



UNIVERSITATEA NAȚIONALĂ DE ȘTIINȚĂ ȘI
TEHNOLOGIE POLITEHNICĂ BUCUREȘTI



ȘCOALA DOCTORALĂ DE INGINERIE ELECTRICĂ

TEZĂ DE DOCTORAT

IMPACTUL ASUPRA MEDIULUI PRODUS DE DEȘEURILE
ELECTRICE ȘI ELECTRONICE

REZUMAT

Coordonator științific

Prof. Dr. Ing. Mihai-Octavian POPESCU

Doctorand:

Ing. Cătălin PETCU

BUCUREȘTI

2024

CUPRINS REZUMAT

Tema și scopul lucrării	3
Structura lucrării.....	3
Stadiul actual al cunoașterii.....	3
Tehnologii de reciclare	4
Influența echipamentelor electrice și electronice asupra mediului.....	4
Managementul operațional al gestionării echipamentelor electrice și electronice	5
Instrumente utilizate pentru estimarea gradului de colectare al echipamentelor electrice și electronice ..	5
Dezvoltarea unei metodologii de calcul privind gradul de colectare și reciclare al echipamentelor electrice și electronice	5
Valoarea economică a instrumentului dezvoltat.....	16
Perspectivă sustenabilă în ceea ce privește colectarea și reciclarea deșeurilor de echipamente electrice și electronice.....	17
Măsuri privind creșterea gradului de colectare și reciclare a deșeurilor de echipamente electrice și electronice	18
Concluzii generale.....	19
Contribuții originale	20
Perspectivă de dezvoltare ulterioară.....	20
Bibliografie.....	21
Listă articole publicate	24

Tema și scopul lucrării

Teza de doctorat intitulată “Impactul asupra mediului produs de deșeurile electrice și electronice” se înscrie în preocupările de cercetare actuale. Scopul tezei de doctorat este dezvoltarea unui instrument ușor de aplicat care să poată realiza prognoza anuală pentru cantitatea de deșeuri ce se dorește a se colecta.

Teza a fost elaborată în cadrul Facultății de Inginerie Electrică din cadrul Universității Naționale de Știință și Tehnologie Politehnica București și conține contribuții originale în domeniul modului de raportare a cantității de deșeuri provenite din echipamentele electrice și electronice.

Structura lucrării

Teza este structurată pe nouă capitole și anexe și are un număr total de 158 pagini redactate la 1 rând. De asemenea, teza cuprinde 89 tabele și 34 figuri. La sfârșitul lucrării sunt prezentate 55 referințe bibliografice în ordinea citării lor în text.

În prima parte a tezei (capitolul 1 până la capitolul 4) s-a prezentat situația actuală și necesitatea dezvoltării unui instrument de raportare în ceea ce privește cantitatea de echipamente electrice și electronice puse pe piață sau a deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice colectate.

Partea a doua a tezei (capitolul 5 până la capitolul 9) este structurată pe patru direcții: prezentarea modelului european de raportare, prezentarea instrumentului dezvoltat ce are la bază lanțul Markov, aplicarea instrumentului dezvoltat pentru perioada 2022-2032 atât pentru cantitatea de echipamente electrice și electronice puse pe piață cât și pentru cantitatea de deșeuri provenite din echipamentele electrice și electronice colectate, integrarea modelului dezvoltat în modelul european și valoarea adăugată a instrumentului cu concluziile aferente.

Ultima parte a tezei cuprinde anexele și bibliografia. Anexele sunt în număr de patru: Anexa 1- Centralizarea informațiilor privind echipamentele electrice și electronice puse pe piață în perioadei 2024-2032, Anexa 2- Centralizarea informațiilor privind deșeurile din echipamentele electrice și electronice colectate în perioada 2024-2032, Anexa 3-Listă tabele și Anexa 4- Lista figurilor.

Stadiul actual al cunoașterii

Capitolul I intitulat “Stadiul actual al cunoașterii” prezintă situația actuală în ceea ce privește echipamentele electrice și electronice puse pe piață (EEE-uri) și deșeurile colectate din aceste echipamente (DEEE-uri). Astfel că, anual, milioane de EEE-uri devin deșeuri pe măsură ce durata lor de viață se finalizează. Aceste echipamente dacă nu sunt reciclate, tratate și eliminate corespunzător pot devenii o amenințare pentru mediu și sănătatea umană.

Creșterea producției de bunuri și a consumului a condus la o problemă majoră în ceea ce privește generarea deșeurilor care va devenii una dintre provocările majore ale societății contemporane. În contextul acestei creșteri accentuate a cantității de deșeuri provenite din echipamentele electrice și electronice, numeroase organizații internaționale au alocat fonduri pentru a realiza analize și strategii în vederea dezvoltării unor instrumente susținute în ceea ce privește creșterea gradului de colectare și reciclare a acestui tip de deșeuri.

Uniunea Europeană, prin Directiva 2002/96/CE a impus statelor membre să atingă o țintă de colectare de 4 kg de DEEE din gospodării, pe cap de locuitor până în data de 31 decembrie 2006 [9]. Noua Directivă din 2012 include un număr de modificări importante și fundamentale privind țintele de colectare pentru toate statele membre. Astfel, țintele de colectare sunt legate de condițiile de piață specifice din fiecare stat membru. După o perioadă inițială de tranziție, statul membru va putea opta pentru exprimarea țintei de colectare sub forma de "procent din cantitatea medie de EEE-uri introduse pe piață în ultimii 3 ani" sau "procent de DEEE-urile generate".

Prin Directiva DEEE (2012/19/UE), care a intrat în vigoare la 13 august 2012, s-au introdus noi obiective din punctul de vedere al creșterii gradului de colectare în ceea ce privește cantitatea de deșuri provenite din echipamentele electrice și electronice colectate.

În concordanță cu derogarea prevăzută la articolul 7 punctul 3 din Directiva DEEE, au fost zece state membre ale Uniunii Europene care au putut hotărî să amâne atingerea obiectivului de colectare până la 14 august 2021. Aceste state au fost: Bulgaria, Cehia, Letonia, Lituania, Ungaria, Malta, Polonia, România, Slovenia și Slovacia.

În cadrul “Raportului privind starea mediului în România”, raport realizat pentru anul 2022, și elaborat de către Agenția Națională pentru Protecția Mediului, datele preliminare privind cantitatea de DEEE-uri colectate la nivelul anului 2021 au fost de 89.510,172 tone.

Obiectivele minime de colectare a DEEE-urilor prevăzute de legislația națională dezvoltată pe baza legislației europene, au variat în funcție de perioadă, astfel [3,4,9]:

- pentru perioada 2008 - 2015, 4 kg deșuri/locuitor/an;
- pentru anul 2016, cel puțin 40% din media cantităților de EEE-uri introduse pe piață în ultimii 3 ani;
- în perioada 2017 – 2020, 45% din media cantităților de EEE-uri introduse pe piață în ultimii 3 ani;
- din 2021, 65% din media cantităților de EEE-uri introduse pe piață în ultimii 3 ani;

Tehnologii de reciclare

Capitolul II “Tehnologii de reciclare” prezintă tehnologiile actuale de reciclare a metalelor/ nemetalelor provenite din deșeurile electrice și electronice și care pun accent pe valoarea economică, pe impactul redus asupra mediului și pe puterea de comercializare a lor.

Metodele de tratare sau tehnicile de reciclare a deșeurilor, pot fi clasificate astfel:

- a. tehnologii de reciclare convenționale (printre acestea se pot enumera: tratare directă - depozitare și incinerare, separare fizico-mecanică și chimică);
- b. tehnologii de reciclare avansate (printre acestea se pot enumera: pirometalurgie, hidrometalurgie, biometalurgie, electrometalurgia, metalurgia în vid, fluidele supercritice, recuperarea completă a fracției nemetalice etc.).

Influența echipamentelor electrice și electronice asupra mediului

Capitolul III “Influența echipamentelor electrice și electronice asupra mediului” prezintă impactul asupra mediului al echipamentelor electrice și electronice atât în procesul de fabricație, cât și în procesul de comercializare al echipamentelor electrice și electronice, recuperare și reciclarea deșeurilor provenite din aceste echipamente. Astfel, în cadrul acestui capitol am analizat instrumentele ce se pot aplica pentru a putea reduce impactul asupra mediului.

Implementarea unui sistem de management de mediu (SMM) în conformitate cu cerințele standardului ISO 14001:2015 în cadrul companiilor fie ele producătoare sau cele care comercializează aceste produse, este un instrument eficient în managementul organizației. Alte standarde internaționale care conduc la gestionarea elementelor ce au impact asupra mediului și care se produc atât în procesul de fabricație al produselor electrice și electronice cât și în procesul de comercializare și ulterior colectare și reciclare sunt standardele care arată orientările în ceea ce privește gazele cu efect de seră. Aceste standarde sunt: “ISO14064-1 Gaze cu efect de seră – Partea 1: Specificație cu orientări la nivel de organizație pentru cuantificarea și raportarea emisiilor și absorbțiilor de gaze cu efect de seră” și “ISO14064-3 Gaze cu efect de seră – Partea 3: Specificație cu orientări pentru verificarea și validarea declarațiilor privind gazele cu efect de seră”. De asemenea documentul de referință ce urmărește aceeași direcție este și Protocolul GES.

Managementul operațional al gestionării echipamentelor electrice și electronice

Capitolul IV. “Managementul operațional al gestionării echipamentelor electrice și electronice” prezintă conceptul economiei circulare în contextul reciclării deșeurilor și recuperării componentelor reutilizabile din deșeurile electrice și electronice. Astfel, s-a pus accent pe nevoia de a se dezvolta un proces sustenabil în ceea ce privește o economie circulară durabilă.

