



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
CERCETĂRII
ȘI SPORTULUI

OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI" DIN IAȘI
Școala Doctorală a Facultății de Inginerie
Chimică și Protecția Mediului



EVALUAREA IMPACTULUI DE MEDIU AL TEHNOLOGIILOR DE RECICLARE A HÂRTIEI ȘI CARTONULUI

Rezumatul tezei de doctorat

Conducător de doctorat:
Prof. dr. ing. Elena Bobu

Doctorand:
Chimist Alina Iosip

IAȘI – 2011

UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE ASACHI" IAȘI
RECTORATUL

Către

.....
.....

Vă facem cunoscut că în ziua de _____ la ora _____
în Sala de Consiliu a Facultății de Inginerie Chimică și Protecția Mediului, va avea loc
susținerea publică a tezei de doctorat intitulată:

**" EVALUAREA IMPACTULUI DE MEDIU AL TEHNOLOGIILOR DE RECICLARE A
HÂRTIEI ȘI CARTONULUI"**

elaborată de doamna **ALINA IOSIP (SAVIN)** în vederea conferirii titlului științific de
doctor.

Comisia de doctorat este alcătuită din:

- | | |
|--|-----------------------|
| - Prof.dr.ing. DAN CAȘCAVAL
Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași | președinte |
| - Prof.dr.ing. ELENA BOBU
Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași | conducător științific |
| - Prof. dr.ing. CARMEN TEODOSIU
Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași | membru |
| - Dr. MERCEDES HORTAL
Instituto Tecnológico Del Embalaje, Transporte y Logistica, din Valencia | membru |
| - Prof. dr.ing. ALEXANDRU OZUNU
Universitatea „Babeș - Bolyai” din Cluj Napoca | membru |

Vă trimitem rezumatul tezei de doctorat cu rugămintea de a ne comunica,
în scris, aprecierile dumneavoastră.

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



RECTOR,

Prof.univ.dr.ing. **ION GIURMA**

Secretar universitate,

Ing. Cristina Nagit



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IASI

Teza de doctorat a fost realizată cu sprijinul financiar al proiectului „Burse Doctorale - O Investiție în Inteligență (BRAIN)”.

Proiectul „Burse Doctorale - O Investiție în Inteligență (BRAIN)”, POSDRU/6/1.5/S/9, ID 6681, este un proiect strategic care are ca obiectiv general „Îmbunătățirea formării viitorilor cercetători în cadrul ciclului 3 al învățământului superior - studiile universitare de doctorat - cu impact asupra creșterii atractivității și motivației pentru cariera în cercetare”.

Proiect finanțat în perioada 2008 - 2011.

Finanțare proiect: 14.424.856,15 RON

Beneficiar: Universitatea Tehnică “Gheorghe Asachi” din Iași

Partener: Universitatea “Vasile Alecsandri” din Bacău

Director proiect: Prof. univ. dr. ing. Carmen TEODOSIU

Responsabil proiect partener: Prof. univ. dr. ing. Gabriel LAZĂR



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IASI

Acknowledgement

Alese gânduri de prețuire și stimă doresc să îndrept către doamna Prof. Dr. Ing. Elena Bobu pentru îndrumarea, încurajările și suportul continuu oferit de-a lungul întregii perioade de pregătire a tezei de doctorat, dar și pentru pasiunea insuflată pentru această latură de cercetare.

Un cuvânt cald de mulțumire doresc să adresez firmei SC VRANCART SA, Adjud care mi-a acordat tot sprijinul pentru colectarea datelor de inventar necesare studiului de evaluare a impactului de mediu, dar și pentru posibilitatea de a culege informații importante la nivel industrial.

Sincere mulțumiri Institutului de Cercetare ITENE, Spania, pentru oportunitatea oferită de a aborda problematica evaluării impactului de mediu și de a lucra cu softul GaBi. Mulțumesc doamnei Dr. Mercedes Hortal și domnului Antonio Dobon pentru toată încrederea pe care mi-au oferit-o, pentru sprijinul și ajutorul acordat.

Pentru studierea atentă și observațiile prețioase, constructive și pertinente asupra tezei de doctorat, sunt recunoscătoare și aduc mulțumiri referenților științifici oficiali.

Nu în ultimul rând, doresc să îmi exprim profunde mulțumiri colegilor de doctorat, catedrei de „Polimeri Natural și Sintetici”, familiei pentru suportul, răbdarea și înțelegerea de care au dat dovadă.

CUPRINS

1. INTRODUCERE	7
1.1 Necesitatea reciclării.....	7
1.2 Reciclarea hârtiei.....	9
1.2.1 Dezvoltarea reciclării hârtiei.....	9
1.2.2 Impactul de mediu la fabricarea hârtiei din fibre reciclate	11
1.2.3 Limitele reciclării hârtiei în Europa.....	15
1.3 Oportunitatea și obiectivele cercetării.....	18
1.3.1 Oportunitatea evaluării impactului de mediu la reciclarea hârtiei.....	18
1.3.2 Obiectivele și etapele cercetării	19
2. CALITATEA MACULATURII: DEFINIȚII, FACTORI DE INFLUENȚĂ ȘI METODE DE MONITORIZARE	21
2.1 Definierea calității maculaturii.....	21
2.1.1 Definiții curente.....	21
2.1.2 Identificarea sortimentelor de maculatură.....	22
2.2 Factori care influențează calitatea maculaturii.....	22
2.2.1 Colectarea maculaturii.....	23
2.2.2 Surse de generare a maculaturii. Metode de colectare.....	24
2.2.3 Corelații între calitatea maculaturii și metodele de colectare.....	28
2.2.4 Sortimente de maculatură obținute prin sortarea maculaturii mixte.....	29
2.3 Sortarea maculaturii.....	31
2.3.1 Metode și tehnologii de sortare a maculaturii.....	31
2.3.2 Beneficiile unei tehnologii avansate de sortare a maculaturii.....	34
2.4 Controlul calității maculaturii.....	37
2.5 Concluzii.....	39
3. EVALUAREA IMPACTULUI DE MEDIU PRIN STUDII LCA	41
3.1 Cadrul general.....	41
3.1.1 Origini și istorie.....	41
3.1.2 Organizații implicate în dezvoltarea metodologiei LCA.....	43
3.1.3 Obiective în evaluarea ciclului de viață.....	44
3.1.4 Principiile, trăsăturile și aplicațiile caracteristice LCA.....	44
3.1.5 Motivații pentru elaborarea studiilor LCA.....	46
3.1.6 LCA suport în luarea deciziilor.....	46
3.1.7 Tipuri de studii LCA.....	47
3.1.8 Limitări ale LCA.....	48
3.2 Etape ale studiului de evaluare a ciclului de viață.....	49
3.2.1 Definierea scopului și a granițelor sistemului.....	49
3.2.2 Analiza de inventar: colectarea datelor, modelarea sistemului, calculul rezultatelor...	58
3.2.3 Evaluarea impactului de mediu.....	66
3.2.4 Interpretarea.....	73
3.3 Sisteme software utilizate în studiile LCA.....	75
3.3.1 Structura sistemului software GaBi.....	78
3.3.2 Modelarea și analiza sistemelor cu ajutorul sistemului software GaBi.....	78
3.4 Concluzii.....	79

4. INFLUENȚA CALITĂȚII MACULATURII ASUPRA EFICIENȚEI RECICLARII HÂRTIEI ȘI CARTONULUI.....	81
4.1 Evaluarea efectelor variației calității maculaturii la scară de laborator.....	82
4.1.1 Programul experimental.....	82
4.1.2 Efectele conținutului de contaminanți în sortimentul de maculatură 1.11.....	84
4.1.3 Efectele conținutului de contaminanți în sortimentul de maculatură 1.04.....	86
4.1.4 Concluzii.....	88
4.2 Evaluarea efectelor variației calității maculaturii la scară industrială.....	89
4.2.1 Efectele potențiale ale calității maculaturii asupra eficienței reciclării.....	89
4.2.2 Experimente industriale de simulare a sortării maculaturii.....	92
4.2.3 Concluzii.....	95
5. INFLUENȚA CALITĂȚII MACULATURII ASUPRA IMPACTULUI DE MEDIU LA FABRICAREA HÂRTIEI CAPAC PENTRU CARTON ONDULAT	96
5.1 Descrierea sistemelor produs.....	96
5.2 Definirea domeniului de studiu.....	98
5.2.1 Definirea funcțiilor sistemelor produs, unitatea funcțională.....	98
5.2.2 Alocarea.....	99
5.2.3 Specificațiile sistemelor de produs studiate.....	99
5.2.4 Limitele sistemului. Etape, procese și date eliminate din ciclul de viață.....	99
5.2.5 Criterii de eliminare (Cut-off rules).....	101
5.3 Colectarea datelor de inventar pentru cazurile studiate.....	101
5.3.1 Chestionarul de bază pentru colectarea datelor de inventar - sistemul de referință....	101
5.3.2 Date colectate / calculate pentru scenariile simulate.....	102
5.3.3 Elaborarea fișelor de inventar conform “European Platform on LCA”.....	102
5.4 Analiza datelor de inventar pentru cazurile studiate.....	103
5.4.1 Metodologia de evaluare a impactului. Categoriile de impact relevante.....	103
5.4.2 Descrierea categoriilor de impact.....	105
5.5 Analiza impacturilor de mediu pentru diferite calități ale maculaturii: Cazul de referință și modele simulate	106
5.5.1 Modelare și calcul.....	106
5.5.2 Influența proceselor unitare asupra categoriilor de impact.....	111
5.5.2.1 Influența proceselor unitare în sistemul produs de referință – 5% contaminanți	113
5.5.2.2 Influența proceselor unitare - modele simulate cu 4, 6, 8, 10% Contaminanți.....	115
5.6 Concluzii.....	120
6. EVALUAREA IMPACTULUI DE MEDIU LA FABRICAREA CARTONULUI ONDULAT DIN DIFERITE MATERIALE PAPETARE.....	123
6.1 Descrierea sistemului produs.....	123
6.2 Definirea scopului și a domeniului.....	125
6.3 Date de inventar. Analiza calității datelor.....	126
6.4 Evaluarea impactului de mediu.....	127
6.4.1 Evaluarea impactului de mediu la fabricarea cartonului ondulat.....	127
6.4.2 Evaluarea impactului de mediu la fabricarea hârtiei kraftliner.....	129
6.4.3 Evaluarea impactului de mediu la fabricarea hârtiei testliner.....	130
6.4.4 Evaluarea impactului de mediu la fabricarea hârtiei wellenstoff.....	131
6.4.5 Normalizarea rezultatelor.....	132

6.4.6 Influența emisiilor și a proceselor unitare asupra potențialului de încălzire globală....	133
6.5 Concluz.....	135
7. CONCLUZII GENERALE.....	136
Lucrări publicate și comunicate pe parcursul elaborării tezei de doctorat.....	142
Bibliografie.....	144
Abrevieri.....	158

1. INTRODUCERE

Dezvoltarea economică și creșterea consumului de hârtie și carton au condus la un conținut tot mai ridicat de produse papetare în deșeurile municipale, ceea ce a impus reciclarea hârtiei în special din motive economice. Motivațiile ecologice s-au îmbinat perfect cu cele economice, în special datorită creșterii costurilor pentru energie și combustibili. În Europa, consumul de maculatură la fabricarea hârtiei a crescut continuu, astfel că în anul 2005 pentru prima oară, consumul de fibre secundare a egalat consumul de fibre virgine (CEPI, 2007b). Începând cu anul 2000, activitățile de colectare și reciclare a maculaturii au fost mult accelerate prin inițiativa CEPI (Confederation of European Paper Industries) de a lansa în anul 2000 “European Paper Recycling Declaration 2000-2005”, un angajament voluntar al mai multor asociații profesionale care constituie “ERPC - European Recycling Paper Council” și care a avut ca obiectiv principal atingerea unei rate de reciclare de 56% în 2005, comparativ cu 48,9% în 1999. Rata de reciclare a maculaturii a crescut de la 49,7% în 2000 la 56,4 % în 2005. După succesul primei declarații (2000-2005), un nou angajament voluntar a fost semnat pentru perioada 2006-2010, care a avut un obiectiv mai ambițios, atingerea unei rate de reciclare a hârtiei și cartonului de 66% în anul 2010 (ERPC, 2006). Acest obiectiv a fost atins încă din anul 2008 (ERPC, 2009), și depășit în următorii ani. Figura 5 (ERPC, 2010, CEPI, 2011) sintetizează evoluția principalilor indicatori privind reciclarea hârtiei în Europa, în perioada 1995-2010: rezultatele din anii 2008-2010 marchează efectele crizei economice: scăderea consumului de hârtie, creșterea exportului de maculatură și a ratei de reciclare cu accentul pe anul 2009.

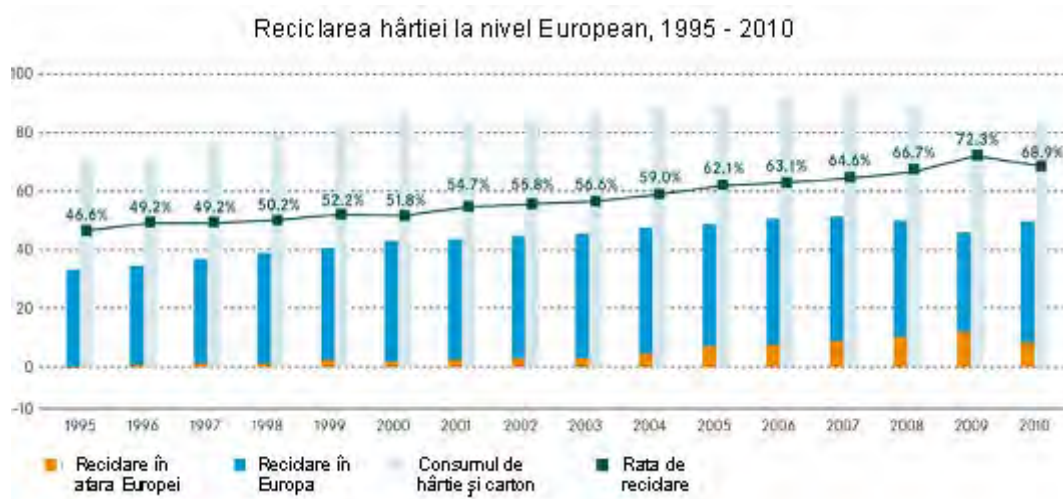


Figure 5: Evoluția consumului de hârtie și carton și a ratei de reciclare, 1995 -2010

Creșterea în continuare a ratei de reciclare a hârtiei și cartonului va fi mai dificilă deoarece se consideră necesară exploatarea surselor de maculatură mai puțin utilizate, respectiv maculatură din zonele rezidențiale, de la populație și comerțul cu amănuntul. Cum majoritatea studiilor (Stawiki, 2008) evidențiază scăderea accentuată a calității maculaturii odată cu extinderea colectării de la populație, este necesar să se cunoască limita la care este optim să ajungă rata de reciclare.

Majoritatea studiilor de evaluare a impactului de mediu analizează reciclarea ca pe o opțiune pentru „sfârșitul vieții” în managementul deșeurilor, comparativ cu incinerarea sau depozitarea finală, dar nici-un studiu nu analizează influența calității maculaturii asupra impactului de mediu la fabricarea hârtiilor din fibre reciclate. Pentru a aduce contribuții originale, teza de doctorat intitulată “Evaluarea impactului de mediu al tehnologiilor de reciclare a hârtiei și cartonului” analizează întocmai efectele pe care calitatea maculaturii le are asupra impactului de mediu într-un sistem de fabricare a hârtiei din 100% fibre reciclate.

Teza de doctorat are o structură proprie care iese din tiparele clasice, primele capitole combinând studii de literatură cu contribuții originale. Teza de doctorat are **158** pagini, este împărțită în **7** capitole ce conțin **27** tabele, **75** figuri și **196** referințe bibliografice. În continuare sunt prezentate, în rezumat, o parte din rezultatele cercetărilor, concluziile generale, bibliografia selectivă și activitatea științifică, păstrându-se numerotarea din teză a capitolelor, figurilor și a tabelor.

În *primul capitol* “**Introducere**” este analizat stadiul actual al reciclării hârtiei și cartonului și a metodelor utilizate pentru evaluarea impactului de mediu al reciclării ca opțiune de management.

Capitolul 2 – “**Calitatea maculaturii: definiții, factori de influență și metode de monitorizare**” sintetizează principalele elemente care definesc calitatea maculaturii și soluțiile pentru îmbunătățirea acestora, punând accentul pe procesele de colectare și sortare.

Capitolul 3 include o documentare privind “**Evaluarea impactului de mediu prin studii LCA**” care constituie suportul pentru abordarea principalului subiect al tezei de doctorat – evaluarea impactului de mediu la reciclarea hârtiei.

Capitolul 4 prezintă “**Influența calității maculaturii asupra eficienței reciclării hârtiei și cartonului**” de unde au fost obținute informații care au constituit o bază importantă pentru studiul detaliat în *Capitolul 5* – “**Influența calității maculaturii asupra impactului de mediu la fabricarea hârtiei capac pentru carton ondulat**”.

Capitolul 6 completează studiul anterior și include “**Evaluarea impactului de mediu la fabricarea cartonului ondulat din diferite materiale papetare**”.

Teza de doctorat se finalizează cu *Capitolul 7*, care conține “**Concluziile generale**” desprinse din cercetările efectuate și studiile de literatură parcurse. În final, sunt prezentate referințele bibliografice consultate pentru documentarea stadiului actual al reciclării hârtiei și cartonului și elaborării studiilor de caz. La sfârșit, lucrările publicate și comunicate pe parcursul elaborării tezei de doctorat sunt de asemenea enumerate.

1.2 Reciclarea hârtiei

1.2.2 Impactul de mediu la fabricarea hârtiei din fibre reciclate

În toate activitățile industriale, și în particular în industria papetară se manifestă în prezent conceptul de dezvoltare durabilă. Ținând cont de specificul industriei papetare, realizarea unui astfel de deziderat este posibilă prin utilizarea de materii prime regenerabile, reciclabile și incinerabile, utilizarea de bioenergie în cadrul proceselor tehnologice, închiderea avansată a circuitelor de apă și reducerea la minim a emisiilor cu efluentul (Bobu, 2002). Industria hârtiei se numără printre acele ramuri care satisface aproape perfect așteptările societății cu privire la utilizarea sustenabilă a resurselor, compatibilitatea produselor cu mediul înconjurător, inclusiv prin soluțiile de management al deșeurilor.

Din punct de vedere economic, hârtia recuperată pentru reciclare (maculatura) este o sursă secundară de materie primă pentru industria hârtiei, acoperind circa 50% din necesarul de material fibros, la nivel global (Ervasti, 2009). Reciclarea hârtiei reduce impactul de mediu al produselor din hârtie și carton prin scăderea consumurilor de lemn, energie și a suprafețelor de teren pentru depozitarea deșeurilor, și de asemenea prin reducerea consumului de apă și a emisiilor în atmosferă (Iosip și Bobu, 2011; Blanco, 2007).

Din punct de vedere social, reciclarea hârtiei asigură locuri de muncă, contribuie la confortul și sănătatea comunităților și la educația populației cu privire la protecția mediului.

Contrar percepției generale, avantajul cheie al reciclării nu este numai acela de a reduce numărul de arbori tăiați (care provin dintr-o sursă regenerabilă) ci și de a devia cantități cât mai mari de hârtie și cartoane uzate de la depozitare. Prin redirectionarea fibrelor uzate dinspre depozitele de deșeurii către reciclare, nu numai că se prelungește durata de viață utilă a materii prime fibroase, dar sunt reduse și emisiile de gaze cu efect de seră (în special metan) care rezultă

în urma degradării produselor în sol odată cu trecerea timpului. Cele mai importante beneficii de mediu ale reciclării hârtiei se obțin prin reducerea consumurilor de energie și apă (WRAP 2006; Sillman 2009) care contribuie direct la diminuarea emisiilor generate în aer, apă și sol. Prin reducerea cantității de energie utilizată în industrie și transport (care implică consum de motorină, cărbune, benzină, toate surse generatoare de C, CH₄, etc.), reciclarea reduce emisiile de gaze cu efect de seră și ajută la prevenirea schimbărilor climatice (Miner și Perez Garcia, 2007).

Toate aceste beneficii ale reciclării ca soluție de management a deșeurilor din hârtie și carton sunt susținute și de studiile de evaluare a ciclului de viață (LCA) elaborate de diverse organizații. Organizația „Environmental Defense” din New York, în anul 2002 (Environmental Defense, 2002), a realizat un studiu comparativ de evaluare a impactului de mediu la prelucrarea hârtiei din fibre virgine și fibre reciclate, sub aspectul consumului de energie și emisii generate. Studiul a demonstrat că prelucrarea hârtiei din fibre reciclate necesită un consum de energie de 1880 TJ comparativ cu 3520 TJ la fabricarea hârtiei din fibre virgine, iar emisiile de CO₂ au valori de 0,14 kt CO₂ pentru prelucrarea fibrelor reciclate comparativ cu 0,17 kt CO₂ în cazul fibrelor virgine. Rezultate pozitive în favoarea reciclării comparativ cu alte opțiuni de management în special incinerarea, au fost obținute de cercetătorii Villanueva și Henzel în 2007 (Villanueva și Hanzel, 2007); de Moris în 2005, (Moris, 2005), de Merild și colaboratorii săi (Merild *et al*, 2008), care au arătat că reciclarea este opțiunea preferabilă în locul incinerării și depozitării.

1.3 Oportunitatea și obiectivele cercetării

1.3.1 Oportunitatea evaluării impactului de mediu la reciclarea hârtiei

Analiza stadiului actual și a perspectivelor de dezvoltare a reciclării hârtiei și cartonului a relevat următoarele aspecte concludente:

- La nivel global și European, există o tendință clară de creștere a volumului de deșeuri municipale, iar hârtia și cartonul reprezintă o fracțiune importantă din acestea, respectiv în jur de 20% în Europa. Unul din obiectivele importante ale politicii de mediu a UE prevăzut în “*Sixth Environment Action Programme, 2002–2012*” vizează “decuplarea consumului de resurse și generarea deșeurilor de rata de creștere economică”. Realizarea acestui obiectiv necesită inițiative de prevenire și reducere semnificativă a cantităților de deșeuri trimise la depozitele municipale, opțiunea preferată de “sfârșit al vieții” fiind **reciclarea**.

- Industria hârtiei și cartonului este una dintre industriile cu cea mai mare tradiție în reciclare, fiind o parte importantă în sustenabilitatea sectorului industrial prin contribuții directe la conservarea resurselor, reducerea impactului de mediu și îmbunătățirea sănătății sociale.

- Pentru a fi reciclate la fabricarea hârtiei, produsele papetare uzate trebuie să fie colectate din diverse surse, sortate și clasificate în grupe și sortimente de maculatură, conform EN 643, care definește calitatea acestora. Calitatea maculaturii este definită în principal de: conținutul de umiditate, conținutul de materiale neutilizabile (inclusiv componenți ne-papetari, hârtii și cartoane dăunătoare producției) și de sortimentele de hârtie care o alcătuiesc (CEPI și ERPA, 2002). În prezent, ratele de colectare și sortare a maculaturii în Europa au atins un nivel foarte ridicat, cca 68,6% în 2011, care este foarte apropiat de limita maximă de 75% estimată a se putea atinge în practică. În acest context, creșterea în continuare a ratelor de colectare și reciclare a maculaturii va putea fi realizată numai prin accesarea surselor de maculatură mai puțin exploatate în prezent, respectiv produsele papetare uzate provenite de la populație și din comerțul cu amănuntul.

- Multe studii evidențiază o deteriorare continuă a calității maculaturii, respectiv creșterea gradului de contaminare odată cu creșterea ratei de colectare de la populație. În final această tendință se traduce într-o calitate mai slabă a maculaturii livrată fabricilor de hârtie și carton care o folosesc ca materie primă pentru a obține noi produse papetare.

- Atât companiile care colectează și comercializează maculatura, cât și cele care o folosesc ca materie primă trebuie să depună eforturi pentru îmbunătățirea calității maculaturii prin dezvoltarea unor tehnologii avansate de sortare. În prezent, sortarea maculaturii este încă o activitate manuală, deși s-au făcut unele eforturi pentru introducerea unor elemente de mecanizare și automatizare. Sortarea manuală sau parțial automatizată nu poate asigura calitatea sortimentelor de maculatură colectate de la populație. Din acest motiv, dezvoltarea unor tehnologii avansate de sortare bazate pe noi senzori care să identifice diferiți componenți ai maculaturii și echipamente noi de separare a componenților pe fracțiuni cu puritate ridicată este una din preocupările cercetătorilor în domeniu din ultimul timp.

- O tehnologie avansată de sortare a maculaturii are ca scop principal îmbunătățirea calității maculaturii, dar în același timp trebuie să fie sustenabilă din punct de vedere al impacturilor de mediu, economic și social pe toate componentele ciclului de reciclare. În general, studiile de evaluare a impactului de mediu la reciclarea hârtiei și cartonului se bazează pe principiile de analiză a ciclului de viață (LCA) al produselor. Multe din aceste studii analizează reciclarea ca pe o opțiune pentru „sfârșitul vieții” în managementul deșeurilor, comparativ cu incinerarea sau depozitarea finală. Alte studii fac referire la impactul de mediu al utilizării fibrelor reciclate, comparativ cu fibrele virgine. Dar, până în prezent nu există nici-un studiu care să analizeze influența calității maculaturii asupra impactului de mediu la fabricarea hârtiilor din fibre reciclate, astfel încât să ofere baza de analiză a sustenabilității extinderii ratei de reciclare către limita maximă posibilă.

1.3.2 Obiectivele și etapele cercetării

Cercetările care fac obiectul tezei de doctorat au fost gândite să contribuie la evaluarea pe baze științifice a beneficiilor și limitelor reciclării, printr-o abordare holistică a elementelor care constituie ciclul de viață al produselor papetare.

Obiectivul general: *Evaluarea efectelor pe care calitatea maculaturii le are asupra impacturilor de mediu ale unui sistem de fabricare a hârtiei din fibre reciclate, prin aplicarea principiilor evaluării ciclului de viață (LCA) al produselor sau a serviciilor.*

Obiectivul derivat: *Elaborarea unui model și a unei baze de date pentru studii LCIA, care să poată fi utilizate la analiza comparativă a impacturilor de mediu a tehnologiilor de sortare a maculaturii și respectiv, să furnizeze informații pentru luarea deciziilor cu privire la tehnologia care are cel mai mic impact de mediu.*

Fundamentarea științifică și tehnică a studiului se bazează pe simularea impacturilor de mediu care pot fi influențate de calitatea maculaturii, considerând trei faze importante ale ciclului de viață al fibrelor reciclate: sortarea maculaturii ca proces tehnologic care determină calitatea finală a maculaturii înainte de a fi livrată către fabrica de hârtie; prelucrarea maculaturii pentru obținerea pastei din fibre reciclate (instalație complexă din cadrul fabricii de hârtie); utilizarea pastei din fibre reciclate la fabricarea hârtiei (mașina de fabricat hârtie).

