

UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” - GALAȚI
FACULTATEA DE INGINERIE
SPECIALIZAREA: MANAGEMENTUL CALITĂȚII ÎN INGINERIE INDUSTRIALĂ

PROIECT DE DISERTAȚIE

Coordonator științific:
Ș.L. Dr. Ing. Sandu Laurențiu - Ionuț

Absolvent:
Ing. ONCEANU N. MIOARA

GALAȚI - 2020



UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” GALAȚI
FACULTATEA DE INGINERIE
DEPARTAMENTUL: INGINERIA FABRICAȚIEI
SPECIALIZAREA: MANAGEMENTUL CALITĂȚII ÎN
INGINERIA INDUSTRIALĂ



**POLITICI DE RECICLARE A MATERIALELOR
ÎN U.E. ȘI JAPONIA. INFLUENȚA PROCESULUI
DE RECICLARE MECANICĂ MULTIPLĂ
ASUPRA PROPRIETĂȚILOR REOLOGICE A
UNUI NANOCOMPOZIT POLIMERIC
TERMOPLAST**

Coordonator științific:
Ș.L. Dr. Ing. Sandu Laurențiu - Ionuț

Absolvent:
Ing. ONCEANU N. MIOARA

GALAȚI - 2020

REZUMAT

Lucrarea de disertație cu titlul **Politici de reciclare a materialelor în U.E. și Japonia. Influența procesului de reciclare mecanică multiplă asupra proprietăților reologice a unui nanocompozit polimeric termoplast** are scopul de a evidenția impactul și modul de gestionare a deșeurilor polimerice termoplaste asupra mediului. Tema lucrării cuprinde capitolele următoare:

CAPITOLUL 1 - Politici de reciclare a materialelor polimerice termoplaste în Uniunea europeană, în care s-au analizat impactul, evoluția reciclării materialelor polimerice termoplaste și metodele de gestionare a deșeurilor.

CAPITOLUL 2 - Politici de reciclare a materialelor polimerice termoplaste în Japonia, în care s-au analizat impactul, evoluția reciclării materialelor polimerice termoplaste și metodele de gestionare a deșeurilor comparativ cu Uniunea Europeană/

CAPITOLUL 3 - Influența procesului de reciclare mecanică multiplă asupra proprietăților reologice a unui nanocompozit termoplast cu matrice polimerică de LDPE ranforsat cu diferit concentrații masice de MWCTs, în care s-au caracterizat proprietăților reologice a materialelor polimerice și s-a analizat comportamentul la curgere a unui material nanocompozit termoplast cu matrice polimerică de *LDPE* cu concentrație masică de *MWCNTs* prin analiza indicelui de curgere.

ABSTRACT

The dissertation project is entitled *Recycling policies of materials in U.E. and Japan. Influence of the multiple mechanical recycling process on the rheological properties of a thermoplastic polymeric nanocomposite* is focused on the impact of thermoplastic polymer waste management on the environment. The work is organised in three chapters.

CHAPTER 1 - Policies for thermoplastic polymeric recycling in the European Union in which the evolution, the impact of thermoplastic polymer recycling and waste management policy in European Union.

CHAPTER 2 - Recycling policies for thermoplastic polymeric materials in Japan, focused on the description of the evolution, the impact of polymer recycling and waste management policy in Japan compared to European Union.

CHAPTER 3 - Influence of the multiple mechanical recycling process on the rheological properties of a thermoplastic nanocomposite with polymeric LDPE matrix reinforced with different mass concentrations of MWCTs. In this chapter, the rheological properties of the polymeric materials were briefly described and the flow properties of a thermoplastic nanocomposite with LDPE polymeric matrix with different mass concentration of MWCNTs was analyzed by its melt flow index.

CUPRINS

Rezumat	1
Abstract	2
Cuprins	3
CAP. 1. Politici de reciclare a materialelor polimerice termoplaste în Uniunea Europeană..	5
1.1. Materialele polimerice termoplaste ca alternativă a materialelor naturale	5
1.2. Impactul producției de materiale polimerice asupra mediului	7
1.3. Modalități de gestionare a deșeurilor polimerice	13
1.3.1. Reciclarea mecanică/primară.....	14
1.3.2. Reciclarea secundară	15
1.3.3. Reciclarea terțiară (chimică)	15
1.3.4. Reciclarea cuaternară (energetică)	17
1.4. Biodegradabilitatea materialelor polimerice	17
1.5. Economia circulară în Uniunea Europeană	21
1.6. Concluzii	24
CAP. 2. Politici de reciclare a materialelor polimerice termoplaste în Japonia	26
2.1. Scurt istoric a gestionării deșeurilor în Japonia	26
2.2. Gestionarea deșeurilor polimerice în Japonia	29
2.2.1. Deșeuri municipale	29
2.2.1.1. Sortarea	30
2.2.1.2. Colectarea	30
2.2.1.3. Metode de tratare a deșeurilor	31
2.2.2. Deșeuri industriale	32
2.2.3. Tehnici de reciclare a deșeurilor polimerice.....	33
2.2.3.1. Reciclarea mecanică.....	33
2.2.3.2. Reciclarea chimică	34
2.2.3.4. Reciclare termică (incinerare)	34
2.2.2. Deșeuri de ambalaje.....	35
2.3. Conceptul de economie circulară	36
2.4. Strategii pentru promovarea unei societăți sănătoase ciclul cicluri material	37
2.5. Planul fundamental pentru implementarea unei societăți sănătoase cu material ciclice ...	39
2.6. Kamikatsu - orașul din Japonia cu zero deșeuri	41
2.7. Concluzii	42
CAP. 3. Influența procesului de reciclare mecanică multiplă asupra proprietăților reologice a unui nanocompozit termoplast cu matrice polimerică de LDPE ranforsat cu diferite concentrații masice de MWCNTs	43
3.1. Obținerea nanocompozitelor polimerice	43
3.2. Clasificarea nanocompozitelor polimerice	44
3.3. Caracterizarea reologică a nanocompozitelor.	45
3.4. Cercetări experimentale privind comportamentul reologic (la curgere) a unui nanocompozit polimeric termoplast reciclat mecanic multiplu utilizând testul de determinare a indicelui de curgere	48
3.5. Concluzii	56
Opis figuri	57

Opis tabele.....	59
Bibliografie	62

CAPITOLUL 1.

POLITICI DE RECICLARE A MATERIALELOR POLIMERICE TERMOPLASTE ÎN UNIUNEA EUROPEANĂ

1.1. Materialele polimerice termoplaste ca alternativă a materialelor naturale

În practică se obișnuiește să se clasifice materialele plastice în funcție de comportarea lor sub acțiunea căldurii și presiunii în două mari categorii [1]:

- *materiale polimerice termoplaste* - supuse încălzirii, pot fi prelucrate prin diferite procedee fără a suferi transformări chimice;
- *materiale polimerice termorigide* - în timpul încălzirii are loc procesul de polimerizare și formare a rețelei moleculare complete. Piese devin dure și rigide. O ulterioară încălzire nu mai înmoaie materialul, acesta distrugându-se.

Secolul al XXI-lea este unul al contradicțiilor majore și al crizelor manifestate la nivelul întregii societăți, astfel creșterea accelerată a populației la nivel global împreună cu mobilitatea ei extrem de rapidă au generat dezechilibre locale și/sau globale atât în necesarul de hrană, apă, locuință, îmbrăcăminte, încălțăminte, medicamente, în răspândirea bolilor cât și în managerierea fluxurilor de materiale și energie, incluzând deșeurile [1].

Resursele naturale regenerabile (ex: lemnul, plantele industriale ori tehnice) sau neregenerabile (cărbunele, petrolul, gazele naturale, minereurile feroase și neferoase) au devenit insuficiente pentru satisfacerea nevoilor materiale de consum ale populației care sunt în continuă creștere. Singura soluție pentru combaterea acestor dezechilibre a fost obținerea unor materiale noi, novative (sintetice) care să le înlocuiască pe cele naturale și a căror producție să poată fi ajustată conform necesităților. O soluție care a cucerit toate domeniile de activitate, prin extraordinara capacitate de adaptare a proprietăților la cerințele aplicative a constatat în materialele polimerice termoplaste[1].

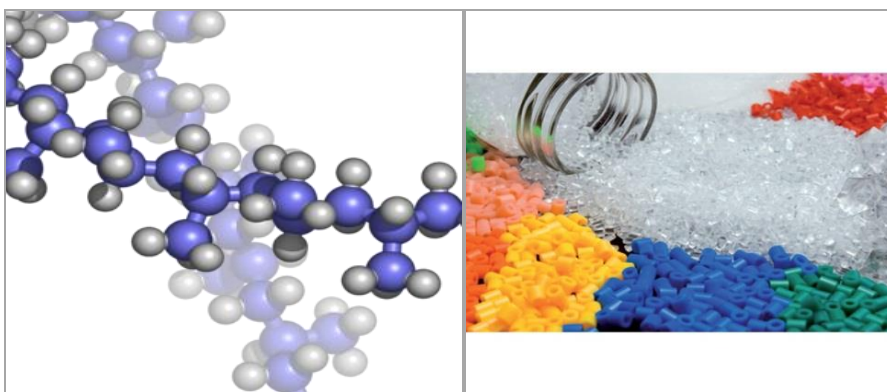


Figura 1.1. Diferite tipuri de polimeri¹

Materialele polimerice termoplaste (figura 1.1.) se obțin din petrol (țiței), gaze naturale și plante vegetale (ex: cauciucul natural ori celuloza) prin procedee chimice corespunzătoare de: polimerizare, poliaditie și/sau policondensare. Inițial se obțin monomerii, substanțe micro-moleculare care prezintă două sau mai multe grupe funcționale care pot interacționa conducând la

¹<https://aparatura.ro/polimeri-produs> și <https://ro.wikipedia.org/wiki/Polimer>

obținerea polimerilor, caracterizați prin molecule de dimensiuni mari. Materialele polimerice termoplaste au proprietăți specifice, avantajoase pentru multiple aplicații [1,2]:

- au densități reduse (în jur de 1 g/cm^3) datorită elementelor componente (în principal H, C și O) care au masa atomică mică;
- au rezistență chimică mare;
- au bune proprietăți de izolare electrică și termică;
- se prelucerează ușor;
- costul energetic al sintezei și transformării lor în produse e scăzut (de exemplu, pentru a obține un kg de polimeri se consumă aproximativ 3 kWh, pentru un kg de aluminiu se consumă 74 kWh, iar pentru un kg de oțel 14 kWh);
- aspect estetic (produse colorate, translucide sau transparente).

Deși prezintă toate aceste avantaje, materialele polimerice termoplaste nu vor putea înlocui total materialele metalice, datorită următoarelor dezavantaje [2]:

- proprietăți de rezistență relativ reduse (au rezistență la rupere și modul de elasticitate scăzute);
- nu sunt auto sau biodegradabile în timp util, fapt ce duce la serioase probleme de poluare;
- nu își păstrează proprietățile la temperaturi înalte;
- proprietățile lor sunt afectate de radiațiile din spectrul vizibil, de ultraviolete și de radiațiile ionizante prin reducerea gradului de polimerizare;
- au coeficienți de dilatare relativ mari;
- sunt inflamabile și degajă produși toxici în timpul arderii lor.

Pentru evidențierea calităților deosebite ale *materialelor polimerice termoplaste*, în tabelul 1.1 se prezintă câteva proprietăți ale acestora frecvent utilizate în tehnică [2].

Tabelul 1.1.

Principalele proprietăți ale materialelor polimerice termoplaste [2]

Materiale	Densitate [g/cm ³]	Rezistența la rupere [daN/mm ²]	Proprietăți	
			Modul de elasticitate x 10 ⁹ [N/m ²]	Temperatură maximă de utilizare, [°C]
Polietilenă HDPE	0,980 ÷ 0,965	2,2 ÷ 3,8	0,42 ÷ 1,4	70
LDPE	0,910 ÷ 0,94	0,1 ÷ 1,6	0,12 ÷ 0,14	70
Polipropilenă	0,900 ÷ 0,91	2,7 ÷ 4,0	0,5 ÷ 1,9	110
Policlorură de vinil	1,20 ÷ 1,75	0,7 ÷ 6,2	0,003 ÷ 4,1	65
Politetrafluoretilenă	2,10 ÷ 2,25	1,7 ÷ 2,8	0,35 ÷ 0,62	200 ÷ 300
Polistiren	1,04 ÷ 1,7	1,2 ÷ 8,4	0,9 ÷ 3,8	90
Poliesteri	1,30 ÷ 1,3	5,2 ÷ 5,5	2,2 ÷ 2,7	140
Elastomeri	0,96 ÷ 1,2	40 ÷ 300	-	130

Utilizarea petrolului ca materie primă pentru obținerea reperelor din materialelor polimerice termoplaste conduce la diminuarea cantității de energie necesară prelucrării și transportului acestora comparativ cu prelucrarea și transportul acelorași piese realizate din materiale clasice (ex: metal, lemn etc.). De exemplu, 1,7 milioane de tone de materiale polimerice termoplaste utilizate în Europa de Vest/an se obțin din echivalentul a 3,25 milioane tone petrol. Se economisesc 12 milioane de tone de petrol datorită prelucrării mai ușoare a materialelor polimerice termoplaste în manufacturarea componentelor auto, față de prelucrarea metalelor. Economisirea de energie conduce totodată și la reducerea emisiilor de CO² cu 30 milioane de tone/an. Repartiția producției pe tipuri de polimeri, este prezentată în figura 1.2. Se observă că poliolefinele (care cuprind polietilena de joasă densitate LDPE, polietilena de înaltă densitate HDPE și polipropilena PP) se produc și se utilizează în cea mai mare cantitate, reprezentând 48,5% din totalul de polimeri produși [1, 3].

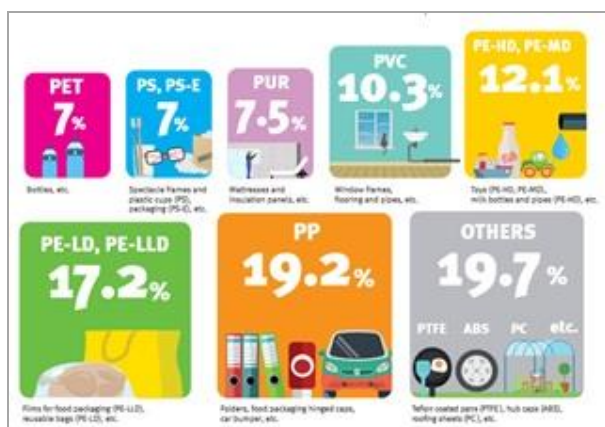


Figura 1.2. Consumul de materiale polimerice termoplaste în Uniunea Europeană²

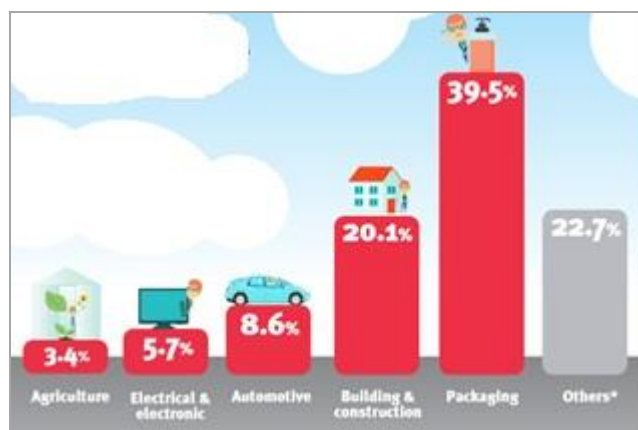


Figura 1.3. Domeniile de consum a materiale polimerice termoplaste²

În figura 1.3 putem observa faptul că în domeniul ambalajelor se folosesc cel mai mult materiale polimerice termoplaste. Producerea cantităților atât de mari de materiale polimerice termoplaste utilizate în confecționarea de ambalaje (produse care au un ciclu scurt de viață) conduce însă la acumularea unor cantități imense de deșeuri. Mărimea populației și dimensiunea economică a unei țări este în strânsă legătură cu cantitatea totală de deșeuri generată. Statele mici membre ale Uniunii Europene au raportat în general cele mai mici niveluri de generare de deșeuri, iar cele mai mari au raportat cele mai ridicate niveluri. Cu toate acestea, ca și suprafață, în Bulgaria și România au fost generate cantități destul de mari de deșeuri, iar în Italia, o cantitate relativ mică [1, 4].

1.2. Impactul producției de materiale polimerice asupra mediului

Cantitatea totală de deșeuri generată este legată într-o anumită măsură de mărimea populației și de dimensiunea economică a unei țări. Cele mai mici state membre ale Uniunii Europene au raportat în general cele mai mici niveluri de generare de deșeuri, iar cele mai mari au raportat cele mai ridicate niveluri. Cu toate acestea, în Bulgaria și România au fost generate cantități destul de mari de deșeuri, iar în Italia, o cantitate relativ mică [1,4].

Figura 1.4 indică ponderea diferitelor activități economice și a gospodăriilor care generează deșeuri în 2016. La nivelul Uniunii Europene, construcțiile au contribuit cu 36,4% din total, urmate de industria extractivă (25,3%), industria prelucrătoare (10,3%), apa și deșeurile (10%) și gospodăriile (8,5%); restul de 8,7% au fost deșeuri generate de alte activități economice, în special serviciile (4,6%) și energia (3,1%) [1,4].

Nivelurile ridicate de deșeuri generate sunt evidențiate în tabelul 1.2, unde câteva state membre ale Uniunii Europene au un nivel deosebit de ridicat al deșeurilor generate pe cap de locuitor. Acestea au raportat ponderi foarte mari de deșeuri provenite din industria extractivă, în timp ce în alte cazuri, construcțiile și demolările au contribuit la o pondere ridicată. Deșeurile provenite din industria extractivă și din construcții ori demolări este clasificată ca reprezentând deșeuri minerale majore. Analiza prezentată în tabelul 1.2 diferențiază deșeurile minerale majore de alte tipuri de deșeuri. Aproape două treimi (64% sau 3,2 tone pe cap de locuitor) din totalul deșeurilor generate în Uniunea Europeană în 2016 au fost deșeuri minerale majore. Ponderea relativă a deșeurilor minerale majore în cantitatea totală de deșeuri generată a variat considerabil între statele membre ale Uniunii Europene, ceea ce poate reflecta, cel puțin într-o anumită măsură, structurile lor economice diferite. În general, statele membre ale Uniunii Europene cu ponderi mai mari de deșeuri minerale majore au fost cele care au fost caracterizate de activități relativ importante în industria extractivă, cum ar fi Bulgaria, Suedia, România și Finlanda și/sau activități

²Plastic - the Facts 2015, an analysis of European plastics production, demand and waste data, Plastics Europe, <http://www.plasticseurope.org>;

de construcție și demolare, cum ar fi Luxemburgul. În aceste state membre, deșeurile minerale majore au reprezentat 85% sau mai mult din totalul deșeurilor generate, așa cum este și cazul Liechtensteinului și Serbiei [1,4].

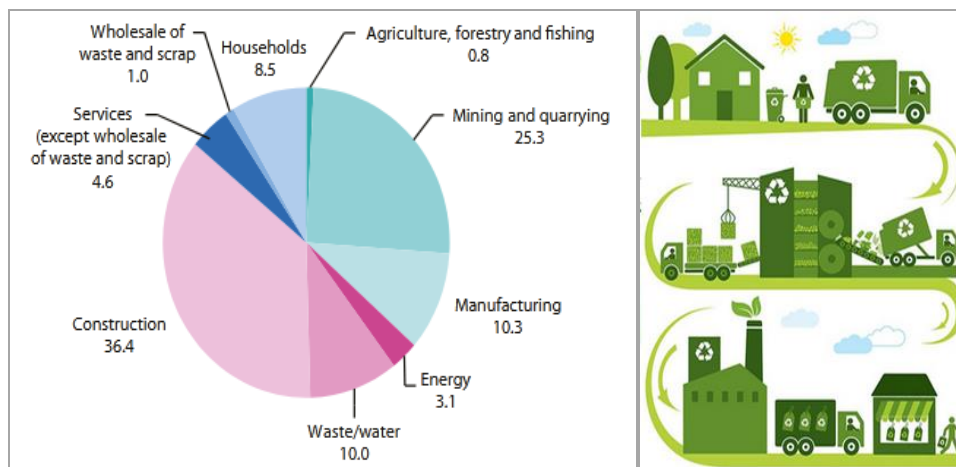


Figura 1.4. Generarea deșeurilor în funcție de activități economice și gospodării în UE (%)³ [3]

Figura 1.5 prezintă evoluția tratării deșeurilor în Uniunea Europeană în funcție de principalele categorii de tratare. Cantitatea de deșuri tratate prin eliminare în 2016 a fost cu 10,1% mai mică decât în 2004, ponderea acesteia din totalul deșeurilor tratate a scăzut de la 54,6% la 46,7%. Cantitatea de deșuri incinerate cu recuperarea energiei, reciclate sau folosite pentru rambleiere (folosirea deșeurilor în zonele în care s-au efectuat excavări pentru refacerea sau consolidarea taluzurilor sau pentru amenajări de arhitectură peisagistică) a crescut cu 24,7%, prin urmare, ponderea deșeurilor valorificate din totalul deșeurilor tratate, de asemenea, a crescut [1,4].

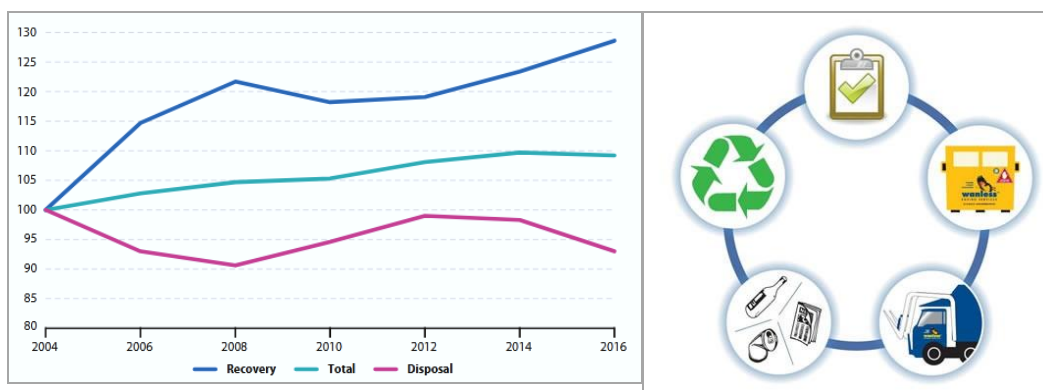


Figura 1.5. Evoluția tratării deșeurilor în Uniunea Europeană³

În total, în Uniunea Europeană au fost tratate 2312 milioane de tone de deșuri, peste jumătate din această cantitate (53.3%) fiind recuperată prin reciclare (37.8% din totalul deșeurilor tratate), prin rambleiere (9.9%) și prin recuperarea de energie (5.6%). Restul de deșuri tratate (46.7%) au fost incinerate fără recuperare de energie (1%) sau depozitate în sau pe pământ (45.7%). O diferență semnificativă se poate observa în tabelul 1.3 cu privire la metodele de tratare a deșeurilor folosite în țările membre ale Uniunii Europene. În tabelul 1.3 se poate observa că unele țări membre ale Uniunii Europene folosesc ca metodă de recuperare principală reciclarea (Italia și Belgia), iar în alte țări metoda principală de recuperare este depozitarea în sau pe pământ (Grecia, Bulgaria, Romania, Finlanda și Suedia) [1,4].

³Energy, transport and environment indicators, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019 edition, pages 148-163; <http://www.diaplanmediu.ro/>

Tabelul 1.2.

Generarea deșeurilor în Uniunea Europeană incluzând deșeurilor minerale majore (%)

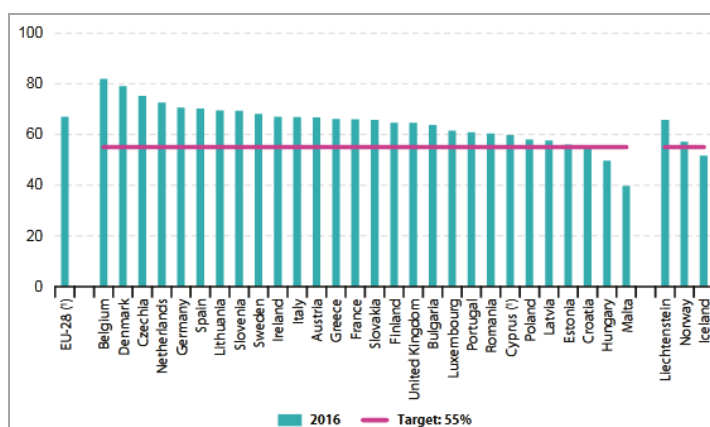
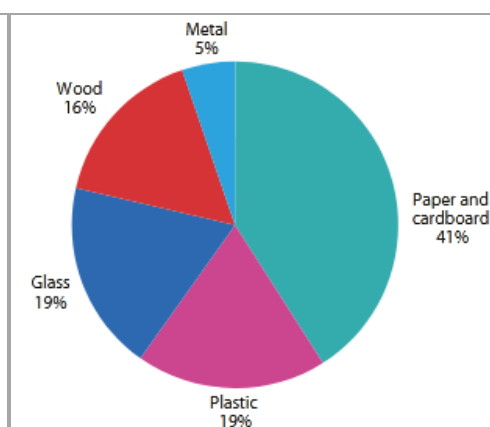
	Minerit/Industria extractivă	Industria Prelucrătoare	Energia	Construcții și demolări	Alte activități economice	Gospodării
EU-28	25	10	3	36	16	8
Belgia	0	23	1	31	36	8
Bulgaria	82	3	8	2	3	2
Republica Cehă	1	18	4	40	23	14
Danemarca	0	5	4	58	16	17
Germania	2	14	3	55	17	9
Estonia	26	37	25	5	6	2
Irlanda	16	35	2	10	28	10
Grecia	78	6	4	1	4	7
Spania	16	11	3	28	26	17
Franța	1	7	0	69	14	9
Croația	12	8	2	24	31	22
Italia	0	17	2	33	29	18
Cipru	5	33	0	36	10	16
Letonia	0	19	11	4	30	34
Lituania	1	41	2	8	32	17
Luxembourg	0	7	0	75	11	6
Ungaria	1	17	16	23	25	18
Malta	8	1	0	69	13	8
Olanda	0	10	1	70	13	6
Austria	0	9	1	73	10	7
Polonia	39	17	11	10	18	5
Portugalia	3	17	1	12	35	33
România	87	4	4	0	3	2
Slovenia	0	26	14	10	38	12
Slovacia	3	32	9	9	29	18
Finlanda	76	8	1	11	3	1
Suedia	77	4	1	7	7	3
Anglia	6	4	0	49	30	10
Islanda	0	25	0	4	31	40
Liechtenstein	3	2	0	88	1	5
Norvegia	3	14	2	27	32	22
Munetegru	19	2	18	37	10	13
Mcedonia de Nord	49	51	0	0	0	0
Serbia	79	3	12	1	2	3
Turcia	11	-	26	-	-	37
Bosnia Herțegovina	2	27	71	0	0	0
Kosovo	14	20	40	6	10	11

Acumularea unor cantități imense de deșeuri provenite în urma producerii unei cantități mari de ambalaje din 2016 conform EU-28 se împarte astfel: 41% hartie și carton, 19% plastic, 19% sticlă, 16% lemn și 5% metal (vezi figura 1.7). Rata de reciclare pentru deșeurile provenite din ambalaje a tuturor țărilor membre a Uniunii Europene este reprezentată în figura 1.6. Se poate observa că majoritatea țărilor au reușit să recicleze 55% din deșeurile provenite din ambalaje, cu excepția Ungariei (49,7%) și Maltei (37,7%) [4].

Tabelul 1.3.

