



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI" DIN IAȘI

Facultatea de Inginerie Chimică și Protecția
Mediului



INTEGRATION OF ECONOMICS AND POLLUTION PREVENTION PRACTICES FOR A SUSTAINABLE INDUSTRY

INTEGRAREA ASPECTELOR ECONOMICE ȘI A PRACTICILOR DE PREVENIRE A POLUĂRII PENTRU O INDUSTRIE DURABILĂ

- REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT -

Conducători de doctorat:

Prof.univ.dr.ing. Maria Gavrilescu

Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași, România

Prof.univ.dr. Hans Th. A. Bressers

Universitatea Twente, Enschede, Olanda

Doctorand:

Ing. Mădălina Petraru

IAȘI – 2012



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMP/OSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI,
TINERETULUI
ȘI SPORTULUI
OP/POSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IASI

Teza de doctorat a fost realizată cu sprijinul financiar al proiectului „**Burse Doctorale pentru Performanța în Cercetare la Nivel European (EURODOC)**”.

Proiectul „Burse Doctorale pentru Performanța în Cercetare la Nivel European (EURODOC)”, POSDRU/88/1.5/S/59410, ID 59410, este un proiect strategic care are ca obiectiv general „Dezvoltarea capitalului uman pentru cercetare prin programe doctorale pentru îmbunătățirea participării, creșterii atractivității și motivației pentru cercetare. Dezvoltarea la nivel european a tinerilor cercetători care să adopte o abordare interdisciplinară în domeniul cercetării, dezvoltării și inovării.”.

Proiect finanțat în perioada 2009 - 2012.

Finanțare proiect: 18.943.804,97 RON

Beneficiar: Universitatea Tehnică “Gheorghe Asachi” din Iași

Partener: Universitatea „Babeș Bolyai” din Cluj-Napoca

Director proiect: Prof. univ. dr. ing. Mihaela-Luminița LUPU

Responsabil proiect partener: Prof. univ. dr. ing. Alexandru OZUNU

UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE ASACHI" DIN IAȘI
RECTORATUL

Către

.....

Vă facem cunoscut că, în ziua de **21 Septembrie 2012** la ora 09⁰⁰ în **Sala de Consiliu a Facultății de Inginerie Chimică și Protecția Mediului**, va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată:

**"INTEGRATION OF ECONOMICS AND POLLUTION PREVENTION PRACTICES FOR
A SUSTAINABLE INDUSTRY"**

***Integrarea aspectelor economice și a practicilor de prevenire a poluării pentru o
industrie durabilă***

elaborată de inginer **Mădălina PETRARU** în vederea conferirii titlului științific de doctor.

Comisia de doctorat este alcătuită din:

- | | |
|---|-----------------------|
| 1. Prof. univ. dr. ing. Silvia CURTEANU
Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași | președinte |
| 2. Prof. univ. dr. ing. Maria GAVRILESCU
Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași | conducător științific |
| 3. Prof. univ. dr. Hans Th. A. BRESSERS
Universitatea TWENTE, Enschede, Olanda | conducător științific |
| 4. Prof. univ. dr. ing. Anca Duță CAPRĂ
Universitatea „Transilvania” din Brașov | referent oficial |
| 5. Prof. univ. dr. ing. Corneliu Victor RADU
Universitatea Politehnică din București | referent oficial |
| 6. Prof. univ. dr. ing. Teodor MĂLUȚAN
Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași | referent oficial |

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.

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



Secretar universitate,
Ing. Cristina Nagiț



Mulțumiri

În primul rând doresc să adresez cele mai calde mulțumiri conducătorilor de doctorat, doamnei Profesor Maria Gavrilescu și domnului Profesor Hans Th. A. Bressers pentru îndrumarea și sprijinul acordat în perioada programului doctoral.

Deosebită recunoștință adresez doamnei Profesor Maria Gavrilescu pentru înțelegerea, răbdarea și încurajarea acordate fără de care realizarea acestei teze nu ar fi fost posibilă. Sincere mulțumiri pentru că a acceptat să mă îndrume în toți acești trei ani și pentru formarea mea ca cercetător.

Deosebită recunoștință adresez și domnului Profesor Hans Th. Bressers A., în calitate de coordonator în cotutelă, pentru contribuția sa și pentru toate oportunitățile oferite pe perioada stagiului de cercetare în Olanda. Îi mulțumesc pentru o experiență minunată în Olanda și pentru oportunitatea de a fi cercetător temporar în cadrul centrului CSTM.

Mulțumesc distinșilor referenți din componența Comisiei de evaluare și susținere a tezei de doctorat prezidate de doamna Profesor Silvia Curteanu de la Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași, doamnei Profesor Anca Duță Capră de la Universitatea "Transilvania" din Brașov, domnului Profesor Corneliu Victor Radu de la Universitatea "Politehnica" din București și domnului Profesor Teodor Mălușan de la Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași, pentru răbdarea cu care au analizat lucrarea de față, precum și pentru sugestiile transmise.

Aș dori, de asemenea, să adresez mulțumiri doamnei Elena Dahlbo și doamnei Tatjana Karpenja pentru bunăvoința de a-mi trimite materiale care m-au ajutat enorm în realizarea cercetărilor din cadrul tezei. Sincere mulțumiri adresez domnului Profesor Dan Gavrilescu pentru informațiile care mi-au fost de mare ajutor în cercetările întreprinse în cadrul acestei teze.

Alese mulțumiri adresez domnului Michiel Adriaanse de la Centrul de Competență Hârtie și Carton (Centre of Competence Paper and Board), din Olanda, pentru ajutorul său imens și discuțiile pe care le-am purtat, care au fost de mare ajutor în colectarea informațiilor legate de sistemul industrial din Olanda.

Mulțumesc echipei manageriale care a realizat Proiectul EURODOC "Burse doctorale pentru performanță de cercetare la nivel European ID 59410", proiect finanțat de Fondul Social European al cărui beneficiar am fost în perioada elaborării prezentei teze de doctorat.

Sincere mulțumiri adresez profesorilor de la Departamentul de Ingineria și Managementul Mediului din cadrul Facultății de Inginerie Chimică și Protecția Mediului pentru aleasa pregătire care mi-au oferit-o în decursul acestor ani.

Aș dori, de asemenea, să mulțumesc colegilor din cadrul Departamentului de Ingineria și Managementul Mediului și din cadrul centrului CSTM (Centrul pentru Studii Twente în Tehnologie și Dezvoltare Durabilă), pentru sprijinul lor și pentru o frumoasă experiență alături de ei.

Mulțumiri aș vrea să aduc și colegilor din cadrul grupului de cercetare Procese Chimice și Biologice în Ingineria Mediului.

Mulțumesc în mod deosebit colegii mele Cristina pentru prietenia și sprijinul ei în această perioadă. Mulțumesc pentru toate sugestiile, dar și pentru răbdarea de a se implica în discuțiile noastre care au fost foarte utile în realizarea acestei teze de doctorat.

Adresez familiei mele mulțumiri sincere și profunde, pentru dragostea lor, încurajarea și sprijinul pe care mi le-au dat în special în această perioadă, în toate momentele bune și rele. Mulțumiri speciale adresez surorii mele, Simona, pentru toată încurajarea, dragostea, înțelegerea și sprijinul oferit pe parcursul întregii mele vieți.

*Iași,
Septembrie 2012*

CUPRINS

INTRODUCERE.....	1
Capitolul 1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRIILOR PRIVIND INTEGRAREA ASPECTELOR ECONOMICE ȘI A PRACTICILOR DE PREVENIRE A POLUĂRII ÎN PROCESELE INDUSTRIALE DURABILE.....	11
1.1. Sistemul industrial și dezvoltarea durabilă.....	11
1.2. Prevenirea poluării și protecția mediului înconjurător în procesele industriale.....	20
1.2.1. Prevenirea poluării.....	24
1.2.2. Oportunități de prevenire a poluării.....	26
1.3. Ecologia industrială în modelul strategic de dezvoltare durabilă.....	30
1.4. Politica de mediu, prevenirea poluării și aspectele economice.....	34
1.4.1. Integrarea practicilor de prevenire a poluării și aspectelor economice în managementul mediului.....	34
1.4.2. Instrumente economice în prevenirea poluării.....	36
1.4.3. Analiza costurilor pentru prevenirea poluării.....	39
1.4.4. Fezabilitatea practicilor și opțiunilor de prevenire a poluării.....	44
1.4.5. Eco-eficiența și prevenirea poluării.....	48
1.5. Strategii și cadrul legislativ european privind protecția mediului.....	51
Concluzii.....	54
Capitolul 2. INSTRUMENTE DE EVALUARE A PRACTICILOR DE PREVENIRE A POLUĂRII ȘI ASPECTE ECONOMICE ALE PREVENIRII POLUĂRII.....	57
2.1. Considerații privind scopul și importanța studiului.....	57
2.2. Analiza proceselor prin prisma Evaluării Ciclului de Viață.....	58
2.2.1. Metodologia de aplicare.....	58
2.2.2. Definirea scopului și domeniului de aplicare.....	60
2.2.3. Analiza de inventariere.....	61
2.2.4. Evaluarea impactului de mediu.....	62
2.2.4.1. Categori de impact de mediu.....	63
2.2.4.2. Metodologiile de evaluare a impactului de mediu.....	72
2.2.5. Interpretarea rezultatelor.....	79
2.2.6. Avantaje și limitări în aplicarea analizei ciclului de viață.....	70
2.3. Analiza Cost Beneficiu.....	81
2.3.1. Metodologia de aplicare.....	82
2.3.2. Avantaje și limitări în aplicarea unei analize cost-beneficiu.....	88

2.4.	Analiza multicriterială.....	89
2.4.1.	Metode de analiză multicriterială.....	90
2.4.2.	Avantaje și limitări în aplicarea metodei multicriteriale.....	97
	Concluzii.....	98
 Capitolul 3. STUDII DE CAZ PRIVIND INTEGRAREA ASPECTELOR ECONOMICE ȘI A PRACTICILOR DE PREVENIRE A POLUĂRII PENTRU O INDUSTRIE DURABILĂ.....		101
3.1.	Prezentare generală.....	101
3.2.	Stabilirea alternativelor de prevenire a poluării pentru procesul de fabricare a hârtiei tissue.....	104
3.2.1.	Sistemele de fabricare a hârtiei tissue din România.....	104
3.2.1.1.	Procesul tehnologic de fabricare a hârtiei tissue din fibră virgină.....	105
3.2.1.2.	Procesul tehnologic de fabricare a hârtiei tissue din fibră recuperată.....	112
3.2.2.	Sistemul de fabricare a hârtiei tissue din fibră recuperată din Olanda..	117
3.2.3.	Procesul de fabricare și legislația de mediu.....	118
3.2.4.	Elaborarea alternativelor/scenariilor privind procesul de fabricare a hârtiei tissue din România.....	120
	Concluzii.....	125
 Capitolul 4. EVALUAREA EFICIENȚEI SISTEMELOR DE FABRICARE A HÂRTIEI TISSUE DIN PUNCTUL DE VEDERE AL FACTORILOR DE MEDIU FOLOSIND ANALIZA CICLULUI DE VIAȚĂ.....		127
4.1.	Obiective și relevanța cercetării.....	127
4.2.	Definirea scopului, unității funcționale și a granițelor sistemului.....	128
4.3.	Analiza de inventariere.....	130
4.3.1.	Date generale.....	130
4.3.2.	Analiza de inventariere a procesului de fabricare a hârtiei tissue folosind ca materie primă fibră virgină.....	131
4.3.2.1.	Procesul de fabricare a celulozei.....	131
4.3.2.2.	Procesul de fabricare a hârtiei tissue.....	138
4.3.3.	Analiza de inventariere a procesului de fabricare a hârtiei tissue folosind ca materie primă fibră recuperată.....	141
4.3.4.	Analiza de inventariere a procesului olandez de fabricare a hârtiei tissue.....	148
4.4.	Evaluarea impactului de mediu a sistemelor de fabricare a hârtiei tissue.....	151
4.4.1.	Instrumente de evaluarea a impactului de mediu.....	152
4.4.2.	Evaluarea impactului de mediu a proceselor de fabricare a hârtiei tissue din România.....	153
4.4.2.1.	Evaluarea impactului de mediu folosind metodologia CML.....	153

4.4.2.2. Evaluarea impactului de mediu folosind metodologia EDIP.....	162
4.4.2.3. Evaluarea impactului de mediu folosind metodologiile Eco-Indicator.....	167
4.4.3. Analiză comparativă a impactului asupra mediului: Procesul românesc comparativ cu procesul olandez de fabricare a hârtiei tissue.....	172
4.4.3.1. Analiză comparativă a impactului de mediu a proceselor de fabricare a hârtiei tissue din România și Olanda folosind metodologia CML.....	173
4.4.3.2. Analiză comparativă a impactului de mediu a proceselor de fabricare a hârtiei tissue din România și Olanda folosind metodologia EDIP.....	177
4.4.3.3. Analiză comparativă a impactului de mediu a proceselor de fabricare a hârtiei tissue din România și Olanda folosind metodologiile Eco-Indicator 95 și 99.....	181
Concluzii.....	186
 Capitolul 5. ANALIZA ECONOMICĂ A SCENARIILOR DE FABRICARE A HÂRTIEI TISSUE APLICÂND ANALIZA COST BENEFICIU.....	 189
5.1. Scopul și domeniul de aplicare a analizei.....	189
5.2. Analiza de inventariere.....	191
5.3. Evaluarea economică a alternativelor de fabricare a hârtiei tissue.....	193
5.3.1. Determinarea costurilor implicate în fabricarea hârtiei tissue.....	193
5.3.2. Determinarea beneficiilor rezultate în urma fabricării hârtiei tissue....	199
5.3.3. Evaluarea alternativelor de fabricare hârtie tissue folosind indicatorii specifici Analizei Cost-Beneficiu.....	202
5.3.3.1. Valoare prezentă actualizată a costurilor.....	203
5.3.3.2. Valoare prezentă actualizată a beneficiilor.....	206
5.3.3.3. Raportul Beneficiu-Cost și Cost-Beneficiu.....	209
5.3.3.4. Indicatorul Valoare adăugată netă.....	211
5.4. Analiza de sensibilitate pentru Analiza Cost Beneficiu.....	211
5.4.1. Analiza de sensibilitate pentru costurile cu materiile prime.....	212
5.4.2. Analiza de sensibilitate pentru costurile cu investițiile.....	215
5.4.3. Analiza de sensibilitate pentru beneficiile rezultate din vânzarea produselor finite.....	219
5.4.4. Analiza de sensibilitate pentru beneficiile de mediu.....	222
5.5. Calcularea eco-costurilor specifice emisiilor.....	225
Concluzii.....	227
 Capitolul 6. EVALUAREA EFICIENȚEI SCENARIILOR DE FABRICARE A HÂRTIEI TISSUE DIN PUNCTUL DE VEDERE AL ASPECTELOR DE MEDIU ȘI TEHNICO-ECONOMICE FOLOSIND METODA MULTICRITERIALĂ DE ANALIZĂ.....	 229
6.1. Definirea scopului și obiectivelor studiului.....	229

6.2.	Metodologia de aplicare a analizei multicriteriale de decizie	230
6.2.1.	Selecția factorilor de decizie	232
6.2.2.	Identificarea criteriilor și indicatorilor de evaluare	232
6.2.3.	Metodele de aplicare a analizei decizionale AHP	233
6.2.3.1.	Aplicarea analizei decizionale AHP folosind tehnicile Ranking și Rating	234
6.2.3.2.	Aplicarea analizei decizionale AHP folosind metoda Comparației prin Perechi (Pairwise Comparison)	237
6.1.4.	Analiza de sensibilitate pentru analiza multicriterială	241
6.3.	Selecția factorilor de decizie	244
6.4.	Identificarea și selecția criteriilor și indicatorilor de evaluare	244
6.5.	Analiza scenariilor folosind metodele Ranking și Rating	245
6.5.1.	Analiza scenariilor cu metodele Ranking și Rating (VFB, RCF 80%, RCF 60%, RCF 40%)	245
6.5.2.	Analiza scenariilor VCF*3 și RCF*3	249
6.5.3.	Analiză comparativă a scenariilor olandez și românesc folosind tehnicile Ranking și Rating	251
6.6.	Analiza scenariilor folosind metoda Comparației prin Perechi	253
6.6.1.	Analiza scenariilor VCF, RCF 80%, RCF 60% și RCF 40%	254
6.6.2.	Analiza scenariilor VFB*3 și RCF*3	261
6.6.3.	Analiză comparativă a scenariului olandez cu cel românesc	263
6.7.	Analiza de sensibilitate a scenariilor VFB, RCF 80%, RCF 60%, RCF 40%	264
	Concluzii	268
Capitolul 7. APLICABILITATEA PRINCIPILOR ECOLOGIEI INDUSTRIALE ÎN FABRICILE DE HÂRTIE		271
7.1.	Asigurarea unei industrii durabile prin implementarea principiilor ecologiei industriale	271
7.2.	Îmbunătățirea și extinderea analizei	275
	Concluzii	281
CONCLUZII GENERALE		283
BIBLIOGRAFIE		299
Anexa 1. LISTĂ FIGURI		325
Anexa 2. LISTĂ TABELE		331
Anexa 3. ACTIVITATE ȘTIINȚIFICĂ		335

În rezumatul tezei de doctorat se prezintă o parte din rezultatele cercetărilor proprii, concluziile generale și bibliografie selectivă. La redactarea rezumatului s-au păstrat aceleași notații pentru capitole, paragrafe, figuri, tabele și ecuații utilizate în textul tezei de doctorat.

INTRODUCERE

Evoluția rapidă a societății și a activităților cotidiene a condus la degradarea semnificativă a calității mediului pe întreaga planetă, cu efecte manifestate prin distrugerea stratului de ozon, schimbări climatice, pierderea biodiversității sau deversări de deșeuri, mai ales a celor toxice (Perez-Calderon et al., 2011). Interesul crescut cu privire la identificarea impactului de mediu și reducerea la minimum a acestuia a condus la conștientizarea, în cadrul companiilor, a necesității de a adopta politici și strategii de protecția mediului în scopul înțelegerii și gestionării continue a problematicii mediului înconjurător (Fortuna și colab., 2011; Ghinea și colab., 2012a; Perez-Calderon și colab., 2011). Elementul cheie al dezvoltării durabile îl reprezintă reconcilierea între procesul de dezvoltare tehnico-economică și calitatea mediului, promovarea procesului integrat de elaborare și luarea deciziilor, atât la nivel global, cât și regional, național sau local.

Alinierea la legislația Uniunii Europene cu privire la protecția mediului înconjurător a impus și continuă să impună necesitatea găsirii de soluții pentru încadrarea în limitele impuse de cadrul legal privitor la indicatorii de calitate a componentelor de mediu. Aceste soluții implică eforturi pe planuri multiple care includ cercetarea științifică și dezvoltarea, precum și îmbunătățirea tehnologiilor și echipamentelor. Părțile interesate, deciziile, complexitatea deciziei, impactul asupra mediului, reglementările de mediu și dezvoltarea economică sunt factorii cheie care trebuie luați în considerare pentru o îmbunătățire continuă a capacității de producție, un consum mai eficient al resurselor și diminuarea emisiilor (Ghinea și Gavrilăscu, 2010; Molinos-Senante și colab, 2010; Wotowa și colab, 2010).

În contextul dezvoltării durabile industria trebuie să ajungă la un ciclu de producție închis prin utilizarea eficientă a materialelor prime, energiei și apei, stabilirea condițiilor pentru a minimiza impactul asupra mediului și consumul de resurse.

În acest context, industria poate alege între diferite opțiuni de protecție a mediului, cele mai relevante fiind:

- controlul poluării, principalele direcții de acțiune fiind controlul și tratarea emisiilor de poluanți (tratarea deșeurilor poluante, reciclare pe alte amplasamente, reducerea volumului de poluare și diluare pentru a reduce toxicitatea);
- prevenirea poluării (P2), care se concentrează pe gestionarea eco-eficientă a resurselor și realizarea unei producții mai curate, proiectarea pentru mediu, eco-design (Cagno și colab., 2005). Principiul P2 consideră că poluanții pot fi reduși sau eliminați prin creșterea eficienței în manipularea materiei prime, energiei și resurselor naturale.

Aspectele de care trebuie să se țină seama la aplicarea unor practici de protecția mediului și/sau prevenirea poluării sunt:

- impactul deșeurilor asupra mediului depinde de capacitățile de regenerare și asimilarea a acestuia;

- deșeurile sunt întâlnite pe întregul ciclu de viață al unui produs. Indiferent de natura lui (chimică sau non-chimică), un proces poate influența mediul de la prima etapă de producție (achiziția de materii prime), prin toate fazele din ciclul de viață al unui produs, inclusiv gestionarea deșeurilor.

Procesele de producție și consum sunt în strânsă legătură cu sursele de materii prime și mediul înconjurător atât în privința consumului de resurse, cât și al generării de deșeuri. Din punctul de vedere al economiștilor, atât sursele cât și deșeurile reprezintă capitalul natural.

În acest context, teza de doctorat ***“Integrarea aspectelor economice și practici de prevenire a poluării pentru o industrie durabilă”*** consideră implementarea unor alternative de prevenire a poluării în sectoarele industriale, în special din România, pentru a oferi prin evaluarea integrată a factorilor de mediu și tehnico-economici cadrul științific necesar factorilor de decizie.