Pentru realizarea obiectivelor propuse, cercetarea s-a derulat în următoarele etape:

- Documentare și analiză critică privind standardele de calitate, metodele de îmbunătățire și monitorizare a calității maculaturii.

- Documentare privind evaluarea impactului de mediu al produselor și proceselor prin studii de analiză a ciclului de viață (LCA).

- Simularea la nivel de laborator și industrial a efectelor calității maculaturii asupra proceselor de reciclare.

- Evaluarea influenței calității maculaturii asupra impactului de mediu la fabricarea hârtiei capac.

- Evaluarea impactului de mediu la fabricarea cartonului ondulat și a componentelor sale papetare.

3. EVALUAREA IMPACTULUI DE MEDIU PRIN STUDII LCA

Evaluarea ciclului de viață (Life Cycle Assessment), Analiza ciclului de viață, Eco-balanța sau Analiza de la leagăn la mormânt (EPA, 2010), este metoda în care consumurile de energie și materii prime, diferite tipuri de emisii și alți factori importanți caracteristici unui produs, proces sau activitate sunt măsurate, analizate și însumate pe întreg ciclul de viață, sub aspectul impactului de mediu. Conceptul ciclului de viață (de la leagăn la mormânt) este prezentat în Figura 18.



Figura 18: Conceptul de ciclu de viață

Apariția acestui instrument a fost dictată de necesitatea extinderii analizei solicitărilor asupra mediului atât în amonte de procesul de producție propriu-zis cât și în aval de acesta, deci asupra întregului ciclu de viață al produsului (Peiu, 2004). Din punct de vedere al istoricului cercetării, ideea metodologiei LCA a cunoscut trei etape de dezvoltare: perioada 1960-1980, perioada 1980-2000 și perioada după 2000, perioade ce au fost traversate pentru a găsi soluții optime pentru eficientizarea producției și gestionarea deșeurilor, a căror volum începe să crească în paralel cu dezvoltarea economică.

Studiile LCA se dezvoltă consistent după anul 2000 și în industria papetară, rezultate importante fiind obținute de Peran și colab., în 2003 care au studiat evaluarea impactului de mediu la utilizarea diferitelor ambalaje (Peran *et al*, 2003), Zabaniotou și colab., (Zabaniotou și Kassidi, 2003) a căror studiu s-a concentrat pe evaluarea impactului de mediu la fabricarea cofrajelor pentru ouă obținute din polistiren și hârtie reciclată, Romero și colab., unde au evaluat comparativ caracteristicile de mediu ale ambalajelor din carton ondulat versus ambalajele din plastic (Romero *et al*, 2005), sau Lopez și colab. a căror principal obiectiv a fost compararea impactului de mediu la utilizarea a două tipuri de combustibili fosili (păcură și gaz natural) în industria de celuloză și hârtie portugheză (Lopes *et al*, 2003). Metodologia a fost aplicată cu succes și pentru a compara diferite produse papetare cu aceiași funcție (Gaudreault *et al*, 2007a,b), pentru a compara diferite opțiuni de management a deșeurilor sau chiar pentru a evalua diferite etape din ciclul de viață al unui nou produs papetar obținut (Gaudreault *et al*, 2010).

De la momentul debutului studiilor de evaluare a ciclului de viață autoritățile de reglementare au făcut mari eforturi pentru a standardiza metodologia, cu scopul de a asigura o fiabilitate ridicată a rezultatelor obținute. Primul organism internațional care a acționat pentru dezvoltarea LCA a fost SETAC (The Society of Environmental Toxicology and Chemistry) în anul 1991, urmată de ISO care din 1994 face LCA un instrument de management de mediu la nivel global. ISO14040 devine primul standard în care se stabilesc cadrul, terminologia și opțiunile metodologice, îmbunătățit ulterior în 2006. Standardele care completează seria sunt:

- ISO 14041: 1998, Management de mediu - Evaluarea ciclului de viață- definirea scopului și domeniului de aplicare- Analiza de inventar.
- ISO 14042: 1999, Managementul de mediu - Evaluarea ciclului de viață – Evaluarea impactului ciclului de viață.

▪ ISO 14043:2000, 2000 Managementul de mediu - Evaluarea ciclului de viață- Interpretarea rezultatelor.

▪ ISO/TR 14047, Managementul de mediu- evaluarea ciclului de viață - Exemplan de aplicații ale ISO 14042.

▪ ISO TR 14049: 2000, Management de mediu - Evaluarea ciclului de viață- Exemple de aplicații ale ISO 14041 pentru definirea scopului, domeniului de studiu și analiza de inventar.

În anul 2006, **ISO 14044** înlocuiește versiunile anterioare ale ISO 14041 și ISO 14043 sub titulatura *Management de mediu - Evaluarea ciclului de viață – Cerințe și orientări*.

Metodologia de lucru pentru studiile LCA include patru faze interative denumite: **definirea scopului și a granițelor sistemului, inventarierea și analiza datelor, evaluarea impactului de mediu și interpretarea rezultatelor**, reprezentate schematic în Figura 19.

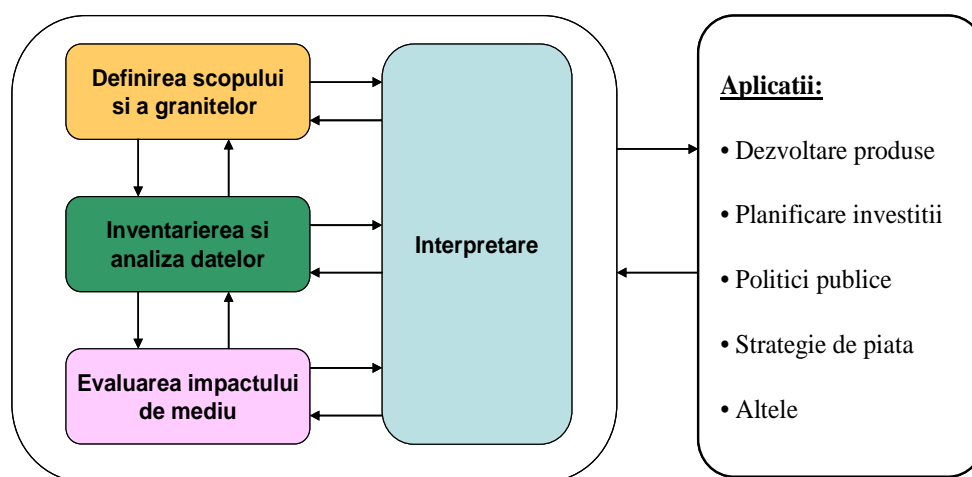


Figura 19: Etapele studiului LCA (ISO 14040, 2006)

Definirea scopului și a granițelor sistemului este considerată prima etapă crucială și una din cele mai importante deoarece este faza determinărilor esențiale. Elementele definite aici, cum ar fi obiectivul, domeniul de aplicare, unitatea funcțională, procedurile de alocare precum și principalele ipoteze ce stabilesc granițele sistemului, sunt considerate elemente cheie pentru calitatea rezultatelor (ISO 14040, 2006). În această primă etapă, toți actorii implicați trebuie să înțeleagă clar scopul studiului pentru a lua decizii care vor influența rezultatele finale. Obiectivul studiului trebuie să explice motivul pentru care se realizează studiul, aplicațiile și nu în ultimul rând audiența țintă. Unitatea funcțională trebuie să fie descrisă într-o formă clară și trebuie să ia în considerare că un sistem poate avea funcții multiple, în special când se realizează studii comparative. Granițele sistemului luat în studiu, sunt acelea care definesc care părți sau procese din întreg ciclul de viață aparțin sistemului analizat, și care sunt necesare pentru a furniza funcția care a fost definită prin unitatea funcțională.

Analiza de inventar este ce-a de-a doua etapă importantă a unui studiu LCA, fiind în esență o balanță de materii și energie, dar mai poate include și alți parametri (Romero *et al*, 2005). Această etapă secundară implică modelarea sistemului de produs, colectarea datelor și la fel de bine decrierea și verificarea acestora. Datele necesare în inventar cuprind informații despre **intrări** (materii prime, energie, chimicale) și **ieșiri** (emisii în aer, apă și sol, deșeuri generate). Acestea trebuie să fie relevante pentru unitatea funcțională și de regulă sunt colectate prin măsurători directe, din literatura de specialitate, diverse materiale teoretice, studii asemănătoare, etc. La baza analizei de inventar se regăsește diagrama de flux care acoperă toate etapele ciclului de viață.

Evaluarea impactului de mediu, cea de-a treia etapă din evaluarea ciclului de viață, este etapa în care rezultatele analizei de inventar sunt procesate și interpretate în termeni de impact de mediu. Etapa are drept scop interpretarea rezultatelor inventarului, indicând capacitatea unui produs sau a unei activități de a denatura mediul înconjurător, prin utilizarea diferitelor categorii de impact precum distrugerea stratului de ozon, încălzire globală, acidificare, eco-toxicitate, formarea ozonului foto-chimic, etc. Etapa de evaluare a impactului de mediu cuprinde trei elemente definite de nomenclatura SETAC, clasificare, caracterizare și ponderare. Dintre aceste elemente, doar clasificarea și caracterizarea sunt obligatorii, în timp ce ponderarea este opțională. În etapa de clasificare fluxurile elementare sunt atribuite la una sau mai multe categorii de impact relevante iar în etapa de caracterizare are loc conversia rezultatelor din inventar în unități comune și agregarea rezultatelor transformate fiecărei categorii de impact.

Interpretarea este faza finală din LCA în care rezultatele analizei de inventar sunt combinate cu rezultatele etapei de evaluare a impactului pentru a defini studiul cu concluzii și recomandări. În această etapă se vor identifica etapele critice din punct de vedere al impactului asupra mediului dar și al fazelor din ciclul de viață al produsului sau activității care au fost analizate (Zamagni et al, 2008). În cazul în care este vorba de un LCA comparativ, se pot identifica care din alternativele comparate prezintă o mai bună performanță de mediu.

3.3. Sisteme software utilizate în studiile LCA

Atunci când evaluarea impactului de mediu implică un număr mare de date de inventar și aspecte de mediu care urmează a fi gestionate, pentru ușurarea modului de calcul s-au dezvoltat numeroase programe software printre care SimaPro, GaBi, TEAM. Acestea ajută practicanții LCA să realizeze un astfel de studiu într-o perioadă scurtă de timp (Iosip *et al*, 2010; Jonbrink *et al*, 2002; PE International, 2006). Pentru studiile de caz care se regăsesc în teza de doctorat a fost folosit sistemul software GaBi. GaBi calculează diferite tipuri de balanțe și ajută la analiza și interpretarea rezultatelor. GaBi este un sistem modular care cuprinde planuri, procese, fluxuri, precum și funcțiile acestora, motiv pentru care sistemul poate fi considerat cu o structură clară și transparentă. Bazele de date utilizate de sistem sunt independente unele de celelalte ele fiind responsabile pentru salvarea tuturor informațiilor relaționate unui sistem analizat. Transparența rezultatelor obținute într-o balanță constituie un alt avantaj al sistemului software, deoarece din acest motiv balanța poate fi calculată la diferite nivele. Acest lucru permite identificarea punctelor slabe, puncte ce afectează de fapt impactul asupra mediului.

4. INFLUENȚA CALITĂȚII MACULATURII ASUPRA EFICIENȚEI RECICLARII HÂRTIEI ȘI CARTONULUI

Studiul documentar privind stadiul actual al reciclării maculaturii a evidențiat faptul că la nivel European, calitatea maculaturii variază în limite largi de la țară la țară în funcție de sursele de generare și de sistemele de colectare utilizate. Sursele de maculatură din comerț și industrie sunt intens exploatare, fiind de o calitate ridicată și ușor de colectat (Ringman, 2009). În acest context, creșterea ratelor de colectare și reciclare a maculaturii poate avea loc prin îmbunătățirea colectării de la populație, respectiv din surse mici, dispersate la nivel regional și care au un grad relativ mare de contaminare. Colectarea de la populație produce maculatură mixtă, care conform EN 643 include sortimentele 1.01 (nesortată) și 1.02 (sortată preliminar la sursă) care rezultă prin colectarea separată la sursă, și sortimentul 5.01 ce se obține prin colectarea într-un singur flux. Maculatura din sortimente mixte poate fi utilizată direct pentru alte reciclări / recuperări dar, pentru reciclare la fabricarea hârtiei și cartonului aceasta trebuie să fie sortată pentru a corespunde cu specificația de calitate cerută pentru un anumit sortiment de hârtie sau carton. Obișnuit sortarea maculaturii colectate de la populație are ca obiectiv eliminarea materialelor

contaminante (refuzuri) și clasificarea hârtiei și cartonului în două fracțiuni corespunzătoare sortimentelor 1.11 și 1.04 din lista EN 643. Având în vedere tendințele de scădere a calității maculaturii și considerând scopul proiectului SORT IT de dezvoltare a unei tehnologii de sortare a maculaturii mixte pentru producția sortimentelor de maculatură 1.11 și 1.04 cu puritate mărită (maximum 2% contaminanți), acest studiu a avut următoarele obiective:

- Evaluarea efectelor calității maculaturii la scară de laborator și analiza efectelor asupra proprietăților pastelor fibroase și asupra proprietăților produsului finit.
- Evaluarea efectelor calității maculaturii la scară industrială (sortiment 1.04 pentru hârtii de ambalaj) și evaluarea impactului proceselor de pe fluxul de procesare și reciclare a maculaturii, cu accent pe consumurile specifice de materii prime, energie și apă, precum și pe emisiile generate.

4.1 Evaluarea efectelor variației calității maculaturii la scară de laborator

Obiectivul cercetării efectuate la nivel de laborator fost acela de a evalua efectele conținutului de contaminanți (hârtii și cartoane neutilizabile) asupra proprietăților pastei reciclate și asupra proprietăților hârtiei obținute din sortimente de maculatură generate în urma sortării maculaturii mixte colectată de la populație, respectiv sortimentele 1.11 și 1.04. Studiul include două etape distincte:

- Evaluarea influenței conținutului de hârtii grafice asupra proprietăților pastei reciclate pentru fabricarea hârtiei de ambalaj;
- Evaluarea influenței conținutului de hârtii de ambalaj asupra proprietăților pastei descernelizate pentru fabricarea hârtiei de ziar.

4.1.1 Programul experimental

Conceptul general al programului experimental, prezentat în Figura 35, implică toate etapele fluxului de reciclare a maculaturii mixte colectate de la populație: obținerea sortimentelor de maculatură 1.11 (hârtii grafice) și 1.04 (hârtii de ambalaj) conform definițiilor de calitate din standardul EN 643; simularea variațiilor de calitate pentru ambele sortimente de maculatură prin prepararea unor amestecuri în care sortimentul 1.11 este contaminat cu hârtii de ambalaj și sortimentul 1.04 cu hârtii grafice; prepararea pastelor de maculatură din aceste probe și utilizarea acestora la obținerea hârtiei în laborator; analiza caracteristicilor pastei care reflectă parțial comportarea acestei în procesele industriale de fabricare a hârtiei, care reflectă eficacitatea sistemului în realizarea unui produs cu proprietăți prestabilite.

Prepararea sortimentelor de maculatură: În prima fază a studiului s-au colectat două tipuri de maculatură, respectiv o maculatură de ambalaje nesortată utilizată în procesul de producție a hârtiei de ambalaj la SC Vrancart SA, Adjud, și maculatură din ziare și reviste de la distribuitorii de presă. Pentru a caracteriza maculatura în conformitate cu specificațiile și condițiile impuse de EN 643, probele colectate au fost sortate manual pentru a se îndepărta componenții ne-papetari și hârtiile și cartoanele care nu corespund sortimentelor. Standardul EN 643 redă următoarele definiții pentru sortimentele de maculatură investigate:

Sortimentul de maculatură 1.11: hârtii grafice sortate pentru descernelizare colectate de la populație, ziare și reviste, fiecare în proporție minimă de 40%; procentul de hârtii și cartoane nedescernelizabile trebuie să fie reduse la un nivel maxim de 1,5%, nivelul actual trebuie să fie negociat între cumpărător și vânzător.

Sortimentul de maculatură 1.04: hârtii și cartoane colectate de la supermarketuri; hârtii și cartoane uzate care conțin minim 70% carton ondulat, restul fiind carton monostrat și hârtii pentru ambalare.

Sortimentele de maculatură mai sus menționate au fost preparate în următorul mod: hârtiile grafice și componenții ne-papetari au fost îndepărtați din hârtiile de ambalaj nesortate, pentru a obține un amestec de 70% carton ondulat și 30% alte cartoane și hârtii de ambalaj (similar sortimentului de maculatură 1.04); un amestec de ziare și reviste în raport 1:1 a fost preparat și un proces de îmbătrânire accelerată (60°C, 72h) a fost aplicat pentru a obține sortimentul de maculatură 1.11.

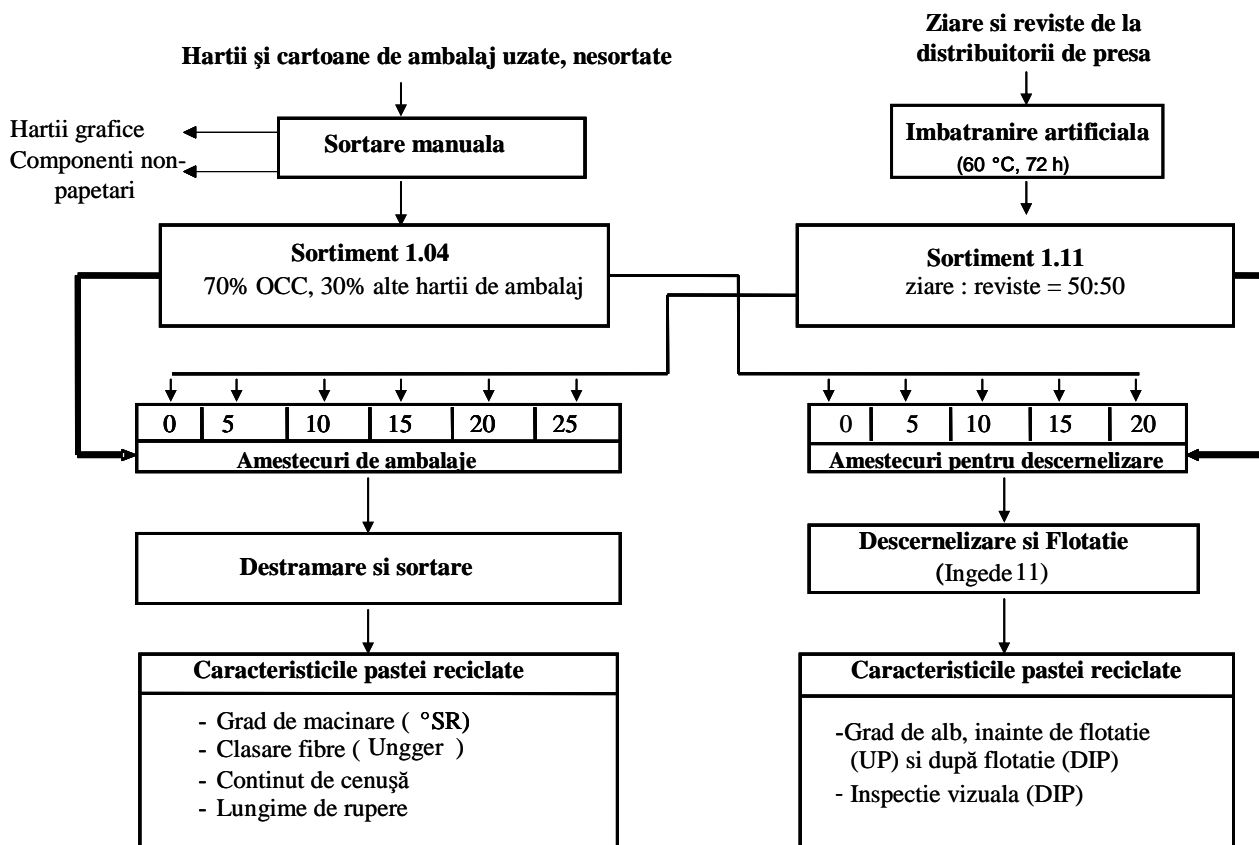


Figure 35: Program experimental urmat pe parcursul studiului

Prepararea amestecurilor model cu diferite nivele de contaminare: În următoarea etapă, după determinarea conținutului de umiditate (9,31% pentru probele de hârtii de ambalaj și 6,45% pentru hârtiile grafice), au fost preparate amestecuri model cu diferite nivele de contaminare pentru fiecare sortiment în parte:

- Amestecurile model pentru maculatura descernelizabilă au constat în amestecarea maculaturii pentru descernelizare (sortimentul 1.11) cu maculatură brună pentru ambalaj (sortimentul 1.04) în procente care au variat între 0 și 20%;
- Amestecurile model pentru sortimentele de ambalaj au constat în amestecarea sortimentului 1.04 cu hârtii grafice pentru descernelizare în procente care au variat între 0 și 25%.

Prelucrarea maculaturii: Utilizarea maculaturii ca materie primă implică un tratament a maculaturii în mai multe etape, pentru a separa și elimina contaminanți pentru ca în final să se obțină pastă din fibre reciclate. Complexitatea sistemului de procesare depinde de sortimentul de maculatură utilizat, dar în aceeași măsură și de sortimentul de hârtie final ce urmează a fi obținut. Cele două cazuri investigate în prezentul studiu (sortimentul de maculatură 1.11 pentru fabricarea hârtiei de ziar și sortimentul de maculatură 1.04 pentru fabricarea hârtiei de ambalaj) implică sisteme diferite de procesare. La nivel de laborator, următoarele sisteme de procesare au fost folosite:

Sortimentul de maculatură 1.11 (amestecuri model cu conținuturi variabile de hârtii brune): pasta din fibre reciclate a fost obținută în urma procesului de descernelizare alcalină, conform pașilor și parametrilor de operare descriși de metoda Ingede 11 (chimicale: 0,6% NaOH; 1,8% silicat de sodiu; 0,7% H₂O₂; destrămarea în destrămătorul Hobart: consistență c = 15%, 20 min, 45°C, 128 mg/L Ca²⁺; condiții în baia de apă: c = 5%, 45°C, 60 min; omogenizare în dezintegratorul standard: c = 4%, 45°C, 1 min; diluție și flotație în celula de flotație PTS: c = 0,8%, 45°C, 10 min) (Ingede, 2009).

Sortimentul de maculatură 1.04 (amestecuri model cu conținuturi variabile de hârtii grafice): pasta din fibre reciclate a fost obținută în urma destrămării maculaturii într-un destrămător de laborator la consistență joasă (3%), urmată de o sortare pe un sortizor cu fante (0,25 mm lățimea fantei).

Caracterizarea pastei din fibre reciclate: Pastele din fibre reciclate preparate au fost caracterizate prin diferite proprietăți care au fost alese ținând cont de aplicațiile lor la fabricarea hârtiei:

Pasta descernelizată (1.11) pentru obținerea hârtiei de ziar: gradul de alb al pastei (R₄₅₇) înainte și după flotație a fost măsurat pe un strat fibros, conform metodelor Ingede 1 și 2 (Ingede, 2007; Ingede, 2011); inspecția vizuală și măsurarea rezistenței la tracțiune (ISO 1942-2) au fost efectuate pe foi de laborator cu un gramaj standard de 70 g/m² (obținute pe formatorul de laborator Rapid Köten din pastă descernelizată după flotație), condiționate în condiții standard (24h, 23°C și 50% umiditate).

Pasta din fibre reciclate pentru obținerea hârtiei de ambalaj: gradul de măcinare s-a măsurat pe aparatul Schopper Riegler (°SR); fracțiile de fibre lungi / scurte au fost evaluate în urma clasării pe aparatul Ungger (sită Nr. 50 și 16, 10 minute, la un debit al apei de 10L/min); conținutul de cenușă și proprietățile de rezistență au fost măsurate pe foi de laborator, condiționate în aceleași condiții standard prezentate mai sus.

4.1.2 Efectele conținutului de contaminanți în sortimentul de maculatură 1.11

Gradul de alb al pastei reciclate: În maculatura descernelizată, conținutul de hârtii grafice influențează în special gradul de alb și aspectul vizual al pastei descernelizate, și implicit hârtia reciclată (în acest caz hârtia de ziar). Figura 36 reprezintă grafic evoluția gradului de alb a pastei reciclate, nedescernelizate (UP) și descernelizate (DIP), în funcție de conținutul de hârtii brune de ambalaj (hârtii și cartoane neutilizabile). Gradul de alb al pastei scade cu creșterea conținutului de hârtii brune atât în cazul pastei de maculatură nedescernelizate cât și în cazul celei descernelizate. Se mai poate observa de asemenea că, gradul de alb (ΔB) crește în urma flotației (îndepărtarea cernelurilor) dar manifestă o scădere odată cu creșterea conținutului de hârtii de ambalaj. Acest lucru înseamnă că, conținutul de hârtii de ambalaj nu numai că reduce gradul de alb, datorită prezenței fibrelor neânălbite, dar afectează separarea și îndepărtarea particulelor de cerneală.

Graficul din Figura 37 prezintă dependența dintre gradul de alb al pastei descernelizate și conținutul de carton în maculatură, pentru două experimente realizate în laboratoare diferite, cu tipuri diferite de hârtii de ambalaj: punctele albastre – OCC (maculatură din ambalaje din carton ondulat scos din uz) brun / față albă (50/50) utilizat în studiul nostru; puncte violet – kraftliner utilizat într-un studiu elaborat la Universitatea Darmstadt (Putz, 2000). Gradul de alb al pastei descernelizate descrește liniar odată cu creșterea conținutului de carton în ambele cazuri, cu un coeficient de regresie destul de mare. Evident, panta este mai mare în cazul când se utilizează 100% hârtie brună kraftliner. Această comparație, ne-a permis să evidențiem că astfel de experimente sunt reproductibile și că metoda Ingede 11 este un instrument valoros de evaluare a descernelizării sortimentelor de maculatură imprimată.