Tratarea deșeurilor în Uniunea Europeană (% din total)

	Recuperarea deșeurilor			Eliminarea deșeurilor	
	Reciclare	Rambleiere ⁴	Recuperare de energie	Deozitare în sau pe pământ	Incinerare fără recuperare de energie
EU-28	37.8	9.9	4.6	45.7	1
Belgia	76.9	0	12.6	6.4	4.1
Bulgaria	5.2	0	0.4	94.4	0
Republica Cehă	49.5	29	4.5	16.6	0.4
Danemarca	51.4	0	19.5	29.7	0
Germania	42.7	26.6	11.3	18.1	1.2
Estonia	21.6	11.2	2.5	34.7	0
Irlanda	10.6	46	4.8	38.4	0.3
Grecia	4.8	0	0.3	94.8	0
Spania	37.1	5.7	3.6	53.6	0
Franța	55	10.3	5.4	27.6	1.6
Croația	47.2	4	1	47.8	0
Italia	78.9	0.1	4	14.2	2.7
Cipru	10.4	28	3.8	57.8	0
Letonia	71.7	1.1	6.8	20.8	0
Lituania	33.4	4.1	5.8	56.6	0
Luxembourg	34.8	24.2	21	39	0
Ungaria	54.1	3.7	74	34.2	0.6
Malta	19.1	63.4	0	17.2	0.4
Olanda	45.6	0	76	46	0.9
Austria	37	11	-	45.9	-
Polonia	46.2	22.2	3.3	28	0.4
Portugalia	43.5	9.5	12.1	34.7	0.2
România	4	0.4	1.4	94.1	0.1
Slovenia	60.2	27.2	4.7	6.9	0.8
Slovacia	40	4.7	7	47.8	0.5
Finlanda	74	0	4.5	88	0
Suedia	12	4.9	6.6	76.3	0.2
Anglia	48.5	7.8	3.4	37.5	2.7
Islanda	25	51	0.4	22.3	1.3
Norvegia	43.5	2.6	34	19.5	0.5
Munetegru	0.8	0	0.2	98.9	0
Serbia	2.8	0.8	0.2	96.3	0
Turcia	33	0	0.8	-	0.2
Kosovo	0	0	0	100	0


 Figura 1.6. Rata de reciclare a deșeurilor provenite din ambalaje⁵ (%)

 Figura 1.7. Deșeuri de ambalaje din diferite materiale⁶

⁴**RAMBLEIÉRE**, *rambleieri*, s. f. Acțiunea de a *rambleia* și rezultatul ei; *rambleiaj*. **1.** Ansamblul operațiilor de umplere cu steril, cu deșeuri rezultate de la prepararea substanțelor minerale utile, cu nisip, cu prundiș etc. a golurilor rămase în urma unor excavări subterane. **2.** Ansamblul operațiilor de executare a unei umpluturi de pământ sau a unui rambleu de drum sau de cale ferată. [Pr.: -ble-ie-] – V. **rambleia**.

⁵*Energy, transport and environment indicators*, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019 edition, pages 148-163; <https://protectia-muncii-cluj.ro/gestiunea-deeurilor.php>

Marea majoritate a țărilor membre ale Uniunii Europene au ajuns la un procent de 22.5% a ratei reciclării deșeurilor de ambalaje din plastic în 2016, cu excepția Lichensteinului ajungând doar la 20.9%. În 2017 s-a reciclat într-un procentaj de 42% de ambalaje din plastic. Comparativ cu anul 2005 se poate observa o creștere de 18% a reciclării ambalajelor din plastic în Uniunea Europeană (de la 24% în 2005 la 42% în 2017). Evoluția acestora se poate observa în figura 1.8. De asemenea, România a generat 348.794 de tone de deșeuri de plastic și a reciclat 167.351 de tone, sub 50%. Conform datelor Eurostat (figura 1.9.), în 2017, cea mai mare rată de reciclare a deșeurilor de ambalaje din plastic a fost înregistrată în Lituania (74%), urmată de Bulgaria (65%), Cipru (62%), Slovenia (60%), Cehia (59%), Slovacia (52%) și Olanda (50%) [4].



Figura 1.8. Evoluția ratei de reciclare a deșeurilor de ambalaje din plastic în UE⁷, 2006-2017

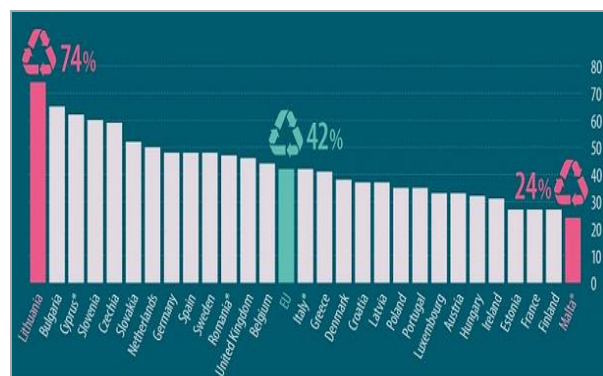


Figura 1.9. Rata de reciclare a deșeurilor de ambalaje din plastic în UE⁷, 2017

Cele mai poluante articole de plastic (vezi tabelul 1.4.) regăsite în natură sunt: ambalajele de alimente, capacele, pungile din plastic, paiele și bețișoarele pentru cafea, PET-urile, recipientele de tip take-away, dopurile, chiștoacele, tacâmurile de unică folosință, paharele și farfuriile de unică folosință [5].

Tabelul 1.4.

Diferite articole de plastic poluante și alternative de diminuare a impactului asupra mediului

Obiecte din plastic	Tipul de polimer	Prezența în mediu	Gradul de toxicitate	Alternative de diminuare a impactului asupra mediului
Ambalaje de alimente	diversitate largă de polimeri	ridicat	ridicat	Înlocuirea cu articole reutilizabile, biodegradabile pe bază de plante. Optarea pentru alimente vrac, folosirea sticlelor, a tacâmurilor și farfuriilor reutilizabile, optarea pentru țigări cu filtre biodegradabile sau folosirea sistemelor care permit reumplerea recipientelor
Capace	PP	ridicat	ridicat	
Pungi din plastic	LDPE	ridicat	ridicat	
Paiele și bețișoarele pentru cafea	PP	ridicat	ridicat	
PET-uri	PET	ridicat	mediu	
Tacâmuri de unică folosință	HDPE	ridicat	ridicat	
Pahare și farfurii de unică folosință	PS	ridicat	ridicat	
Chiștoace	Acetat de celuloză (fibră)	ridicat	ridicat	
Dopuri	PS	ridicat	ridicat	
Recipiente de tip take-away	PS	ridicat	ridicat	

⁶Energy, transport and environment indicators, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019 edition, pages 148-163;

⁷<https://ec.europa.eu/eurostat>

Dacă însă nu se găsesc alternative, ar trebui să se opteze pentru cea mai puțin poluantă variantă, polimerii fiind cei mai periculoși. Dintre cei mai nocivi polimeri, se regasesc: polistirenul (PS), policarbonatul (PC) și policlorura de vinil (PVC) regăsite în ambalaje, tereftalatul de polietilenă (PET), polietilena (PE) și polipropilena (PP). Așadar, se recomandă evitarea ambalajelor dăunătoare pentru mediu [5].

În ceea ce privește gestionarea deșeurilor municipale (figura 1.10), în 2017, 30% din deșeuri au fost reciclate, 17% compostate, 28% incinerate și 24% depozitate. Cu zece ani în urmă, în 2007, imaginea era diferită, cu 24% din deșeuri reciclate, 13% compostate, 21% incinerate și 43% depozitate. Conform bazei de date Eurostat în comparație cu țările din Uniunea Europeană, România, încă nu este la nivelul cerințelor impuse de Uniunea Europeană, fiind dependentă de depozitare, alte opțiuni de tratament fiind aplicate într-o măsură mai mică [4].

Tabelul 1.5.

Generarea deșeurilor municipale în Uniunea Europeană 1995-2017 (kg pe cap de locuitor)

	1995	2000	2005	2011	2017	Modificări 2017-1995 (%)
EU-28	470	521	515	497	486	3.4
Belgia	455	471	482	453	410	-9.9
Bulgaria	694	612	588	508	435	-37.3
Republica Cehă	302	335	289	320	344	13.9
Danemarca	521	664	736	781	781	49.9
Germania	623	642	565	626	633	1.6
Estonia	371	453	433	301	390	5.1
Irlanda	512	599	731	616	-	-
Grecia	303	412	442	503	504	66.3
Spania	505	653	588	485	462	-8.5
Franța	475	514	529	534	514	8.2
Croația	-	262	336	384	416	-
Italia	454	509	456	529	489	7.7
Cipru	595	628	688	672	637	7.1
Letonia	264	271	320	350	438	65.9
Lituania	426	365	387	442	455	6.8
Luxembourg	587	654	672	666	607	3.4
Ungaria	460	446	461	382	385	-16.3
Malta	387	533	623	589	604	56.1
Olanda	539	598	599	568	513	-4.8
Austria	437	580	575	573	570	30.4
Polonia	285	320	319	319	315	10.5
Portugalia	352	457	452	490	487	38.4
România	342	355	383	259	272	-20.5
Slovenia	596	513	494	415	471	-21
Slovacia	295	254	273	311	378	28.1
Finlanda	413	502	478	505	510	23.5
Suedia	386	428	477	449	452	17.1
Anglia	498	577	581	491	468	-6
Islanda	426	462	516	495	656	54
Norvegia	624	613	426	485	748	19.9
Elveția	600	656	661	689	706	17.7
Munte negru	-	-	-	524	-	-
Macedonia de Nord	-	-	-	357	344	-
Albania	-	-	-	-	436	-
Serbia	-	-	-	375	306	-
Turcia	441	465	458	416	425	-3.6
Bosnia și Herțegovina	-	-	-	340	352	-
Kosovo	-	-	-	-	228	-

Potrivit datelor Eurostat, deși România produce, în continuare, cele mai puține deșeuri menajere pe cap de locuitor dintre țările Uniunii Europene, cantitatea a crescut într-un an cu 11 kilograme pe cap de locuitor. Astfel, dacă în 2016, un român producea, în medie, 261 kilograme de

deșeuri menajere pe cap de locuitor, în 2017 cantitatea a ajuns la 272 kilograme pe cap de locuitor. Totodată, România își păstrează ultima poziție și în privința reciclării deșeurilor – 20 kilograme pe cap de locuitor. Conform tabelului 1.5, cantitatea de deșeuri municipale a variat semnificativ între statele membre ale UE, astfel în cinci din cele 25 de țări pentru care sunt disponibile datele din 2017, au fost produse peste 600 kg de deșeuri municipale de persoană: Danemarca (781 kg/persoană), urmată de Cipru (637 kg/persoană), Germania (633 kg/persoană), Luxemburg (607 kg/persoană) și Malta (604 kg/persoană). În schimb, au existat trei țări care au generat mai puțin de 350 kg de deșeuri municipale pe persoană: România (272 kg/persoană), Polonia (315 kg/persoană) și Cehia (344 kg/persoană) [4].

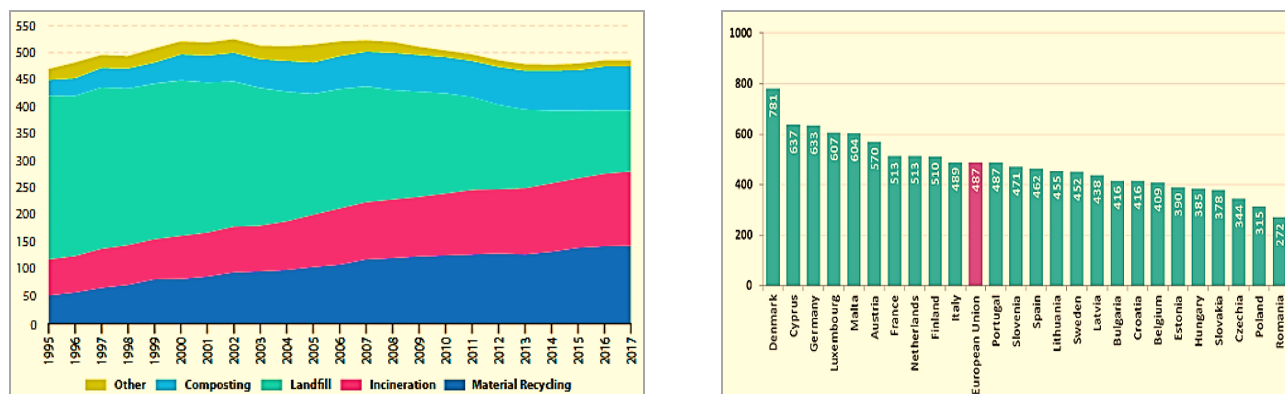


Figura 1.10. Gestionarea deșeurilor municipale în Uniunea Europeană (kg pe cap de locuitor)⁸

1.3. Modalități de gestionare a deșeurilor polimerice

Politicile Uniunii Europene privind gestionarea deșeurilor își propun să reducă impactul deșeurilor asupra mediului și a sănătății și să îmbunătățească eficiența resurselor în Europa. Obiectivul pe termen lung este transformarea Europei într-o societate care reciclează, cu evitarea deșeurilor și folosirea celor inevitabile drept resursă, ori de câte ori acest lucru este posibil. Scopul este atingerea unor niveluri mult mai ridicate de reciclare și minimizarea extracției de resurse naturale suplimentare. O gestionare adecvată a deșeurilor reprezintă un element cheie în asigurarea eficienței resurselor și o creștere durabilă a economiilor din Europa [5].

În consecință, Directiva-cadru revizuită din 2008 privind deșeurile introduce o ierarhie pe cinci niveluri a deșeurilor, în cadrul căreia prevenirea este cea mai bună opțiune, urmată de reutilizare, de reciclare și de alte forme de valorificare, eliminarea, de exemplu în depozite de deșeuri, fiind considerată drept ultima soluție. În conformitate cu această ierarhie, cel de-al șaptelea Program de acțiune pentru mediu (în limba engleză) stabilește următoarele obiective prioritare privind politica în domeniul deșeurilor în Uniunea Europeană [5]:

- reducerea cantității de deșeuri generate;
- maximizarea reciclării și a reutilizării;
- limitarea incinerării la materialele nereciclabile;
- limitarea depozitării deșeurilor la gropile de gunoi la deșeuri nereciclabile și deșeuri nerecuperabile;
- asigurarea implementării complete a obiectivelor politicii în domeniul deșeurilor în toate statele membre ale UE.

Uniunea Europeană recomandă ca gestionarea deșeurilor să se bazeze pe trei principii [1]:

- Prevenirea generării deșeurilor;
- Reciclarea și reutilizarea;
- Eliminarea finală a deșeurilor.

⁸Energy, transport and environment indicators, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019 edition, pages 148-163; <https://www.green-report.ro>

Tabelul 1.6.

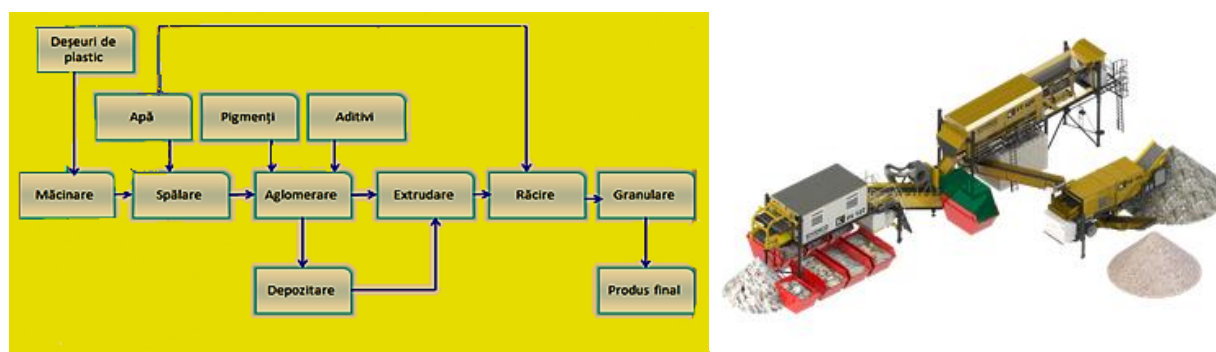
Metode de reciclare a polimerilor [6]

ISO 15270	ASTM D7209-06	Metode
Reciclare mecanică	Reciclare primară	Topire, repeletizare
Reciclare chimică	Reciclare secundară	Formare prin injecție a unei structuri tip sandwich
Reciclare energetică	Reciclare cuaternară	Piroliză, lichefacție, gazeificare

Principiul celor 4 R: reduce, reutilizează, reciclează, recuperează își dovedește valabilitatea. Astfel, luând în considerare factorii care afectează mediul înconjurător, Uniunea Europeană recomandă ca până în anul 2020, toate deșeurile din plastic să fie dirijate spre unități de procesare mecanică, termică sau chimică (vezi tabelul 1.6), iar 50% din deșeurile menajere și 70% din construcții și demolări să fie reciclate sau reutilizate. De asemenea, intensificarea proceselor de reciclare ar ajuta Europa să fie mai puțin dependentă de importul materiilor prime [6].

1.3.1 Reciclarea mecanică/primară (vezi figura 1.11), este tehnica cea mai frecvent utilizată în industria materialelor plastice din Europa. Prin această metodă se recuperează deșeurile curate, atent selectate, cu scopul de a fi refolosite ca produse noi din plastic, cu proprietăți fizico-chimice și mecanice echivalente cu ale materialelor inițiale. Dezavantajele acestei metode sunt legate de costurile mari de colectare, sortare și curățare. De aceea, reciclarea mecanică nu este întotdeauna eficientă din punct de vedere economic. Există totuși o gamă largă de produse care se pot recicla prin această metodă: recipiente transparente sau colorate de PET și HDPE, deșeurile de PVC, componente ale automobilelor, PS expandat, aparatură electrocasnică și electronică, etc [7].

Sortarea materialelor polimerice termoplaste se poate face manual, dar este costisitoare, sau automatizat prin identificarea tipului de material plastic cu ajutorul unor senzori (de exemplu FT-IR), recunoșterea unor caracteristici constructive ale sticlelor de plastic, recunoșterea codurilor sticlelor cu ajutorul unor cititoare programate special, diferența de densitate (cu ajutorul unor cicloane), capacitatea diferită de umectare și diferența de densitate (prin flotație). Mărunțirea se realizează prin măcinare în mori speciale. Prin procesul de spălare se elimină substanțele contaminante. Spălarea se face cu apă și săpun fiind o etapă obligatorie și este urmată de uscare prin centrifugare, pentru eliminarea apei sau îndepărtarea foliilor sau etichetelor rămase. Deșeurile, astfel uscate, alimentează un extruder unde are loc plastifierea, omogenizarea și degazarea, apoi materialul este granulat sau prelucrat, obținându-se produsul finit [1].

Figura 1.11. Fluxul tehnologic de regranulare a deșeurilor polimerice⁹

Ambrose și colaboratorii au reciclat mecanic 100 % deșeurile municipale din plastic, obținând produși de bună calitate. Proprietățile chimice și termice ale acestor materiale reciclate au fost comparate cu alte produse similare obținute din materiale plastice pure. Doddiba și colaboratorii au comparat două metode de reciclare a deșeurilor de electrocasnice (televizoare), prin metoda

⁹Elena Părpăriță, *Teză de doctorat*, 2014, Academia Română-Institutul de chimie Macromoleculară 'P. Poni' Iași; <https://www.ctesolution.ro>

reciclării mecanice și prin incinerare. Aceștia au concluzionat că metoda reciclării mecanice este mai potrivită din punct de vedere al normelor pentru protecția mediului, având în vedere că metoda recuperării de energie prin incinerare a generat emisii nocive mediului. Cavalieri și Padella au utilizat un proces de măcinare cu CO² lichid, pentru amestecuri de deșeuri polimerice. S-a obținut un material sub formă de pulbere, care ulterior a fost utilizat cu succes ca matrice pentru obținerea de noi materiale compozite, materialele obținute prezentând proprietăți mecanice bune [1,8,9,10].

În România, s-a dezvoltat o firmă de reciclare mecanică a deșeurilor polimerice, Rom Waste Solutions [RWS], care prelucra deșeurile menajere, generate de populația Sectorului 1 din București. La nivelul Municipiului București cantitatea de deșeuri din HDPE și PP care se recuperează prin sortare și intră în etapa de reciclare este de aproximativ 270 de tone/lună. Cantitatea lunară de deșeuri din HDPE, respectiv PP, recuperate din deșeurile municipale solide și din deșeurile reciclabile colectate separat este de circa 40 ÷ 45 de tone. Rom Waste Solutions [RWS] este dotată cu cea mai mare și performantă linie de sortare de deșeuri municipale solide din România și una dintre cele mai mari din Europa de Est. Tehnologia Rom Waste utilizează separarea automată a deșeurilor pe tipuri și dimensiuni, având totodată și o componentă de sortare manuală. Proiectul Rom Waste este unic în România, iar performanța acesteia ca și încadrarea ei în recomandările europene are la bază parteneriatele strategice cu diferite centre de cercetare în domeniul reciclării, cât și cu universități de renume din Europa printre care: Delf University of Technology, Universitatea Transilvania din Brașov, La Sapienza din Roma, Barcelona Supercomputing Center și Technical University of Denmark [1].

1.3.2. Reciclarea secundară se referă la utilizarea deșeurilor în amestec cu materiale plastice pure, obținându-se un produs tip sandwich, în care materialul reciclat este acoperit în întregime de materialul nou. Această metodă de reciclare se aplică în cazul produselor pentru care impuritățile sau aspectul materialului reciclat nu sunt importante [1].

1.3.3. Reciclarea terțiară (chimică) constă în aplicarea unor metode de reciclare avansate, care presupun descompunerea materialelor polimerice solide în diferiți compuși chimici cu masă moleculară mică, care pot fi folosiți ca materii prime pentru obținerea de chimicale sau materiale plastice de calitate. Acest mod de reciclare nu are restricții pentru aplicații ulterioare. Aceste metode implică temperaturi ridicate pentru a asigura descompunerea lanțului polimeric, în absența aerului (piroliza), în prezența hidrogenului sub presiune (hidrocracarea), în prezența controlată a oxigenului (gazeificarea). Reciclarea chimică are drept scop recuperarea de energie și se aplică în cazul deșeurilor care nu pot fi reciclate mecanic datorită contaminării excesive, dificultății de separare sau datorită proprietăților de degradare ale polimerilor [11].

În urma procesului de piroliză se obține un volum de gaze mai mic și mai puțin toxic comparativ cu emisiile de gaze din procesul de incinerare. Un grup de cercetători din România și Turcia, au realizat experimente de piroliză a ambalajelor tetrapak, fiind des utilizate ca materiale sterile pentru băuturi. Experimentele de piroliză s-au realizat în atmosferă de azot, la diferite temperaturi (400 ÷ 600°C) utilizând un reactor de piroliză semi-continuu. Prin procesul de piroliză a rezultat reziduu carbonic, având o putere calorică mare și un conținut scăzut de cenușă, s-a dovedit a fi potrivit în aplicații precum combustibili solizi [12].

Un element esențial în politica de dezvoltare durabilă a Uniunii Europene o reprezintă exploatarea eficientă a resurselor, inclusiv a celor energetice. Creșterea continuă a cererii de energie din surse alternative, impune necesitatea găsirii unor soluții viabile de înlocuire, completare a surselor, prin utilizarea unor materii prime disponibile local, cu eficiență energetică și efecte negative minimale asupra mediului. Reciclarea și posibilitatea de reintroducere într-un ciclu de reutilizare a deșeurilor, creând astfel valoare adăugată, constituind astfel un mod de viață. Și totuși, în România anului 2018, nivelul de reciclare a deșeurilor este estimat la mai puțin de 20% din potențial. Este evident că producția globală de materiale plastice, mai ales prin natura societății „*de tip consum*“, continuă să crească, la fel și generarea de deșeuri. În acest moment, în România, deșeurile din plastic generează poluare, cu impact pe termen lung asupra solului, apelor, plantelor,

animalelor și oamenilor. Luând în considerare însă valoarea calorică ridicată a majorității deșeurilor din materiale plastice, prin natura fabricării lor din materii prime de tip fosil, se pot concepe modalități de reutilizare. Polietilena PE (LDPE și HDPE), polipropilena (PP) și polistirenul (PS), sunt trei componente principale ale oricărui flux de deșeuri din plastic. Piroliza, procesul transformare a deșeurilor plastice din figura 1.12, este unul din procesele omniprezente care transformă materialele organice în diferite forme utile, prin descompunere termochimică la temperatură relativ ridicată, în condiții de mediu lipsit de oxigen. Instalația de piroliză este compusă dintr-un reactor din oțel refractar izolat cu vată bazaltică; condensator cu sistem de răcire (gaz condensat) răcit cu apă la $T:10^{\circ}\text{C}$, sticlă - flacon pentru a colecta hidrocarburi condensabile, propilenglicol și sac pentru colectarea gazelor necondensabile [13].

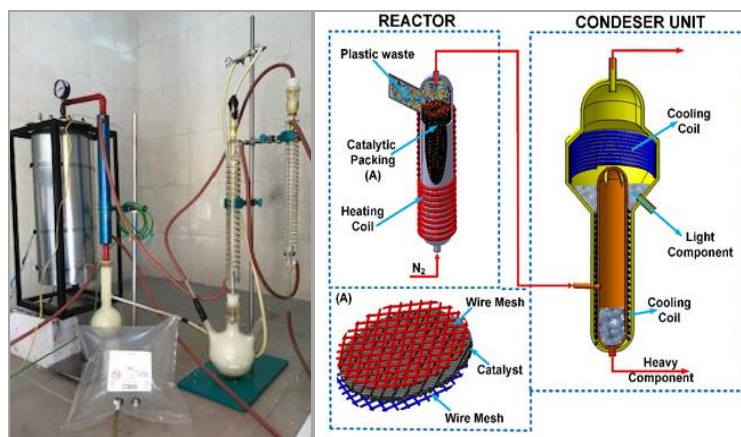


Figura 1.12. Instalație de piroliză pentru deșeurile din plastic¹⁰



Figura 1.13. Instalații de gazeificare¹¹

Gazeificarea (vezi figura 1.13) este un proces termo-chimic de transformare a oricărui material ce conține carbon, într-un amestec gazos de monoxid de carbon (CO), hidrogen (H_2), dioxid de carbon (CO_2), metan (CH_4), gudroane (benzene și alte hidrocarburi aromatice), vapori de apă, particule carbonice, cenușă și uleiuri. Procesul de gazeificare are loc numai la temperaturi ridicate ($500 \div 900^{\circ}\text{C}$), presiune atmosferică sau la presiuni ridicate, în prezența unui agent de gazeificare, cum ar fi, aer, oxigen, vapori de apă, CO_2 , sau amestec al acestora. Compoziția finală a compuşilor gazoși este dependentă de tipul de material, parametrii experimentali și agentul de gazeificare. În timpul gazeificării materiei organice au loc următoarele procese: *uscarea* (evaporarea apei care reprezintă umiditatea materialului), *piroliza* (descompunerea termică în

¹⁰<https://www.icsi.ro/energplas/>

¹¹[https://www.globalsyngas.org](https://www.globalsyngas.org;);
<https://www.coeopro.com>

absența oxigenului), *combustie parțială* (oxidarea carbonului rezultat din procesul de piroliză) și *gazeificarea* (reacția carbonului final cu CO₂, H₂ și H₂O cu obținerea de gaze combustibile CO, H₂ și CH₄) [1, 14].

1.3.4. Reciclarea cuaternară (energetică) se face prin incinerare și este o metodă eficientă de reducere a volumului mare de deșeuri. Deșeurilor plastice se utilizează ca și combustibili în centrale termo-electrice, substituind combustibilii convenționali, sau ca sursă de energie în fabricile de ciment. Incinerarea este un proces de oxidare a materialelor combustibile, cu formare în principal de CO₂ și H₂O. În tabelul 1.7 sunt prezentate valorile puterii calorice pentru unele materiale polimerice în comparație cu alte exemple clasice de combustibili. Se observă că deșeurile din plastic au valori mari ale puterii calorice, acestea devenind ulterior resurse de energie convenabile [1, 15].

Dezavantajul incinerării materialelor plastice constă în emisia de poluanți toxici gazoși, rezultați din arderea incompletă a acestora (de exemplu CO, hidrocarburi, compuși clorurați) sau a oxizilor de sulf și de azot care au un impact negativ asupra mediului. De asemenea, metalele grele, precum plumbul și cadmiul care se găsesc în polimeri, datorită utilizării unor inițiatori sau aditivi care le conțin, rămân în cenușă [1].

În România, procedeul cel mai utilizat este reciclarea mecanică a deșeurilor de mase plastice (PE, PP, PS, PVC etc.). Aceasta constă în operațiile de extrudare – granulare și injecție. Reciclarea prin procedee chimice se aplică numai în cazul deșeurilor tehnologice [1,16].

Tabelul 1.7.