Teza de doctorat are în vedere realizarea unor studii și cercetări, bine fundamentate din punct de vedere științific, referitoare la aplicarea unor metode, tehnici și metodologii specifice în scopul asigurării unei dezvoltări pe baze durabile a producției industriale prin prisma practicilor de prevenire a poluării considerând trei componente cheie ale procesului de fabricație: tehnologia, energia și materia primă.

În acest context, studiile și cercetările au fost particularizate pentru industria de fabricare a hârtiei tissue, deoarece, pe de o parte, aceasta reprezintă un sector cu un potențial important de poluare, iar pe de altă parte, are un potențial ridicat de conservare a resurselor și energiei prin reducerea la sursă și reciclare.

Obiectivul principal al tezei de doctorat a constat în selectarea și evaluarea unor alternative de prevenire a poluării cu aplicabilitate în procesul de fabricare a hârtiei tissue, precum și evaluarea durabilității lor în ceea ce privește atât eficiența în asigurarea calității mediului, cât și cea tehnică și economică. Studiul implică, de asemenea, analize comparative ale procesului de fabricație din România cu un proces dezvoltat pe baze durabile, din Olanda.

Deși unele studii au evidențiat posibilitatea de implementare a alternativelor de prevenire a poluării în industria hârtiei, foarte puține studii au fost științific susținute de o analiză integrată, bazată pe evaluarea ciclului de viață, analiza cost-beneficiu și modele multicriteriale, care permit selectarea celei mai sustenabile alternative și/sau scenariu.

În România, prezenta teză de doctorat este primul studiu pe această temă.

Obiectivele specifice au fost elaborate pentru a aborda și evalua următoarele alternative de prevenire a poluării:

- substituția materiei prime, în cadrul căreia fibrele virgine utilizate în procesul de fabricare a hârtiei tissue sunt înlocuite cu fibre recuperate;
- schimbarea tehnologiei, în cadrul căreia tehnologia de fabricare a hârtie tissue din Olanda se recomandă a fi aplicată în fabrica din România.

În acest cadru specific, cercetările din prezenta teză de doctorat cuprind un spectru larg de abordări ce vizează următoarele aspecte:

- analiza situației actuale a studiilor de caz care abordează procesul de fabricare a hârtiei tissue din România și Olanda, care utilizează diferite tipuri de materie primă;
- selectarea și dezvoltarea alternativelor de prevenire a poluării și a scenariilor asociate;
- stabilirea limitelor procesului și selecția proceselor unitare luate în considerare în etapa de evaluare;
- colectarea datelor privind intrările (resurse) și ieșirile (emisii, produse, deșeuri) relevante pentru procesul de fabricație a hârtiei tissue;
- aplicarea modelelor și metodologiei specifice analizei de Evaluare a Ciclului de Viață, cu scopul de a determina impactul asupra mediului a scenariilor de-a lungul ciclului de viață a hârtiei tissue; etapă care a fost realizată cu ajutorul softului GaBi, un instrument specific analizei ECV;
- evaluarea, compararea și ierarhizarea scenariilor considerând eficiența alternativelor și/sau a scenariilor din punct de vedere a factorilor de mediu;
- aplicarea metodologiei și metodelor de evaluare a viabilității economice și performanței scenariilor propuse folosind Analiza Cost - Beneficiu;
- evaluarea, compararea și ierarhizarea scenariilor folosind indicatorii Analizei Cost - Beneficiu și analiza de sensibilitate;
- aplicarea modelelor și instrumentelor asociate cu metoda de analiză multicriterială pentru a evalua, într-o manieră integrată, performanța de mediu, tehnică și economică a alternativelor de prevenire a poluării și a scenariilor elaborate;
- stabilirea criteriilor necesare pentru a sprijini factorii de decizie în selectarea priorităților și realizarea celei mai bune decizii în privința implementării unui anumit scenariu de fabricare a hârtiei tissue, pe baza metodei multicriteriale Procesul Analitic Ierarhic și analizei de sensibilitate;
- studii privind posibilitatea de a aplica principiile ecologiei industriale, considerând procesul de fabricare a hârtiei ca sistem central.

Teza este extinsă pe 338 de pagini fiind structurată în 7 capitole, cu 113 tabele, 124 figuri și 395 referințe.

Capitolul 1, intitulat ***“Stadiul actual al cercetărilor privind integrarea aspectelor economice și a practicilor de prevenire a poluării în procesele industriale durabile”*** cuprinde un studiu cuprinzător și critic de literatură privind progresele realizate pe plan mondial în abordarea sustenabilității industriale, integrarea aspectelor economice și a practicilor de prevenire a poluării în vederea asigurării durabilității industriale și generării cadrului științific al acestei teze.

În Capitolul 2 intitulat **„Instrumente de evaluare a practicilor de prevenire a poluării și aspecte economice ale prevenirii poluării”** am descris metodele, abordările și instrumentele de modelare aplicate pentru evaluarea alternativei de prevenire a poluării și a scenariilor, din punctul de vedere al factorilor de mediu, tehnici și economici. În cadrul studiului am aplicat metode recunoscute ca instrumente de suport decizional: Evaluarea Ciclului de Viață (ECV), Analiza Cost-Beneficiu (ACB), Analiza Multicriterială (MCA), cu accent pe eficiența sistemului industrial din punct de vedere a factorilor de mediu și tehnico-economici, astfel încât să se asigure viabilitatea industriei de fabricare a hârtiei tissue- selectată ca studiu de caz. Metodele au fost utilizate în procesul de luare a deciziilor pentru a determina cea mai bună practică de prevenire a poluării și/sau a scenariu, cu scopul de a preveni sau cel puțin reduce generarea poluării în proces.

În Capitolul 3 intitulat **„Studii de caz privind integrarea aspectelor economice și a practicilor de prevenire a poluării pentru o industrie durabilă”** am descris și analizat informațiile relevante privind procesul tehnologic de fabricare a hârtiei tissue din România folosind ca materie primă fibre virgine sau fibre recuperate, precum și procesul de fabricare a hârtiei tissue din Olanda. Procesul de fabricare a hârtiei este un proces complex, care implică multe etape, având astfel un potențial ridicat de poluare și un mare consum de resurse datorită exigențelor calitative a produsului finit.

Ca răspuns la obiectivele tezei, procesul de fabricare a hârtiei tissue din România a fost selectat ca studiu de caz, iar ca practici de prevenire a poluării au fost alese: substituția materiilor prime - fibre virgine cu hârtia recuperată - fibre reciclate; schimbarea unei secvențe tehnologice din procesul românesc cu unul similar, dar mai curat și mai eficient din studiul de caz olandez.

În acest context, au fost elaborate și fundamentate șase scenarii de prevenire a poluării, considerând procesul actual de fabricare a hârtiei tissue din România ca scenariu de referință. Celuloza pentru fabricarea hârtiei poate fi produsă din fibre virgine, prin mijloace chimice sau mecanice, sau din fibre recuperate. Scenariile care utilizează fibră recuperată ca materie primă au fost elaborate pe baza principiului de alocare. Conform acestui principiu materiile prime utilizate în procesul de fabricație au un anumit impact alocat din primul ciclu de producție, în acest caz fabricarea celulozei din fibră virgină, (energie, emisii), la care se adaugă impactul procesului actual de producție (energie, deșeuri, emisii).

Pentru o imagine de ansamblu a impactului asupra mediului al industriei de fabricare a hârtiei tissue, în Capitolul 4 intitulat **„Evaluarea impactului asupra mediului a sistemelor de fabricare a hârtiei tissue folosind analiza ciclului de viață”** am aplicat metodologia ECV (Evaluarea Ciclului de Viață). Abordarea ciclului de viață a sistemului-produs este o metodă suport pentru luarea deciziilor în vederea estimării și evaluării impactului asupra resurselor și a mediului atribuit fiecărei etape din viața unui produs (bunuri și/sau servicii) - de la extracția materiilor prime, procesul de producție, etapa de transport până la utilizare, eliminare sau reciclare. Metodologia pentru efectuarea unei analize a ciclului de viață a unui produs este compusă din

patru faze interactive denumite: *Definirea scopului și granițelor sistemului, Analiza de inventariere, Evaluarea impactului de mediu și Interpretarea rezultatelor.*

În faza de evaluare a impactului datele rezultate în urma analizei de inventariere au fost grupate, agregate în categorii de impact, cum ar fi consumul de resurse, schimbări climatice, acidifiere sau ecotoxicitate folosind software-ul GaBi, ca un instrument fiabil pentru studii privind ciclul de viață a unui sistem. Metodologiile disponibile în Gabi, cum ar fi: CML 2001, CML 1996, EDIP 97, EDIP 2003, EI95, EI99 au fost utilizate pentru a evalua potențialele impacte asupra mediului care apar de-a lungul vieții unui produs, de la achiziția de materii prime până la producție, utilizare și eliminare.

De asemenea, în cadrul acestui capitol am realizat și o analiză comparativă a procesului din România cu cel din Olanda în raport cu impactul asupra mediului și pentru a obține date cantitative pentru a recomanda tehnologia olandeză pentru implementare în fabrica românească. Schimbarea unui segment a procesului tehnologic de fabricare a hârtiei tissue poate conduce la potențiale economii și îmbunătățiri ale calității produsului finit care ar plăti înapoi investiția într-un timp scurt.

În Capitolul 5 intitulat **„Analiza economică a scenariilor de fabricare a hârtiei tissue aplicând Analiza Cost Beneficiu”** am realizat un studiu economic cu scopul de a analiza fezabilitatea alternativelor și/sau a scenariilor utilizând ca metodă de evaluare Analiza Cost-Beneficiu. Analiza economică a procesului de fabricare a hârtiei tissue a fost realizată pentru fiecare scenariu asociat cu cele două alternative de prevenire a poluării considerate în studiu (substituția materiilor prime și schimbări ale tehnologiei). Pentru fiecare dintre scenariile evaluate au fost determinate costurile și beneficiile implicate în fabricarea produselor tissue. Valorile determinate, calculate și estimate în analiza de inventariere au fost ulterior utilizate pentru a determina costurile și beneficiile totale specifice fiecărui scenariu. Eficiența alternativelor și/sau scenariilor a fost determinată utilizând diverși indicatori specifici analizei cost-beneficiu, cum ar fi: Raportul Beneficiu – Cost, Raportul Cost – Beneficiu și Valoarea Actualizată Netă.

În Capitolul 6 intitulat **„Evaluarea eficienței scenariilor de fabricare a hârtiei tissue din punctul de vedere al aspectelor de mediu și tehnico-economice folosind metoda multicriterială de analiză”** conține o analiză cuprinzătoare din perspectiva unor criterii cu un rol important în determinarea performanței unui proces. În cadrul acestui capitol am aplicat analiza multicriterială pentru a evalua posibilitatea alternativelor de prevenire a poluării și a scenariilor propuse de atingere a durabilității prin intermediul criteriilor de mediu și tehnico-economici. Mai precis, a fost aplicată metoda Procesul Analitic Ierarhic (AHP) pentru a obține ponderi de preferință ale factorilor de mediu, economici și tehnici utilizați în determinarea performanței procesului care utilizează fibre virgine sau fibre recuperate ca materii prime. În cadrul acestui capitol au fost parcurse mai multe etape specifice metodei AHP: *Definirea problemei de analizat și selecția factorilor de decizie; Structurarea ierarhiei decizionale; Stabilirea priorităților prin realizarea*

unor matrici de comparații utilizând metodele analizei AHP: metodele „Ranking și Rating” și metoda „Comparației prin Perechi”; Verificarea consecvenței rezultatelor obținute folosind un indice de consecvență.

Informații relevante cu privire la provocările reprezentate de realizarea unei industrii durabile aplicând principiile ecologiei industriale, dar și recomandări pentru studiile viitoare au fost prezentate în Capitolul 7 intitulat **„Aplicabilitatea principiilor ecologiei industriale în fabricile de hârtie”**. Pentru a atinge o dezvoltare durabilă în cadrul ecologiei industriale sunt necesare schimbări în procesul industrial, tipul și cantitatea de resurse utilizate în procesul de fabricare, modul de tratare a deșeurilor, controlul emisiilor și a calității produselor, constituind pe cât posibil un ciclu închis unde deșeurile generate dintr-un proces sunt revalorificate, fiind astfel reutilizate ca materie primă în alt proces.

Teza se încheie cu concluziile generale desprinse din cercetările și studiile de literatură efectuate în cadrul acestei teze de doctorat.

Această teză a fost elaborată în cadrul unui program doctoral de cotutelă între Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, România și Universitatea Twente - Centrul Twente pentru Studii în Tehnologie și Dezvoltarea Durabilă, (CSTM), Facultatea de Management și Guvernare, sub îndrumarea științifică a doamnei Profesor Maria Gavrilăscu și a domnului Profesor Hans Th. A. Bressers.

Capitolul 3.

STUDII DE CAZ PRIVIND INTEGRAREA ASPECTELOR ECONOMICE ȘI A PRACTICILOR DE PREVENIRE A POLUĂRII PENTRU O INDUSTRIE DURABILĂ

Considerată principalul responsabil pentru consumul de materiale în cadrul societății umane, precum și pentru schimbul de materiale și energie cu mediul înconjurător, industria hârtiei și, în special, industria de fabricare a hârtiei tissue a fost selectată ca studiu de caz în această teză cu scopul de a evalua durabilitatea industrială și eficiența alternativelor de prevenire a poluării și a scenariilor asociate acestor alternative.

În acest capitol am prezentat informații relevante privind procesul tehnologic de fabricare a hârtiei tissue din România folosind ca materie primă fibre virgine sau fibre recuperate. De asemenea, au fost prezentate și informații legate de procesul de fabricare a hârtiei tissue din Olanda. În cadrul acestui capitol am accentuat faptul că celuloza poate fi fabricată din fibre virgine, prin mijloace chimice sau mecanice, sau din hârtie reciclată. Procesul de fabricare a hârtiei și a celulozei este constituit din mai multe etape, cu un potențial ridicat de poluare, acesta fiind și un mare consumator de resurse datorită cerințelor calitative ale produsului final. Pe lângă materia

primă se mai consumă substanțe chimice și o cantitate mare de apă și energie sub formă de abur, combustibil sau energie electrică.

3.2.4. Elaborarea alternativelor/scenariilor privind procesul de fabricare a hârtiei tissue din România

Orientarea studiului către probleme legate de producția industrială se datorează faptului că prevenirea impactului, față de reducerea acestuia este considerată abordarea cea mai eficientă și ieftină, deoarece practicile de prevenire a poluării pot acționa direct asupra factorilor de eficiență a costurilor prin creșterea productivității, utilizarea eficientă a resurselor, îmbunătățirea performanței procesului de fabricare și, desigur, reducerea impactului asupra mediului. Producția industrială este un domeniu-cheie al activității umane fiind strâns legată de cele trei sfere ale dezvoltării durabile: competitivitatea economică, importanța socială (ocuparea forței de muncă, calitatea vieții), impactul asupra mediului.

Practicile cele mai aplicate de prevenire a poluării se referă la: management performant, substituția materiilor prime, un control mai bun al procesului, modificarea echipamentelor, schimbări ale tehnologiei, reciclare/reutilizare la locul generării, modificarea produsului (Petraru și Gavrilescu, 2010a).

În cadrul acestui studiu au fost elaborate obiective specifice pentru a aborda și evalua următoarele alternative de prevenire a poluării:

- **substituția materiei prime**, în cadrul căreia fibrele virgine utilizate în procesul de fabricare a hârtiei tissue sunt înlocuite cu fibre recuperate;
- **schimbarea tehnologiei**, în cadrul căreia tehnologia de fabricare a hârtiei tissue din Olanda sau un segment din această tehnologie se recomandă a fi aplicată în fabrica din România.

Deoarece fibrele recuperate provin din fibre virgine, în funcție de numărul de cicluri de reciclare, am considerat că fibrele recuperate au incluse diverse procente din impactul rezultat în urma fabricării celulozei din fibre virgine (80% pentru primul ciclu, de 60% pentru al doilea ciclu, 40% pentru al treilea ciclu). Baza de calcul este reprezentată de 1 tonă de produs. Pe baza acestor scenarii, au fost elaborate alte două scenarii, care au evaluat performanța procesului de fabricație a 3 tone de produse tissue folosind doar fibre virgine (VFB*3), sau doar fibre recuperate în trei cicluri (RCF*3).

Pentru evaluarea procesului de fabricare a hârtiei tissue am utilizat scenariile prezentate în Fig. 3.6 unde:

- Scenariul VFB – conține procesul de fabricare a unei tone de hârtie tissue din fibră virgină (provenite din lemn de molid) (Fig. 3.6a);
- Scenariul RCF 80% - conține procesul de fabricare a unei tone de hârtie tissue din fibră recuperată cu un impact alocat de 80% din fabricarea celulozei din fibră virgină (Fig. 3.6b);
- Scenariul RCF 60% - conține procesul de fabricare a unei tone de hârtie tissue din fibră recuperată cu un impact alocat de 60 % din fabricarea celulozei (Fig. 3.6c);

- Scenariul RCF 40% - conține procesul de fabricare a unei tone de hârtie tissue din fibră recuperată cu un impact alocat de 40 % din fabricarea celulozei (Fig. 3.6d);
- Scenariul VFB*3 – conține procesul de fabricare a 3 tone hârtie tissue folosind ca materie primă fibră virgină (molid) (Fig. 3.6e);
- Scenariul RCF*3 - conține procesul de fabricare a 3 tone hârtie tissue folosind ca materie primă fibră recuperată cu un impact alocat de, respectiv 80%, 60% și 40 % din fabricarea celulozei (Fig. 3.6f);
- Scenariul olandez (Dutch) – conține procesul olandez de fabricare a hârtiei tissue (folosind ca unitate funcțională 1 tonă hârtie tissue).

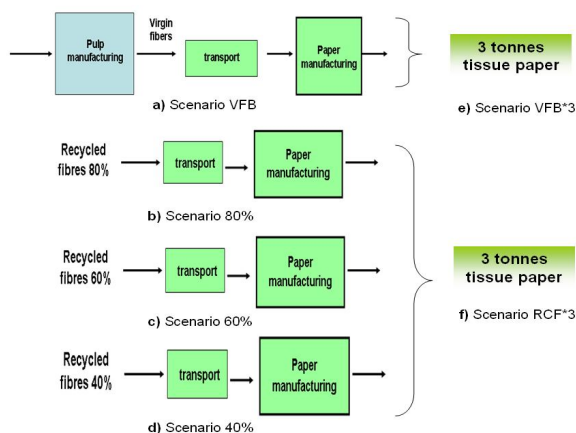


Fig. 3.5. Scenarii evaluate în cadrul tezei

Procesele unitare considerate pentru fiecare scenariu în parte au fost: transportul materialelor la fabrica de hârtie, procesul efectiv de fabricare a hârtiei tissue, consumul de substanțe chimice, consumul de energie și consumul de gaze naturale.

Pentru analiza comparativă a sistemului din România cu sistemul actual din Olanda am ales ca sistem de referință scenariul românesc RCF 80%. Principalul motiv din spatele acestei alegeri a constat în necesarul de materie primă care este aproape identic în ambele scenarii, scenariul RCF 80% având un necesar de 1,5 tone fibre/tonă de hârtie tissue, în timp ce scenariul olandez necesită un consum de 1,592 tone fibre/tonă de hârtie tissue.

Procesul tehnologic de fabricare din Olanda este în mare parte identic cu cel românesc. Principalele diferențe observate între procesele de fabricație au constat în eliminarea etapei de albire cu agenți reducători din sistemul olandez, suplimentarea etapei de albire cu agenți oxidanți și prezența CO₂ în etapa de spălare având rolul de a optimiza condițiile de efectuare a spălării celulozei. Principalele beneficii aduse procesului de fabricare au constat în descreșterea gradului

de impurități, consum redus de substanțe chimice, apă dar și energie termică, care ulterior au condus la costuri reduse de operare (Girard et al, 1999; Linde, 2003; Luthe et al, 2003).

Capitolul 4.

EVALUAREA EFICIENȚEI SISTEMELOR DE FABRICARE A HÂRTIEI TISSUE DIN PUNCTUL DE VEDERE AL FACTORILOR DE MEDIU FOLOSIND ANALIZA CICLULUI DE VIAȚĂ

Modelul Evaluării Ciclului de Viață (ECV) a fost utilizat în acest capitol cu scopul de a estima și evalua impactul asupra resurselor și a mediului atribuit fiecărei etape din viața unui produs (bunuri și/sau servicii) - de la extracția materiilor prime, procesul de producție, etapa de transport până la utilizare, eliminare sau reciclare (Levan, 2007; Petraru și colab., 2011; Rebitzer și colab., 2004)

Metodologia pentru efectuarea unei analize a ciclului de viață a unui produs este compusă din patru faze interactive (Fig. 2.1): Definirea scopului și granițelor sistemului, Analiza de inventariere, Evaluarea impactului de mediu și interpretarea rezultatelor (Dahlbo și colab., 2005; de Benedetto și Klemes, 2009; Iosip și colab., 2010; Iosip și colab., 2012; Pennington și colab., 2004; Petraru și colab., 2011; Pihkola și colab., 2010).

