



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI  
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI,  
PROTECȚIEI SOCIALE ȘI  
PERSOANELOR VÂRSTNICE  
AMPOSDRU



Fondul Social European  
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale  
2007-2013



MINISTERUL  
EDUCAȚIEI  
NAȚIONALE

OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ  
"GHEORGHE ASACHI" DIN  
IASI



**GHEORGHE ASACHI**  
**UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN IASI**  
Facultate de Inginerie Chimică și  
Protecția Mediului

și

**ALMA MATER STUDIORUM –**  
**UNIVERSITATEA DIN BOLOGNA**  
Facultatea de Inginerie



# INDICATORI AI DEZVOLTĂRII DURABILE ÎN MANAGEMENTUL DEȘEURILOR

- *REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT* -

**Doctorat în cotutelă**

Conducători de doctorat:

Prof.univ.dr.ing. **Maria Gavrilescu**

Prof.univ.dr.ing. **Alessandra Bonoli**

Doctorand:

**Ing. Isabela Maria Teslaru (căsătorită Simion), MSc**



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI  
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI,  
PROTECȚIEI SOCIALE ȘI  
PERSONELOR VÂRSTNICIE  
IMPOSDRU



Fondul Social European  
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale  
2007-2013



MINISTERUL  
EDUCAȚIEI  
NAȚIONALE  
OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ  
"GHEORGHE ASACHI" DIN  
IAȘI

Teza de doctorat a fost realizată cu sprijinul financiar al proiectului  
**“STUDII DOCTORALE PENTRU PERFORMANȚE EUROPENE ÎN  
CERCETARE ȘI INOVARE (CUANTUMDOC)”**  
POSDRU/107/1.5/S/79407.

Proiectul **“STUDII DOCTORALE PENTRU PERFORMANȚE  
EUROPENE ÎN CERCETARE ȘI INOVARE (CUANTUMDOC)”**  
POSDRU/107/1.5/S/79407, este un proiect strategic care are ca obiectiv  
general *„Aplicarea de strategii manageriale, de cercetare și didactice  
destinate îmbunătățirii formării inițiale a viitorilor cercetători prin  
programul de studii universitare de doctorat, conform procesului de la  
Bologna, prin dezvoltarea unor competențe specifice cercetării științifice,  
dar și a unor competențe generale: managementul cercetării,  
competențe lingvistice și de comunicare, abilități de documentare,  
redactare, publicare și comunicare științifică, utilizarea mijloacelor  
moderne oferite de TIC, spiritul antreprenorial de transfer al rezultatelor  
cercetării. Dezvoltarea capitalului uman pentru cercetare și inovare va  
contribui pe termen lung la formarea doctoranzilor la nivel european cu  
preocupări interdisciplinare. Sprijinul financiar oferit doctoranzilor va  
asigura participarea la programe doctorale în țara și la stagii de cercetare  
în centre de cercetare sau universități din UE. Misiunea proiectului este  
formarea unui tânăr cercetător adaptat economiei de piață și noilor  
tehnologii, având cunoștințe teoretice, practice, economice și  
manageriale la nivel internațional, ce va promova principiile dezvoltării  
durabile și de protecție a mediului înconjurător.”*

Proiect finanțat în perioada 2010 - 2013

Finanțare proiect: **16.810.100,00 RON**

Beneficiar: Universitatea Tehnică “Gheorghe Asachi” din Iași

Partener: Universitatea „Babeș Bolyai” din Cluj-Napoca

Director proiect: Prof. univ. dr. ing. Mihai BUDESCU

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

## ***Mulțumiri***

*În primul rând doresc să adresez cele mai calde mulțumiri conducătorilor de doctorat, doamnei Prof.dr.ing. Maria Gavrilescu și doamnei Prof.dr.ing. Alessandra Bonoli pentru îndrumare, support și încurajare pe tot parcursul celor 3 ani de studii doctorale.*

*Sincere mulțumiri și deosebită recunoștință adresez doamnei Prof.dr.ing. Maria Gavrilescu a cărei expertiză, atitudine riguroasă în ceea ce privește cercetarea științifică, cunoștințele vaste, înțelegere și răbdare a contribuit la evoluția mea intelectuală și profesională. Mulțumesc pentru sprijinul și oportunitatea de a activa în diferite proiecte, pentru criticile constructive și încurajările calde!*

*Deosebită recunoștință îi adresez doamnei Prof.dr.ing. Alessandra Bonoli care mi-a oferit oportunitatea de a lucra ca doctorand în cadrul Universității ALMA MATER STUDIORUM din Bologna. De asemenea îi sunt recunoscătoare pentru comentariile detaliate și constructive care mi-au fost de mare ajutor. Îi mulțumesc că a fost alături de mine în momentele grele, pentru ca m-a tratat mai mult decât ca pe un student și pentru oportunitățile de a întâlni cercetători preocupați de același subiect.*

*Doresc să adresez cele mai sincere mulțumiri doamnei Prof.dr.ing. Maria Chiara Bignozzi și colaboratorilor care mi-au permis să lucrez alături de dumnealor în laborator. Aș dori, de asemenea să mulțumesc gupului LCA pentru discuțiile constructive pe care le-am avut pe perioada stagiului în Bologna.*

*Toată recunoștința o adresez domnului Profesor Fabio Fava care a făcut posibilă semnarea acordului de co-tutelă între universități și cooperarea cu grupul DICAM.*

*Sincere mulțumiri adresez profesorilor din Departamentul de Ingineria și Managementul Mediului din cadrul Facultății de Inginerie Chimică și Protecția Mediului pentru pregătirea de care am beneficiat în acești ani. În mod special aș dori să mulțumesc doamnei Conf.dr.ing.*

*Carmen Zaharia, care m-a sprijinit și încurajat necondiționat oferindu-mi sfaturi prețioase pentru continuarea studiilor.*