Valoarea puterii calorice pentru materiale polimerice [15]

Material	Putere calorică [MJ/kg]
Poletilenă	43,3 ÷ 46,5
Polipropilenă	46,5
Polistiren	41,9
Kerosen	46,5
Motorină	45,2
Păcură	42,5
Petrol	42,3
Amestec deșeuri menajere	31,8

1.4. Biodegradabilitatea materialelor polimerice

Plasticele biodegradabile sunt definite de ASTM D6400-99 ca materialele polimerice în care degradarea este rezultatul acțiunii naturale a microorganismelor (bacterii, fungi, alge). Biodegradarea are loc în două etape [1, 17]:

1. *Depolimerizarea* se petrece în afara organismului agentului de biodegradare, reacțiile fiind extracelulare, abiotice și au ca efect creșterea suprafeței de contact între polimer și microorganism.
2. *Mineralizarea* este etapa în care fragmentele mici, oligomerice, rezultate din depolimerizare sunt transportate în celulele microorganismelor, unde sunt bioasimilate și transformate în apă, dioxid de carbon și săruri. Acest process poate avea loc aerob sau anaerob.

Au fost identificate patru metode de proiectare a materialelor polimerice biodegradabile [1]:

- Utilizarea polimerilor sintetici ieftini, produși pe scară largă, cărora să li se adauge componente biodegradabile sau fotooxidabile;
- Folosirea unei soluții mai scumpă pentru schimbarea structurii chimice a polimerilor prin introducerea de grupe hidrolizabile sau oxidabile în lantul polimeric;
- Utilizarea biopolimerilor sau a derivaților lor (cea mai studiată clasă este cea a polihidroxicanoaților bacteriali);

- Sinteza unor noi structuri, hidrolizabile de tipul poliesterilor, polianhidridelor sau policarbonaților.

În momentul de față, prima metodă este cea mai realizabilă datorită utilizării tuturor facilităților de mare tonaj existente pentru obținerea polimerilor de sinteză (PE; PP), respectiv utilizării de fibre naturale care se obțin ușor, sunt regenerabile și biodegradabile. Această metodă asigură, astfel, o “etapă tampon” între o societate îngropată în deșeuri de plastic nebiodegradabile și o societate parțial sustenabilă care utilizează materiale cu un grad de biodegradabilitate crescut. Prin aplicarea primei metode de inducere a biodegradabilității, s-au obținut materiale compozite în care umplutura este reprezentată de biopolimeri (umplutura este biodegradabilă). Prin biodegradarea ei, accesibilitatea agenților oxidanți în interiorul matricei poliolefinice crește, conducând la ruperea lanțurilor polimerice, fapt care îmbunătățește și biodegradabilitatea matricei. S-a determinat experimental că moleculele de poliolefine liniare devin accesibile câtorva microorganisme dacă au masa moleculară mai mică de 500. Studii recente au evidențiat faptul că, compozitele pe bază de poliolefine și materiale de umplutură naturale (fibre de bumbac, coji de cereale) generează un impact semnificativ mai mic asupra mediului față de utilizarea polimerilor puri [1].

Tehnologiile de obținere a unor noi materiale polimerice sunt foarte promițătoare din punctul de vedere al aplicațiilor: agricultură (folii, produse cu acțiune ierbicidă și aplicare preemergentă); bunuri de larg consum (ambalaje) cu durată determinată de viață; produse pe bază de matrici polimerice cu eliberare controlată de substanță activă (medicamente); în industrie pentru produse electrotehnice (izolații); recuperarea și reciclarea deșeurilor polimerice; medicină, la obținerea de dispozitive medicale, implanturi [18].

Tendențele actuale în știința procesării polimerilor sunt orientate către [18]:

- crearea de noi tipuri de materiale cu proprietăți de biodegradabilitate, rezistență la coroziune, biocompatibilitate, proprietăți optice, electrice și flexibilitate care să înlocuiască materialele folosite tradițional în agricultură, electronică, industrie, medicină;
- posibilitatea de reciclare și recuperare a acestor materiale pentru protejarea ecosistemului.

În contextul preocupărilor legate de preservarea mediului înconjurător, sunt de strictă actualitate recuperarea și reciclarea deșeurilor din materiale plastice, înlocuirea polimerilor sintetici tradiționali cu polimeri obținuți din resurse regenerabile, ecologice, realizarea de amestecuri polimerice biodegradabile, cu aplicații în agricultură, medicină etc [18].

Deșeurile de materialele plastice sunt rezistente la atacul microbian și astfel se acumulează în cantități mari în sol. Aceste deșeuri nu ajută la fertilizarea solului. Prin urmare cea mai bună alternativă pentru deșeurile de materiale plastice este sintetizarea materialelor plastice degradabile. Pentru managementul deșeurilor provenite din materiale plastice au fost propuse multe soluții, cum ar fi reciclarea, incinerarea și degradarea materialelor. Astfel prin reciclare nu se obțin produse de calitate datorită naturii heterogene a materialelor plastice, iar incinerarea materialelor plastice cu eliminarea gazelor toxice și a vaporilor poate constitui un pericol pentru sănătate. Cea mai oportună soluție o reprezintă materialele plastice degradabile. Datorită preocupărilor privind protecția mediului înconjurător și nevoilor pentru dezvoltarea durabilă din ultimii ani s-au efectuat cercetări relevante pentru producerea de sisteme polimerice biodegradabil [18].

Polimerii naturali cum ar fi amidonul, făina de lemn sunt biodegradabili, în timp ce majoritatea polimerilor sintetici nu sunt biodegradabili. Aditivii materialelor plastice, cu masă moleculară mică, cum ar fi plastifianții și agenții de armare sunt susceptibili la atacul microbian. Aceștia conduc la rigidizarea polimerului. Microbii, în schimb, eliberează enzime oxidative nespecifice care atacă polimerul sintetic. De asemenea, degradarea graduală a polimerului natural conduce la creșterea suprafeței prin eroziune. Acest fenomen va accelera degradarea polimerului sintetic prin difuzia oxigenului, a umezelii și a enzimelor în matricea polimerică poroasă [18].

Polimerii biodegradabili sunt studiați și utilizați într-un număr foarte mare de aplicații (figura 1.14), cum ar fi: ambalaje, filme, fibre, straturi protectoare pentru hârtie și textile, aplicații medicale pentru suturi chirurgicale, implanturi, matrici pentru sisteme cu eliberare controlată a unor

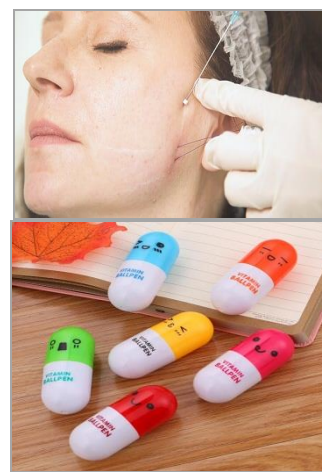
medicamente sau principii active utilizate în domeniul agriculturii. Nu este neglijată nici introducerea lor în fabricarea de repere cu scop industrial [18].



a.



b.



c.



d.



e.



f.

Figura 1.14. Articole biodegradabile: **a.** set de picnic biodegradabil din bambus cu amidon de porumb¹²; **b.** farfurii, tacâmuri și ceașcă biodegradabile din tărațe¹³; **c.** fir resorbabil și medicamente (capsule) folosite în medicină¹⁴; **d.** ambalaje din alge¹⁵; **e.** filament PLA pentru imprimare 3D și bandă biodegradabilă, parafinată pentru altoire¹⁶; **f.** ambalaje din frunze de bananier¹⁷

Acidul polilactic (PLA) e unul dintre cei mai cunoscuți polimeri biodegradabili. Se obține din surse regenerabile precum amidonul de porumb, iar produsele făcute din PLA pot arăta aproape identic cu cele făcute din plastic. Dacă arunci o cană de PLA într-o cuvă cu produse reciclabile din plastic, aceasta poate contamina procesul de reciclare. Produsele de unică folosință din PLA sunt biodegradabile și potrivite pentru producerea de compost industrial. Firma italiană Sant'Anna produce sticle bio din PLA, care intră la coșul de gunoi cu resturi organice, dar capacul sticlelor e făcut din plastic și trebuie aruncat separat. Acest fapt este explicat pe site-ul companiei, dar nu și pe ambalajul sticlei de apă fiind un exemplu care arată cum informațiile clare de pe o etichetă pot juca un rol vital în procesul de reciclare [19].

¹²<https://www.vitacost.com;>

¹³<https://www.stirilekanald.ro;> <https://www.bizoo.ro;>

¹⁴<https://clinicadermacare.ro;> <https://ro.pinterest.com;>

¹⁵<https://www.mereka.my;>

¹⁶<https://3dprintingzoom.com;> <https://www.emag.ro;>

¹⁷<http://epochtimes-romania.com.>

Faptul că un produs e compostabil nu înseamnă că se va descompune rapid în orice fel de mediu. Procesul depinde de temperatură și de condițiile de mediu. Conform unui studiu recent, PLA-ul scufundat în apă la temperatura camerei se descompune într-un an, pe când alte surse susțin că, în ocean, ar dura între șase și 24 de luni. Pentru că e făcut din amidon vegetal, PLA-ul are o amprentă de carbon scăzută comparativ cu producția de plastic tradițional eliberează în atmosferă de patru ori mai multe emisii de carbon decât PLA-ul. Pe lângă asta, PLA nu consumă mult teren fertil, pentru că e foarte eficient. Pentru a produce un kilogram de PLA, ai nevoie de 1,6 kg de biomasă, pe când producția unui kilogram de polietilenă din surse regenerabile necesită cinci kilograme de biomasă [19].

Mater-Bi este un material foarte versatil patentat de compania italiană Novamont și este pe aceeași lungime de undă cu PLA-ul. Are compoziția chimică diferită, dar se obține tot din amidon de porumb și uleiuri vegetale, despre care compania spune că sunt cultivate în Europa și nu sunt modificate genetic. Majoritatea plaselor biodegradabile de azi sunt făcute din Mater-Bi și, conform Novamont, timpul de descompunere al unui film de plastic Mater-Bi e de nouă luni în apă marină. Există și tacâmuri biodegradabile din Mater-Bi, dar costul este relativ ridicat [19].

Un grup de cercetători de la Colegiul Imperial din Londra a găsit o cale de a înveli porțiile de apă într-un film comestibil făcut din alge. Materialul se numește Notpla, iar creatorii lui accentuează calitățile lui superioare în comparație cu alte bioplastice, inclusiv cu PLA-ul. În primul rând, algele maro din care e făcut pot crește cu câte un metru pe zi, ceea ce înseamnă că sunt o sursă și mai eficientă decât porumbul. În plus, Notpla se descompune în pământ în doar patru până la șase săptămâni [19].

Cactusul nopal e o plantă foarte răspândită în Mexic, unde o profesoară de inginerie chimică de la Universidad del Valle de Atemajac a patentat un nou polimer, făcut din amestecarea sucului de cactus cu alte elemente, precum ceara vegetală. Materialul rezultat poate fi folosit ca ambalaj comestibil care se descompune în mediu în câteva săptămâni. Conform cercetătoarei Sandra Pascoe Ortiz, materialul e excelent deoarece cactușii cresc în zone aride și nu au nevoie de teren fertil care poate fi folosit pentru agricultură, de asemenea nu necesită fertilizatori chimici și nici apă. În prezent, polimerul din cactus nu e la fel de durabil precum plasticul, dar e foarte util ca ambalaj [19].

Polimerii nu sunt singura alternativă sustenabilă la plastic. Mai există și alte materiale care sunt folosite dintotdeauna, doar că trebuie acordat un scop nou. În toată Asia se simte problema deșeurilor de plastic, pentru că țările occidentale le aruncă pe continent de ani de zile. De curând, statele asiatice au încetat contractele cu aceste națiuni care vor trebui să găsească alte metode de a scăpa de deșeurile din plastic. Ca să evite problemele legate de ambalarea excesivă, supermarekturile din Vietnam, Thailanda, Filipine și Bali au început să ambaleze mâncarea în frunze de bananier. Această soluție are multiple avantaje precum: frunzele de bananier se găsesc din belșug în regiune și atât costurile, cât și amprenta de carbon sunt mult mai mici față de cele ale ambalajelor tradiționale [19].

Deși ideea că ciupercile ar putea fi o altă alternativă de înlocuire a plasticului nu e una nouă, abia de curând s-a întâmplat ca Meadow Mushrooms, o afacere de familie din Noua Zeelandă, să înceapă să își ambaleze ciupercile în ambalaje făcute din ciuperci. Materialul nu e atât de etanș ca un ambalaj tradițional, ceea ce înseamnă că le permite ciupercilor să respire, să absoarbă umiditate și să rămână proaspete mai mult timp. Acest tip de ambalaj ar putea fi folosit și pentru alte feluri de alimente, la o scară mult mai largă [19].

Dezvoltarea capacului bazat pe materiale biologice este încă un pas important de a produce o soluție de ambalare 100% regenerabilă. LightCap 30 este un capac din polietilenă de înaltă densitate, obținută prin zdrobirea trestiei de zahăr. Din suc fermentat și distilat se obține etanol care este supus unui proces de deshidratare și trasformat în etilenă. Aceasta este apoi polimerizată pentru a produce polietilenă utilizată la fabricarea capacului. Prima companie care utilizează acest capac este Tine, un producător, distribuitor și exportator din industria produselor lactate, cu sediul în Norvegia. Astfel obținerea de amestecuri polimerice biodegradabile constituie o direcție de cercetare prioritară și multidisciplinară, aflată în strânsă conexiune cu cercetări fundamentale în

domeniul termodinamicii și compatibilizării polimerilor, a ingineriei mediului și a biotehnologiilor [19].

În ciuda faptului că are atât de multe avantaje față de plasticul obișnuit, plasticul biodegradabil are și anumite dezavantaje după cum sunt prezentate în tabelul 1.8 [20].

Tabelul 1.8.

Avantajele și dezavantajele utilizării polimerilor biodegradabili [20]

Avantaje	Dezavantaje
✓ mai puține emisii de carbon;	✗ cost ridicat de producție;
✓ consum redus de energie și petrol;	✗ cerințe pentru centrele de compostare;
✓ timp redus de descompunere;	✗ meteo dependență;
✓ fără toxine și substanțe toxice în atmosferă;	✗ metodă proprie de aruncare;
✓ descompunere naturală;	✗ emisiile de metan;
✓ mai puține deșeuri în gropi de gunoi;	✗ utilizarea terenurilor agricole;
✓ ușurința în reciclare;	✗ nu reprezintă o soluție pentru poluarea oceanelor.
✓ amestecuri noi;	
✓ oportunități pentru noi industrii.	

1.5. Economia circulară în Uniunea Europeană

În data de 22.05.2018, Consiliul European adoptă noi măsuri privind deșeurile, astfel statele membre vor trebui să îndeplinească următoarele obiective (tabelul 1.9.) pe măsură ce sporesc gradul de reutilizare și de reciclare a deșeurilor urbane. Statele membre vor institui, până la 1 ianuarie 2025, sisteme de colectare separate pentru textile și pentru deșeurile periculoase din gospodării. În plus, ele vor trebui să se asigure că, până la 31 decembrie 2023, biodeșeurile sunt fie colectate separat, fie reciclate la sursă (de exemplu, prin compostarea la domiciliu). Aceasta este în plus față de colectarea separată care există deja pentru hârtie și carton, sticlă, metale și materiale plastic [21].

Tabelul 1.9.

Obiective privind gradul de reutilizare și de reciclare a deșeurilor urbane în Uniunea Europeană

	Până în 2025	Până în 2030	Până în 2035
Deșeuri urbane	55%	60%	65%

Tabelul 1.10.

Obiective privind gradul de reutilizare și de reciclare a diferitelor deșeuri în Uniunea Europeană

	Până în 2025	Până în 2030
Toate ambalajele	65%	70%
Materiale plastice	50%	55%
Lemn	25%	30%
Metale feroase	70%	80%
Aluminiu	50%	60%
Sticlă	70%	75%
Hârtie și carton	75%	85%

Legislația conține un obiectiv privind reducerea eliminării prin depozitare a deșeurilor și stabilește cerințe minime pentru toate schemele de răspundere extinsă a producătorilor. Producătorii de produse care fac obiectul acestor scheme trebuie să își asume răspunderea gestionării stadiului de deșeu al produselor lor și vor fi chemați să contribuie financiar. Au fost, de asemenea, instituite scheme obligatorii de răspundere extinsă a producătorilor pentru toate ambalajele. Statele membre vor depune eforturi pentru a se asigura că, începând din 2030, niciunul dintre deșeurile care pot fi reciclate sau supuse unei alte forme de recuperare, în special deșeurile urbane, nu vor fi acceptate în depozitele de deșeuri. Pachetul de măsuri privind deșeurile va conduce la un nivel mai ridicat de reciclare a deșeurilor și va contribui astfel la crearea unei economii circulare (tabelul 1.10). Acesta

va încuraja folosirea ambalajelor reciclabile și a celor reutilizabile și va îmbunătăți modul în care sunt gestionate deșeurile [21].

Având în vedere că jumătate din emisiile totale de gaze cu efect de seră și că peste 90% din declinul biodiversității sunt cauzate de extracția și prelucrarea resurselor, Pactul verde european a lansat o strategie pentru o economie neutră din punctul de vedere al impactului asupra climei, eficientă din punctul de vedere al utilizării resurselor și competitivă. Extinderea economiei circulare va contribui în mod decisiv la atingerea neutralității climatice până în 2050 și la decuplarea creșterii economice de utilizarea resurselor, asigurând în același timp competitivitatea pe termen lung a Uniunii Europene și faptul că nimeni nu este lăsat în urmă [22].

Un studiu recent estimează că aplicarea principiilor economiei circulare în întreaga economie a Uniunea Europeană are potențialul de a majora PIB-ul Uniunea Europeană cu 0,5% până în 2030, creând aproximativ 700000 de noi locuri de muncă. Există argumente economice clare și pentru întreprinderile individuale: având în vedere că întreprinderile producătoare din Uniunea Europeană cheltuiesc, în medie, aproximativ 40% pe materiale, modelele de gestionare a materialelor în buclă închisă le pot mări rentabilitatea, protejându-le, în același timp, de fluctuațiile prețurilor la resurse [22].

Pornind de la piața unică și de la potențialul tehnologiilor digitale, economia circulară poate consolida baza industrială a Uniunii Europene și poate stimula înființarea de întreprinderi și spiritul antreprenorial în rândul IMM-urilor. Modelele inovatoare bazate pe o relație mai strânsă cu clienții, personalizarea produselor fabricate în serie, economia participativă și colaborativă, susținută de tehnologii digitale (cum ar fi internetul obiectelor, tehnologiile de lucru cu volume mari de date, tehnologia blockchain și inteligența artificială), vor accelera circularitatea și vor dematerializa totodată economia; ca urmare, Europa va fi mai puțin dependentă de materiile prime [22].

Pentru cetățeni, economia circulară va furniza produse de înaltă calitate, funcționale și sigure, eficiente și cu prețuri accesibile, cu o durată de viață mai îndelungată și concepute pentru a fi reutilizate, reparate și reciclate la un nivel de înaltă calitate. O întreagă nouă gamă de servicii sustenabile, de modele de afaceri de tip „produs ca serviciu” (product-as-service) și de soluții digitale vor contribui la îmbunătățirea calității vieții, la crearea de locuri de muncă inovatoare și la actualizarea cunoștințelor și a competențelor [22].

În consecință, Comisia a inițiat un plan de acțiune pentru economia circulară în data de 11.03.2020 la Bruxelles, prezintă o agendă orientată spre viitor, menită să realizeze obiectivul unei Europe mai curate și mai competitive, în colaborare cu factorii economici, consumatorii, cetățenii și organizațiile societății civile. Planul de acțiune vizează accelerarea schimbărilor radicale cerute de ‘Pactul verde european’, bazându-se pe acțiunile în domeniul economiei circulare puse în aplicare începând cu 2015. Ca parte a planului, se va asigura raționalizarea și adaptarea pentru un viitor sustenabil a cadrului de reglementare și valorificarea la maximum a noilor oportunități oferite de tranziție, reducându-se în același timp la minimum sarcinile pentru cetățeni și întreprinderi [22].

Planul de acțiune, evidențiat în tabelul 1.11, prezintă o serie de inițiative interconectate vizând instituirea unui cadru de politică solid și coerent privind produsele, grație căruia produsele, serviciile și modelele de afaceri sustenabile vor deveni norma, iar tiparele de consum se vor transforma definitiv, astfel încât să se evite de la bun început generarea de deșeuri. Acest cadru de politică privind produsele va fi implementat în mod progresiv, iar lanțurile valorice ale produselor-cheie vor fi abordate cu prioritate. Se vor institui măsuri suplimentare pentru a reduce deșeurile și pentru a se asigura faptul că Uniunea Europeană dispune de o piață internă funcțională pentru materiile prime secundare de înaltă calitate. În același timp, se va consolida capacitatea Uniunii Europene de a-și asuma responsabilitatea pentru propriile deșeuri. Europa nu va realiza o schimbare radicală dacă acționează de una singură. Uniunea Europeană va continua să joace rolul de lider în trecerea la o economie circulară la nivel mondial și să își utilizeze influența, expertiza și resursele financiare pentru a pune în aplicare obiectivele de dezvoltare durabilă pentru 2030. Un alt scop urmărit de prezentul plan este asigurarea faptului că economia circulară funcționează pentru cetățeni, regiuni și orașe, contribuie pe deplin la neutralitatea climatică și valorifică potențialul

cercetării, al inovării și al digitalizării. Planul prevede dezvoltarea în continuare a unui cadru de monitorizare solid, care să contribuie la măsurarea bunăstării „dincolo de PIB” [22].

Tabelul 1.11.

Planul de acțiune privind economia circulară în Uniunea Europeană [22].

Cadrul de politică privind produsele sustenabile	Proiectarea de produse sustenabile
	Capacitatea consumatorilor și a achizitorilor publici
	Circularitatea în procesele de producție
Lanțurile valorice ale produselor-cheie	Produsele electronice și TIC
	Bateriile și vehicule
	Ambalaje
	Materiale plastice
	Produse textile
	Construcțiile și clădirile
	Alimente, apa și nutrienții
Mai puține deșeuri mai multă valoare	Politică consolidată privind deșeurile în sprijinul prevenirii geberării de deșeuri și al circularității
	Consolidarea circularității într-un mediu fără substanțe toxice
	Crearea unei piețe a UE funcționale pentru materiile prime secundare
	Exporturile de deșeuri din UE
O bună funcționare a circularității la nivelul cetățenilor, al regiunilor și al orașelor	
Acțiuni transversale	Circularitatea ca o condiție pralabilă pentru neutralitatea climatică
	Crearea unor condiții economice favorabile
	Asigurarea tranziției prin cercetare, inovare și digitalizare
Simularea eforturilor la nivel mondial	
Monitorizarea progreselor	

Strategia Uniunii Europene pentru materialele plastice în economia circulară a pus în mișcare un set cuprinzător de inițiative care răspund unei provocări de interes public major. Pentru a spori utilizarea de materiale plastice reciclate și pentru a contribui la o utilizare mai sustenabilă a materialelor plastice, se propun cerințe obligatorii privind conținutul de materiale reciclate și măsuri de reducere a deșeurilor pentru produse cheie, cum ar fi ambalajele, materialele de construcții și vehiculele, ținând seama în același timp de activitățile Alianței pentru circularitate în domeniul maselor plastice. Pe lângă măsurile de reducere a deșeurilor din plastic, se vor aborda noile provocări în materie de sustenabilitate prin elaborarea unui cadru de politică privind [22].:

- *aprovizionarea cu materiale plastice de origine biologică*, etichetarea și utilizarea acestora, pe baza evaluării cazurilor în care utilizarea materiilor prime biologice are beneficii reale pentru mediu, care nu se limitează la reducerea utilizării resurselor fosile;
- *utilizarea de materiale plastice biodegradabile sau compostabile*, pe baza unei evaluări a situațiilor în care o astfel de utilizare poate fi benefică pentru mediu, precum și a criteriilor pentru astfel de situații.

Pentru a aborda problema poluării marine cu materiale plastice se va asigura punerea în aplicare în timp util a noii directive privind produsele din plastic de unică folosință și echipamentele de pescuit, protejând în același timp piața unică, în special în ceea ce privește [22].:

- etichetarea produselor precum tutunul, șervețelele umede și, precum și paharele pentru băuturi, precum și introducerea capacelor atașate pentru sticle, pentru a preveni aruncarea de gunoaie pe domeniul public;
- elaborarea în premieră a unor norme privind măsurarea conținutului de materiale reciclate din produse.

Economia circulară aduce cu sine o serie de beneficii, dar și provocări cărora trebuie să le răspundă toți factorii interesați, deopotrivă privați sau publici, sau simplii cetățeni. Impactul deșeurilor asupra mediului a căpătat în ultima perioadă o atenție deosebită la nivel internațional și european, inclusiv în ceea ce privește deșeurile marine. Identificarea de soluții sustenabile pentru optimizarea consumului de resurse pentru închiderea buclelor reprezintă un obiectiv important la nivel european. Noile ținte de reciclare pentru fiecare flux de deșeuri, interzicerea depozitării în 2030, necesitatea de realizare a planurilor de prevenție impun un grad mare de pregătire pentru România [22].

1.6. Concluzii

Cu toate că a crescut continuu prețul petrolului, materia primă de bază la fabricarea materialelor plastice alături de gaz metan, consumul de materiale plastice l-a egalat pe cel de metale, existând o dinamică crescătoare și în prezent. Proprietățile unice ale materialelor polimerice au determinat extinderea utilizării acestora în toate domeniile de activitate umană, cele mai interesante domenii de aplicare a acestora fiind: industria de ambalaje, materiale de construcții, industria construcțiilor de mașini, industria aerospațială, industria nucleară, electrotehnica și electronica, materiale inteligente, industria chimică, medicină, agricultura.

În ciuda eforturilor depuse la nivelul Uniunii Europene și la nivel național, cantitatea de deșeuri generate nu scade. Cantitatea anuală de deșeuri generată de toate sectoarele economice din Uniunea Europeană se ridică la 2,5 miliarde de tone, echivalentul a 5 tone pe cap de locuitor pe an, fiecare cetățean producând, în medie, aproape o jumătate de tonă de deșeuri municipale. În ceea ce privește gestionarea deșeurilor, în 2017, 30% din deșeuri au fost reciclate, 17% compostate, 28% incinerate și 24% depozitate. În comparație cu țările din Uniunea Europeană, România, încă este la dependentă de depozitare, alte opțiuni de tratament fiind aplicate într-o măsură mai mică. Minimizarea efectivă a generării de deșeuri va necesita eforturi considerabile de-a lungul întregului lanț valoric și în fiecare gospodărie în parte.

Metodele de reciclare actuale rezolvă parțial problema impactului materialelor polimerice asupra mediului prin reintroducerea lor în cicluri noi de viață (reciclarea primară), obținerea de produși chimici cu valoare mare de întrebuințare (piroliză, gazeificare) sau utilizarea ca și combustibili (incinerare). Ele prezintă și unele dezavantaje cum ar fi emisii necontrolate, tehnologii scumpe, randament limitat.

Pentru managementul deșeurilor provenite din materiale plastice cea mai bună soluție o reprezintă materialele plastice biodegradabile. Principalele clase de polimeri biodegradabili sunt reprezentate de poliesteri, polimeri pe bază de PLA, resurse regenerabile cum ar fi amidon, făină de lemn, trestia de zahăr, bambus, sucul de cactus etc. Polimerii biodegradabili sunt studiați și utilizați într-un număr foarte mare de aplicații, cum ar fi: ambalaje, filme, fibre, straturi protectoare pentru hârtie și textile, aplicații medicale pentru suturi chirurgicale, implanturi, matrici pentru sisteme cu eliberare controlată a unor medicamente sau principii active utilizate în domeniul agriculturii. Polimerii biodegradabili se pot prelucra pe utilaje convenționale, prin tehnologiile de extrudare și injecție, asemănător materialelor plastice tradiționale. Reîntoarcerea la natură, atât prin procesele de obținere a polimerilor din materii prime regenerabile cât și prin inducerea biodegradabilității lor la sfârșitul ciclului de viață, este strategia care poate susține sustenabilitatea societății actuale.

Managementul deșeurilor este o parte importantă a economiei circulare, dar care aduce în discuție necesitatea unei analize mai profunde, adică economia circulară presupune mai mult decât deșeuri, ea aduce în prim plan ideea unui consum de resurse scăzut.