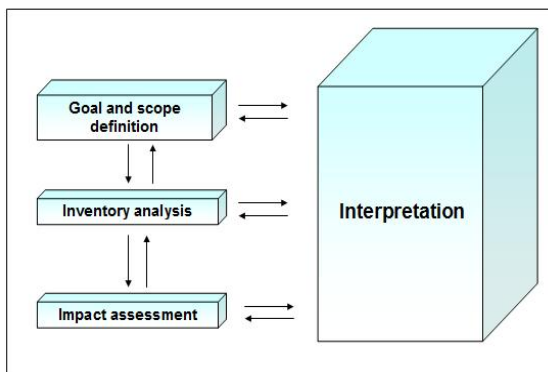


Fig. 2.1. Etapele unui studiu ECV

4.2. Definirea scopului, unității funcționale și a granițelor sistemului

Metodologia ECV a fost aplicată pentru a evalua performanța de mediu a procesului de fabricare a hârtiei tissue utilizând diverse scenarii dezvoltate în contextul practicilor de prevenire a poluării care au o trăsătură comună: substituția materiei prime (fibre virgine, molid) cu fibre reciclate din hârtie recuperată. În cadrul acestui capitol am realizat și o analiză comparativă a

procesului tehnologic de fabricare a hârtiei tissue de referință cu un sistem de fabricare dezvoltat pe baze durabile cu scopul de a evidenția principalele diferențe între cele două procese din punct de vedere al impactului asupra mediului (scenariul Dutch).

Unitatea funcțională

Unitatea funcțională stabilită în acest studiu este **fabricarea unei tone hârtie tissue**, pentru scenariile VFB, 80%, 60% și 40% și pentru cel din Olanda. Pentru scenariile VFB*3 și RCF*3 unitatea funcțională este **fabricarea a 3 tone hârtie tissue**.

Limitele sistemului analizat

Scenariile evaluate includ toate etapele procesului de fabricare a produselor tissue. Pentru fiecare stadiu al ciclului de viață a produselor tissue au fost determinate și calculate intrările, ieșirile și emisiile raportate la unitatea funcțională specifică fiecărui scenariu în parte. În cazul în care date specifice nu au fost disponibile au fost utilizate datele generice împreună cu estimările bazate pe datele colectate specifice proceselor de fabricare hârtie, în general, dar utilizând și literatura de specialitate. Fig. 4.1 și 4.2 prezintă limitele sistemului și procesele unitare la fabricarea hârtiei tissue din fibre virgine și recuperate.

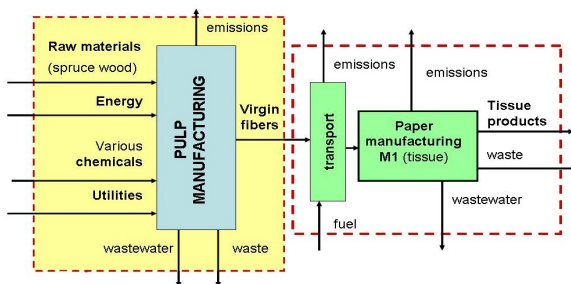


Fig. 4.1. Limitele sistemului de fabricare a hârtiei tissue folosind fibră virgină ca materie primă

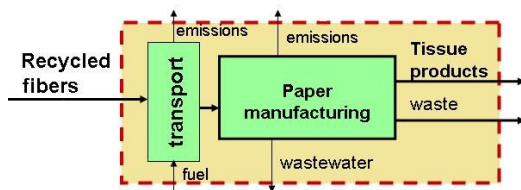


Fig. 4.2. Limitele sistemului de fabricare a hârtiei tissue folosind fibră recuperată ca materie primă

4.3. Analiza de inventariere

Pentru fiecare scenariu de fabricare a hârtiei tissue, intrările (resurse) și ieșirile (emisii, produse) relevante au fost determinate din literatura de specialitate, statisticile și rapoartele companiilor, baza de date ale software-ului GaBi, care ulterior au fost calculate și raportate la unitatea funcțională a fiecărui sistem (Holik, 2006; IPPC, 2000; IPPC, 2001; Madsen, 2007; PE International, 2009; Petraru și colab., 2011). Datele necesare pentru realizarea analizei de inventariere au constat din informații privind: materiile prime, substanțe chimice, energie, necesarul de apă, abur, emisiile în aer, apă și sol, produse finite, deșeuri solide, apă uzată (Madsen, 2007; Petraru și colab., 2011).

Vizitele efectuate la compania românească și asociațiile din Olanda au fost foarte utile în analiza de inventariere a procesului de fabricare a hârtiei tissue. Informațiile necesare pentru a efectua studiul ECV pentru procesul olandez de fabricare a hârtiei tissue au fost obținute în urma discuțiilor și vizitelor realizate la Asociația Olandeză de Management al Deșeurilor din Den Bosch (dl. Dick Hoogendoorn), Compania Twence din Hengelo (dl. Wim de Jong), și în special la Centrul de Competență pentru Hârtie și Carton (Kenniscentrum Papier en Karton) (discuții cu dl. Michiel Adriaanse). De foarte mare ajutor au fost și materialele obținute de la specialiști cum ar fi Helena Dahlbo de la Institutul Finlandez de Mediu (Finnish Environment Institute) și Tatjana Karpenja din INNVENTIA AB (Suedia).

Pornind de la datele furnizate de către specialiștii în domeniul celulozei și hârtiei a fost stabilit necesarul de materii prime pentru fiecare scenariu (Petraru și colab., 2011):

- 1,02 tone celuloză din fibre virgine (scenariul VFB);
- 1,5 tone fibre reciclate (scenariul RCF 80%);
- 1,5 tone + supliment de 15% pentru a compensa scăderea calității fibrelor reciclate din hârtie recuperată, după prima reutilizare (RCF 60%);
- 1,5 tone + supliment de 20% pentru a compensa scăderea calității fibrelor reciclate din hârtie recuperată după două cicluri (reutilizarea a doua a fibrelor) (RCF 40%).

În plus, cantitatea de lemn necesară pentru fabricarea a unei tone de hârtie din fibre virgine este de 2,5 tone (molid).

Pentru studiile de caz din România valorile cu consumabile au fost luate din listele de inventariere a companiilor (Vrancart, 2008), dar au fost determinate și pe baza discuțiilor purtate cu experții în domeniu sau din literatura (Holik, 2006; IPPC, 2001). Valorile pentru scenariul olandez au fost colectate și determinate după discuții purtate cu experți, dar utilizând și literatura care a stat la baza realizării sistem durabil olandez de fabricare a hârtiei (Diesen, 1999; Gottsching și Pakarinen, 1999; Neimo, 1999; Paulapuro, 2000).

Necesarul de energie și apă pentru sistemul de fabricare a hârtiei tissue din România specific fiecărei etape a procesului tehnologic de fabricare a fost determinat utilizând cerințele standard pe unitate de produs tissue (Abbasi și Abbasi, 2004; Arena și colab., 2004; Holik, 2006; IPPC, 2001). Pentru procesul olandez, necesarul de energie și apă au fost determinate pe baza

informațiilor furnizate de specialiști, dar și din literatură (Gottsching și Pakarinen, 1999; Neimo, 1999; Paulapuro, 2000).

Valorile emisiilor au fost colectate și determinate pe baza informațiilor furnizate de sursele disponibile cum ar fi: fabricile de hârtie (Vrancart, 2008, 2009) și rapoarte elaborate de specialiștii în domeniu, cum ar fi: Holik (2006), IPPC (2000), IPPC (2001), NPI (1998), Paper Task Force (1995), Gottsching și Pakarinen (1999), Neimo (1999).

4.4. Evaluarea impactului de mediu a sistemelor de fabricare a hârtiei tissue

În conformitate cu ISO 14040 și 14042, etapa de evaluare a impactului ciclului de viață (EICV) este utilizată în principiu pentru a obține indicatori cantitativi, și pentru a determina performanța de mediu a unui sistem (Cherubini et al, 2009; Frischknecht și Jungbluth, 2007; Madsen, 2007). Rezultatul etapei EICV reprezintă o evaluare a ciclului de viață a unui produs prin intermediul unor categorii de impact și a domeniilor de protecție (JRC European Commission, 2010a; Pennington și colab., 2004; Rebitzer și colab., 2004).

În Tabelul 2.1 sunt descrise cele mai relevante categorii de impact din metodologiile folosite într-un studiu LCA (Petraru și colab., 2011)

Table 2.1. Categorii de impact relevante într-un studiu de evaluare a ciclului de viață a unui produs (CML și VROM, 2001; Frischknecht și Jungbluth, 2007; Goedkoop și colab., 2008; Petraru și colab., 2011; USEPA, 2006)

<i>Categoria de impact</i>	<i>Descrierea categoriei de impact</i>	<i>Unitatea de referință</i>	<i>Substanțe care contribuie la categoria de impact</i>
<i>Potențialul de încălzire globală (GWP)</i>	- efectul emisiilor ca urmare a activităților umane asupra forței radiative a atmosferei duce la o creștere a temperaturii Pământului cu efecte negative asupra ecosistemului, sănătății umane și a resurselor	kg CO ₂ echiv. / kg emisii	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, CFCs, HCFCs, HFCs, CCl ₄ , CCl ₃ CH ₃ , CO
<i>Potențialul de epuizare a ozonului (ODP)</i>	- emisiile antropogenice care distrug stratul de ozon în stratosferă și măresc nivelul razelor UV (clorofluorcarboni (CFC) și oxizi de azot (NOx))	kg CFC-11 echiv. / kg emisii	CFCs, HCFCs, CCl ₄ , CCl ₃ CH ₃ , Bromură de metil (CH ₃ Br)
<i>Potențialul de acidifiere (AP)</i>	- acidifierea solului și a apei se produce prin transformarea poluanților atmosferici în compuși acizi (reacția emisiilor de SO ₂ cu apa poate forma ploai acide).	kg SO ₂ echiv. / kg emisii	SO _x , NO _x , HCl, HF, NH ₃

Potențialul de eutrofizare (EP)	- include efectele datorate unui nivel ridicat de nutrienți în mediul înconjurător. Azot (N) și fosfor (P) sunt cele mai importante substanțe care contribuie la eutrofizare.	kg PO ₄ echiv. /kg emisii	PO ₄ , NO ₃ , NO ₂ , Nitrați, NH ₄
Potențialul de formare a ozonului fotochimic (POCP)	- Radiațiile solare și prezența de oxizi de azot (NOx) și hidrocarburile (VOC, cum ar fi benzina, solvenți) distruge echilibrul natural și duce la apariția ozonului în troposferă. Cunoscut și sub numele de smog de vară, formarea ozonului în troposferă provoacă efecte asupra vegetației, materialelor și sănătății umane.	kg C ₂ H ₄ echiv. /kg emisii	NOx, VOCs, inclusiv CH ₄ , CO
Potențialul de toxicitate umană (HTP)	- include efectele negative asupra sănătății umane datorită substanțelor toxice emise în mediul înconjurător	kg 1,4- DCB echiv. /kg emisii	VOC, particule, metale grele, POPs, NOx, SO ₂ etc.
Potențialul de epuizare abiotică (ADP)	- include extracția mineralelor rare și a combustibililor fosili (cărbone, petrol și gaze naturale), considerate non-regenerabile deoarece formarea lor durează perioade îndelungate de timp și odată formate nu pot fi înlocuite de om	kg Sb echiv. / kg emisii	Cantitatea de minerale și combustibili fosili utilizată

În acest studiu, performanța procesului tehnologic de fabricare a hârtiei tissue utilizând diverse tipuri de materie primă a fost analizată folosind o aplicație specifică analizei ciclului de viață și anume mediul software GaBi. Metodele de evaluare a impactului de mediu disponibile în aplicația GaBi sunt: CML 2001, CML 1996, EDIP 2003, EDIP 1997, Ecoindicator 95, Ecoindicator 99, Impact 2002+, Ecological Scarcity Method (UBP), TRACI (PE International, 2009; Poopak și Agamuthu, 2011).

4.4.2. Evaluarea impactului de mediu a sistemelor de fabricare a hârtiei tissue din România

4.4.2.1. Evaluarea impactului de mediu folosind metodologia CML

Într-o primă abordare, am aplicat metodologia CML 2001 UE 25+3, urmată de metodologiile CML 2001 Europa și CML 1996. Diferența dintre metodologiile CML 2001 UE25+3 și CML 2001 Europa constau în modul în care a fost efectuată normalizarea. În CML 2001 UE25+3 normalizarea se face numai pentru statele membre ale UE, în timp ce în CML 2001 Europa normalizarea se face pentru întreaga Europă. În consecință, impactul asupra mediului

calculat prin cele două metode vor releva aceleași tendințe, dar valorile vor fi diferite ca urmare a normalizării.

Fig. 4.10 prezintă rezultatelor obținute în etapa de evaluare a impactului de mediu pentru scenariile VFB*3 și RCF*3 folosind indicatori de mijloc specifici metodologiei CML. Rezultatele, prezentate în valori normalizate pentru UE 25 +3, au evidențiat valori pozitive, semnificând un impact negativ asupra mediului pentru ambele scenarii. Scenariul VFB*3 are cel mai mare impact asupra mediului ca urmare a diferențelor constatate între cele două procese tehnologice de fabricare hârtie, diversitatea materiei prime utilizate și faptul că în procesul VFB*3 deșeurile nu sunt reutilizate, în timp ce în scenariul RCF*3 materia primă pentru procesul de fabricație constă numai din hârtie recuperată.

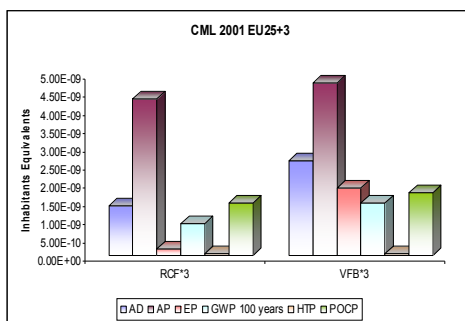


Fig. 4.10. Evaluarea impactului de mediu a scenariilor cu 3 tone hârtie tissue folosind metodologia CML 2001 EU25+3

În Fig. 4.12a-e este prezentată contribuția relativă a proceselor unitare la impactul de mediu asociate cu producția unei tone hârtie tissue pentru scenariile VFB, RCF 80%, RCF 60% și RCF 40%. Procesele unitare considerate a fi necesare în procesul de fabricare a hârtiei tissue sunt: transportul materialelor la fabrică, procesul efectiv de fabricare a hârtiei tissue, consumul de energie electrică, consumul de substanțe chimice și consumul de gaz natural (necesar pentru a suplimenta resursele în producerea aburului).

Influența proceselor unitare asupra potențialului de acidifiere (AP)

Conform rezultatelor obținute am constatat următoarele (Fig. 4.12a):

- contribuția la acidifiere a procesului unitar - *consumul de energie electrică* este:

- 84.18% în scenariul RCF 40%;
- 80.03% în scenariul RCF 60%;
- 76.40% în scenariul RCF 80%;
- 70.04% în scenariul VFB;

Motivul diferențelor se datorează descreșterii impactului alocat fibrei din primul ciclu de producție, fabricarea celulozei, cu fiecare reutilizare.

- contribuția procesului unitar de *fabricare a hârtiei tissue* la potențialul de acidifiere este:

- 11.15%, în scenariul RCF 40%;
- 15.57%, în scenariul RCF 60%;
- 19.51%, în scenariul RCF 80%;
- 18.62%, în scenariul VFB.

O contribuție semnificativă la această categorie de impact este adusă și de consumul de gaz natural utilizat pentru completarea necesarului de resurse pentru producerea aburului. Impactul datorat necesarului de gaz natural este mai semnificativ în cadrul scenariului care utilizează fibră virgină datorită complexității procesului tehnologic de fabricare a hârtiei tissue.

- transportul materiilor prime de la furnizori către fabrica de hârtie dar și consumul de substanțe chimice induce cea mai mică contribuție la categoria de impact. Pentru scenariul VFB transportul materialelor și consumul substanțelor chimice au avut cea mai mare contribuție. Cu orice reutilizare calitatea fibrei recuperate scade determinând o creștere în necesarul de materiale pentru a atinge calitatea impusă a produsului final. *Procesele unitare* din cadrul scenariului RCF 40% au prezentat astfel cea mai mare valoare a categoriei de impact AP comparativ cu celelalte scenarii RCF.

Am observat că emisiile care contribuie la această categorie de impact, SO₂ și NO_x, sunt generate în special datorită consumului de energie, dar și în timpul procesului de fabricare a hârtiei tissue (de exemplu în timpul producerii aburului).

Influența proceselor unitare asupra potențialului de eutrofizare (EP)

Am constatat că pentru scenariile RCF 80%, RCF 60% și VFB procesul unitar de fabricare a hârtiei tissue afectează majoritar categoria de impact EP (55.87%, 48.55% and 81.84%) (Fig. 4.12.b). Pentru aceleași scenarii influența consumului de energie este de 32.38%, 37.52% și 8.62%. Consumul de gaz natural are o contribuție la categoria de impact de 11.49%, 9.91%, 8.80%. Scenariul cu impactul cel mai mic este scenariul RCF 40% cu o contribuție a procesului unitar de fabricare hârtie de doar 32.40%. În cadrul acestei categorii de impact influența transportului și consumul de substanțe chimice este relativ mic cu valori procentuale de 1% până la 2.4%. Principalele substanțe care influențează potențialul de eutrofizare sunt nutrienții care se găsesc în materia primă, în special în scenariile care utilizează fibra virgină, COD și BOD (emisii în apă), și NO_x (emisii în aer).

Influența proceselor unitare asupra potențialului de încălzire globală (GWP)

Consumul de energie în procesul de fabricare a hârtiei tissue are o contribuție semnificativă la categoria de impact în toate scenariile analizate: 72.75% pentru RCF 40%; 71.99% pentru RCF 60%; 71.62% pentru RCF 80%; 49.47% pentru VFB (Fig. 4.12c). Consumul de gaz natural este procesul unitar care influențează GWP cu: 17.77 pentru RCF 40%; 17.58% pentru RCF 60%; 17.49% pentru RCF 80%; 40.30% pentru VFB. Pentru scenariile VFB și RCF 80% s-a putut observa că următorul contribuitor la impact este procesul unitar de fabricație, urmat de consumul de substanțe chimice. Consumul de substanțe chimice are o contribuție mai mare pentru scenariile RCF60% și RCF40% față de contribuția procesului unitar de fabricare datorită

descreșterii impactului alocat fibrei din primul ciclu de producție. Pentru toate scenariile analizate o contribuție redusă la încălzirea globală este atribuită transportului de materiale. Emisiile de CO₂ sunt principalii factori responsabili pentru contribuția proceselor unitare la încălzirea globală.

Influența proceselor unitare asupra potențialului de toxicitate umană (HTP)

Categoria de impact este influențată majoritar de consumul de energie (o contribuție de 94.16% pentru scenariul RCF 40%; 93.98% pentru scenariul RCF 60%; 93.90% pentru scenariul RCF 80%; 85.37% pentru scenariul VFB) și de consumul de gaz natural (aproximativ 4% pentru scenariile RCF 40%, RCF 60%, RCF 80% și 12.50% pentru scenariul VFB) (Fig. 4.12d).

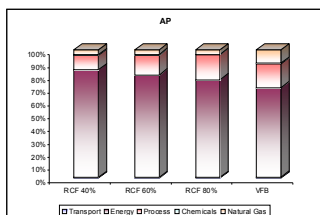
Contribuția procesului unitar de fabricare a hârtiei tissue la HTP este de aproximativ 2%. Restul contribuțiilor sunt atribuite în proporții mici celorlalte procese unitare: consumul de substanțe chimice și transportul materialelor. Emisiile de metale grele, generate în urma consumului de electricitate și gaze naturale sunt principalii factori care influențează categoria de impact. Procesul efectiv de fabricare contribuie foarte puțin la această categorie de impact prin generarea emisiilor de SO₂, NO_x.

Influența proceselor unitare asupra potențialului de formare a ozonului fotochimic (POCP)

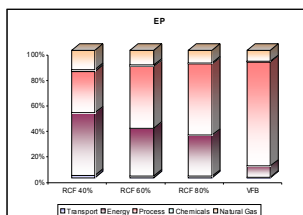
Consumul de energie a avut o contribuție semnificativă la categoria de impact în fiecare scenariu cu 80.68%, 75.64%, 71.36% și 67.49% pentru scenariile RCF 40%, RCF 60%; RCF 80% și respectiv scenariul VFB (Fig. 4.12e). Procesul unitar de fabricare a hârtiei tissue influențează categoria de impact cu 13.09% pentru scenariul RCF 40%; 18.58% pentru RCF 60%; 23.37% pentru RCF 80%; 18.01% pentru VFB. Consumul de gaz natural are o contribuție la POCP de aproximativ 4% pentru scenariile RCF 40%, RCF 60%, RCF 80% și o contribuție de 12.93% pentru scenariul VFB. O influență de doar 2% este reprezentată de consumul de substanțe chimice și transportul materialelor. Principalele substanțe responsabile de formarea ozonului fotochimic asociate cu fabricarea hârtiei tissue sunt emisiile VOC și NO_x.