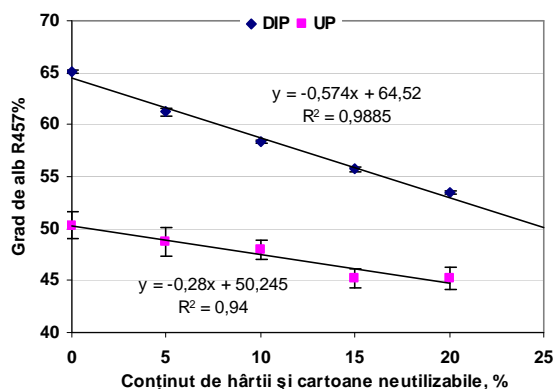


Figura 36: Influența conținutului de contaminanți asupra gradului de alb, înainte (UP) și după flotație (DIP)

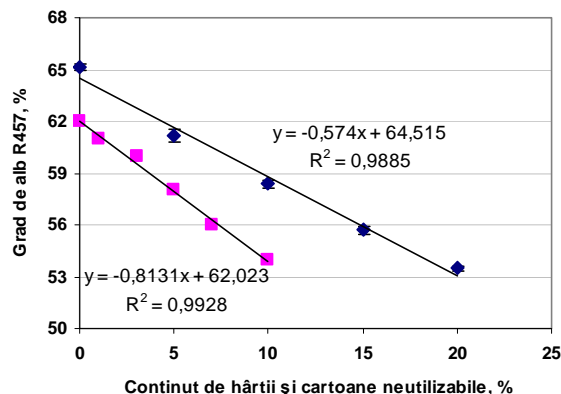


Figura 37: Efectul comparativ al conținutului de contaminanți de asupra gradului de alb al pastei descernelizate pentru două tipuri de hârtii și cartoane neutilizabile

Aspectul vizual al pastei descernelizate: Pe lângă efectul său asupra gradului de alb, conținutul de hârtii de ambalaj în sortimentul de maculatură descernelizat influențează aspectul vizual al pastei descernelizate, și prin urmare aspectul produsului papetar obținut - hârtia. Imaginile scanate pentru probele de hârtie (Figura 38) evidențiază prezența fibrelor brune în pasta descernelizată obținută la un conținut de 15% hârtii brune.

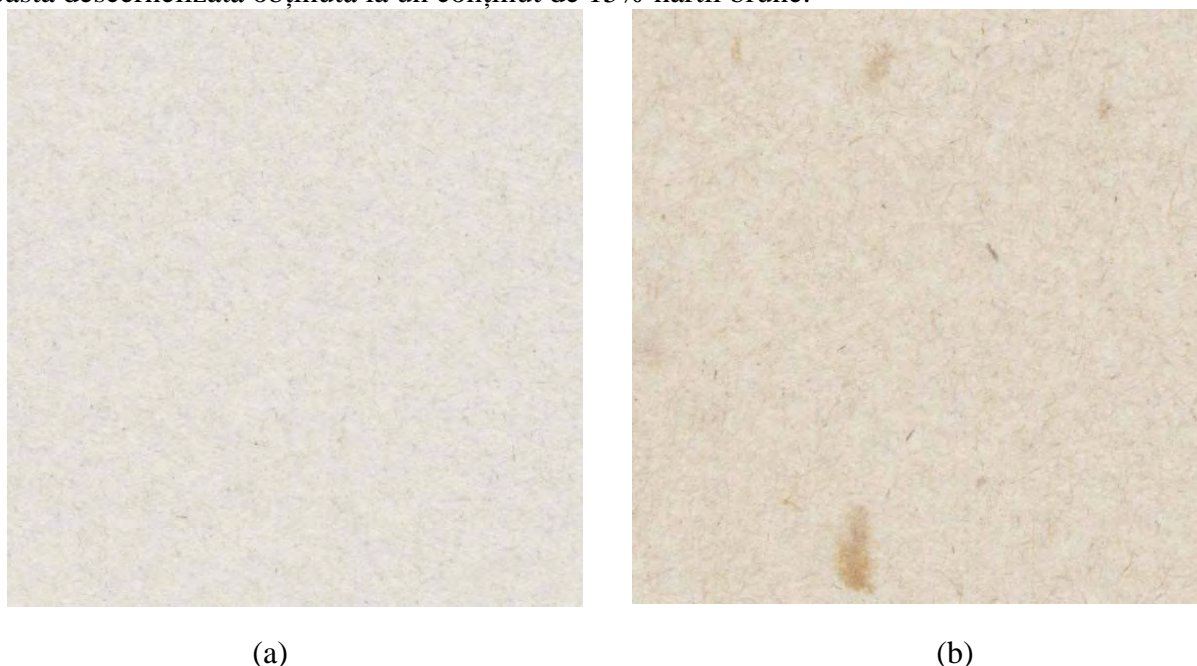


Figura 38: Imagini scanate ale probelor de hârtie din pastă descernelizată fără (a) și cu 15% conținut de hârtii de ambalaj (b)

Acest efect este indus de diferențele între condițiile de destrămare (energie și timp) necesare pentru hârtia de ambalaj respectiv pentru hârtia de ziar. De obicei, la destrămarea sortimentului de maculatură 1.11 se folosește destrăcătorul cu tambur, deoarece acest echipament utilizează o forță moderată la defibrare astfel încât reducerea mărimii contaminanților de tipul materialelor lipicioase sau folii de plastic fine, sunt evitate. Cu toate acestea, forța nu este suficientă pentru a separa individual fibrele. Imaginile arată de asemenea un aspect maroniu al foilor de laborator obținute, datorită amestecării fibrelor brune (neânălbite) cu fibrele albe.

4.1.3 Efectele conținutului de contaminanți în sortimentul de maculatură 1.04

Gradul de măcinare și fracțiunea de fibre scurte: Gradul de măcinare al pastei reciclate crește aproape liniar odată cu creșterea conținutului de hârtii grafice în amestecul model (Figura 39). Creșterea gradului de măcinare nu este efect al procesului de măcinare, dar rezultă îndeosebi din creșterea conținutului de material fin (fibre scurte, material de umplere). Modificările în componența lungimii fibrei de celuloză reciclată au fost demonstrate prin clasarea fibrelor. Prin creșterea conținutului de hârtii grafice în sortimentul de maculatură 1.04, lungimea medie a fibrelor este în scădere datorită creșterii conținutului de fibră scurtă (Figura 40) și scăderii conținutului de fibră lungă (Figura 41). Prin urmare, o creștere a conținutului de hârtii grafice în compoziția sortimentului 1.04 va influența negativ deshidratarea, retenția și proprietățile de rezistență.

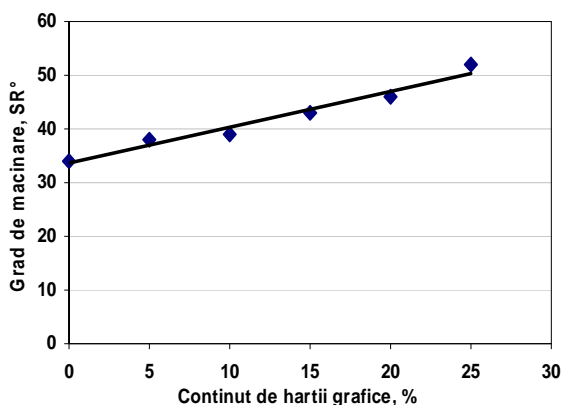


Figura 39: Gradul de măcinare pentru pasta reciclată în funcție de conținutul de hârtii grafice

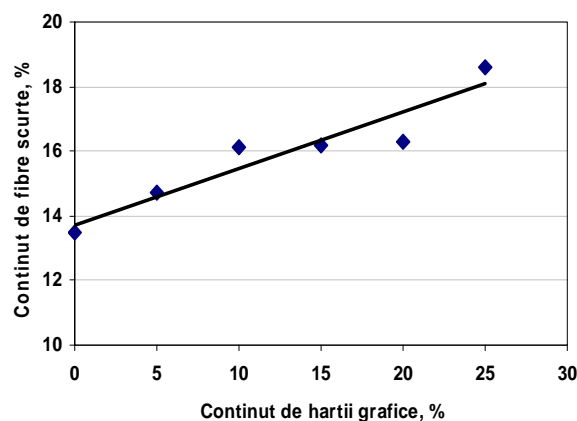


Figura 40: Frațiuni de fibră scurtă în pasta reciclată în funcție de conținutul de hârtii grafice

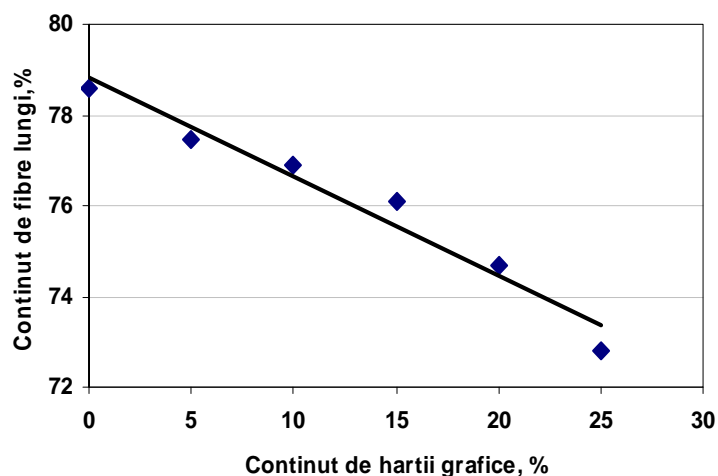


Figura 41: Frațiuni de fibră lungă în pasta reciclată în funcție de conținutul de hârtii grafice

Conținutul de cenușă și proprietățile de rezistență: Contaminarea hârtiei de ambalaj cu hârtii grafice duce la o creștere a conținutului de cenușă în hârtia reciclată (Figura 42), ceea ce va corespunde unor proprietăți de rezistență scăzute (Figura 43). Conținutul de cenușă crește cu aproximativ 1%, și lungimea de rupere scade cu aproximativ 100 m pentru fiecare 5% conținut de hârtii grafice adăugat în amestecul hârtiei de ambalaj. Rezultatele obținute duc la concluzia că rezistența hârtiei scade odată cu creșterea conținutului de cenușă, 100m lungime de rupere pe 1% conținut de cenușă reprezintă a relație comună între rezistență și conținutul de cenușă.

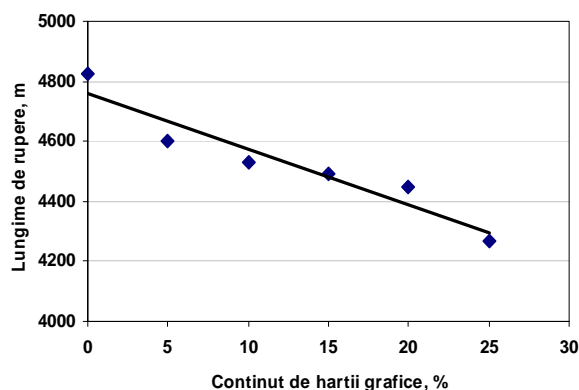
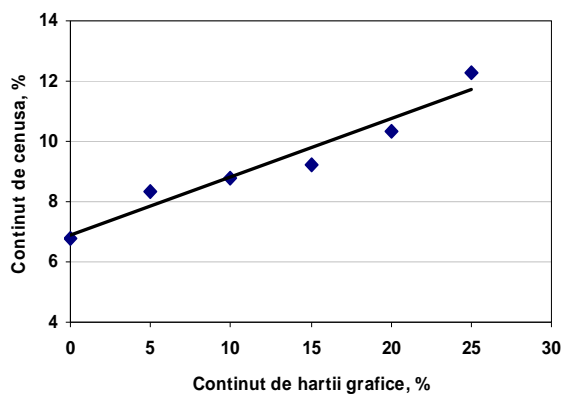


Figura 42: Conținutul de cenușă al hârtiei reciclate în funcție de conținutul de hârtii grafice

Figura 43: Lungimea de rupere a hârtiei reciclate în funcție de conținutul de hârtii grafice

4.2 Evaluarea efectelor variației calității maculaturii la scară industrială

4.2.1 Efectele potențiale ale calității maculaturii asupra eficienței reciclării

Clasificarea maculaturii pe sortimente de calitate este definită de procesul de sortare. Calitatea sortimentelor de maculatură furnizate fabricilor de hârtie și respectiv tehnologia de sortare influențează toate procesele aferente lanțului de reciclare și în special consumurile de materii prime și energie, care la rândul lor afectează nivelul emisiilor în apă, aer și sol. Calitatea inferioară a maculaturii se datorează conținutului ridicat de materiale neutilizabile (componenți ne-papetari și hârtii și cartoane care nu corespund sortului), care pe întreg procesul de reciclare determină (Bobu *et al*, 2010):

- **Randament scăzut de prelucrare a maculaturii** (debitul masic de fibre reciclate / debitul masic de maculatură ce intră în instalația de procesare) care produce: impact economic direct datorită creșterii costurilor cu materia primă fibroasă pe tona de hârtie fabricată; impact ecologic, asociat creșterii volumului de deșeuri solide generate la prelucrarea maculaturii, precum și creșterea consumului de energie la managementul deșeurilor, în funcție de opțiunea de sfârșit al vieții.

- **Calitate inferioară a pasteii din fibre reciclate**, datorită creșterii conținutului de fibră scurtă, cenușă, materiale lipicioase (stickies), provenite din contaminarea maculaturii. Calitatea redusă a pasteii de maculatură va produce: impact economic, datorită măririi costurilor cu energia, chimicale și eventual fibre virgine, necesare menținerii calității produsului finit; impact ecologic, datorită creșterii consumului de energie și apă și a emisiilor asociate la fabricarea hârtiei.

Impactul calității maculaturii la scară industrială, poate fi mai ușor explicat dacă se analizează tehnologia de prelucrare a maculaturii care implică un proces complex, în care contaminanții sunt separați de fibrele celulozice și eliminați în mai multe etape (Figura 44).

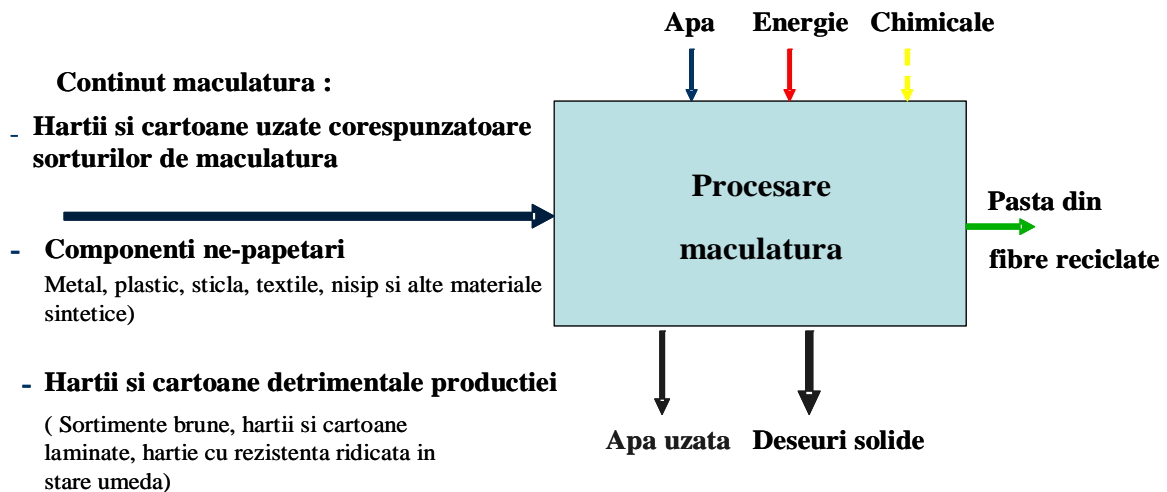


Figura 44: Intrări și ieșiri la prelucrarea maculaturii (Bobu, 2010)

4.2.2 Experimente industriale de simulare a sortării maculaturii

Programarea unor experimente industriale care să simuleze sortarea maculaturii, respectiv diferite grade de contaminare a maculaturii, trebuie să plece de la ideea ca în realitate nu există maculatură fără un anumit conținut de materiale neutilizabile, dar acesta trebuie redus la minimum, în special pentru maculatura colectată de la populație. În prezent, este recunoscut faptul că nu există un sistem de colectare optim care să asigure calitatea maculaturii dorite și din acest motiv strategiile de recuperare trebuie să includă un proces eficient de sortare care va permite eliminarea contaminanților și clasificarea corectă pe sorturi conform EN 643.

Astfel, experimentele industriale de la SC Vrancart SA Adjud au fost gândite să simuleze diferite nivele de sortare și grade de contaminare a maculaturii, plecând de la calitatea curentă a sortimentului 1.04 (medie anuală pe anul 2008 - conținut de contaminanți 5%), respectiv conținutul și tipul principal de contaminanți, variind gradul de contaminare în jurul acestei valori prin eliminarea și adăugarea unor cantități controlate de contaminanți. Simularea sortării, precum și schema bloc a fluxului tehnologic incluzând prelucrarea maculaturii, fabricarea hârtiei și operațiile de tratare a deșeurilor și a apelor de proces sunt reprezentate schematic în Figura 45.

Pentru fiecare scenariu simulat s-au prelucrat loturi de maculatură cu diferite grade de contaminare ($P_0 - 4\%$, $P_1 - 6\%$, $P_2 - 8\%$, $P_3 - 10\%$) care au fost prelucrate și pasta de maculatură astfel obținută a fost utilizată la fabricarea hârtiei capac pentru carton ondulat. Pentru primul scenariu simulat (P_0), maculatura de la furnizori (5% conținut de hârtii nereciclabile) s-a sortat prin eliminarea parțială a contaminanților de natură fibroasă. Celelalte loturi de maculatură s-au obținut prin impurificarea treptată adăugându-se contaminanți (hârtii și cartoane ne-reciclabile), cea mai mare cantitate fiind atribuită ambalajelor pentru lichide. Loturile de maculatură cu diferite grade de contaminare au fost introduse în fluxul de producție - prepararea pastei de maculatură și fabricarea hârtiei capac din fibre reciclate. Pentru fiecare scenariu în parte s-au înregistrat indicatorii de bază ai sistemului de producție: ▪ consumul specific de maculatură (t/t); ▪ refuzurile generate (%); ▪ productivitatea orară a mașinii de hârtie (t/h); ▪ consumul specific de energie (kWh/t).

În urma experimentelor realizate, s-au obținut rezultate care au confirmat faptul că odată cu creșterea conținutului de contaminanți scade productivitatea orară a mașinii de hârtie și crește consumul specific de energie. Influența conținutului de contaminanți asupra productivității orare a mașinii de hârtie și asupra consumului specific de energie este prezentată în Tabelul 15. Conținutul de contaminanți s-a dovedit a fi și principalul parametru care influențează consumul specific de maculatură dar și cantitățile de refuzuri generate, dependența dintre acestea fiind prezentată în Tabelul 16.

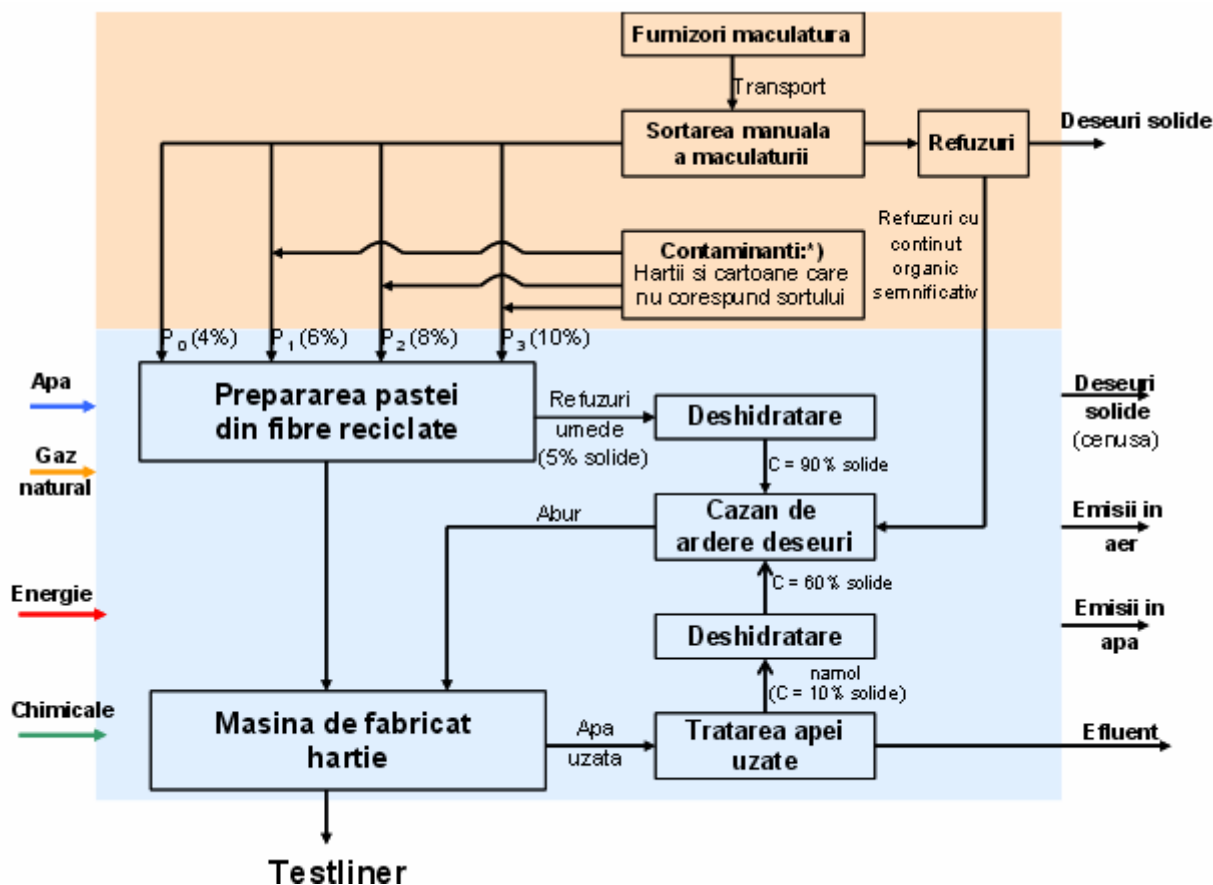


Figure 45: Simularea sortării și schema bloc a fluxului tehnologic la fabricarea hârtiei capac

Tabel 15: Influența conținutului de contaminanți asupra productivității orare a mașinii de hârtie și consumului specific de energie

Contaminanți în maculatură, %	Productivitatea orară a mașinii de hârtie, t/h	Consumul specific de energie, kWh/t
4	1,205	230
6	1,127	241,6
8	1,082	259
10	1,048	277

Tabel 16: Influența conținutului de contaminanți asupra consumul specific de maculatură și refuzuri generate

Contaminanți în maculatură, %	Consumul specific de maculatură, t/t	Refuzuri generate, %
4	1,06	6,1
6	1,10	9,77
8	1,16	14,31
10	1,26	21,12

5. INFLUENȚA CALITĂȚII MACULATURII ASUPRA IMPACTULUI DE MEDIU LA FABRICAREA HÂRTIEI CAPAC PENTRU CARTON ONDULAT

Prezentul studiu a fost conceput pentru a analiza influența calității maculaturii asupra impactului de mediu la fabricarea hârtiei capac din sortimentul de maculatură 1.04, plecând de la conceptul noii instalații de sortare a maculaturii realizată în cadrul proiectului SORT IT, prin simularea sortării maculaturii la scară industrială, în fabrica de hârtie de ambalaj de la compania SC Vrancart SA Adjud. Pentru a evalua influența calității maculaturii, în prima etapă s-a realizat un studiu de analiză a ciclului de viață la fabricarea hârtiei capac. Acest studiu a implicat: ▪ definirea scopului și a obiectivelor; ▪ elaborarea modelului LCA; ▪ stabilirea limitelor sistemelor analizate; ▪ colectarea și calcularea datelor de inventar; ▪ alegerea metodologiei de evaluare a impactului de mediu respectiv a categoriilor de impact; ▪ modelarea și calculul impactului de mediu. Pentru acest studiu datele de inventar au fost colectate ca date medii anuale pentru anul 2008, la SC Vrancart SA, Adjud. Considerând că aceste date sunt caracteristice sistemului produs de referință, pe baza datelor din programul experimental industrial s-au calculat și datele de inventar aferente modelelor simulate. Atât datele de inventar medii anuale cât și cele obținute în simulările realizate la scară industrială au fost folosite pentru analiza influenței calității maculaturii asupra impactului de mediu.

5.1 Descrierea sistemelor produs

Pentru a evalua impactul calității maculaturii asupra mediului înconjurător, s-au definit sisteme de produs care vor fi supuse studiilor de evaluare a ciclului de viață (LCA) după cum urmează:

- Fabricarea hârtiei capac pentru carton ondulat dintr-un lot de maculatură cu nivel de contaminare 5% - **cazul de referință** (situația curentă la Vrancart);
- Fabricarea hârtiei capac pentru carton ondulat din loturi de maculatură cu diferite nivele ale conținutului de contaminanți (4, 6, 8, 10%) - **modele simulate**.

Pentru fabricarea hârtiei capac, materia primă a fost colectată de la mai mulți furnizori, și apoi a fost transportată către fabrica de referință SC Vrancart SA, unde a fost sortată. În conformitate cu datele anuale furnizate de fabrica de hârtie pentru anul 2008, patru tipuri de maculatură sunt utilizate frecvent ca materii prime: 1.04 (54,2%), 1.05 (35,3%), 4.01 (7,6%), 4.05 (2,9%). A se vedea Figura 48.

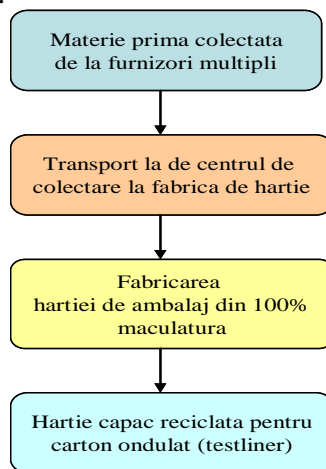


Figura 48: Reprezentarea schematică a etapelor principale din ciclul de viață al hârtiei capac, din perspectiva cradle-to-gate

Specificațiile de calitate pentru fiecare sortiment de maculatură utilizat de fabrica SC Vrancart Adjud nu sunt disponibile deoarece materia primă provine de la mai mulți furnizori. Cu toate acestea, normele generale de primire sau de refuz sunt prevăzute pentru toate sortimentele de ambalaje. Condițiile minime de acceptare a maculaturii (în special a sorturilor 1.04 și 1.05 care reprezintă 89% din consumul total de maculatură) la SC Vrancart, sunt listate în Tabelul 17.