Înlocuirea modelului tradițional de dezvoltare economică cu economia circulară conduce implicit și la nevoia de a dezvolta sisteme durabile și ușor de gestionat. Trecerea de la economia tradițională care pune accent pe consumul de resurse și generarea de deșuri la o economie sustenabilă presupune efort din partea tuturor statelor lumii. O abordare unitară este necesară și pentru industria deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice, în contextul în care aceste tipuri de deșuri conțin substanțe toxice dar și metale prețioase.

Economia circulară a primit o atenție din ce în ce mai mare din partea factorilor de decizie la nivel global, ca un concept care poate sprijini obiectivele de reducere a consumului excesiv de resurse naturale, oferind în același timp beneficii economice [36].

Instrumente utilizate pentru estimarea gradului de colectare al echipamentelor electrice și electronice

Capitolul V. “Instrumente utilizate pentru estimarea gradului de colectare al echipamentelor electrice și electronice” abordează Regulamentul de punere în aplicare (UE) 2017/699 al Comisiei din 18 aprilie 2017 ce a stabilit o metodologie comună de calcul a cantității de echipamente electrice și electronice introduse pe piața fiecărui stat membru [39].

Din nevoia de a implementa Directiva 2012/19/UE în cât mai bune condiții și în conformitate cu regulamentul de implementare al ei, Comisia Europeană a pus la dispoziția statelor membre un instrument comun pentru calculul cantității de deșuri electrice și electronice puse pe piață, instrument ce se regăsește pentru fiecare stat membru pe site-ul Uniunii Europene [3, 39,40].

Ca orice instrument și cel prezentat anterior poate să fie îmbunătățit. O previziune cât mai realistă a cantității de echipamente electrice și electronice puse pe piață poate să conducă la dezvoltarea unei metodologii care să poată fi mai ușor de aplicat.

În România sunt probleme serioase cu privire la gradul de colectare și implicit la reciclarea deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice. Aceste probleme sunt determinate de provocările cu care se confruntă piața românească. Astfel, nu se poate calcula o țintă clară de colectare deoarece nu în toate cazurile de achiziție de echipamente electrice și electronice noi se realizează și debarasarea de cele vechi, existența unor stocuri mari de echipamente electrice și electronice în gospodării și nu în ultimul rând faptul că de multe ori echipamentele electrice și electronice vechi sunt revândute sau cedate. În acest sens toate metodologiile dezvoltate s-au bazat cel mai mult pe datele colectate din vânzarea de echipamente electrice și electronice.

Dezvoltarea unei metodologii de calcul privind gradul de colectare și reciclare al echipamentelor electrice și electronice

Capitolul VI. “Dezvoltarea unei metodologii de calcul privind gradul de colectare și reciclare al echipamentelor electrice și electronice”, prezintă în prima parte instrumentul matematic dezvoltat ce are la bază procesele Markov și ulterior aplicarea acest instrument matematic.

- Dezvoltarea unui instrument matematic pentru calculul gradului de colectare și reciclare al echipamentelor electrice și electronice

Noțiunea de lanț în sens curent indică o continuitate, o înlănțuire sau o succesiune de stări. Această noțiune este utilizată și în considerarea unei succesiuni de stări aleatoare sau de evenimente stocastice independente, ceea ce arată că lanțul reprezintă un șir de variabile aleatoare.

Astfel spus, modelul matematic propus, se bazează pe dezvoltarea unei matrici de probabilitate de tranziție care va fi utilizată pentru a furniza estimări ale probabilității în ceea ce privește cantitatea din fiecare categorie de echipamente electrice și electronice puse pe piață sau de deșuri provenite din echipamente electrice și electronice colectate.

Aplicând model Markov și plecând de la ipoteza că există un proces decizional Markov, care se dezvoltă în n etape, iar deciziile sunt luate în fiecare etapă și p_{ij} reprezintă matricea de trecere, presupunem că în fiecare etapă are loc o schimbare de stare, o schimbare care depinde de starea inițială, starea finală și decizia luată. Presupunând că starea inițială a sistemului este cunoscută, problema este alegerea unei politici optime în domeniul deșeurilor provenite din echipamente electrice și electronice colectate.

Valorile de intrare din acest lanț Markov sunt informațiile preluate de la Agenția Națională pentru Protecția Mediului în ceea ce privește cantitatea de echipamente electrice și electronice puse pe piață și cantitatea de deșuri provenite din echipamentele electrice și electronice colectate.

Modelul realizat pentru a estima cantitatea de echipamentele electrice și electronice introduse pe piață cât și cantitatea de deșuri provenite din echipamente electrice și electronice colectate are la bază lanțul Markov.

Modelul este structurat pe două etape:

Etapa 1: Stabilirea valorii de referință anuală

Etapă ce se realizează la începutul anului calendaristic și care ajută la stabilirea unor ținte reale cu privire la cantitatea de echipamentele electrice și electronice introduse pe piață și a gradul de colectare al deșeurilor provenite din echipamente electrice și electronice.

Etapa 2: Realizarea estimării pentru anul analizat:

În cadrul acestei etape se va folosi procesul Markov pentru a estima cantitatea de echipamentele electrice și electronice introdusă pe piață și cantitatea de deșuri colectate din aceste tipuri de echipamente.

Datorită faptului că procesele de tip Markov sunt procese fără memorie, întreaga evoluție a sistemului este redată de ultimul moment observat. Astfel se vor defini:

- Stările sistemului și ale componentelor;
- Se va stabili structura logică a sistemului;
- Se stabilesc probabilitățile de tranziție de la o stare la alta;
- Se obțin soluțiile în funcții de timp, acestea reprezentând probabilitățile de stare ale sistemului;

Datorită faptului că se va realiza etapa 1, se va putea face o prognoză clară cu privire la cantitatea de echipamente electrice și electronice introdusă pe piață și cantitatea de deșuri provenite din echipamente electrice și electronice colectate de la începutul anului. Astfel, pentru cantitatea de deșuri provenite din echipamente electrice și electronice colectate se va putea aplica procentul de recuperare de 65% din cantitatea de echipamente electrice și electronice introdusă pe piață (media anuală din ultimii 3 ani).

Datorită faptului că fiecare țară are specificul ei, integrarea procesului Markov în metodologiile de calcul dezvoltate ce respectă cerințele “Regulamentului de punere în aplicare (UE)2017/699” presupune dezvoltarea unui sistem mai previzibil pe baza căruia să se poată dezvolta și implementa politici publice în domeniul mediului [39].

Predictibilitatea este un element esențial în procesul de colectare și reciclare al deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice. Țări, cum este România, trebuie

să își dezvolte sisteme prin intermediul cărora să poată ajunge la un grad de colectare și reciclare similar cu țările performante datorită capacității lor de a colecta și recicla.

Modelul propus prin prezenta lucrare se integrează perfect cu Directiva Europeană și pune accent pe istoria imediată a fiecărui actor implicat în procesul de producere, comercializare, colectare și reciclare a echipamentelor electrice și electronice.

Integrarea prezentului model în instrumental european de raportare (e-tools) are la bază Repartiția Weibull, care este una din cele mai utilizate legii în practică deoarece poate modela fenomene de forme diferite [43,50,51].

Integrarea valorilor estimate prin modelul propus în instrumentul european este ușor de realizat și poate conduce la creșterea gradului de colectare, reciclare și implicit va ajuta la atingerea țintelor propuse conform legislației în vigoare. Datorită acestui model se va realiza o previziune clară în ceea ce privește cantitatea de echipamente electrice și electronice puse pe piață și a deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice colectate. De asemenea, se va ști care sunt așteptările de la fiecare parte interesată în procesul de producere, comercializare și colectare al acestui tip de echipamente.

Pentru a avea o bază reală în procesul de estimare al cantităților de echipamente electrice și electronice și deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice colectate în perioada 2022-2032, am utilizat date oficiale de la Agenția Națională pentru Protecția Mediului. Potrivit Raportului Agenției Naționale pentru Protecția Mediului cantitatea de echipamente electrice și electronice introduse pe piață în perioada 2012-2018 pentru fiecare categorii de echipamente electrice și electronice și cantitatea totală este redată în tabelul 1 [52,53]:

Tabelul nr. 1: Cantitatea de echipamente electrice și electronice introduce pe piață pe fiecare categorie și totalul lor anual

Categorie	Cantități de EEE (tone)						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
“1-Aparate de uz casnic de mari dimensiuni”	74.755,61	81.810,67	84.995,17	103.475,36	129.548,53	140.581,085	146.794,551
“2-Aparate de uz casnic de mici dimensiuni”	14.641,71	13.655,46	10.466,12	14.667,61	16.224,62	18.467,346	22.675,785
“3-Echipamente informatice și de telecomunicații”	12.423,31	13.759,41	13.400,46	13469,45	13.231,54	15.230,911	16.031,34
“4-Echipamente de larg consum”	12.267,52	11.704,91	14.832,53	15.236,29	17.594,37	27.702,545	26.189,225
“5-Echipamente de iluminat”	6.052,09	6.363,55	5.350,9	6.010,49	7.042,15	9.084,300	13.666,494
“6-Unelte electrice și electronice”	7.556,19	7.339,87	7.727,25	9.654,61	11.108,44	18.030,341	23.935,021
“7-Jucării, echipamente sportive și de agrement”	812,9	654,42	999,47	1.616,51	2.150,54	3.489,874	4.718,887
“8-Dispozitive medicale (cu excepția tuturor produselor implantate și infectate)”	423,57	416,79	394,51	673,90	564,86	889,331	1.430,596

Impactul asupra mediului produs de deșeurile electrice și electronice

“9-Instrumente de supraveghere și control”	1.245,3	750,14	938,16	2.566,35	2.126,21	3.343,294	4.539,39
“10-Distribuitoare automate”	369,85	348,97	482,54	808,83	1.093,56	1.225,335	1.169,184
TOTAL	130.548,1	136.804,2	139.587,1	168.179,40	200.684,82	238.044,36	261.150,47

Sursa: Agenția Națională pentru Protecția Mediului [52,53]

Așa cum am menționat anterior, începând cu anul 2019 de la cele 10 categorii de echipamente electrice și electronice s-a trecut la 6 categorii conform Directivei 2012/19 / UE [3], transpusă în legislația românească prin “O.U.G. nr. 5/2015” privind deșeurile provenite din echipamentele electrice și electronice [4].