*Aș dori să mulțumesc proiectului POSDRU CUANTUMDOC “Studii Doctorale pentru Performanțe Europene în Cercetare și Inovare” ID\_7940 proiect finanțat de Fondul Social European și Guvernul României pentru sprijinul financiar.*

*Cele mai profunde mulțumiri sunt adresate tuturor colegilor și prietenilor din Departamentul de Ingineria și Managementul Mediului din cadrul Facultății de Inginerie Chimică și Protecția Mediului pentru prietenia sinceră, sfaturile și buna colaborare.*

*Sincere aprecieri adresez prietenilor și colegilor din cadrul departamentului DICAM, Bologna pentru oportunitatea de a lucra alături de ei pe perioada stagiului de doctorat. Aș dori să mulțumesc în mod special Sarei Zanni pentru suportul moral și feedback-ul critic care m-a ajutat să corectez unele inadvertențe privind studiile pe care le-am efectuat.*

*De asemenea mulțumesc tuturor prietenilor care îmi sunt alături zi de zi, precum și tuturor colegilor, mai vechi sau mai noi. Mulțumesc în mod deosebit prietenilor din cadrul grupului de cercetare Procese Chimice și Biologice în Ingineria și Managementul Mediului.*

*Profunde mulțumiri datorez celor mai importante persoane din viața mea, iubiții mei părinți, pentru sprijinul acordat în ceea ce privește cariera dar și în viața personală, fără de care nu aș fi aici astăzi. Mami, tati, vă mulțumesc pentru sprijinul, iubirea și încurajările oferite, pentru a-mi urma și realiza visele!*

*Cele mai sincere mulțumiri îi revin celei mai importante persoane din viața mea, soțului meu, pentru răbdarea de care a dat dovadă. Îi mulțumesc pentru încurajări, suport necondiționat în tot acest timp și pentru dragostea nemărginită oferită în fiecare zi a vieții noastre împreună.*

*Iași, Noiembrie 2013*

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE ASACHI" DIN IAȘI**  
**R E C T O R A T U L**

Către

---

Vă facem cunoscut că, în ziua de **15 Noiembrie 2013** la ora 10.00 în **Sala de Consiliu a Facultății de Inginerie Chimică și Protecția Mediului**, va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată:

**"SUSTAINABILITY INDICATORS IN SOLID WASTE MANAGEMENT"**  
**(Indicatori ai dezvoltării durabile în managementul deșeurilor)**

elaborată de doamna inginer **Isabela Maria Teslaru (căs. Simion)** în vederea conferirii titlului științific de doctor.

Comisia de doctorat este alcătuită din:

- |                                                                       |                        |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------|
| 1. Prof. univ. dr. ing. SILVIA CURTEANU                               | -președinte            |
| Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași                      |                        |
| 2. Prof. univ. dr.ing. MARIA GAVRILESCU                               | -conducător științific |
| Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași                      |                        |
| 3. Conf. dr. ing. ALESSANDRA BONOLI                                   | -conducător științific |
| Universitatea de Studii „ALMA MATER STUDIORUM”<br>din Bologna, Italia |                        |
| 4. Conf. dr. ing. MARIA CHIARA BIGNOZZI                               | -membru                |
| Universitatea de Studii „ALMA MATER STUDIORUM”<br>din Bologna, Italia |                        |
| 5. Prof. univ. dr. ing. ANCA DUȚA-CAPRĂ                               | -membru                |
| Universitatea "Transilvania" din Brașov                               |                        |
| 6. Prof. univ. dr. ing. NICOLAE ȚĂRANU                                | -membru                |
| Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași                      |                        |

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

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

**RECTOR,**

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

**Secretar universitate,**

Ing.Cristina Nagiț



## CUPRINS

|                                                                                                                                                   |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>INTRODUCERE.....</b>                                                                                                                           | <b>1</b>  |
| <b>Capitolul 1. PRIVIRE DE ANSAMBLU ASUPRA STADIULUI ACTUAL AL CUNOAȘTERII ÎN DOMENIUL GENERĂRII ȘI MANAGEMENTULUI DEȘEURILOR SOLIDE.....</b>     | <b>11</b> |
| <b>1.1. Scurt istoric al studiilor privind generarea și managementul deșeurilor solide.....</b>                                                   | <b>11</b> |
| <b>1.2. Problematika managementului deșeurilor solide și contextul durabilității generării, tratării și managementului deșeurilor solide.....</b> | <b>13</b> |
| 1.2.1. Analiza conceptului de durabilitate în managementul deșeurilor.....                                                                        | 15        |
| 1.2.2. Măsurarea și cuantificarea durabilității.....                                                                                              | 18        |
| 1.2.3. Generarea și managementul integrat al deșeurilor solide în contextul măsurilor și valorilor durabilității.....                             | 24        |
| <b>1.3. Eco-eficiența în managementul deșeurilor.....</b>                                                                                         | <b>31</b> |
| <b>1.4. Instrumente ale durabilității pentru managementul eco-eficient al deșeurilor solide.....</b>                                              | <b>34</b> |
| 1.4.1. Elemente de progres și instrumente pentru sprijinirea punerii în aplicare a sistemelor durabile de management al deșeurilor.....           | 35        |
| 1.4.2. Scurtă analiză privind durabilitatea managementului deșeurilor solide în România.....                                                      | 38        |
| <b>1.5. Concluzii.....</b>                                                                                                                        | <b>40</b> |
| <b>Capitolul 2. INSTRUMENTE DE EVALUARE A DURABILITĂȚII SISTEMELOR DE MANAGEMENT AL DEȘEURILOR SOLIDE.....</b>                                    | <b>43</b> |
| <b>2.1. Scopul și domeniul de aplicare.....</b>                                                                                                   | <b>43</b> |
| <b>2.2. Indicatori ai dezvoltării durabile derivați din evaluarea ciclului de viață.....</b>                                                      | <b>45</b> |
| 2.2.1. Scopul, analiza domeniului de aplicare, limitele sistemului, unitatea funcțională.....                                                     | 47        |
| 2.2.2. Analiza de inventariere.....                                                                                                               | 47        |
| 2.2.3. Indicatori ai dezvoltării durabile în managementul deșeurilor solide asociați impacturilor în mediu.....                                   | 48        |