Influența proceselor unitare asupra potențialului de epuizare a resurselor abiotice (ADP)

Categoria de impact este dominată de consumul de energie pentru toate scenarii, cu o contribuție de aproximativ 67% pentru scenariile care utilizează fibră recuperată. Consumul de gaz natural are o contribuție la ADP de 31%. Transportul materialelor are o contribuție de 1-1.35%. Pentru scenariul care utilizează fibră virgină influența gazului natural asupra categoriei de impact este majoritară cu o valoare de 59% , în timp ce o consumul de energie are o contribuție de 39%.



a) Potențialul de Acidifiere



b) Potențialul de Eutrofizare

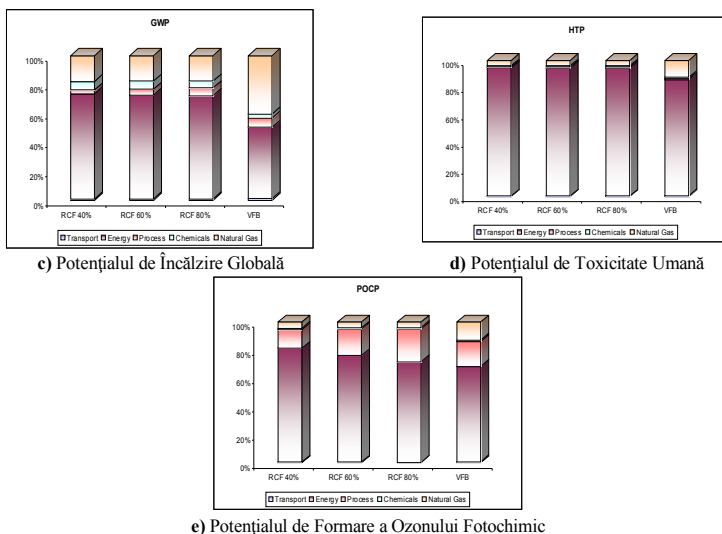


Fig. 4.12. Contribuțiile procentuale la categoriile de impact a principalelor procese unitare pentru sistemele cu o tonă hârtie tissue

Rezultate similare au fost obținute și în metodologiile CML 2001 Europa și CML 1996 (Fig. 4.13 și 4.14). Metodologia CML 96 Europa arată aceleași tendințe în cazul categoriilor de impact dar cu accent pe schimbările climatice, datorită substanțelor care se descompun treptat și devin inactive în timp (un orizont de 20, 100 și 500 de ani). Orizonturile mai lungi sunt de obicei utilizate pentru a evalua efectul cumulativ al emisiilor de gaze cu efect de seră, în timp ce orizonturile mai scurte oferă doar o indicație a efectelor pe termen scurt.

Utilizând metodologia CML 1996 a fost evaluat impactul de mediu a scenariilor și influența proceselor unitare cu privire la încălzirea globală cu un interval de timp de 20, 100 și 500 de ani (Fig. 4.16). Energia și consumul de gaze naturale sunt evidențiate ca principali factori care influențează categoria de impact. Impactul procesului unitar de fabricație asupra GWP scade cu reutilizarea fibrelor, în timp ce impactul rezultat în urma consumului de energie, gaze naturale și produse chimice este mai pronunțat mai ales pentru GWP 500 de ani, unde procesul unitar de fabricație reprezintă doar o contribuție de aproximativ 1%.

Conform rezultatelor obținute utilizând metodologia CML pentru evaluarea impactului de mediu asociat cu fabricarea hârtiei tissue ierarhia alternativelor considerate pentru implementare este:

favorabil → RCF40% → RCF60% → RCF80% → VFB → *nefavorabil*

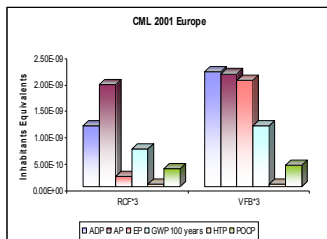


Fig. 4.13. Evaluarea impactului de mediu folosind metodologia CML 2001 Europa

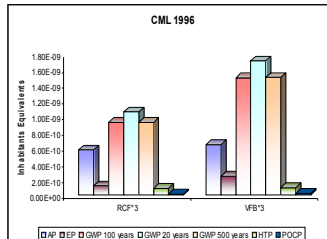
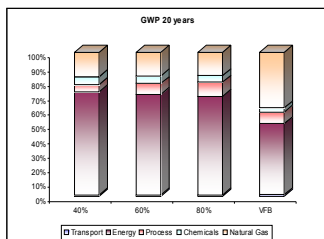
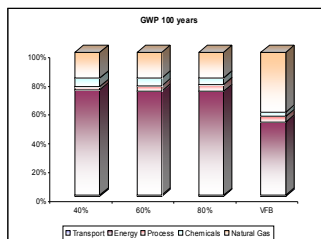


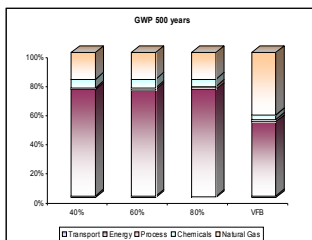
Fig. 4.14. Evaluarea impactului de mediu folosind metodologia CML 1996



a)



b)



c)

Fig. 4.16. Contribuția proceselor unitare asupra Potențialului de Încălzire Globală cu un interval de timp de 20 ani (a), 100 de ani (b) și 500 de ani (c)

4.4.2.2. Evaluarea impactului de mediu folosind metodologia EDIP

Fig. 4.18 și 4.19 arată rezultatele impactului asupra mediului a scenariilor VFB*3 și RCF*3 pentru metodologiile EDIP 1997 și EDIP 2003. Rezultatele obținute au evidențiat valori pozitive pentru categoria de impact NEP (Potențialul de îmbogățirea cu nutrienți) pentru ambele scenarii datorită concentrației emisiilor de azot și fosfor găsite în materia primă și produsele chimice. Concentrația emisiilor de CO₂ generate în timpul procesului de fabricație au o contribuție mai mare la GWP pentru scenariul VFB*3 față de scenariul RCF*3. Potențialul de Acidifiere este

caracterizat prin concentrațiile ridicate de azot (NO_x și NH_3) și sulf (SO_2) în aer, în timp ce substanțele care contribuie la formarea ozonului fotochimic evidențiază un impact relativ mare asupra vegetației.

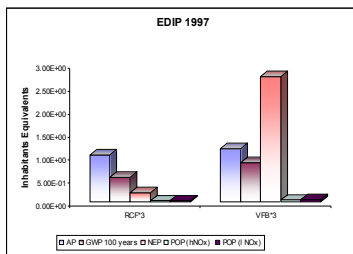


Fig. 4.18. Evaluarea impactului de mediu folosind metodologia EDIP 1997

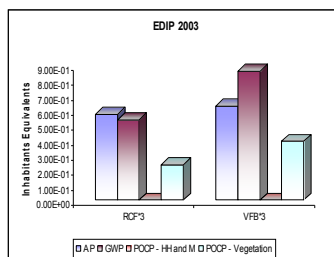


Fig. 4.19. Evaluarea impactului de mediu folosind metodologia EDIP 2003

4.4.2.3. Evaluarea impactului de mediu folosind metodologia Eco-Indicator

Metodologia Eco-Indicator este utilizată pentru a transforma datele din analiza de inventariere în puncte finale ale lanțului cauză-efect, cum ar fi (Dreyer și colab., 2003; Frischknecht și Jungbluth, 2007; Goedkoop și Spriensma, 2001; Gu și colab., 2008):

- *Efecte asupra sănătății umane*, exprimate ca dizabilități ajustate la ani de viață și conține efecte cancerigene, respiratorii și efectele apărute datorită schimbărilor climatice, epuizarea stratului de ozon și radiații ionizante;
- *Efecte asupra calității ecosistemului*, exprimate ca procent de specii care au dispărut în anumite zone datorită impactului de mediu și conține ecotoxicitatea, acidifiere și eutrofizare (într-o singură categorie de impact);
- *Efecte asupra resurselor* care indică extracția resurselor evidențiind calitatea mineralelor și restul resurselor.

Fig. 4.22 și 4.23 arată rezultatele obținute în urma evaluării sistemelor de fabricare a hârtiei tissue utilizând metodologiile EI 95 și EI99. Analiza a evidențiat importanța reutilizării deșeurilor obținute în procesul de fabricație conducând astfel, pentru scenariile care utilizează fibră recuperată, la un impact asupra mediului mai mic față de scenariul care utilizează doar fibră virgină.

Fig. 4.24a-c arată contribuția proceselor unitare la categoriile de impact specifice metodologiei EI95: Metale grele (kg Pb-Equiv.), Efecte Carcinogenice (kg PAH-Equiv.), Smogul de iarnă (kg SO_2 -Equiv.). Așa cum se poate observa categoriile de impact sunt influențate majoritar de procesul unitar consumul de energie (o contribuție care variază între 84%-98%). Pentru categoriile de impact, Metale grele și Smogul de iarnă, procesul unitar de fabricare a hârtiei

tissue este elementul secundar care influențează categoria de impact, fiind urmat de consumul de gaz natural și consumul de substanțe chimice utilizate în fabricarea hârtiei. Față de celelalte categorii de impact, Substanțele Carcinogenice, sunt influențate atât de consumul de energie electrică, gaz natural și substanțe chimice cât și de transportul materialelor la fabrică.

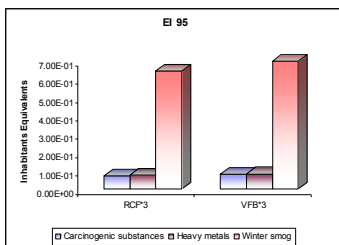


Fig. 4.22. Evaluarea impactului de mediu folosind metodologia EI 95

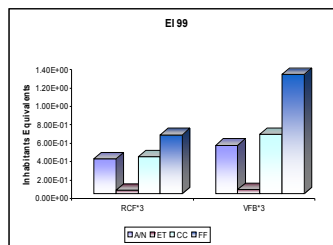
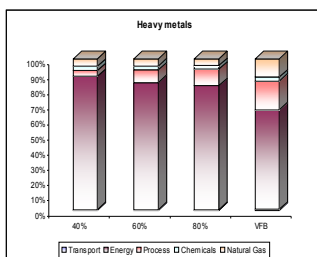
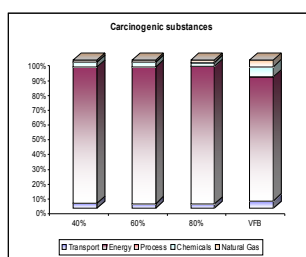


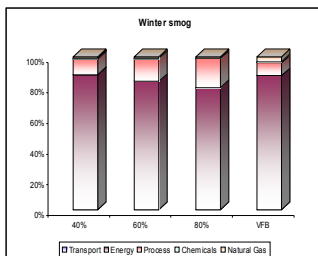
Fig. 4.23. Evaluarea impactului de mediu folosind metodologia EI 99



a)



b)



c)

Fig. 4.24. Contribuția proceselor unitare la impact ul de mediu folosind metodologia EI 95 unde: a) Metale grele; b) Substanțe carcinogene; c) Smogul de iarnă

În urma evaluării impactului de mediu a procesului de fabricare a hârtiei tissue cu metodologia Eco-Indicator, **scenariul RCF 40 % a fost considerat ca fiind scenariul cel mai favorabil din punct de vedere al factorilor de mediu**, urmat de scenariul RCF 60%, RCF 80% și în final scenariul care utilizează fibră virgină. Principalul motiv care a condus la obținerea acestor rezultate a fost impactul alocat fibrei recuperate din primul ciclu de producție.

4.4.3. Analiză comparativă a impactului asupra mediului: Procesul românesc comparativ cu procesul olandez de fabricare a hârtiei tissue

Pentru a evidenția situația industriei din România a fost realizată o analiză comparativă a sistemului industrial de fabricare a hârtiei tissue din țara noastră cu un sistem industrial dezvoltat pe baze durabile, și anume procesul de fabricare din Olanda. Rezultatele au arătat că procesul olandez este mult mai durabil decât cel românesc datorită diferențelor observate între cele două sisteme, eficienței în gestionarea resurselor, dar și ca urmare a modernizării procesului tehnologic de fabricare a hârtiei tissue.

Principalele diferențe observate în sistemul olandez constau în realizarea unor **etape succesive de albire cu agenți oxidanți, eliminarea etapei de albire cu agenți reducători și prezența CO₂ în etapa de spălare** pentru a optimiza condițiile efectuării spălării (Fig. 4.7) (Girard et al, 1999; Linde, 2003; Luthe et al, 2003).

O altă practică de prevenire a poluării este **schimbarea tehnologiei**, fiind astfel analizată și eventual recomandată pentru implementare în fabrica din România. Analiza a început cu determinarea impactului asupra mediului a procesului olandez de fabricare a hârtiei tissue fiind ulterior comparat cu impactul generat de procesul românesc (RCF 80%). Analiza comparativă a impactului de mediu procesului olandez de fabricare a hârtiei tissue cu cel românesc a fost realizată folosind metodologiile CML 2001, CML 1996, EDIP 1997, EDIP 2003, Eco-Indicator 95 și Eco-Indicator 99.

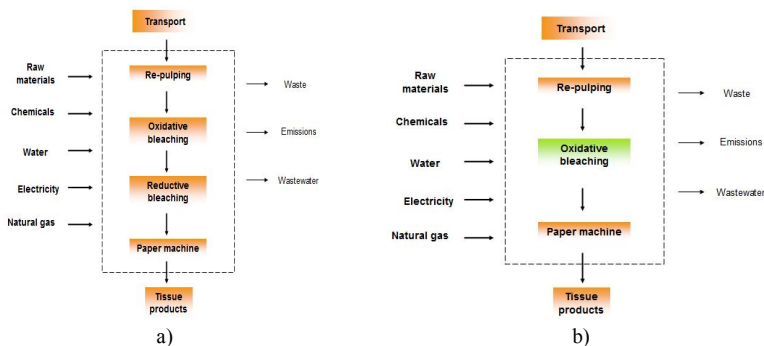


Fig. 4.7. Diferențe între sistemul de fabricare a hârtiei tissue din România (a) și cel din Olanda (b)

4.4.3.1. Analiză comparativă a impactului de mediu a proceselor de fabricare a hârtiei tissue din România și Olanda folosind metodologia CML

Fig. 4.26 prezintă rezultatele evaluării impactului de mediu a procesului românesc de fabricare a hârtiei tissue cu cel olandez folosind metodologia CML 2001 EU25+3. Diferențele constatate în sistemul olandez de fabricare a hârtiei tissue a condus la un impact mult mai mic asupra mediului, contribuțiile proceselor unitare având o distribuție aproape identică pentru fiecare categorie de impact așa cum se poate observa și din Fig. 4.27.

Influența proceselor unitare asupra categoriei de impact AP

Procesul unitar cu cea mai mare contribuție asupra categoriei de impact este consumul de energie (76,40% pentru scenariul românesc, RO și o influență de 60,93% pentru scenariul olandez, Dutch) (Fig. 4.27a). Procesul unitar de fabricare a hârtiei tissue a avut o contribuție de 19,51% pentru scenariul RO, în timp ce pentru scenariul Dutch contribuția procesului unitar la AP a fost redusă. Pentru scenariul Dutch consumul de produse chimice a avut o contribuție de 19,25% datorită echipamentelor tehnologice cu un necesar mic de materiale, apă și resurse regenerabile. Contribuțiile rămase fiind alocate celorlalte procese unitare care influențează categoria de impact.

Influența proceselor unitare asupra categoriei de impact EP

Procesul unitar olandez de fabricare hârtie are o contribuție mai mică la categoria impact decât procesul din România (Fig. 4.27b). Acest lucru se datorează concentrației scăzute de nutrienți, cum ar fi azot și fosfor (materia primă, substanțe chimice, apă uzată), dar și emisiilor COD, BOD generate în special după tratarea apelor reziduale.

Influența proceselor unitare asupra categoriei de impact GWP

Impactul proceselor unitare ale sistemului olandez este mai mic, contribuția asupra categoriei de impact fiind aproape identică (Fig. 4.27c). Am observat că procesele unitare, consumul de energie și gaze naturale nu ridică aceleași probleme evidențiate în sistemul românesc. Ca urmare a unui necesar redus de energie pentru fabricarea hârtiei tissue, procesul unitar reprezentat de consumul de energie are o contribuție asupra categoriei de impact de doar 48% pentru sistemul olandez, în timp ce pentru scenariul românesc contribuția ajunge la aproximativ 71,62%. Consumul de substanțe chimice și gaze naturale influențează această categorie de impact cu un procentaj de 23,45%, respectiv 23,18% pentru sistemul olandez, în timp ce procesul unitar de fabricare are o contribuție de numai 3.88% (față de cel românesc o contribuție de 5,33%), urmat de transportul cu 1.48%.

Influența proceselor unitare asupra categoriei de impact HTP

Diferențele majore observate între cele două sisteme au condus în cadrul acestei categorii de impact la valori negative a procesului unitar de fabricare a hârtiei tissue pentru scenariul olandez (Fig. 4.27d). Valoarea negativă a categoriei de impact reprezintă beneficii de mediu datorită unei concentrații scăzute a emisiilor de SO₂ și NO₂. Contribuția consumului de energie, gaze naturale și transportul materialelor influențează categoria de impact în special prin emisiile de metale grele.

Influența proceselor unitare asupra categoriei de impact POCP

Concentrația emisiilor generate în timpul procesului de fabricație a evidențiat și pentru această categorie de impact beneficii de mediu (Fig. 4.27e). Astfel, emisiile de NO_x și VOC generate în timpul procesului unitar de fabricare a hârtiei tissue nu au o concentrație suficientă pentru a forma ozon în troposferă. Principala contribuție la categoria impact este adusă de consumul de energie, produse chimice și gaze naturale.

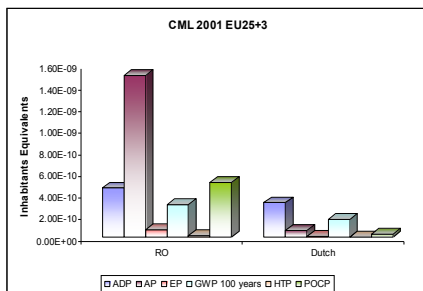
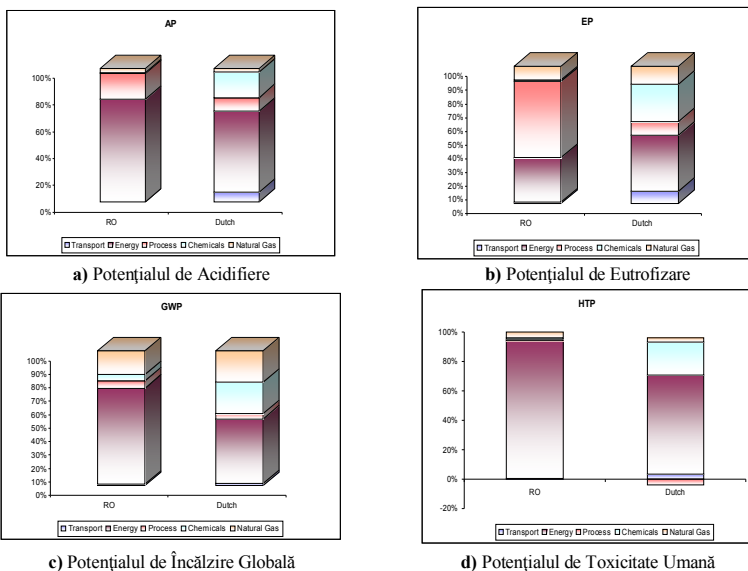
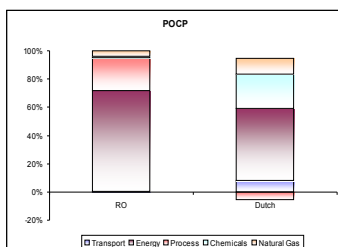


Fig. 4.26. Evaluarea impactului de mediu a scenariului din Olanda și România folosind metodologia CML 2001 EU25+3





e) Potențialul de Formare a Ozonului Fotochimic

Fig. 4.27. Contribuția proceselor unitare asupra categoriilor de impact pentru scenariul din România și cel din Olanda utilizând metodologia CML 2001 EU25+3

4.4.3.2. Analiză comparativă a impactului de mediu a proceselor de fabricare a hârtiei tissue din România și Olanda folosind metodologia EDIP

Fig. 4.32 și 4.33 prezintă rezultatele evaluării impactului de mediu a procesului de fabricare a hârtiei tissue din România comparativ cu sistemul existent în Olanda folosind metodologiile EDIP 1997 și EDIP 2003. Toate categoriile de impact au evidențiat pentru scenariul olandez valorile relativ scăzute față de scenariul românesc, dovedind astfel importanța selecției adecvate a granițelor sistemului.

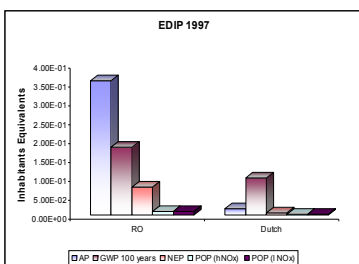


Fig. 4.32. Analiză comparativă a impactului de mediu pentru scenariul olandez și românesc folosind metodologia EDIP 1997

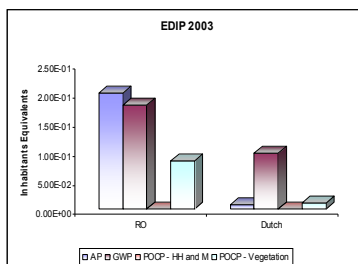


Fig. 4.33. Analiză comparativă a impactului de mediu pentru scenariul olandez și românesc folosind metodologia EDIP 2003

4.4.3.3. Analiză comparativă a impactului de mediu a proceselor de fabricare a hârtiei tissue din România și Olanda folosind metodologiile Eco-Indicator 95 și 99

Analiza comparativă a sistemului din România cu cel din Olanda cuprinde și evaluarea eficienței procesului de fabricare a hârtiei tissue folosind categoriile de impact de la sfârșitul lanțului cauză-efect (punct final), bazate pe metodologia Eco-Indicator.