Politicele Uniunii Europene privind gestionarea deșeurilor își propun să reducă impactul deșeurilor asupra mediului și a sănătății cât și să îmbunătățească eficiența resurselor în Europa. Obiectivul pe termen lung este transformarea Europei într-o societate care reciclează, cu evitarea deșeurilor și folosirea celor inevitabile drept resursă, ori de câte ori acest lucru este posibil. Scopul este atingerea unor niveluri mult mai ridicate de reciclare și minimizarea extracției de resurse naturale suplimentare. O gestionare adecvată a deșeurilor reprezintă un element cheie în asigurarea

eficienței resurselor și o creștere durabilă a economiilor din Europa. În consecință, Comisia a inițiat un plan de acțiune pentru economia circulară în data de 11.03.2020 la Bruxelles, vizează accelerarea schimbărilor radicale pentru o Uniune Europeană mai curată și mai competitivă, în colaborare cu factorii economici, consumatorii, cetățenii și organizațiile societății civile.

Protecția mediului constituie obligația și responsabilitatea autorităților administrației publice centrale și locale, a personalului juridic, dar în primul rând a tuturor persoanelor fizice. Gestionarea deșeurilor reprezintă una dintre problemele importante cu care se confruntă România cât și celelalte țări membre ale Uniunii Europene, în ceea ce privește protecția mediului. Aceasta se referă la activitățile de colectare, transport, tratare, valorificare și eliminare a deșeurilor.

CAPITOLUL 2.

POLITICI DE RECICLARE A MATERIALELOR POLIMERICE TERMOPLASTE ÎN JAPONIA

2.1 Scurt istoric a gestionării deșeurilor în Japonia

În Japonia, la începutul modernizării, deșeurile au fost tratate chiar de către producătorii de deșeuri sau de operatorii de tratare a deșeurilor private care le-au colectat și valorificat prin selectarea acestora cu scopul de a obține profit. Deșeurile au fost deseori aruncate de operatorii de tratare a deșeurilor pe marginea drumurilor sau a locurilor vacante și au fost adunate în condiții nesanitare. În plus, ca urmare a creșterii contactului între oameni și deșeuri, diverse boli infecțioase au apărut și s-au răspândit. În consecință, a devenit importantă menținerea curățeniei orașelor întregi, inclusiv a depozitelor de deșeuri care reprezentau loc de reproducere a muștelor, țânțarilor și șobolanilor care erau purtători de boli infecțioase, cu alte cuvinte, îmbunătățirea sănătății publice a devenit o prioritate [23].

Legea privind curățarea deșeurilor a fost adoptată în 1900 pentru a îmbunătăți sănătatea publică, municipalitățile sunt obligate prin lege să colecteze și să elimine deșeurile, iar organizațiile guvernamentale pentru instituirea unui sistem de administrare a deșeurilor au obligația de a supraveghea operatorii de tratare a deșeurilor. Deși legea susține incinerarea deșeurilor dacă este posibil, lipsa condițiilor de incinerare a condus la adunarea deșeurilor și arderea acestora în aer liber, adăugându-se deșeuri în mod continuu [23].

În 1954 guvernul japonez a adoptat Legea de curățare publică, în primul rând, pentru a dezvolta sistemul de gestionare al deșeurilor, în special pentru a facilita colaborarea între consumatori, administrațiile locale și cele naționale și în al doilea rând pentru a rezolva cât mai eficient problemele cu privire la deșeurile urbane. Pe lângă sistemul convențional de colectare și eliminare a deșeurilor de către municipalități, acest act a definit și obligația guvernelor naționale și prefecturale să ofere sprijin financiar și tehnologic municipalităților, precum și obligația populației de a coopera cu municipalitățile în colectarea și eliminarea deșeurilor. De asemenea, în vederea îmbunătățirii vieții mediului înconjurător și a sănătății publice prin promovarea urgentă a planificării era nevoie de instalații pentru mediul înconjurător, Legea privind măsurile de urgență privind dezvoltarea facilităților ale mediului înconjurător a fost adoptată în 1963. În acest act, guvernul japonez a formulat un plan pe cinci ani pentru facilitarea dezvoltării mediului înconjurător pentru a stabili politici pentru dezvoltarea instalațiilor de gestionare a deșeurilor, inclusiv promovarea introducerii instalațiilor de incinerare a deșeurilor în orașe. Planul a ajutat, de asemenea, la promovarea automatizării colectării deșeurilor prin colaborarea administrațiilor locale și a companiilor private pentru colectarea și transportul eficient și curat al deșeurilor. În timp ce s-au înregistrat progrese în dezvoltarea sistemelor de gestionare a deșeurilor menajere, deșeurile generate de industrii au fost încă prelucrate în cadrul sistemelor de gestionare a deșeurilor municipale. Cu toate acestea, în ceea ce privește tehnologia, finanțele și managementul, nu a fost bine dezvoltat un sistem pentru gestionarea corectă a deșeurilor industriale [23].

Ca urmare a creșterilor veniturilor rezultate din creșterea economică rapidă, a utilizării pe scară largă a electrocasnicelor, precum și a apariției supermarketurilor și magazinelor convenabile din Japonia, sistemele de marketing și comportamentul consumatorilor s-au schimbat considerabil în anii '60 - '70. Datorită acestor schimbări, o economie bazată pe producție în masă și dezvoltarea consumului în masă, au determinat o creștere rapidă a cantității și diversității de deșeuri urbane. Industrializarea rapidă rezultată din creșterea economică a generat poluarea prin deșeuri periculoase evacuate din fabrici, cum ar fi cele organice mercur și cadmiu, având un impact negativ asupra

sănătății populației din zonele înconjurătoare. De asemenea, produsele din materiale polimerice au devenit utilizate la scară largă și au fost aruncate în cantități mari (figura 2.1). Când au fost arse, acestea au provocat temperaturi suficient de mari pentru a deteriora cuptoarele. Unele materiale plastice au generat praf de funingine, gaze acide și alte substanțe periculoase în timpul incinerării, devenind cauza principală a poluării aerului și a apei. Ca urmare a creșterii consumului și extinderii continue a activității de producție datorate economiei tip bulă de săpun “bubble economy” (anii 1980 târziu, până la începutul anilor 1990), generarea deșeurilor a continuat să crească. În plus, a existat și o creștere în ceea ce privește varietatea deșeurilor, inclusiv a electrocasnicelor de dimensiuni mari și deșeuri provenite de la obiecte greu de realizat, precum și o extindere a utilizării containerelor și a ambalajelor. Sticlele din plastic au ajuns să fie utilizate pe scară largă în această perioadă – figura 2.2. [23].

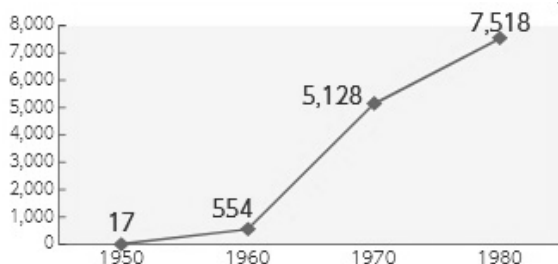


Figura 2.1. Producția de materiale polimerice în Japonia¹ (1000 tone)

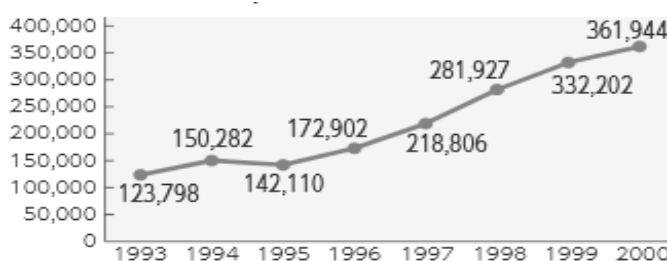


Figura 2.2. Producția de sticle din plastic în Japonia² (tone)

Deși au fost înregistrate progrese semnificative în gestionarea adecvată a deșeurilor până în anii '80, au mai rămas unele probleme nerezolvate inclusiv creșterea continuă a producerii de deșeuri și deficitul rezultat din depozitele de deșeuri. În scopul de a furniza soluții adecvate pentru astfel de probleme, guvernul japonez a schimbat obiectivul politicilor sale către reducerea producerii de deșeuri [23].

În plus, pentru a se îndepărta de sistemul economic bazat pe producția, consumul și eliminarea în masă și pentru a promova înființarea unei noi societăți cu privire la ciclul materialelor (“sound material-cycle society”), care să asigure punerea în aplicare a 3R (reducerea, reutilizarea și reciclarea) și gestionarea corespunzătoare a deșeurilor, guvernul a stabilit Legea de bază pentru instituirea acestei societăți tip “sound material-cycle society” (Legea de bază a reciclării) în 2000. Această lege oferă o viziune clară pentru o societate sănătoasă cu cicluri materialelor, care este concepută pentru a reduce consumul de resurse naturale, precum și impactul asupra mediului; prezintă, de asemenea, principii de bază pentru crearea unei societăți sănătoase cu cicluri de materiale, inclusiv determinarea legală a ordinii, prioritate având reciclarea resurselor și managementul deșeurilor (reducerea generării, reutilizării; reciclării; recuperării termice și eliminării corespunzătoare). În Planul fundamental de reciclare, care a fost prevăzut să fie formulat în baza Legii privind reciclarea, guvernul a stabilit în mod explicit obiective numerice pentru productivitatea resurselor (intrare), rata de reciclare (circulație), și cantitatea finală de eliminare a deșeurilor (ieșire), pentru a promova dezvoltarea pe scară largă a unei societăți sănătoase privind ciclul materialelor [23].

În efortul de a face față problemelor deșeurilor care au evoluat de-a lungul anilor, guvernul japonez a adoptat și a revizuit legi lucrând în cooperare cu administrațiile locale, operatorii de afaceri private (antreprenori) și localnici pentru a promova gestionarea adecvată a deșeurilor, utilizarea eficientă a resurselor, precum și dezvoltarea constantă a unei societăți solide care are drept scop reducerea consumului de resurse naturale, prevenirea sau reducerea generării de deșeuri în mediul înconjurător și promovarea reciclării deșeurilor (“sound material-cycle society”) [23].

¹ <https://www.env.go.jp/en/recycle/smcs/attach/hcswm.pdf>;

² <https://www.env.go.jp/en/recycle/smcs/attach/hcswm.pdf>.

În tabelul 2.1 sunt prezentate problemele privind deșeurile cu care Japonia s-a confruntat de la începutul modernizării sale și până astăzi și modul în care aceasta a rezolvat problemele, concentrându-se pe următoarele aspecte: sănătatea publică, prevenirea poluării și protecția mediului, crearea unei societăți solide care reciclează. De asemenea Japonia s-a concentrat asupra prioritizării ridicate a problemelor în diferite perioade de timp [23].

Tabelul 2.1

Istoricul sistemelor juridice privind dezvoltarea unei societăți solide “a sound material-cycle society” (perioada postbelică până în prezent) [16]

Perioada de timp	Principalele probleme	Legi adoptate
Perioada postbelică până în 1950	Gestionarea deșeurilor pentru salubritatea mediului ambiant (sănătatea publică) Întreținerea unui trai sănătos și confortabil mediului înconjurător	Legea curățării publice (1954)
1960 - 1970	Creșterea cantității de deșeuri industriale și apariția problemelor de poluare ca urmare a creșterii economice rapide Gestionarea deșeurilor pentru protecția mediului	Legea privind măsurile de urgență privind dezvoltarea facilităților mediului de viață (1963) Legea privind gestionarea deșeurilor (1970) Revizuirea Legii privind gestionarea deșeurilor (1976)
1980	Promovarea dezvoltării unor facilități de gestionare a deșeurilor Protecția mediului necesară pentru gestionarea deșeurilor	Legea centrală de dezvoltare a mediului litoral (1981) Legea privind sistemul de canalizare privată (legea Johkasoh) (1983) Revizuirea Legii privind gestionarea deșeurilor (1991)
1990	Generarea, controlul și reciclarea deșeurilor Instituirea unor diverse sisteme de reciclare Gestionarea substanțelor periculoase (inclusiv dioxine) Introducerea unui sistem adecvat de gestionare a deșeurilor pentru a face față diversificării tipului și naturii deșeurilor	Act de promovare a dezvoltării facilităților specificate pentru eliminarea deșeurilor industriale (1992) Revizuirea Legii privind gestionarea deșeurilor (1991) Act de promovare a dezvoltării instalațiilor specificate pentru eliminarea deșeurilor industriale (1992) Actul japonez de la Basel (1992) Legea de bază a mediului (1993) Legea privind reciclarea containerelor și ambalajelor (1995) Revizuirea Legii privind gestionarea deșeurilor (1997) Legea privind reciclarea electrocasnicelor (1998) Act privind măsurile speciale împotriva dioxinelor (1999) Legea de bază pentru crearea unei societăți societăți “Sound Material-Cycle Society” (2000) Legea privind reciclarea în domeniul construcțiilor (2000) Legea privind reciclarea alimentelor (2000) Revizuirea Legii privind gestionarea deșeurilor (2000)
2000 -	Promovarea măsurilor 3R care vizează crearea unei societăți solide cu cicluri materiale Îmbunătățirea gestionării deșeurilor industriale Îmbunătățirea reglementărilor privind dumpingul ilegal	Legea privind măsurile speciale privind promovarea tratamentului adecvat al deșeurilor de BPC (2001) Legea privind reciclarea în industria automobilelor (2002) Legea privind măsurile speciale privind înlăturarea problemelor de mediu cauzate de deșeurile industriale specificate (2003) Revizuirea Legii privind gestionarea deșeurilor (2003-2006, 2010) Legea privind reciclarea electrocasnicelor (2013)

2.2 Managerierea deșeurilor polimerice în Japonia

În Japonia, deșeurile sunt definite în Gestionarea Deșeurilor și Curățarea Spațiilor Publice și „Se referă la deșeuri precum: deșeuri voluminoase, cenușă, nămol, excremente, uleiuri uzate, acid rezidual și alcali, carcase și alte materii murdare și inutile, care sunt în stare solidă sau lichidă (excluzând deșeurile radioactive și deșeuri poluante prin radioactivitate).” Practic, deșeurile sunt clasificate în „deșeuri municipale” și „deșeuri industriale”. În fiecare dintre aceste categorii există „deșeuri controlate în mod specific” care se referă la deșeuri care sunt explozive, toxice, infecțioase sau de natură dăunătoare sănătății umane și/sau mediului de viață [25].

Responsabilitățile pentru tratarea deșeurilor sunt împărțite diferitelor entități implicate precum: administrația națională și locală, operatorii de afaceri, consumatorii, etc. Fiecare entitate are un rol bine stabilit, iar colaborarea este esențială pentru o bună desfășurare [25]:

- *Guvernul național* adună și analizează informații despre deșeuri, adoptă legi și reglementări, pregătește strategiile naționale și oferă sprijin municipalităților și prefecturilor.
- *Prefecturile* oferă sprijin municipalităților, oficializează uzinele și supraveghează deșeurile industriale administrate în zonele aflate sub jurisdicția lor, inclusiv acordarea licențelor pentru instalațiile de eliminare a deșeurilor. De asemenea, au rolul de a stabili limite de emisii.
- *Municipalitățile* sunt responsabile pentru gestionarea deșeurilor municipale în zonele aflate sub jurisdicția lor, supraveghează dezvoltarea infrastructurii de deșeuri și dezvoltă măsuri pentru reducerea cantității de deșeuri generate în rândul populației.
- *Operatorii de afaceri care generează deșeuri* sunt responsabili de gestionarea corectă a deșeurilor industriale generate din activitățile lor corporative. Aceștia trebuie să dezvolte, de asemenea, produse și containere ușor de gestionat atunci când sunt procesate ca deșeuri și să ofere informații despre modul de gestionare al acestora.
- *Generatorii de deșeuri (consumatori)* trebuie să coopereze cu administrațiile locale și naționale, de exemplu, folosind produse reciclate sau prin colectarea selectivă a deșeurilor.

Educarea populației, încă de la școală, este un aspect cheie al strategiei japoneze în gestionarea deșeurilor. Implicarea și cooperarea consumatorilor - generatoare de deșeuri este subliniată în special în ceea ce privește importanța sortării corespunzătoare a deșeurilor [25].

2.2.1. Deșeuri municipale

Guvernele municipale din Japonia sunt responsabile de colectarea, tratarea și eliminarea deșeurilor solide municipale (MSW) în zonele aflate sub jurisdicția lor, dar activitățile sunt de obicei realizate de către companiile private locale. Deșeurile solide municipale sunt în general administrate la nivel local, deoarece sunt necesare autorizații pentru a scoate deșeurile din municipalitate și administrațiile locale ar trebui să facă față unei opoziții puternice din partea localnicilor din cealaltă municipalitate (sindromul „Not in my backyard”). Una dintre consecințe este discrepanța gestionării deșeurilor între orașe, întrucât bugetul disponibil și resursele diferă în mare măsură, în special având în vedere problema actuală a municipalităților (rurale) sub presiune financiară. Un alt aspect al responsabilității suportate de municipalitate este aceea de satisfacere a localnicilor și întreprinderilor, care pot duce la decizii legate de gestionarea deșeurilor [25].

Conform datelor privind cantitățile și eliminarea deșeurilor municipale în Japonia, instalațiile de incinerare, depozitele de deșeuri și cheltuielile, cantitatea totală de deșeuri de persoană pe zi a scăzut ușor de la 43.980.000 tone în anul 2015 la 43.170.000 tone în exercițiul financiar din 2016 (figura 2.3) [25].

În Uniunea Europeană, așa cum este prezentat în Capitolul 1, cantitatea de deșeuri municipale a variat semnificativ între statele membre, astfel în cinci din cele 25 de țări pentru care sunt disponibile datele din 2017, au fost produse peste 600 kg de deșeuri municipale de persoană: Danemarca (781 kg/persoană), urmată de Cipru (637 kg/persoană), Germania (633 kg/persoană),

Luxemburg (607 kg/persoană) și Malta (604 kg/persoană). În schimb, au existat trei țări care au generat mai puțin de 350 kg de deșeuri municipale pe persoană: România (272 kg/persoană), Polonia (315 kg/persoană) și Cehia (344 kg/persoană) [4].

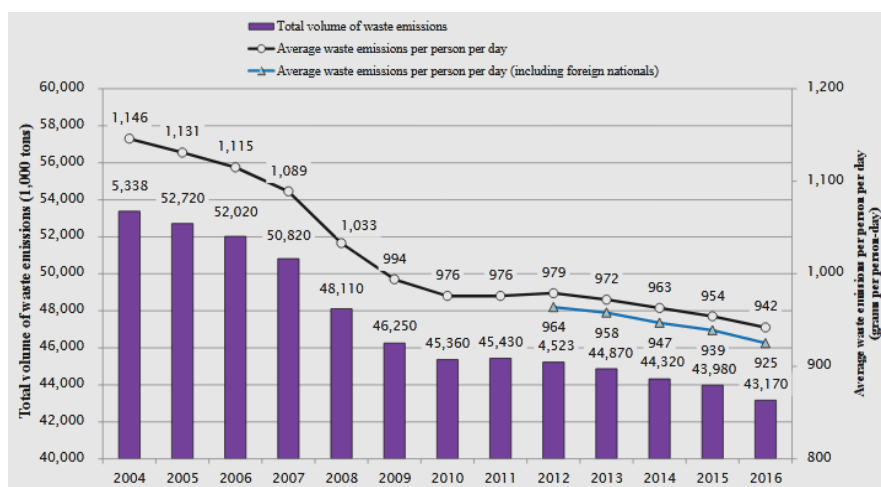


Figura 2.3. Generarea deșeurilor municipale în Japonia³ (tone/cap de persoană)

2.2.1.1. Sortarea

Legile naționale oferă un cadru general, dar detaliile pentru punerea în aplicare sunt transmise guvernelor locale în funcție de caracteristicile și nevoile regionale. Prin urmare, instrucțiunile de sortare nu sunt omogene în Japonia, ci variază de la oraș la oraș. Sistemul de separare poate cuprinde peste 30 categorii de deșeuri. Sortarea corectă este un pas determinant în rularea unei scheme de tratare a deșeurilor japoneze [25]:

- *Deșeurile reciclabile*, cum ar fi sticlă, hârtie, PET, plastic (materiale polimerice), etc., trebuie curățate și aruncate separat. Legea a introdus un sistem de diferențiere a materialelor pentru a ajuta cetățenii să distingă diferitele categorii de materiale polimerice.
- *Deșeurile necombustibile* (denumite în japoneză „moenai gomi”) sunt deșeuri care nu pot fi arse, cum ar fi ceramica sau produsele metalice. Aceste deșeuri vor fi aruncate în depozite de deșeuri.
- *Deșeurile combustibile* („moeru gomi”) corespund deșeurilor care nu sunt nici reciclabile ca resurse, dar nici incombustibile. Acestea sunt considerate combustibile, de exemplu, deșeurile din bucătărie și hainele.
- *Deșeurile de dimensiuni mari* sunt deșeuri de peste 30 cm. Acestea nu pot fi aruncate în sistemul normal de colectare, dar cetățenii trebuie să apeleze la municipalitate pentru a aranja special livrarea și trebuie să plătească o taxa.

În anul 2015, Japonia a sortat: ambalaje de plastic (745 kilotone/an), sticla PET – polietilenă teraflatată (292 kilotone/an), tevi din polistiren (6 kilotone/an) și bunuri din polimeri (colectate în cantități mici de municipalități) [25].

2.2.1.2. Colectarea

Coșurile de deșeuri administrate în mod privat pot fi găsite în parcuri, în apropiere de distribuitorilor automate sau în magazine. Cu toate acestea, containerele publice de deșeuri au dispărut de pe străzi ca urmare a unei măsuri anti – teroriste, ca urmare a atacul cu sarin de la metroul din Tokyo, comise în 1995 de secta japoneză Aum Shinrikyo. Acest incident este acum considerat un stimulent pentru ca oamenii să fie responsabili și să-și gestioneze deșeurile și de

³ <https://www.jwnet.or.jp>

obicei, japonezii își aduc deșeurile înapoi acasă pentru eliminarea sortată. Frecvența de colectare a deșeurilor din gospodării depinde și de municipalitate. De obicei, deșeurile sunt puse în pungi care sunt apoi manipulate manual de către colectoare speciale. În afară de colectarea separată de municipalități, localnicii ar putea avea și posibilitatea de a aduce gunoiul la cutiile de colectare instalate în instalațiile municipale (de obicei pentru anumite tipuri de deșeuri, cum ar fi textilele) sau de a lua parte la colectarea în grupuri (grupurile de voluntari colectează și vând reciclabile către o firmă de procesare) [25].

2.2.1.3. Metode de tratare a deșeurilor

În Japonia, incinerarea este în mod clar cea mai populară metodă de tratare a deșeurilor. În principal eforturile au fost axate pe reducerea cantității de deșeuri trimise către depozitele de deșeuri.

În perioada anului 2016, cantitatea de deșeuri municipale incinerate cu recuperare de energie a scăzut comparativ cu anul precedent, de la 2.500.000 tone la 1.960.000 tone. De asemenea, colectarea colectivă este un concept întâlnit nu în multe țări, care în Japonia se pune accent, dar care totuși în ultimii ani este într-o scădere continuă. Perioada de vârf a colectării colective este în 2006 când s-au înregistrat 3.060.000 tone, iar în 2016 s-au colectat 2.270.000 tone (figura 2.4) [25].

Pentru comparație, așa cum este prezentat în Capitolul 1, în ceea ce privește gestionarea deșeurilor municipale din Uniunea Europeană, în 2017, 30% din deșeuri au fost reciclate, 17% compostate, 28% incinerate și 24% depozitate. Cu zece ani în urmă, în 2007, imaginea era diferită, cu 24% din deșeuri reciclate, 13% compostate, 21% incinerate și 43% depozitate [4].

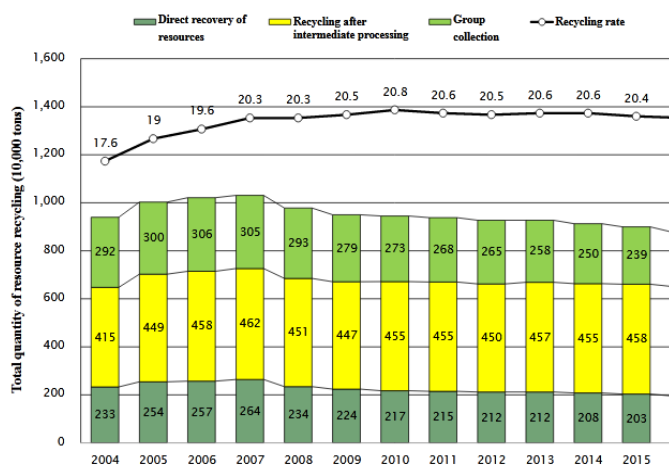


Figura 2.4. Tratarea deșeurilor în Japonia⁴

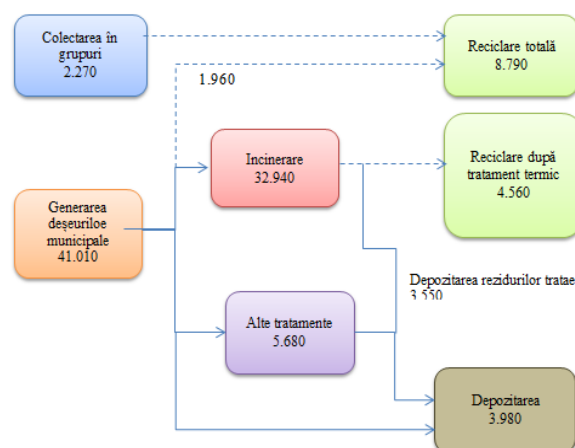


Figura 2.5. Fluxul de tratarea a deșeurilor municipale în Japonia⁵ (1000 tone/an)

După cum se vedea în figura 2.5, incinerarea este cea mai utilizată metodă pentru tratarea deșeurilor din Japonia. Incinerarea este deosebit de populară, deoarece reduce dimensiunea cu 1/20, răspunzând astfel la preocupările legate de depozitele limitate de deșeuri și este considerată ca fiind mai igienică în comparație cu depozitarea deșeurilor. În 2013, numărul instalațiilor de incinerare a deșeurilor a scăzut, în timp ce capacitatea instalațiilor/fabricilor de generare a energiei electrice a crescut până la 28%, iar capacitatea de generare a energiei a crescut. Cenușa a fost topită în zgură pentru a reduce în continuare dimensiunea rezidurilor. Această tehnică necesită multă energie și a fost abandonată progresiv de la dezastrul din Fukushima ca măsură de economisire a energiei [25].

Datorită dimensiunilor mici, Japonia are o capacitate existentă limitată și un potențial redus pentru extinderi viitoare. Disponibilitatea depozitelor de deșeuri, așadar, este principala îngrijorare

⁴ <https://www.jwnet.or.jp>;

⁵ <https://www.jwnet.or.jp>.

și este un factor principal în Politica de manageriere a deșeurilor în Japonia. Capacitatea disponibilă de depozitare a scăzut timp de 15 ani în mod constant din 1998 și, în ciuda unor fluctuații, numărul de depozite de deșeuri a urmat o tendință descendentă din 1996. În unele regiuni (de exemplu, Kanto și Chubu) deșeurile trebuie transportate în alte zone din cauza capacității locale insuficiente de depozitare a deșeurilor. În plus, dacă cenușa nu mai este redusă în zgură, se preconizează că volumul de depozitare a deșeurilor va crește. Prin urmare, trebuie dezvoltate și implementate noi mijloace pentru a folosi cenușa. La data de 31 martie 2014, capacitatea disponibilă a fost de 107.410.000 m³, cu 4,3% mai puțin față de anul precedent care a avut o capacitate de 112.260.000 m³. Ea corespunde cu 19.3 ani rămași durabili (19.7 ani în anul precedent) [25].

2.2.2. Deșeuri industriale

În Japonia, trei industrii, respectiv electricitatea, gazul, căldura și apa, agricultura și silvicultura și construcțiile dispun de mai mult de două treimi din cantitatea totală a deșeurilor industriale generate (figura 2.6). O scădere a deșeurilor industriale pe categorii arată că deșeurile de nămol, excrementele de animale și deșeurile din construcții reprezintă mai mult de 80% din cantitatea totală de deșeuri (figura 2.7) [25].