|                                                                                                                                                            |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.2.3.1. Schimbări climatice.....                                                                                                                          | 50        |
| 2.2.3.2. Formarea oxidanților fotochimici.....                                                                                                             | 52        |
| 2.2.3.3. Acidifierea.....                                                                                                                                  | 55        |
| 2.2.3.4. Eutrofizarea.....                                                                                                                                 | 56        |
| 2.2.3.5. Toxicitatea umană.....                                                                                                                            | 57        |
| 2.2.3.6. Epuizarea resurselor abiotice.....                                                                                                                | 58        |
| 2.2.4. Etape de interpretare și analiză a rezultatelor.....                                                                                                | 58        |
| 2.2.5. Metodologii și instrumente în evaluarea ciclului de viață....                                                                                       | 60        |
| 2.2.6. Avantaje și dezavantaje ale utilizării evaluării ciclului de viață în analiza managementului C&DW.....                                              | 67        |
| <b>2.3. Amprenta ecologică – indicator al dezvoltării durabile în generarea și managementul deșeurilor.....</b>                                            | <b>68</b> |
| 2.3.1. Amprenta ecologică globală.....                                                                                                                     | 68        |
| 2.3.2. Tipurile de amprente ecologice ale utilizării terenurilor.....                                                                                      | 70        |
| 2.3.2.1. Teren intravilan.....                                                                                                                             | 71        |
| 2.3.2.2. Zone de pescuit.....                                                                                                                              | 72        |
| 2.3.2.3. Teren forestier.....                                                                                                                              | 73        |
| 2.3.2.4. Pășuni.....                                                                                                                                       | 73        |
| 2.3.2.5. Terenuri agricole.....                                                                                                                            | 74        |
| 2.3.3. Amprenta de carbon.....                                                                                                                             | 75        |
| 2.3.4. Amprenta nucleară.....                                                                                                                              | 76        |
| 2.3.5. Avantaje și limitări în utilizarea metodologiei amprentei ecologice.....                                                                            | 76        |
| <b>2.4. Indicatori ai dezvoltării durabile derivați din analiza de decizie multicriterială (MCDA) aplicați în evaluarea managementului deșeurilor.....</b> | <b>77</b> |
| 2.4.1. Metode și instrumente din MCDA.....                                                                                                                 | 77        |
| 2.4.2. Avantajele și dezavantajele utilizării MCDA în analiza managementului deșeurilor solide.....                                                        | 79        |
| <b>2.5. Concluzii.....</b>                                                                                                                                 | <b>80</b> |

|                                                                                                                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Capitolul 3. MANAGEMENTUL DEȘEURILOR DIN CONSTRUCȚII ȘI DEMOLĂRI: SITUAȚIA ACTUALĂ ȘI PLANIFICAREA SCENARIILOR ȘI ALTERNATIVELOR PENTRU MANAGEMENTUL INTEGRAT DURABIL.....</b> | <b>81</b> |
| 3.1. Scopul și domeniul de aplicare al studiului.....                                                                                                                             | 81        |
| 3.2. Situația actuală a managementului deșeurilor din construcții și demolări în Uniunea Europeană.....                                                                           | 81        |
| 3.2.1. Generarea și managementul deșeurilor din construcții și demolări .....                                                                                                     | 85        |

|                                                                                                                               |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.2.2. Identificarea problemelor globale asociate managementului deșeurilor solide.....                                       | 94         |
| <b>3.3. Managementul deșeurilor solide în România.....</b>                                                                    | <b>95</b>  |
| 3.3.1. Analiza situației actuale a generării și managementului deșeurilor din construcții și demolări în Iași, România.....   | 95         |
| 3.3.2. Punctele tari și puncte slabe în domeniul managementului deșeurilor solide în Iași, România.....                       | 100        |
| <b>3.4. Managementul deșeurilor solide în Italia.....</b>                                                                     | <b>101</b> |
| 3.4.1. Analiza situației actuale a generării și managementului deșeurilor din construcții și demolări în Bologna, Italia..... | 101        |
| 3.4.2. Punctele tari și puncte slabe în domeniul managementului deșeurilor solide în Bologna, Italia.....                     | 101        |
| <b>3.5. Alternative pentru managementul deșeurilor din construcții și demolări și dezvoltarea de scenarii.....</b>            | <b>103</b> |
| 3.5.1. Sistemul actual de management și tratare al C&DW.....                                                                  | 103        |
| 3.5.2. Scenarii de management al deșeurilor din construcții și demolări propuse ca alternative la sistemul actual.....        | 105        |
| <b>3.6. Concluzii.....</b>                                                                                                    | <b>107</b> |