Table 17: Reguli de acceptare a maculaturii la fabrica Vrancart Adjud

Sortimente de maculatură – EN 643: 1.04 și 1,05	Condiții acceptare
Conținutul de umiditate.	max. 10%
Conținutul de componenți ne-papetari: textile, materiale sintetice, nisip, metale, sticlă.	max. 0.5%
Conținutul de hârtii și cartoane ne-reciclabile (hârtii sanitare, ambalaje de la lichide, etichete, hârtii și cartoane laminate, etc.)	interzise
Conținutul de hârtii și cartoane care nu corespund cu definiția sortimentului în EN 643 (în principal hârtii grafice cu conținut de pastă mecanică - ziare și reviste)	max. 4%.

Obiectivul studiului. Tipul studiului: Obiectivul general al studiului de caz îl constituie evaluarea efectelor pe care calitatea maculaturii le are asupra impacturilor de mediu ale unui sistem de fabricare a hârtiei din fibre reciclate, prin aplicarea principiilor evaluării ciclului de viață (LCA) al produselor sau a serviciilor. Pentru realizarea acestui obiectiv general s-au parcurs și obiective secundare precum: ▪ analiza și selectarea scenariilor și modelelor de simulare a ciclului de viață, care în esență se referă la simularea a patru nivele de calitate ale maculaturii; ▪ colectarea / calcularea datelor și completarea fișelor de inventar pentru fiecare scenariu simulat; ▪ analiza datelor de inventar pentru cazurile studiate; ▪ stabilirea categoriilor de impact care urmează a fi evaluate; ▪ modelarea scenariilor în sistemul software GaBi 4.4; ▪ generarea de informații referitoare la contribuția proceselor unitare care compun sistemul (modelul LCA) la diferiți indicatori de mediu; ▪ identificarea substanțelor care generează impactul și relaționarea acestora cu gradul de sortare a maculaturii.

Considerând obiectivul general și pe cele derivate, studiul elaborat este considerat pe de o parte *atributiv* deoarece investighează un potențial de impact asupra mediului cauzat de fabricarea hârtiei capac, dar pe de altă parte este *orientat pe schimbare* deoarece se concentrează pe analiza schimbărilor în procesul de fabricație a hârtiei capac prin înlocuirea materiei prime de calitate inferioară cu o materie primă de calitate superioară.

5.2 Definirea domeniului de studiu

5.2.1 Definirea funcțiilor sistemelor produs, unitatea funcțională

Prezentul studiu urmărește fabricarea hârtiei capac până la poarta fabricii și nu include distribuția produsului papetar, utilizarea și managementul deșeurilor. Prin urmare, domeniul de studiu este limitat la o evaluare „**cradle-to-gate**” privind producția hârtiei capac prin utilizarea maculaturii de calitate variată, obținută prin simularea diferitelor nivele de sortare. Pentru descrierea clară a domeniului, definirea unității funcționale se consideră element definitoriu, (ISO 14040, 2006). Astfel, unitatea funcțională s-a stabilit a fi **producția unei tone de hârtie capac** cu specificațiile de calitate redate în Tabelul 18. Toate intrările și ieșirile din inventarul ciclului de viață și rezultatele de impact obținute în etapa de evaluare a impactului sunt raportate la această unitate funcțională.

Studiul de evaluare a impactului de mediu comparativ a fost realizat tocmai pentru a evidenția că o tehnologie inovativă de sortare va permite o sortare mai bună a maculaturii și prin urmare, va reduce cantitățile de energie și materii prime consumate în centrele de sortare. Ca rezultat, mai puține materiale nedorite vor fi livrate către fabricile de hârtie. Acest fapt va permite reducerea cantităților de energie și a materialelor necesare pentru a separa materialele nedorite ca refuzuri.

5.2.2 Alocarea

Alocarea este una din problemele critice în evaluarea impactului de mediu (ISO 14044, 2006), în special în cazul în care fabrica (unitatea de proces) prelucrează mai multe produse. Din acest motiv a fost necesar să menționăm că la fabrică de hârtie SC Vrancart SA, linia de producție luată în considerare în acest studiu produce majoritar un singur tip de hârtie: hârtie capac. Singurul produs care mai poate fi obținut este hârtia de uz casnic și sanitar, dar care are un procent foarte scăzut (0,06%) din producția totală. Prin urmare, alocarea de masă a fost asumată, luând în considerare producția anuală (Iosip *et al*, 2011).

5.2.3 Specificațiile sistemelor de produs studiate

Sistemul produs de referință (fabricarea hârtiei capac – date medii anuale pentru anul 2008) și *sistemul produs nou* (modele simulate) se concentrează pe procesele de fabricație a căror eficiență depinde exclusiv de calitatea materiei prime utilizate. Tabelul 18 redă specificațiile de calitate corespunzătoare produsului finit: hârtie capac standard (unitatea funcțională).

Tabel 18: Specificații de calitate pentru hârtia capac standard (mărimea funcțională)

Proprietățile hârtiei	Unități	Valori	Limite de toleranță
Gramajul	g/m ²	110	(106 - 114)
Conținutul de umiditate	%	7,5	(6,0 – 9,0)
Rezistența la plesnire	kPa	200	(178)
SCT DT	kN/m	1,45	(1,27)
Grosime (valoare medie)	μm	180	-
Macro-rugozitate (valoare medie)	mL/min	900	-
Porozitate (valoare medie)	mL/min	45	-
Culoare (valoare medie)	L	64	-
	A	5,2	-
	B	21	-

5.2.4 Limitele sistemului. Etape, procese și date eliminate din ciclul de viață

Pentru evaluarea impactului de mediu, ca limite ale sistemului în fiecare scenariu s-a acordat o atenție deosebită etapei de fabricație a hârtiei capac. Pentru a evidenția aceste limite, Figura 49 prezintă modelul LCA pentru cazul de referință, model care a fost urmat și pentru scenariile simulate.

Din modelul de simulare LCA se poate observa că pentru evaluarea impactului de mediu sunt luate în considerare toate procesele și operațiile afectate de etapa de sortare a maculaturii. Mai exact procesele din lanțul cradle-to-gate a produsului papetar obținut din 100% maculatură incluse între limitele sistemului acoperă etape importante ca:

- Operații de sortare a maculaturii, ce includ utilizarea energiei electrice, transporturi interne, materiale auxiliare, precum și tratamente ale deșeurilor, emisii;
- Transportul maculaturii de la centrul de colectare către fabrică;
- Operațiuni în fabrica de hârtie (prepararea pastei din fibre reciclate respectiv fabricarea hârtiei capac (hârtie din fibre reciclate), incluzând utilizarea energiei electrice, produselor chimice, transporturi interne, tratarea deșeurilor, emisii.

Cu toate acestea există câțiva pași care nu au fost incluși între limitele sistemului:

- Producerea și eliminarea infrastructurii (mașini, vehicule, drumuri, clădiri, etc.) și întreținerea acestora;
- Impactul rezultat la obținerea pastei din fibre reciclate care este alimentată în instalație deoarece este imposibil să se determine numărul de utilizări ale fibrelor în hârtia recuperată. Mai mult, compoziția hârtiei recuperate mixte (colectate) are fluctuații datorită originii de la diverși furnizori, precum și datorită variațiilor geografice și sezoniere (de exemplu: compoziția hârtiei colectate se poate modifica de la o zonă la alta; chiar dacă este considerată aceeași zonă compoziția în timpul iernii nu este aceeași cu cea din timpul verii). În plus, studiul LCA este axat pe efectul modificărilor asupra sistemului de producție dar și asupra produsului final.

Maculatura mixta colectata de la supermarket

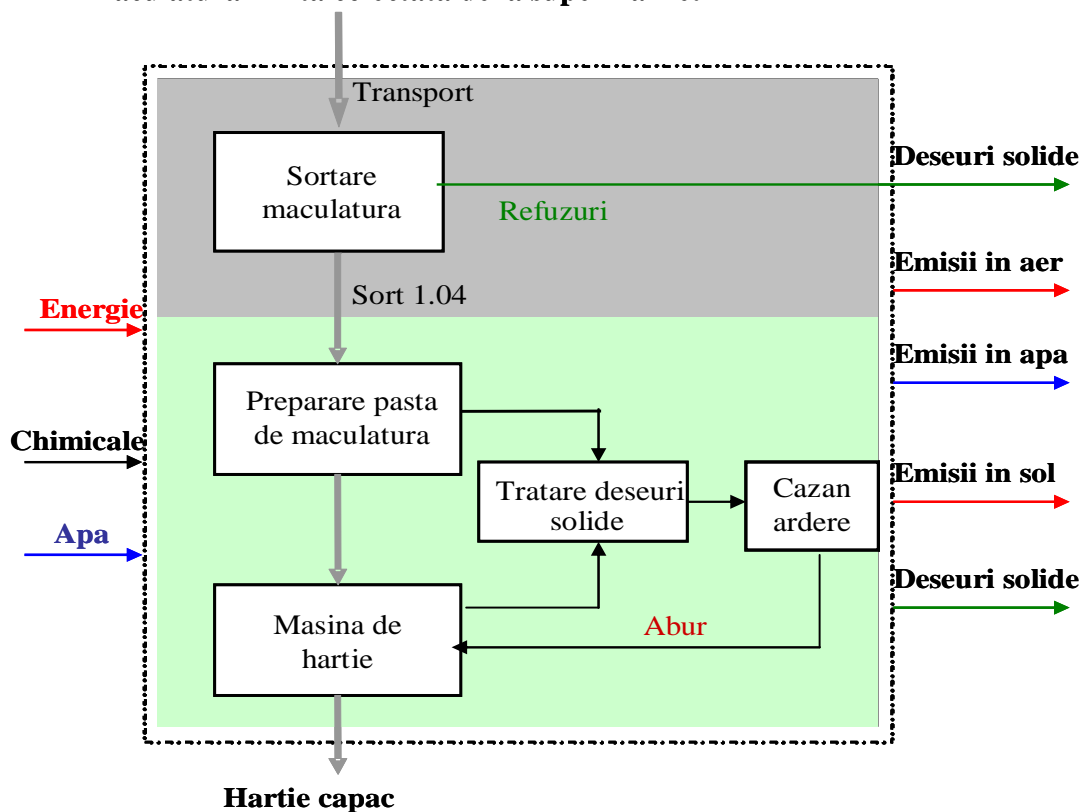


Figura 49: Model de simulare LCA pentru cazul de referință

5.2.5 Criterii de eliminare (Cut-off rules)

Criteriile de eliminare joacă de asemenea un rol important în studiu LCA deoarece există materiale (în special substanțe chimice) care sunt utilizate în cantități mici. În conformitate cu standardele ISO pentru studiile LCA (14040:2006 și 14044:2006) precum și cu raportul ISO / TR 14049, regulile cutt-off au fost definite având în vedere criteriile de masă. Procesele cu o cotă de material de intrare mai mică de 1% din masa totală ieșită dintr-o unitate de proces au fost excluse. Pe un astfel de criteriu a fost exclusă poli-acrilamida utilizată la tratarea apei uzate a cărei cantitate era doar de 0,003 kg / unitatea funcțională. Pentru cazul energiei, au fost considerate toate intrările de energie, aspect care este mai strict decât cerințele ISO / TR 14049.

5.3 Colectarea datelor de inventar pentru cazurile studiate

5.3.1 Chestionarul de bază pentru colectarea datelor de inventar - sistemul de referință

Pentru *sistemul produs de referință*, datele care fac cuprinsul inventarului, **intrări** (consumul specific de maculatură, apă, chimicale, energie, distanța medie de transport) și **ieșiri** (emisiile în aer, apă, deșeuri solide) au fost culese pe baza unui chestionar de la partenerul industrial ca date medii anuale pentru o perioadă de douăsprezece luni (Ianuarie – Decembrie 2008). Datele de inventar pentru etapa de transport a maculaturii de la furnizori către fabrica de hârtie, au fost calculate pe baza distanței medii de 224,5 km pe tona de maculatură (calculată ca medie ponderală pentru cantitatea totală de maculatură livrată la fabrică în anul 2008, din diverse surse). Prin multiplicarea distanței medii cu consumurile de maculatură pe tona de hârtie s-au obținut distanțele pe care se transportă maculatura pentru a se produce o tonă de hârtie (unitatea funcțională a sistemului). Prin urmare, în inventarul etapei de transport se va considera consumul de combustibil pentru funcționarea vehiculelor (camioane) și emisiile generate de acestea în timpul deplasării. Pentru modelarea etapei de transport s-a aplicat modelul de transport pentru camionul de 28 t capacitate totală, cu un consum de 35 litri motorină la 100 km, care se găsește în baza de date Ecoinvent și include aspecte ambientale ale combustibilului consumat. De asemenea, pentru ca modelul să fie în acord cu limitele sistemului, s-au eliminat aspectele ambientale corespunzătoare utilizării infrastructurii, fabricarea și retragerea din uz a vehiculelor.

Ori de câte ori a fost posibil, datele secundare au fost obținute din baze de date, în principal Ecoinvent, o bază de date de prestigiu (Ecoinvent, 2006), care este integrată în softul utilizat pentru evaluarea ciclului de viață LCA, GaBi în varianta 4.4 (PE International, 2006).

5.3.2 Date colectate / calculate pentru scenariile simulate

Loturile de maculatură cu diferite grade de contaminare s-au utilizat la fabricarea hârtiei capac, fiecare pentru o perioadă de 10–12 ore. În timpul experimentelor industriale s-au colectat date privind consumul specific de maculatură, consumul de energie în diferite module (preparare pastă, mașina de hârtie și tratarea apelor reziduale), volumul de deșeuri solide generate, productivitatea orară a mașinii de fabricat hârtie, elemente principale care pot fi măsurate direct. Alte date de inventar s-au calculat pe baza tendințelor stabilite pentru perioada experimentelor cu privire la consumurile de materii prime, energie, apă și alte utilități. Spre exemplu, emisiile în apă s-au evaluat în funcție de consumul specific de apă, iar emisiile în aer s-au calculat în funcție de consumul de gaz natural și volumul de deșeuri alimentate în cazanul de abur (s-au urmărit în particular volumele de deșeuri rezultate din hârtii și cartoane care nu se destramă, deoarece creșterea volumului acestora determină o scădere a consumului de gaz natural, dar determină creșterea consumului de energie la prelucrarea maculaturii și scăderea productivității mașinii de fabricat hârtie). Transportul maculaturii s-a considerat același ca și în cazul de referință și date secundare s-au preluat din aceeași bază de date Ecoinvent.

5.4 Analiza datelor de inventar pentru cazurile studiate

5.4.1 Metodologia de evaluare a impactului. Categoriile de impact relevante

Pentru evaluarea comparativă a impactului de mediu s-au parcurs patru etape obligatorii:

- Selectarea categoriilor de impact, a indicatorilor și a modelelor;
- Clasificarea, respectiv repartizarea rezultatelor din etapa de inventar pe categorii de impact (de exemplu atribuirea emisiilor de dioxid de carbon la încălzirea globală) Clasificarea, respectiv repartizarea rezultatelor din etapa de inventar pe categorii de impact (de exemplu atribuirea emisiilor de dioxid de carbon la încălzirea globală);

▪ Caracterizarea, respectiv calcularea rezultatelor indicatorilor (de exemplu modelarea impactului emisiilor de dioxid de carbon și metan la încălzirea globală). Această subdiviziune este în general cantitativă. Ca rezultat al caracterizării, contribuția totală potențială a fiecărei categorii de impact a sistemului investigat este agregată și raportată.

▪ Analiza calității datelor.

Factorii de caracterizare utilizați în acest studiu sunt factorii metodologiei de evaluare a impactului de mediu CML 2001, actualizați în august 2007 (CML, 2009). Indicatorii CML sunt acei indicatori care se concentrează pe lanțul cauză-efect. Acest lucru înseamnă că astfel de indicatori agregă date privind emisiile la potențialul de impact în diferite categorii (de exemplu, încălzirea globală, acidificarea, etc.), dar nu merge atât de departe pentru a evalua obiective, cum ar fi pierderea biodiversității, daune asupra sănătății umane cauzate de aceste efecte (WRAP, 2008). Metodologia CML 2001 este o metodă de evaluare a impactului de mediu care limitează modelarea cantitativă în lanțul cauză-efect pentru a limita incertitudinile și rezultatele din inventar în așa numitele categorii de mijloc (midpoint categories). Pentru evaluarea impactului de mediu, sistemele de producție sunt examinate din perspectiva mediului cu ajutorul unor indicatori de categorie. Conform aspectelor prezentate mai sus, primul pas în evaluarea impactului de mediu a fost acela de a decide care categorii de impact ar trebui să fie incluse în studiul LCA. În vederea identificării categoriilor de impact care au efect asupra mediului înconjurător în cazul sistemului produs de referință și scenariilor simulate, un nou chestionar s-a trimis către fabrică. Primii pași care au fost urmați au vizat selectarea indicatorilor cheie și agregarea indicatorilor în aspecte de mediu (utilizarea resurselor, calitatea mediului, sănătate umană și siguranță). Un exemplu de răspuns primit la chestionar este prezentat în Tabelul 19.

Table 19: Răspunsuri din chestionar

Indicatori de impact asupra mediului	Tehnologia curentă	Noua tehnologie	Unități / tona de hârtie	Contribuții (+ or -)
Utilizarea resurselor				
Utilizarea energiei, total	X	Y	MJ	-
Utilizarea apei, total	X	Y	m ³	-
Calitatea mediului				
Emisii de CO ₂	Y	X	kg CO ₂	-
Deșeuri solide	X	Y	Kg	-
Potențial de încălzire globală	X	Y	Kg CO ₂ Echiv.	-
Potențial de eutrofizare	X	Y	Kg PO ₄ ⁻³ Echiv.	-
Potențial de acidificare	Y	X	Kg SO ₂ Echiv.	-
Sănătate umană și siguranță				
Emisii periculoase	Y	X	Kg	-
Toxicitate	X	Y	Kg 1,4-DCB Echiv.	-

Notă: Indicatorii marcați cu X) sunt cei considerați a avea impact mai mare

Conform proceselor care indică schimbări în sistem (datorită cărora avem studii comparative), etapa de sortare s-a dovedit a fi definitorie. La stabilirea listei indicatorilor de impact s-a ținut seama de efectele potențiale pe care calitate maculaturii, care rezultă prin aplicarea tehnologiei de sortare, le are asupra consumului de resurse și emisii generate. Pe baza rezultatelor obținute din chestionar și luând în considerare emisiile din întreg ciclul de viață al produsului (hârtia capac pentru carton ondulat), următoarele categorii de impact s-au stabilit a fi evaluate: ▪ Potențialul de încălzire globală (GWP); ▪ Potențialul de eutrofizare (EP); ▪ Potențialul de acidificare (AP); ▪ Potențialul de toxicitate umană (HTP); ▪ Potențialul de formare a ozonului foto-chimic (POCP); ▪ Potențialul de epuizare a resurselor abiotice (ADP).

Pe parcursul studiului, s-au dovedit a fi importanți și unii parametri derivați direct din inventar: utilizarea energiei primare; conținutul de contaminanți din sortimentul de maculatură; volumul de deșeuri solide generate la prepararea pastei de maculatură.

5.4.2 Descrierea categoriilor de impact

În funcție de nivelul de raportare, fiecare dintre categoriile de impact au efecte mai mult sau mai puțin dăunătoare mediului înconjurător. În continuare sunt detaliate categoriile de impact selectate pentru studiu și principalele lor efecte asupra mediului înconjurător.

Potențialul de încălzire globală: Încălzirea globală a atmosferei este provocată de captarea radiațiilor IR reflectate de pe suprafața Pământului, și poate contribui la schimbările climatice ce au consecințe grave pentru multe ecosisteme. Încălzirea globală poate fi cauzată de o varietate de factori, atât naturali cât și induși de ființa umană. Fenomenul de încălzire globală a început să îngrijoreze omenirea după anii '60, în urma dezvoltării industriale masive și a creșterii concentrației gazelor cu efect de seră care sunt considerate în mare măsură responsabile de acest fenomen (PAS, 2008).

Eutrofizarea se referă la îmbogățirea cu material organic a unui ecosistem, cea mai frecventă fiind îmbogățirea cu nutrienți (Nixon, 1995). Aceasta poate să apară pe sol sau în apă. Azotul (sub formă de nitrit, nitrat sau ionul amoniu) la care se adaugă fosforul (sub formă de orto-fosfat) sunt principalele elemente nutritive care influențează eutrofizarea. Acestea pătrund în mediu (duc la o creștere excesivă a plantelor) și prin acțiunea lor pe termen lung fac ca apele să fie din ce în ce mai sărace în oxigen. Dar, de fapt o creștere considerabilă a substanțelor nutritive înseamnă pentru râuri și lacuri distrugerea faunei acvatice. În general, eutrofizarea este o problemă regională. În studiile LCA eutrofizarea nu acoperă doar efectele nutrienților ci și poluările organice care afectează productivitatea biologică (Baumann și Tillman, 2004).

Acidificarea: O parte dintre activitățile umane și unele surse naturale, cum ar fi vulcanii și vegetația în descompunere, duc la apariția substanțelor acide care sunt emise în atmosferă, și în acest mod conținutul în acid azotic și sulfuric crește, depășind limita admisă (Dobon *et al*, 2009). Principalele substanțe care duc la acidificare sunt: oxizii de sulf rezultați la arderea petrolului și cărbunelui (care au un conținut ridicat de sulf), oxizii de azot formați la temperaturi ridicate (combustia în motoare) și amoniacul care este produs în principal în urma activităților agricole. Aceste gaze interacționează la nivelul atmosferei cu apa, oxigenul și alte substanțe chimice, reacții în urma cărora se formează diverși compuși acizi. Dacă aceste substanțe chimice acide sunt duse de curenții de aer în zone în care vremea este umedă, ele pot cădea pe suprafața terenurilor sub forma ploilor acide, zăpadă sau ceață. În zonele uscate, acestea se pot încorpora în praf sau fum, și într-un final se pot depune pe suprafața solurilor, pe clădiri, arbori, etc. Ca și consecințe grave, se vor provoca perturbări semnificative prin creșterea pH-ului asupra vegetației, solurilor, se vor coroda clădirile. Acidificarea este o problemă tipic continentală.

Formarea ozonului foto-chimic: Principalul mecanism care stă la baza formării foto-oxidanților (ozonului) cât și a dispariției acestuia este un ciclu natural care are loc în urma

reacției dintre oxizii de azot și radiațiile solare (Goedkoop *et al*, 2008). O concentrație mai mare în troposferă de NO_x și VOC (hidrocarburi cum ar fi benzina, solvenții, etc.) distruge echilibrul natural și duce la apariția ozonului. Producția de ozon la nivelul solului are loc în anumite perioade din an datorită unor reacții complexe între hidrocarburi (C_xH_y, cea mai mare parte emise de autovehicule sau procese industriale), oxizi de azot (NO_x, derivați de la autovehicule, centrale electrice, arderea biomasei), radiația solară și temperaturi ridicate (Labouze *et al*, 2004). Acest fenomen este cunoscut și sub denumirea de „ceață de vară”. Apariția ozonului irită pielea, ochii, dar contribuie și la un număr semnificativ de decese, afectează sănătatea umană, a animalelor și a plantelor. Formarea ozonului foto-chimic este o problemă regională.

Toxicitatea umană: În studiile LCA, toxicitatea umană acoperă efecte variate: efecte alergene, daune ireversibile, leziuni de organe, efecte cancerigene, etc. (Lundie *et al*, 2007). Categoria de impact este afectată de emisiile în aer, apă și sol, atât la nivel local cât și la nivel regional.

Epuiizarea resurselor abiotice: Epuiizarea resurselor abiotice ia în considerare faptul că o mare parte din necesarul de energie provine din combustibili fosili (cărbune, petrol și gaze naturale), care sunt considerate non - regenerabile, deoarece formarea lor durează perioade îndelungate de timp și odată formate nu pot fi înlocuite de om (van Oers *et al*, 2002). Epuiizarea resurselor abiotice a fost și rămâne o problemă, deoarece consumul acestora va face ca în viitor să fie nevoie de utilizarea altor tipuri de resurse energetice.

5.5 Analiza impacturilor de mediu pentru diferite calități ale maculaturii: Cazul de referință și modele simulate

5.5.1 Modelare și calcul

Studiile de evaluare a impactului de mediu s-au concretizat prin utilizarea softului Profesional GaBi în varianta 4.4, elaborat de către PE International GmbH (PE International, 2006), care conține integrat baza de date Ecoinvent. Pentru modelare, la fiecare caz în parte s-au definit fluxuri, procese, unități, care în final au fost conectate într-o interfață grafică denumită proces-plan (Moberg *et al*, 2007). Procesul unitar de fabricație a hârtiei capac (prelucrare maculatură, mașina de hârtie și arderea deșeurilor și nămolurilor în cazul de ardere) a fost considerat o „cutie neagră” unde materiile prime și energia sunt consumate iar produsele finite și deșeurile sunt generate.

5.5.2 Influența proceselor unitare asupra categoriilor de impact

În prima parte a evaluării impactului de mediu, conform metodologiei de evaluare a ciclului de viață LCA (ISO 14040, 2006), după ce s-au selectat categoriile de impact care urmează a fi analizate alături de indicatorii de categorie (unități din fiecare categorie de impact, Ex: CO₂-Echiv. pentru potențialul de încălzire globală), s-au aplicat etapele obligatorii de **clasificare** și **caracterizare** a datelor de inventar pentru fiecare sistem.

În etapa de **clasificare**, datele de inventar au fost alocate fiecărei categorii de impact de mediu, pentru ca apoi în etapa de **caracterizare** să fie determinate rezultatele în funcție de indicatorul de categorie (Ex: pentru GWP toate emisiile care influențează categoria de impact - CO₂, N₂O, CH₄, CFC, HCFC - au fost convertite în CO₂ echivalenți, aplicând un factor de caracterizare pentru fiecare substanță). Factorii de caracterizare folosiți sunt cei prevăzuți în sistemul software GaBi 4. Rezultatele etapei de caracterizare exprimate în valori absolute pentru producția unei tone de hârtie capac folosind maculatură cu diferite nivele ale conținutului de contaminanți și bazate pe metodologia CML 2001, Dec. 07 sunt prezentate în Tabelele 20-25. Fiecare tabel conține de asemenea valorile absolute obținute pentru sistemul produs de referință – fabricarea hârtiei capac, a căror date de inventar sunt date medii anuale pentru anul 2008.

