipamente Electrice si Electronice generate in Romania* (engl. *Quantify Waste of Electric and Electronic Equipment in Romania*).

Ecotic, GBD Research, (2016), *Evoluție pozitivă a gradului de conștientizare față de deșeurile electrice* (în engleză: *Awareness increase trend towards waste electrical and electronic equipment (WEEE) recycling*).

Ecotic, Sofies & Institutul de Cercetări în Economie Națională, (2019), *Cuantificarea deșeurilor de echipamente electrice și electronice (DEEE) în România*.

Elia, V., Gnoni, M.G., Tornese, F., (2018), *Improving logistic efficiency of WEEE collection through dynamic scheduling using simulation modeling*, Waste Management, vol. 72, pp. 78-86.

Elia, V., Gnoni, M.G., Tornese, F., (2019), *Designing a sustainable dynamic collection service for WEEE: an economic and environmental analysis through simulation*, Waste Management & Research, vol. 37, no. 4, pp. 402-411.

European Commission (2020). A new Circular Economy Action Plan – For a cleaner and more competitive Europe. Bruxelles.

European Commission, (2024), *Manual for the use of the WEEE calculation tool*.

Forti, V., Baldé, C.P., Kuehr, R., (2018), *E-waste statistics. Guidelines on classification, reporting and indicators*, ESCAP, ESCWA, ITU, OECD, UNCTAD, UNECA, Eurostat, UNEP/SBC, UNU, no. Issue, p. 37.

Forti, V., Baldé, C.P., Kuehr, R., Bel, G., (2020), *The Global E-waste Monitor 2020. Quantities, flows, and the circular economy potential*, UNU/UNITAR and ITU, no. Issue

Gavrilescu, D., **Enache, A.**, Ibănescu, D., Teodosiu, C., Fiore, S., (2021), *Sustainability assessment of waste electric and electronic equipment management systems: Development and validation of the SUSTWEEE methodology*, Journal of Cleaner Production, vol. 306, 127214.

Ghiga, C.S., (2023), *Modele de management și alternative de valorificare durabilă a deșeurilor de echipamente electrice și electronice* - teză de doctorat.

Ghiga, S.C., Simion, I.M., Filote, C., Rosca, M., Hlihor, R.M., Gavrilăscu, M., (2023), *Comparative Analysis of Three WEEE Management Scenarios Based on LCA Methodology: Case Study in the Municipality of Iasi, Romania*, Processes, vol. 11, no. 5.

Ghisellini, P., Passaro, R., Ulgiati, S., (2023), *Environmental and Social Life Cycle Assessment of Waste Electrical and Electronic Equipment Management in Italy According to EU Directives*, Environments, vol. 10, 106.

Goosey, E., Goosey, M., (2019), *The materials of waste electrical and electronic equipment*, în Goodship, V., Stevels, A. (Eds.), *Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Handbook (2nd ed., pp. 231–262)*, Woodhead Publishing.

Gürel, E., Tat, M., (2017), *SWOT Analysis: A Theoretical Review*, Journal of International Social Research, vol. 10, no. 51, pp. 994-1006.

Helena, N.-P., (2022), *Global e-waste flows monitor*, Waste Management World, Disponibil la: <https://waste-management-world.com/materials/global-e-waste-flows-monitor/>

Hill, T., Westbrook, R., (1997), *SWOT Analysis: It's Time for a Product Recall*, Long Range Planning, vol. 30, no. 1, pp. 46-52.

Iannicelli Zubiani, E.M., Cristiani, C., Dotelli, G., Stampino, P.G., Pelosato, R., (2015), *Recovery of rare earths and precious metals from waste electrical and electronic equipment by acid leaching and immobilized chelating agents*, Chemical Engineering Transactions, vol. 43, pp. 2413–2418.

Ibanescu, D., Cailean, D. (Gavrilescu), Teodosiu, C., Fiore, S., (2018), *Assessment of the waste electrical and electronic equipment management systems profile and sustainability in developed and developing European Union countries*, Waste Management, vol. 73, pp. 39-53.

Institute of Environmental Sciences (CML), (n.d.), *Advancing Industrial Ecology and Environmental Biology Through Quantitative Research*, <https://www.universiteitleiden.nl/en/science/environmental-sciences>.

Laura, M., (2018), *WEEE management in Romania in the context of the European waste management policy*, The Journal Contemporary Economy, vol. 3, no. 3, pp. 30-39.