|                                                                                                                                                                                       |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Capitolul 4. INDICATORI AI DEZVOLTĂRII DURABILE BAZAȚI PE EVALUAREA CICLULUI DE VIAȚĂ PENTRU EVALUAREA SISTEMELOR DE MANAGEMENT AL DEȘEURILOR DIN CONSTRUCȚII ȘI DEMOLĂRI.....</b> | <b>109</b> |
| 4.1. Scopul, analiza domeniului de aplicare, limitele sistemului, unitatea funcțională.....                                                                                           | 109        |
| 4.2. Inventarul ciclului de viață în studii LCA pentru managementul C&DW.....                                                                                                         | 111        |
| 4.2.1. Analiza de inventariere pentru C&DW din Iași, România...                                                                                                                       | 113        |
| 4.2.2. Analiza de inventariere pentru C&DW din Bologna, Italia..                                                                                                                      | 115        |
| 4.3. Instrumente software de analiză a durabilității managementului C&DW bazat pe indicatori derivați din evaluarea ciclului de viață.....                                            | 116        |
| 4.3.1. Prezentarea mediului software GaBi .....                                                                                                                                       | 116        |
| 4.3.2. Prezentarea mediului software SimaPro .....                                                                                                                                    | 117        |
| 4.4. Evaluarea durabilității scenariilor existente și propuse de management al deșeurilor din construcții și demolări aplicând indicatori asociați cu impacturile în mediu.....       | 118        |
| 4.4.1. Evaluarea impactului de mediu a scenariilor de management al C&DW cu mediul software GaBi.....                                                                                 | 119        |
| 4.4.1.1. Evaluarea sistemului de management al C&DW existent în Iași în anul 2009 (scenariul 1).....                                                                                  | 119        |

|                                                                                                                                                                                       |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.4.1.2. Evaluarea sistemului de management al C&DW existent în Bologna în anul 2009 (scenariul 1).....                                                                               | 122        |
| 4.4.1.3. Compararea impacturilor asupra mediului a sistemelor actuale de management al C&DW din Iași și Bologna (mediul software GaBi).....                                           | 123        |
| 4.4.1.4. Evaluarea comparativă a durabilității scenariilor propuse pentru sistemele de management al deșeurilor în Iași și Bologna mediul software GaBi.....                          | 124        |
| 4.4.2. Evaluarea impactului scenariilor de management prin aplicarea mediului software SimaPro.....                                                                                   | 127        |
| 4.4.2.1. Evaluarea sistemului de management al C&DW existent în Iași în anul 2009 (scenariul 1).....                                                                                  | 127        |
| 4.4.2.2. Evaluarea sistemului de management al C&DW existent în Bologna în anul 2009 (scenariul 1).....                                                                               | 128        |
| 4.4.2.3. Compararea impacturilor asupra mediului a sistemelor actuale de management al C&DW din Iași și Bologna (mediul software SimaPro).....                                        | 130        |
| 4.4.2.4. Evaluarea comparativă a scenariilor propuse pentru sistemele de management al deșeurilor în Iași și Bologna în termeni de durabilitate folosind mediul software SimaPro..... | 131        |
| 4.4.3. Compararea datelor privind performanțele sistemelor de management al C&DW evaluate cu instrumentele de analiză GaBi și SimaPro.....                                            | 133        |
| <b>4.5. Concluzii.....</b>                                                                                                                                                            | <b>138</b> |

**Capitolul 5. AMPRENTELE ECOLOGICE ALE GENERĂRII ȘI MANAGEMENTULUI DEȘEURILOR DIN CONSTRUCȚII ȘI DEMOLĂRI .....**

|                                                                                                                |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>5.1. Scopul și obiectivele studiului.....</b>                                                               | <b>141</b> |
| <b>5.2. Scopul, unitatea funcțională și calculul amprenteii ecologice</b>                                      | <b>142</b> |
| <b>5.3. Amprențele ecologice ale C&amp;DW din orașul Iași.....</b>                                             | <b>143</b> |
| <b>5.4. Amprențele ecologice ale C&amp;DW din orașul Bologna.....</b>                                          | <b>147</b> |
| <b>5.5. Compararea amprentelor ecologice ale sistemelor de management al C&amp;DW din Iași și Bologna.....</b> | <b>149</b> |
| <b>5.6. Concluzii.....</b>                                                                                     | <b>151</b> |

**Capitolul 6. INDICATORI AI DEZVOLTĂRII DURABILE PENTRU EVALUAREA SCENARIILOR DE MANAGEMENT AL DEȘEURILOR DIN CONSTRUCȚII ȘI DEMOLĂRI DERIVAȚI DIN ANALIZA DE DECIZIE MULTICRITERIALĂ .....**

153

|                                                                                                                                                                                |                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>6.1. Scopul și obiectivele studiului .....</b>                                                                                                                              | <b>153</b>     |
| <b>6.2. Costurile și beneficiile asociate managementului deșeurilor din construcții și demolări.....</b>                                                                       | <b>154</b>     |
| 6.2.1. Metodologia de calcul a costurilor scenariilor C&DW.....                                                                                                                | 156            |
| 6.2.2. Metodologia de calcul a beneficiilor scenariilor C&DW....                                                                                                               | 160            |
| <b>6.3. Metoda Proceselor Analitice Ierarhice în analiza scenariilor C&amp;DW.....</b>                                                                                         | <b>161</b>     |
| 6.3.1. Metodologia AHP.....                                                                                                                                                    | 161            |
| 6.3.2. Evaluarea criteriilor pentru analiza scenariilor C&DW.....                                                                                                              | 167            |
| 6.3.3. Acordarea scorurilor pentru criterii.....                                                                                                                               | 171            |
| 6.3.4. Ponderarea criteriilor.....                                                                                                                                             | 173            |
| 6.3.4.1. Metodele rating și raking.....                                                                                                                                        | 173            |
| 6.3.4.2. Compararea prin perechi.....                                                                                                                                          | 177            |
| <b>6.4. Concluzii.....</b>                                                                                                                                                     | <b>184</b>     |
| <br><b>Capitolul 7. INDICATORI AI DEZVOLTĂRII DURABILE PENTRU EVALUAREA MATERIALELOR RECICLABILE DIN DEȘEURILE DIN CONSTRUCȚII ȘI DEMOLĂRI.....</b>                            | <br><b>187</b> |
| 7.1. Scopul și obiectivele studiului .....                                                                                                                                     | 187            |
| 7.2. Aplicarea metodologiilor LCA și AHP pentru evaluarea materialelor reciclabile.....                                                                                        | 188            |
| 7.2.1. Metodologiile LCA și AHP.....                                                                                                                                           | 188            |
| 7.2.2. Inventarul ciclului de viață.....                                                                                                                                       | 190            |
| 7.3. Evaluarea multicriterială a colectării, transportului și depozitării materialelor reciclabile ( <i>scenariul SR1</i> ).....                                               | 191            |
| 7.3.1. Emisii în aer la colectarea, transportul și depozitarea materialelor reciclabile.....                                                                                   | 191            |
| 7.3.2. Emisii în apă la colectarea, transportul și depozitarea materialelor reciclabile .....                                                                                  | 195            |
| 7.3.3. Emisii în sol la colectarea, transportul și depozitarea materialelor reciclabile .....                                                                                  | 198            |
| 7.4. Evaluarea multicriterială a colectării, transportului și sortării materialelor reciclabile ( <i>scenariul SR2</i> ).....                                                  | 200            |
| 7.5. Concluzii.....                                                                                                                                                            | 204            |
| <br><b>Capitolul 8. CELE MAI BUNE PRACTICI PENTRU CREȘTEREA DURABILITĂȚII SISTEMELOR DE MANAGEMENT AL DEȘEURILOR DIN CONSTRUCȚII ȘI DEMOLĂRI – RECICLAREA DEȘEURILOR .....</b> | <br><b>205</b> |
| 8.1. Scopul și obiectivele studiului.....                                                                                                                                      | 205            |
| 8.2. Structura cadru a reciclării/reutilizării cadru C&DW.....                                                                                                                 | 205            |