Tabelul 20: Rezultatele etapei de caracterizare pentru epuizarea resurselor abiotice (ADP)

Cazul - contaminanți, %	Unitatea	Valori absolute obținute
P ₀ – 4	Kg Sb – Echiv.	6,04
P ₁ – 6	Kg Sb – Echiv.	6,02
P ₂ – 8	Kg Sb – Echiv.	6,01
P ₃ - 10	Kg Sb – Echiv.	5,98
Cazul de referință – 2008, 5%	Kg Sb – Echiv.	6,06

Tabelul 21: Rezultatele etapei de caracterizare pentru potențialul de încălzire globală (GWP)

Cazul - contaminanți, %	Unitatea	Valori absolute obținute
P ₀ – 4	Kg CO ₂ – Echiv.	687,41
P ₁ – 6	Kg CO ₂ – Echiv.	721,85
P ₂ – 8	Kg CO ₂ – Echiv.	782,72
P ₃ - 10	Kg CO ₂ – Echiv.	847,50
Cazul de referință – 2008, 5%	Kg CO₂ – Echiv.	691,90

Tabelul 22: Rezultatele etapei de caracterizare pentru potențialul de acidificare (AP)

Cazul - contaminanți, %	Unitatea	Valori absolute obținute
P ₀ – 4	Kg SO ₂ – Echiv.	15,98
P ₁ – 6	Kg SO ₂ – Echiv.	16,45
P ₂ – 8	Kg SO ₂ – Echiv.	17,51
P ₃ - 10	Kg SO ₂ – Echiv.	18,67
Cazul de referință – 2008, 5%	Kg SO₂ – Echiv.	16,02

Tabelul 23: Rezultatele etapei de caracterizare pentru potențialul de eutrofizare (EP)

Cazul - contaminanți	Unitatea	Valori absolute obținute
P ₀ – 4	Kg PO ₄ ³⁻ – Echiv.	0,64
P ₁ – 6	Kg PO ₄ ³⁻ – Echiv.	0,66
P ₂ – 8	Kg PO ₄ ³⁻ – Echiv.	0,70
P ₃ - 10	Kg PO ₄ ³⁻ – Echiv.	0,75
Cazul de referință – 2008, 5%	Kg PO₄³⁻ – Echiv.	0,65

Tabelul 24: Rezultatele etapei de caracterizare pentru potențialul de toxicitate umană (HTP)

Cazul - contaminanți, %	Unitatea	Valori absolute obținute
P ₀ – 4	Kg DCB – Echiv.	222,17
P ₁ – 6	Kg DCB – Echiv.	223,54

P ₂ – 8	Kg DCB – Echiv.	229,99
P ₃ - 10	Kg DCB – Echiv.	232,93
Cazul de referință – 2008, 5%	Kg DCB – Echiv.	222,35

*DCB = diclorbenzen

Tabelul 25: Rezultatele etapei de caracterizare pentru potențialul de formare a ozonului fotochimic (POCP)

Cazul - contaminanți, %	Unitatea	Valori absolute obținute
P ₀ – 4	Kg Etenă – Echiv.	0,88
P ₁ – 6	Kg Etenă – Echiv.	0,93
P ₂ – 8	Kg Etenă – Echiv.	0,98
P ₃ - 10	Kg Etenă – Echiv.	1,04
Cazul de referință – 2008, 5%	Kg Etenă – Echiv.	0,91

Pentru a evidenția contribuția relativă a proceselor unitare implicate în fabricarea sistemului produs de referință – hârtie capac (date medii anuale pentru anul 2008) respectiv, a sistemului produs nou - hârtie capac la diferite nivele de contaminare a maculaturii, a fost efectuat un studiu detaliat pentru fiecare sistem analizat. O primă interpretare a rezultatelor s-a realizat tocmai pe baza acestor parametri individuali și pentru fiecare categorie de impact analizată s-au identificat substanțele responsabile de impactul de mediu.

5.5.2.1 Influența proceselor unitare în sistemul produs de referință – 5% contaminanți

Figura 54 ilustrează influența principalelor procese unitare implicate în fabricarea hârtiei capac la un nivel de contaminare de 5% sub forma contribuțiilor procentuale, la care s-a ținut cont de limitele sistemului stabilite în prima etapă a studiului.

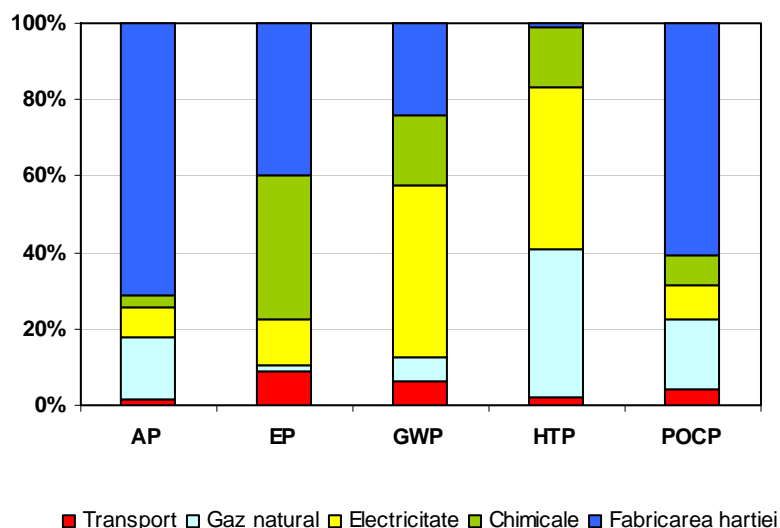


Figura 54: Contribuțiile procentuale a principalelor procese unitare la categoriile de impact pentru sistemul produs de referință

Influența proceselor unitare asupra potențialului de acidificare (AP): În prezentul scenariu, procesul unitar de fabricație a hârtiei capac (din maculatură cu un nivel de contaminare

5%) afectează majoritar această categorie de impact, contribuția sa procentuală fiind de 70,6%. Consumul de gaz natural utilizat la cazanul de ardere pentru completarea necesarului de combustibil la producerea aburului este elementul secundar care influențează categoria de impact cu aproximativ 16%. Consumul de electricitate are o contribuție de 7,5%. O contribuție mai mică în potențialul de acidificare este atribuită chimicalelor, în special aditivilor pentru creșterea rezistenței hârtiei - (2,2%). Datorită faptului că procesele unitare din baza de date Ecoinvent au deja atribuit impactul, contribuția amidonului cationic se explică îndeosebi prin impactul pe care îl are asupra mediului utilizarea combustibilului consumat de utilaje în întreg ciclul de viață (cultivare, udare, aplicare fertilizator, îngrijire pe perioada dezvoltării, recoltare, uscare, transportare către fabrica producătoare, managementul deșeurilor) al plantei din care se obține. Transportul maculaturii de la furnizori către fabrica de hârtie unde are loc și etapa de sortare contribuie de asemenea la impact, contribuția sa fiind de aproximativ 2%.

Emisiile anorganice în aer influențează potențialul de acidificare în proporție de 99,99%. Pentru generarea a 70,7% din acestea este responsabil procesul de fabricație a hârtiei capac, emisiile semnificative fiind cele de SO₂ a căror contribuție la potențialul de acidificare este de aproximativ 65,5% din totalul emisiilor. Emisii importante de SO₂ mai sunt generate și în alte procese unitare în proporție de aproximativ 23,7%, cele mai semnificative fiind: 16% în urma consumului de gaz natural și 5,3% după consumul de electricitate.

Influența proceselor unitare asupra potențialului de eutrofizare: La această categorie de impact ca procese unitare responsabile se pot menționa procesul unitar de fabricație a hârtiei capac și chimicalele, ultimul cu o contribuție de 37,7%. Consumul de electricitate afectează mai puțin această categorie de impact 12%, la care se poate adăuga etapa de transport 9%, principalul impact fiind derivat din utilizarea și consumul combustibilului necesar pentru o astfel de etapă. Impact destul de redus în potențialul de eutrofizare este atribuit consumului de gaz natural la producerea aburului pentru mașina de hârtie (1,4%). În ceea ce privește substanțele care afectează categoria de impact, responsabile sunt atât emisiile în aer cât și emisiile în apă. Emisiile în aer au o contribuție totală la potențialul de eutrofizare de aproximativ 51%, din care cele mai reprezentative sunt emisiile de NO₂ și NO eliberate la obținerea energiei termice, contribuțiile lor fiind de 23% respectiv 21%. Emisiile în apă (eliberate după tratarea apelor reziduale) prin emisiile de COD și BOD au o contribuție puțin mai scăzută, 8% respectiv 6%. Emisiile de NO₂ provin și din alte procese unitare precum transportul materiei prime în urma căruia sunt eliberate 7% din total sau consumul de electricitate de unde sunt generate emisii în proporție de aproximativ 10%.

Influența proceselor unitare asupra potențialului de încălzire globală: Consumul de energie electrică la prepararea pastei de maculatură are o contribuție importantă (45%) la încălzirea globală. Procesul de fabricație a hârtiei capac contribuie la potențialul de încălzire globală cu aproximativ 23,8%. La acesta se pot adăuga influențele gazului natural utilizat la producerea aburului 6%, a etapei de transport a maculaturii 6,3% și a chimicalele datorită impactului cauzat de combustibilul utilizat în obținerea lor. Emisiile de CO₂ au fost identificate ca fiind principalele elemente responsabile de impact, contribuția calculată fiind de aproximativ 88,6%. 23,8% din emisiile de CO₂ provin din procesul unitar de fabricație a hârtiei îndeosebi din incinerarea deșeurilor în cazanele speciale pentru a recupera energia, 6% de la arderea combustibililor în etapa de transport, în timp ce 43% sunt eliberate în urma consumului de electricitate.

Influența proceselor unitare asupra potențialului de toxicitate umană: Deși în mod normal putem afirma că prelucrarea produselor papetare nu afectează și nici nu trebuie să afecteze sănătatea umană, în urma evaluării detaliate a categoriei de impact s-a putut observa că procesele unitare care afectează preponderent categoria de impact sunt consumul de electricitate 42% și consumul de gaz natural 39%. La acestea se adaugă în proporție de aproximativ 2%

contribuția etapei de transport a maculaturii prin emisiile de gaze rezultate din arderea incompletă restul contribuțiilor fiind atribuite în proporții mici celorlalte procese unitare.

Responsabile de toxicitatea umană s-au dovedit a fi emisiile în aer care au o contribuție de 45,3% din care 38,3% sunt atribuite emisiilor de metale grele. Contribuții remarcabile a emisiilor de metale grele s-au calculat în urma consumului de electricitate (25%) la care se pot adăuga influențele scăzute dar totuși existente a etapei de transport (1%). Emisiile în apă afectează și ele toxicitatea umană 42,8%, 37,7% fiind emisii anorganice. Aceste emisii rezultă îndeosebi în urma consumului de gaz natural - 37,3%. Procesul efectiv de fabricare a hârtiei capac din maculatură cu nivel de contaminare 5% contribuie foarte puțin la această categorie de impact, 1%, prin emisii de SO₂ 0,45%, NO₂ 0,63% și particulele de praf 0,005%.

Influența proceselor unitare asupra potențialului de formare a ozonului foto-chimic: Procesul de fabricație a hârtiei contribuie cu aproximativ 60,7% la potențialul de formare a ozonului foto-chimic, urmat de consumul de gaz natural 17,8%, electricitate 9%, transport maculatură 4,5%. Cu o pondere de 75%, emisiile de SO₂ sunt responsabile de formarea ozonului foto-chimic, 55,3% fiind eliberate în etapa de fabricație și 20% din celelalte procese componente (Ex: 13,6% în urma consumului de gaz natural, 4,5% după consumul de electricitate).

Influența proceselor unitare asupra potențialului de epuizare a resurselor abiotice: Epuizarea resurselor abiotice este total dominată așa cum era și de așteptat de consumul de resurse energetice în special resurse ne-regenerabile a căror contribuție la impact este de 99,98%. Din acest procent, 5,3% sunt consumate în etapa de transport, 41,5% la consumul de gaz natural și 31,3% la consumul de electricitate. Consumul de gaz natural și electricitate rămân unii dintre consumatorii semnificativi de resurse non-regenerabile.

5.5.2.2 Influența proceselor unitare - modele simulate cu 4, 6, 8, 10% contaminanți

La evaluarea comparativă a impactului de mediu în cazul fabricării hârtiei capac pentru carton ondulat în diferite scenarii de contaminare, s-a putut observa că odată cu modificarea calității materiei prime utilizate (care a implicat consumuri mai mari de energie, de maculatură, apă, generează mai multe deșeuri și emisii) impactul de mediu a crescut de la scenariu la scenariu, efecte care se pot observa în rezultatele obținute din etapa de caracterizare (Tabelele 20-25). Procesele unitare care influențează categoriile de impact au rămas aceleași ca și în cazul de referință însă contribuția lor la fiecare categorie de impact a variat.

Impactul calității maculaturii asupra potențialului de acidificare și a emisiilor de SO₂ generate: O analiză detaliată a categoriei de impact a arătat că emisiile care contribuie la potențialul de acidificare (AP) sunt în principal oxizi anorganici (SO₂, NO_x) care rezultă din arderea combustibililor și sunt convertiți în SO₂ echivalenți.

Odată cu modificarea nivelului de contaminare a maculaturii de la 4% la 10% atât potențialul de acidificare cât și emisiile de SO₂ care influențează majoritar categoria de impact cresc cu aproximativ 16%. Emisiile directe de SO₂ contribuie la potențialul de acidificare în proporție de aproximativ 70% și principalele lor surse sunt procesul unitar de fabricație a hârtiei (care implică operațiunile principale și procesele legate de prelucrarea maculaturii, producția de hârtie, generarea de aburi și tratarea apelor reziduale și a deșeurilor) și consumul de gaz natural.

Figura 55 prezintă sub forma valorilor absolute, modificările potențialului de acidificare și ale emisiilor directe de SO₂ în funcție de conținutul de materiale neutilizabile. În acord cu rezultatele obținute, creșterea conținutului de contaminanți duce la producerea unor cantități mai mari de substanțe acidifiante emise în atmosferă, ceea ce face ca utilizarea maculaturii cu un conținut de contaminanți mai scăzut (4%) să fie mai avantajoasă decât cea cu un conținut de 10% contaminanți. Procesul unitar de fabricație a hârtiei generează emisii de SO₂ în special la producerea aburului în boiler prin arderea deșeurilor cu recuperarea energiei termice, utilizând gazul natural pentru completarea necesarului de combustibil. Figura 56 redă contribuțiile

procentuale ale principalelor procese unitare care generează emisiile directe de SO₂, emisii ce afectează preponderent potențialul de acidificare.

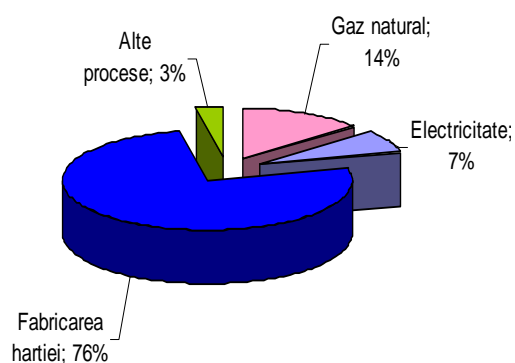
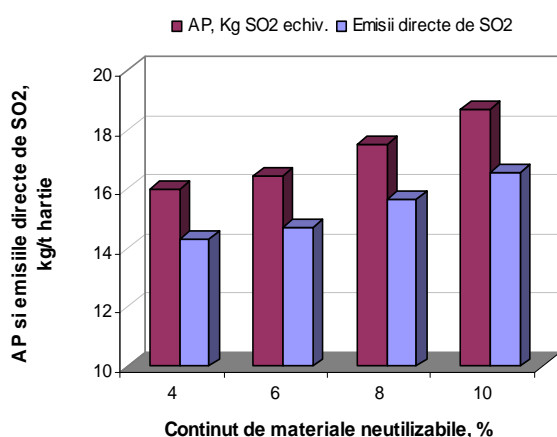


Figura 55: Modificarea potențialului de acidificare și a emisiilor directe de SO₂ în funcție de conținutul de materiale neutilizabile

Figura 56: Contribuțiile procentuale ale principalelor procese unitare care generează emisii directe de SO₂ (* Alte procese: transport maculatură, transport intern, consum apă)

Impactul calității maculaturii asupra potențialului de eutrofizare și a emisiilor de NO₂ respectiv BOD și COD: Creșterea conținutului de contaminanți de la 4 la 10% în maculatura utilizată ca materie primă la fabricarea hârtiei capac, duce la o creștere a potențialului de eutrofizare (EP) cu aproximativ 17% dar și a emisiilor care influențează această categorie de impact. Potențialul de eutrofizare este o consecință a emisiilor în aer și apă care produce o îmbogățire cu nutrienți. Astfel, pentru cazul particular de fabricare a hârtiei capac din loturi de maculatură cu diferite grade de contaminare emisiile care influențează categoria de impact sunt emisiile în aer de tipul NO₂ și NO respectiv emisiile în apă BOD și COD, care sunt transformate în Kg fosfat echiv.

Emisiile directe de NO₂ sunt emisiile rezultate la recuperarea energiei termice și contribuie la potențialul de eutrofizare în proporție medie de 24%, în timp ce emisiile de NO rezultate în urma consumului de electricitate au o pondere medie de aproximativ 22%. Emisiile de BOD respectiv COD generate în procesul de fabricație a hârtiei îndeosebi la tratarea apelor reziduale prezintă contribuții la potențialul de eutrofizare de aproximativ 6,4% respectiv 8,6%. În Figura 57 sunt redată sub forma valorilor absolute modificările potențialului de eutrofizare și ale emisiilor de NO₂, BOD respectiv COD rezultate din procesul de fabricație a hârtiei în funcție de conținutul de materiale neutilizabile, iar în Figura 58 sunt redată contribuțiile principalelor procese unitare care afectează categoria de impact.

Importanța consumului de electricitate în potențialul de eutrofizare a fost evidențiată ca fiind responsabilă de potențialul de eutrofizare și în studii asemănătoare elaborate de Ekwall în 1996, sau Frees și colaboratorii săi în 2004 (Frees *et al*, 2004).

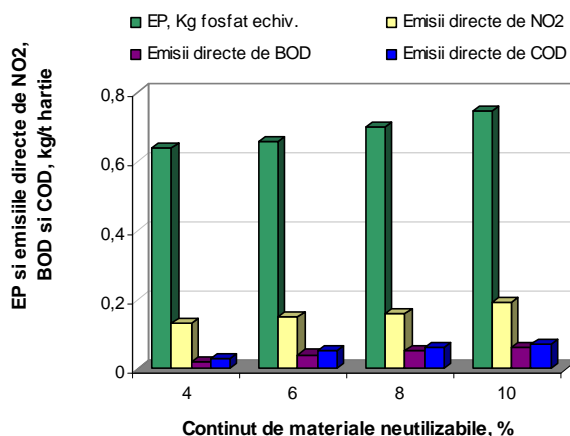


Figura 57: Modificarea potențialului de eutrofizare și a emisiilor directe de NO₂, BOD și COD în funcție de conținutul de materiale neutilizabile

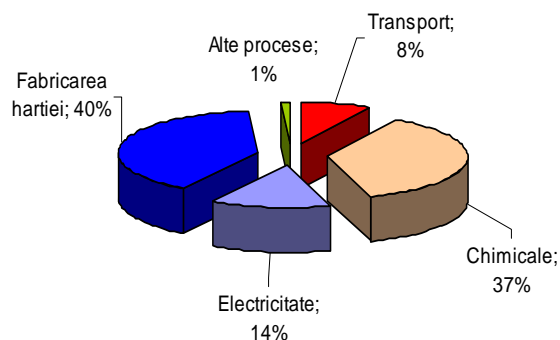


Figura 58: Contribuțiile procentuale ale principalelor procese unitare care influențează EP (* Alte procese: gaz natural, transport intern, consum apă)

Impactul calității maculaturii asupra potențialului de încălzire globală și a emisiilor de CO₂: Când nivelul de contaminare a maculaturii crește de la 4 la 10% potențialul de încălzire globală (GWP) crește cu 23%, iar emisiile directe de CO₂ cresc cu aproximativ 27%. Emisiile care contribuie la potențialul de încălzire globală sunt emisiile de CO₂, N₂O, CH₄, CFC (Chlorofluorocarbon), HCFC (Hydrochlorofluorocarbon) care sunt convertite în CO₂ echivalenți. Pentru a înțelege mai bine modificările care au loc în potențialul de încălzire globală cât și în emisiile directe de CO₂, variațiile acestora sunt reprezentate grafic în Figura 59.

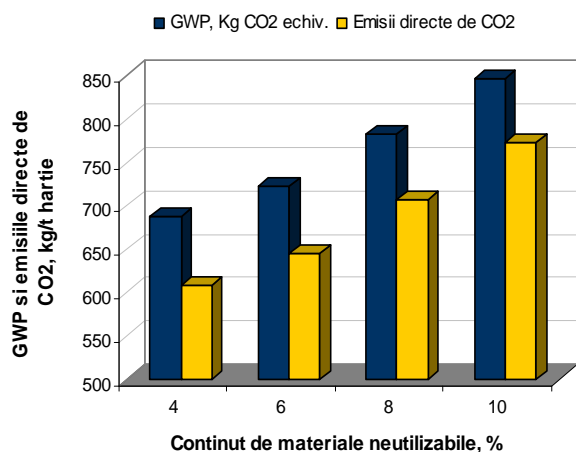


Figura 59: Modificările GWP și a emisiilor directe de CO₂ în funcție de conținutul de materiale neutilizabile

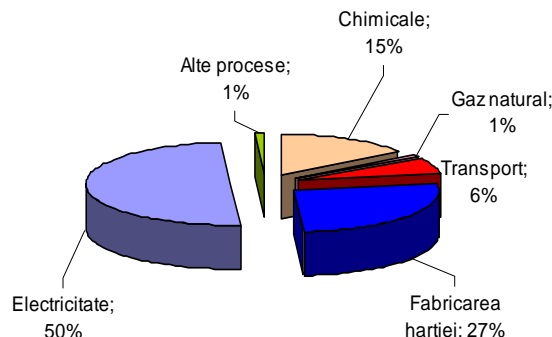


Figura 60: Contribuțiile medii ale proceselor unitare responsabile de emisiile directe de CO₂ în GWP (* Alte procese: transport inter, consum apă)

Emisiile directe de CO₂ sunt cele care contribuie la potențialul de încălzire globală în proporție de 90%. Energia electrică consumată la procesarea maculaturii (prepararea pastei din fibre reciclate) contribuie în medie cu aproximativ 50% la emisiile directe de CO₂, care sunt responsabile pentru creșterea potențialului de încălzire globală odată cu mărirea conținutului de materiale neutilizabile în maculatură. După cum se poate observa din Figura 60 contribuția

medie a procesului unitar de fabricație a hârtiei este de 27%, emisiile de CO₂ datorându-se în principal producției de abur. Emisiile de CO₂ atribuite chimicalelor (o medie de 15%) provin în principal de la producția lor și etapa de transport a maculaturii de la centrul de colectare la fabrica de hârtie. Creșterea nivelului de contaminare a maculaturii de la primul scenariu simulat (4% contaminanți) la ultimul scenariu simulat (10% contaminanți) influențează GWP, care se datorează în proporție de 36% consumului de electricitate (care implică un consum mai mare de energie electrică în etapa de procesare a maculaturii), în proporție de 41% etapei de transport a maculaturii de la centrul de colectare la fabrica de hârtie unde are loc etapa de sortare (o contaminare mai mare înseamnă mai multe refuzuri transportate către fabrica de hârtie), și în proporție de 25% procesului unitar de fabricație a hârtiei (care presupune un volum mai mare de deșeuri solide introduse în bolier). Contribuțiile chimicalelor și a gazului natural nu prezintă modificări substanțiale odată cu creșterea conținutului de contaminanți din maculatură.

Impactul calității maculaturii asupra potențialului de toxicitate umană și a emisiilor de metale grele: Odată cu deteriorarea calității maculaturii prelucrate, potențialul de toxicitate umană (HTP) crește, aspect care se concretizează și în cantități mult mai mari de metale grele identificate ca fiind principalele substanțe cauzatoare de impact. Aceste emisii de metale grele sunt convertite în Kg DCB (diclorbenzen) echivalenți. Modificările potențialului de toxicitate umană respectiv a emisiilor de metale grele în funcție de conținutul de materiale neutilizabile se prezintă grafic în Figura 61.

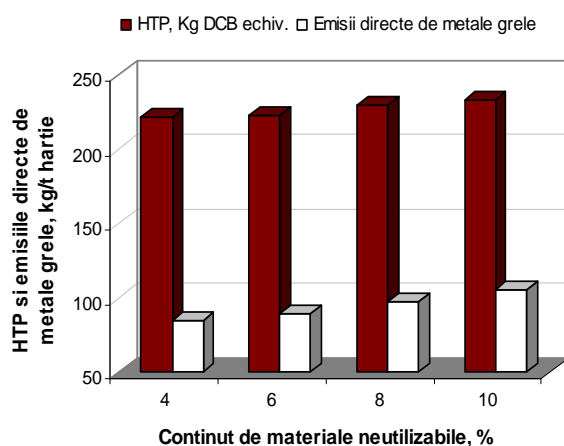


Figura 61: Modificările HTP și a emisiilor directe de metale grele în funcție de conținutul de materiale neutilizabile

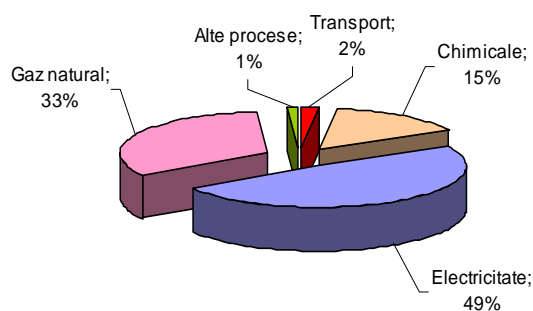


Figura 62: Contribuțiile medii ale proceselor unitare care generează emisiile directe de metale grele în HTP (* Alte procese: fabricarea hârtiei, transport intern, consum apă)

Energia electrică contribuie în medie cu aproximativ 49% la emisiile directe de metale grele, emisii responsabile de potențialul de toxicitate umană. Contribuția medie a procesului unitar alături de celelalte procese care favorizează apariția metalelor grele în potențialul de toxicitate umană este prezentată în Figura 62. Emisiile de metale grele atribuite chimicalelor provin îndeosebi de la producerea lor. Influențe importante la emisiile de metale grele în potențialul de toxicitate umană sunt atribuite consumului de gaz natural pentru producerea aburului, la care se adaugă contribuția mai scăzută dar totuși prezentă a etapei de transport a maculaturii. Impactul scăzut a etapei de transport în analiza potențialului de toxicitate umană s-a regăsit și în studii asemănătoare, printre care studiul realizat de Tillman și colaboratorii săi în anul 1991 (Tillman et al, 1991) care au indicat în studiul lor o contribuție a procesului unitar în jurul valorii de 2%.