Laurel, T., (2023), *Environmental, Social, and Governance (ESG), Explained*, Investopedia. disponibil la: <https://www.investopedia.com/terms/e/environmental-social-and-governance-esg.asp>

LCIA: the ReCiPe model, <https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe>

Liu, X., Lu, X.Y., Feng, Y.H., Zhang, L., Yuan, Z.W., (2022), *Recycled WEEE plastics in China: Generation trend and environmental impacts*, Resources Conservation and Recycling, vol. 177.

Magalini, F., Huisman, J., (2018), *WEEE Recycling Economics - The Shortcomings of the Current Business Model*, Technical Report, p. 12.

Magalini, F., Thiebaud, E., Kaddouh, S., (2019), *Quantifying WEEE in Romania 2019 vs 2015*.

Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor (MMA), (2022), *Strategia Națională pentru Gestionarea Deșeurilor 2021-2027*.

Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor MMA (2023), *Planul de acțiune pentru Strategia Națională privind Economia Circulară*. București: Ministerul Mediului.

Omar, O.S., (2024), *Urban mining of e-waste management globally: Literature review*, Cleaner Waste Systems, vol. 9, 100162, ISSN 2772-9125..

ORDONANȚĂ DE URGENȚĂ Nr. 5 din 2 aprilie 2015 privind deșeurile de echipamente electrice și electronice.

Ordonanța de Urgență nr. 92/2021 privind regimul deșeurilor, Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 820/2021.

Păceșilă, M., Ciocoiu, C.N., Colesca, S.E., Burcea, G., (2016), *Current trends in WEEE management in Romania*, Theoretical and Empirical Researches in Urban Management, vol. 11, no. 4, pp. 46-59.

Parajuly, K., Habib, K., Liu, G., (2017), *Waste electrical and electronic equipment (WEEE) in Denmark: Flows, quantities and management*, Resources Conservation and Recycling, vol. 123, pp. 85-92.

Parajuly, K., Wenzel, H., (2017), *Potential for circular economy in household WEEE management*, Journal of Cleaner Production, vol. 151, pp. 272-285.

Popescu, M.L., Colesca, S., Ciocoiu, C.N., (2014), *Waste electrical and electronic equipment management in two EU developing countries: Romania and Bulgaria*, Proceedings of the 8th International Days of Statistics and Economics Conference, 11-13 September, pp. 1218-1229, Melandrium, Prague, CZ.

ReCiPe, <https://pre-sustainability.com/articles/recipe/>

Recycling rate of waste of electrical and electronic equipment (WEEE) separately collected, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cei_wm060/default/table?lang=en

Salhofer, S., Steuer, B., Ramusch, R., Beigl, P., (2016), *WEEE management in Europe and China – a comparison*, Waste Management, vol. 57, pp. 27-35.

Shittu, O.S., Williams, I.D., Shaw, P.J., (2021), *Global E-waste Management: Can WEEE Make a Difference? A Review of E-waste Trends, Legislation, Contemporary Issues and Future Challenges*, Waste Management, vol. 120, pp. 549–563.

Sima, E., (2017), *Materiale compozite – necesitate și provocare în contextul dezvoltării durabile*, Buletinul AGIR, vol. 4, pp. 143-146.

Strategia Națională privind Economia Circulară (SNEC), (2022) adoptată prin Hotărârea Guvernului nr. 1172/2022.

Talpalaru A., Gavrilescu D*, Teodosiu C.*.2025. End of Life Management Sustainability of Waste Electrical and Electronic Equipment Generated in Romania, Trimis spre publicare, *Sustainability*, February 2025

U.S. Environmental Protection Agency, <https://www.epa.gov/home>

UNEP, (2022), *E-Waste and the Circular Economy: Policy Recommendations for Emerging Markets*.

UNITAR, (2024), *WEEE Calculation Tool Manual*.

United States Environmental Protection Agency (EPA), (2024), *Waste Reduction Model (WARM) Version 16: User's Guide*.

United States Environmental Protection Agency (EPA), Office of Resource Conservation and Recovery, (2020), *Documentation for Greenhouse Gas Emission and Energy Factors Used in the Waste Reduction Model (WARM), Version 15*, Prepared by ICF for the U.S. Environmental Protection Agency.

United States Environmental Protection Agency, (2020), *Recycling Economic Information (REI) Report*.

WEEE Forum, (2020), *An Enhanced Definition of EPR and the Role of All Actors: A WEEE Forum Vision for the Concept of WEEE Available for Collection and an All Actors Approach to Improve Official WEEE Collection and Treatment*.