Fig. 4.36 prezintă rezultatele evaluării impactului de mediu al sistemelor folosind categoriile de impact specifice metodologiei EI 95, cum ar fi: Substanțele Cancerigene, Metale Grele și Smogul de Iarnă. Rezultatele au subliniat valori mici pentru scenariul olandez, scenariul RO evidențiind un impact mai mare ca urmare a contribuției la categoriile de impact a emisiilor generate, în special, în urma consumului de energie.

Fig. 4.38 prezintă rezultatele evaluării impactului de mediu folosind categoriile de impact specifice metodologiei EI 99. Pentru acest studiu *Deteriorarea calității ecosistemelor* cu categoriile de impact Acidifiere/Nitrifiere (N / A), ecotoxicitate (ET), *Efecte asupra sănătății umane*, cu efecte cancerigene (CE), schimbările climatice (CC) și respiratorii (anorganic), *Efecte asupra resurse naturale* cu combustibili fosili (FF) sunt utilizate pentru determinarea eficienței procesului tehnologic.

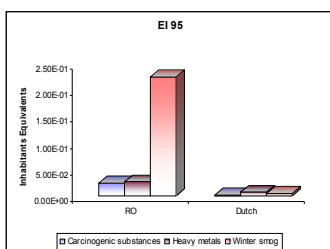


Fig. 4.36. Evaluarea impactului de mediu a scenariului olandez și românesc folosind metodologia EI 95

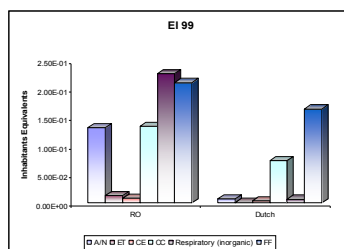


Fig. 4.38. Evaluarea impactului de mediu a scenariului olandez și românesc folosind metodologia EI 99

În urma evaluării impactului de mediu folosind metodologia EI 99 procesul olandez de fabricare hârtie a evidențiat beneficii de mediu pentru categoriile de impact Acidifiere/Nitrifiere și Efecte Respiratorii datorită concentrației reduse de emisii generate în timpul procesului actual de fabricație. Principalii factori responsabili pentru impactul asupra mediului sunt substanțele SO₂, NO_x și VOC.

Ierarhizarea scenariilor evaluate conform impactului asupra mediului arată scenariul RCF40% (scenariul cu 40% impact alocat din fabricarea celulozei din fibră virgină) ca fiind cel mai sustenabil, urmat de scenariul RCF 60% (cu un impact alocat de 60%), apoi scenariul RCF 80% (impact alocat din fabricarea celulozei de 80%) și în final scenariul VFB (scenariul care implică fabricarea hârtiei tissue din fibre virgine).

Rezultatele analizei comparative între sistemul olandez și cel românesc au evidențiat că proces olandez este durabil din punctul de vedere al impactului asupra mediului. Astfel, luând în considerare alternativa de prevenire a poluării – schimbarea tehnologiei, s-au obținut date cantitative care ne pot ajuta în recomandarea tehnologiei sau unui segment din tehnologia olandeză pentru implementare în fabrica românească.

Chapter 5.

ANALIZA ECONOMICĂ A SCENARIILOR DE FABRICARE A HÂRTIEI TISSUE

APLICÂND ANALIZA COST BENEFICIU

Studiile economice de fezabilitate sunt instrumente esențiale în procesul de luare a deciziilor privind implementarea proiectelor. Având ca principal obiectiv determinarea soluției optime sau evaluarea eficienței deciziilor deja luate/proiectelor deja implementate, Analiza Cost-Beneficiu este o metodă economică puternică de evaluare cu o procedură sistematică de evaluare a deciziilor cu impact asupra societății (Cheremisinoff, 2001; Dupuis, 1985; Petraru și Gavrilescu, 2010a; RDC-Environment și Pira International, 2003; UNEP, 2006; Voorhees și colab., 2001)..

Analiza cost-beneficiu analizează beneficiile și costurile cu scopul de a determina beneficiul net și a evidenția cea mai viabilă alternativă din punct de vedere economic (Huang și colab., 2008;. Kuik, 2000; RDC-Environment și Pira International, 2003). Principalele etape desfășurate în cadrul unei analize cost-beneficiu sunt prezentate în Fig. 2.15.

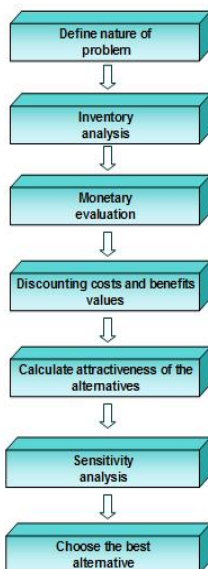


Fig. 2.15. Etapele Analizei Cost-Beneficiu (Kunreuther și colab, 2001; Petraru și Gavrilescu, 2010a; Ghinea și Gavrilescu, 2010)

5.1. Scopul și domeniul de aplicare a analizei

Obiectivul acestei analize constă în evaluarea viabilității economice a diferite alternative de fabricare a hârtiei tissue cu scopul de a determina cel mai fezabil proces de fabricare produse de hârtie. Studiul de caz avut în vedere este procesul de fabricare a hârtiei tissue din România folosind ca materie primă fibrele virgine (molid). Așa cum a fost menționat anterior unele scenarii sunt elaborate luând în considerare două alternative de prevenire a poluării: substituția materiei prime (fibre virgine, cu fibre recuperate) și schimbarea tehnologiei de fabricație (procesul olandez recomandat pentru implementare în fabrica românească). Influența principalilor parametri asupra ierarhiei scenariilor conform eficienței sistemelor din punct de vedere al factorilor economici a fost de asemenea evaluată folosind analiza de sensibilitate. În Fig. 5.1. sunt prezentate limitele scenariilor analizate cu metoda ACB.

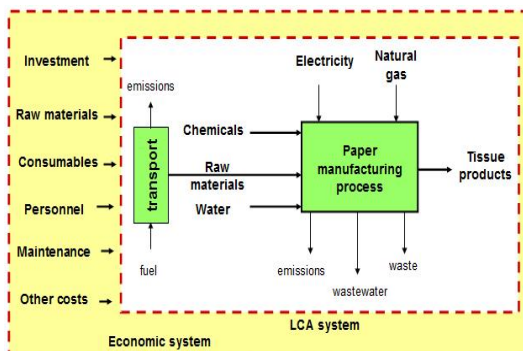


Fig. 5.1. Limitele sistemului de fabricare a hârtiei tissue
(Petruș și colab., 2011; Gemechu și colab., 2011)

5.2. Analiza de inventariere

Analiza de inventariere pentru scenariile considerate s-a dovedit a fi o sarcină grea datorită complexității scenariilor și alternativelor, deoarece costurile au trebuit să fie determinate luând în considerare numărul de cicluri pentru hârtie recuperată, scăderea calității fibrelor reciclate care a condus la creșterea costurilor cu achiziția materiei prime, substanțelor chimice. În analiza de inventariere, necesarul de materiale a fost un factor important în determinarea eficienței unui scenariu datorită diferențelor existente între procesele de fabricare a hârtiei tissue (fiecare alternativă utilizează o cantitate diferită de materie primă care conduce la o modificare a cantității utilizate a celorlalte consumabile).

Pentru fiecare dintre scenariile evaluate au fost determinate costuri și beneficii asociate cu fabricarea produselor tissue.

Costurile estimate pentru scenarii de fabricare a hârtiei tissue au inclus **costurile de capital (investiții), de operare și întreținere (de producție)** (Diesen, 1999).

Costurile de producție sunt costurile care implică (AWAST, 2004; Diesen, 1999):

- *costurile cu achiziția materialelor* (lemn, fibre recuperate, produse chimice, energie, gaze naturale, apă și combustibil);
- *costurile cu personalul, de întreținere, costurile administrative și alte costuri* care sunt sau pot apărea în timpul procesului de fabricație.

Costurile de investiții reprezintă costurile cu terenul, costurile de achiziție a echipamentelor și mașinilor.

Beneficii luate în considerare pentru analiza cost-beneficii au fost: *beneficiile care rezultă din vânzările produselor tissue, beneficii de mediu, beneficii care rezultă de operațiunile efectuate de fabrică (de întreținere și de management) și beneficiile din respectarea legislației.*

5.3. Evaluarea economică a alternativelor de fabricare a hârtiei tissue

În aceasta fază a analizei cost-beneficii sunt construite tabele cu costuri și beneficii, sunt identificate costurile și beneficiile relevante, sunt estimate cantitățile pentru o anumită perioadă de timp și este determinată fezabilitatea pentru fiecare scenariu luat în considerare și pentru alternativele P2 (Norden, 2007; Treasury Board of Canada Secretariat, 1998).

Costurile și beneficiile totale și costurile de investiții asociate cu fabricarea hârtiei tissue pentru fiecare scenariu în parte sunt prezentate în Tabelul 5.16. Folosind aceste valori am determinat eficiența scenariilor din punct de vedere economic. Folosind diverși indicatori ACB am calculat rezultatele finale ale analizei și a fost realizată o ierarhizare a scenariilor.

Tabel 5.16. Costurile și beneficiile totale specifice alternativelor evaluate

<i>Alternative</i>	<i>Costuri cu investițiile (€/y)</i>	<i>Costuri totale (€/y)</i>	<i>Beneficii totale (€/y)</i>
VFB	22412636	11746641	15641681
RCF 80%	17934799	7580387	15433368
RCF 60%	17934799	8043825	15456540
RCF 40%	17934799	8292632	15468981
VFB*3	22412636	11782916	15643495
RCF*3	17934799	7972521	15452975
Dutch	22990143	36118849	124451110

5.3.3. Evaluarea alternativelor de fabricare hârtie tissue folosind indicatorii specifici Analizei Cost-Beneficiu

Indicatorii utilizați în analiza cost-beneficiu pentru evaluarea atractivității alternativelor sunt: **raportul beneficiu cost, raportul cost beneficiu și valoare actualizată netă.**

Raportul Beneficiu – Cost (BCR) - este determinat prin divizarea valorii totale prezente a beneficiilor (PVB) la valoarea totală prezentă a costurilor (PVC) alternativei (Ec. 5.13). Dacă valoarea BCR este mai mare decât unitatea, atunci proiectul este viabil din punct de vedere economic.

$$BCR = \frac{PVB}{PVC} \quad (5.13)$$

Raportul Cost – Beneficiu (CBR) este inversul raportului BCR unde valoarea totală prezentă a costurilor proiectului (PVC) este divizată la valoarea totală prezentă a beneficiilor financiare (PVB) (Ec. 5.14). Rezultatul raportului trebuie să fie mai mic decât unitatea pentru ca o alternativă să fie considerată o soluție viabilă pentru implementare.

$$CBR = \frac{PVC}{PVB} \quad (5.14)$$

PV este valoarea prezentă (actualizată) a unui flux viitor de beneficii care se determină prin factorul de actualizare. Factorul de actualizare este folosit pentru a aduce fluxurile de venituri și cheltuieli din timpul t la momentul 0 pentru a asigura comparabilitatea valorilor necesare pentru producerea hârtiei tissue ce apar în ani diferiți (Ec. 5.15).

$$df = \frac{1}{(1+r)^t} \quad (5.15)$$

unde: r reprezintă rata de actualizare utilizată; t reprezintă numărul anului pentru care se realizează actualizarea (10 ani).

Rata de actualizare este determinată folosind Ec. 5.16:

$$r = \frac{r_d}{100} + \frac{r_i}{100} + \frac{r_v}{100} + \frac{r_r}{100} \quad (5.16)$$

unde: r_d este rata anuală a dobânzii; r_i este rata anuală a inflației; r_v este deprecierea sau reprecieriă anuală a monedei; r_r marja de risc; $r=r_i=5\%$.

Valoarea actualizată netă (NPV) prezintă valoarea economică a unui proiect (beneficii sau pierdere) care se calculează ca o diferență între valoarea actuală a beneficiilor (PVB) și valoarea actuală a costurilor (PVC) specifice unui proiectului (Ec. 5.17).

$$NPV = PVB - PVC \quad (5.17)$$

Rezultatul este o sumă de bani care reprezintă valoarea concretă a proiectului (profit sau pierdere). Dacă beneficiul net (beneficii minus costuri) este mai mare decât zero, proiectul poate fi implementat; în cazul în care rezultatul este mai mic decât zero atunci proiectul nu va aduce beneficii dacă este implementat și nu este recomandat pentru implementare (Cheremisinoff, 2001, 2003).

5.3.3.3. Raportul Cost-Beneficiu și Beneficiu-Cost

Folosind ecuațiile (5.13) - (5.17) am calculat raportul Cost-Beneficiu și raportul Beneficiu-Cost. Tabelul 5.31 prezintă rezultatele obținute pentru toate scenariile de fabricare a hârtiei tissue.

Table 5.31. Raportul Beneficiu-Cost și Cost-Beneficiu

<i>Alternative</i>	<i>Valoare Prezentă a Costurilor (€/an)</i>	<i>Valoare Prezentă a Beneficiilor (€/an)</i>	<i>Raportul Cost- Beneficiu CBR=C/B</i>	<i>Raportul Beneficiu-Cost BCR=B/C</i>
VFB	100853215	105909822	0.952256	1.050138
RCF RCF 80%	68387746	104499337	0.654432346	1.52804183
RCF RCF 60%	71524889	104656234	0.683426933	1.463214211
RCF RCF 40%	73209132	104740467	0.69895747	1.43070222
VFB*3	101098768	105922103	0.95446337	1.04770914
RCF*3	71042213	104632094	0.67897153	1.47281581
Dutch	266385469	842658469	0.316125	3.163305

Având în vedere scenariile din România se poate observa că alternativa cea mai potrivită pentru implementare, din punct de vedere economic este scenariul cu un impact alocat de 80%, RCF80% (raportul cost / beneficiu este cel mai mic semnificând un cost de 0.62€ pentru un venit de 1€). Pentru scenariile VFB și VFB*3 am observat că rezultatele nu au fost influențate de unitatea funcțională diferită (1 tonă respectiv 3 tone hârtie tissue), scenariile având cea mai mare valoare a raportului CBR și cea mai mică valoare a raportului BCR cu o valoare aproape de a aduce un prejudiciu economic companiei.

Pornind de la scenariul cel mai viabil economic la cel mai puțin viabil în continuare este prezentată ierarhia scenariilor care au ca unitate funcțională 1 tonă hârtie tissue:

$mare_B / C_raport \xrightarrow{Dutch > RCF80\% > RCF60\% > RCF40\% > VFB} mic_B / C_raport$

$mare_C / B_raport \xrightarrow{VFB > RCF\ 40\% > RCF\ 60\% > RCF\ 80\%} mic_C / B_raport$

Făcând abstracție de dezvoltarea economică și de momentul aplicării legislației de mediu se poate observa că, atât rezultatele raportului Cost-Beneficiu cât și raportul Beneficiu-Cost au evidențiat că scenariul olandez este cel mai favorabil pentru implementare din punct de vedere al analizei factorilor economic cu o cheltuială de 0.3€ pentru un beneficiu de 1€.

5.3.3.4. Indicatorul Valoare Actualizată Netă

Indicatorul NPV prezintă aceeași tendință observată în cadrul raportului cost beneficiu și beneficiu cost: toate alternativele sunt fezabile din punct de vedere economic, iar scenariul RCF 80% este cel mai potrivit pentru implementare, în timp ce dintre toate alternativele procesul olandez rămâne alternativa cea mai potrivită cu o valoare de 90% mai mare decât sistemul român (Tabelul 5.32).

Pentru o privire de ansamblu mai bună rezultatele factorului NPV au fost prezentare sub formă de o ierarhie a scenariilor evidențiind alternativa cu cel mai mare scor.

$valoare_mare \xrightarrow{Dutch > RCF80\% > RCF60\% > RCF40\% > VFB} valoare_mica$

Tabelul 5.32. Rezultatele indicatorului Valoare actualizată netă

<i>Alternative</i>	<i>Valoare Prezentă a Costurilor (€/an)</i>	<i>Valoare Prezentă a Beneficiilor (€/an)</i>	<i>Valuare Actualizată Netă NPV=B-C</i>
VFB	100853215	105909822	5056607
RCF 80%	68387746	104499337	36111591
RCF 60%	71524889	104656234	33131345
RCF 40%	73209132	104740467	31531335
VFB*3	101098768	105922103	4823335
RCF*3	71042213	104632094	33589881
Dutch	266385469	842658469	576273000

5.4. Analiza de sensibilitate pentru Analiza Cost Beneficiu

Analiza de sensibilitate stabilește o valoare minimă și, respectiv maximă pentru o variabilă cu scopul de a determina viabilitatea unei alternative în cazul unor modificări care pot apărea în timp. Experții în domeniu recomandă ca fiecare studiu CBA să fie însoțit de o analiză de sensibilitate (NORDEN, 2007).

Pentru fiecare scenariu în parte sunt investigați principalii parametri din analiza costurilor și anume: costurile implicate în procesul de fabricație, cum ar fi valoarea cu achiziția materiei prime (lemnul sau fibra recuperată) și costurile de investiții. Principalii parametri din analiza beneficiilor utilizați în analiza de sensibilitate au constat în beneficiile rezultate din vânzarea produselor finite și beneficiile de mediu.

Pentru a determina influența variației valorilor principalilor factori asupra eficienței alternativelor evaluate sunt recalculați indicatorii analizei cost beneficiu: raportul cost/beneficiu, raportul beneficiu/cost și valoare actualizată netă. Rezultatele obținute în urma efectuării analizei de sensibilitate vor fi prezentate împreună cu rezultatele efective ale analizei CBA pentru a evidenția potențialele dezavantaje ale alternativelor (NORDEN, 2007).

5.4.1. Analiza de sensibilitate pentru costurile cu materiile prime

Fig. 5.3 și 5.4 prezintă rezultatele obținute în urma variației costurilor de producție utilizând raportul CBR și raportul BCR. În urma maximizării costurilor de achiziție cu materia primă s-au observat pentru scenariile care utilizează fibră virgină o depășire a pragului raportului CBR (<1) și o minimizare a valorii raportului BCR (>1), semnificând că scenariile devin neviabile din punct de vedere economic.

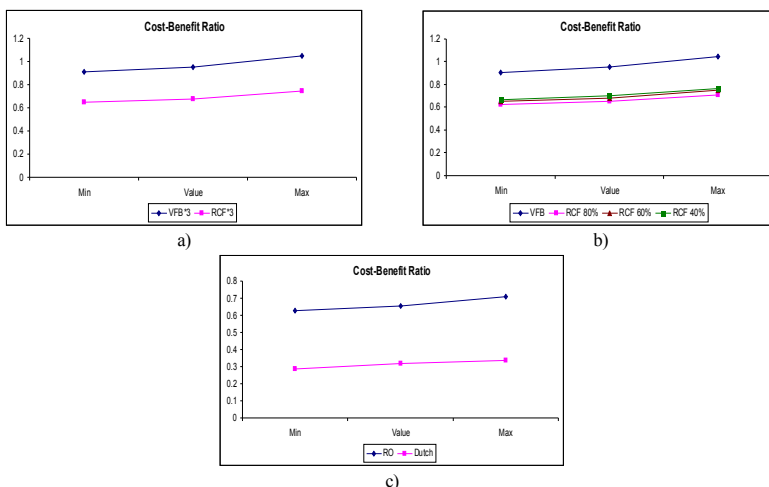
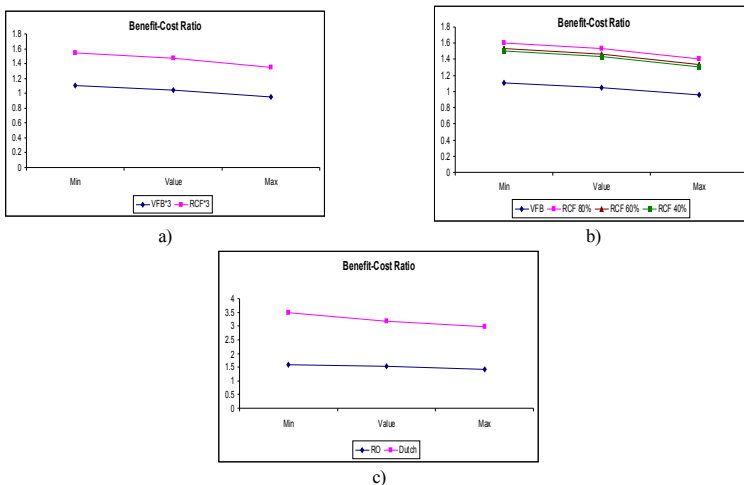


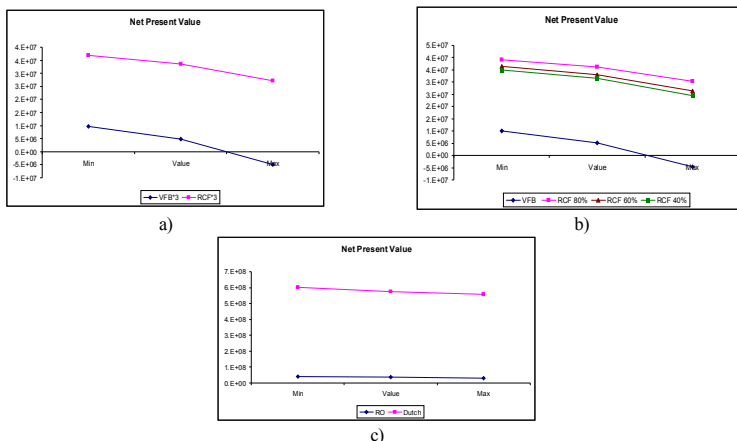
Fig. 5.3. Raportul Cost/Beneficiu după variația costurilor cu materiile prime



c)

Fig. 5.4. Raportul Beneficiu/Cost după variația costurilor cu materiile prime

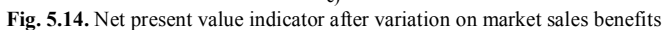
Fig. 5.5 prezintă rezultatele obținute în urma variației costurilor de achiziție folosind metodologia de calcul a indicatorului Valoare actualizată netă. Importanța costurilor de achiziție a materiei prime în determinarea performanței economice a procesului de fabricare a hârtiei tissue a fost observată și în cazul acestui indicator, evidențiindu-se valori negative pentru scenariile cu fibră virgină (semnificând un prejudiciu economic pentru fabrica de hârtie), în timp ce scenariile cu fibră recuperată au suportat doar o descreștere a valorii, alternativele fiind în continuare viabile pentru implementare.



c)

Fig. 5.5. Rezultatele indicatorul NPV după variația costurilor cu materiile prime

În cazul variației beneficiilor din vânzarea produselor, scenariile cu fibră recuperată evidențiază o influență redusă a parametrilor cheie asupra rezultatului economic al alternativelor. Scenariile cu fibre virgină (VFB și VFB*3) sunt la opusul acestor scenarii subliniind o dependență de valoarea atribuită produsului final. O scădere a valorilor atribuite conduce la obținerea unui prejudiciu financiar, alternativele devenind neviabile din punct de vedere economic, afirmație evidentă în special în calcularea factorului NPV (Fig. 5.14).



favorabil $\xrightarrow{\text{Dutch} > \text{RCF } 80\% > \text{RCF } 60\% > \text{RCF } 40\% > \text{VFB}}$ *nefavorabil*

Capitolul 6.