|                                                                                                                                                            |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>8.3. Metodologii și instrumente.....</b>                                                                                                                | <b>207</b> |
| 8.3.1. Producerea și reutilizarea C&DW – limitele sistemului.....                                                                                          | 207        |
| 8.3.2. Metoda Eco-Indicator 99.....                                                                                                                        | 209        |
| 8.3.3. Metoda EDIP/UMIP.....                                                                                                                               | 211        |
| 8.3.4. Metoda Necesarului de Energie Cumulativă.....                                                                                                       | 211        |
| <b>8.4. Evaluarea impacturilor generate în diferite faze ale producției agregatului 0/30 mm prin procesarea inertului natural (scenariul SA1).....</b>     | <b>213</b> |
| 8.4.1. Metoda Eco-Indicator 99.....                                                                                                                        | 213        |
| 8.4.2. Metoda EDIP/UMIP.....                                                                                                                               | 214        |
| 8.4.3. Metoda Necesarului de Energie Cumulativă.....                                                                                                       | 215        |
| <b>8.5. Evaluarea impacturilor asociate cu diferite faze ale producției agregatului 0/30 mm prin reciclarea/reutilizarea C&amp;DW (scenariul SA2).....</b> | <b>215</b> |
| 8.5.1. Metoda Eco-Indicator 99.....                                                                                                                        | 215        |
| 8.5.2. Metoda EDIP/UMIP.....                                                                                                                               | 217        |
| 8.5.3. Metoda Necesarului de Energie Cumulativă.....                                                                                                       | 219        |
| <b>8.6. Concluzii.....</b>                                                                                                                                 | <b>219</b> |
| <b>CONCLUZII GENERALE.....</b>                                                                                                                             | <b>221</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIE.....</b>                                                                                                                                   | <b>233</b> |
| <b>Anexa 1. LISTA FIGURILOR.....</b>                                                                                                                       | <b>263</b> |
| <b>Anexa 2. LISTA TABELELOR.....</b>                                                                                                                       | <b>269</b> |
| <b>Anexa 3. LISTA CONTRIBUȚILOR ȘTIINȚIFICE.....</b>                                                                                                       | <b>273</b> |
| <b>Annex 4 LICENȚE MEDII SOFTWARE.....</b>                                                                                                                 | <b>279</b> |

În rezumatul tezei de doctorat se prezintă o parte din contribuțiile originale, concluziile generale și o bibliografie selectivă. La redactarea rezumatului s-au păstrat aceleași notații pentru capitole, paragrafe, figuri, tabele și ecuații ca cele utilizate în teza de doctorat.

## INTRODUCERE

Dezvoltarea și progresul activităților umane sunt indispensabil legate de extracția și prelucrarea resurselor, astfel încât să genereze beneficii pentru generațiile prezente și viitoare. La sfârșitul ciclului de utilizare, aceste produse și materiale se regăsesc sub formă de deșeuri. Adesea, generarea deșeurilor este rezultatul utilizării ineficiente și nesustenabile a resurselor naturale, a energiei în procesele de producție și alte activități umane, concretizate de cele mai multe ori în pierderi economice.

În ultimele decenii, managementul deșeurilor a devenit unul dintre cele mai discutate și disputate subiecte asociate cu sănătatea publică și calitatea mediului înconjurător, ca o consecință a ratelor mari de generare a deșeurilor induse de progresul urbanizării și dezvoltării economice (OECD, 2007a). În particular, creșterea continuă a cantității de deșeuri solide generează interes pentru autoritățile regionale și naționale, cercetători, precum și pentru cetățeni, în acord cu problemele economice, sociale și de mediu, devenind din ce în ce mai mult o problemă la nivel mondial (APO, 2007; Banar et al., 2008; Simion et al., 2012). Rata de generare a deșeurilor solide variază de la  $< 0,1$  t/cap/an în țările cu venituri mici pînă la  $> 0,8$  t/cap/an în țările industrializate cu venituri mari (Bogner et al., 2007).

Aspectele de mediu legate de generarea deșeurilor includ emisiile în aer, apă și sol, cu potențial impact asupra sănătății umane și a mediului și depind într-o mare măsură de compoziția fizică a deșeurilor identificate, de componentele speciale, proprietățile fizice (de exemplu: densitatea, conținutul de umiditate), compoziția chimică, care include conținutul de materii volatile, cenușă etc. (Simion et al., 2012; Yeheyis et al., 2012). Din totalul de deșeuri solide generate, 8% sunt reprezentate de deșeurile menajere, restul de 92% fiind generate de sistemele de producție (13%), exploatare (28%), în timp ce un procent important vine din industria construcțiilor civile și industriale (33%) (Hall și Nguyen, 2012).