➤ Aplicarea instrumentului dezvoltat

În vederea aplicării modelului descris anterior în procesul de simulare pentru a stabili valorile de echipamente electrice și electronice puse pe piață în perioada 2022-2032, am utilizat următoarele ipoteze de lucru:

- Valorile de referință pentru cantitatea de echipamente electrice și electronice puse pe piață sunt cele aferente perioadei 2019-2021, așa cum sunt în “Raport anual privind starea mediului în România, anul 2022”, document realizat de Agenția Națională Pentru Protecția Mediului [54].
- Valorile de referință pentru cantitatea de deșuri provenite din echipamentele electrice și electronice sunt cele aferente perioadei 2019-2021, așa cum sunt în “Raport anual privind starea mediului în România, anul 2022”, document realizat de Agenția Națională Pentru Protecția Mediului [54].
- Estimările cu privire la cantitatea totală de echipamente electrice și electronice puse pe piață pentru perioada 2022-2032 se calculează ca media ultimilor trei ani. Excepție fac anii pentru care deja avem aceste informații 2019-2021.
- Estimările cu privire la cantitatea totală de deșuri provenite din echipamentele electrice și electronice colectate pentru perioada 2022-2032 se vor calcula ca un procent de 65% din media ultimilor trei ani a cantității totale de echipamente electrice și electronice puse pe piață. Astfel se respectă cerința aferentă Directivei europene 2012/19. Excepție fac anii pentru care deja avem aceste informații 2019-2021.
- Calculul cantității estimate din fiecare categorie de echipamente electrice și electronice puse pe piață în perioada 2022-2032 se face cu ajutorul lanțului Markov.
- Calculul cantității estimate din fiecare categorie de deșuri provenite din echipamentele electrice și electronice colectată în perioada 2022-2032 se face cu ajutorul lanțului Markov.
- În cadrul prezentelor simulări se va lucra cu trei zecimale datorită faptului că și în rapoartele Agenției Naționale Pentru Protecția Mediului informațiile sunt trecute tot cu trei zecimale.

În vederea realizării simulărilor s-a utilizat softul Matlab. Informațiile ce în mod normal se regăsesc sub formă matriceală au fost centralizate sub forma tabelară pentru o mai bună vizualizare a rezultatelor. În cadrul tezei, pentru anii 2022-2023 s-au realizat calculele integrale, atât pentru cantitatea de echipamente electrice și electronice puse pe piață cât și pentru cantitatea de deșuri provenite din echipamente electrice și electronice colectate. Tot pentru cei doi ani menționați anterior s-au utilizat atât forma tabelară cât și cea matriceală.

Pentru perioada 2024-2032 informațiile detaliate au fost prezentate în Anexa nr. 1 pentru echipamentele electrice și electronice puse pe piață și Anexa nr. 2, pentru cantitatea de deșuri provenite din echipamentele electrice și electronice colectate.

Aplicarea modelului Markov pentru cantitatea de echipamente electrice și electronice introduse pe piață pentru a calcula cantitățile din fiecare categorie de echipamente în anul 2022 este prezentată în continuare. Așa cum am spus anterior, aplicarea acestui instrument se realizează pe parcursul a două etape:

Etapa 1: Stabilirea valorii de referință anuală

Potrivit Agenției Naționale pentru Protecția Mediului, în perioada 2019-2021, cele șase categorii de echipamente electrice și electronice puse pe piață sunt distribuite astfel [54]:

Tabelul nr. 2 Cantitatea de EEE-uri introduse pe piață în perioada 2019-2021

Categorie	Cantități de EEE (tone)		
	2019	2020	2021
“1-Echipamente de transfer termic”	77.574,175	84.911,802	91.311,804
“2-Ecrane, monitoare și echipamente (cu o suprafață mai mare de 100 cm ^P)”	25.520,678	26.063,396	25.759,219
“3-Lămpi”	2.132,268	2.434,092	2.367,245
“4-Echipamente de mari dimensiuni, (oricare dintre dimensiunile externe mai mare de 50 cm)”	117.611,907	122.863,772	158.693,063
“5-Echipamente de mici dimensiuni (nicio dimensiune externă mai mare de 50 cm)”	57.311,506	62.672,907	75.113,020
“6-Echipamente informatice și de telecomunicații de dimensiuni mici, (nicio dimensiune externă mai mare de 50 cm)”	9.584,868	10.100,607	10.356,015
TOTAL	289.735,401	309.046,576	363.600,366

Sursa: Agenția Națională pentru Protecția Mediului [54]

Așa cum se poate observa atât din tabelul nr. 1 următoare “echipamente de mari dimensiuni”, “echipamentele de transfer termic” și “echipamentele de mici dimensiuni” au ponderea cea mai mare din cantitatea de echipamente electrice și electronice puse pe piață.

Metoda lanțului Markov folosită este una dintre cele mai accesibile și în același timp precise metode și are avantajul major că se poate aplica ușor pe o serie scurtă de date, în cazul analizat perioada de referință este de trei ani (2019-2021).

Pentru a calcula informațiile aferente anului 2022 cu privire la cantitatea totală de EEE-uri și cantitatea defalcată pentru fiecare categorie de EEE-uri puse pe piață, am ținut cont de următoarele:

- Cantitatea totală estimată pentru anul 2022 se calculează ca media ultimilor 3 ani: $(289.735,401+309.046,576+363.600,366)/3= 320.794,114$ tone.
- Cantitatea aferentă pentru fiecare categorie de EEE-uri din anul 2022 depinde de valoarea cea mai recentă din sistem. În cazul analizat valorile cele mai recente sunt cele aferente anului 2021.

Etapa 2: Realizarea estimării pentru anul analizat:

În contextul celor menționate anterior, aplicarea lanțului Markov pentru a previziona estimarea cantităților din fiecare din cele șase categorii de echipamente electrice și electronice puse pe piață pentru anul 2022 are la bază evoluția anterioară a ponderilor echipamentelor în cantitatea totală de echipamente. Ținând cont de legea probabilităților de trecere, se arată tendința prin care cantitățile din fiecare grup de produse sunt solicitate pe piață.

Plecând de la informațiile ce se regăsesc în tabelul nr. 1 am determinat structura fiecărei grupe de echipamente electrice și electronice în procente.

Tabelul nr. 3: Structura fiecărei grupe de EEE-uri (%)

Categorie EEE	2019	2020	2021
“1-Echipamente de transfer termic”	26,774%	27,475%	25,113%
“2-Ecrane, monitoare și echipamente (cu o suprafață mai mare de 100 cm ^P)”	8,808%	8,433%	7,084%
“3-Lămpi”	0,736%	0,788%	0,651%
“4-Echipamente de mari dimensiuni, (oricare dintre dimensiunile externe mai mare de 50 cm)”	40,593%	39,756%	43,645%
“5-Echipamente de mici dimensiuni (nicio dimensiune externă mai mare de 50 cm)”	19,781%	20,279%	20,658%
“6-Echipamente informatice și de telecomunicații de dimensiuni mici, (nicio dimensiune externă mai mare de 50 cm)”	3,308%	3,268%	2,848%
TOTAL	100.00%	100.00%	100.00%

Datorită faptului că la baza modelului este lanțul Markov, cantitatea de echipamente electrice și electronice puse pe piață prezentată în tabelul nr. 2 este transpusă sub formă matriceală în continuare. Astfel matricea asociată tabelului nr. 3 este următoarea:

$$A = \begin{pmatrix} 77.574,175 & 84.911,802 & 91.311,804 \\ 25.520,678 & 26.063,396 & 25.759,219 \\ 2.132,268 & 2.434,092 & 2.367,245 \\ 117.611,907 & 122.863,772 & 158.693,063 \\ 57.311,506 & 62.672,907 & 75.113,020 \\ 9.584,868 & 10.100,607 & 10.356,015 \end{pmatrix}$$

În vederea realizării estimărilor este necesar să se calculeze matricile de trece sau de tranziție de la o grupă la alta (de exemplu de la anul 2019 la anul 2020, de la anul 2020 la anul 2021). În situația analizată avem “n-1” (2 matrici) matrici de trecere sau de tranziție.

Pentru a ajunge la a avea aceste matrici se stabilesc modificările ce se produc cu trecerea de la anul 2019 la anul 2020. Aceste informații sunt prezentate în tabelul nr. 4

Tabelul nr 4: Stabilirea modificărilor ce se produc cu trecerea de la anul 2019 la anul 2020 (%)

Ani	1	2	3	4	5	6
2019	26,774%	8,808%	0,736%	40,593%	19,781%	3,308%
2020	27,475%	8,433%	0,788%	39,756%	20,279%	3,268%
Diferențe	0,701%	-0,375%	0,052%	-0,837%	0,499%	-0,040%

Din calculele anterioare se poate observa că valorile absolute ale valorilor pozitive adunate au aceeași valoare absolută ca și valorile negative adunate (-1,252=1,252).