WEELABEX, (2011), *WEEE LABEL of EXcellence - Standard de calitate pentru gestionarea DEEE*, WEELABEX Organisation.

Wilson, D.C., Rodic, L., Cowing, M.J., Velis, C.A., Whiteman, A.D., Scheinberg, A., Vilches, R., Masterson, D., Stretz, J., Oelz, B., (2015), 'Wasteaware' benchmark indicators for integrated sustainable waste management in cities, *Waste Management*, vol. 35, pp. 329-342.

Ylä-Mella, J., Poikela, K., Lehtinen, U., Keiski, R.L., Pongrácz, E., (2014), *Implementation of Waste Electrical and Electronic Equipment Directive in Finland: Evaluation of the collection network and challenges of the effective WEEE management*, *Resources Conservation and Recycling*, vol. 86, pp. 38-46.

Zacho, K.O., Bundgaard, A.M., Mosgaard, M.A., (2018), *Constraints and opportunities for integrating preparation for reuse in the Danish WEEE management system*, *Resources Conservation and Recycling*, vol. 138, pp. 13-23.

Zaman, A.U., Lehmann, S., (2013), *The zero waste index: a performance measurement tool for waste management systems in a 'zero waste city'*, *Journal of Cleaner Production*, vol. 50, pp. 123-132.

ACTIVITATEA ȘTIINȚIFICĂ

Articole publicate în reviste de specialitate cu factor de impact

1. Gavrilescu D., **Enache A.**, Ibănescu D., Teodosiu C.*, Fiore S.*. 2021. Sustainability assessment of waste electric and electronic equipment management systems: development and validation of the SUSTWEEE methodology, *Journal of Cleaner Production*, 306, 127214, ISI Web of Science, FI=9.8 (Q1), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127214>

2. **Enache Talpalaru A.**, Gavrilesu D*, Teodosiu C.* 2025. End of Life Management Sustainability of Waste Electrical and Electronic Equipment Generated in Romania, *Sustainability*, 17(9), 4105, ISI Web of Science, FI= 3,3 (Q2), DOI: <https://doi.org/10.3390/su17094105>

Participări la conferințe

Postere

Gavrilescu D., Barjoveanu G., Apopei P., Gherghel A., **Talpalaru A.**, Teodosiu C., Environmental impact assesment of gaseous emissions in laying hens manure management, ICEEM12, Septembrie 2023, Iași

Gavrilescu D., Barjoveanu G., Teodosiu C., Apopei P., **Talpalaru A.**, Preliminary performance evaluation for chicken manure treatment and valorization options, 1st International Conference on Sustainable Chemical and Environmental Engineering (SUSTENG), 31.08.-04.09.2022, Rethymno, Crete, Greece

Comunicare

Talpalaru A., Gavrilesu D., Teodosiu C., 2021, Trends in municipal solid waste management in European Union, 4th International Conference of the Doctoral School "Gheorghe Asachi" Technical University of Iasi, 19 – 21 Mai, 2021, Iasi, Romania

Gavrilescu D., **Talpalaru A.**, Apopei P., Bârjoveanu G., Teodosiu C., Valorisation of biodegradable waste from intensive rearing of poultry for material and energy recovery: process modelling and economic analysis, 6th International Conference on Chemical Engineering Innovative Materials and Processes for a Sustainable Development (ICCE6), October 5 – 7, 2022 – online

Rezumate publicate in volumele conferintelor internationale:

Gavrilescu D., Barjoveanu G., Teodosiu C., Apopei P., **Talpalaru A.** Environmental impact assesment of gaseous emissions in laying hens manure management, ICEEM12, Book of Abstracts, 227-228, ISBN 2457-7049

Activitate științifică internațională:

- Participări la conferințe internaționale

1. Workshop /Evenimentul de multiplicare – ME 1, cu titlul "Practici durabile în managementul mediului și al deșeurilor, în comunitățile rurale", în cadrul proiectului "Educație pentru protecția mediului – Resurse educaționale deschise pentru cetățenii din comunitățile rurale" (Environmental Education – OERs for Rural Citizens (EnvEdu-OERs), cod proiect 19-COP-0038, 27 mai 2022, Iasi, Romania

2. 1st International Conference on Sustainable Chemical and Environmental Engineering (SUSTENG) Rethymno, Crete, Greece, lucrarea a fost prezentată de un alt coautor

3. 6th International Conference on Chemical Engineering Innovative Materials and Processes for a Sustainable Development (ICCE6), October 5 – 7, 2022 – online