În scopul reducerii impactului asupra mediului, planificarea managementului deșeurilor este cheia oricărei politici naționale, regionale sau locale privind managementul deșeurilor, dedicat identificării ariei în care ar trebui să fie luate măsuri specifice (Banar et al., 2008; Ghinea și Gavrilescu, 2010; OECD, 2007b). Alți pași ce ar trebui urmați în orice analiză a managementului deșeurilor, de la generare la depozitare, vizează colectarea, transferul și transportul deșeurilor, alternative de management precum reducerea, reutilizarea, reciclarea, manipularea, transformarea (recuperare și tratament) (APO, 2007). Nu numai în Europa, ci în întreaga lume au fost organizate acțiuni de conștientizare a populației și altor părți interesate în privința managementului deșeurilor, precum workshop-uri, seminarii și conferințe, dedicate discutării aspectelor și problemelor acute

legate de generarea și prezența deșeurilor în mediu, pentru a dezvolta soluții și a evalua practicile actuale de management al deșeurilor solide și pentru a sublinia problemele și măsurile necesare a fi întreprinse pentru a le rezolva (APO, 2007).

Managementul deșeurilor solide ar trebui aplicat în conformitate cu ierarhia deșeurilor, care cuprinde opțiunile cele mai avantajoase și opțiunile mai puțin avantajoase pentru managementul deșeurilor (Banar et al., 2008; Ghinea și Gavrilescu, 2010; Simion et al., 2012; Simion et al., 2013b).

**Considerând această ierarhie, Managementul Integrat al Deșeurilor Solide (ISWM) se referă la o inițiativă strategică pentru managementul durabil al deșeurilor solide prin utilizarea unui model integrat complet, generat prin susținerea preventivă și abordarea consultativă a utilizării complementare a diferitelor practici de management a deșeurilor solide, într-un mod sigur și eficient.**

Managementul deșeurilor este o problemă majoră pentru toate comunitățile din UE, în contextul în care, diferiți *actori* implicați (factorii de decizie politică, industrie, municipalități) se confruntă cu o lipsă de metodologii și medii software pentru definirea, evaluarea, optimizarea sau adaptarea deciziei lor de tratare a deșeurilor și pentru îndeplinirea obiectivelor de progres stabilite la nivelul UE. Legislația europeană privind managementul deșeurilor este strâns legată de creșterea cantității de deșeuri, inclusiv de cerințele de a reduce/elimina cantitatea de deșeuri din depozitele de deșeuri prin reciclare sau reutilizare (Hall și Nguyen, 2012).

Cu toate acestea, există diferențe semnificative între țările europene în ceea ce privește managementul deșeurilor solide cu referire în mod special la colectarea și prelucrare deșeurilor. O analiză efectuată în 2006 în țările vest-europene cu privire la rata de reciclare a ilustrat faptul că Germania a avut cea mai mare rată de reciclare a deșeurilor (68 %), comparativ cu Portugalia, unde rata de reciclare a fost de aproape 15 %, în timp ce în țările est-europene rata a fost foarte scăzută (de exemplu, 11 % în Ungaria). În schimb, ratele cele mai scăzute de depozitare a deșeurilor au fost găsite în țările în curs de dezvoltare cum ar fi: Germania (1 %), Olanda (2 %), iar cele mai mari în țările din Europa de Est, cum ar fi: România (85 %), Ungaria și Bulgaria (80 %) (EVD, 2008; Eurostat, 2011; Guineea et al., 2012a). În majoritatea Europei incinerarea deșeurilor este puțin aplicată, însă în țările est-europene incinerarea deșeurilor solide aproape lipsește.

Având în vedere că politica de management al deșeurilor în UE evoluează rapid, obiectivul major al acestei evoluții este decuplarea creșterii economice de consumul de resurse și producția de deșeuri, precum și o reducere a impacturilor asupra mediului care sunt asociate cu generarea și managementul deșeurilor. O serie de concepte au fost recunoscute ca principii ale politicilor de management al deșeurilor, aplicate cu scopul de a

reduce impactul deșeurilor asupra mediului, atât în termeni calitativi cât și cantitativi. Aceste principii includ: principiul prevenirii, principiul precauției, principiul proximității, principiul *poluatorul plătește*, principiul răspunderii extinse a producătorului. Aceste principii sunt asociate cu ierarhia de management al deșeurilor, care prioritizează acțiunile ce trebuie întreprinse pentru diminuarea impacturilor în mediu, după cum urmează: prevenirea și reducerea deșeurilor, reutilizarea, reciclarea, tratarea și depozitarea ecologică și îmbunătățirea monitorizării.