Tabelul nr. 5: Matricea de trecere de la anul 2019 la anul 2020 (%)

Categorie	1	2	3	4	5	6
1	26,774	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,210	8,434	0,016	0,000	0,149	0,000
3	0,000	0,000	0,736	0,000	0,000	0,000
4	0,469	0,000	0,035	39,756	0,334	0,000
5	0,000	0,000	0,000	0,000	19,781	0,000
6	0,022	0,000	0,002	0,000	0,016	3,268

Traspunerea informațiilor din tabelul nr. 5 în formă matriceală are următoarea formă:

$$B = \begin{pmatrix} 26,774 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,210 & 8,434 & 0,016 & 0,000 & 0,149 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,736 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,469 & 0,000 & 0,035 & 39,756 & 0,334 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 19,781 & 0,000 \\ 0,022 & 0,000 & 0,002 & 0,000 & 0,016 & 3,268 \end{pmatrix}$$

Pentru a realiza toate trecerile în perioada analizată, în continuare se vor stabili modificările ce se produc cu trecerea de la anul 2020 la anul 2021.

Tabelul nr. 6: Stabilirea modificărilor ce se produc cu trecerea de la anul 2020 la anul 2021 (%)

Ani	1	2	3	4	5	6
2020	27.475%	8.433%	0.788%	39.756%	20.279%	3.268%
2021	25.113%	7.084%	0.651%	43.645%	20.658%	2.848%
Diferențe	-2.362%	-1.349%	-0.137%	3.889%	0.379%	-0.420%

Din calculele anterioare se poate observa că valorile absolute ale valorilor pozitive adunate au aceeași valoare absolută ca și valorile negative adunate (-4,268=4,268).

Tabelul nr. 7: Matricea de trecere de la anul 2020 la anul 2021 (%)

Categorie	1	2	3	4	5	6
1	25,113	0,000	0,000	2,153	0,210	0,000
2	0,000	7,085	0,000	1,229	0,120	0,000
3	0,000	0,000	0,651	0,124	0,012	0,000
4	0,000	0,000	0,000	39,756	0	0,000
5	0,000	0,000	0,000	0,000	20,279	0,000
6	0,000	0,000	0,000	0,383	0,037	2,848

Traspunerea informațiilor anterioare în formă matriceală:

$$C = \begin{pmatrix} 25,113 & 0,000 & 0,000 & 2,153 & 0,210 & 0,000 \\ 0,000 & 7,085 & 0,000 & 1,229 & 0,120 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,651 & 0,124 & 0,012 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 & 39,756 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 20,279 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,383 & 0,037 & 2,848 \end{pmatrix}$$

Însumând termenii celor două matrici de trecere se determină matricea trecerilor totale.

Tabelul nr 8: Matricea trecerilor totale (2019-2021)

Categorie	1	2	3	4	5	6	
1	51,887	0,000	0,000	2,153	0,210	0,000	54,250
2	0,210	15,518	0,016	1,229	0,269	0,000	17,242
3	0,000	0,000	1,387	0,124	0,012	0,000	1,524
4	0,469	0,000	0,035	79,512	0,334	0,000	80,349
5	0,000	0,000	0,000	0,000	40,060	0,000	40,060
6	0,022	0,000	0,002	0,383	0,053	6,117	6,577

Traspunerea informațiilor anterioare în formă matriceală:

$$D = \begin{pmatrix} 51,887 & 0,000 & 0,000 & 2,153 & 0,210 & 0,000 \\ 0,210 & 15,518 & 0,016 & 1,229 & 0,269 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 1,387 & 0,124 & 0,012 & 0,000 \\ 0,469 & 0,000 & 0,035 & 79,512 & 0,334 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 40,060 & 0,000 \\ 0,022 & 0,000 & 0,002 & 0,383 & 0,053 & 6,117 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 54,250 \\ 17,242 \\ 1,524 \\ 80,349 \\ 40,060 \\ 6,577 \end{pmatrix}$$

Deoarece avem matricea trecerilor totale, se poate calcula matricea probabilităților de trecere. Astfel, fiecare termen al noii matricii se calculează împărțind elementele aferente matricii trecerilor totale la totalul valorilor de pe fiecare linie a matricii trecerilor totale. Suma acestor probabilități astfel obținute trebuie să fie egală cu 1. Aceste informații sunt centralizate în tabelul nr. 9.

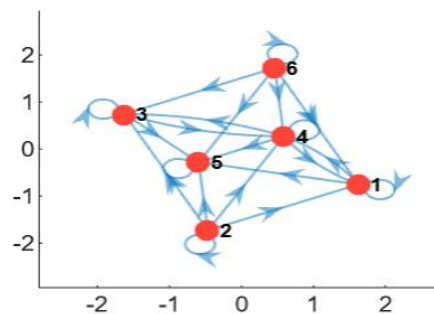
Tabelul nr 9: Matricea probabilităților de trecere (2019-2021)

0,956	0,000	0,000	0,040	0,004	0,000	1
0,012	0,900	0,001	0,071	0,016	0,000	1
0,000	0,000	0,910	0,082	0,008	0,000	1
0,006	0,000	0,0004	0,990	0,004	0,000	1
0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	1
0,004	0,000	0,0003	0,058	0,008	0,930	1

Traspunerea informațiilor anterioare în formă matriceală:

$$E = \begin{pmatrix} 0,956 & 0,000 & 0,000 & 0,040 & 0,004 & 0,000 \\ 0,012 & 0,900 & 0,001 & 0,071 & 0,016 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,910 & 0,082 & 0,008 & 0,000 \\ 0,006 & 0,000 & 0,0004 & 0,990 & 0,004 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 1,000 & 0,000 \\ 0,004 & 0,000 & 0,0003 & 0,058 & 0,008 & 0,930 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Figura nr.1 Graful matricii probabilităților de trecere (2019-2021)



Graful Markov este util în cadrul simulării deoarece prin intermediul lui se poate vizualiza și înțelege evoluția calitativă a categoriilor de echipamente electrice și electronice puse pe piață. Graful aferent matricii probabilităților de trecere oferă o perspectivă intuitivă asupra modului în care un sistem poate evolua de la o stare la alta și probabilitatea cu care el evoluează.

Prin reprezentarea grafică a tranzițiilor între categoriile de echipamente electrice și electronice se identifică tendințele și potențiale schimbări în nevoia de echipamente electrice și electronice de a se pune pe piață.

Nodurile reprezintă fiecare categorie de de echipamente electrice și electronice, arcele indică tranzițiile între ele. În graful prezentat se poate vizualiza schimbarea cerințelor din punctul de vedere al pieței de consum. De exemplu, categoria 5 reprezintă “5 - Echipamente de mici dimensiuni (nicio dimensiune externă mai mare de 50 cm)” este evidențiată prin creștere în detrimentul celorlalte categorii.

Pentru a vedea dacă se susțin cele afirmate anterior trebuie să analizăm evoluția celor șase categorii de echipamente electrice și electronice în anul 2022.

Așa cum am precizat în etapa 1, cantitatea totală de echipamente puse pe piață în anul 2022 este calculată ca media ultimilor trei ani. Astfel această cantitate totală estimată este de: $(289.735,401+309.046,576+363.600,366)/3= 320.794,114$ tone. Având cantitatea totală și matricea probabilităților de trecere putem calcula cantitățile aferente fiecărei categorii de echipamente electrice și electronice puse pe piață.

Pentru a realiza această previziune pentru anul 2022 vom înmulți transpusa matricei probabilităților totale cu matricea coloană aferentă anului 2021.

$$\begin{pmatrix} 0,956 & 0,012 & 0,000 & 0,006 & 0,000 & 0,004 \\ 0,000 & 0,900 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,001 & 0,910 & 0,0004 & 0,000 & 0,0003 \\ 0,040 & 0,071 & 0,082 & 0,990 & 0,000 & 0,058 \\ 0,004 & 0,016 & 0,008 & 0,004 & 1,000 & 0,008 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,930 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 25,113 \\ 7,084 \\ 0,651 \\ 43,645 \\ 20,658 \\ 2,848 \end{pmatrix}$$

Valorile obținute în urma acestei înmulțiri sunt trecute în tabelul nr 9. Deoarece se cunoaște și cantitatea totală de echipamente electrice și electronice puse pe piață în anul 2022 (320.794,114 tone), cu ajutorul valorilor obținute ca urmare a înmulțirii matricilor anterioare, putem calcula cantitatea din fiecare categorie de echipamente electrice și electronice puse pe piață.