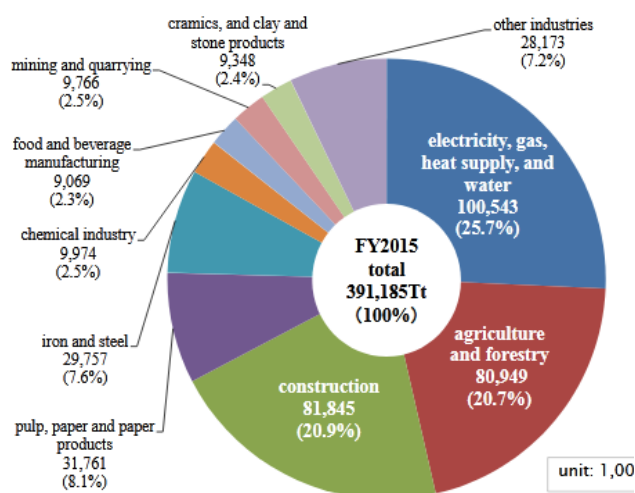


Figura 2.6. Cantitatea de deșeuri industriale în Japonia în funcție de domeniul de activitate⁶

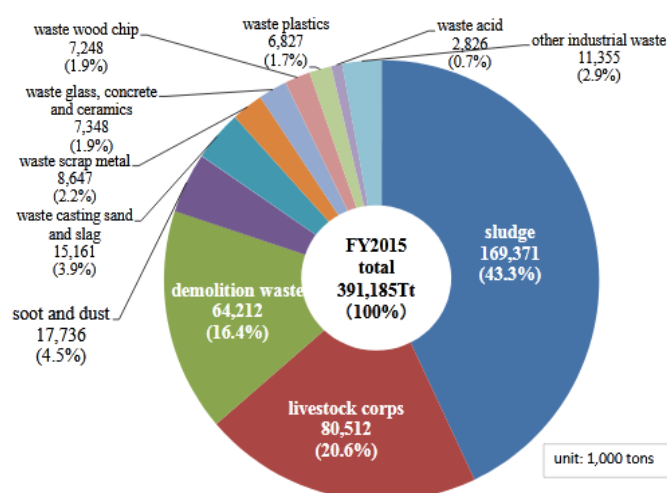


Figura 2.7. Diferite categorii de deșeuri în Japonia⁷

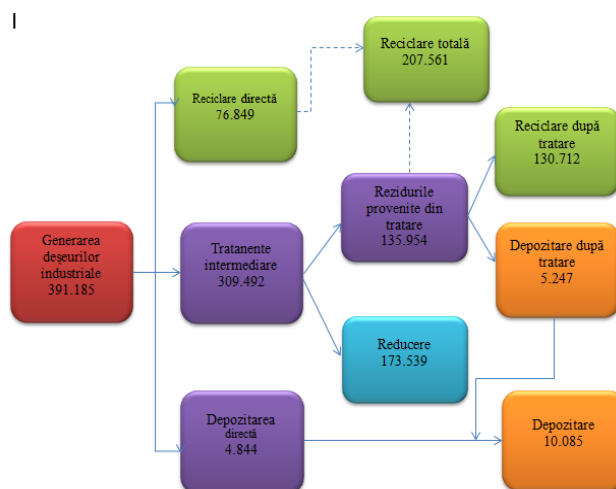


Figura 2.8. Fluxul de tratarea a deșeurilor industriale în Japonia⁸ (1000 tone/an)

⁶ [https://www.jwnet.or.jp/](https://www.jwnet.or.jp;);

⁷ <https://www.jwnet.or.jp/>;

În figura 2.8 se poate observa o scădere a cantității totale de deșeuri industriale generate în Japonia în ultimii ani, astfel în anul 2015 s-a ajuns la 391 de milioane de tone/an. Cantitatea totală reciclată este de 207 milioane de tone/an. De asemenea se observă că, tratamentul intermediar include procese precum sortarea, sfărâmarea, deshidratarea și incinerarea [25].

2.2.3. Tehnici de reciclare a deșeurilor polimerice

Materialele polimerice sunt utilizate pe scară largă în societatea contemporană, dar majoritatea materialelor polimerice provin din resurse limitate. În Japonia, materialele polimerice sunt fabricate din naftă (benzină brută) produse prin rafinarea țițeiului. Aproximativ 6% din țiței în combinație cu naftă importată sunt consumați anual și se folosesc pentru a crea produse polimerice. În 2012, peste 40% din producția de materiale polimerice a fost utilizată în industria filmelor și a foilor (inclusiv pungi, ambalaje și pentru materialele de construcții). Eliminarea anuală a deșeurilor din materialele polimerice din Japonia este estimată aproximativ la 10 milioane tone/an [25].

În figura 2.9 se poate observa că ambalajele și containerele reprezintă 70% din deșeurile menajere, în timp ce electronicele și utilajele 28,6%, iar deșeurile de producție și prelucrare cu 14,8% sunt principalele generatoare de deșeuri industriale. Dezvoltarea tehnologică a fost foarte activă în sectoarele industriale și de cercetare și numărul brevetelor a crescut semnificativ din 1990 până în 2000. Principalii factori au fost deficitul de depozite de deșeuri și nevoia pentru dezvoltarea industriilor intensive în energie, cum ar fi fier/oțel, ciment și chimice. În prezent, materialele polimerice pot fi reciclate prin diferite metode [25].

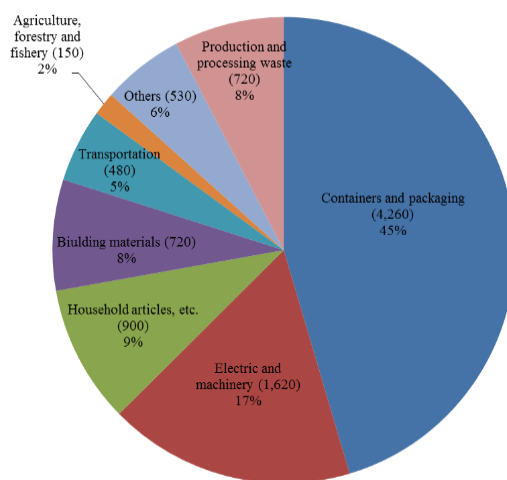


Figura 2.9. Domeniile de consum a materiale polimerice termoplaste în Japonia⁹

2.2.3.1. Reciclarea mecanică. O mare parte din plasticul reciclat prin reciclare mecanică provine din plastic industrial. Deșeurile plastice provenite din gospodării cuprind diverse tipuri de plastic și au avut o evoluție constantă a proprietăților ambalajelor. Reciclarea devine mult mai dificilă odată cu îmbunătățirea modului de viață al consumatorilor (cum ar fi plasticul care poate merge la microunde pentru bento, etc). Cu toate acestea, Legea privind reciclarea containerelor și a ambalajelor și Legea privind reciclarea aparatelor electrocasnice a condus spre o metodă de reciclare a deșeurilor plastice provenite din gospodării. Un obstacol suplimentar pentru reciclarea deșeurilor plastice provenite din gospodării este potențialul limitat al reciclării materialului. Din motive de siguranță și igienă, trebuie să se țină cont ca o mare parte din ambalajul plastic ce intră în contact direct cu alimentele, să fie virgin, adică nereciclat. Materialele plastice provenite din gospodării devin astfel produse care au o valoare mai mică și anume textile, materiale de ambalare (dar numai ambalajele care nu intră în contact cu alimentele), papetărie etc. Cu toate acestea,

⁸ <https://www.jwnet.or.jp>.

⁹ <https://www.eu-japan.eu>; PWMI Newsletter nr 44, 2015.4, Plastic Waste Management Institute

schema „o sticlă PET - pentru – o sticlă PET” a fost dezvoltată recent, în care un strat de plastic reciclat este strecurat între două straturi de plastic virgin, partea reciclată nefiind astfel în contact direct cu băutura. Acest procesul ar putea favoriza cererea de plastic reciclat [25].

2.2.3.2. Reciclarea chimică. Utilizarea deșeurilor din plastic ca agent reducător în procesul de furnal se bazează pe metoda de deshidroclorurare dezvoltată de un grup de actori japonezi din industria de plastic (Japonia PVC Environmental Affairs Council, Vinyl Environmental Council și JFE Steel Corporation). Metoda de lichefiere este destul de neeconomică și este asociată cu riscul de aprindere sau explozie, astfel încât majoritatea companiile s-au retras de pe piață [25].

2.2.3.3. Reciclarea termică (incinerare). Incinerarea a fost restricționată pentru prima dată din cauza emisiilor de substanțe toxice, dar pe măsură ce tehnologiile au evoluat și a devenit mai sigur, Legea privind eliminarea deșeurilor a fost revizuită în mai 2005 pentru a stabili că mai întâi ar trebui redusă producerea de deșeuri plastice, iar mai apoi ar trebui promovată reciclarea; orice rest de plastic reziduu nu trebuie depozitat ci utilizat în recuperarea termică. În iunie 2006, a fost modificat un amendament - Legea privind reciclarea containerelor și ambalajelor a fost adoptată pentru a include, în anumite limite, RDF (Recuperare de energie de înaltă calitate) și alte forme de reciclare termică ca metodă de reciclare recunoscută pe lângă reciclarea materialelor, reciclarea materiilor prime și reciclarea termică prin lichefiere și gazeificare. De atunci, reciclarea plasticului prin metoda termică a crescut, cu atât mai mult cu cât materialele polimerice, mai precis polietilena, polipropilena și polistirenul au calorii mari, producând astfel un combustibil valoros. În plus, cererea de hârtie și combustibil din materialele polimerice ca fiind o alternativă de combustibil al uleiului, a crescut în rândul producătorilor de celuloză [25].

Japonia este săracă în combustibili fosili, depinzând astfel foarte mult de importarea acestora. Asigurarea aprovizionării cu energie pe termen lung a devenit o problemă prioritară pentru Japonia și promovarea energiei regenerabile face parte din noua politică. Deșeurile pot fi transformate în energie, fie prin tratament biologic, fie prin incinerare. Mai întâi piața energetică (regenerabilă) din Japonia pune accent pe bioenergie (biomasă, biocombustibili, biogaz), și pe adăugarea, la instalațiile de incinerare, de noi caracteristici de recuperare a energiei, scopul fiind tratarea deșeurilor [25].

În tabelul 2.2 sunt prezentate metodele de reciclare a materialelor polimerice în Japonia comparativ cu Europa [25].

Tabel 2.2.

Metode de reciclare a materialelor polimerice în Japonia și Europa [25]

Tehnici de reciclare în Japonia	Modalitate de reciclare	Modalitate de reciclare privind tehnicile din Europa
Reciclare mecanică	Reciclare pentru a obține materii prime cât și produse din materiale polimerice	Reciclare pentru a obține materii prime cât și produse din materiale polimerice
	Monomerizare (obținerea de monomeri)	Reciclarea prin intermediari de sinteză chimică
	Gazeificarea	Monomerizarea (obținerea de monomeri, procesul invers polimerizării)
Reciclare chimică	Lichefacție	
	Combustibil	
	Sistem de curățare a gazelor	
	Reciclare prin intermediar de sinteză chimică în cuptor de cocs	
	Generator de energie termică	
Reciclare termică	Combustibil obținut din deșeuri	
	Recuperare de energie de înaltă calitate	Recuperare de energie

2.2.4. Deșeuri de ambalaje

Legea privind reciclarea containerelor și ambalajelor a fost adoptată în iunie 1995 și pusă în aplicare în aprilie 1997. Acesta a fost revizuită în aprilie 2007 și este în prezent în discuție un al doilea amendament. Containerele și ambalajele sunt definite ca fiind obiecte „care devin inutile odată ce mărfurile au fost consumate sau separate altfel. Colectarea selectivă se aplică pentru [25]:

- Container din sticlă;
- PET;
- Container de hârtie și ambalaje;
- Container din plastic, tăvi de ambalare și spumă de stiren;
- Lăzi de oțel;
- Lăzi de aluminiu;
- Pachetele de băuturi din hârtie;
- Carton ondulat.

Obligațiile de reciclare se aplică numai pentru primele patru categorii menționate mai sus, iar celelalte patru sunt tranzacționate pe piață. Ambalajele reprezintă aproximativ 54% din deșeurile provenite din gospodării în volum și 25% în greutate (figura 2.10) [25].

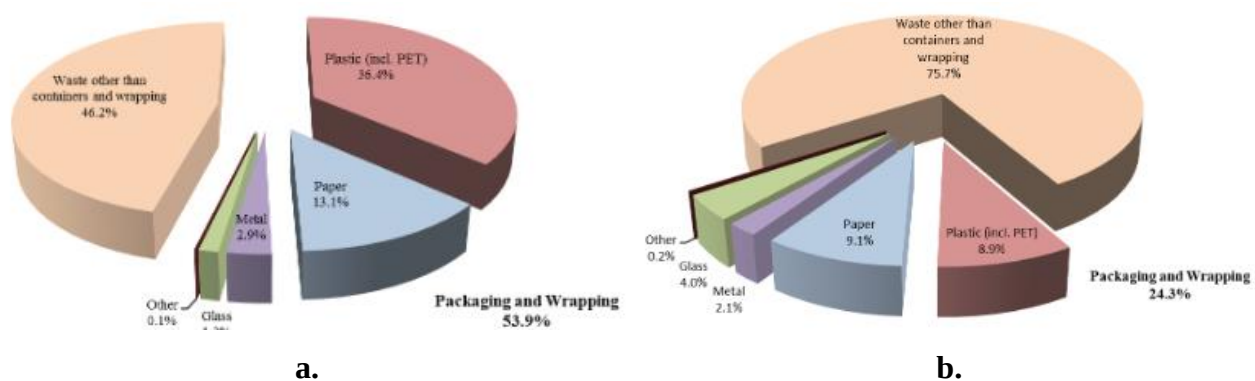


Figura 2.10. Rata containerelor și ambalajelor plastice din deșeurile menajere din punct de vedere¹⁰ al **a.** volumului și **b.** greutății

Legea a introdus conceptul de responsabilitate extinsă a producătorilor (EPR) pentru prima dată în Japonia, aceasta atribuie roluri și responsabilități tuturor părților implicate precum: eliminarea sortată de către consumator, colectarea selectivă de către municipalități și obligațiile de reciclare pentru entitățile comerciale (întreprinderi). Entitățile comerciale sunt entități comerciale pe scară medie sau mare care utilizează „containere” sau „ambalaje” în fabricarea sau vânzarea produselor lor; fabrică containere; importă și vând „containere” sau mărfuri în „containere” sau „ambalaje”. Întreprinderile de dimensiuni mici pot fi scutite de obligațiile de reciclare în anumite condiții în funcție de vânzări și numărul de angajați. Asociația Reciclării de Container și Ambalaje din Japonia (JCPRA) este o organizație de guvern bazată pe Legea reciclării containerelor și ambalajelor care lucrează în colaborare cu guvernul, municipalitățile, entitățile de afaceri și consumatorii. Rolul principal al JCPRA este de a ajuta entitățile de afaceri să își îndeplinească obligațiile de reciclare până la efectuarea operațiunilor de reciclare în numele lor în schimbul unei „taxe de reciclare” [25].

Ca regulă generală, reciclarea materialelor este favorizată în comparație cu recuperarea de energie conform principiului 3R, dar ciclul de viață al produselor este, de asemenea, luat în considerare. În prezent, instalațiile de incinerare nu pot licita în JCPRA dar acest lucru s-ar putea schimba datorită revizuirii Legii [25].

¹⁰ <https://www.eu-japan.eu;>

În figura 2.11 este reprezentat volumul de reciclare a materialelor polimerice comparativ cu sticla și hârtia. Se poate observa o diferență mare între volumul de reciclare al hârtiei și al materialelor polimerice, dar și între sticlă și materialele polimerice, diferența fiind de sute de tone. De asemenea se poate observa că volumul de reciclare a PET-urilor este mai scăzut față de cele din sticlă [25]

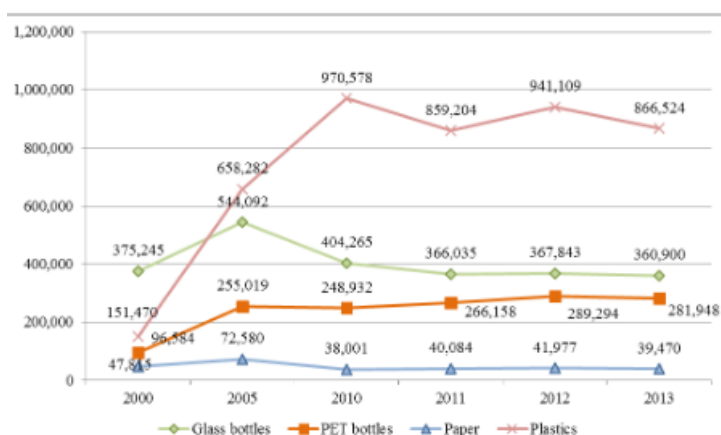


Figura 2.11. Volumul de reciclare în Japonia a materialelor polimerice comparativ cu sticla și hârtia¹¹ (tone)

Reducerea pungilor de cumpărături din plastic depinde, în principal, de un comportament proactiv al consumatorilor. Conform unui sondaj din 2012, 47 de prefecturi și aproape 90% din 19 orașe desemnate de guvern, 41 de orașe urbane mari și 23 de secții din Tokyo au implementat acțiuni pentru a reduce pungile din plastic pe 01 februarie 2013. Măsurile includ, de exemplu, taxe pentru cumpărarea pungilor sau oferirea de beneficii clienților. Aceste inițiative au dus la o rată din ce în ce mai mare de respingere a pungilor din plastic și creșterea numărului de clienți care își aduc propriile pungi [25].

2.3 Conceptul de economie circulară

Termenul de „Economie circulară” cuprinde diverse concepte legate de utilizarea eficientă a resurselor și se referă la un nou model industrial care este „restaurare prin proiectare”. Obiectivul este ca Japonia să devină mai puțin dependentă de energia primară și de importurile de materiale. Se opune modelului liniar existent care duce progresiv la epuizarea resurselor. În schema conceptului de economie circulară, deșeurile sunt văzute ca o intrare. Energia regenerabilă este, de asemenea, o componentă a schemei. Ciclul poate fi împărțit în două părți: eco-proiectare, o abordare care ține cont de impactul asupra mediului al produsului pe parcursul întregii sale vieți și gestionarea deșeurilor [25].

Fundația Ellen MacArthur a fost creată în septembrie 2010 cu obiectivul de a grăbi viteza de trecere la o economie regenerabilă, circulară și a publicat în ianuarie 2012 primul raport din seria „Towards the Circular Economy”. Conform acestor rapoarte, economia circulară oferă o analiză din perspectiva unei afaceri și evidențiază beneficiile economice ale unei tranziții la modelele circulare de afaceri. Conform celui de-al treilea volum al raportului, publicat în ianuarie 2014 și intitulat *Accelerating the scale-up across global supply chains*, „peste 1 trilion de dolari pe an ar putea fi generați până în 2025 pentru o economie globală și pot fi create 100.000 de noi locuri de muncă pentru următorii cinci ani, dacă companiile se concentrează pe încurajarea construirii lanțurilor circulare de aprovizionare pentru a crește rata de reciclare, reutilizare și recondiționare. Acest lucru ar maximiza valoarea materialelor atunci când produsele se apropie de sfârșitul ciclului de

¹¹ <https://www.eu-japan.eu/>

utilizare". În acest context, economia circulară devine o tendință în creștere, în special în țările dezvoltate [25].

Din cauza condițiilor sale geografice și geologice, Japonia a trebuit întotdeauna să facă față lipsei resurselor naturale. În urma crizei petroliere care a avut loc în anii '70, țara a fost nevoită să revizuiască dependența sa față de importurile de materii prime. Punerea în aplicare a economiei circulare a Japoniei s-a bazat pe o abordare în trei direcții. Primul aspect a fost efectuarea ajustării structurale pentru a reduce dependența de petrol și structurile industriale au fost optimizate pentru a ameliora eficiența utilizării energiei. Al doilea aspect a cuprins adoptarea unui cadru juridic complet, axat pe resurse și deșeuri de management. Din anii '70 au fost implementate diverse politici, cu realizarea unor modificări semnificative de-a lungul anilor. Aspectul final a constat în punerea în aplicare a conceptului de economie circulară în societate printr-un sistem educațional sănătos, combinat cu campanii de sensibilizare a publicului către problemele de mediu, pentru a schimba comportamentul economic social [25].

Pentru a urmări fluxul de materiale, Japonia a creat diverși indicatori și a stabilit target-uri care sunt în mod regulat înnoite. În plus, au fost introduse ghiduri, standarde și marcaje pentru a facilita colectarea separată. Materialele recuperate sunt, atunci când este posibil, reutilizate pentru fabricarea de produse noi, formând o buclă închisă.

Datorită acestor măsuri, s-au atins rate ridicate de reciclare (în special pentru metal) și doar un mic procentaj din deșeuri sunt depozitate în depozitul de deșeuri. În plus, conceptul de economie circulară este profund ancorat în societatea japoneză [25].

În Uniunea Europeană, comisia estimează că „utilizarea resurselor este mai eficientă aducând, de asemenea, noi oportunități de creștere a locurilor de muncă. Poate aduce un design ecologic mai bun, poate preveni și reutiliza deșeurile, poate să aducă economii nete pentru întreprinderile UE de până la 600 de miliarde de euro, reducând totodată și efectul de seră total anual, emisiile de gaze. Măsuri suplimentare pentru creșterea productivității resurselor cu 30% până în 2030 ar putea stimula PIB cu aproape 1%, creând în același timp 2 milioane de locuri de muncă suplimentare. "Estimarea suplimentară menționează - că un pachet eficient de economie circulară ar aduce economii de aproximativ 336 miliard EURO pentru materii prime în fiecare an. Astfel în data de 22.05.2018, Consiliul European adoptă noi măsuri privind deșeurile, astfel statele membre vor trebui să îndeplinească următoarele obiective pe măsură ce sporesc gradul de reutilizare și de reciclare a deșeurilor urbane. Statele membre vor institui, până la 1 ianuarie 2025, sisteme de colectare separate pentru textile și pentru deșeurile periculoase din gospodării. În plus, ele vor trebui să se asigure că, până la 31 decembrie 2023, biodeșeurile sunt fie colectate separat, fie reciclate la sursă (de exemplu, prin compostarea la domiciliu). Aceasta este în plus față de colectarea separată care există deja pentru hârtie și carton, sticlă, metale și materiale plastice [21,25]

2.4 Strategii pentru promovarea unei societăți sănătoase privind ciclul materialelor

Pentru a promova în continuare dezvoltarea unei societăți sănătoase privind ciclul materialelor, guvernul japonez nu adoptă doar legi, ci realizează și următoarele activități cu scopul de a promova înțelegerea publicului și de a consolida colaborarea cu alte entități [24]:

1. *Luna promovării 3R.* Guvernul japonez a menționat luna octombrie ca fiind 3R (Reducere, Reutilizare și Reciclare), luna de promovare pentru a îmbunătăți înțelegerea și cooperarea consumatorilor și operatorilor de afaceri cu privire la inițiativele 3R. În timpul lunii 3R de promovare în fiecare an, o serie de programe și evenimente sunt organizate de agenții guvernamentale, administrațiile locale și alte părți interesate cu scopul de a promova înființarea unei societăți sănătoase privind ciclul materialelor ("sound material-cycle society").
2. *Convenția națională pentru promovarea 3R (din 2006).* Este organizată anual de Ministerul Mediului în colaborarea cu Forumul de promovare 3R și guvernele locale pentru a oferi o oportunitate consumatorilor, operatorilor de afaceri și personalului

- guvernamental să se adune pentru a compara informațiile cu privire la înființarea unei societăți sănătoase cu materiale ciclice și pentru participanții individuali pentru a-și revizui stilul de viață.
3. *Premiile ministerului mediului pentru contribuția la înființarea unei societăți sănătoase cu materiale ciclice (din 2006).* Are drept scop, acordarea de distincții persoanelor fizice, companiilor, organizațiilor și comunităților care au obținut rezultate deosebite prin inițiativele inovatoare pentru crearea unei societăți sănătoase privind ciclul materialelor. Festivitatea de premiere este organizată în fiecare an la Convenția Națională pentru Promovarea 3R.
 4. *Campanie de cumpărături ecologice (din 2000).* În această campanie sunt întreprinse diverse activități pentru a demonstra consumatorilor, distribuitorilor și comercianților cu amănuntul necesitatea unui comportament ecologic a consumatorului, cum ar fi utilizarea pungilor personale pentru cumpărături și folosirea de produse ecologice.
 5. *Promovarea sistemului Meister 3R.* Creșterea gradului de conștientizare a consumatorilor cu privire la necesitatea de a reduce eliminarea containerelor și a deșeurilor de ambalaje, inclusiv pungile din plastic de cumpărături primite de la magazine. Sistemului Meister 3R oferă publicului informații despre eliminarea containerelor și a deșeurilor de ambalaje, promovează inițiative importante pentru reducerea acestor deșeuri și oferă îndrumare și sfaturi consumatorilor.
 6. *Marcajul R și 3R.* În 1995, pentru a promova utilizarea hârtiei reciclate și reducerea deșeurilor și pentru a sensibiliza publicul Consiliul Național a creat marca R ca logo pentru a arăta procentul de celuloză reciclată din hârtie. Utilizarea hârtiei reciclate crește procentajul de hârtie folosită în materialele de hârtie, promovând astfel utilizarea eficientă a resurselor valoroase. Marcajul 3R a fost conceput de Consiliul de Promovare 3R cu scopul de a face cunoscute mai bine activitățile 3R prin crearea unei imagini ușor de înțeles a celor trei R-uri și promovarea participării active și cooperarea a cât mai multor persoane. Consiliul de promovare 3R a fost creat pentru a oferi oportunități organizațiilor guvernamentale, consumatorilor, întreprinderilor, și altor părți interesate să colaboreze și să comunice între ele pentru a se dezvolta la nivel național inițiative de reciclare în scopul înființării unei societăți sănătoase privind ciclul materialelor.
 7. *Dezvoltarea „Eco-orașelor”.* Guvernul japonez certifică zonele ecologice avansate ca „orașe ecologice”. Există 26 de orașe ecologice în toată Japonia. Aceste orașe ecologice servesc ca centre de circulație a materialelor în regiunile respective. Guvernul implementează proiecte model care să ajute aceste „Eco-orașe” să își îndeplinească rolurile.

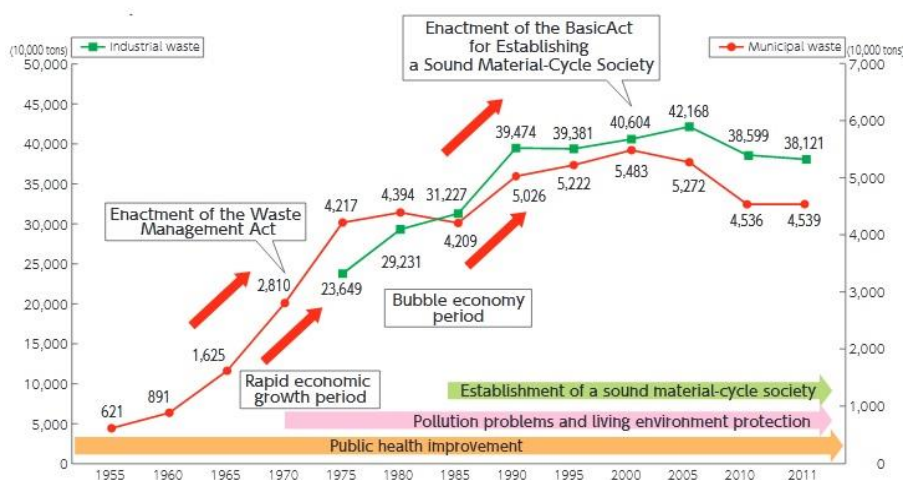


Figura 2.12. Deșeurile totale generate în Japonia¹²

¹² <https://www.env.go.jp>

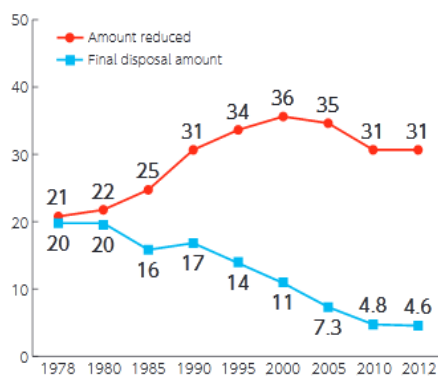


Figura 2.13. Deșeurile municipale¹³ (milioane de tone)

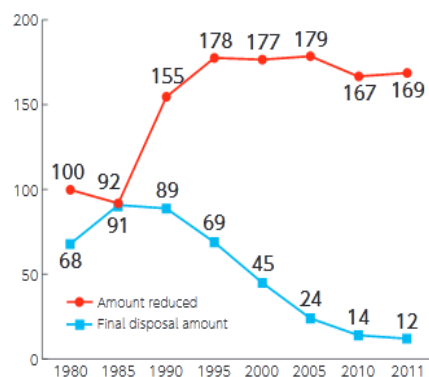


Figura 2.14. Deșeurile provenite din industrie¹⁴ (milioane de tone)

Guvernul japonez s-a străduit să reducă cantitatea din ce în ce mai mare de deșeuri prin incinerare și reciclarea deșeurilor. Începând cu anul 2000, guvernul s-a străduit să reducă eliminarea deșeurilor prin implementarea sistematică și eficientă a măsurilor pentru incinerarea și reciclarea deșeurilor. Ca urmare a acestor eforturi, cantitatea finală de deșeuri eliminată a scăzut foarte mult, așa cum se arată în figura 2.12.