În România, în acord cu Planul Național de Management al Deșeurilor și Planurile Regionale de Management al Deșeurilor, responsabilitatea managementului deșeurilor solide aparține autorităților publice locale, care au sarcina de a asigura colectarea selectivă, transportul, neutralizarea, reutilizarea și eliminarea finală a deșeurilor, în mod individual sau prin concesionarea unui operator economic autorizat. Sintetizarea datelor privind managementul deșeurilor a început în anul 1981, însă primul raport disponibil la nivel național a apărut în 1995 (BALKWASTE, 2010; Consiliul Județean Iași, 2009). Datele disponibile referitoare la fluxurile de deșeuri solide din Iași s-au bazat pe ipoteze, studii aleatorii sau estimări ale unor valori medii la nivel național din alte țări. Din 2005, Agenția Națională pentru Protecția Mediului (ANPM), în colaborare cu Institutul Național de Statistică (INS) efectuează studii statistice anuale, pentru asigurarea unui suport pentru îmbunătățirea sistemului de management al deșeurilor (Consiliul Județean Iași, 2009, 2011). Pe baza acestor date sintetice s-a constatat că, în comparație cu alte state membre ale Uniunii Europene, România trebuie să depună eforturi semnificative pentru a face față problemelor provocate de rata mare de generare a deșeurilor solide și pentru a implementa sisteme de management integrat al deșeurilor având la bază principiile dezvoltării durabile. De exemplu, Italia a implementat un sistem de management al deșeurilor solide, inclusiv reciclarea deșeurilor, compostarea, incinerarea și depozitarea, deși aproape 60 % din lucrările publice propuse și contestate în ultimii trei ani sunt instalațiile de management al deșeurilor. O comparație a sistemelor italiene de management al deșeurilor solide cu cele din alte țări vest-europene ilustrează existența unor puncte slabe, de exemplu, în colectarea deșeurilor solide, în special în termeni de disponibilitate a populației de a colecta materialele reciclabile și compostabile separat (reprezentând 22,7 % din producția totală de MSW în 2004), deși numărul depozitelor a scăzut de la 657 (în 2000) la 401 (în 2004) (Lorenzoni, 1999; Mengozzi, 2010).

Prin urmare, este important să se evalueze amploarea impactului asupra mediului și să se identifice cele mai bune strategii de dezvoltare durabilă pentru sectorul de management al deșeurilor. Este nevoie de a dezvolta viitoare abordări pentru determinarea celor mai bune opțiuni tehnice, economice, sociale și de mediu, precum și stabilirea de obiective

privind reciclarea și valorificarea deșeurilor, luând în considerare diferențele dintre produse și materiale, și a posibilităților alternative, în special atunci când diferite categorii de deșeuri sunt abordate (agricultură, construcții și demolări, electronice, sănătatea umană, nămolul din epurare, etc).

Deșeurile din construcții și demolări (C&DW) sunt rezultatul activităților de construcții sau demolări ale clădirilor și a altor elemente de infrastructură (drumuri, poduri etc.). Deși această categorie de deșeuri reprezintă aproximativ 30% din deșeurile controlate în UE (de exemplu, cca. 1 miliard de tone în UE27), reciclarea, reutilizarea și potențialul de recuperare nu este exploatat suficient. În statele membre ale UE sunt aplicate o serie de opțiuni specifice de management pentru C&DW (screening, zdrobire, mărunțire, separarea componentelor periculoase și reciclare, incinerare, deversare) (JRC Comisia Europeană, 2011). Cu toate acestea, diferite metode de reciclare și recuperare se cer a fi îmbunătățite, având în vedere că C&DW au un potențial de reciclare de peste 90% și luând în considerare faptul că industria construcțiilor reprezintă unul dintre principalii consumatori de resurse naturale din Europa.

Orice subiect care abordează producția și managementul deșeurilor poate genera oportunitatea unor studii și cercetări complexe. De aceea, prezenta teză de doctorat este o analiză a instrumentelor posibil a fi aplicate în managementul unei anumite categorii de deșeuri, în special a deșeurilor din construcții și demolări (C&DW). Deși aceste deșeuri pot pune probleme similare cu cele specifice deșeurilor solide municipale (MSW), apariția lor, opțiunile de tratament și de management sunt mai puțin studiate, comparativ cu cele pentru MSW. Prin urmare **este la fel de important și necesar**, ca și în cazul altor tipuri de deșeuri solide nepericuloase **să se obțină o mai bună înțelegere a naturii C&DW și efectelor economice, sociale și de mediu a diferitelor fracțiuni de deșeuri**. De o importanță relevantă este analiza și cunoașterea C&DW, compoziția și dinamica generării acestora, precum și cantitatea de deșeuri ce se preconizează a fi generată în viitor. **Considerarea diferențelor geografice** în raport cu managementul C&DW este, de asemenea, un aspect important al studiului nostru.

Spectrul tehnologiilor de tratare a deșeurilor existente și noi și strategiile manageriale sunt în continuă schimbare pentru a asigura menținerea calității mediului în prezent și pentru atingerea obiectivelor de sustenabilitate în viitor. **Aceste aspecte se încadrează în domeniul de studiu al prezentei teze de doctorat, care abordează o schimbare în paradigma managementului deșeurilor C&DW în România, cu posibila extindere la alte țări sud - est europene, astfel încât să asigure: (i) o utilizare mai eficientă a materialelor, atât la începutul cât și la sfârșitul ciclului lor de viață, (ii) reducerea ratelor de epuizare a resurselor naturale neregenerabile și a celor de depozitare, (iii) utilizarea eficientă**

**și reutilizarea materialelor, (iv) îmbunătățirea eficienței economice, dezvoltarea de sisteme de management cu impact redus asupra mediului (creșterea eco-eficienței).**

În acest context, prezenta teză de doctorat propune elaborarea și realizarea unui plan experimental pentru analiza și îmbunătățirea managementului C&DW luând în considerare **indicatori ai dezvoltării durabile, prin abordarea unor studii de caz în două zone europene: județul Iași, în estul României (orașul Iași) și regiunea Emilia Romagna din Nordul Italiei (orașul Bologna).**

Teza de doctorat cu titlul "*Indicatori ai dezvoltării durabile în managementul deșeurilor*" este o provocare pentru atingerea obiectivului fundamental care vizează **dezvoltarea unei abordări integrate, bazată pe un set cuprinzător de indicatori ca măsură a durabilității sistemelor de management al C&DW, în raport cu aspectele de mediu, economice și tehnice, pentru identificarea și aplicarea celor mai adecvate practici durabile în managementul integrat al deșeurilor din construcții și demolări.** Se propun și se identifică modalități relativ simple de măsurare a nivelului de sustenabilitate în primă instanță pentru a contribui astfel la înțelegerea sensului de dezvoltare durabilă pentru managementul deșeurilor din construcții și demolări (C&DW).