Tabelul nr. 10: Cantitățile din fiecare categorie de EEE-uri puse pe piață în anul 2022

Categoria 1	24,370%	78.178,809
Categoria 2	6,376%	20.454,474
Categoria 3	0,619%	1.984,112
Categoria 4	44,911%	144.071,203
Categoria 5	21,075%	67.607,680
Categoria 6	2,649%	8.497,836
Total	100%	320.794,114

Sursa: Contribuție proprie

Aplicarea modelului Markov pentru cantitatea de deșuri colectate din echipamente electrice și electronice pentru anul 2022 parcurge aceleași etape. Elementele de intrare în procesul de simulare sunt tot datele de la Agenția Națională pentru Protecția Mediului, în perioada 2019-2021, cantitatea de DEEE-uri colectate pe cele șase categorii este distribuită astfel [54]:

Tabelul nr. 11: Cantitatea de DEEE-uri colectate în perioada 2019-2021

Categorie	Cantități de DEEE (tone)		
	2019	2020	2021
“1-Echipamente de transfer termic”	19.764,140	20.173,210	18.967,810
“2-Ecrane, monitoare și echipamente (cu o suprafață mai mare de 100 cm ^P)”	10.283,450	9.873,065	13.467,713
“3-Lămpi”	399,240	430,295	152,198
“4-Echipamente de mari dimensiuni, (oricare dintre dimensiunile externe mai mare de 50 cm)”	42.292,400	43.814,166	44.457,082
“5-Echipamente de mici dimensiuni (nicio dimensiune externă mai mare de 50 cm)”	6.292,840	8.803,657	8.427,881

“6-Echipeamente informatice și de telecomunicații de dimensiuni mici, (nicio dimensiune externă mai mare de 50 cm)”	8.590,960	5.404,468	4.037,488
TOTAL	87.623,020	88.498,861	89.510,172

Sursa: Agenția Națională pentru Protecția Mediului [54]

Pentru a stabili cantitatea din fiecare categorie de deșeuri electrice și electronice colectate s-au obținut ținând cont de următoarele elemente de intrare:

- Cantitatea totală estimată de echipamente electrice și electronice puse pe piață pentru anul 2022 se calculează ca media ultimilor 3 ani: $(289.735,401+309.046,576+363.600,366)/3=320.794,114$ tone.
- Respectând cerințele Directivei 2012/19/UE, cantitatea de deșeuri din echipamentele electrice și electronice colectată este de 65% din media ultimilor trei ani. Astfel, această cantitate este de $65\% \times 320.794,114 = 208.516,174$ tone.
- Cantitatea aferentă pentru fiecare categorie de deșeuri provenite din echipamente electrice și electronice din anul 2022 depinde de valoarea cea mai recentă din sistem. În cazul analizat valorile cele mai recente sunt cele aferente anului 2021.

Aplicând etapele descrise anterior se obține cantitatea din fiecare categorie de deșeuri provenite din echipamente electrice și electronice colectate pentru anul 2022.

Tabelul nr. 12: Cantitățile din fiecare categorie de DEEE-uri colectate în anul 2022

Categoria 1	20,546%	42.842,567
Categoria 2	16,149%	33.672,860
Categoria 3	0,123%	256,683
Categoria 4	50,127%	104.523.111
Categoria 5	10,047%	20.948,786
Categoria 6	3,008%	6.272,167
Total	100%	208.516,174

- Analiza rezultatelor obținute ca urmare a aplicării modelului Markov

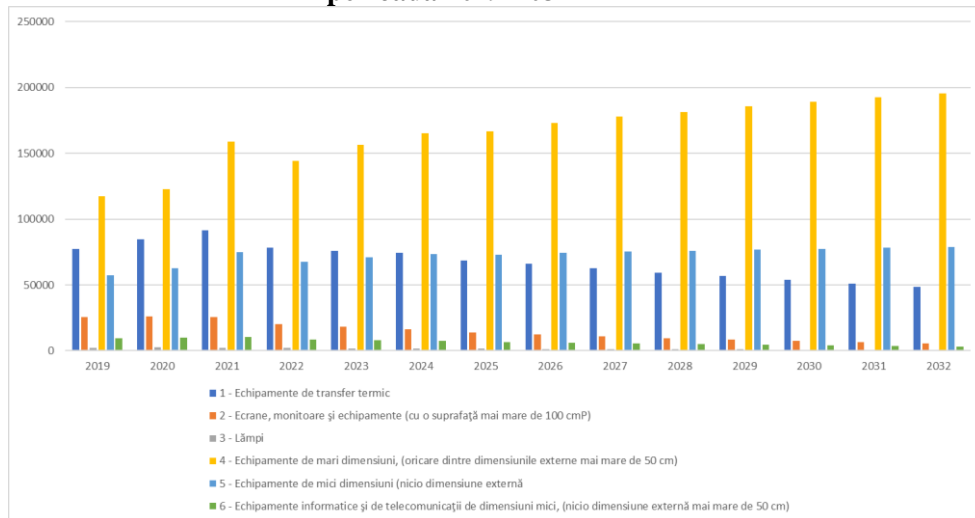
Potrivit Directivei 2012/19/UE, pentru perioada 2019-2021 ținta de colectare stabilită este de 65% din cantitatea introdusă pe piață de echipamente electrice și electronice (media anuală din 3 ani) sau 85% din cantitatea de deșeuri provenite din echipamente electrice și electronice [3].

Tot potrivit aceleiași Directive 2012/19/UE, România a decis, prin derogare de la alineatul 1, articolul 7, să amâne adoptarea ratei de colectare dar nu mai târziu de 14 August 2021 [3]. Totuși, România nu este singura țară care a făcut apel la derogarea de mai sus. Datorită lipsei infrastructurii necesare și a nivelului scăzut de consum de echipamente electrice și electronice și alte țări europene au decis amânarea adoptării ratei de colectare. Aceste țări sunt: Bulgaria, Republica Cehă, Letonia, Lituania, Ungaria, Malta, Polonia, Slovenia și Slovacia [3].

Modelul propus este un instrument care ajută fiecare entitate implicată în acest proces. Astfel, poate fi folosit atât de cei care produc și comercializează EEE-uri, cât și de cei care colectează sau reciclează DEEE-uri. De asemenea, modelul poate fi folosit și de către entitatea de reglementare.

Prin aplicarea anterioară a acestui model se poate observa evoluția cantității de echipamente electrice și electronice puse pe piață. Această evoluție se poate vizualiza în figura nr. 2.

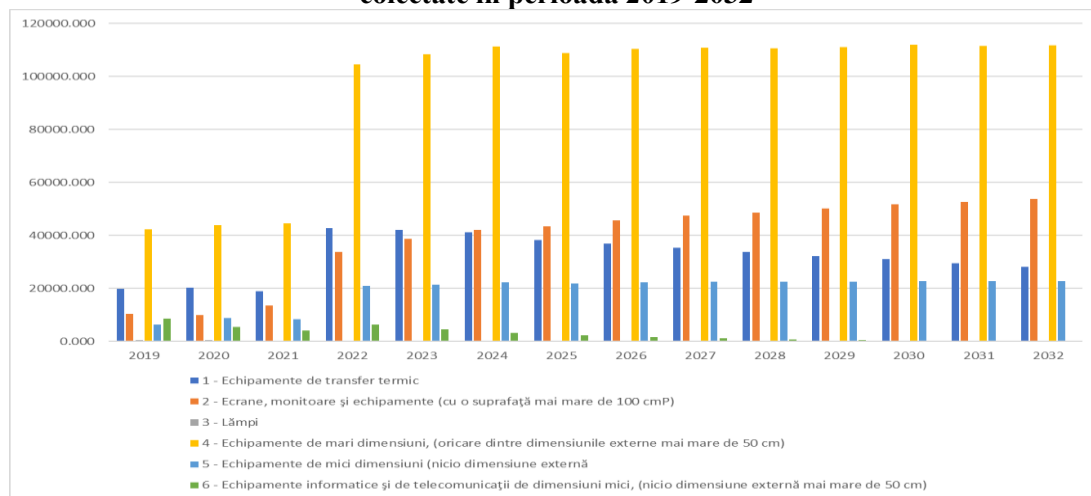
Figura nr. 2 Evoluția cantității de echipamente electrice și electronice puse pe piață în perioada 2019-2032



Din graficul anterior se poate observa că, cantitatea de echipamente electrice și electronice puse pe piață din fiecare categorie este relativ constantă. Acest fapt susține nevoia de implementare a unui model sustenabil care să poată fi ușor integrat modelului european de raportare.

Din punctul de vedere al cantității de deșuri din echipamentele electrice și electronice colectate, aplicarea modelului anterior a condus la rezultatele prezentate în figura nr. 3.

Figura nr. 3 Evoluția cantității de deșuri din echipamentele electrice și electronice colectate în perioada 2019-2032



În figura anterioară se poate observa decalajul major dintre gradul de colectare al deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice în perioada 2019-2021 și gradul de colectare al respectivelor deșuri în perioada pentru care s-a făcut simularea 2022-2032. Acest decalaj derivă și din lipsa unei abordări ce are la bază o previziune a modului de gestionare al echipamente electrice și electronice și implicit al deșeurilor provenite din ele.

Utilizarea unui model pe baza lanțului Markov prezintă avantajul că starea viitoare depinde doar de starea prezentă, nu de tot istoricul sistemului, ceea ce îl face ușor de aplicat și de integrat în instrumentul european.

Modelul matematic utilizat este un instrument esențial în optimizarea acestui proces complex. Prin obținerea valorilor estimate se poate observa ce categorii de deșuri au ponderea cea mai mare și în acest sens se pot dezvolta programe și politici ce pot ajuta procesul.

Modelul matematic propus reprezintă un instrument pentru îmbunătățirea eficienței și sustenabilității sistemelor de colectare a deșeurilor.

Instrumental european e-tools, are la bază Repartiția Weibull. Integrarea unui model ce se raportează la lanțul Markov într-un astfel de instrument oferă o abordare puternică pentru modelarea unui sistem dinamic cu componente aleatorii așa cum este evoluția cantității de echipamente electrice și electronice puse pe piață și implicit a deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice colectate.