Cantitatea de deșeuri municipale și industriale generate în Japonia (figura 2.13 și figura 2.14) a continuat să crească în timp până în jur de 2000. Generarea deșeurilor a crescut brusc în perioada de creștere economică rapidă (anii 1960-1970) și perioada economiei tip balon de săpun – ‘bubble economy’ (sfârșitul anilor 1980 până la începutul anilor 1990). Începând cu anul 2000, datorită efectelor modificării parțiale din structura industrială și economia japoneză, generarea deșeurilor a avut tendința de a scădea ca urmare a progreselor înregistrate: colectare sortată, reciclare și dezvoltarea unei societăți sănătoase cu ciclul materialelor [24].

2.5 Planul fundamental pentru implementarea unei societăți sănătoase cu materiale ciclice

Societatea sănătoasă cu materiale ciclice se definește ca fiind o societate în care consumul de resurse naturale va fi conservat, iar supraîncărcarea mediului înconjurător va fi redusă prin prevenirea sau reducerea generării de deșeuri, de la produse etc. cât și prin promovarea utilizării ciclice a produselor etc. și eliminarea corespunzătoare a deșeurilor [26].

Planul fundamental pentru stabilirea unui societăți sănătoase cu materiale ciclice (planul fundamental de reciclare) este dezvoltat de guvernul național în scopul promovării globale și planificării strategiilor pentru dezvoltarea unei societăți sănătoase cu materiale ciclice bazate pe Legea de bază a reciclării [24].

Primul plan fundamental de reciclare a fost formulat în anii 2007 – 2013 pentru a defini imaginea unei societăți sănătoase cu materiale ciclice, inclusiv modul de viață în care consumatorii folosesc produsele și produc și oferă servicii în mod ecologic. Planul a fost revizuit în anul 2008, iar al doilea plan fundamental de reciclare promovează integrarea unor inițiative ce au drept scop un nivel scăzut de carbon, o societate ecologică, precum și crearea de rețele de circulație regionale pentru a dezvolta inițiative care îndeplinesc nevoia de resurse locale. Planul a fost revizuit din nou în anul 2013 [24].

Pe lângă strategiile convenționale axate pe cantitatea de deșeuri, al treilea plan fundamental de reciclare se axează și pe calitatea utilizării resurselor, adoptând noilor obiective strategice precum [24]:

¹³ <https://www.env.go.jp>

¹⁴ <https://www.env.go.jp>

- îmbunătățirea inițiativelor pentru reducerea și reutilizarea deșeurilor, care tind să rămână în urma inițiativelor pentru reciclare;
- promovarea recuperării utilajelor metalice;
- îmbunătățirea inițiativelor pentru securitate și siguranță;
- promovarea cooperării internaționale pentru inițiativele 3R.

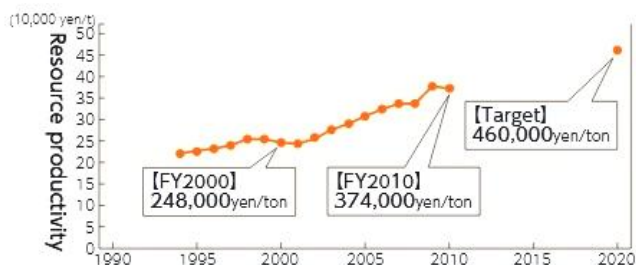


Figura 2.15. Prudctivitatea resurselor în Japonia¹⁵
(randamentul monetar pe unitate se resurse)

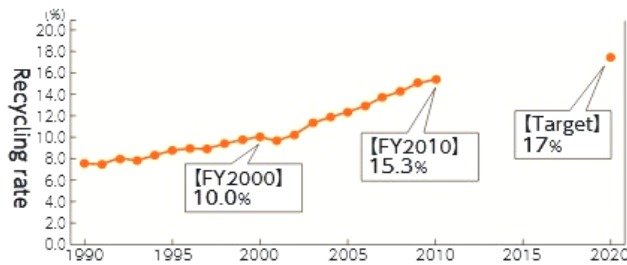


Figura 2.16. Rata de reciclare în Japonia¹⁶
(%)

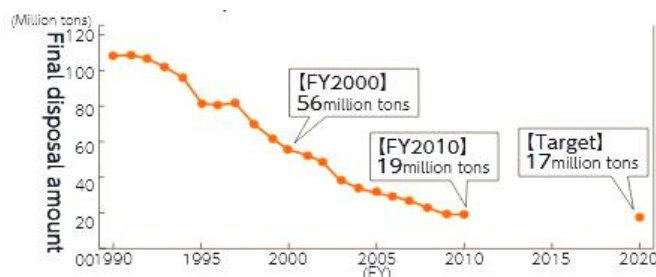


Figura 2.17. Cantitatea finală de deșuri eliminate în Japonia¹⁷

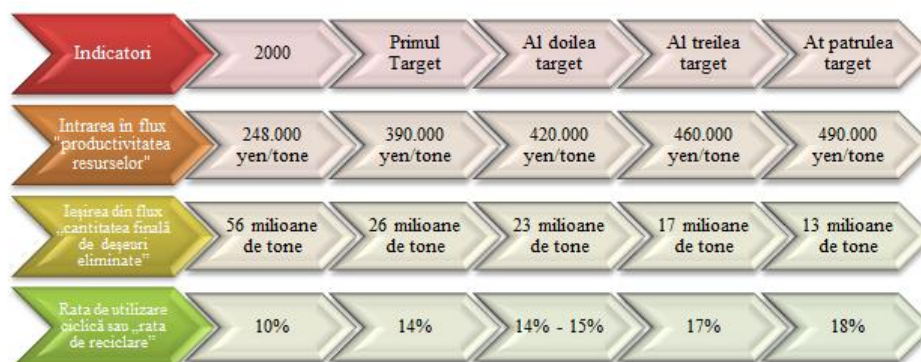
Pentru a cuantifica nivelul de dezvoltare al inițiativelor, pentru înființarea unei societăți sănătoase cu materiale ciclice, planul fundamental de reciclare, după cum se observă în figurile 2.15., 2.16. și 2.17., creează diagrame de flux de material și stabilește obiective privind productivitatea resurselor, rata de reciclare și suma finală de eliminare. Acești indicatori care reprezintă diferite aspecte ale fluxului de materiale (intrare, circulație și ieșire) relevă un progres constant până în ziua de azi. Obiectivele din anul 2015 privind rata de reciclare și cantitatea finală de eliminare stabilite în al doilea plan fundamental de reciclare au fost deja realizate înainte de anul vizat. De asemenea, în figura 2.18 se pot observa obiectivele viitoare și fluxul de materiale, în ceea ce privește Planul fundamental de reciclare [24].

Mai există și alți indicatori 3R și este promovată utilizarea unui astfel de model de referință în toată Asia, pentru a monitoriza progresul strategiilor și obiectivelor politice naționale. Declarația 3R discutată și adoptată la cel de-al patrulea forum regional 3R în Asia și Pacific (2013), listează indicatorii potențiali pe care țările le pot implementa [24,25].

¹⁵ <https://www.env.go.jp>;

¹⁶ <https://www.env.go.jp>;

¹⁷ <https://www.env.go.jp>;


 Figura 2.18. Fluxul de materiale în Japonia¹⁸ (indicatori)

2.6 Kamikatsu - orașul din Japonia cu zero deșuri

Cel mai mic oraș din Insula Shikoku din Japonia, Kamikatsu, se confruntă de multă vreme cu o problemă reală, care se poate observa în întreaga țară și anume populația scade și este din ce în ce mai îmbătrânită. O dată un oraș cu peste 6000 de locuitori, azi populația din Kamikatsu a ajuns la aproximativ 1500 de locuitori și se așteaptă să scadă și și mai mult în următorii ani. Totuși, în ultimii 30 de ani, chiar înainte ca premierul Shinzo Abe să introducă "revitalizarea regională" în 2014, orașul Kamikatsu și-a dezvoltat propriile soluții ecologice unice și productive, implementând cu succes politica "zero deșuri" [27].

Reducerea consumului, reutilizarea produselor și reciclarea acestora sunt aspecte esențiale în gestionarea deșeurilor în întreaga Japonie și în special în orașul Kamikatsu. Alte patru principii pe care se bazează stilul de viață fără deșuri sunt: local, low cost, low impact și low tech. Prin implementarea a 34 de categorii de separare a deșeurilor, micul orașel Kamikatsu, a devenit un pionier al bunelor practici în ceea ce privește politica „zero deșuri”. De asemenea, este important de menționat faptul că toate deșeurile organice sunt gestionate în cadrul fiecărei gospodării și reciclate 100%. Mulți locuitori dețin propriile ferme și își produc propriile îngrășăminte, ceilalți cumpărând produsele de la afacerile locale, care sunt în cea mai mare parte subvenționate de primăria locală. În Kamikatsu nu există mașini de deșuri. Oamenii își transportă singuri deșeurile la centrele special amenajate, unde îi așteaptă peste 60 de spații de depozitare și cutii. Fiecare cutie este etichetată cu următoarele indicații: locul de unde provine produsul ce urmează să fie reciclat, în ce se va transforma produsul respectiv, precum și cât va costa procedeul (sau cât se va câștiga din acest lucru) [27].

În anul 2015, locuitorii din Kamikatsu s-au hotărât să găsească soluții ecologice inovatoare care să-i ajute să obțină “zero deșuri” până în 2020. La începutul anului 2015, rata de reciclare în Kamikatsu era deja de peste 80%, astăzi fiind aproape de 100%. În oraș s-a deschis un magazin unde locuitorii pot aduce lucrurile uzate și de unde se pot aproviziona cu alte lucruri în mod gratuit. Orașul are de asemenea și o fabrică unde se confecționează genți și haine noi din deșuri textile vechi. Toate aceste operațiuni sunt sprijinite de o organizație non-profit numită Zero Waste Academy [27].

Următorul pas pentru locuitorii orașului Kamikatsu va fi stoparea completă a producerii de deșuri. La acest lucru vor trebui să participe nu numai oamenii de afaceri, ci și întreprinderile implicate în producția și furnizarea de materiale, atât cele din oraș cât și cele din afara orașului. După cum se știe deja, amenințarea distrugerii planetei datorită poluării este din ce în ce mai reală și mai apăsătoare, în acest context, exemplul orașelor japoneze care au găsit deja soluții eficiente la probleme ecologice merită să fie cunoscut și urmat de cât mai multe orașe din întreaga lume [27].

¹⁸ <https://www.eu-japan.eu>; <https://ec.europa.eu>.

2.7 Concluzii

În prezent, Japonia și Uniunea Europeană se confruntă cu provocări identice, cum ar fi sustenabilitatea mediului, independența energetică și concurența internațională.

Din punct de vedere istoric, preocupările de sănătate au fost principalii factori pentru implementarea unor politici privind deșeurile. Cu toate acestea, problemele legate de deșeuri au evoluat împreună cu dezvoltarea economică și creșterea populației. Astăzi, dificultatea constă nu numai într-o creștere a cantității de deșeuri, ci și în complexitatea din ce în ce mai mare de gestionare a fluxurilor de deșeuri, datorită diversității, compoziției și cantității de deșeuri generată de societatea modernă.

Țările în curs de dezvoltare care se transformă în societăți de consum duc la o creștere a consumului la nivel global ceea ce implică o cerere mai mare de resurse, poate fi strategică pentru unele țări, dar Japonia are un deficit de resurse precum materiile prime. Pentru susținerea unei economii ca a Japoniei care stăpânește o industrie de înaltă tehnologie, necesită zăcămintele rare și metale prețioase, acestea provenind din China. Exploatarea resurselor materiale tot mai ridicate a condus la creșterea competitivității între țări și la independență. Impactul negativ nu este numai ecologic (pământul având mai puține resurse), ci și economic și politic.

De asemenea ca și în Uniunea Europeană, ambalajele și containerele din material polimeric reprezintă un procent ridicat din totalul deșeurilor industriale. În acest context, incinerarea este deosebit de populară, deoarece reduce dimensiunea cu 1/20, răspunzând astfel la preocupările legate de depozitele limitate de deșeuri și este considerată ca fiind mai igienică în comparație cu depozitarea deșeurilor. Recent numărul instalațiilor de incinerare a deșeurilor a scăzut, în timp ce capacitatea de generarea a energiei a crescut.

O altă schimbare majoră care a devenit importantă pentru guverne și întreprinderi, este interesul tot mai mare al populației în ceea ce privește problemele de mediu. Oamenilor le pasă tot mai mult de impactul comportamentului uman față de climă și exploatarea resurselor naturale. Astfel, guvernul cât și întreprinderile aspiră la politici de ecologizare și produse mai ecologice. Pentru a satisface așteptările și a păstra o imagine cât mai bună, politica și întreprinderile trebuie să țină cont de această tendință aflată în continuă creștere.

În acest context, atât Japonia, cât și Europa au ajuns la concluzia că exploatarea deșeurilor poate fi văzută ca o resursă profitabilă în loc de o povară costisitoare, prin crearea unei economii circulare, aceasta fiind o bună modalitate de soluționare a mai multor provocări. Astfel, putem spune că Uniunea Europeană și Japonia împărtășesc aceleași interese, adică pentru cele două există un teren bun pentru colaborare.

Legislația Japoniei și a Uniunii Europene referitoare la deșeuri a urmat un model similar, deoarece acestea au trebuit să se confrunte cu aceleași provocări. Însă, Japonia are un lung istoric privind reciclarea deșeurilor care astăzi tinde către o politică “Zero – Wasting” (zero deșeuri). În acest context, orașele japoneze caută continuu soluții eficiente pentru problemele ecologice.

Se poate constata că educarea populației, încă de la școală, prin responsabilizarea acestora este un aspect cheie al strategiei japoneze în gestionarea deșeurilor. Implicarea și cooperarea încă de la o vârstă fragedă este subliniată în special în ceea ce privește importanța sortării corespunzătoare a deșeurilor.

CAPITOLUL 3.

INFLUENȚA PROCESULUI DE RECICLARE MECANICĂ MULTIPLĂ ASUPRA PROPRIETĂȚILOR REOLOGICE A UNUI NANOCOMPOZIT TERMOPLAST CU MATRICE POLIMERICĂ DE LDPE RANFORSAT CU DIFERITE CONCENTRAȚII MASICE DE MWCNTs

3.1 Obținerea nanocompozitelor polimerice

În ultimii ani au atras un interes deosebit din partea comunităților științifice și industriale obținerea și caracterizarea structurilor nanocompozite polimerice, precum și descoperirea unor noi aplicații ale acestora. Acest interes deosebit se datorează proprietăților remarcabile ale materialelor nanocompozite polimerice care sunt comparate cu polimerii actuali și cu macro- sau micro-compozitele convenționale. Proprietățile nanocompozitelor polimerice (mult îmbunătățite față de materialele convenționale) sunt: elasticitatea, rezistența mecanică, rezistența termică la încălzire, ușurința de a arde cu flacără (flamabilitate), permeabilitate scăzută pentru gaze și la creșterea biodegradabilității [27, 28-32, 33-37, 42].

O metodă utilizată deseori pentru îmbunătățirea proprietăților mecanice ale materialelor polimerice nanocompozite este aceea de a întări structura acestora prin includerea unor fibre, plachete (nanoplaci, nanopelete) sau particule. O practică obișnuită pentru obținerea unor proprietăți deosebite este aceea de a introduce, adauga și de a spori numărul de fibre, plachete sau particule în matricea-suport, proces prin care se fabrică materialele compozite (cu caracteristici superioare). Prin utilizarea acestei metode se îmbunătățesc proprietățile polimerilor, fără a se altera greutatea specifică (densitatea) sau caracteristica de a fi ductile. Proprietățile polimerilor se vor îmbunătăți chiar și în cazul unui conținut scăzut de filler (material de umplutură) [38-41, 42].

În ultimii ani cercetătorii în domeniu au încercat diverse tehnici de obținere a matricei polimerice nanocompozite. Printre aceste tehnici se enumeră amestecarea în topitură și polimerizarea "in situ". Este dificilă realizarea unei tehnici universale pentru obținerea nanocompozitelor polimerice datorită diferențelor fizice și chimice între sisteme, precum și datorită diverselor tipuri de echipamente disponibile cercetătorilor [42].

Domeniul transportului substanțelor farmacologic-active (medicamentelor) în organism se dezvoltă rapid, captând tot mai mult atenția oamenilor de știință, a responsabililor cu promovarea farmaceutică și a patronatelor industriale. Visul actual al cercetătorilor farmaciști este de a realiza sisteme de transport eficiente și precise al medicamentelor către locurile de acțiune ale acestora în organism. Una din metodele de interes pentru transportul medicamentelor în organism este metoda încapsulării substanței farmacologic-active în nanoparticule cu dimensiuni sub 100 nm. Chiar dacă această nanotehnologie este la început, deja s-au proiectat sisteme nanocompozite de transport bazate pe nanocapsule, sisteme micelare sau nanoparticule. Unul dintre marile avantaje ale acestor sisteme sub-micrometrice este acela că determină o penetrabilitate intracelulară superioară particulelor micrometrice [42-45].

Vollenberg și Heikens au produs nanocompozite de calitate bună prin amestecarea particulelor de umplutură cu matricea polimerică. Aceștia au utilizat PS, SAN, PC sau PP pentru includerea particulelor sferice de alumina de 35 sau 400 nm și includerea particulelor sferice de sticlă de 4,30 sau 100 nm. Frația volumică a particulelor a fost cuprinsă în domeniul 0-25%. Prepararea nanocompozitelor polimerice s-a realizat prin dizolvarea polimerului într-un solvent polar și amestecarea nanosferelor (nanoperlelor) în acest produs timp de câteva ore [42, 46].

Li și colab au utilizat o metodă originală pentru obținerea nanocompozitelor ce sunt bazate pe HDPE și PP. Din amestecul celor două componente topite HDPE (75 %) și PP (25 %) au fost

obținute benzi prin extrudare. Aceste benzi au fost apoi tăiate în bucăți mai mici și prelucrate în topitură prin extrudare sau turnare. Astfel a fost obținut un material nanocompozit cu matrice de HDPE și nanofibre de PP cu dimensiuni de 30-150 nm în diametru [42, 47].

Yang și colab. au utilizat tehnica polimerizării "in situ" pentru a obține nanocompozite. Matricea este formată din poliamid-6 iar ca incluziuni s-au folosit particule de dioxid de siliciu. Dimensiunea particulelor a fost de 50 nm, obținându-se o dispersie bună dar prin utilizarea unor particule de 12 nm în diametru s-a produs fenomenul de agregare [42, 48].

Chan și colab. au produs nanocompozite cu matrice polimerică de PP și nanoparticule de carbonat de calciu prin amestecarea în topitură. Mai întâi componentele au fost uscate într-un cuptor la 120 °C, apoi au fost răcite la temperatura camerei. Polimerul PP a fost amestecat întâi cu un antioxidant. Nanoparticulele de carbonat de calciu, cu diametrul de 44 nm au fost adăugate lent, sub agitare continuă un timp stabilit. Dispersia a fost bună pentru fracții volumice ale umpluturii de 4,8 % și 9,2 %. La o fracție volumică de 13,2 % a avut loc fenomenul de agregare [42, 49].

3.2 Clasificarea nanocompozitelor polimerice

Nanocompozitele polimerice sunt definite ca polimeri ce conțin o cantitate mică de nanoumpluturi de dimensiuni între 1 și 100 nm care se folosesc în concentrație de 1 - 10% (masic) și trebuie dispersate omogen în matricea de polimer, precum poliamidă (PA), polietilene (PE), polipropilenă (PP), etilen vinil acetat (EVA), rășini epoxi și cauciucuri siliconice se combină cu nanoumpluturi de tipul silicat stratificat (LS), dioxid de siliciu (SiO₂), dioxid de titan (TiO₂) și alumina (Al₂O₃). Sunt necesare cercetări mai aprofundate în ceea ce privește efectul pozitiv al nanoumpluturilor asupra caracteristicilor electrice, a rezistenței la înaltă tensiune și la solicitări termice. De asemenea, în funcție de aplicații, nanocompozitele își mențin caracteristicile funcționale precum efectul de barieră la gaze, rezistența la flacără, biodegradabilitatea, capacitatea de expandare, de a fi vopsite și alte asemenea caracteristici. Nanocompozitele polimerice sunt avantajoase comparativ cu compozitele convenționale deoarece cantitatea mică de nanoumplutură folosită nu modifică semnificativ caracteristicile de bază ale polimerului și comportarea la prelucrare [50].

Principalele proprietăți a nanocompozitelor polimerice [50]:

- Proprietățile electrice și termice ca și cele mecanice se pot îmbunătăți prin nanostructurarea compozitelor polimerice;
- Tehnologii principale de obținere sunt metodele de intercalare, metoda sol-gel, formarea compozitului la scară moleculară și dispersarea directă a nanoumpluturii fiind necesară dezvoltarea lor pentru obținerea unor materiale mai bune și mai ieftine caracterizate prin zone de interfață puternice;
- Principalele componente ale nanocompozitelor sunt matricea polimerică, nanoumplutura și interfața. Rolul lor trebuie studiat prin prisma caracteristicilor de material care interesează în mod special;
- Caracterizarea din punct de vedere fizic și chimic se realizează, în general, pentru zonele de la interfață;
- Nanocompozitele din polimeri termoplastici rezistenți la temperatură sunt blânde față de mediu datorită reciclabilității. Pot astfel înlocui termorigide care pot fi reciclate;
- Polimerii biodegradabili precum acidul polilactic pot fi șarjați cu nanoumpluturi. Se așteaptă ca nanocompozitele cu PLA să reprezinte o nouă generație de materiale ecologice pentru izolatorii electrici.

Nanocompozitele polimerice ce au un conținut de nanoparticule organice sau anorganice funcționale în rețelele polimerului de bază au atras un interes deosebit datorită proprietăților lor termo-mecanice superioare față de materialele micro-compozite, păstrând aceleași condiții de încărcare și testare [11, 42, 50].

Nanotehnologia poate fi definită ca: "realizarea, procesarea, caracterizarea și utilizarea materialelor, dispozitivelor și sistemelor cu dimensiuni cuprinse în domeniul 0,1-100 nm care prezintă proprietăți fizice, chimice și biologice noi, superioare datorită dimensiunilor nanometrice". Interesul actual în nanotehnologie este reprezentat de nano-biotehnologie, nano-sisteme, nano-electronică și materiale nano-structurate (în care se includ, ca parte semnificativă, nanocompozitele) [42, 51, 52]

Materialele utilizate ca adaos, aditiv, întăritor sau umplere la producerea nanocompozitelor pot fi clasificate astfel [42]:

- *particule* (metale, combinații ale siliciului și alți compusi anorganici sau organici);
- *materiale stratificate* (grafit, silicați stratificați sau alte minerale stratificate);
- *materiale fibroase* (nanofibre sau nanotuburi).

În funcție de materialele utilizate ca adaos (aditiv) pentru întărire, nanocompozitele se clasifică astfel [42]:

- *Nanocompozite bazate pe nanoparticule*, particulele sunt adăugate pentru a spori elasticitatea matricei și pentru creșterea rezistenței;
- *Nanocompozite bazate pe nanoplachete (nanostratificate)*, cele mai utilizate plachete sunt grafitul și argila;
- *Nanocompozite bazate pe nanofibre*, nanofibrele de carbon (crescute din faza de vapori) au fost utilizate la întărirea diferitelor tipuri de polimeri (PP, PC, nylon, PES, ABS, PETF etc.).

3.3 Caracterizarea reologică a nanocompozitelor

Reologia poate fi considerată o ramură a fizicii ce se ocupă cu comportarea corpurilor deformabile care posedă cel puțin una din următoarele proprietăți: elasticitate, plasticitate sau vâscozitate. Reiner, remarcând tautologia, definește reologia ca știința ce se ocupă cu studiul deformării materialelor, incluzând și curgerea. Nici această definiție nu este însă completă. Analizând obiectul reologiei, interferența ei cu științele adiacente și precizându-se locul ei în ansamblul științelor ce studiază curgerea și deformarea corpurilor s-a propus următoarea definiție: "Reologia este știința ce studiază interdependența între solicitările mecanice, răspunsul corpurilor și proprietățile acestora" [53].

Deformarea, în cazul solidelor, are loc până la atingerea echilibrului între forțele interne și externe, în timp ce fluidele, prin aplicarea unei forțe anizotrope și neomogene, nu ajung la o deformație de echilibru. Gradul de deformare se schimbă continuu în timp. Deformația a cărei valoare crește continuu și nu se mai recuperează după îndepărtarea forței se numește curgere [53].

Mărimile de bază care dau informații cantitative asupra efectelor provocate de forțe sunt deformația specifică și viteza de deformare. Descrierea cantitativă a procesului de deformare se face cu ajutorul unor ecuații care leagă forțele de proprietățile corpurilor și de mărimea efectelor provocate [53].

Asupra unui corp pot acționa forțe exterioare, concentrate sau repartizate, forțe sau momente volumice, forțe de inerție, forțe centrifugale, sarcini produse de un câmp termic, electromagnetic sau de radiații radioactive etc. Din punct de vedere reologic primele trei tipuri de solicitări sunt de o deosebită importanță, iar forfecare stă la baza curgerii fluidelor. Se vor defini parametrii solicitării: care includ [53]:

1. *Tensiunea (efortul unitar)*. Limita raportului când suprafața tinde către zero, reprezintă efortul unitar într-un punct și poartă denumirea de tensiune.
2. *Deformația*. Un corp se deformează sub acțiunea unei tensiuni. Deformația poate modifica volumul sau forma corpului. De asemenea, deformația poate fi elastică (se recuperează la descărcarea corpului) sau poate fi sub formă de curgere (rămâne nerecuperată).
3. *Viteza de deformare*. Sub acțiunea unor solicitări externe corpurile deformabile se pot deforma cu viteze diferite. Deformarea are loc într-un interval finit de timp sau poate fi instantanee.

Amestecurile sau aliajele polimerice prezintă o deosebită importanță practică deoarece amestecarea asigură obținerea unor materiale cu proprietăți mecanice și prelucrabilitate îmbunătățite. Atât în cazul amestecurilor polimerice cât și în cel al compozitelor polimerice îmbunătățirea proprietăților depinde, în mare măsură, de gradul final de dispersare obținut și de orientarea umpluturilor fibroase. Însă, comportarea la curgere și morfologia acestor sisteme nu este pe deplin elucidată; de aceea interdependența complexă dintre condițiile de prelucrare, morfologie și îmbunătățirea (sau deteriorarea anumitor proprietăți) rămâne o problemă ce se bazează pe interpretări empirice sau semiempirice. Din punct de vedere reologic amestecurile de polimeri pot fi considerate dispersii de particule de tipul lichidelor, iar compozitele polimerice dispersii de particule rigide, asimetrice. În ambele situații comportarea reologică este determinată de gradul de dispersare și de orientarea fazei disperse, precum și de interacțiunile între particulă și particule existente. În cazul amestecurilor dintre un polimer amorf și unul semicristalin, distincția între particulele deformabile (de tip fluid) și cele rigide (de tip solid) nu este atât de clară deoarece cristalizarea în timpul curgerii a fazei disperse semicristaline va modifica modul de prezentare al acesteia din fluid în solid. Din această cauză comportarea reologică a acestui tip de amestecuri va prezenta trăsături caracteristice ambelor tipuri de dispersii [53].