Impactul calității maculaturii asupra potențialului de formare a ozonului fotochimic și a emisiilor directe de SO₂: Înrăutățirea calității maculaturii utilizate ca materie primă prin creșterea conținutului de materiale neutilizabile de la 4% la 10% determină modificări ale valorilor absolute obținute pentru potențialul de formare a ozonului foto-chimic (POCP) respectiv pentru emisiile de SO₂ responsabile de această categorie de impact. Emisiile directe de SO₂ contribuie la potențialul de formare a ozonului foto-chimic în proporție de 76%, principalele surse de generare fiind procesul unitar de fabricație a hârtiei capac și consumul de gaz natural. Pentru analiza categoriei de impact emisiile directe de SO₂ sunt convertite în Kg etenă echivalenți. Figura 63 prezintă sub forma valorilor absolute modificările potențialului de formare a ozonului foto-chimic și ale emisiilor directe de SO₂ ce caracterizează majoritar categoria de impact în funcție de conținutul de materiale neutilizabile. Procesul unitar de fabricație a hârtiei capac generează emisii de SO₂ la producerea aburului prin arderea deșeurilor cu recuperarea energiei termice. Figura 64 prezintă contribuțiile medii ale principalelor procese unitare de unde sunt eliberate emisiile directe de SO₂ care afectează potențialul de formare a ozonului foto-chimic.

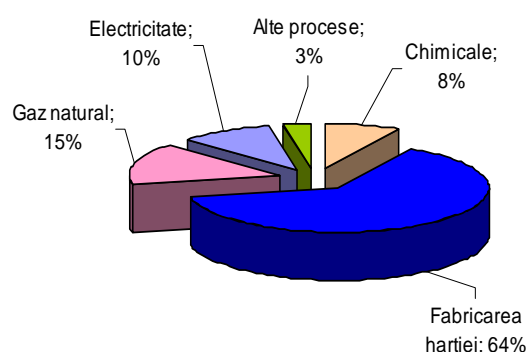
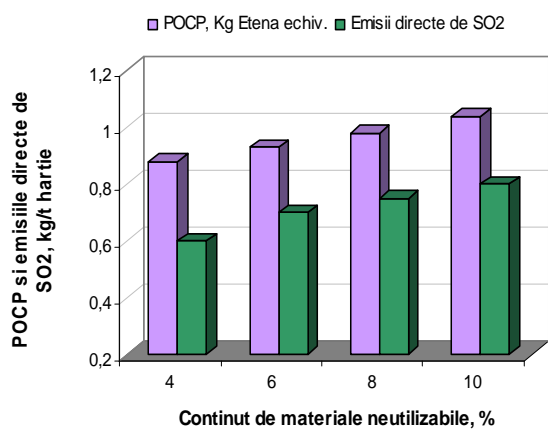


Figura 63: Modificarea POCP și a emisiilor directe de SO₂ în funcție de conținutul de materiale neutilizabile

Figura 64: Contribuțiile medii ale principalelor procese unitare responsabile de emisiile directe de SO₂ în POCP (* Alte procese: transport maculatură, transport intern, consum apă)

Impactul calității maculaturii asupra potențialului de epuizare a resurselor abiotice: Un procent ridicat din impactul total în epuizarea resurselor abiotice a fost atribuit consumului de gaz natural și electricitate. Contribuțiile medii ale proceselor unitare care contribuie la consumul resurselor non - regenerabile sunt redată în Figura 65.

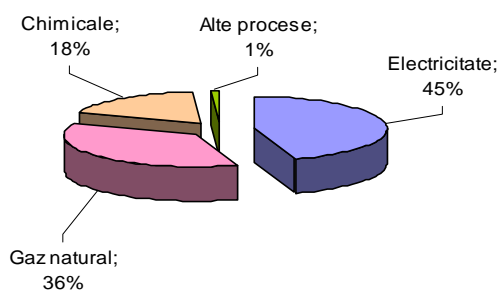


Figura 65: Contribuțiile medii ale proceselor unitare care contribuie la consumul resurselor non-regenerabile

6. EVALUAREA IMPACTULUI DE MEDIU LA FABRICAREA CARTONULUI ONDULAT DIN DIFERITE MATERIALE PAPETARE

Studiul privind influența calității maculaturii asupra impactului de mediu a evidențiat clar o creștere a impacturilor în aproximativ toate categoriile de impact analizate odată cu înrăutățirea calității maculaturii. Produsul luat în studiu, hârtia capac, este un semifabricat care se utilizează la fabricarea cartonului ondulat și a ambalajelor din carton ondulat. În acest context, s-a considerat interesant în paralel să se analizeze impactul de mediu la fabricarea cartonului ondulat unde hârtia capac reprezintă numai una dintre componentele acestuia ținând seama de utilizarea finală. În plus, hârtia capac pentru carton ondulat se fabrică în mai multe variante astfel că evaluarea impactului de mediu ar aduce influențe în plus asupra oportunității utilizării fibrelor reciclate în proporții mai mari sau mai mici la fabricarea hârtiei capac. Pentru evaluarea impactului de mediu s-a utilizat aceiași metodologie de evaluare LCA, diferența fiind făcută de datele de inventar utilizate.

6.1 Descrierea sistemului produs

Pentru a obține rezultate cât mai aproape de adevăr, în evaluarea impactului de mediu la fabricarea cartonului ondulat, trebuie să se țină cont de fiecare etapă importantă a ciclului de viață, începând chiar cu extracția materiilor prime pentru fiecare component papetar. Materiile prime fibroase utilizate la fabricarea hârtiei miez și a hârtiei capac pot fi paste din fibre virgine și / sau paste din fibre reciclate, fiecare din acestea având parcursuri diferite pe întreg ciclul de viață:

Lemnul: Procesul de fabricare a hârtilor componente începe de fapt cu defrișarea lemnului din pădure și transportul acestuia către fabrică. De cele mai multe ori lemnul este livrat către fabrică sub formă de bușteni, însă o parte substanțială este adusă sub formă de așchii. Ulterior, buștenilor li se aplică un proces de decojire iar așchiile se tratează. Fibrele virgine ca sursă de materie primă pentru hârtiile componente ale cartonului ondulat trebuie să fie analizate sub diferite aspecte: tipul arborilor utilizați, recoltarea lemnului, transportul lemnului din pădure la fabrică, procesul de obținere a pastei fibroase și prelucrarea acesteia pentru producția de hârtie. Fiecare verigă din acest ciclu necesită analize detaliate. Complexitatea proceselor de obținere a pastei fibroase diferă foarte mult în funcție de tipul de pastă fibroasă, respectiv dacă sunt paste de mare randament (pastă mecanică de defibrator sau pastă termo- mecanică, chimico-termo-mecanică) sau paste dezincrustate chimic. În structura lemnului, fibrele de celuloză sunt legate împreună într-o matrice de lignină și alte incruste, iar separarea lor din această structură se face prin furnizarea de energie mecanică, termică și chimică în proporții foarte diferite de la un proces la altul. Pe lângă consumurile de lemn, energie, chimicale și apă la fabricarea pastei din fibre virgine se generează emisii în aer, apă și sol, care trebuie considerate în evaluarea impactului de mediu.

Hârtia recuperată: Pe de altă parte, și obținerea pastelor din fibre reciclate utilizate ca materie primă în fabricarea hârtiilor testliner și wellenstoff are un parcurs complex și anume: colectarea maculaturii generată din diferite surse; depozitarea, sortarea pe grupe și sortimente de maculatură, livrare (baloți sau vrac) și transportul la fabrica de hârtie (diferite mijloace de transport); controlul de calitate la recepție și eliminarea materialelor care nu sunt reciclabile când rezultă deșeuri de natură diferită; prelucrarea maculaturii prin destrămarea, sortare / epurare și alte tratamente specifice. În urma acestora se obține pasta fibroasă care se alimentează la mașina de fabricat hârtie, precum și emisii lichide (apă uzată) și solide (refuzuri de la sortare / epurare, nămol, etc).

Hârtia testliner este hârtia capac fabricată din maculatură sau cu adaos majoritar de maculatură care răspunde unor caracteristici impuse. Poate fi mono-sau multi strat, și spre deosebire de hârtia kraftliner are caracteristici de rezistență inferioare. Cu toate acestea,

fabricarea acestui tip de hârtie trebuie să confere proprietăți de rezistență cartonului ondulat, să permită imprimarea, caracteristici care sunt larg cerute de utilizatori.

Hârtia kraftliner este fabricată din cel puțin 80% celuloză sulfat rezistentă și în consecință se remarcă prin caracteristici superioare de rezistențe ridicate la plesnire și printr-o permeabilitate bună, manifestă o comportare bună la pliere și din acest motiv este pe deplin preferată de producătorii de carton ondulat (Gavrilescu și Toth, 2007).

Hârtia wellenstoff poate fi de asemenea mono sau multi strat, sortimentul de hârtie miez fiind fabricat în zilele noastre preponderent din maculatură, deoarece hârtia miez din semiceluloză are un preț destul de ridicat. Utilizarea maculaturii ca materie primă la fabricarea hârtiilor pentru cartonul ondulat a determinat inevitabil și scăderea caracteristicilor de rezistență, motiv pentru care pentru a reobține proprietăți bune de rezistență acestui tip de hârtie i se aplică un tratament cu soluții de amidon în partea de presare.

Cartonul ondulat este un produs papetar complex ca structură și compoziție fibroasă, la fabricarea căruia se folosesc hârtia strat pentru ondule (hârtia miez), hârtia strat neted (hârtia capac) și unele materiale auxiliare, precum cleiul de amidon și aditivi pentru tratamente speciale. Cartonul ondulat se obține printr-o tehnologie specială, care constă din mai multe faze: condiționarea hârtiilor, ondularea hârtiei miez, aplicarea cleiului și lipirea hârtiei capac, uscarea și finisarea cartonului (Gavrilescu și Toth, 2007).

6.2 Definirea scopului și a domeniului

Prezentul studiu a vizat analiza, cuantificarea și compararea impactului de mediu asociat etapei de fabricare a cartonului ondulat din diferite hârtii componente (hârtie strat ondulat și hârtie strat neted) care au la bază diferite compoziții fibroase (fibre virgine și fibre reciclate). Analiza s-a axat pe o combinație cunoscută de hârtie strat neted (kraftliner pe bază de fibre virgine cu conținut scăzut de fibre reciclate; hârtie testliner bazată pe fibre reciclate) și hârtie strat ondulat (wellenstoff din 100% fibre reciclate) pentru producția de carton ondulat.

Limitele sistemului s-au stabilit considerând un studiu de tip „cradle-to-gate” care acoperă etape importante din ciclul de viață al produselor papetare, de la extracția materiilor prime, transport, procesare, destrămarea și prepararea pastelor din fibre virgine și reciclate, la fabricarea cartonului ondulat și a hârtiilor componente, etape prezentate succint în Figura 66.

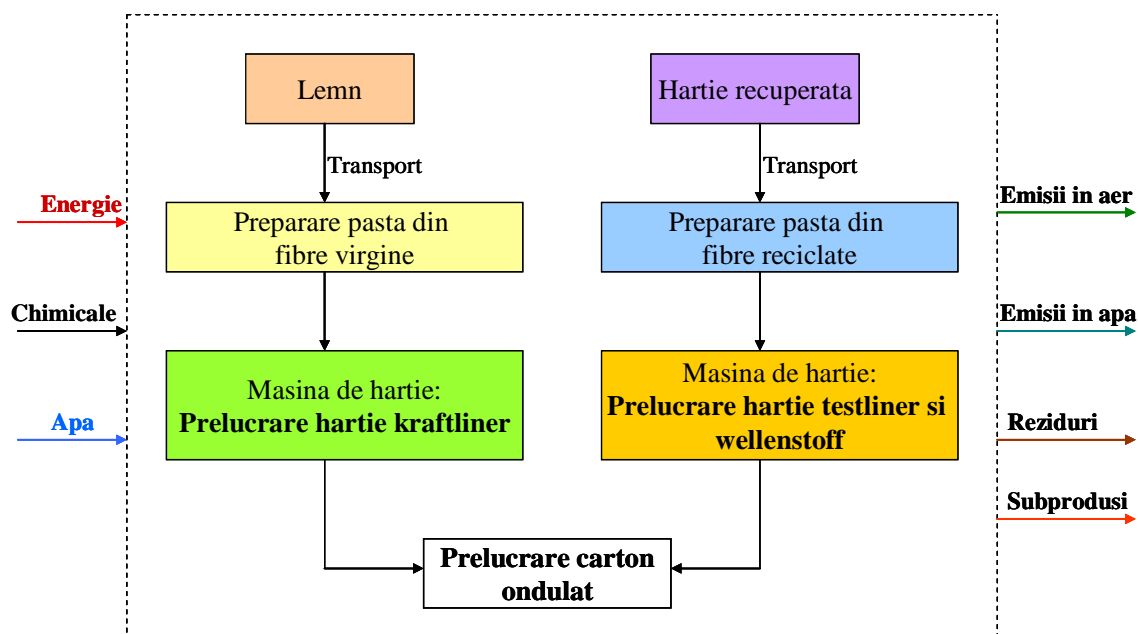


Figura 66: Limitele sistemului considerat în analiză

Au fost totuși și etape care s-au exclus dintre limitele sistemului precum etapa de distribuție către consumator / utilizator, etapa de utilizare, recilare sau eliminare finală. Construcția și întreținerea clădirilor, mașinile, drumurile dar și utilajele folosite la plantațiile forestiere au fost de asemenea excluse din limitele sistemului. Mai exact, ca limite a sistemului s-a luat spre evaluare în fiecare caz în parte etapa de prelucrare în fabrica de hârtie respectiv în instalațiile de fabricare a cartonului ondulat.

Unitatea funcțională: Unitatea de referință la care s-au raportat toate intrările și ieșirile din sistem s-a considerat a fi **etapa de fabricare a unei tone din fiecare component papetar și a unei tone de carton ondulat.**

6.3 Date de inventar. Analiza calității datelor

Pentru a obține rezultate fiabile, a fost necesar să se utilizeze date de o calitate ridicată. Din acest motiv, datele prelucrate în acest studiu au fost preluate din baza de date FEFCO (FEFCO, 2009), bază de date specializată pentru cartonul ondulat și componentele sale papetare, disponibilă on line la <http://www.fefco.org>, date care au fost raportate ca medii anuale pentru anul 2008. Datele colectate includ informații privind materiile prime (lemn și maculatură), chimicale, energie, apă, emisii în aer, apă - prepararea pastei, fabricarea hârtiei și a cartonului ondulat. Pentru etapa de transport, a fost luat în considerare numai transportul materiilor prime și nu a fost inclus transportul rezidurilor. Deoarece fabricile nu au furnizat informații concrete despre tipurile de camioane utilizate, pentru transportul lemnului din pădure către fabrică, sau a maculaturii de la centrele de colectare la fabrică, pe baza informațiilor din literatura de specialitate dar și din studii asemănătoare, s-a presupus că acestea au o capacitate mai mare de 16 tone. Pentru transportul maculaturii, s-au luat în calcul distanțele de la furnizori către fabricile producătoare, pentru camioanele utilizate estimându-se ca la întoarcere 40% revin goale. Mai mult decât atât, refuzurile la descernelizare și refuzurile relaționate etapelor de fabricare a pastei și a hârtiei, nu au fost luate în considerare, deoarece nu s-au găsit informații concrete despre ele. Pentru modelare s-a utilizat sistemul software GaBi în versiunea 4.3. iar majoritatea proceselor unitare au fost preluate din baza de date Ecoinvent.

6.4 Evaluarea impactului de mediu

Pe baza domeniului stabilit s-a ajuns la concluzia că un set complet de categorii de impact asupra mediului ar putea fi investigate. În scopul comunicării succinte a rezultatelor studiului următoarele categorii de impact s-au ales pentru analiză ținând cont de priorităților în probleme legate de durabilitate: ▪ Potențialul de epuizare a resurselor abiotice (ADP); ▪ Potențialul de acidificare (AP); ▪ Potențialul de eutrofizare (EP); ▪ Potențialul de eco-toxicitate a apei (FAETP); ▪ Potențialul de încălzire globală (GWP); ▪ Potențialul de toxicitate umană (HTP); ▪ Potențialul de distrugere a stratului de ozon (ODP); ▪ Potențialul de formare a ozonului fotochimic (POCP) și ▪ Potențialul de eco-toxicitate terestră (TETP).

Potențialul de impact a fost calculat utilizând factorii de caracterizare ai metodologiei CML 2001, Dec.07, utilizată și în primul studiu de caz prezentat. Pentru a identifica care dintre categoriile de impact sunt cele mai semnificativ afectate, rezultatele caracterizate au fost normalizate. Cu scopul de a explica rezultatele obținute, o analiză a substanțelor cu cea mai mare contribuție la categoria de impact semnificativă a fost de asemenea efectuată.

6.4.1 Evaluarea impactului de mediu la fabricarea cartonului ondulat

Pe baza modelării în sistemul software GaBi versiunea 4.3. s-a evaluat fiecare categorie de impact în parte. Reprezentările grafice din Figurile 67 – 70 prezintă contribuțiile proceselor

unitare de bază implicate în producția cartonului ondulat și a componentelor sale papetare, pentru diferite categorii de impact.

Figurile 67a și 67b prezintă dintr-o perspectivă “cradle-to-gate” contribuțiile diferitelor procese unitare implicate în fabricarea cartonului ondulat pentru diferite categorii de impact. Analiza s-a realizat pentru o compoziție prestabilită a cartonului ondulat: 32% kraftliner, 32% testliner și 36% wellenstoff. Din Figura 67a se poate observa cu ușurință că în majoritatea cazurilor, categorii de impact ca AP, EP, GWP, HTP și POCP, sunt influențate de tipul de fibre folosite în fabricarea componentelor papetare, dar cu intensități diferite. Astfel, tipul de fibre utilizate au următoarele contribuții: 64,3% în GWP, 45,6% în EP, 33,2% în AP și într-o proporție mai scăzută de doar 21,3% în POCP. O analiză mai detaliată cu privire la influența tipului de hârtie utilizată evidențiază că hârtia de tip kraftliner (bazată în principal pe fibre celulozice virgine, cu un conținut scăzut de fibre reciclate) are cel mai mare impact asupra mediului, urmată de hârtia testliner (bazată parțial pe fibre virgine și parțial pe fibre reciclate). Hârtia de tip wellenstoff care este obținută 100% din fibre reciclate are cea mai mică contribuție la toate aceste categorii de impact. Chimicalele utilizate în diferite etape din ciclul de viață al cartonului ondulat au de asemenea contribuții importante la impactul de mediu. Analiza rezultatelor obținute a evidențiat că tipul componentelor papetare utilizate la fabricarea cartonului ondulat nu influențează categorii de impact ca ADP, FAETP, ODP și TETP, pentru care energia consumată (sub formă de electricitate), chimicalele și consumul de gaz natural au cea mai mare pondere.

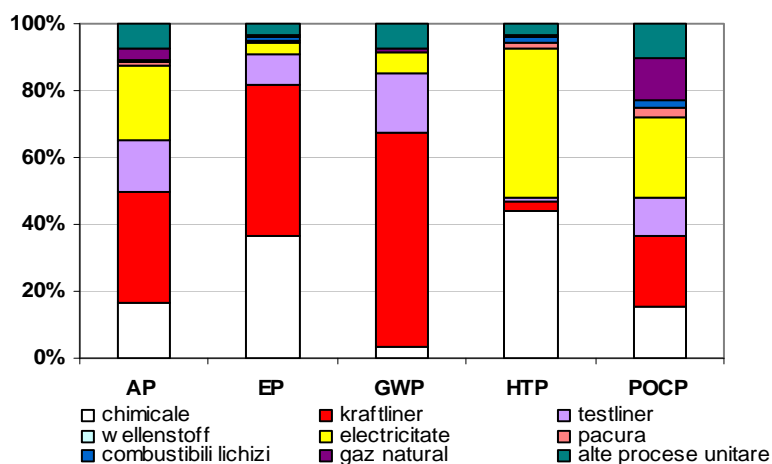


Figura 67a: Contribuțiile proceselor unitare de bază implicate în prelucrarea cartonului ondulat care afectează categorii de impact ca: AP, EP, GWP, HTP, POCP (Alte procese: apă, transport intern, abur)

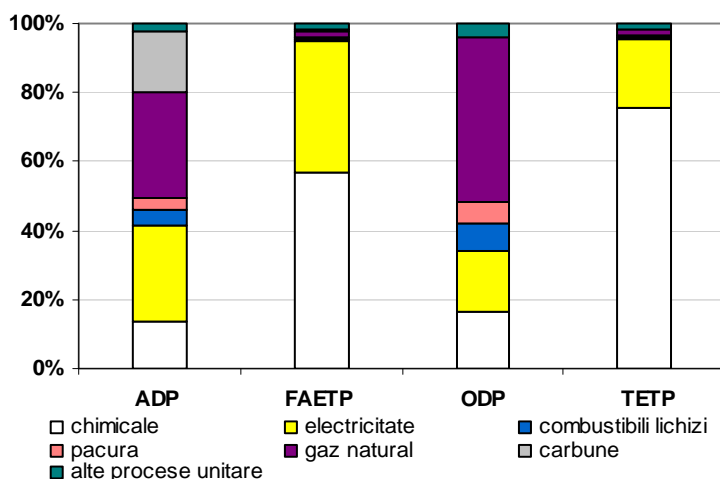


Figura 67b: Contribuțiile proceselor unitare de bază implicate în prelucrarea cartonului ondulat care afectează categorii de impact ca: ADP, FAETP, ODP și TETP (Alte procese: apă, abur)

6.4.2 Evaluarea impactului de mediu la fabricarea hârtiei kraftliner

Pentru a explica în detaliu influența materiei prime fibroase care este responsabilă majoritară de impactul asupra mediului la fabricarea cartonului ondulat, pentru aceleași categorii de impact s-a analizat impactul de mediu asociat fabricării fiecărui component papetar în parte (kraftliner, testliner și wellenstoff).

Pentru cazul fabricării hârtiei kraftliner (Figurile 68a, b) este evident că cea mai mare parte a categoriilor de impact sunt influențate de utilizarea hârtiei recuperate ca materie primă. Influența materiilor prime fibroase se face resimțită în proporții diferite în categorii de impact ca: TETP – 79%, HTP – 67%, FAETP - 66%, EP - 60%, ODP – 55%, POCP – 51,5%. Influențele în ADP – 49,4% și GWP – 47% sunt mai scăzute. Având în vedere că hârtia kraftliner are cea mai mare contribuție la efectele asupra mediului asociate cu producția de carton ondulat (Figurile 67a, b), aceste rezultate sunt greu de explicat. Cu toate acestea, s-ar putea considera că influența mare a hârtiei recuperate se datorează consumului de combustibil non-regenerabil la colectarea, transportul și prelucrarea acesteia, în timp ce producția de pastă kraft se bazează pe 100% energie din surse regenerabile. Electricitatea (energia consumată la arderea leșiei negre) este un alt proces unitar care afectează categorii de impact la fabricarea hârtiei kraftliner.

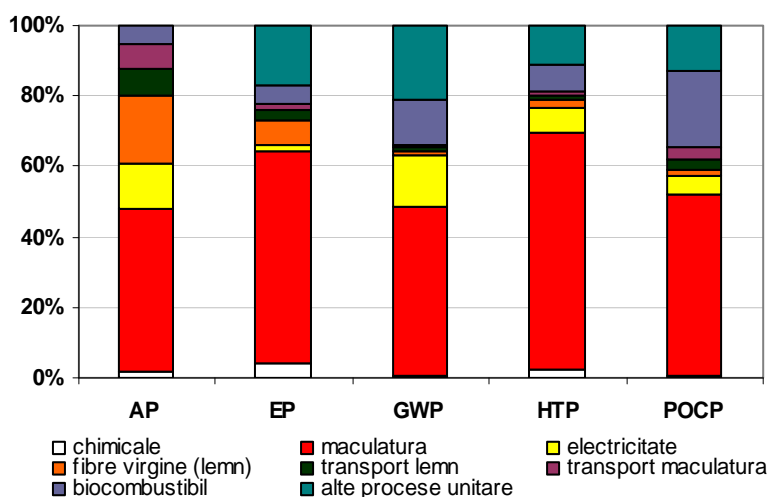


Figura 68a: Contribuțiile proceselor unitare de bază implicate în prelucrarea hârtiei kraftliner care afectează AP, EP, GWP, HTP, POCP (Alte procese: apă, combustibili din surse regenerabile)

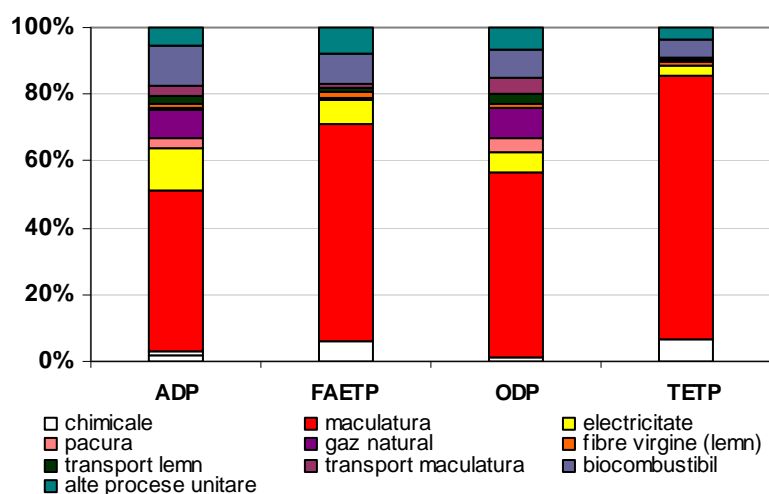


Figura 68b: Contribuțiile proceselor unitare de bază implicate în prelucrarea hârtiei kraftliner care afectează ADP, FAETP, ODP și TETP (Alte procese: apă)

6.4.3 Evaluarea impactului de mediu la fabricarea hârtiei testliner

În cazul procesului de fabricație a hârtiei testliner rezultatele arată că impactul asupra mediului este influențat în mare parte de intrările de energie, cum ar fi combustibilii fosili utilizați sub formă de gaze naturale, dar și de combustibilii utilizați la transport (Figurile 69a, 69b). Consumul de gaz natural afectează profund următoarele categorii de impact: ODP – 83,6%, GWP - 66%, ADP – 75,3%, POCP – 44,8%. Și celelalte categorii de impact sunt afectate de utilizarea gazului natural însă într-o proporție mai scăzută HTP – 34,4%, FAETP – 7,7%, EP – 5,3% și TETP – 4,7%. Utilizarea maculaturii la fabricarea hârtiei testliner nu afectează în mod semnificativ impactul asupra mediului. Dintre categoriile de impact afectate de utilizarea acesteia pot fi menționate EP – 24,2%, POCP - 13% și în proporție de doar 11% GWP. Chimicalele utilizate generează impact asupra eco-toxicității apei (45,3%), eco-toxicității terestre (45%) și potențialului de eutrofizare (56,3%). Etapa de transport a maculaturii prin consumul de combustibil generază impact remarcabil de aproximativ 30% în AP și 16% în POCP.