Integrarea celor două modele poate fi benefică deoarece:

- modelul Markov descrie stările discrete ale sistemului și probabilitățile de tranziție dintre acestea, distribuția Weibull reprezintă timpul alocat pentru trecerea de la o stare la alta.
- când timpul alocat pentru o stare se finalizează, sistemul tranziționează către o nouă stare, respectând astfel probabilitățile de tranziție ale modelului Markov. Procesul se repetă până se acoperă toate stările.
- distribuția Weibull oferă flexibilitate în modelarea duratei de viață a componentelor, permițând diferite forme de distribuție.

Integrarea distribuției Weibull cu modelul Markov propus oferă o abordare sigură și clară pentru modelarea sistemelor dinamice cu componente aleatorii cum sunt echipamentele electrice și electronice. De asemenea prezintă avantajul că poate să ofere estimării în timp al proceselor analizate.

Valoarea economică a instrumentului dezvoltat

Capitolul VII. “Valoarea economică a instrumentului dezvoltat” prezintă impactul economic al acestui proces, care este unul semnificativ datorită numeroaselor beneficii pe care le are. Beneficiile economice și sociale sunt dintre cele mai evidente. Astfel, printre acestea se pot enumera:

a. Beneficii economice

- Crearea de noi locuri de muncă în diverse domenii de activitate care au legătură cu procesul de colectare, sortare, reparare și reciclare deșeuri;
- Economisirea resurselor, prin procesul de colectare și reciclare se permite recuperarea și reutilizarea materialelor valoroase cum ar fi: fier, nichel, aur. În acest sens se reduce necesitatea de a se realiza noi extrageri de astfel de materiale, proces care poate avea un impact semnificativ asupra mediului.
- Reducerea costurilor de gestionare a deșeurilor datorită faptului că, colectarea și reciclarea, reduce costul de depozitare al deșeurilor.

b. Beneficii sociale:

- Îmbunătățirea sănătății: reciclarea deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice reduce poluarea mediului și riscurile pentru sănătatea umană.
- Protejarea mediului: creșterea gradului de reciclare al deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice contribuie la conservarea resurselor naturale, la reducerea poluării și la combaterea schimbărilor climatice.

c. Reciclarea deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice contribuie la apariția și dezvoltarea de noi industrii bazate pe economia circulară, cum ar fi:

- Industria de reparații: Se repară și se recondiționează deșeurile provenite din echipamentele electrice și electronice pentru a fi reutilizate.

- Industria de producție a materialelor din materiale reciclate: Se produc materiale inovatoare din materiale reciclate din deșeuri provenite din echipamentele electrice și electronice.
 - Industria de demontare: Se demontează deșeurile provenite din echipamentele electrice și electronice pentru a recupera componentele și materialele valoroase.
- d. Pe lângă industriile tradiționale, se mai dezvoltă și noi industrii odată cu creșterea gradului de reciclare. Astfel, se pot dezvolta companii care:
- Produc mobilier din material reciclat.
 - Recondiționează și repară echipamentele electronice.
 - Servicii de demontare a deșeurilor pentru a recupera componentele și materialele valoroase.

Se poate observa că în toate etapele procesului de colectare și reciclare se pot crea noi locuri de muncă. Acest proces aduce beneficii majore economiei prin:

- Noile locuri de muncă generează venituri și contribuie la creșterea economiei.
- Oferă oportunități de angajare pentru persoane cu diverse calificări.
- Oferă programe de formare profesională pentru a dezvolta competențele necesare în acest sector.
- Oferă oportunități de angajare pentru persoane defavorizate sau marginalizate.

Domeniul economic prin care se dezvoltă echipamentele electrice și electronice este identificat ca fiind unul dintre sectoarele prioritare cu mare oportunitate pentru posibilitățile economiei circulare.

Există un potențial semnificativ pentru generarea de venituri din deșeurile provenite din echipamentele electrice și electronice, dar, nu există un sistem oficial de reutilizare a produselor și, prin urmare, nu se creează veniturile așteptate.

Perspectivă sustenabilă în ceea ce privește colectarea și reciclarea deșeurilor de echipamente electrice și electronice

Capitolul VIII. "Perspectivă sustenabilă în ceea ce privește colectarea și reciclarea deșeurilor de echipamente electrice și electronice" prezintă direcțiile sustenabile ale modelului dezvoltat:

- a. Îmbunătățirea infrastructurii:
 - Dezvoltarea unei infrastructuri adecvate de colectare a deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice, cu puncte de colectare ușor accesibile în zonele urbane și rurale.
 - Investiții în instalații de reciclare moderne și eficiente, dotate cu tehnologii avansate pentru a maximiza recuperarea materialelor.
- b. Stimularea responsabilității producătorilor:
 - Implementarea principiului "responsabilității extinse a producătorilor" care obligă producătorii să finanțeze colectarea și reciclarea deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice.
 - Introducerea sistemelor de garanție-returnare pentru a facilita colectarea deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice de la utilizatori.
- c. Creșterea gradului de conștientizare:

- Campanii de informare și educare a publicului cu privire la importanța colectării și reciclării deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice.
 - Promovarea practicilor de consum responsabile, cum ar fi achiziționarea de produse eficiente din punct de vedere energetic și durabil.
- d. Dezvoltarea de noi tehnologii:
- Inovarea în domeniul reciclării deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice pentru a îmbunătăți eficiența și rentabilitatea proceselor.
 - Dezvoltarea de noi materiale din materiale reciclate din deșuri provenite din echipamentele electrice și electronice.
- e. Cooperarea internațională:
- Consolidarea cooperării dintre țări pentru a facilita schimbul de informații și bune practici în domeniul colectării și reciclării deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice.
 - Armonizarea legislației privind deșeurile provenite din echipamentele electrice și electronice la nivel internațional pentru a facilita gestionarea transfrontalieră a deșeurilor.

Implementarea perspectivelor sustenabile prezentate anterior are beneficii care nu pot fi contestate. Aceste beneficii sunt:

- Protejarea mediului: reducerea poluării mediului și conservarea resurselor naturale prin reducerea depozitării și incinerării deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice.
- Stimularea economiei: crearea de noi locuri de muncă și oportunități de afaceri în industria reciclării deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice.
- Îmbunătățirea sănătății publice: reducerea expunerii la substanțe periculoase prezente în deșeurile provenite din echipamentele electrice și electronice.

Așa cum am precizat anterior, în procesul de reciclare a deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice se obțin următoarele materiale valoroase:

- Metale prețioase: aur, argint, platină, paladiu. Aceste materiale pot fi utilizate în bijuterii, electronice și alte produse industriale.
- Metale comune: cupru, aluminiu, fier care pot fi utilizate în construcții, automobile și alte produse industriale.
- Materiale plastice: diverse tipuri de plastic ce pot fi utilizate pentru a produce noi produse din plastic, cum ar fi containere, țevi și mobilier de grădină.
- Sticlă: sticlă de diferite culori și tipuri care poate fi utilizată pentru a produce noi sticle, materiale de construcții și alte produse.
- Componente electronice: circuite integrate, condensatoare, rezistențe, acestea pot fi reparate și reutilizate sau pot fi utilizate pentru a produce noi componente electronice.

Măsuri privind creșterea gradului de colectare și reciclare a deșeurilor de echipamente electrice și electronice

Capitolul IX. “Măsuri privind creșterea gradului de colectare și reciclare a deșeurilor de echipamente electrice și electronice” prezintă măsurile necesare reale care să poată stimula această industrie. Printre aceste măsuri se pot enumera:

- a. Responsabilitatea extinsă a producătorilor:
 - Obligația producătorilor de a colecta și recicla o cantitate specifică de deșeuri provenite din echipamentele electrice și electronice, proporțională cu volumul de echipamente electrice și electronice introduse pe piață.
 - Introducerea sistemelor de garanție-returnare, cu finanțare din partea producătorilor.
 - Sprijinirea producătorilor care proiectează echipamente electrice și electronice ușor de dezamblat și reciclat.
- b. Informarea și sensibilizarea publicului:
 - Campanii de informare cu privire la importanța colectării și reciclării deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice.
 - Educarea publicului cu privire la pericolele depozitării necorespunzătoare a deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice.
 - Promovarea programelor de colectare selectivă a deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice.
- c. Îmbunătățirea infrastructurii de colectare:
 - Extinderea rețelei de puncte de colectare a deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice.
 - Facilitarea accesului publicului la punctele de colectare.
 - Introducerea sistemelor de colectare ușoară, cum ar fi colectarea de la domiciliu.
- d. Stimulente financiare:
 - Oferirea de stimulente financiare pentru colectarea și reciclarea deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice.
 - Introducerea unor taxe pentru depozitarea deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice la gropile de gunoi.
 - Acordarea de reduceri la achiziționarea de echipamente electrice și electronice noi pentru cei care predau pe cele vechi.
- e. Cooperarea dintre autorități, producători și organizațiile neguvernamentale:
 - Dezvoltarea de strategii naționale pentru gestionarea deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice.
 - Implementarea de programe comune de colectare și reciclare a deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice.
 - Organizarea de campanii de informare și educare a publicului.
- f. Dezvoltarea de noi tehnologii de reciclare a deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice.
- g. Sprijinirea cercetării și inovării în domeniul deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice.
- h. Promovarea economiei circulare în domeniul deșeurilor provenite din echipamentelor electrice și electronice.

Concluzii generale

Deșeurile provenite din echipamentele electrice și electronice pot fi considerate o resursă de metale valoroase, cum ar fi cupru, aluminiu și aur. Atunci când astfel de resurse nu sunt recuperate, materiile prime trebuie să fie extrase și prelucrate pentru a produce produse noi, ceea ce duce la pierderi semnificative de resurse și la daune aduse mediului. De asemenea necolectarea lor poate avea un impact major asupra mediului și sănătății umane.