Reologia dispersiilor poate fi studiată la două nivele: nivel macroreologic care implică măsurarea proprietăților reologice ale dispersiei în sine, adică vâscozitate respectiv tensiuni normale și nivel microreologic care se concentrează asupra mișcărilor fiecărei particule considerate individual. Teoretic ar trebui să se poată prevedea proprietățile macroreologice din observațiile referitoare la comportarea microreologică [53].

Ecuațiile constitutive exprimă relații generale între parametri caracteristici curgerii (gradient de viteză și accelerație) și tensiunile generate de această mișcare. Aceste relații generale sunt de o importanță deosebită pentru descrierea comportării la curgere a topiturilor de polimeri, deoarece numai prin intermediul lor se poate ține cont de tensiunile normale considerabile dezvoltate în curgerea cu forfecare a topiturilor de polimeri. Mai mult, tensiunile normale generate în sistem, afectează, într-un mod fundamental forțele ce acționează asupra elementului de fluid. De aceea, în sistemele disperse, în care forțele locale ce acționează asupra particulelor, determină, în mod decisiv, mișcarea și orientarea particulelor dispersate, tensiunile normale pot avea o influență hotărâtoare asupra fenomenelor microreologice [53].

De asemenea, există o vâscoelasticitate a mediului de dispersie, în cazul suspensiilor de particule rigide, asimetrice, care influențează echilibrul de orientare a particulelor în domeniul de curgere. În cazul concentrațiilor mari de particule în suspensie, interacțiunea particulă-particulă poate domina comportarea reologică, rezultând caracteristici fluide foarte complexe. Migrarea particulelor de la pereții capilarei sau canalului de curgere va da naștere unei configurații de tip înveliș-miez, miezul fiind constituit din particule dens împachetate, iar învelișul fiind format din chiar mediul de dispersie. O astfel de comportare este întâlnită atât în cazul suspensiilor de particule rigide cât și în cel al suspensiilor de particule deformabile [53].

Multe din efectele observate în cazul dispersiilor de particule rigide în medii newtoniene, au fost regăsite și în cazul în care mediul de dispersie care este reprezentat de o topitură de polimer. Însă, în cazul amestecurilor polimer-polimer s-au găsit foarte puține corespondențe cu comportarea la curgere a emulsiilor de fluide newtoniene. Atât comportarea macroreologică, cât și cea microreologică, sunt dominate, după cum se evidențiază și din tipul de dispersii obținute, de proprietățile vâscoelastice ale constituienților individuali [53].

Pentru cele mai multe aplicații, polimerilor li se adaugă umpluturi de particule rigide în scopul modificării și controlului variabilelor care guvernează procesul și proprietăților fizico-mecanice ale produsului finit. Materialele de umplură pot fi adăugate pentru a crește rigiditatea și a se reduce contracția pieselor injectate. În general, aceste materiale de umplură sunt inerte. În multe cazuri, ca materiale de umplură se utilizează particule de tipul fibrelor sau plăcuțelor, pentru creșterea modulului. Pentru controlul proprietăților fizico-mecanice ale produsului finit de importanță, controlul orientării acestor umpluturi este crucială. În ultimul timp, au căpătat o importanță deosebită compozițiile polimerice cu un înalt grad de umplere (50% volumice). În ultimii ani, însă,

studiile referitoare la modelarea proceselor de prelucrare a materialelor compozite și studiile referitoare la obținerea acestora cuprind mult mai multe considerații reologice. S-a acordat o atenție deosebită în cazul materialelor de ramforsare în găsirea tratamentelor de suprafață corespunzătoare care să îmbunătățească proprietățile produsului finit [53].

În studiile reologice ale materialelor compozite cu matrice polimerică, se acordă o importanță deosebită înțelegerii corecte a modului de comportare, cel mai adesea nenewtonian, al topiturilor de polimeri. Cele mai obișnuite fenomene care se impun a fi estimate sunt cele legate de subțierea prin forfecare, factorii de corecție ai presiunii și umflarea la filieră. Astfel efectele vâscoelastice într-o topitură de polimer pot fi vizualizate sub formă de dilatări sau contracții ale macromoleculelor, la volum constant, atunci când tensiunea locală de forfecare, într-un anumit domeniu de curgere se modifică. Din nefericire, fizica dinamicii polimerilor, la nivel macromolecular, nu este, încă, capabilă să furnizeze un set de ecuații constitutive care să prevadă efectele vâscoelastice practice într-o topitură de polimer. De aceea încă se mai folosesc ecuații constitutive empirice, dar incluse în programe de simulare a curgerii topiturilor de polimeri. Însă aceste ecuații constitutive prezintă dezavantajul că descriu comportarea unui anumit polimer specific, în condiții de curgere specifice, deci, pentru fiecare sistem în parte trebuie să se stabilească setul de ecuații corespunzătoare. De asemenea, modificările în compoziția polimerului, cum ar fi modificările masei moleculare sau a distribuțiilor maselor moleculare impun necesitatea găsirii parametrilor empirici corespunzători de corelație [53].

Calitatea tipurilor de nanocompozite polimerice obținute prin procese tehnologice este caracterizată prin "factorii determinanți ai calității" precum prelucrabilitate, rigiditate, rezistență la șoc, rezistența la fisurare, etc.. Aceștia se reflectă în proprietățile de bază ale nanocompozite polimerice cum sunt indicele de curgere (MI), densitate (D) și indicele ne-Newtonian (NNI). Astfel, procesul tehnologic este controlat prin corelația ce există între proprietățile de bază (reflectate de către factorii determinanți ai calității) și parametrii procesului tehnologic [42].

Influența proprietăților de bază ale materialelor polimerice asupra parametrilor procesului tehnologic este caracterizată astfel [42]:

- *Indicele de curgere* reprezintă fluiditatea polimerului topit. Cu cât indicele de curgere este mai mic sau vâscozitatea în topitură este mai mare, cu atât greutatea moleculară devine mai mare. De asemenea, vâscozitatea în topitură este afectată de distribuția greutateii moleculare, de ramificația lanțului, etc. Când indicele de curgere crește, proprietățile de curgere și luciul topiturii se îmbunătățesc, iar rezistența la șoc și rezistența la fisurare se înrăutățesc. Nanocompozitele polimerice cu indicele de curgere mare se utilizează pentru prelucrarea prin injecție, iar nanocompozitele polimerice cu indicele de curgere mic se folosesc pentru prelucrarea prin extrudare.
- *Densitatea* se referă la cristalinitatea nanocompozite polimerice. Când densitatea crește, rigiditatea și duritatea suprafeței se îmbunătățesc, iar rezistența la șoc și rezistența la fisurare se înrăutățesc.
- *Indicele ne-Newtonian*. Luându-se în considerare durata de timp admisă, se utilizează pentru testarea calității polimerului și ușurința de a controla distribuția greutateii moleculare, indicele ne-Newtonian este o măsură convenabilă. Indicele ne-Newtonian poate fi măsurat într-o perioadă de timp mult mai scurtă și măsurarea se face aproape precis. Astfel, indicele ne-Newtonian este utilizat ca ghid prin care să se controleze distribuția greutateii moleculare a produselor sub formă de granule.
- *Viteza de forfecare*. Un conținut de polimer cu greutate moleculară mare conduce la o viteză de forfecare mică, pe când viteza de forfecare mai mare este influențată de conținutul de polimer. Greutatea moleculară mică reprezintă o indicație folositoare asupra proprietăților de curgere ale polimerului.

Morfologia la scală nanometrică deschide posibilitatea de dezvoltare a unor modele de studiu care permit evaluarea structurii și dinamicii lanțurilor de molecule prin utilizarea tehnicilor convenționale macroscopice cum ar fi: calorimetria cu scanare diferențială, curentul stimulat termic, reometria, rezonanța magnetică nucleară sau diferitele metode spectroscopice [42, 54 - 57].

În tabelul 3.2 sunt prezentate diferite metode de analiză a proprietăților fizico-chimice a materialelor polimerice ce se pot efectua într-o întreprindere sau laborator [58]..

Tabelul 3.1.

Analize fizico-chimice ale materialelor polimerice [58]

Denumirea încercării	Referențial tehnic
Densitate volumetrică (g/cm ³)	SR EN ISO 1183
Determinare contaminări mecanice (nr.pct./cm ²) (necesită set epruvete)* - 2kg	vizual
Indice de vâscozitate (ml/g) (PA cu umpluturi minerale)	SR EN ISO 307
Substanțe extractibile în apă – monomer - (%) (PA)	STAS 6128 - 83
Conținut de apă și substanțe volatile (%) (PA, PP, PE, etc)	Metoda ICEFS
Temperatura de înmuiere VICAT (°C) (PA, PP, PE, etc,) (necesită set epruvete)* - 1kg	SR ISO 306
Temperatură de înmuiere VICAT (°C) (PA, PP, PE, etc) (necesita set epruvete)* - 2kg	SR ISO 306
Conținut de cenușă (%) (PA, PP, PE, etc)	SR EN ISO 1133
Indice de curgere (g/10min) (PA, PP, PE, etc)	SR EN ISO 1133
Densitate în topitură (g/cm ³) (PA, PP, PE, etc)	SR EN ISO 1133
Test UL-94 vertical Clasa de inflamabilitate (PA, PP, PE, etc,) (necesită set epruvete)* - 2kg	ANSI UL - 94
Determinarea intervalului de topire (°C) (PA, PP, PE, etc)	Micromasa Boetius
Identificare polimeri (necesită set epruvete)* - 2kg	ICEFS/PO-15/2008

*Fiecare determinate în parte se efectuează pe minim 3 probe paralele

Fiecare determinare pentru analize fizico-mecanice se efectuează pe minim 3 epruvete

3.4 Cercetări experimentale privind comportamentul reologic (la curgere) a unui nanocompozit polimeric termoplast reciclat mecanic multiplu utilizând testul de determinare a indicelui de curgere

Indicele de curgere, *MFI* „*Melt Flow Index*” reprezintă masa de polimer măsurată în g/10 min care curge printr-un capilar (duză) de diametru $2,0955^{+0.0051}_{-0.0051}$ mm și lungime $8,000^{+0.025}_{-0.025}$ mm la o anumită temperatură și sub acțiunea unor mase de testare care acționează prin greutatea proprie asupra unui piston [59].

Viteza de curgere a topiturii de polimer este o măsură indirectă a greutatei moleculare și a vâscozității. O greutate moleculară mică determină o viteză de curgere mare, iar o creștere a temperaturii sau masei de testare determină o îmbunătățire a curgerii topiturii datorită scăderii vâscozității. Cu alte cuvinte o greutate moleculară mică, o cristalinitate scăzută sau o vâscozitate mică implică un indice de curgere *MFI* ridicat și posibilitatea realizării prin injectare în matriță a unor aplicații cu succes [59].

Determinarea indicelui de curgere *MFI* s-a realizat conform procedurii ISO 1133 și ASTM D 1238 utilizând echipamentul de măsurare a indicelui de curgere Melt Flow Quick Index, CEAST (figura 3.1c) din cadrul Laboratorului pentru Testarea Proprietăților Mecanice, Optice și Termice a Materialelor Polimerice al Centrului de Excelență Prelucrarea Polimerilor al Facultății de Inginerie de la UDJ Galați. Schema de principiu a echipamentului pentru determinarea *MFI* este prezentată în figura 3.2 împreună cu componentele sale principale [59].

Procedura de testare a presupus [59]:

- setarea echipamentului la temperatura de testare și menținerea acesteia pentru o perioadă de până la 15 *min* pentru uniformizarea temperaturii în cilindrul aparatului, a duzei și a pistonului;
- granulele din material polimeric, însumând între (4 ÷ 8) g (figura 3.1a), au fost introduse în cilindrul aparatului (figura 3.1b) după care s-a așteptat până la 5 *min* pentru uniformizarea materialului și eliminarea bulelor de aer din material; această etapă realizându-se cu presarea pistonului pe material (opțional și cu o masă pe piston);
- pentru prelevarea probelor sub anumite temperaturi și presiuni de testare, pe capul pistonului s-au poziționat diverse mase de testare standardizate, care împreună cu pistonul însumează mase de 1,2, 2,16, 3,8, 5 și 10 kg (figura 3.1d);
- prelevarea probelor s-a realizat într-un interval de timp precis, astfel încât lungimea acestora să se încadreze, pe cât posibil în intervalul (10 ÷ 20) mm
- pentru determinarea indicelui de curgere *MFI* a fost utilizată relația (3.1) numai după ce probele au fost cântărite în prealabil cu ajutorul unei balanțe Mettler Toledo (figura 3.1e).

$$MFI(T, m_{nom}) = \frac{600 \cdot m}{t}, \quad (3.1.)$$

în care:

T este temperatura topiturii de polimer, [°C];

m_{nom} – masa de testare, [kg];

m – media maselor probelor prelevate, [g];

t – timpul de prelevare a probelor, [s].

Reguli respectate la realizarea testelor de măsurare a indicelui de curgere [59]:

- operația de încărcare a cilindrului cu granule nu trebuie să depășească 1 *min*;
- dacă este necesară o forță suplimentară pentru a începe testul, aceasta trebuie îndepărtată cu cel puțin 2 *min* înaintea măsurărilor;
- prelevarea probelor începe din momentul în care se atinge marcajul inferior al pistonului și se termină în momentul când se atinge marcajul superior al acestuia;
- timpul de prelevare al probelor este între (5 ÷ 240) s funcție de material;
- dacă între rezultatele maxime și minime ale aceluiași test există diferențe mai mari de 15% testul se repetă;
- timpul dintre începutul testului și sfârșitul testului nu trebuie să depășească 25 *min*.

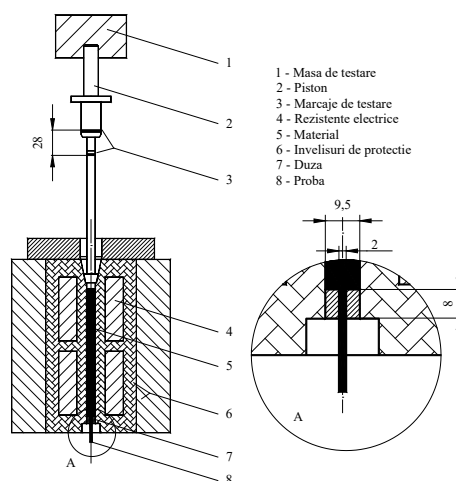


Figura 3.1. Schema de principiu a aparatului de determinarea a indicelui de curgere *MFI* [59]

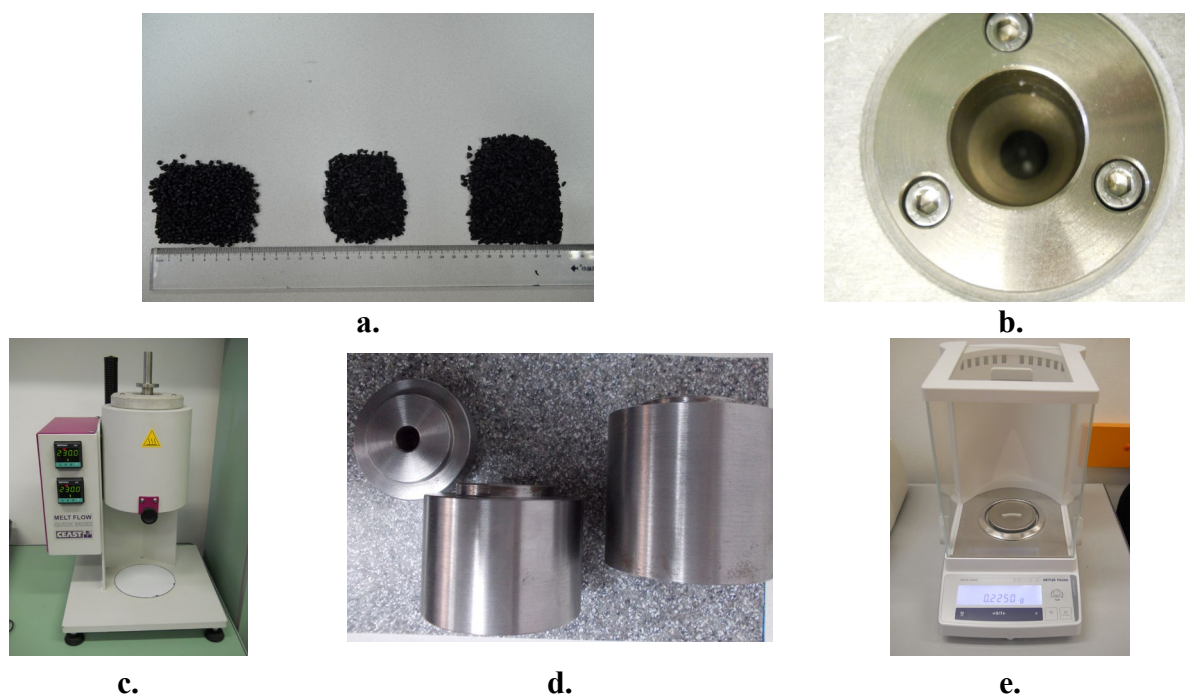


Figura 3.2. Determinarea indicelui de curgere:

a. material; b. gură de alimentare; c. echipament de măsurare a indicelui de curgere Melt Flow Quick Index CEAST; d. mase de testare; e. balanță Mettler Tolledo.

Parametrii necesari cadrului experimental cât și planul de experiment privind măsurarea indicelui de curgere MFI a unui nanocompozit termoplast cu matrice polimerică de LDPE (polietilă de joasă densitate) ranforsat cu diferite concentrații masice, sunt prezentate în tabelul 3.2.

Tabelul 3.2.

Planul de experiment “full factorial” privind măsurarea indicelui de curgere, (Melt Flow Index – MFI) a nanocompozitului LDPE/MWCNTs inițial (R0), reciclat o dată (R1) și reciclat de două ori (R2)

Nr. exp.	Concentrația de MWCNTs, (wt.%)	Temperatura de extrudare, (°C)	Masa de testare, (kg)
1/16/31	0.1/1/5	110	1.20
2/17/32	0.1/1/5	110	2.16
3/18/33	0.1/1/5	110	3.80
4/19/34	0.1/1/5	110	5.00
5/20/35	0.1/1/5	110	10.00
6/21/36	0.1/1/5	130	1.20
7/22/37	0.1/1/5	130	2.16
8/23/38	0.1/1/5	130	3.80
9/24/39	0.1/1/5	130	5.00
10/25/40	0.1/1/5	130	10.00
11/26/41	0.1/1/5	150	1.20
12/27/42	0.1/1/5	150	2.16
13/28/43	0.1/1/5	150	3.80
14/29/44	0.1/1/5	150	5.00
15/30/45	0.1/1/5	150	10.00

De asemenea, pentru obținerea de granule s-au selectat și colectat materialele polimerice termoplaste reciclate necesare efectuării testelor (figura 3.3). După, pentru determinarea indicelui de curgere, materialele polimerice termoplaste reciclate au fost tocate folosind un Moara de măcinat cu valțuri marca DEGA (figura 3.4). În final, în figura 3.5 s-au separat granulele de materiale polimerice termoplaste obținute de impurități, adică praf cât și granule care nu îndeplinesc condițiile de testare a indicelui de curgere și anume granulele să aibă între $(4 \div 8)$ g. Astfel, în figura 3.6 se pot observa materiale ce au fost reciclate și sortate.



Figura 3.3. Selectarea și colectarea materialelor polimerice termoplaste



Figura 3.4. Echipamentul de tocat materiale plastice



Figura 3.5. Separarea granulelor de materiale polimerice termoplaste

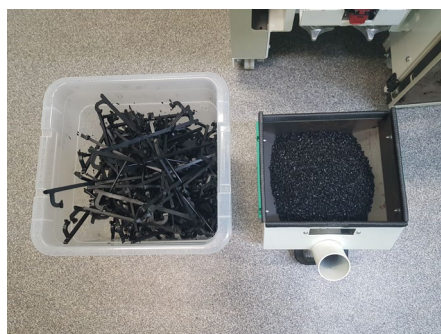
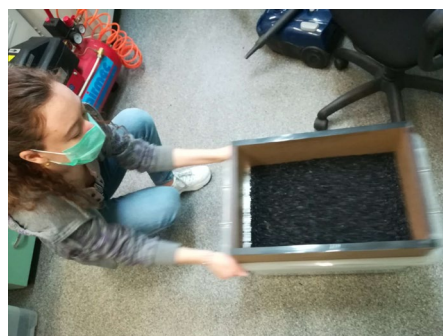
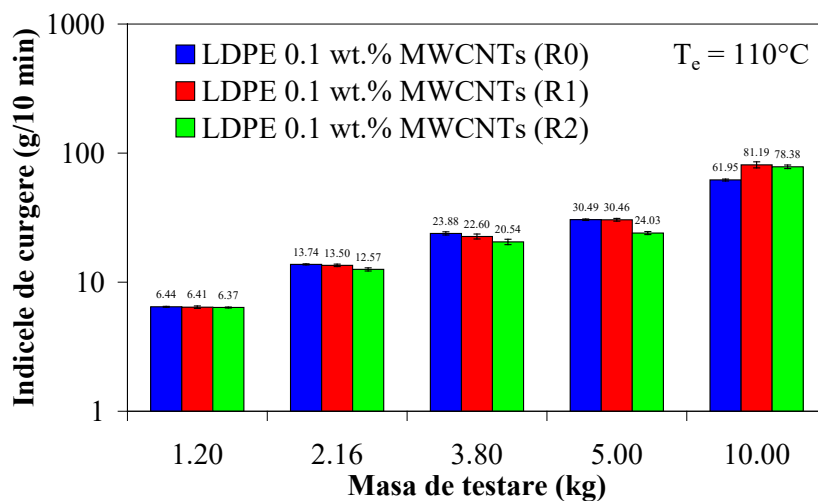
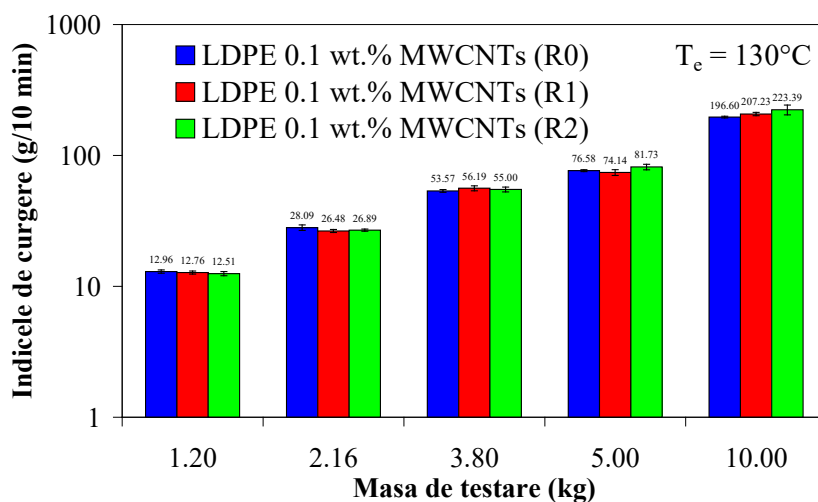


Figura 3.6. Materiale ce au fost reciclate și sortate

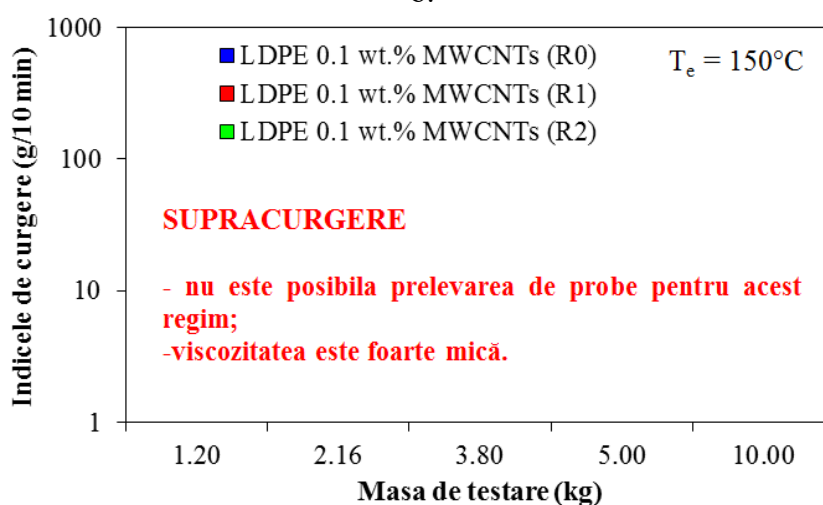
În diagramele din figura 3.7, figura 3.8 și figura 3.9 sunt prezentate rezultatele variației indicelui de curgere *MFI* pentru materialele analizate în funcție de masa de testare.



a.

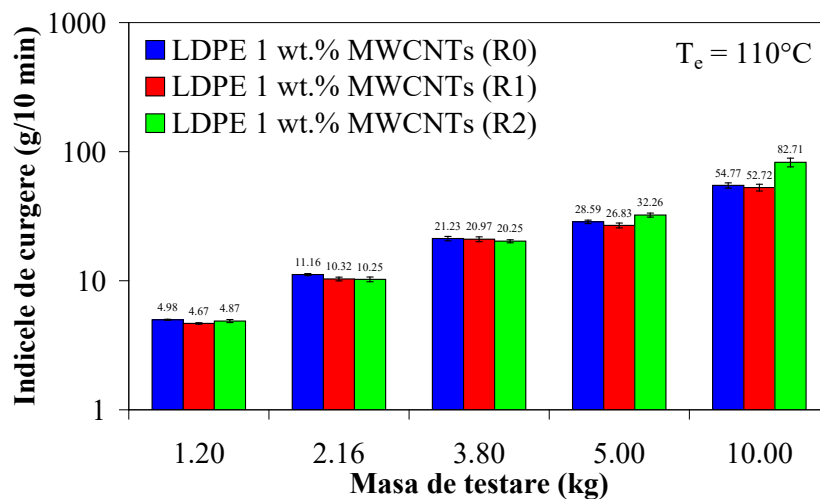


b.

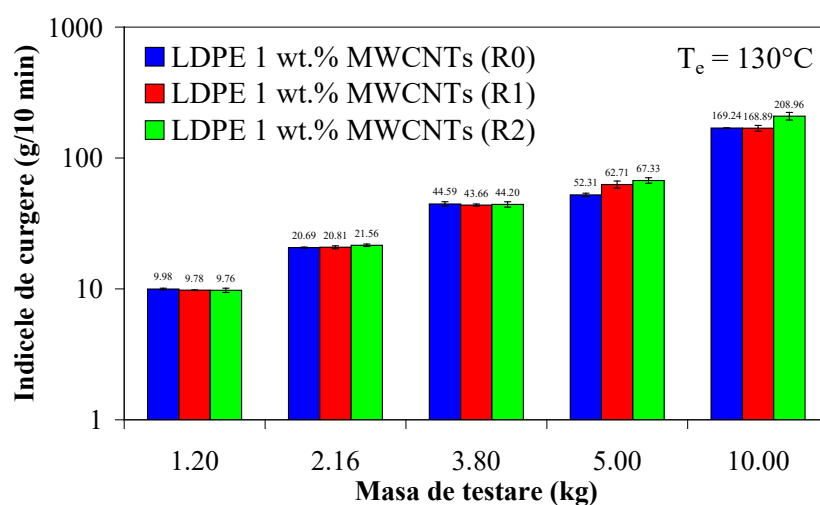


c.

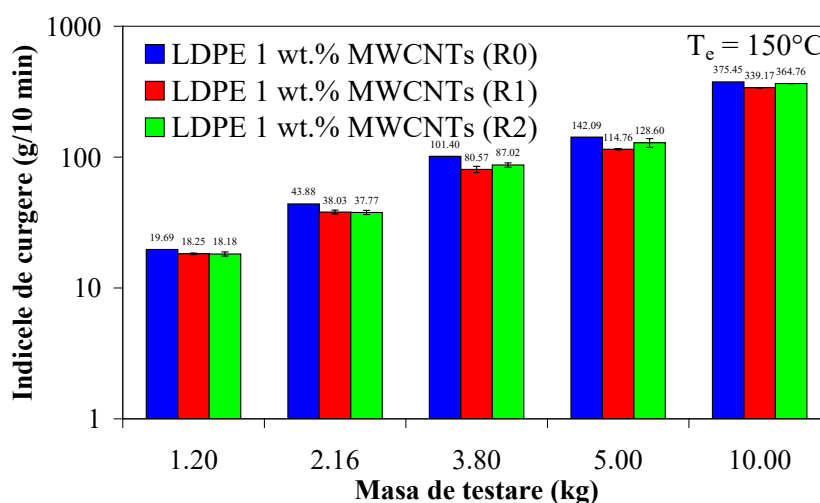
Figura 3.7. Influența procesului de reciclare al nanocompozitului LDPE ranforsat cu 0.1 wt.% MWCNTs asupra indicelui de curgere pentru temperatura de extrudare de: a. 110°C; b. 130°C; c. 150°C.



a.