EVALUAREA EFICIENȚEI SCENARIILOR DE FABRICARE A HÂRTIEI TISSUE DIN PUNCTUL DE VEDERE AL ASPECTELOR DE MEDIU ȘI TEHNICO-ECONOMICE FOLOSIND METODA MULTICRITERIALĂ DE ANALIZĂ

6.1. Definirea scopului și obiectivelor studiului

Analiza multicriterială este o metodă de sprijin pentru luarea deciziilor având ca scop realizarea unei evaluări comparative a diverse alternative pentru a determina alternativa preferată. Analiza multicriterială se aplică în mod special cazurilor în care abordarea prin intermediul unui singur criteriu, cum ar fi evaluând doar aspectele economice sau doar aspectele de mediu, nu este suficientă.

Principalul obiectiv al acestei analize a fost evaluarea din punctul de vedere al factorilor economici, de mediu și tehnici a alternativelor și scenariilor de fabricare a hârtiei tissue care au fost anterior analizate cu metodologiile și modelele ECV și ACB.

6.2. Metodologia de aplicare a analizei multicriteriale de decizie

Procesul Analitic Ierarhic (Analytic Hierarchy Process, AHP) este una dintre cele mai utilizate metode de sprijin în luarea deciziilor care cuantifică prioritățile relative pentru un set de alternative în funcție de o scală dată. Procesul de luare a deciziilor se realizează pe baza scorurilor acordate de factorii de decizie, precum și în funcție de consecvența procesului decizional (Al-Subhi Al-Harbi, 2001).

Esența metodei constă în descompunerea unei probleme complexe într-o ierarhie pentru care scopul (obiectivul) este în vârful ierarhiei, criteriile și subcriteriile la nivelele și subnivelele intermediare ale ierarhiei, iar alternativele decizionale la baza ierarhiei (Fig. 6.1).

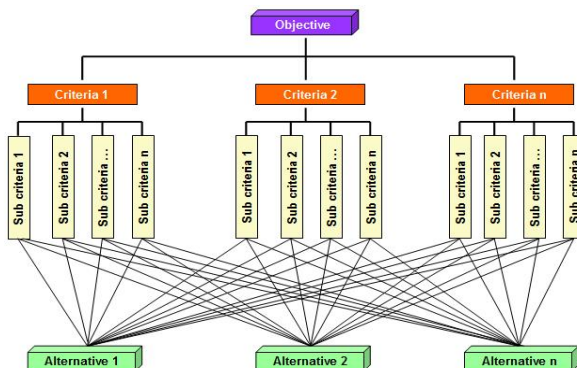


Fig 6.1. Vizualizarea ierarhiei AHP

Pentru a lua o decizie, într-un mod organizat trebuie parcurse mai multe etape (Dalalah și colab., 2010; Garuti și Sandoval, 2006; Javadi și Bello-Dambatta, 2008; Macharis și colab., 2004; Saaty, 2008; Turcksin și colab., 2011):

- **Definirea problemei de analizat și selecția factorilor de decizie,**
- **Structurarea ierarhiei decizionale,** de sus în jos, de obicei în nivelurile: scop, obiective, attribute (criterii) și alternative;
- **Stabilirea priorităților** prin realizarea unor matrici de comparații utilizând metodele analizei AHP: “Ranking și Rating” și “Comparației prin Perechi”. Fiecare element dintr-un nivel superior este utilizat pentru a compara și a acorda priorități pentru elementele corespunzătoare din nivelul imediat inferior. Se continuă procesul de stabilire a priorităților până când se obțin prioritățile alternativelor din cel mai jos nivel.
- **Verificarea consecvenței rezultatelor obținute** folosind un indice de consecvență.

6.3. Selecția factorilor de decizie

AHP permite luarea deciziilor unui grup, unde membrii grupului pot folosi experiența și cunoștințele lor pentru a structura o problemă într-o ierarhie și să o rezolve folosind pașii AHP. Un factor de decizie realizează hotărârile pe baza cunoștințelor și experienței și în acord cu obiectivul studiului. Echipa de experți luată în considerare pentru prezentul studiu a fost formată dintr-un economist, expert de mediu și un oficial al guvernului.

6.4. Identificarea și selecția criteriilor și indicatorilor de evaluare

În construcția modelului AHP, selecția criteriilor este o etapă esențială pentru fiabilitatea și raționalitatea rezultatelor evaluării. Tabelul 6.8 prezintă criteriile și sub-criteriile utilizate în studiu pentru a evalua performanța procesului tehnologic de fabricare. Principalele criterii considerate în cadrul studiului sunt factorii economici, tehnici și de mediu. Sub-criteriile/indicatorii sunt: costurile, beneficiile, valoarea de piață a produsului, tehnologia existentă, utilizarea de materii prime, potențialul de încălzire globală, etc.

Table 6.8. Criteriile și sub-criteriile utilizate în evaluarea performanței scenariilor

<i>Criterii</i>	<i>Sub-criterii</i>	<i>Notații</i>
Economic	Costuri	C1
	Beneficii	C2
	Valoare produs	C3
Tehnic	Tehnologie existentă	C4
	Consumul de energie	C5
	Consumul de gas natural	C6
	Materii prime	C7
	Consumul de apă	C8

Mediu	Potențialul de încălzire globală	C9
	Potențialul de eutrofizare	C10
	Potențialul de acidifiere	C11
	Potențialul de formare a ozonului fotochimic	C12
	Potențialul de toxicitate umană	C13
	Apa uzată	C14

6.5. Analiza scenariilor folosind metodele Ranking și Rating

Metodele Ranking și Rating sunt de obicei utilizate ca instrumente de analiză inițială a criteriilor și sunt considerate cele mai simple metodologiile ale analizei multicriteriale. Ranking și Rating sunt de obicei utilizate pentru a identifica și selecta cele mai relevante criterii și indicatori pentru evaluarea sistemelor analizate.

6.5.1. Analiza scenariilor cu metodele Ranking și Rating (VFB, RCF 80%, RCF 60%, RCF 40%)

Factorii de decizie își transmit preferințele prin intermediul unor scoruri specifice metodelor Ranking (valoare cuprinsă între 1 și 9) și Rating (valoare cuprinsă între 0 și 100), răspunsuri care ulterior sunt însumate (Tabelul 6.10), și utilizate pentru a calcula ponderea relativă a fiecărei valori acordate (Ec. 6.3 și 6.4) (Tabelul 6.11).

$$Wr_{Rk_{i=1}}^n = \frac{\sum RkC_{i=1}^n}{\sum RkTC} * 100 \quad (6.3)$$

unde: $Wr_{Rk_{i=1}}^n$ reprezintă ponderea relativă a scorului acordat criteriului i conform scalei metodei Ranking; $\sum RkC_{i=1}^n$ reprezintă suma scorurilor acordate de fiecare expert pentru criteriul i ; $\sum RkTC$ reprezintă suma scorurilor acordate tuturor criteriilor.

$$Wr_{Rt_{i=1}}^n = \frac{\sum RtC_{i=1}^n}{\sum RtTC} * 100 \quad (6.4)$$

unde: $Wr_{Rt_{i=1}}^n$ reprezintă ponderea relativă a scorului acordat criteriului i conform scalei metodei Rating; $\sum RtC_{i=1}^n$ reprezintă suma scorurilor acordate de fiecare expert pentru criteriul i ; $\sum RtTC$ reprezintă suma scorurilor acordate tuturor criteriilor.

Tabelul 6.10. Suma scorurilor acordate de factorii de decizie

Criterii	VFB		RCF 80%		RCF 60%		RCF 40%	
	Ranking	Rating	Ranking	Rating	Ranking	Rating	Ranking	Rating
C1	135	17	183	17	195	17	210	17
C2	150	21	188	21	192	21	206	21
C3	170	23	213	23	220	23	230	23
C4	130	17	170	17	170	17	170	17
C5	120	15	160	15	160	15	160	15
C6	120	15	155	15	155	15	155	15
C7	150	17	229	17	210	17	208	17
C8	135	15	165	15	180	15	190	15
C9	130	19	180	19	201	19	216	19
C10	110	13	169	15	175	15	190	15
C11	100	17	150	17	168	17	177	17
C12	105	15	145	15	159	15	175	15
C13	105	19	133	19	145	19	158	19
C14	140	19	150	19	161	19	173	19
Total	1800	242	2390	244	2491	244	2618	244

Table 6.11. Ponderea relativă specifică fiecărui scor acordat folosind metodele Ranking și Rating

Criterii	VFB		RCF 80%		RCF 60%		RCF 40%	
	Ranking	Rating	Ranking	Rating	Ranking	Rating	Ranking	Rating
C1	7.5	7.02	7.66	6.97	7.83	6.97	8.02	6.97
C2	8.33	8.68	7.87	8.61	7.71	8.61	7.87	8.61
C3	9.44	9.50	8.91	9.43	8.83	9.43	8.79	9.43
C4	7.22	7.02	7.11	6.97	6.82	6.97	6.49	6.97
C5	6.67	6.20	6.69	6.15	6.42	6.15	6.11	6.15
C6	6.67	6.20	6.49	6.15	6.22	6.15	5.92	6.15
C7	8.33	7.02	9.58	6.97	8.43	6.97	7.94	6.97
C8	7.50	6.20	6.90	6.15	7.23	6.15	7.26	6.15
C9	7.22	7.85	7.53	7.79	8.07	7.79	8.25	7.79
C10	6.11	5.37	7.07	6.15	7.03	6.15	7.26	6.15
C11	5.56	7.02	6.28	6.97	6.74	6.97	6.76	6.97
C12	5.83	6.20	6.07	6.15	6.38	6.15	6.68	6.15
C13	5.83	7.85	5.56	7.79	5.82	7.79	6.04	7.79
C14	7.78	7.85	6.28	7.79	6.46	7.79	6.61	7.79
Total	100	100	100	100	100	100	100	100

În continuare a fost calculată ponderea combinată a criteriilor pentru fiecare scenariu în parte prin efectuarea mediei ponderilor specifice fiecărui criteriu în parte (Ec. 6.5) (Table 6.12).

$$WC_{i=1}^n = \frac{Wr_{Rk_{i=1}^n} + Wr_{Rr_{i=1}^n}}{2} \quad (6.5)$$

unde: $Wc_{i=1}^n$ reprezintă ponderea combinată pentru criteriul i ; $Wr_{Rk_{i=1}^n}$ reprezintă ponderea relativă a scorului acordat criteriului i conform scalei metodei Ranking; $Wr_{Rl_{i=1}^n}$ reprezintă ponderea relativă a scorului acordat criteriului i conform scalei metodei Rating.

Table 6.12. Ponderea combinată pentru fiecare criteriu

<i>Criterii</i>	<i>VFB</i>	<i>RCF 80%</i>	<i>RCF 60%</i>	<i>RCF 40%</i>
C1	7.26	7.31	7.40	7.49
C2	8.51	8.24	8.16	8.24
C3	9.47	9.17	9.13	9.11
C4	7.12	7.04	6.90	6.73
C5	6.43	6.42	6.29	6.13
C6	6.43	6.32	6.18	6.03
C7	7.68	8.27	7.70	7.46
C8	6.85	6.53	6.69	6.70
C9	7.54	7.66	7.93	8.02
C10	5.74	6.61	6.59	6.70
C11	6.29	6.62	6.86	6.86
C12	6.02	6.11	6.27	6.42
C13	6.84	6.68	6.80	6.91
C14	7.81	7.03	7.13	7.20
Total	100	100	100	100

În continuare pentru a determina eficiența scenariilor ponderile combinate sunt multiplicare cu un scor atribuit fiecărei ponderi (Tabelul 6.13) obținându-se astfel scorul final al alternativelor (Tabelul 6.15).

Table 6.13. Descrierea sistemului de acordare a unui scor

<i>Scor</i>	<i>Descriere</i>
*	Imposibilitatea de a acorda un scor la momentul evaluării
0	Criteriul sau indicatorul nu este aplicabil
1	O performanță foarte scăzută
2	O performanță scăzută, nefavorabilă, sunt necesare multe îmbunătățiri
3	Performanță acceptabilă, la sau peste norma pentru o funcționare bună
4	O performanță foarte acceptabilă, sunt necesare îmbunătățiri pentru a deveni state-of-the-art
5	State-of-the-art în regiune, o performanță excepțională

Table 6.15. Scorul final al alternativelor evaluate

Criterii	VFB	RCF 80%	RCF 60%	RCF 40%
C1	21.78719	21.93618	22.19309	22.48291
C2	34.02204	32.94533	32.62861	32.95032
C3	47.37144	45.84591	45.64506	45.5289
C4	21.37052	21.12028	20.68767	20.19108
C5	12.86501	12.8421	12.57066	12.25908
C6	12.86501	12.6329	12.36994	12.06809
C7	30.71625	33.09761	30.79512	22.36831
C8	20.54752	19.57696	20.06033	20.10748
C9	30.14692	30.63653	31.71187	32.07492
C10	11.48301	19.82801	19.75925	20.10748
C11	12.58035	19.86505	20.56724	20.59215
C12	12.03168	12.21449	12.53052	12.83203
C13	20.52686	20.02761	20.41176	20.73304
C14	23.44353	21.09455	21.37523	21.59247
Total	311.7573	323.6635	323.3064	315.8883

Eficiența scenariilor analizate se determină prin divizarea scorului la 100 și evaluarea acestuia în funcție de poziția sa în scala scorurilor descrise în Tabelul 6.13 (*-5). Astfel în conformitate cu scala de notare toate scenariile evaluate au un scor final situat deasupra valorii 3 semnificând o performanță acceptabilă, care este la sau peste norma pentru o bună funcționare. Se poate observa că pe baza scorului acordat de experți scenariul RCF 80% este considerat a fi soluția optimă atât din punct de vedere al factorilor economici și tehnici cât și din punct de vedere al factorilor de mediu. Scenariul cu fibră virgină este considerat cel mai nefavorabil din toate punctele de vedere.

Ierarhia scenariilor obținută în urma aplicării metodelor Ranking și Rating este:

performanta _ buna $\xrightarrow{RCF80\%>RCF60\%>RCF40\%>VFB}$ *performanta _ scazuta*

Principalul motiv pentru această diferență constă în necesarul scăzut de materii prime și consumabile care influențează aspectele economice și tehnice. Scenariul RCF 80% este singurul sistem dintre scenariile cu fibră recuperată care utilizează o cantitate scăzută de fibre și aditivi evidențiind o performanță acceptabilă care cu îmbunătățiri poate duce la o performanță foarte favorabilă (un scor de 4).

6.5.2. Analiza scenariilor VFB*3 și RCF*3

Metodologia de calcul în tehnicile Ranking și Rating a fost aplicată și pentru determinarea eficienței scenariilor care au ca unitate funcțională fabricarea a 3 tone de hârtie tissue (Tabelul 6.19). Rezultatele obținute au evidențiat o bună funcționare a sistemelor cu un proces de fabricare a hârtiei tissue care este la sau peste norma pentru o bună funcționare. Comparând rezultatele

obținute pentru aceste scenarii cu valorile obținute pentru scenariile analizate anterior s-au obținut valori care sunt mai mici datorită faptului că scenariile au o unitate funcțională diferită care este corelată cu o cerere mai mare de materii prime, dar și cu un impact mai mare asupra mediului. Se poate observa că valorile obținute pentru VFB*3 și RCF*3 sunt apropiate ceea ce semnifică faptul că ambele sunt potrivite pentru implementare. Datorită obținerii unui scor mai mare scenariul cu fibră recuperată este însă considerat soluția optimă pentru implementare.

Table 6.19. Rezultatele metodelor Ranking și Rating pentru scenariile cu 3 tone hârtie tissue

<i>Criteria</i>	<i>VFB*3</i>	<i>RCF*3</i>
C1	21.68584	21.9323
C2	34.92294	34.00324
C3	49.09817	47.02236
C4	20.67233	21.19156
C5	12.9551	12.81421
C6	12.9551	12.66606
C7	30.2658	30.23072
C8	20.44617	19.73983
C9	21.91199	22.49514
C10	11.11514	19.59168
C11	19.65881	19.71008
C12	12.61727	12.71544
C13	20.89848	20.34699
C14	21.91199	21.30996
Total	311.1151	315.7696

6.5.3. Analiză comparativă a scenariului olandez cu cel românesc folosind metodele Ranking și Rating

Făcând abstracție de dezvoltarea economică și momentul aplicării legislației de mediu, au fost observate diferențe relevante între cele două sisteme, pornind de la procesul de fabricare a hârtiei tissue. Principalele diferențe observate între procesele de fabricație au constat în eliminarea, în scenariul olandez, a etapei de albire cu agenți reducători din sistemul olandez, suplimentarea etapei de albire cu agenți oxidanți și prezența CO₂ în etapa de spălare având rolul de a optimiza condițiile de efectuare a spălării celulozei.

În Tabelul 6.23 sunt prezentate rezultatele analizei comparative a eficienței procesului de fabricare a hârtiei tissue din țara noastră cu un proces elaborat pe baze durabile, din Olanda, folosind metodele Ranking și Rating. Datorită diferențelor observate între cele două sisteme de fabricare a hârtiei tissue, rezultatele obținute au evidențiat o performanță mult mai acceptabilă pentru sistemul olandez, dincolo de state-of-the-art. Astfel, considerată ca o alternativă de prevenire a poluării (schimbarea tehnologiei), tehnologia existentă, din studiul de caz olandez poate oferi soluții sustenabile pentru tehnologia românească de fabricare a hârtiei tissue.

Table 6.23. Scorul final al alternativelor

<i>Criteria</i>	<i>RO</i>	<i>NL</i>
C1	21.93618	20.74036
C2	32.94533	30.53427
C3	45.84591	31.31356
C4	21.12028	30.52724
C5	12.8421	12.15699
C6	12.6329	12.43531
C7	33.09761	30.81259
C8	19.57696	20.73509
C9	30.63653	30.53427
C10	19.82801	19.98626
C11	19.86505	19.77752
C12	12.21449	30.81259
C13	20.02761	30.25595
C14	21.09455	20.77947
Total	323.6635	341.4015

6.6. Analiza scenariilor folosind metoda Comparației prin Perechi

Metoda Comparației prin Perechi este utilizată după analiza inițială a criteriilor (metodele Ranking și Rating) pentru a determina ponderi relative mai exacte ale criteriilor sau de a decide care sunt elementele nesemnificative pentru analiza actuală (Cifor, 1999; Turcksin et al, 2011). A doua tehnică utilizată în analiza AHP implică comparații între criteriile sau indicatorii specifici fiecărei alternative. În cadrul acestei metode experții realizează matrici comparative folosind scala numerică a lui Saaty, de la 1 la 9 (Tabelul 6.24).

Similar cu metodologia de calcul a metodelor Ranking și Rating, pe baza priorităților acordate de factorii de decizie și utilizând metoda specifică tehnicii Comparației prin perechi este determinată prioritatea (ponderea relativă) și eficiența alternativelor evaluate (scorul final al alternativelor). Consecvența rezultatelor este de asemenea calculată pentru a determina cât de logice, coerente sunt scorurile acordate de experți.