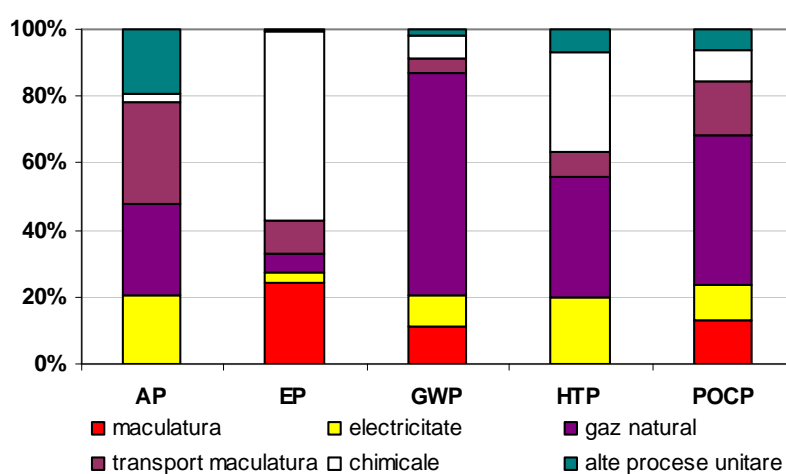


Figura 69a: Contribuțiile proceselor unitare de bază implicate în prelucrarea hârtiei testliner ce influențează AP, EP, GWP, HTP, POCP (Alte procese: transport intern, apă)

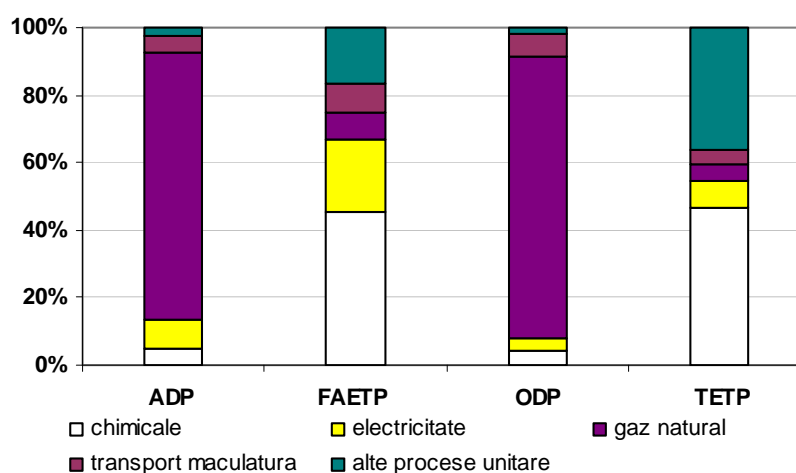


Figura 69b: Contribuțiile proceselor unitare de bază implicate în prelucrarea hârtiei testliner ce influențează ADP, FAETP, ODP și TETP (Alte procese: combustibili)

6.4.4 Evaluarea impactului de mediu la fabricarea hârtiei wellenstoff

În cazul fabricării hârtiei wellenstoff (Figurile 70a, 70b) majoritatea categoriilor de impact sunt influențate de utilizarea gazului natural sub formă de combustibil fosil. Cea mai mare influență s-a regăsit în cazul ODP – 83%, urmată de ADP – 72%, POCP – 45,5%, GWP -

66%, AP - 36% și HTP – 34,3%. Contribuții remarcabile au de asemenea chimicalele utilizate (impact generat în special la obținerea lor), electricitatea consumată și etapa de transport a maculaturii, care afectează EP, HTP, GWP, FAETP, TETP și POCP. De exemplu, chimicalele afectează în proporții remarcabile eco-toxicitatea terestră 70%, eco-toxicitatea apei 49%, potențialul de eutrofizare 39% și potențialul de toxicitate umană 30%. Pentru etapa de transport a maculaturii contribuții importante s-au regăsit în potențialul de acidificare, aproximativ 39%.

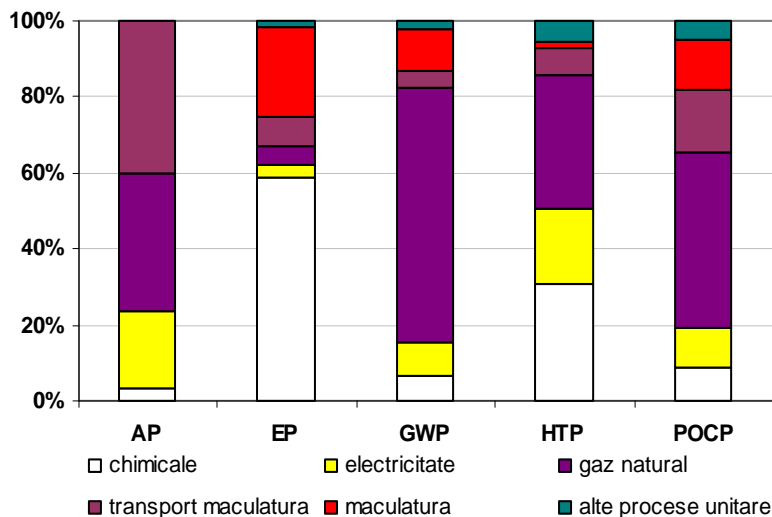


Figura 70a: Contribuțiile proceselor unitare de bază implicate în prelucrarea hârtiei wellenstoff care afectează AP, EP, GWP, HTP, POCP (Alte procese: apă, transport intern)

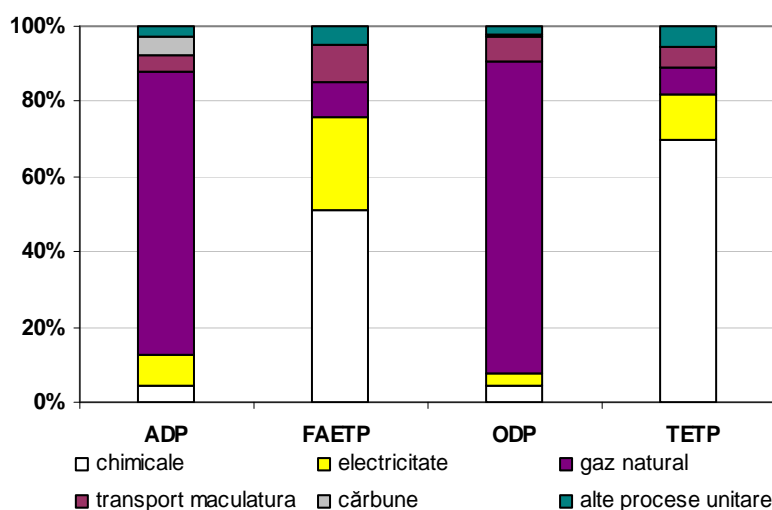


Figura 70b: Contribuțiile proceselor unitare de bază implicate în prelucrarea hârtiei wellenstoff care afectează ADP, FAETP, ODP și TETP (Alte procese: combustibili, apă)

6.4.5 Normalizarea rezultatelor

Pentru a identifica care dintre categoriile de impact analizate sunt cel mai semnificativ afectate, rezultatele obținute au fost normalizate în conformitate cu factorii de normalizare redați în Tabelul 27. Aceasta înseamnă că, categoriile de impact sunt împărțite la referință. Principalele categorii de impact normalizate în producția de carton ondulat și a componentelor sale papetare sunt prezentate în Figura 71, de unde se poate observa că cea mai afectată categorie de impact este potențialul de încălzire globală, motiv pentru care în continuare se detaliază această categorie de impact.

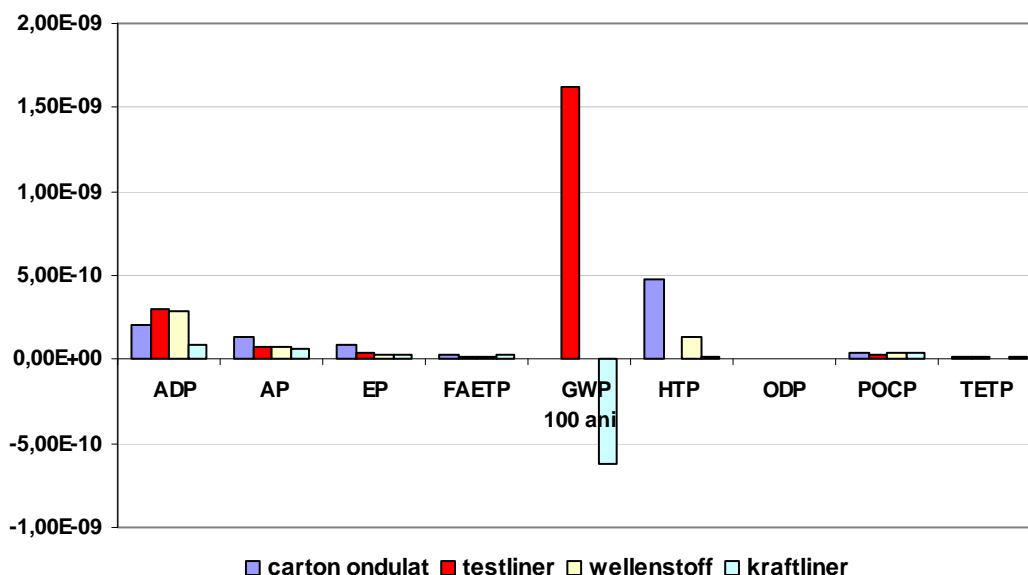


Figura 71: Impacturile de mediu prezentate ca rezultate normalizate

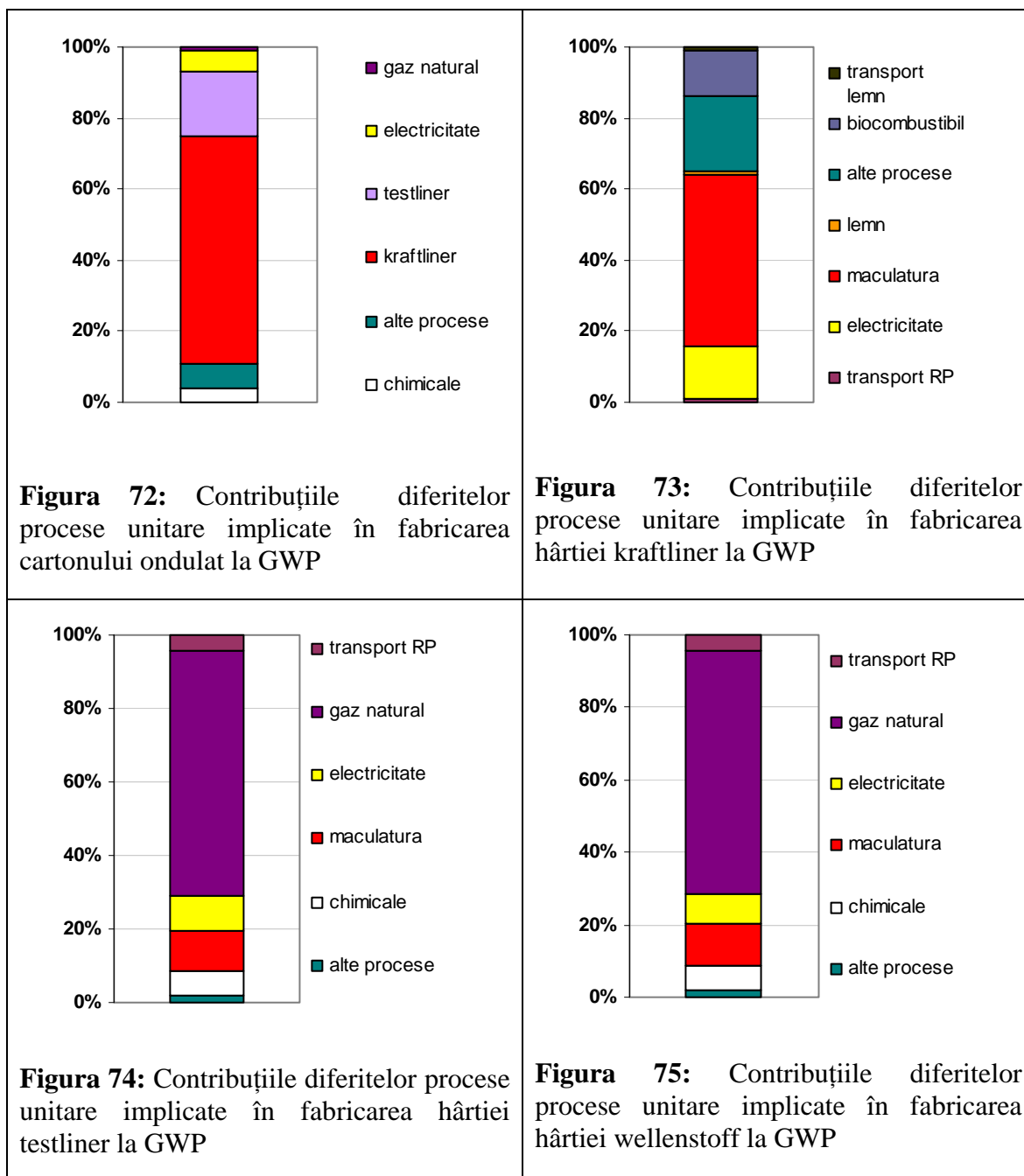
Tabel 27: Factori de normalizare utilizați în metodologia CML 2001, Dec.07 pentru Vestul Europei

Quantity	Echivalenți	Unit
Potențialul de distrugere a stratului de ozon (ODP)	3,0933E+7	Kg R11-Echiv.
Potențialul de epuizare a resurselor abiotice (ADP)	1,7535E+10	Kg Sb- Echiv.
Potențialul de încălzire globală (GWP)	4,44005E+12	Kg-CO ₂ - Echiv.
Potențialul de toxicitate umană (HTP)	5,54288E+12	Kg DCB- Echiv.
Potențialul de eco-toxicitate a apei (FAETP)	8,54478E+11	Kg DCB- Echiv.
Potențialul de eco-toxicitate terestră (TETP)	1,91248E+11	Kg DCB- Echiv.
Potențialul de formare a ozonului foto-chimic (POCP)	7,2283E+9	Kg Etenă- Echiv.
Potențialul de eutrofizare (EP)	1,5906E+10	Kg Fosfat- Echiv.
Potențialul de acidificare (AP)	2,1553E+10	Kg SO ₂ - Echiv.

6.4.6 Influența emisiilor și a proceselor unitare asupra potențialului de încălzire globală

O analiză detaliată cu privire la potențialul de încălzire globală este prezentată în Figurile 72, 73, 74 și 75. Influența proceselor unitare care afectează potențialul de încălzire globală a fost studiată iar substanțele care caracterizează categoria de impact au fost identificate. Pentru reprezentarea sugestivă a proceselor unitare cu cea mai mare contribuție la impactul de mediu s-a ales aceeași metodologie de evaluare, CML 2001-Dec.07.

Din Figura 72 se poate observa că potențialul de încălzire globală în fabricarea cartonului ondulat este în mare parte influențat de tipul de fibră utilizat. Contribuția totală a fibrelor utilizate este de aproximativ 82%, din care contribuția majoritară de 64% o are hârtia de tip kraftliner. O influență mai scăzută s-a obținut pentru hârtia testliner, în jur de 18%, produs fabricat din fibre 100% reciclate. Un alt element cu o contribuție importantă în potențialul de încălzire globală este consumul de energie electrică (contribuție procentuală de 6%) la care se mai poate adăuga influența scăzută (aproximativ 3,3%) dar totuși importantă a chimicalelor. Din analiza emisiilor corelate potențialului de încălzire globală s-a constatat că emisiile de CO₂ sunt direct responsabile pentru categoria de impact care în producția de carton ondulat are o contribuție de aproximativ 97,4%. Consumul de apă, abur și transportul intern sunt alte elemente ce favorizează potențialul de încălzire globală, însă contribuția lor este ceva mai mică.



Cu o contribuție puțin peste 47%, fibrele utilizate influențează potențialul de încălzire globală și în fabricarea hârtiei kraftliner (Figura 73) urmată de consumul de electricitate (14,6%) și biocombustibili (12,4%). Contribuția fibrelor virgine (lemn) așa cum era de așteptat s-a dovedit a fi mai scăzută (aproximativ 1,2% din impactul total). La acestea se adaugă impactul destul de scăzut generat de transportul lemnului din pădure către fabrică și a maculaturii de la centrele de colectare la fabrică (1%). Emisiile de dioxid de carbon sunt contribuabilii majoritari și în acest caz - 67,8%. Consumul de apă și combustibili regenerabili (alte procese) accentuează potențialul de încălzire globală.

Printre componentele care contribuie la încălzirea globală în producția de hârtie testliner (Figura 74) s-a descoperit că, consumul de gaze naturale are o contribuție la impact de 66%, urmată de consumul de maculatură 11%, energie electrică 9%, chimicale 6,6% și transportul maculaturii (4%). Emisiile anorganice în aer tot sub formă de CO₂, s-au dovedit și de data aceasta responsabile de încălzirea globală în proporție de 95,5%.

În cazul producției de hârtie wellenstoff (Figura 75), principala contribuție la încălzirea globală este atribuită consumului de gaze naturale care contribuie la impact în proporție de 67%. Compușii chimici utilizați au o contribuție de aproximativ 7%, în timp ce electricitatea, maculatura și transportul acesteia de la furnizori către fabrica producătoare contribuie cu 8,4%, 11% și respectiv 4%. 91,7% dintre emisiile anorganice eliberate în aer sunt atribuite tot emisiilor de CO₂, eliberate în timpul procesului de fabricație. Atât în cazul fabricării hârtiei wellenstoff cât și în cazul fabricării hârtiei testliner potențialul de încălzire globală este generat într-o mică măsură de transportul intern și consumul de apă.

7. CONCLUZII GENERALE

Teza de doctorat intitulată „*Evaluarea impactului de mediu al tehnologiilor de reciclare a hârtiei și cartonului*” aduce contribuții fundamentale și aplicative într-o tematică de interes pentru prezentul și viitorul industriei papetare – reciclarea hârtiei și cartonului sub aspectul impactului de mediu.

În prima parte a tezei de doctorat s-a realizat un studiu amplu în urma căruia s-au identificat aspecte importante privind situația curentă în reciclarea hârtiilor și cartoanelor uzate. Un spectru larg s-a rezervat fundamentării aspectului de calitate a maculaturii, prin accentuarea metodelor de colectare și sortare utilizate care sunt principalii factori care o influențează. S-a detaliat metodologia de analiză a ciclului de viață LCA ca metodă principală de evaluare a impactului de mediu. De la începutul studiului, la nivel de laborator s-au evaluat efectele calității maculaturii asupra proceselor de reciclare a acesteia la fabricarea hârtiei, și alături de simulările la nivel industrial s-au obținut informații de bază care au servit ca punct de plecare în elaborarea studiilor de evaluare a impactului de mediu. Particularitatea aplicării principiilor de evaluare a ciclului de viață în studiul de evaluare a impactului de mediu a calității maculaturii în fabricarea hârtiei capac a constat în elaborarea unui model care a permis compararea impactului de mediu la prelucrarea unor loturi de maculatură cu calități diferite. Având în vedere utilizările ulterioare ale hârtiei capac, în paralel cu acest studiu s-a evaluat impactul de mediu la fabricarea cartonului ondulat și a componentelor sale papetare, diferența fiind făcută de datele de inventar utilizate.

Analiza informațiilor din literatura de specialitate privind reciclarea hârtiei și cartonului a constituit o bază importantă pentru formularea obiectivului principal al tezei de doctorat care a fost acela de: *evaluare a efectelor pe care calitatea maculaturii le are asupra impacturilor de mediu ale unui sistem de fabricare a hârtiei din fibre reciclate, prin aplicarea principiilor de evaluare a ciclului de viață (LCA) al produselor sau a serviciilor.*

Aspectele teoretice documentate, concluziile parțiale prezentate pe parcursul studiului și informațiile obținute din studiile de caz elaborate au permis formularea următoarelor concluzii reprezentative:

Introducere. Calitatea maculaturii: definiții, factori de influență și metode de monitorizare

- Statisticile elaborate până în prezent privind rolul reciclării în sustenabilitatea industriei papetare au permis culegerea unui volum considerabil de informații ce fac referire la importanța reciclării, limitele acesteia și dezvoltările viitoare. Analiza stadiului actual al reciclării a permis evidențierea faptului că unul dintre factorii cheie care limitează creșterea în continuare a ratei de reciclare a hârtiei este scăderea calității maculaturii colectate de la populație.

- Reciclarea hârtiei și cartonului este o practică utilă în multe țări de pe toate continentele, însă în prezent tendințele globale în reciclarea hârtiei și cartonului sunt determinate de presiunea factorilor de protecție a mediului față de trecut, când factorii economici au impus dezvoltarea unor anumite tehnologii de valorificare a materialelor reciclabile. Chiar dacă nivelul de reciclare în Europa este aproximativ cel mai ridicat din lume, există încă potențial pentru

îmbunătățirea lanțului de reciclare tocmai pentru a extinde limitele de reciclare în special în aria de calitate.

- Industria papetară Europeană reprezintă o bază importantă care satisface aproape perfect așteptările societății prin utilizarea judicioasă a materiilor prime, compatibilitatea cu mediul înconjurător a proceselor și la fel de bine a reciclabilității produselor sale. Utilizarea maculaturii este o alternativă viabilă în prezent, pentru înlocuirea treptată a hârtiei „tradiționale” și este de asemenea o bună decizie datorită beneficiilor în domeniul conservării mediului înconjurător la nivel mondial generând o economisire importantă de resurse.

- Hârtiile și cartoanele recuperate sunt o sursă valoroasă de materii prime secundare utilizate de industria papetară Europeană, cu o rată de reciclare de 72,2% în anul 2009. În anul 2009 celulozele din lemn reprezentau 40,4% și maculatura 44,2% din materia primă utilizată în fabricile de hârtie din țările membre CEPI, tendință care pare să fie determinată de evoluția descendentă a resurselor de fibre celulozice primare.

- Chiar dacă țările din Europa au ajuns la o rată proprie de colectare (Ex: 74,5% în Germania) aproximativ 8,5Mt ar deveni disponibile în fiecare an. Potențialul de atingere a acestei rate se datorează colectării de la populație, dat fiind faptul că sursele de bună calitate sunt pe deplin exploatare. Pe viitor, colectorii de maculatură vor fi nevoiți să acceseze noi surse, surse marginale care în mod normal nu ar fi fost colectate datorită nivelului ridicat de contaminare.

- Unul din cele mai importante criterii pentru reciclare eficientă a produselor papetare uzate este calitatea maculaturii a cărei îmbunătățire este necesară pentru creșterea viitoare a ratei de utilizare și a ratei de reciclare. Calitatea maculaturii este definită în principal prin conținutul de materiale neutilizabile care pot fi componente ne-papetari și hârtii și cartoane care nu sunt reciclabile, dăunătoare producției, precum și prin conținutul de hârtii și cartoane care nu corespund definiției sortului de maculatură, definiții care se regăsesc în standardul European EN 643, elaborat în anul 2002 de către CEPI și ERPA. În baza acestor definiții, factorii care influențează calitatea maculaturii pun accentul pe procesele de colectare și sortare a hârtiei recuperate. Pentru a prelucra și utiliza eficient maculatura, este necesar să se cunoască sursa de unde provine, schimbările survenite asupra calității și să se determine natura și conținutul de contaminanți.

- Sortarea maculaturii are o influență semnificativă asupra calității hârtiei. Activitățile de sortare sunt considerate speciale când surse de calitate scăzută sunt exploatare pentru a atinge o rată de colectare ridicată. Sortarea maculaturii pe cale uscată are ca scop separarea contaminanților și clasificarea maculaturii pe sortimente. Sortarea este ultima verigă în lanțul de recuperare a produselor uzate, înainte ca acestea să fie reciclate la fabricarea hârtiei. În ciuda tuturor eforturilor, sortarea maculaturii continuă să fie o activitate manuală, cu toate că mari eforturi sunt realizate pentru introducerea automatizării.

Influența calității maculaturii asupra eficienței reciclării hârtiei și cartonului

Pentru a evidenția efectele pe care calitatea maculaturii le are asupra proprietăților pastei și hârtiei obținute și respectiv, asupra eficienței proceselor industriale de prelucrare s-au elaborat două studii experimentale, unul la scară de laborator și unul la scară industrială, studii în urma cărora s-au obținut următoarele informații:

Studiile proprii efectuate la **nivel de laborator** au fost gândite pentru a simula tendința de înrăutățire a calității maculaturii obținute prin sisteme de colectare municipală (de la populație). Investigațiile s-au concentrat pe două sortimente de maculatură: hârtii și cartoane uzate utilizate în producția hârtiei de ambalaj la SC Vrancart SA, Adjud și maculatură din hârtii grafice (ziare și reviste) colectate de la furnizorii de presă. Sortimentele de maculatură au fost preparate conform cerințelor EN 643, iar caracteristicile pastelor reciclate s-au investigat în funcție de anumiți parametri. Investigarea parametrilor a permis desprinderea următoarelor concluzii:

- Creșterea conținutului de hârtii și cartoane de ambalaj în sortimentul de maculatură pentru hârtia de ziar afectează proprietățile optice ale pastei reciclate prin scăderea gradului de alb și creșterea numărului și dimensiunilor petelor apărute datorită prezenței fibrelor brune. Pentru a obține un produs (preponderent din maculatură care conține hârtii și cartoane de ambalaj) cu un grad de alb constant, producătorii sunt constrânși să crească doza de agenți de înălbire sau să utilizeze o a doua etapă de înălbire a pastei de maculatură. Cu toate acestea, nici una dintre aceste două soluții nu asigură că produsul fabricat va avea gradul de alb dorit, și prin urmare calitatea hârtiei obținute va fi compromisă.