În timp ce unele țări rămând în urmă în ceea ce privește creșterea gradului de colectare și de reciclare al deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice, diferite țări au

propus și implementat strategii pentru a face față acestor provocări. Din păcate, România este una dintre țările în care nu a fost atinsă nici una din țintele de colectare.

Prin prezenta lucrare am elaborat un instrument de estimare al cantității de echipamente electrice și electronice puse pe piață și colectarea deșeurilor aferente. Acest instrument a fost aplicat pe o perioadă de zece ani pentru a putea vedea cât de fezabil este. Astfel, rezultatele obținute sunt corespunzătoare și reflectă imaginea pieței din România în ceea ce privește cantitatea de echipamente electrice și electronice puse pe piață cât și de deșeuri colectate din ele.

Contribuții originale

Teza aparține domeniului referitor la protecția mediului cu accent pe creșterea gradului de colectare a deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice. Modelul propus are o abordare interdisciplinară bazată pe procesul Markov.

Având ca punct de plecare reglementările Europene și Naționale, modelul dezvoltat oferă o perspectivă nouă și predictibilă asupra industriei ce urmărește colectarea și reciclarea deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice.

Utilizarea unui model pe baza lanțului Markov prezintă avantajul că starea viitoare depinde doar de starea prezentă, nu de tot istoricul sistemului, ceea ce îl face ușor de aplicat și de integrat în instrumentul european.

Instrumental european e-tools, are la bază Repartiția Weibull. Integrarea unui model ce se raportează la lanțul Markov într-un astfel de instrument oferă o abordare puternică pentru modelarea unui sistem dinamic cu componente aleatorii așa cum este evoluția cantității de echipamente electrice și electronice puse pe piață și implicit a deșeurilor colectate.

Modelul matematic utilizat este un instrument esențial în optimizarea acestui proces complex. Prin obținerea valorilor estimate se poate observa ce categorii de deșeuri au ponderea cea mai mare și în acest sens se pot dezvolta programe și politici ce pot ajuta procesul.

De asemenea, modelul propus reprezintă un instrument pentru îmbunătățirea eficienței și sustenabilității sistemelor de colectare a deșeurilor.

Perspectivă de dezvoltare ulterioară

Pe parcursul dezvoltării tezei de doctorat și în urma obținerii rezultatelor finale, s-au conturat următoarele direcții viitoare de cercetare:

- Dezvoltarea și implementarea unui soft complex care pe baza simulărilor să poată realiza un plan de managementul deșeurilor;
- Extinderea cercetării cu privire la impactul asupra mediului a noilor tehnologii;
- Dezvoltarea cercetării cu privire la procesele de recuperare al elementelor ce se pot utiliza din deșeurile din echipamente electrice și electronice;

Nota: Rezumatul de față cuprinde într-o formă concisă conținutul capitolelor tezei de doctorat. Denumirea capitolelor este cea corespunzătoare tezei. Numerotarea tabelelor și figurilor nu corespunde cu cea din teză. Referințele bibliografice prezentate în rezumat sunt o parte din cele folosite în lucrare, din acest motiv bibliografia va fi trecută integral în prezentul rezumat.

Bibliografie

- [1] https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_ro, accesată la data de 04.04.2024
- [2] Forti V., Baldé C.P., Kuehr R., Bel G. The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam.
- [3] *Directiva - 2012/19* of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE), OJ L 197, 24.7.2012, pages 38–71 - <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2012/19/oj>, accesată la data de 04.04.2024
- [4] *Ordonanță de Urgență nr. 5 din 2 aprilie 2015* privind deșeurile de echipamente electrice și electronice Emitent: Guvernul, Publicat în Monitorul oficial nr. 253 din 16 aprilie 2015
- [5] <https://weee-forum.org/> , accesată la data de 04.04.2024
- [6] <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PC?locations=RO>, accesată la data de 04.04.2024
- [7] Aguiar, E. S., Ribeiro, M. M., Viana, J. H., & Pontes, A. N. (2021). Panorama da disposição de resíduos sólidos urbanos e sua relação com os impactos socioambientais em estados da Amazônia brasileira. *urbe. Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 13, e20190263. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-3369.013.e20190263>
- [8] <https://www.itu.int/en/Pages/default.aspx>, accesată la data de 04.04.2024
- [9] *Directiva 2002/96/CE* a Parlamentului European și a Consiliului, din 27 ianuarie 2003, privind deșeurile de echipamente electrice și electronice (DEEE), Jurnalul Oficial al Uniunii Europene 15/vol. 9, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0096> , accesată la data de 04.04.2024
- [10] [Waste statistics - electrical and electronic equipment - Statistics Explained \(europa.eu\)](https://www.europa.eu/press-room/media/infographic/waste-statistics-electrical-and-electronic-equipment-statistics-explained) , accesată la data de 04.04.2024
- [11] <https://www.europarl.europa.eu/portal/en>, accesată la data de 04.04.2024
- [12] Sitnikov, C.S., Vasilescu, L., Băndoi, A., Firoiu, D., Tudor, S. and Țenea, L., 2023. Performance of EU Countries in Managing Electrical and Electronic Equipment Waste in the Context of the Circular Economy. *Amfiteatru Economic*, 25(62), pp. 115-133.
- [13] <http://www.anpm.ro/documents/12220/2209838/RSM+2022.pdf/778fd7cc-2383-4e47-b9ef-b90d36ea638e> , accesată la data de 06.04.2024
- [14] [Review No 04/2021: EU actions and existing challenges on electronic waste \(europa.eu\)](https://www.europa.eu/press-room/media/infographic/eu-actions-and-existing-challenges-on-electronic-waste) , accesată la data de 06.04.2024
- [15] *TS 50574-2:2014* Cerințe de colectare, logistică și tratament pentru aparatele de uz casnic care conțin fluorocarburi volatile sau hidrocarburi volatile - Partea 2: specificație pentru de-poluare
- [16] *EN 50625-1:2014* Cerințe de colectare, logistică și tratament pentru DEEE - Partea 1: Cerințe generale de tratament
- [17] *TS 50625-3-2:2016* Cerințe de colectare, logistică și tratament pentru DEEE - Partea 3-2: Specificație pentru dezinfectare – Lampi
- [18] *EN 50625-2-2:2015* Cerințe de colectare, logistică și tratament pentru DEEE - Partea 2-2: Cerințe de tratament pentru DEEE care conțin CRT și afișaje cu panou plat
- [19] *TS 50625-3-3:2017* Cerințe de colectare, logistică și tratament pentru DEEE - Partea 3-3: Specificație pentru DE-poluare - DEEE care conține CRT și afișaje cu panou plat
- [20] *Camelia Bungărdean, Vasile Filip Soporan, Oana Cornelia Salanță* , Considerații privind separarea plasticului și aluminului din deșeuri de echipamente electrice și electronice, în vederea reciclării, *Analele Universității „Constantin Brâncuși” din Târgu Jiu, Seria Inginerie*, Nr. 3/2012, [20_Camelia BUNGAREAN.pdf \(utgjiu.ro\)](https://www.utgjiu.ro/revista/2012/3/Camelia_Bungardean_Vasile_Filip_Soporan_Oana_Cornelia_Salanța.pdf)
- [21] *Amit Kumar, Maria E. Holuszko, Shulei Song*, *Recycling Technologies – Physical Separation*, Chapter 6 Electronic Waste: Recycling and Reprocessing for a Sustainable Future, prima publicare: 26 November 2021, <https://doi.org/10.1002/9783527816392.ch6>