Table 6.24. Scala numerică a lui Saaty

<i>Scală</i>	<i>Descriere</i>
1	La fel de important
3	Moderat mai important
5	Mai important
7	Foarte important
9	Mult mai important

6.6.1. Analiza scenariilor care conțin procesul de producție a unei tone de hârtie tissue

Tabelul 6.35 prezintă scorul final al alternativelor evidențiind ierarhia alternativelor în funcție de prioritatea alocată de experți. Rezultatele finale obținute prin aplicarea metodei comparației prin perechi prezintă o performanță scăzută sau aproape de a fi acceptabilă a scenariilor atât din punct de vedere al factorilor economici cât și din punct de vedere al factorilor tehnici și de mediu.

Rezultatele finale ale metodei Comparației prin perechi au evidențiat o performanță scăzută, nefavorabilă (VFB) sau aproape de a fi acceptabilă (RCF 80%, RCF 60%, RCF 40%), din punct de vedere a factorilor de mediu, economici și tehnici pentru toate scenariile (valoarea este situat între 2 și 3).

Table 6.35. Scorul final al alternativelor

<i>Criterii</i>	<i>VFB</i> <i>Sf=Wr*S</i>	<i>RCF 80%</i> <i>Sf=Wr*S</i>	<i>RCF 60%</i> <i>Sf=Wr*S</i>	<i>RCF 40%</i> <i>Sf=Wr*S</i>
C1	12	11	12	13
C2	21	17	12	11
C3	12	20	21	20
C4	10	6	5	6
C5	4	6	6	6
C6	4	6	6	6
C7	4	6	5	8
C8	5	6	6	5
C9	44	43	44	41
C10	39	39	39	38
C11	39	39	39	38
C12	21	39	39	38
C13	37	39	39	38
C14	12	14	13	15
Total	264	290	285	282

Ierarhia alternativelor este identică cu cea obținută la metodele Ranking și Rating cu scenariul RCF 80% ca fiind scenariul optim pentru implementare, iar VFB este scenariul cel mai nefavorabil fiind nerecomandat pentru implementare. Conform priorităților alocate de factorii de decizie, scenariul VFB a obținut un scor de 2,64, semnificând o performanță a procesului de fabricare scăzută, nefavorabilă și, prin urmare sunt necesare multe îmbunătățiri.

performanta _buna $\xrightarrow{RCF80\%>RCF60\%>RCF40\%>VFB}$ *performanta _slaba*

În urma evaluării eficienței alternativelor de fabricare a hârtiei tissue folosind metodele specifice analizei AHP se poate concluziona faptul că, scenariile cu fibră recuperată sunt soluțiile optime pentru implementare. Cu mici diferențe între valorile obținute, scenariul RCF 80% este

considerat a avea un proces de fabricație cu o eficiență acceptabilă. În metoda comparației prin perechi s-au obținut valori ale alternativelor situate între 2 și 3, semnificând o performanță a sistemului scăzută spre a deveni acceptabilă, în timp ce pentru metodele Ranking și Rating scorul final depășesc valoarea 3 evidențiind un sistem cu o performanță mai favorabilă a procesului. Această diferență se datorează faptului că metoda comparației prin perechi este mai dificilă de realizat datorită numărului mare de criterii de luat în considerare, dar a fost mult mai concretă în etapa de acordare a priorităților de către factorii de decizie.

6.7. Analiza de sensibilitate a scenariilor VFB, RCF 80%, RCF 60%, RCF 40%

În cadrul evaluării procesului de fabricare a hârtiei tissue cu analiza multicriterială a fost realizată și o analiză de sensibilitate pentru a investiga influența priorităților acordate de factorii de decizie în ierarhia alternativelor și a scenariilor (Aragones Beltran și colab., 2009). Această analiză a fost realizată deoarece am considerat că factorii de decizie ar trebui să fie informați cu privire la gradul de credibilitate a rezultatelor, în scopul de a avea cea mai bună decizie finală.

Pentru a realiza analiza de sensibilitate am utilizat un software special creat pentru metoda de analiză AHP, Expert Choice, care constă în: creșterea sau descreșterea, puțin câte puțin a priorității unui criteriu în timp ce restul ponderilor criteriilor rămân constante, iar apoi este determinată contribuția fiecărui criteriu la ierarhia scenariilor.

Analiza de sensibilitate a scenariilor VCF, RCF 80%, RCF 60%, RCF 40% a fost realizată utilizând criteriile: economic, tehnic și de mediu. Într-o primă fază am repartizat aceeași importanță („equal importance”) pentru a determina ierarhia scenariilor în conformitate cu obiectivele studiului. Fig. 6.5 și 6.6 prezintă ierarhia scenariilor atunci când se acordă aceeași prioritate criteriilor evaluate. Pentru a prezenta ierarhia alternativelor am utilizat două reprezentări grafice disponibile în aplicația Expert Choice: reprezentarea grafică Dinamică și de Performanță.

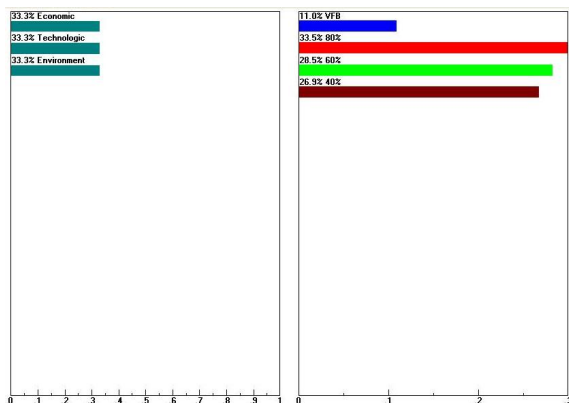


Fig. 6.5. Reprezentarea grafică dinamică a scenariilor

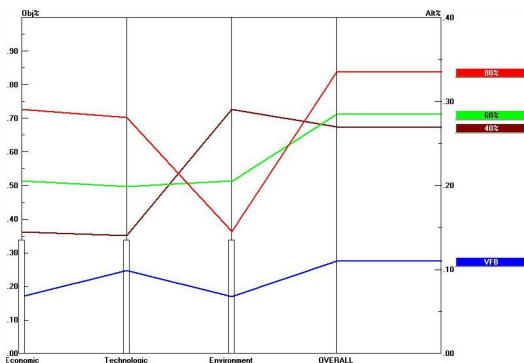
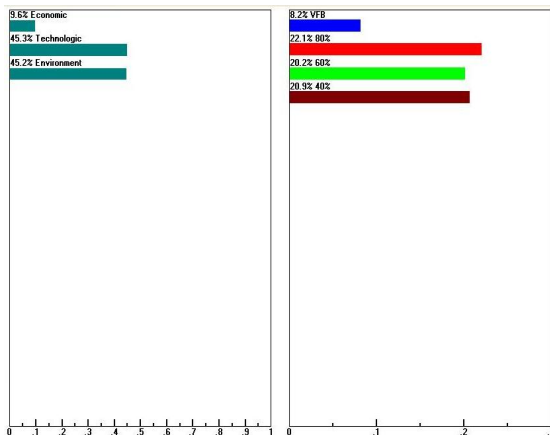


Fig. 6.6. Reprezentarea grafică de performanță a scenariilor

Folosind rezultatele obținute am realizat analiza de sensibilitate prin maximizarea sau minimizarea priorității criteriului economic în corelație cu celelalte criterii, urmate de maximizarea sau minimizarea importanței acordate criteriilor tehnice în timp ce celelalte stagnează și așa mai departe. Fig. 6.8 prezintă analiza de sensibilitate a criteriilor economice prin modificarea importanței acordate criteriului de către factorii de decizie. Fig. 10 prezintă rezultatele analizei după variația factorilor de mediu.



a) minimizarea importanței acordate criteriilor economice

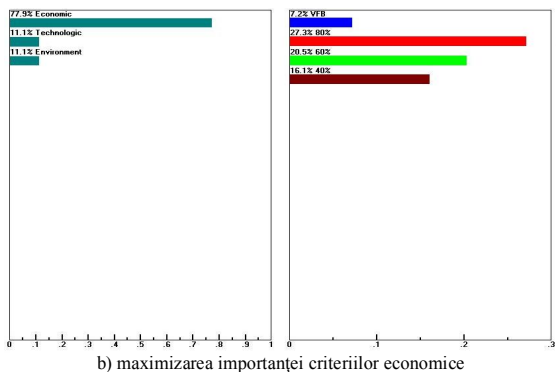


Fig. 6.8. Analiza de sensibilitate a criteriilor economice

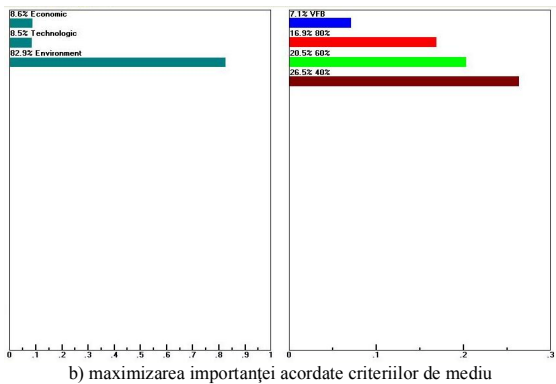
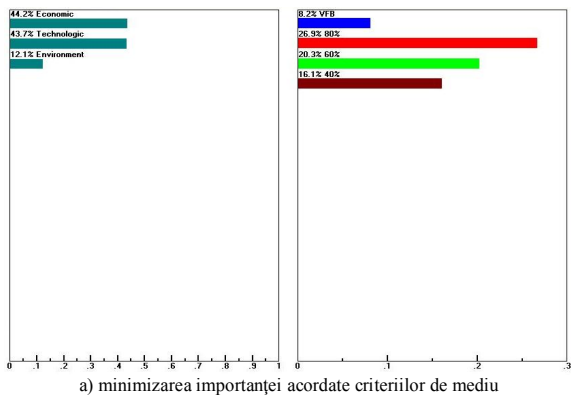


Fig. 6.10. Analiza de sensibilitate a criteriilor de mediu

În urma analizei de sensibilitate se poate concluziona că *alternativa optimă din punct de vedere a factorilor economici și tehnici este scenariul RCF 80%*, cu o cerere scăzută de materii prime, care conduce la beneficii economice prin costurile reduse asociate cu achiziția materiilor prime (asociate cu utilizarea de materii prime în cadrul procesului). *Prioritatea alocată criteriilor de mediu de către factorii de decizie a evidențiat scenariul RCF 40% ca fiind cel mai potrivit scenariu pentru implementare.* Principalul motiv a acestui rezultat este impactul scăzut alocat fibrelor recuperate la care se adaugă impactul procesul prezent de fabricație scenariul având un scor de mediu final mai mic decât celelalte alternative. Rezultatele obținute au evidențiat scenariul cu fibre virgine ca fiind cel mai nefavorabil pentru implementare, având cea mai mică valoare în conformitate cu obiectivul principal “alegerea celei mai bune alternativă din punct de vedere a factorilor economici, de mediu și tehnici”.

Capitolul 7.

APLICABILITATEA PRINCIPILOR ECOLOGIEI INDUSTRIALE ÎN FABRICILE DE HÂRTIE

Ecologia industrială studiază interacțiunile dintre societatea tehnologică modernă și mediul înconjurător. Scopul aplicării ecologiei industriale constă în atingerea unei dezvoltări durabile prin implementarea unor strategii sociale, economice și de mediu pentru reducerea impactului de mediu al sistemelor industriale, constituind pe cât posibil un ciclu închis unde deșeurile generate dintr-un proces sunt revalorificate, fiind astfel reutilizate ca materie primă în alt proces (NPPC, 1995; Petraru și Gavrilesco, 2010a; Petraru și Gavrilesco, 2011).

Specifice noțiunii de ecologie industrială sunt metodele dezvoltate pentru a cuantifica și analiza aspectele sociale, fluxurile materiale și energetice, cum ar fi: *Evaluarea Ciclului de Viață (ECV)*, *Analiza Fluxurilor de Materiale (MAE)*, *Analiza Amprentei Ecologice* etc.

Un concept central al ecologiei industriale este simbioza industrială (IS) care analizează fluxurile de materiale și energetice utilizate de sistemele industriale. Într-un sistem ideal deșeurile și energia sunt schimbate între actorii din sistem, reducând astfel consumul de materiale virgine, energie și generarea de deșeuri și emisii (Sokka et al, 2008; Sokka, 2011). Un parc eco-industrial poate fi construit prin alegerea principalului actor și a celorlalți participanți din simbioza industrială. Principiul parcului eco-industrial constă în reutilizarea deșeurilor produse de principalul actor de către alt participant din cadrul simbiozei industriale, formând astfel un ciclu închis cu o utilizare eficientă a materialelor și energiei în industrie și din care nu vor rezulta deșeuri sau emisii (Petraru și Gavrilesco, 2011).

7.2. Îmbunătățirea și extinderea analizei

Un parc eco-industrial poate fi format din fabrica de hârtie și celuloză, considerat a fi actorul principal, iar ceilalți participanți: centrala electrică, fabrica de substanțe chimice, stația de tratare a apei uzate și alții (Fig. 7.5). În cadrul acestui parc participării au posibilitatea de a

distribui între ei energie, abur, substanțe chimice, apă, deșeuri reușind astfel să realizeze un sistem industrial închis.

Studiul actual a evaluat eficiența procesului de fabricare a hârtiei tissue având în vedere faza de transport a materialelor la fabrică, procesul efectiv de fabricare a produselor tissue la care se adăugă cererea de materii prime, produse chimice, energie, gaze naturale, dar și emisiile și deșeurile generate în timpul procesului de fabricație (energi, deșeuri, emisii) (Madsen, 2007; Petraru și colab., 2011).

O problemă majoră întâlnită în toate fabricile de celuloză și hârtie, identificată și în acest caz, și asupra căreia trebuie intervenit constă în prezența nămolului și deșeurilor obținute la finalul fiecărui ciclu de producție. În cazul produselor tissue, datorită cerințelor mari de calitate, cantitatea deșeurilor generate pe tonă de produs poate varia între 200 și 500 de kg/t.

Pentru eliminarea acestor deșeuri este necesară utilizarea a diverse alternative de tratate a deșeurilor, alternative care sunt practicate și în Olanda. Cele mai utilizate alternative de tratare a deșeurilor rezultate de la fabrica de hârtie sunt (Fig. 7.6) (Mikuta, 2008):

- deșeurile sunt utilizate ca materie primă pentru producția de combustibil secundar, uleiuri;
- deșeurile sunt utilizate ca materie primă în fabricarea cimentului sau produselor de ceramică;
- sortarea diferitelor componente ale deșeurilor pentru reutilizare.

Studiile suplimentare ar trebui să considere extinderea limitelor sistemului de fabricare a hârtiei tissue pentru a include producția tuturor produselor chimice, energie, abur la amplasamentul fabricii dar și utilizarea de alte opțiuni de tratare a deșeurilor generate cu scopul de a realiza un ciclu închis (a crea un parc eco-industrial) unde actorii vor utiliza resurse și produse între ei.

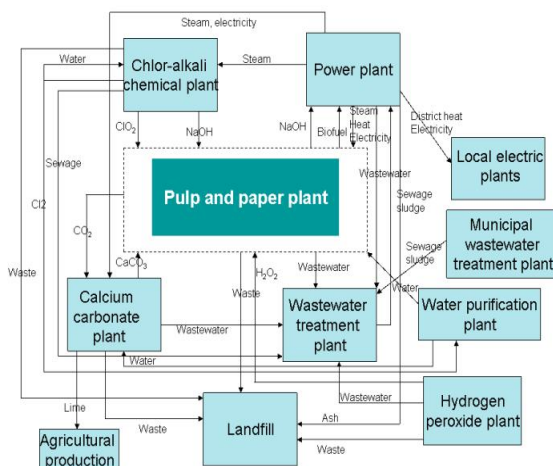


Fig. 7.5. Participanți în cadrul unui parc eco-industrial (Sokka și colab., 2008; Sokka, 2011)

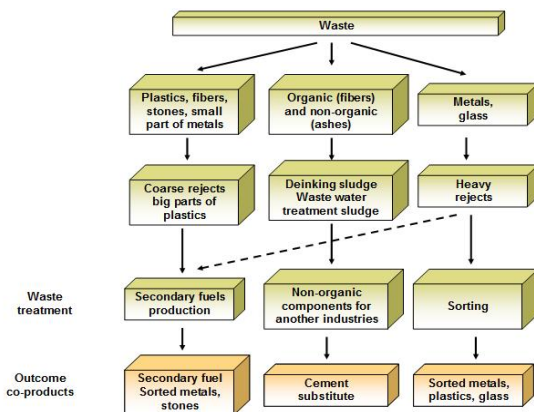


Fig. 7.3. Opțiuni de tratare a deșeurilor genrate în cadrul procesului de fabricare hârtie (Mikuta, 2008)

CONCLUZII GENERALE

În contextul dezvoltării durabile industria trebuie să ajungă la un ciclu de producție închis prin utilizarea eficientă a materialelor prime, energie și apă, stabilirea condițiilor pentru a minimiza impactul asupra mediului și consumul de resurse.

Industria este recunoscută ca factor-cheie în evoluția rapidă a societății, deoarece aceasta generează bunăstare, dar și probleme legate de utilizarea resurselor și generarea deșeurilor. O analiză aprofundată a evidențiat ineficiența instalațiilor sau tehnologiilor industriale existente în România. Politicile economice și de mediu solicită industriei românești modificarea procesului de fabricație, creșterea eficienței în utilizarea echipamentelor, întreținerea, schimbarea parțială sau completă a tehnologiei de fabricație. În acest sens sunt stimulate acțiuni îndreptate către identificarea de noi soluții privind reducerea impactului ecologic al activităților economice desfășurate în sectoarele prioritare ale vieții economico-sociale românești.

În acest context, teza de doctorat *“Integrarea aspectelor economice și practici de prevenire a poluării pentru o industrie durabilă”* consideră implementarea unor alternative de prevenire a poluării în sectoarele industriale, în particular din România, pentru a oferi, prin evaluarea integrată a factorilor de mediu și tehnico-economici, cadrul științific necesar factorilor de decizie.

Teza de doctorat are în vedere realizarea unor studii și cercetări, bine fundamentate din punct de vedere științific, referitoare la aplicarea unor metode, tehnici și metodologii specifice în scopul asigurării unei dezvoltări pe baze durabile a producției industriale prin prisma practicilor de

prevenire a poluării considerând trei componente cheie ale industrie de fabricare: tehnologia, energia și materia primă.

În acest context, studiile și cercetările au fost particularizate pentru industria de fabricare a hârtiei tissue, deoarece, pe de o parte, aceasta reprezintă un sector cu un potențial important de poluare, iar pe de altă parte, are un potențial ridicat de conservare a resurselor și energiei prin reducerea la sursă și reciclare.

Obiectivul principal al tezei de doctorat a constat în selectarea și evaluarea unor alternative de prevenire a poluării cu aplicabilitate în procesul de fabricare a hârtiei tissue, precum și evaluarea durabilității lor în ceea ce privește eficacitatea de mediu, tehnică și economică. Studiul implică, de asemenea, analize comparative între procesul din România cu unul dezvoltat pe baze durabile, din Olanda.

Deși unele studii au evidențiat posibilitatea de implementare a alternativelor de prevenire a poluării în industria hârtiei, foarte puține studii au fost științific susținute de o analiză integrată, bazată pe evaluarea ciclului de viață, analiza cost-beneficiu și modele multicriteriale, care permit selectarea celei mai sustenabile alternative și/sau scenariu.

În România prezenta teză de doctorat este primul studiu pe această temă.

Obiectivele specifice au fost elaborate pentru a aborda și evalua următoarele alternative de prevenire a poluării:

- substituția materiei prime, în cadrul căreia fibrele virgine utilizate în procesul de fabricare a hârtiei tissue sunt înlocuite cu fibre recuperate;
- schimbarea tehnologiei, în cadrul căreia tehnologia de fabricare a hârtiei tissue din Olanda se recomandă a fi aplicată în fabrica din România.

Au fost elaborate și fundamentate șase scenarii de prevenire a poluării, având ca scenariu de referință procesul actual de fabricare a hârtiei tissue din România și Olanda. Celuloza pentru fabricarea hârtiei poate fi produsă din fibre virgine, prin mijloace chimice sau mecanice, sau din fibre recuperate. Deoarece fibrele recuperate provin din fibre virgine, în funcție de numărul de cicluri de reciclare, am considerat că fibrele recuperate au incluse diverse procente din impactul rezultat în urma fabricării celulozei din fibre virgine (80% pentru primul ciclu, de 60% pentru al doilea ciclu, 40% pentru al treilea ciclu). Această abordare este susținută de informații din literatură și practici industriale, care recomandă doar trei cicluri de recuperare. Pe baza acestor scenarii, au fost elaborate alte două scenarii, care au evaluat performanța procesului de fabricație a 3 tone de produse tissue folosind doar fibre virgine (VFB*3), sau doar fibre recuperate (RCF*3).

Scenariile au fost în continuare evaluate prin aplicarea unor instrumente specifice de evaluare a impactului de mediu integrate cu instrumente economice, din punctul de vedere al impactului asupra mediului, eficienței economice și fezabilității tehnice.