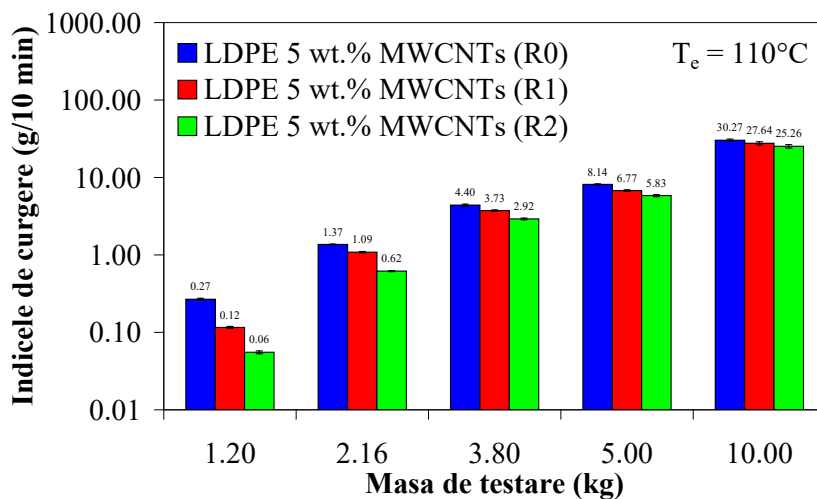


b.

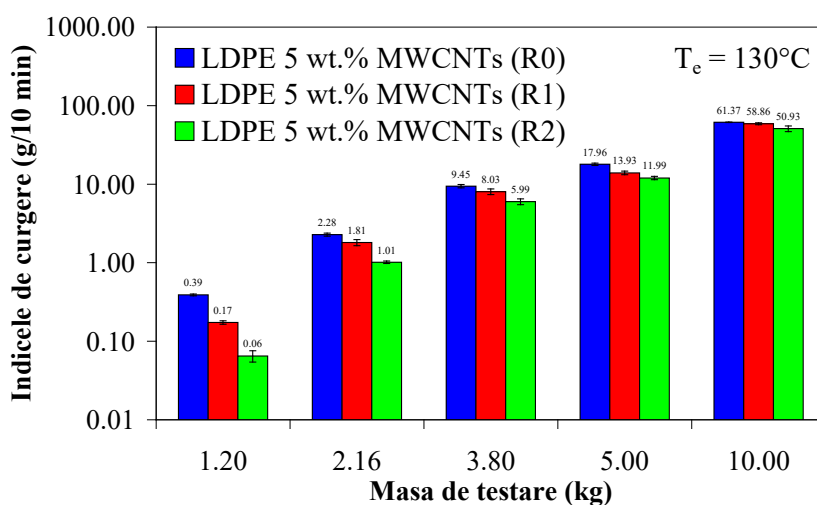


c.

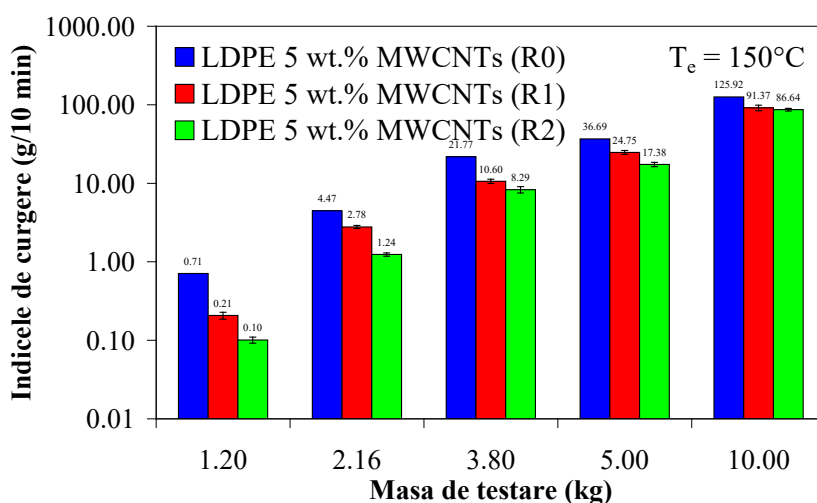
Figura 3.8. Influența procesului de reciclare al nanocompozitului LDPE ranforsat cu 1 wt.% MWCNTs asupra indicelui de curgere pentru temperatura de extrudare de: a. 110°C; b. 130°C; c. 150°C.



a.



b.



c.

Figura 3.9. Influența procesului de reciclare al nanocompozitului LDPE ranforsat cu 5 wt.% MWCNTs asupra indicelui de curgere pentru temperatura de extrudare de: a. 110°C; b. 130°C; c. 150°C.

În diagrame se observă că indicele de curgere *MFI* crește odată cu creșterea temperaturii de extrudare cât și cu creșterea masei de testare. Se mai poate observa că indicele de curgere scade odată cu creșterea concentrației masice de *MWCNTs* din matricea polimerică de *LDPE* și crește odată cu creșterea temperaturii de extrudare și a masei de testare [59].

Indicele de curgere a unui nanocompozit ranforsat cu concentrație masică de 5wt.% *MWCNTs* și matrice polimerică de *LDPE*, la masa de testare de 5 kg și temperatura de 130°C, scade cu aproximativ 26% față de materialul virgin. Se poate observa o scădere destul de mică a vâscozității specifică materialului analizat.

Pentru nanocompozitul cu matrice polimerică de *LDPE* ranforsat cu concentrație masică de 0.1wt.% *MWCNTs*, pentru masa de testare 3.8 kg și la temperatura de 110°C, scăderea indicelui de curgere 60% față de materialul virgin.

Nanocompozitul ranforsat cu concentrație masică de 1wt.% *MWCNTs* și matrice polimerică de *LDPE*, la masa de testare de 10 kg și temperatura de 150°C, indicele de curgere scade cu aproximativ 98% față de materialul virgin.

În urma acestor determinări experimentale s-a constatat că datorită scăderii indicelui de curgere față de materialul virgin, proprietăților reologice scad. Cu alte cuvinte, este mai ușor de injectat datorită vâscozității care scade semnificativ, reciclarea acestor materiale fiind scopul principal.

De asemenea, s-a constatat că pentru nanocompozitul ranforsat cu concentrație masică de 0.1wt.% *MWCNTs* și matrice polimerică de *LDPE*, la temperatura de 150°C se produce fenomenul de *supracurgere*, adică indicele de curgere crește în timp ce vâscozitatea scade foarte mult ajungând fluid ca apa. Prelevarea de probe în acest regim nu este posibilă.

Modificarea valorilor vâscozității și a maselor moleculare ale materialelor, care variază cu temperatura și presiunea, conduce la creșterea indicelui de curgere *MFI* pentru materialele analizate odată cu creșterea masei de testare sau a temperaturii de extrudare. Referitor la scăderea indicelui de curgere *MFI* odată cu creșterea concentrației masice de *MWCNT* din nanocompozitul cu matrice polimerică de *LDPE*, se poate afirma că ranforsarea cu *MWCNT* determină o curgere mai deficitară și efectul se accentuează odată cu creșterea procentajul de *MWCNT* din matricea polimerică analizată. Deci, modul în care se realizează avansul fronturilor de topitură la injectare se înrăutățește datorită ranforsării cu concentrației masice de *MWCNT* și creșterea acesteia în matricile polimerice. Corectarea *MFI*, respectiv pentru a crește valoarea acestuia, se poate realiza numai prin creșterea temperaturii de injectare și a presiunii de injectare a materialelor, însă, acești parametri nu fi pot creștuți la infinit deoarece materialele polimerice pot suferi degradări termice [59].

Urmărind și comparând diagramele variației indicelui de curgere *MFI* în funcție de masa de testare, respectiv în funcție de temperatura de extrudare se poate observa că *MFI* are o creștere mult mai accentuată pentru mase de testare mai mari, adică la injectare mai întâi trebuie crescută presiunea de injectare și mai apoi, dacă este necesar se crește și temperatura de injectare [59].

În cazul materialelor nanocompozite cu matrice polimerică de *LDPE* și ranforsate cu *MWCNT*, se observă că ranforsarea cu *MWCNT* determină o creștere a vâscozității materialului datorită modificării maselor moleculare prin introducerea de *MWCNT* în matricea polimerică de *LDPE*. O creștere a concentrație masică de *MWCNT* în matricea polimerică determină o creștere a vâscozității, în timp ce indicele de curgere scade. Toate aceste rezultate privind creșterea vâscozității materialului prin ranforsarea cu *MWCNT* este datorită creșterii masei moleculare determinate de volumul tot mai mare de *MWCNT* din matricea polimerică [59].

În ceea ce privește influența procesului de reciclare asupra proprietăților reologice a nanocompozitului cu matrice polimerică de *LDPE* și ranforsate cu *MWCNT*, se poate observa că materialul polimeric termoplast, reciclat mecanic multiplu, este mai sensibil la degradarea termomecanică. În același timp parametrii de prelucrare sunt influențați de comportarea reologică, care este puternic influențată de numărul de reciclări.

3.5 Concluzii

Nanocompozitele polimerice sunt definite ca fiind polimeri ce conțin o cantitate mică de nanoumpluturi de dimensiuni între 1 și 100 nm care se folosesc în concentrație de 1 - 10% (masic) și trebuie dispersate omogen în matricea de polimer, precum poliamidă (PA), polietilene (PE), polipropilenă (PP), etilen vinil acetat (EVA), rășini epoxi și cauciucuri siliconice se combină cu nanoumpluturi de tipul silicat stratificat (LS), dioxid de siliciu (SiO₂), dioxid de titan (TiO₂) și alumina (Al₂O₃). Nanocompozitele polimerice sunt avantajoase comparativ cu compozitele convenționale deoarece cantitatea mică de nanoumplutură folosită nu modifică semnificativ caracteristicile de bază ale polimerului și comportarea la prelucrare.

Principalele proprietăți a nanocompozitelor polimerice: proprietățile electrice și termice ca și cele mecanice se pot îmbunătăți prin nanostructurarea compozitelor polimerice; folosirea de tehnologii de obținere prin metodele de intercalare, metoda sol-gel, se pot obține materiale mai bune și mai ieftine caracterizate prin zone de interfata puternice; nanocompozitele din polimeri termoplasti sunt rezistenți la temperatură și sunt blânde față de mediu datorită reciclabilității; termorigidele pot fi înlocuite de termoplaste care pot fi reciclate; polimerii biodegradabili polilactic pot fi șarjați cu nanoumpluturi. În funcție de materialele utilizate ca adaos (aditiv) pentru întărire, nanocompozitele se clasifică în nanocompozite bazate pe nanoparticule, nanocompozite bazate pe nanoplachete (nanostatificate) și nanocompozite bazate pe nanofibre.

Procesul tehnologic folosit pentru obținerea de nanocompozite este controlat prin corelația ce există între proprietățile de bază (reflectate de către factorii determinanți ai calității) și parametrii procesului tehnologic. Proprietățile de bază ale nanocompozite polimerice sunt indicele de curgere (MI), densitate (D) și indicele ne-Newtonian (NNI). Calitatea tipurilor de nanocompozite polimerice este caracterizată prin "factorii determinanți ai calității" precum prelucrabilitate, rigiditate, rezistență la șoc, rezistență la fisurare, etc..

Viteza de curgere a topiturii de polimer este o măsură indirectă a greutatei moleculare și a vâscozității. Greutatea moleculară mică determină o viteză de curgere mare, iar creșterea a temperaturii sau masei de testare determină o îmbunătățire a curgerii topiturii datorită scăderii vâscozității. Astfel o greutate moleculară mică, o cristalinitate scăzută sau o vâscozitate mică implică un indice de curgere MFI ridicat și posibilitatea realizării prin injectare în matriță a unor aplicații cu succes.

În urma testelor efectuate pentru determinarea indicelui de curgere *MFI* s-a realizat conform procedurii ISO 1133 și ASTM D 1238 utilizând echipamentul de măsurare a indicelui de curgere Melt Flow Quick Index, CEAST din cadrul Laboratorului pentru Testarea Proprietăților Mecanice, Optice și Termice a Materialelor Polimerice al Centrului de Excelență Prelucrarea Polimerilor al Facultății de Inginerie de la UDJ Galați, s-a constatat influența procesului de reciclare asupra proprietăților reologice a unui material polimeric termoplast. Se observă că nanocompozitului cu matrice polimerică de *LDPE* și ranforsat cu *MWCNTs* reciclat, este mai sensibil la degradarea termomecanică. De asemenea parametrii de prelucrare sunt influențați de comportarea reologică, care este puternic influențată de numărul de reciclări. Deci, se poate concluziona că reciclarea materialelor polimerice este una dintre soluțiile pentru protecția mediului, dar necesită cercetarea influenței numărului de reciclări asupra caracteristicilor și respectiv a parametrilor de prelucrare, pentru obținerea unor produse de calitate.

OPIS FIGURI

Fig. 1.1.	Diferite tipuri de polimeri
Fig. 1.2	Consumul de materiale polimerice termoplaste în Uniunea Europeană
Fig. 1.3	Domeniile de consum a materiale polimerice termoplaste
Fig. 1.4.	Generarea deșeurilor în funcție de activități economice și gospodării în UE
Fig. 1.5.	Evoluția tratării deșeurilor în Uniunea Europeană
Fig. 1.6.	Rata de reciclare a deșeurilor provenite din ambalaje
Fig. 1.7.	Deșeuri de ambalaje din diferite materiale
Fig. 1.8.	Evoluția ratei de reciclare a deșeurilor de ambalaje din plastic în UE, 2006-2017
Fig. 1.9.	Rata de reciclare a deșeurilor de ambalaje din plastic în UE, 2017
Fig. 1.10.	Gestionarea deșeurilor municipale în Uniunea Europeană (kg pe cap de locuitor)
Fig. 1.11.	Fluxul tehnologic de regranulare a deșeurilor polimerice
Fig. 1.12.	Instalație de piroliză pentru deșeurile din plastic
Fig. 1.13.	Instalații de gazeificare
Fig. 1.14.	Articole biodegradabile: a. set de picnic biodegradabil din bambus cu amidon de porumb; b. farfurii, tacâmuri și ceașcă biodegradabile din tărațe; c. fir resorbabil și medicamente (capsule) folosite în medicină; d. ambalaje din alge; e. filament PLA pentru imprimare 3D și bandă biodegradabilă, parafinată pentru altoire; f. ambalaje din frunze de bananier
Fig. 2.1.	Producția de materiale polimerice în Japonia (1000 tone)
Fig. 2.2.	Producția de sticle din plastic în Japonia (tone)
Fig. 2.3.	Generarea deșeurilor municipale în Japonia (tone/cap de persoană)
Fig. 2.4.	Tratarea deșeurilor în Japonia
Fig. 2.5.	Fluxul de tratarea a deșeurilor municipale în Japonia (1000 tone/an)
Fig. 2.6.	Cantitatea de deșeuri industriale în Japonia în funcție de domeniul de activitate
Fig. 2.7.	Diferite categorii de deșeuri în Japonia
Fig. 2.8.	Fluxul de tratarea a deșeurilor industriale în Japonia (1000 tone/an)
Fig. 2.9	Domeniile de consum a materiale polimerice termoplaste în Japonia
Fig. 2.10.	Rata containerelor și ambalajelor plastice din deșeurile menajere din punct de vedere al a. volumului și b greutatei
Fig. 2.11.	Volumul de reciclare în Japonia a materialelor polimerice comparativ cu sticla și hârtia (tone)
Fig. 2.12.	Deșeurile totale generate în Japonia
Fig. 2.13.	Deșeurile municipale (milioane de tone)
Fig. 2.14.	Deșeurile provenite din industrie (milioane de tone)
Fig. 2.15.	Prudctivitatea resurselor în Japonia (randamentul monetar pe unitate se resurse)
Fig. 2.16.	Rata de reciclare în Japonia (%)
Fig. 2.17.	Cantitatea finală de deșeuri eliminate în Japonia
Fig. 2.18.	Fluxul de materiale în Japonia (indicatori)
Fig. 3.1.	Schema de principiu a aparatului de determinarea a indicelui de curgere <i>MFI</i>
Fig. 3.2.	Determinarea indicelui de curgere: a. material; b. gură de alimentare; c. echipament de măsurare a indicelui de curgere Melt Flow Quick Index CEAST; d. mase de testare; e. balanță Mettler Tolloedo
Fig. 3.3.	Selectarea și colectarea materialelor polimerice termoplaste
Fig. 3.4	Echipamentul de tocat materiale plastice
Fig. 3.5	Separarea granulelor de materiale polimerice termoplaste

- Fig. 3.6.** Materiale ce au fost reciclate și sortate
- Fig. 3.7.** Influența procesului de reciclare al nanocompozitului LDPE ranforsat cu 0.1 wt.% MWCNTs asupra indicelui de curgere pentru temperatura de extrudare de: a. 110°C; b. 130°C; c. 150°C.
- Fig. 3.8.** Influența procesului de reciclare al nanocompozitului LDPE ranforsat cu 1 wt.% MWCNTs asupra indicelui de curgere pentru temperatura de extrudare de: a. 110°C; b. 130°C; c. 150°C.
- Fig. 3.9.** Influența procesului de reciclare al nanocompozitului LDPE ranforsat cu 5 wt.% MWCNTs asupra indicelui de curgere pentru temperatura de extrudare de: a. 110°C; b. 130°C; c. 150°C

OPIS TABELE

Tabel 1.1.	Principalele proprietăți ale materialelor polimerice termoplaste
Tabel 1.2.	Generarea deșeurilor în Uniunea Europeană incluzând deșeurilor minerale majore (%)
Tabel 1.3.	Tratarea deșeurilor în Uniunea Europeană (% din total)
Tabel 1.4.	Diferite articole de plastic poluante și alternative de diminuare a impactului asupra mediului
Tabel 1.5.	Generarea deșeurilor municipale în Uniunea Europeană 1995-2017 (kg pe cap de locuitor)
Tabel 1.6.	Metode de reciclare a polimerilor
Tabel 1.7.	Valoarea puterii calorice pentru materiale polimerice
Tabel 1.8.	Avantajele și dezavantajele utilizării polimerilor biodegradabili
Tabel 1.9.	Obiective privind gradul de reutilizare și de reciclare a deșeurilor urbane în Uniunea Europeană
Tabel 1.10.	Obiective privind gradul de reutilizare și de reciclare a diferitelor deșeuri în Uniunea Europeană
Tabel 1.11.	Planul de acțiune privind economia circulară în Uniunea Europeană
Tabel 2.1.	Istoricul sistemelor juridice privind dezvoltarea unei societăți solide “a sound material-cycle society” (perioada postbelică până în prezent)
Tabel 2.2.	Metode de reciclare a materialelor polimerice în Japonia și Uniunea Europeană
Tabel 3.1.	Analize fizico-chimice ale materialelor polimerice
Tabel 3.2.	Planul de experiment “full factorial” privind măsurarea indicelui de curgere, (Melt Flow Index – MFI) a nanocompozitului LDPE/MWCNTs inițial (R0), reciclat o dată (R1) și reciclat de două ori (R2)

BIBLIOGRAFIE

- [1] Prof. Dr. Chim. Patachia Silvia, Prof. Dr. Ing. Tierean Mircea, Conf. Dr. Ing. Baltes Liana, *Direcții noi în proiectarea compozitelor pe bază de poliolefine în vederea creșterii eficienței de reciclare*
- [2] Socaciu Teodor “*Materiale avansate pentru calitatea produselor*”
- [3] Andrady, A. L., *Plastics and the environment*, 2003, Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey
- [4] *Energy, transport and environment indicators*, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019 edition, pages 148-163
- [5] <https://www.green-report.ro>
- [6] Zhuo C, Levendis YA. *Upcycling waste plastics into carbon nanomaterials: A review*. J Appl Polym Sci 131(4) 2014 DOI:10.1002/app.39931
- [7] Brandrup J, Bittner M, Michaeli W, Menges G. (Eds.). *Recycling and recovery of plastics*, New York, NY: Hanser. 1996
- [8] Ambrose CA, Hooper R, Potter AK, Singh MM, *Diversion from landfills: quality products from valuable plastics*. Resour Conserv Recy 36(4):309-318, 2002
- [9] Doddiba G, Takahashi K, Sadaki J, Fujita T., *The recycling of plastic wastes from discarded TV sets: comparing energy recovery with mechanical recycling in the context of life cycle assessment*, J Clean Prod 16(4):458-470, 2008;
- [10] Cavalieri F, Padella F., *Development of composite materials by mechanochemical treatment of post-consumer plastic waste*, Waste Manage 22(8):913-916, 2002;
- [11] Elena Părpăriță, *Teză de doctorat*, 2014, Academia Română-Institutul de chimie Macromoleculară ‘P. Poni’ Iași;
- [12] Korkmaz A, Yanik J, Brebu M, Vasile C., *Pyrolysis of the tetra pack*. Waste Manage 29:2836-2841, 2009
- [13] <https://www.icsi.ro>
- [14] Chhiti Y, Salvador S, Commandre J-M, Broust F., Couhert C., Wood Bio-Oil Noncatalytic Gasification: Influence of Temperature, Dilution by an Alcohol and Ash Content, Energ Fuel 25:345-351, 2011
- [15] Williams EA, Williams PT. *The pyrolysis of individual plastics and plastic mixture in a fixed bed reactor*, J Chem Tech Biotechnol 70:9-20, 1997;
- [16] <https://ec.europa.eu>
- [17] Gisha E Luckachan, C.K.S. Pillai, *Biodegradable polymers-A review on recent trends and emerging perspective*, J. Polym. Environ, 2011, 19:637-676
- [18] Maria RĂPĂ, Elena GROSU, Andreiana SCHEAU, Cristian Florian, *Tehnologii disponibile pentru procesarea polimerilor biodegradabili*, pag 2 -3
- [19] <https://www.timpul.md>
- [20] <https://www.shellro.ro>
- [21] <https://www.consilium.europa.eu>
- [22] Comunicare a comisiei către parlamentul european, consiliu, comitetul economic și social european și comitetul regiunilor, “Un nou Plan de acțiune privind economia circulară pentru o Europă mai curată și mai competitivă”, Bruxelles, 11.3.2020 COM(2020) 98 final; <https://eur-lex.europa.eu>
- [23] Minister's Secretariat, Waste Management and Recycling Department Policy Planning Division, Office of Sound Material-Cycle Society, “*History and Current State of Waste Management in Japan*”; <https://www.env.go.jp>

- [24] Christine Yolin, "Waste Management and Recycling in Japan Opportunities for European Companies (SMEs focus)", EU-Japan Centre for Industrial Cooperation; <https://www.eu-japan.eu>
- [25] <https://www.jwnet.or.jp>
- [26] <https://japoneza.com>
- [27] Suprakas SR, Masami O, "Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing Prog. Polym. Sci. 28 (2003) 1539-1641
- [28] Xu R, Manias E, Snyder AJ, Runt J "New biomedical poly(urethane urea)-layered silicate nanocomposites", Macromolecules 2001;34:337-9
- [29] Bharadwaj RK, "Modeling the barrier properties of polymerlayered silicate nanocomposites", Macromolecules 2001;34: 1989-92
- [30] Messersmith PB, Giannelis EP, "Synthesis and barrier properties of poly(1 - caprolactone)-layered silicate nanocomposites", J Polym Sci, Part A: Polym Chem 1995;33:1047-57
- [31] Yano K, Usuki A, Okada A, Kurauchi T, Kamigaito O, "Synthesis and properties of polyimide-clay hybrid", J Polym Sci, Part A: Polym Chem 1993;31:2493-8
- [32] Kojima Y, Usuki A, Kawasumi M, Fukushima Y, Okada A, Kurauchi T, Kamigaito O, "Mechanical properties of nylon 6-clay hybrid", J Mater Res 1993;8:1179-84
- [33] Gilman JW, Kashiwagi T, Lichtenhan JD, "Flammability studies of polymer-layered silicate nanocomposites", Sample J 1997;33:40-5
- [34] Gilman JW, "Flammability and thermal stability studies of polymer-layered silicate (clay) nanocomposites", Appl Clay Sci 1999;15:31-49
- [35] Dabrowski F, Bras M Le, Bourbigot S, Gilman JW, Kashiwagi T, "PA-6 montmorillonite nanocomposite in intumescent fire retarded EVA", Proceedings of the Euro- fillers'99, Lyon-Villeurbanne, France; 6-9 September 1999.
- [36] Bourbigot S, LeBras M, Dabrowski F, Gilman JW, Kashiwagi T, "PA-6 clay nanocomposite hybrid as char forming agent in intumescent formulations", Fire Mater 2000;
- [37] Gilman JW, Jackson CL, Morgan AB, Harris Jr R, Manias E, Giannelis EP, Wuthenow M, Hilton D, Phillips SH, "Flammability properties of polymer-layered silicate nanocomposites, Propylene and polystyrene nanocomposites", Chem Mater 2000;12:1866-73
- [38] Jordana J, Jacobb KI, Tannenbaumc R, Sharafb MA, Jasiukd I *Experimental trends in polymer nanocomposites-a review* Materials Science and Engineering A 393 (2005) 1-11.
- [39] Chang J-H, An YU, J. Polym. Sci. B: Polym. Phys. 40 (2002) 670-677
- [40] Wu CL, Zhang MQ, Rong MZ, Friedrich K, Compos. Sci. Technol. 62 (2002) 1327-1340
- [41] Magaraphan R, Lilayuthalert W, Sirivat A, Schwank JW, Compos. Sci. Tech. 61 (2001)1253-1264
- [42] <https://www.scribub.com>
- [43] Orive G, Hernandez RM, Gascon AR, Dominguez-Gil A and Pedraz JL, "Drug delivery in biotechnology: present and future", Current Opinion in Biotechnology 2003, 14:659-664.
- [44] La Van D, Lynn DM, Langer R, "Moving smaller in drug discovery and delivery", Nat Rev Drug Discov 2002, 1:77-84
- [45] La Van D, McGuire T, Langer R, "Small-scale systems for in vivo drug delivery", Nat Biotechnol 2003, 21:1184-1191
- [46] Vollenberg PHT, Heikens D, Polymer 30 (1989) 1656-1662
- [47] Li J-X, Wu J, Chan CM, Polymer 41 (2000) 6935-6937
- [48] Yang F, Ou Y, Yu Z, J. Appl. Polym. Sci. 69 (1998) 355-361
- [49] Chan C-M, Wu J, Li J-X, Cheung Y-K, Polymer 43 (2002) 2981-2992
- [50] Prof. Dr. Ing. Florin CIUPRINA, "Metodologii pentru dezvoltarea și caracterizarea de dielectrice din nanocompozite polimerice cu proprietăți electroizolante"; <http://www.elmat.pub.ro>

- [51] American Ceramic Society (2004)
- [52] Thostenson ET, Li C, Chou T-W, Review, " *Nanocomposites in context* Composites Science and Technology 65 (2005) 491-516.
- [53] Constanța IBANESCU, 'Reologia sistemelor polimerice multifazice'; <http://www.didactic.icpm.tuiasi.ro>
- [54] Hackett E, Manias E, Giannelis EP, "Molecular dynamics simulations of organically modified layered silicates", J Chem Phys 1998;108:7410-5
- [55] Hackett E, Manias E, Giannelis EP, "Computer simulation studies of PEO/layered silicate nanocomposites", Chem Mater 2000;12:2161-7
- [56] VanderHart DL, Asano A, Gilman JW. NMR measurements related to clay dispersion quality and organic-modifier stability in nylon 6/clay nanocomposites. Macromolecule 2001;38:3819-22
- [57] Loo LS, Gleason KK. Fourier transforms infrared investigation of the deformation behavior of montmorillonite in nylon 6/nanoclay nanocomposites. Macromolecules 2003;36:2587-90
- [58] <http://monofil.ro>
- [59] SANDU, Ionuț - Laurențiu, (2014), *ȘContribuții la injectarea reperelor cu pereți subțiri din materiale polimerice* - teză de doctorat, Conducător științific: Prof. Dr. Ing. FETECĂU Cătălin, seria I4: Inginerie Industrială, Nr. 18, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, România