- [22] *Dalrymple, I., Wright, N., Kellner, R., Bains, N., Geraghty, K., Goosey, M. and Lightfoot, L.* (2007), "An integrated approach to electronic waste (WEEE) recycling", *Circuit World*, Vol. 33 No. 2, pp. 52-58. <https://doi.org/10.1108/03056120710750256>
- [23] *Jia Li, Hongzhou Lu, Zhenming Xu, Yaohe Zhou*, Critical rotational speed model of the rotating roll electrode in corona electrostatic separation for recycling waste printed circuit boards, *Journal of Hazardous Materials*, Volume 154, Issues 1–3, 2008, Pages 331-336, ISSN 0304-3894, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.10.030>.
- [24] *Dholu, Nakul, et al.* "Eddy current separation of nonferrous metals using a variable-frequency electromagnet." *KONA Powder and Particle Journal* 34 (2017): 241-247.
- [25] *Buekens, A., Yang, J.* Recycling of WEEE plastics: a review. *J Mater Cycles Waste Manag* 16, 415–434 (2014). <https://doi.org/10.1007/s10163-014-0241-2>
- [26] *Xu Pan, Christina W.Y. Wong, Chunsheng Li*, Circular economy practices in the waste electrical and electronic equipment (WEEE) industry: A systematic review and future research agendas, *Journal of Cleaner Production*, Volume 365, 2022, 132671, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132671>
- [27] *Muammer Kaya*, Current WEEE recycling solutions, Editor(s): Francesco Vegliò, Ionela Birloaga, In *Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, Waste Electrical and Electronic Equipment Recycling*, Woodhead Publishing, 2018, Pages 33-93, ISBN 9780081020579, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102057-9.00003-2>.
- [28] *SR EN ISO 14001:2015*, Sisteme de management de mediu. Cerințe cu ghid de utilizare
- [29] *ISO14064-1:2019* Gaze cu efect de seră – Partea 1: Specificație cu orientări la nivel de organizație pentru cuantificarea și raportarea emisiilor și absorbțiilor de gaze cu efect de seră
- [30] *ISO14064-3: 2019* Gaze cu efect de seră – Partea 3: Specificație cu orientări pentru verificarea și validarea declarațiilor privind gazele cu efect de seră
- [31] *Protocolul privind GES* stabilește cadre standardizate globale cuprinzătoare pentru măsurarea și gestionarea emisiilor de gaze cu efect de seră (GES) generate de operațiunile din sectorul privat și public, de lanțurile valorice și de acțiunile de atenuare. Orientările din scopul al 2 lea au reprezentat o modificare semnificativă a standardului corporativ
- [32] *Popescu, C.-A.; Ifrim, A.M.; Silvestru, C.I.; Dobrescu, T.G.; Petcu, C.* An Evaluation of the Environmental Impact of Logistics Activities: A Case Study of a Logistics Centre. *Sustainability* 2024, 16, 4061. <https://doi.org/10.3390/su16104061>
- [33] *Olanrewaju S. Shittu, Ian D. Williams, Peter J. Shaw*, Global E-waste management: Can WEEE make a difference? A review of e-waste trends, legislation, contemporary issues and future challenges, *Waste Management*, Volume 120, 2021, Pages 549-563, ISSN 0956-053X, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.016>.
- [34] *Gramatyka, Paweł, Ryszard Nowosielski, and Piotr Sakiewicz.* "Recycling of waste electrical and electronic equipment." *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 20.1-2 (2007): 535-538.
- [35] *Stratiotou Efstratiadis, V.; Michailidis, N.* Sustainable Recovery, Recycle of Critical Metals and Rare Earth Elements from Waste Electric and Electronic Equipment (Circuits, Solar, Wind) and Their Reusability in Additive Manufacturing Applications: A Review. *Metals* **2022**, 12, 794. <https://doi.org/10.3390/met12050794>
- [36] *Michael Lieder, Amir Rashid*, Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry, *Journal of Cleaner Production*, Volume 115, 2016, Pages 36-51, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042>.
- [37] *Michael Lieder, Amir Rashid*, Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry, *Journal of Cleaner Production*, Volume 115, 2016, Pages 36-51, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042>.
- [38] *Gianmarco Bressanelli, Nicola Saccani, Daniela C.A. Pigosso, Marco Perona*, Circular Economy in the WEEE industry: a systematic literature review and a research agenda, *Sustainable Production and Consumption*, Volume 23, 2020, Pages 174-188, ISSN 2352-5509, <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.05.007>.

- [39] *Regulamentul de punere în aplicare (UE) 2017/699* al Comisiei din 18 aprilie 2017 de stabilire a unei metodologii comune de calcul al greutateii echipamentelor electrice și electronice (EEE) introduse pe piața fiecărui stat membru și a unei metodologii comune de calcul al cantității de deșuri de echipamente electrice și electronice (DEEE) generate, exprimată în greutate, în fiecare stat membru, Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, L 103/17, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R0699&from=EN>
- [40] *E-tools*: https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee/implementation-weee-directive_en?prefLang=ro#ecl-inpage-646, accesat pe data de 1 iulie 2024
- [41] *Iosifescu Marius*, Lanturi Markov finite și aplicatii, Ed. Tehnica, Bucuresti, 1977.
- [42] *Guțuleac Emilian*, Lanturi și sisteme de așteptare markoviene: Elemente teoretice și aplicatii, Chișinău, 2010
- [43] *Popescu M.O, Panait V.* – Calitatea produselor și fiabilitate – Ed. MatrixRom, București 2003
- [44] *Sericola, Bruno.* *Markov chains: theory and applications.* John Wiley & Sons, 2013.
- [45] *Tweedie, Richard L.* "Markov chains: Structure and applications." *Handbook of statistics* 19 (2001): 817-851.
- [46] *Ching, Wai-Ki, and Michael K. Ng.* "Markov chains." *Models, algorithms and applications* (2006).
- [47] *Seabrook, Eddie, and Laurenz Wiskott.* "A tutorial on the spectral theory of Markov chains." *Neural Computation* 35.11 (2023): 1713-1796.
- [48] *Ilieș Liviu*, Logistica – sursă de competitivitate, Management and Marketing, Nr. 1, ISSN 1842-0206, 2006, p. 93 – 101.
- [49] *Adrian Constantin Popescu*, Cercetări privind aplicațiile ERP pentru eficientizarea activității firmelor mici și mijlocii, Teză de doctorat, Universitatea Politehnică București, 2014
- [50] *Shama, Mustafa S., et al.* "Modified generalized Weibull distribution: theory and applications." *Scientific Reports* 13.1 (2023): 12828
- [51] *Hieronymi, Klaus.* "Waste from Electrical and Electronic Equipment (WEEE) in Practice."
- [52] *Raport anual privind starea mediului în România, anul 2016*, Ministerul Mediului, Apelor și Padurilor, Agenția Națională Pentru Protecția Mediului, [f1ce3e6b-87e7-429e-8012-0a901129fc7e \(anpm.ro\)](https://anpm.ro/f1ce3e6b-87e7-429e-8012-0a901129fc7e), accesat aprilie 2024
- [53] *Raport anual privind starea mediului în România, anul 2018*, Ministerul Mediului, Apelor și Padurilor, Agenția Națională Pentru Protecția Mediului, [aff309e3-99b8-4ce4-be94-a05214d5f895 \(anpm.ro\)](https://anpm.ro/aff309e3-99b8-4ce4-be94-a05214d5f895), accesat aprilie 2024
- [54] *Raport anual privind starea mediului în România, anul 2022*, Ministerul Mediului, Apelor și Padurilor, Agenția Națională Pentru Protecția Mediului, [778fd7cc-2383-4e47-b9ef-b90d36ea638e \(anpm.ro\)](https://anpm.ro/778fd7cc-2383-4e47-b9ef-b90d36ea638e), accesat aprilie 2024
- [55] Ordonanță de urgență nr. 196 din 22 decembrie 2005, privind Fondul pentru mediu, Emitent Guvernul, Publicat în Monitorul Oficial nr. 1193 din 30 decembrie 2005, Formă consolidată valabilă la data 03-10-2022, https://afm.ro/main/legislatie/taxe_si_contributii/2022/oug_196_2005-2022_10_03.pdf

Listă articole publicate

Articole:

1. An Evaluation of the Environmental Impact of Logistics Activities: A Case Study of a Logistics Centre, autori: Constantin-Adrian Popescu, Ana Maria Ifrim, Catalin Ionut Silvestru, Tiberiu Gabriel Dobrescu și Cătălin Petcu, Sustainability 2024, 16, 4061. <https://doi.org/10.3390/su16104061>
2. Possibilities to Improve Risk Management in the Context of Implementing a Quality Management System, autori: Gabriela Elena BIȚAN, Teodora Elena FOGOROS, Cătălin PETCU, Stelian-Mircea OLARU, Innovative models to revive the global economy, pagini: 204-216, DOI: 10.2478/9788366675162-022, serie carti: International Conference on Economics and Social Sciences, 2020
3. Considerations regarding the purchase behaviour for clothes made from recycled textile waste in Turkey, autori: Oncioiu, I (Oncioiu, Ionica); Ifrim, AM (Ifrim, Ana Maria); Petrescu, M (Petrescu, Marius); Petrescu, AG (Petrescu, Anca Gabriela); Petcu, C (Petcu, Cătălin); Silvestru, CI (Silvestru, Catalin Ionut), Industria textile, Volume 72, Issue 1, Page 97-101, Special Issue SI, DOI: 10.35530/IT.072.01.1840
4. Environmental monitoring and analysis of the crop waste collection systems: model evidence from Albania, autori: Oncioiu, I (Oncioiu, Ionica); Ifrim, AM (Ifrim, Ana Maria); Petcu, C (Petcu, Cătălin); Rodino, S (Rodino, Steliana), Romanian agricultural research, Volume 38, Page 471-478, Published 2021, Print ISSN 1222-4227; Online ISSN 2067-5720
5. Evolution of the economic accounts for agriculture, Ifrim, AM (Ifrim, Ana Maria); Oncioiu, I (Oncioiu, Ionica); Micu, MM (Micu, Marius Mihai); Petcu, C (Petcu, Cătălin), Scientific papers-series management economic engineering in agriculture and rural development, Volume 19, Issue 3, Page 291-296, Published 2019
6. Evolution of waste electrical and electronic equipment in the EU, autori: Catalin Petcu, Ana-Maria Ifrim, Catalin Ionut Silvestru, Ramona Camelia Silvestru (Bere), "Electrotehnica, Electronica, Automatica (EEA)", 68 (2020), nr. 3, pp. 94-100, ISSN 1582-5175; DOI: <https://doi.org/10.46904/eea.20.68.3.11080012>

Conferințe:

7. Evoluția gradului de recuperare a deșeurilor provenite din echipamentele electrice și electronice, autori: Ing. Cătălin, Petcu, prof.dr.ing. Mihai Octavian Popescu, dr. Ing. Ana Maria Ifrim, Conferinței Zilele Academiei de Științe Tehnice din România (ASTR), 21-22 octombrie 2021
8. The added value of recycling waste from electrical and electronic equipment, autori: Catalin Petcu, Ana Maria Ifrim, Ionica Oncioiu, Global conference on business and finance proceeding, volumul 17, numarul 1, 2022, ISSN 2168-0612 Flash drive, ISSN 1941-9589 online
9. The environmental management system and the evolution of electrical and electronic waste in the context of the green deal, autori: Catalin Petcu, Ana Maria Ifrim, Ionica Oncioiu, Global conference on business and finance proceeding, volumul 17, numărul 1, 2022, ISSN 2168-0612 Flash drive, ISSN 1941-9589 online