O primă analiză efectuată în cadrul acestei teze de doctorat a constat în evaluarea impactului asupra mediului a proceselor de fabricare a hârtiei tissue folosind practici specifice de prevenire a poluării prin substituția materiilor prime dar și schimbarea tehnologiei de fabricație folosind ca scenarii de referință sistemul din România și cel din Olanda.

Analiza ECV din prezenta teză de doctorat este prima de acest tip în România.

Impactul asupra mediului a scenariilor românești elaborate pe baza **alternativei de prevenire a poluării – substituția materiilor prime** a fost evaluat comparativ cu scenariul de bază, care utilizează fibre virgine, folosind metodologia ECV asistată de software-ul Gabi.

Rezultatele obținute în urma aplicării metodologiilor au arătat că scenariile care utilizează fibre virgine ca materie primă au un impact asupra mediului mult mai mare decât scenariile cu fibre recuperate. Ierarhizarea scenariilor evaluate conform impactului asupra mediului arată scenariul RCF40% (scenariul cu 40% impact alocat din fabricarea celulozei din fibră virgină) ca fiind cel mai sustenabil, urmat de scenariul RCF 60% (cu un impact alocat de 60%), apoi scenariul RCF 80% (impact alocat din fabricarea celulozei de 80%) și în final scenariul VFB (scenariul care conține fabricarea hârtiei tissue din fibre virgine).

Pentru a determina originea impactului asupra mediului, pentru fiecare scenariu în parte a fost analizată contribuția principalelor etape/procese de fabricare a hârtiei tissue. Evaluând procese unitare precum: consumul de energie, gaz natural, substanțe chimice, procesul propriu-zis de fabricare și transportul materialelor s-a observat influența limitelor sistemului în determinarea eficienței procesului tehnologic de fabricare a hârtiei tissue (consumul de energie și gaz natural).

Luând în considerare cealaltă alternativă de prevenire a poluării – schimbarea tehnologiei, am realizat o analiză comparativă a performanțelor scenariului românesc, RCF 80%, cu sistemul de fabricare olandez. Rezultatele analizei comparative între cele două studii de caz au evidențiat un proces olandez mai durabil din punct de vedere al impactului asupra mediului. Principalele diferențe observate au constat în eliminarea etapei de albire cu agenți reducători din sistem olandez, suplimentarea etapelor de albire cu agenți oxidanți și prezența CO₂ în etapa de spălare a celulozei. În urma acestei analize am obținut date cantitative care ne-au permis să recomandăm tehnologia de fabricație olandeză pentru implementare în fabrică românească (un segment).

Analiza Cost Beneficiu (ACB) a fost utilizată în continuare pentru a evalua fezabilitate alternativelor și/sau a scenariilor de fabricare a hârtiei tissue și pentru a evidenția scenariul cel mai favorabil din punct de vedere economic. Analiza de fezabilitate a scenariilor românești a indicat scenariul RCF 80% ca fiind alternativa cea mai potrivită pentru implementare, datorită necesarului mic de materii prime, substanțe chimice, gaz natural. Scenariile cu fibră virgină au cea mai mare valoare a raportului CBR și cea mai mică valoare a raportului BCR, evidențiind o situație aproape de a aduce un prejudiciu economic companiei. Făcând abstracție de dezvoltarea economică și de momentul aplicării legislației de mediu am observat că atât raportul Cost-Beneficiu cât și raportul Beneficiu-Cost au indicat scenariul olandez ca fiind cel mai favorabil pentru implementare din punct de vedere al analizei factorilor economici, tendință observată și în cazul indicatorului valoare actualizată netă.

Alternativele de prevenire a poluării și/sau scenariile de fabricare a hârtiei tissue care au fost analizate anterior cu Evaluarea Ciclului de Viață și Analiza Cost Beneficiu au fost evaluate în continuare cu metoda multicriterială, **Procesul Analitic Ierarhic (Analytical Hierarchy Process AHP)**. Procesul Analitic Ierarhic, una dintre cele mai utilizate metode de sprijin în procesul de

luare a deciziilor, cuantifică prioritățile relative pentru un set de alternative în funcție de o scală dată. Procesul de luare a deciziilor se realizează pe baza scorurilor acordate de factorii de decizie, precum și în funcție de consecvența procesului decizional.

Metoda AHP a fost aplicată în acest studiu pentru a obține prioritatea factorilor de mediu, economici și tehnici care au fost utilizați în determinarea performanței procesului tehnologic de fabricare a hârtiei tissue folosind ca materie primă fibrele virgine sau fibre recuperate. Rezultatele obținute au subliniat importanța sortimentului și cantității de materii prime utilizate în determinarea performanței unui proces de fabricație.

Conform notelor acordate de experți și a metodologiilor de calcul ale metodei AHP: „Ranking și Rating” și „Comparația prin Perechi”, am observat că scenariile cu fibră recuperată sunt soluțiile optime pentru implementare din punct de vedere a criteriilor de mediu, economice și tehnice. Scenariile bazate pe fibre virgine ca materii prime sunt considerate nefavorabile pentru implementare. Scenariul RCF80% este considerată soluția optimă din punct de vedere al factorilor economici și tehnici, ca urmare a cererii reduse de materii prime.

Rezultatele obținute au evidențiat pentru toate scenariile cu fibră recuperată o bună funcționare a procesului de fabricare a hârtiei tissue. Scenariul olandez este cel sustenabil cu un scor final aproape de o performanță foarte favorabilă a procesului de fabricație a hârtiei tissue, care ar avea nevoie de unele îmbunătățiri pentru a fi mai presus de state-of-the-art.

Acest studiu se încheie cu date și informații relevante cu privire la provocările de realizare a unei industrii durabile prin intermediul principiilor ecologiei industriale și recomandări de luat în considerare pentru studiile viitoare.

Teza de doctorat **“Integrarea aspectelor economice și a practicilor de prevenire a poluării”** este primul studiu din România și printre puținele pe plan mondial care analizează într-o manieră integrată, durabilitatea unui sistem industrial în temei de eficiență economică, de mediu și tehnică.

Originalitatea tezei de doctorat constă în faptul că a fost elaborată o analiză cuprinzătoare a performanțelor de mediu, economice și tehnice ale unui proces industrial românesc, în particular procesul de fabricare a hârtiei tissue și au fost propuse două alternative de prevenire a poluării, evaluate din punct de vedere a durabilității prin intermediul factorilor de mediu, tehnici și economici folosind șase scenarii și trei metodologii dedicate acestui scop.

Teza de doctorat conține în mare proporție studii și cercetări originale, valoarea științifică a tezei este probată convingător, principalele argumente fiind următoarele:

- studiile sunt susținute științific de o analiză integrată, bazată pe evaluarea ciclului de viață, analiza cost-beneficiu și modele multicriteriale, care permit selectarea celei mai sustenabile alternative și/sau scenariu;
- studiile au fost realizate pentru un proces industrial, proces de fabricare a hârtiei tissue (din România și din Olanda), utilizând scenarii care conțin diverse tipuri de materie primă, fibre virgine sau fibre recuperate;

- au fost evaluate două alternative de prevenire a poluării: substituția materiei prime (în cadrul căreia fibrele virgine sunt înlocuite cu fibre recuperate) și schimbarea tehnologiei (în cadrul căreia tehnologia de fabricare a hârtiei tissue din Olanda se recomandă a fi aplicată în fabrica din România);
- au fost realizate analize comparative între procesul din România cu unul dezvoltat pe baze durabile, din Olanda, utilizând ca metode de analiză Evaluarea Ciclului de Viață, Analiza Cost Beneficiu și Analiza Multicriterială.

Pentru o parte din programul experimental pentru studiile de Evaluare a Ciclului de Viață am beneficiat de facilitățile Centrului Twente pentru Studii în Tehnologie și Dezvoltare Durabilă, a Facultății de Management și Guvernare a Universității Twente, Olanda, în condițiile în care doctoratul s-a realizat în regim de cotutelă în baza unui acord bilateral de tip Joint Doctoral Supervision, sub îndrumarea științifică a domnului Prof.dr. Hans Th. A. Bressers în calitate de co-supervisor.

Activitatea de cercetare științifică desfășurată pentru realizarea tezei de doctorat a condus la elaborarea unui număr de 3 lucrări apărute și 4 în curs de publicare în reviste cotate ISI, 5 în reviste B+ acreditate CNCIS sau incluse în baze de date internaționale, 1 lucrare în volume ale conferințelor și 11 participări la manifestări științifice de profil (4 naționale, 7 internaționale).

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- Abbasi G.Y., Abbassi B.E., (2004), Environmental assessment for paper and cardboard industry in Jordan — a cleaner production concept, *Journal of Cleaner Production*, **12**, 321–326.
- Abou-Elala S.I., Nasr F.A., Ibrahim H.S., Badr N.M., Askalany A.R.M., (2008), Pollution prevention pays off in a board paper mill, *Journal of Cleaner Production*, **16**, 330-334.
- Dahlbo H., Koskela S., Laukka J., Myllymaa T., Jouttijarvi T., Melanen M., Tenhunen J., (2005), Life cycle inventory analysis for five waste management options for discarded newspaper, *Waste Management and Research*, **23**, 291-303.
- Dahlbo H., Ollikainen M., Peltola S., Myllymaa T., Melanen M., (2007), Combining ecological and economic assessment of options for newspaper waste management, *Resources, Conservation and Recycling*, **51**, 42-63.
- Fortuna M.E., Simion I.M., Ghinea C., **Petraru M.**, Cozma P., Apostol L.C., Hlihor R.M., Tudorache Fertu D., Gavrilescu M., (2012), Analysis and management of specific processes from environmental engineering and protection based on sustainability indicators, *Environmental Engineering and Management Journal*, **11**, 333-350.
- Ghinea C., Gavrilescu M., (2010), Decision support models for solid waste management – An overview, *Environmental Engineering and Management Journal*, **9**, 869-880.
- Ghinea C., Gavrilescu M., (2011), Municipal Solid Waste Management -Environmental Assessment from Life Cycle Perspective, *Bulletin of the Polytechnic Institute from Iasi, Chemistry and Chemical Engineering Section*, **57**, 87-95.
- Ghinea C., **Petraru M.**, Bressers Th.A.H., Gavrilescu M., (2012a), Environmental Evaluation of Waste Management Scenarios – Significance of the Boundaries, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, **20**, 76-85.
- Ghinea C., **Petraru M.**, Bressers H., Gavrilescu M., (2012b), Environmental comparison of solid waste management systems: A case study of the cities of Iasi, Romania and Enschede, Netherlands, *Bulletin of the Polytechnic Institute of Iasi, Section Chemistry and Chemical Engineering*, **58**, 105-116.

- JRC European Commission, (2010a), *General guide for Life Cycle Assessment – Detailed guidance, ILCD Handbook – International Reference Life Cycle Data System*, Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability.
- JRC European Commission, (2010b), *Framework and requirements for Life Cycle Impact Assessment models and indicators, ILCD Handbook – International Reference Life Cycle Data System*, Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability.
- Petraru M.**, Gavrilescu M., (2010a), Pollution Prevention: A key to economic and environmental sustainability, *Environmental Engineering and Management Journal*, **9**, 597-614.
- Petraru M.**, Gavrilescu M., (2010b), Overview on the economic assessment of pollution prevention/cleaner production practices. *Bulletin of the Polytechnic Institute of Iași, Section Chemistry and Chemical Engineering*, **56**, 77-93.
- Petraru M.**, Gavrilescu M., (2010c), *Estimating the environmental benefits of pollution prevention practices*, Proceedings of The 14th International Symposium on Cellulose Chemistry and Technology, 8-10 Septembrie 2010, Iasi-România.
- Petraru M.**, Gavrilescu M., (2011), Transition towards a sustainable economy based on industrial ecology principles: Romanian case study, *Bulletin of the Polytechnic Institute of Iasi, Chemistry and Chemical Engineering Section*, **57**, 133-145.
- Petraru M.**, Ghinea C., Bressers H., Gavrilescu M., (2011), Analysis of Environmental Impact for Industry Products. Case Study: Paper Manufacturing, *Bulletin of the Polytechnic Institute of Iași, Section Chemistry and Chemical Engineering*, **57**, 63-74.
- Pihkola H., Nors M., Kujanpää M., Helin T., Kariniemi M., Pajula T., Dahlbo H., Koskela S., (2010), *Carbon footprint and environmental impacts of print products from cradle to grave. Results from the LEADER project (Part I)*, Edita Prima Oy, Helsinki.
- Pineda-Henson R., Culaba A.B., Mendoza G.A., (2002), Evaluating Environmental Performance of Pulp and Paper Manufacturing Using the Analytic Hierarchy Process and Life-Cycle Assessment, *Journal of Industrial Ecology*, **6**, 15-28.
- Stawicki B., Read B., (2010), *The Future of Paper Recycling in Europe: Opportunities and Limitations*, COST Office.
- Tibbs H.B.C., (1993), *Industrial Ecology: An environmental agenda for industry*, Global Business Network, USA.

Activitatea științifică

Lucrări publicate în jurnale cotate ISI

1. *Environmental impact assessment comparison of paper manufacturing process. Case study: Romania and Netherlands*, **Mădălina Petraru**, Cristina Ghinea, Hans Th. A. Bressers, Maria Gavrilescu, *International Journal of Life Cycle Assessment*, (under review).
2. *Environmental and economic evaluation of tissue paper manufacturing*, **Mădălina Petraru**, Cristina Ghinea, Hans Th. A. Bressers, Maria Gavrilescu, (under review).
3. *Assessment of environmental impacts and costs of municipal solid waste management scenarios*, Cristina Ghinea, **Mădălina Petraru**, Hans Th. A. Bressers, Maria Gavrilescu, *Waste Management and Research*, (revised after peer review).
4. *Multicriteria evaluation of Municipal Solid Waste Management Scenarios*, Cristina Ghinea, **Mădălina Petraru**, Hans Th. A. Bressers, Maria Gavrilescu, *Waste Management*, (under review).
5. *Environmental Evaluation of Waste Management Scenarios – Significance of the Boundaries*, (2012), Cristina Ghinea, **Mădălina Petraru**, Hans Th. A. Bressers, Maria Gavrilescu, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, **20**, 76-85.
6. *Analysis and management of specific processes from environmental engineering and protection based on sustainability indicators*, (2012), Maria Emiliană Fortună, Isabela Maria Simion, Cristina Ghinea, **Mădălina Petraru**, Petronela Cozma, Laura Carmen Apostol, Raluca

Maria Hlihor, Daniela Tudorache Fertu, Maria Gavrilescu, *Environmental Engineering and Management Journal*, **11**, 333-350.

7. *Pollution prevention: A key to economic and environmental sustainability*, (2010), **Mădălina Petraru**, Maria Gavrilescu, *Environmental Engineering and Management Journal*, **9**, 597-614.

Lucrări publicate în reviste naționale recunoscute CNCIS cotate B+

1. *Environmental comparison of solid waste management systems: A case study of the cities of Iasi, Romania and Enschede, Netherlands*, (2012), Cristina Ghinea, **Mădălina Petraru**, Hans Bressers, Maria Gavrilescu, *Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Secția Chimie și Inginerie Chimică*, **Tomul 58 (1)**, 105-116.

2. *Analysis of Environmental Impact for Industry Products. Case Study: Paper Manufacturing*, (2011), **Mădălina Petraru**, Cristina Ghinea, Hans Bressers, Maria Gavrilescu, *Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Secția Chimie și Inginerie Chimică*, **Tomul 57 (4)**, 63-74.

3. *Transition towards a sustainable economy based on industrial ecology principles: Romanian case study*, (2011), **Mădălina Petraru**, Maria Gavrilescu, *Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Secția Chimie și Inginerie Chimică*, **Tomul 57 (1)**, 133-145.

4. *Overview on the economic assessment of pollution prevention/cleaner production practices*, (2010), **Mădălina Petraru**, Maria Gavrilescu, *Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Secția Chimie și Inginerie Chimică*, **Tomul 56 (2)**, 77-93.

5. *Comparative studies concerning the behaviour of organic pollutants in Iasi area soil*, (2010), Camelia Smaranda, Laura Carmen Apostol, **Mădălina Petraru**, Florentina Anca Caliman, Maria Gavrilescu, *Lucrări științifice: Seria Agronomie*, **53**, 143-146.

Lucrări publicate în volume ale Conferințelor și Simpozioanelor

1. *Estimating the environmental benefits of pollution prevention practices*, (2010), **Mădălina Petraru**, Maria Gavrilescu, *Proceedings of the 14th International Symposium on Cellulose Chemistry and Technology*, Iasi-Romania, 220-225, ISBN 978-973-621-306-9.

Participări la Conferințe și Simpozioane Naționale și Internaționale

Lucrări prezentate sub formă de comunicare orală

1. *Analysis and management of specific processes from environmental engineering and protection based on sustainability indicators*, Maria Emiliana Fortună, Isabela Maria Simion, Cristina Ghinea, **Mădălina Petraru**, Petronela Cozma, Laura Carmen Apostol, Raluca Maria Hlihor, Daniela Tudorache Fertu, Maria Gavrilescu, „6th International Conference on Environmental Engineering and Management - Green Future”, Lake Balaton, Ungaria, 1-4 Septembrie 2011.

2. *Overview on the economic assessment of pollution prevention/cleaner production practices*, **Mădălina Petraru**, Maria Gavrilescu, *National Conference “Days of the Faculty of Chemical Engineering and Environmental Protection”, Sixth Edition, “New Frontiers in Chemistry and Chemical Engineering”*, 18-20 Noiembrie 2009.

Lucrări prezentate sub formă de poster

1. *Evaluation of the contribution of the raw materials used in paper production to global warming*, **Mădălina Petraru**, Cristina Ghinea, Hans Bressers, Maria Gavrilescu, *Global Conference on Global Warming – GCGW 2012*, Istanbul, Turcia, 8-12 Iulie 2012.

2. *Environmental and economic evaluation of management systems for municipal solid waste*, Cristina Ghinea, **Mădălina Petraru**, Hans Bressers, Maria Gavrilescu, *Global Conference on Global Warming – GCGW 2012*, Istanbul, Turcia, 8-12 Iulie 2012.

3. *Environmental assessment of municipal solid waste management systems using LCA and multicriteria evaluation*, Cristina Ghinea, **Mădălina Petraru**, Hans Th. A. Bressers, Maria Gavrilescu, *International Conference “20th European Biomass Conference & Exhibition 2012”*, Milano, Italia, 18-22 Iunie 2012.

4. *Environmental comparison of solid waste management systems: a case study of the cities of Iasi Romania and Enschede, Netherlands*, Cristina Ghinea, **Mădălina Petraru**, Hans Th. A. Bressers, Maria Gavrilescu, *Conferința Națională „Zilele Facultății de Inginerie Chimică și Protecția Mediului”*, Ediția a 8 a, “Materiale și Procese Inovative”, Iasi, Romania, 17-18 Noiembrie 2011.

5. *Analysis of Environmental Impact for Industry Products. Case Study: Paper Manufacturing*, **Mădălina Petraru**, Cristina Ghinea, Hans Th. A. Bressers, Maria Gavrilescu, *Conferința Națională „Zilele Facultății de Inginerie Chimică și Protecția Mediului”*, Ediția a 8 a, “Materiale și Procese Inovative”, Iasi, Romania, 17-18 Noiembrie 2011.

6. *Waste management and recovery of fibres – the impact on climate change*, Cristina Ghinea, **Mădălina Petraru**, Hans Bressers, Maria Gavrilescu, *IGS-SENSE Conference Resilient Societies - Governing Risk and Vulnerability for Water, Energy and Climate Change*, Universitatea Twente, Olanda, 19 - 21 Octombrie 2011.

7. *Transition towards a sustainable economy based on industrial ecology principles: Romanian case study*, **Mădălina Petraru**, Maria Gavrilescu, *Conferința Națională „Zilele Facultății de Inginerie Chimică și Protecția Mediului”*, Ediția a 7 a, “90 de zile de la nașterea academicianului Simionescu Christopher”, Iasi, Romania, 17-19 Noiembrie 2010.

8. *Comparative studies concerning the behaviour of organic pollutants in Iasi area soil*, Camelia Smaranda, Laura Carmen Apostol, **Mădălina Petraru**, Florentina Anca Caliman, Maria Gavrilescu, *International Conference “Durable Agriculture - Present and Perspectives”*, susținută în cadrul Universității de Științe Agricole și Medicină Veterinară “Ion Ionescu de la Brad”, Iasi, Romania, 21-23 Octombrie 2010.

9. *Estimating the environmental benefits of pollution prevention practices*, **Mădălina Petraru**, Maria Gavrilescu, *The 14th International Symposium on Cellulose Chemistry and Technology*, susținută în cadrul Facultății de Inginerie Chimică și Protecția Mediului, Iasi, Romania, 8-10 Septembrie 2010.

Stagii de cercetare

Stagii de cercetare în cadrul Centrului Twente pentru Studii în Tehnologie și Dezvoltare Durabilă (CSTM), Facultatea de Management și Guvernare, Universitatea Twente, sub coordonarea științifică a domnului Prof. dr. Hans Th. A. Bressers, în perioada 1 Martie 2011 - 31 August 2011.

Premiu pentru cel mai bun poster

Environmental and economic evaluation of management systems for municipal solid waste, Cristina Ghinea, **Mădălina Petraru**, Hans Bressers, Maria Gavrilescu, *Global Conference on Global Warming – GCGW 2012*, Istanbul, Turcia, 8-12 Iulie 2012.