- Creșterea conținutului de hârtii grafice în sortimentul de maculatură 1.04 duce la obținerea unei paste din fibre reciclate cu o capacitate de deshidratare scăzută care rezultă îndeosebi în urma creșterii conținutului de material fin, fibre scurte și fibre lungi, specifice hârtiilor grafice. O altă consecință a prezenței hârtiilor grafice în maculatura pentru fabricarea hârtiei de ambalaj o reprezintă creșterea gradului de măcinare a pastei, ce rezultă îndeosebi din scăderea fracțiunilor de fibre lungi, cauzate de pierderile cu refuzurile în timpul operației de sortare. În general, o creștere a conținutului de contaminanți în materia primă utilizată generează un volum mai mare de refuz, ceea ce duce la pierderi de fibre lungi, și implicit o îmbogățire a acceptului cu fibre scurte. Conținutul de hârtii grafice în pasta din fibre reciclate duce la creșterea conținutului de cenușă și a fracțiunilor de fibre scurte, dar implică și o scădere a fracțiunilor de fibre lungi ceea ce duce la o scădere drastică a proprietăților de rezistență a hârtiei.

Studiul experimental realizat la **nivel industrial** s-a axat pe simularea calității maculaturii și efectelor asupra întregului flux tehnologic de fabricație a hârtiei capac pentru carton ondulat. Experimentele au fost gândite să simuleze diferite nivele de sortare și grade de contaminare a maculaturii, plecând de la calitatea curentă a sortimentului de maculatură 1.04 (medie anuală pe anul 2008 – conținut de contaminanți 5%) variind gradul de contaminare de la 4 la 10%. Programul astfel elaborat, a vizat evaluarea efectelor creșterii gradului de contaminare a maculaturii asupra consumurilor specifice de maculatură, cantităților de refuzuri generate, cantităților de energie consumate și productivității orare a mașinii de hârtie. Datele primare colectate pentru fiecare lot de maculatură au fost calculate în funcție de productivitatea orară a mașinii de fabricat hârtie și raportate pe tona de hârtie produsă. Evidențierea corelațiilor dintre gradul de contaminare a maculaturii și principalii indicatori care caracterizează eficiența sistemului de fabricație a permis desprinderea următoarelor concluzii:

- Performanța instalației de prelucrare a maculaturii (cantitatea și puritatea pastei din fibre reciclate) și creșterea consumului specific de energie odată cu impurificarea tot a mai mare a materiei prime, sunt doi parametri identificați în urma simulărilor. S-a evidențiat clar că mărirea gradului de contaminare a materiei prime utilizate scade productivitatea orară a mașinii de hârtie și crește consumurile specifice de energie, apă și maculatură.

- Încărcarea apelor uzate și consumul de chimicale cresc datorită pierderilor de fibră în procesul de prelucrare a maculaturii.

- Studiul influenței purității maculaturii arată că odată cu creșterea conținutului de contaminanți crește și cantitatea de refuzuri generată de instalație.

- Se cunoaște faptul că, scăderea randamentului de prelucrare și creșterea volumului de deșeuri solide duc la efecte negative asupra impactului de mediu motiv pentru care este de așteptat ca o sortare avansată a maculaturii să aducă îmbunătățiri majore procesului de prelucrare și să reducă impactul asupra mediului.

- Informațiile obținute în baza acestui studiu au servit pentru calcularea datelor privind intrările și ieșirile în / din sistemul de fabricație a hârtiei capac din loturi de maculatură cu diferite nivele de contaminare, care a evaluat influența calității maculaturii asupra impactului de mediu la fabricarea hârtiei capac.

Investigarea aspectelor din literatura de specialitate care cuprinde informații vaste despre metodele utilizate în evaluarea impactului de mediu ne-a permis alegerea metodologiei optime pentru studiile de caz. Evaluarea impactului de mediu a fost astfel posibilă prin utilizarea instrumentului LCA, fiind cea mai eficientă metodă pentru identificarea categoriilor de impact afectate respectiv a indicatorilor de mediu, dar este și metodologia care răspunde perfect obiectivelor tezei de doctorat.

Influența calității maculaturii asupra impactului de mediu la fabricarea hârtiei capac pentru carton ondulat

Pentru a răspunde obiectivului propus s-a considerat necesară evaluarea influenței calității maculaturii asupra impactului de mediu la fabricarea hârtiei capac, evaluare care s-a bazat pe elaborarea unui model de analiză LCA. Adaptând modelul LCA de simulare a variației calității maculaturii, s-au definit *sistemul produs de referință* și *sistemele produs simulate*. S-au urmat toți pașii impuși de metodologia de evaluare a impactului de mediu LCA, definirea scopului și a domeniului de aplicare, analiza de inventar, evaluarea impactului de mediu și interpretarea. Rezultatele etapei de caracterizare pentru producția unei tone de hârtie capac din maculatură cu diferite nivele ale conținutului de contaminanți sunt analizate cu privire la contribuția proceselor unitare la fiecare categorie de impact și schimbările survenite în urma variației calității maculaturii. Studiul a permis evidențierea următoarelor aspecte concludente:

Analiza influenței diferitelor procese unitare implicate în fabricarea hârtiei capac pentru sistemul produs de referință a evidențiat următoarele: ▪ *Procesul unitar de fabricație a hârtiei capac* influențează majoritar categorii de impact precum AP și POCP deoarece procesul unitar implică operații și procese importante din ciclul de viață supus analizei; ▪ *Energia electrică* consumată la prepararea pastei din fibre reciclate contribuie semnificativ la emisiile în aer și implicit la GWP și HTP; ▪ *Consumul de chimicale* (în special a amidonului cationic) s-a identificat drept fiind o activitate critică cu impact major asupra EP, impact fiind derivat în principal din consumul de combustibil pe întreg ciclul de viață al produsului; ▪ *Consumul de gaz natural* la obținerea aburului – boiler influențează preponderent HTP, AP și POCP; ▪ *Transportul maculaturii* este principala sursă de NO₂ generat în urma consumului de combustibil procesul unitar fiind o contribuție importantă în EP, GWP, POCP; ▪ *Consumul de resurse energetice non-regenerabile* este direct responsabil de ADP.

În cazul scenariilor simulate pentru *sistemul produs nou*, s-a constatat o intensificare a impactului asupra mediului asociat etapei de fabricație a hârtiei capac odată cu mărirea conținutului de contaminanți în maculatură. Creșterea gradului de contaminare a maculaturii de la 4% (P0) la 10% (P3) determină creșteri importante ale potențialului de încălzire globală (GWP) - **23%** ; potențialului de eutrofizare (EP) - **17%**; și a potențialului de acidificare (AP) - **16%**. Valori crescătoare însă mai mici s-au obținut și pentru potențialul de toxicitate umană (HTP) și potențialul de formare a ozonului fotochimic (POCP). Aceste efecte se datorează în principal creșterii consumului de energie în diferite module din sistem, a volumului de deșuri generate și implicit a emisiilor mult mai mari eliberate atât în aer cât și apă.

Rezultatele obținute oferă informații de bază, care împreună cu alte simulări de calitate pot servi fabricii de hârtie pentru îmbunătățirea performanțelor de mediu, atât prin calitatea produsului obținut și prin impactul generat în timpul procesului de fabricație. Acest studiu contrazice totuși ideea că „reciclarea este cea mai bună soluție de management al sfârșitului vieții produselor papetare”, arătând că reciclarea nu este optimă în orice condiții. În acest context, conceptul original al studiului poate deschide noi căi de investigare a impactului de mediu la reciclarea hârtiei și cartonului. În același timp, informațiile obținute din studiile LCA care evidențiază intensificarea impactului de mediu la reciclarea hârtiei odată cu reducerea

calității maculaturii reprezintă un semnal important pentru industria papetară dar și pentru dezvoltarea și implementarea politicilor de mediu.

Evaluarea impactului de mediu la fabricarea cartonului ondulat din diferite materiale papetare

Deoarece hârtia capac este o componentă a cartonului ondulat, prin aplicarea aceluiași concept de evaluare a ciclului de viață (LCA) în paralel cu primul studiu de caz elaborat s-a evaluat impactul de mediu generat de fabricarea cartonului ondulat prin utilizarea a diferite componente papetare. Rezultatele obținute a permis formularea următoarelor concluzii reprezentative:

- Analiza unei compoziții pre - definite a cartonului ondulat (32% kraftliner, 32% testliner și 36% wellenstoff) a evidențiat că cea mai mare contribuție la impactul de mediu o au componentele papetare prin compoziția materialului fibros și sistemul de fabricație a acestora.
- Consumul de hârtii și cartoane recuperate influențează preponderent impactul de mediu la fabricarea hârtiei de tip kraftliner, efect care se datorează în special consumului de combustibili fosili în diferite etape din ciclul de viață, etape precum colectarea materiei prime, transportul acesteia către fabrică, sau procesul de fabricație în sine.
- Consumurile de energie electrică și combustibil devin responsabile de impactul de mediu la fabricarea hârtiilor de tip testliner și welenstoff.
- Aplicarea etapei opționale de normalizare a permis identificarea potențialului de încălzire globală ca fiind categoria de impact cea mai relevantă. Principalele contribuții asociate acestei categorii de impact sunt datorate consumului de combustibili fosili (în principal gaz natural) și etapelor de transport a materiilor prime.

Rezultatele obținute în urma cercetărilor efectuate în teza de doctorat au fost valorificate prin publicarea în reviste de specialitate cu factor de impact (4) și reviste naționale (5) sau comunicate la manifestări științifice, la nivel național (3) și internațional (4).

Lucrarea de doctorat aduce câteva contribuții originale:

- Conceperea unor programe experimentale pentru simularea în laborator și la scară industrială a sortării maculaturii pentru a obține grade de contaminare diferite și respectiv, pentru a evalua efectele calității maculaturii asupra eficienței procesului de reciclare.
- Elaborarea unui model și a unei baze de date pentru studii LCIA, care să poată fi utilizate la analiza impactului de mediu generat de variația calității maculaturii.
- Realizarea pentru prima dată a unui studiu LCA care evidențiază intensificarea impacturilor de mediu asociate calității maculaturii. Oportunitatea unui astfel de studiu a fost confirmată de studiul prin care s-a evaluat impactul de mediu la fabricarea cartonului ondulat din diferite materiale papetare.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

Bobu E., (2002), *Aspecte economice și ecologice ale închiderii circuitului de apă la fabricarea hârtiei*, Volumul Simpozionului Managementul Calității în Industria de Celuloză și Hârtie, Bușteni, Editura Economică București, pg. 91-102.

Bobu E., **Iosip A.**, Ciolacu F., (2010), *Potential benefits of recovered paper sorting by advanced technology*, Cellulose Chemistry and Technology, 44(10), pg. 461-471.

Bobu E., (2010), Deliverable Report, Project SORT-IT, grant no 211888, WP4, D.4.2.

*** CEPI and ERPA, (2002a), European list of standard grades of recovered paper and board, on line at: <http://www.paperonweb.com/EN-643-154434A.pdf>.

Baumann H., Tillman A M., (2004), *The Hitch Hiker's Guide to LCA: and orientation in life cycle assessment methodology and application*, Lund: Studentlitteratur, ISBN 91-44-02364-2.

Blanco A., (2007), *The actual limits of paper recycling*. Cost Action E48, 151 Simposium Internacional, Presente y futuro de la Ciencia y la Tecnología del Reciclado de Papel, Bilbao, Investigación y técnica del papel, 15(42), pg.9.

*** CEPI (2007b), CEPI Editorial, in European Pulp & Paper No. 20 June 2007.

*** CEPI, (2011), *Key Statistics 2010: European Pulp and Paper Industry*, on line at: http://www.cepi.org/docshare/docs/2/MLLLJIDAPBGBNBIDAGCOKLECBDVAV9VNPDWD437E4G5N/CEPI/docs/DLS/KeyStats2010_FIN_WEB-20110630-00011-01-E.pdf

CML, (2009), *CML Impact Assessment Database*, revised in August 2007, on line at: <http://cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html>

Dobon A., Razza F., Slimani D., Hortal M., Gordillo P., Pastor M., (2009), *Report on the current situation analysis: recyclability, social and economic requirements evaluation and how it can affect new developments*, Deliverable 5.1, Development of sustainable composite materials project.

Environmental Defense, (2002), *Life cycle Environmental Comparison: Virgin Paper and Recycled Paper-based Systems*, prepared by The Paper Task Force: White Papers, T.E.D. Fund, Editor. 1995, New York, on line at: http://www.edf.org/documents/1618_WP3.pdf.

Ecoinvent database version 2.2 (2006), The Ecoinvent Centre - Swiss Centre for Life Cycle Inventories, on line at: www.ecoinvent.org.

Ervasti I., (2009), *Global issues about paper and board recycling and Europe's role*, Final conference of COST Action E48 "The limits of paper recycling", Munich, Germania.

*** ERPC (European Recovered Paper Council), *European Declaration on Paper Recycling 2006-2010*, (2006), Bruxel, Belgia, on line at <http://www.intergraf.eu/Content/ContentFolders/Pres>.

*** ERPC, (2010), *Europe shows global leadership in recycling*, Brussels, on line at: <http://www.erpa.info/press0.html>.

*** EPA, (2010), *Defining Life Cycle Assessment (LCA)*, on line at: <http://www.gdrc.org/uem/lca/lca-define.html>, Accesed at 17 October 2010.

Frees N., Hansen M S., Ottosen L M., Tønning K., Wenzel H., (2004), *Update of the knowledge basis on the environmental concerns of paper and cardboard recycling*.

FEFCO, (2009), *European database for Corrugated Board Life Cycle Studies, Groupement nodule y European Container Board Organization*, Bruselas, on line at: <http://www.fefco.org>.

Gavrilescu D., Toth S., (2007), *Cartonul ondulat*, pg.25 -27.

Gaudreault C., Samson R., Stuart P R., (2007a), *Life-cycle thinking in the pulp and paper Industry. Part I: current practices and most promising avenues*, Tappi Journal, 7(6), pg. 25–31.

Gaudreault C., Samson R., Stuart P R., (2007b), *Life-cycle thinking in the pulp and paper industry. Part 2: LCA studies and opportunities for development*, Tappi Journal, 8(6), pg. 3–10.

Gaudreault C., Samson R., Stuart P R., (2010), *Energy decision making in a pulp and paper mill: selection of LCA system boundary*, Interantional Journal of Life Cycle Assessment, 15(2), pg.198-211.

Goedkoop M., Oele M., Schryver An de., Vieira M., (2008), *Sima pro database manual, methods library*, Pre Consultants, The Netherlands, on line at: www.pre.nl/download/manuals/DatabaseManualMethods.pdf.

*** ISO/TR 14049, (2000), *Environmental management - Life cycle assessment - Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis*.

*** ISO 14044 (2006) *Environmental management - life cycle assessment - requirements and guidelines*, Geneva, Switzerland.

*** ISO14040, (2006), *Environmental Management- Life cycle assessment- Principles and Framework*, Geneva, Switzerland.

Ingede, (2007), Method 1, *Test sheet preparation of pulps and filtrates from deinking processes*, on line at: <http://www.ingede.org/ingindx/methods/ingede-method-01-2007.pdf>.

Ingede, (2009), Method 11, *Assessment of Print Product Recyclability – Deinkability Test Preliminary adaptation of the method according to the requirements of novel printing technologies*, on line at: <http://ingede.com/ingindx/methods/ingede-method-11p-2009.pdf>.

Ingede, (2011), Method 2, *Measurement of optical characteristics of pulps and filtrates from deinking processes*, on line at: <http://www.ingede.org/ingindx/methods/ingede-method-02-2011.pdf>.

Iosip A., Hortal M., Dobon A., Bobu E., (2010), *Comparative environmental impact assessment of corrugated board production*, Environmental Engineering and Management Journal, 9(9), ISSN: 1582-9506, pg.1281-1287.

Iosip A., Bobu E., (2011), *Correlations between recovered paper quality and collection methods*, The bulletin of the polytechnic institute from Iasi, Issue LVII(LXI), Fasc.1, Chemistry and chemical engineering section, pg. 25-41.

Iosip A., Dobon A., Hortal M., Bobu E., (2011), *The influence of contaminants in the environmental impact of recovered paper: a Life Cycle Assessment Perspective*, The International Journal of Life Cycle Assessment, in print.

Jonbrink A K., Wats C W., Erixon M., Olsson P., Wallen E., (2002), *LCA software survey, Stockholm*, on line at: <http://www3.ivl.se/rapporter/pdf/B1390.pdf>, LBP University of Stuttgart.

Lopes E., Dias A., Arroja L., Capela I., Pereira F., (2003), *Application of life cycle assessment to the Portuguese pulp and paper industry*, Journal of Cleaner Production,11(1), pg. 51–59.

Labouze E., Honore C., Moulay L., Couffignal B., Beekmann M., (2004), *Photochemical ozone creation potentials. A new set of characterization factors for different gas species on the scale of Western Europe*, International Journal of Life Cycle Assessment, 9(3), pg.187-195.

Lundie S., Huijbregts M A J., Rowley H V., Mohr N J. and Feitz A J., (2007), *Australian Characterisation Factors and Normalisation Figures for Human Toxicity and Ecotoxicity*, Journal of Cleaner Production,15(8 – 9), pg. 819–832.

Moris J., (2005), *Comparative LCAs for Curbside Recycling Versus Either Landfilling or Incineration with Energy Recovery*, International Journal of Life Cycle Assessment,10(4), pag. 273-284, doi: 10.1065/lca2004.09.180.10.

Miner R, Perez Garcia J., (2007), *The greenhouse gas and carbon profile of the global forest products industry*, Forest Products Journal, Vol.57, pg. 80–90.

Moberg Å., Johansson M., Finnvenden G., Jonsson A., (2007), *Screening environmental life cycle assessment of printed, web based and tablet e-paper newspaper*, KTH Centre for sustainable Communications, Stockholm, Sweden.

Merild H., Damgaard A., Christensen Thomas H., (2008), *Life cycle assessment of waste paper management: The importance of technology data and system boundaries in assessing recycling and incineration*, Resources, Conservation and Recycling, 52(12), pg. 1391-1398.

Nixon S., W., (1995), *Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns*, *Ophelia*, 41, pg. 199–219.

Putz H J., (2000), in “Papermaking Science and Technology”, FAPET, Book 7, 2000, p. 74

Peran J R., Irusta R., Nunez I., Sanchez L., (2003), *Impactos ambientales asociados a sistemas de envases y residuos de envases*, In: Estrategias de identificacion, cuantificacion y prevencion, Eds. Cartif, ISBN 607 – 5744 – 7, Valladolid.

Peiu N., (2004), *Evaluarea ciclului de viață*, Editura Ecozone, Iași.

PE International, (2006), *GaBi handbook and GaBi modelling principles*, on line at: www.gabi-software.com.

PE International (2006), *Gabi Professional Databases*, on line at: <http://www.pe-international.com/nw-eu-english/index/>, Accessed at 10 July 2010.

PAS 2050, (2008), *Specification of the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of good and services*, BSI - British standards.

Romero S A., Hortal M., Javierre P N., Capuz Rizo S., Vivancos Bono J L., Gomez Navarro T., Bastante Ceca M J., Collado Ruiz D., Vinales Cebolla R., (2005), *Estudios de las características ambientales y económicas de los envases de carton ondulado con respecto a los envases reutilizables de plastico utilizados en el transporte a larga distancia de productos hortifrutícolas*, Eds. Instituto Tecnológico Del Embalaje, Transporte y Logistica, ISBN 10: 84-921255-7, ISBN 13: 978-84-921255-4.

Ringman J., (2009), *SORT IT Newsletter 1*, on line at: www.sortit.eu

Stawiki B., (2008), *PhD Thesis*, TU Lody, Poland.

Sillman J., (2009), *History and Development of Paper & Board recycling in Europe*, Paper presented in Final Conference of Action COST E48, Munich.

Tillman A M., Baumann H., Eriksson E., Rydberg T., (1991), *Life cycle analysis of selected packaging materials. Quantification and environmental loadings*.

van Oers L., de Koning A., Guinee J.B., Huppes G., (2002), *Abiotic resource depletion in LCA*, on line at: <http://media.leidenuniv.nl/legacy/report%20abiotic%20resource%20depletion.pdf>.

Villanueva A., Hanzel H., (2007), *Paper Waste – Recycling, Incineration or Landfilling? A Review of Existing Life Cycle Assessments*, *Waste Management*, 27(8), pg. 29-46.

WRAP, Waste & Resources Action Programme, (2006), *Environmental Benefits of Recycling – An International Review of Life Cycle Comparisons for Key Materials in the UK Recycling Sector*, on line at: http://www.wrap.org.uk/downloads/Recycling_LCA_Report_Sept_2006_Final.43591ba0.2838.pdf.

WRAP, (2008), *LCA of Management Options for Mixed Waste Plastics*, final report, June 2008, WRAP.

Zabaniotou A., Kassidi E., (2003), *Life cycle assessment applied to egg packaging made from polystyrene and recycled paper*, *Journal of Cleaner Production*, Vol.11, pg. 549 – 559.

Zamagni A., Buttol P., Porta P L., Buonamici R., Masoni P., Guinee J., Heijungs R., Ekvall T., Bersani R., Bienkowska A., Pretato U., (2008), *Critical review of the current research needs and limitations related to ISO-LCA practice*, CALCAS project report Deliverable 7. Published and printed by ENEA, Italy. ISBN 88-8286-166-X, on line at: <http://www.estis.net/sites/calcas/>, Accessed at 5 August 2010.

LUCRĂRI PUBLICATE ȘI COMUNICATE PE PARCURSUL ELABORĂRII TEZEI DE DOCTORAT

1. Articole publicate în reviste cotate ISI/ trimise spre publicare

1. Alina Iosip, Mercedes Hortal, Antonio Dobon, Elena Bobu, (2010), *Comparative environmental impact assessment of corrugated board production*, *Environmental Engineering and Management Journal*, 9(9), pg. 1281-1287.

2. Alina Iosip, Raluca Nicu, Florin Ciolacu, Elena Bobu, (2010), *Influence of recovered paper quality on recycled pulp properties*, *Cellulose Chemistry and Technology, Advances in the chemistry, physics and technology of polysaccharides and lignin*, 44(10), pg. 513-519.

3. Elena Bobu, Alina Iosip, Florin Ciolacu, (2010), *Potential benefits of recovered paper sorting by advanced technology*, *Cellulose Chemistry and Technology, Advances in the chemistry, physics and technology of polysaccharides and lignin*, 2010, 44(10), pg. 461-471.

4. Alina Iosip, Antonio Dobon, Mercedes Hortal, Elena Bobu, (2011), *The influence of contaminants in the environmental impact of recovered paper: a Life Cycle Assessment Perspective*, International Journal of LCA, submitted for publication, Registration number: JLCA-D-11-00126.

2. Articole publicate în reviste naționale

1. Alina Iosip, Elena Bobu, (2009), *General aspects of life cycle assessment for paper and board products*, The bulletin of the polytechnic institute from Iasi, Issue LV(LIX), Fasc.4, Chemistry and chemical engineering section, pg. 125-138, ISSN: 0254-7104.

2. Alina Iosip, Elena Bobu, (2009), *Analiza impactului de mediu al produselor și proceselor prin evaluarea ciclului de viață (LCA)*, Celuloză și Hârtie, 58(1), pg. 5-12, ISSN: 1220-9848.

3. Elena Bobu, Alina Iosip, (2010), *Assessing environmental impact of recovered paper sorting*, Celuloză și Hârtie, 59(1), pg. 3-9, ISSN: 1220-9895, Zilele Facultății de Inginerie Chimică și Protecția Mediului, Ediția a-VI-a, „Noi frontiere în chimie și inginerie chimică”, Iași, 18 – 20 Noiembrie 2009.

4. Alina Iosip, Elena Bobu, (2011), *Correlations between recovered paper quality and collection methods*, The bulletin of the polytechnic institute from Iasi, Chemistry and Chemical Engineering Section, Issue LVII (LXI), Fasc.1, pg. 25 – 41, Zilele Facultății de Inginerie Chimică și Protecția Mediului, Ediția a-VII-a, „90 de ani de la nașterea academicianului Cristofor Simionescu”, Iași, 17 -19 Noiembrie 2010.

5. Alina Iosip, Elena Bobu, (2011), *Environmental impact of recovered paper quality in packaging paper manufacture*, The bulletin of the polytechnic institute from Iasi, Chemistry and Chemical Engineering Section, Issue LVII(LXI), Fasc. 2, pg. 37-51, ISSN: 0254-7104.

3. Prezentări la manifestări științifice naționale și internaționale

1. Elena Bobu, Alina Iosip, *Analiza ciclului de viață ca mijloc de evaluare a unei tehnologii de reciclare a hârtiei în contextul dezvoltării durabile*; Zilele Facultății de Inginerie Chimică și Protecția Mediului, Ediția a-V-a, „Materiale și Procese Inovative”, Iași, 19-21 Noiembrie, 2008.

2. Elena Bobu, Florin Ciolacu, Alina Iosip, *Assessing sustainability of recovered paper sorting: goal and scoping*, 5th International Conference Environmental Engineering and Management, Sustainable production and Consumption, 15 – 19 Septembrie 15-19, 2009, Tulcea, Rezervația Delta Dunării, România.

3. Alina Iosip, Elena Bobu, *Life cycle analysis: a decision support tool for environmental impact assessment in pulp and paper industry*, Zilele Universității Al. I. Cuza, Facultatea de Chimie, Sesiunea de comunicări științifice, Iași, 30-31 Octombrie 2009.

4. Alina Iosip, Elena Bobu, *LCA ca instrument de evaluare a impactului de mediu în reciclarea hârtiei*, Sesiunea științifică studentescă, Facultatea de Inginerie Chimică și Protecția Mediului, Iași, 20-22 Mai 2009.

5. Alina Iosip, Raluca Nicu, Florin Ciolacu, Elena Bobu, *Impact of recovered paper quality on recycled pulp properties*, The 14th International Symposium on Cellulose Chemistry and Technology, Iași, 8 – 10 Septembrie, 2010.

6. Alina Iosip, Antonio Dobon, Mercedes Hortal, Elena Bobu, (2011), *Assessing environmental impact of packaging paper production based on recycled fibre raw material*, 6th International Conference Environmental Engineering and Management (ICEEM 06), 1–4, Septembrie, 2011.

7. Elena Bobu, Alina Iosip, Cristian Banarie, *Advanced sorting of recovered paper – a key solution to improve environmental credentials of paper recycling*, 6th International Symposium on Advanced Technologies for the Pulp and Paper Industry, Brăila, 6 – 9 Septembrie, 2011.

MEMBRU ÎN COLECTIV ÎN PROIECT DE CERCETARE

SORT-IT - Recovered Paper Sorting With Innovative Technologies, ENV 2007.3.1.3.2/2008, 2008-2011, FP7.

STAGIU DE CERCETARE

Instituto Tecnológico Del Embalaje, Transport Y Logistica, ITENE, Valencia, Spain, 01.05.2010 – 31.07.2010.