Lucrarea de doctorat se caracterizează printr-o abordare integrată de management al **deșeurilor din construcții și demolări (C&DW), bazată pe indicatori ai dezvoltării durabile în termeni economici, tehnici și în raport cu mediul înconjurător.** Această abordare vine în întâmpinarea nevoii de a pune în aplicare un management durabil integrat al deșeurilor solide (ISWM) în România, similar cu cele existente în țările europene dezvoltate, precum Italia, cu posibila de extindere în alte țări europene.

În ansamblu, teza de doctorat examinează modul în care eficiența economică și ecologică (**eco-eficiența**) a managementului C&DW poate fi evaluată și îmbunătățită prin reglarea diversilor parametri cu cea mai mare influență asupra valorilor acesteia. Mai mult decât atât, se acordă o importanță aparte modului de procesare a tuturor datelor și informațiilor disponibile, pentru a îmbunătăți managementul C&DW, în aceeași măsură ca și politicilor și infrastructurii ce asistă cele mai adecvate combinații ale proceselor de tratare a deșeurilor, astfel încât să minimizeze impactul asupra mediului și să maximizeze eficiența tehnico-economică.

Pentru atingerea obiectivului principal al tezei, în contextul descris mai sus, am identificat câteva obiective specifice ce trebuie abordate, astfel încât să se asigure realizarea obiectivului principal al tezei de doctorat. Obiectivele specifice descrise în continuare sunt elaborate având în vedere următoarele aspecte necesare pentru asigurarea eco-eficienței managementului C&DW și pentru sprijinirea deciziilor în managementul C&DW: reducerea intensității utilizării materialelor, reducerea intensității

energetice, reducerea dispersiei poluanților, consolidarea reciclării, maximizarea utilizării resurselor regenerabile, extinderea durabilității produselor rezultate prin reciclarea și reutilizarea deșeurilor.

Obiectivele specifice ale tezei sunt următoarele :

- **selecția studiilor de caz: județul Iași, situat în estul României (orașul Iași), și regiunea Emilia Romagna situată în nordul Italiei (orașul Bologna);**
- **screening-ul indicatorilor de durabilitate și a indicilor aplicabili în evaluarea managementul deșeurilor solide;**
- **evaluarea sistemelor actuale de management al deșeurilor în locațiile selectate cu ajutorul indicatorilor dezvoltării durabile derivați din Evaluarea Ciclului de Viață și compararea rezultatelor în termeni de categorii de impact asupra mediului și mărimea acestor impacturi;**
- **dezvoltarea de scenarii de management al C&DW și evaluarea durabilității mediului, luând în considerare compoziții similare ale masei de deșeuri și cantitatea de deșeuri;**
- **analiza și compararea scenariilor de management al deșeurilor, bazate pe diferite compoziții și cantități ale C&DW;**
- **identificarea scenariului celui mai adecvat de management al deșeurilor și a procesului de tratare a deșeurilor din punctul de vedere al impactului asupra mediului și al durabilității;**
- **evaluarea Amprentelor ecologice ale C&DW în cele două zone europene selectate;**
- **evaluarea comparativă a scenariilor de management al deșeurilor utilizând Amprenta ecologică globală, Amprenta de carbon, Amprenta de utilizare a terenurilor, pentru compoziții și cantități diferite ale C&DW;**
- **analiza scenariilor de management al C&DW din punctul de vedere al durabilității tehnico-economice și de mediu, pe baza unor indicatori specifici de durabilitate care rezultă din Analiza de decizie multicriterială (ADMC);**
- **analiza de eco-eficiență a deșeurilor reciclabile cu indicatorii dezvoltării durabile derivați din metodologiile: Analiza de decizie multicriterială (ADMC) și Evaluarea ciclului de viață (LCA);**
- **analiza comparativă a durabilității în raport cu mediul înconjurător în cazul utilizării unmaterial inert natural și, respectiv a unui deșeu inert reciclat din C&DW în activitatea de construcții;**
- **analiza rezultatelor, formularea concluziilor și a recomandărilor pentru factorii de decizie politică și factorii de decizie din sectorul C&DW.**

Îndeplinirea acestor obiective se realizează pe baza unei abordări multidisciplinare. Pentru a răspunde cerințelor programului de cercetare elaborat în acord cu obiectivele tezei de doctorat, am conectat mai multe

zone de expertiză, prin corelarea cunoștințelor din domenii diferite într-un nou model de abordare a problemei de management integrat a deșeurilor din construcții și demolări. În acest context, am lucrat cu un sistem complex socio-tehnic, astfel că planul de cercetare a fost pus în practică prin explorarea și aplicarea de metode calitative și cantitative din ingineria chimică și a mediului, managementul mediului, informatică, statistică, științe sociale etc.

Sistemul este studiat și optimizat concentrându-se pe reducerea la minimum a impactului asupra mediului, astfel încât să îmbunătățească performanța economică globală și performanța socială a unui sistem de management integrat al C&DW.

În timpul realizării acestor studii, am aplicat două abordări, respectiv calitative și cantitative:

- **metodele calitative** descriu fluxul de materiale din sistemele de management al C&DW și structura dinamică a materialului din sistem;
- **metodele cantitative** implică cuantificarea eficienței scenariilor de management al C&DW în termeni de eficiență tehnico - economică, socială și de mediu.

Teza de doctorat "*Indicatori ai dezvoltării durabile în managementul deșeurilor*" cuprinde 8 capitole extinse pe 281 pagini, conține un număr de 117 figuri, 65 tabele, 4 anexe și un număr de 364 referințe bibliografice, fiind structurată în două părți relevante, fiecare dintre ele structurată pe capitole:

- prima parte oferă o imagine de ansamblu privind *state-of-the-art* în domeniul principiilor, practicilor și evaluărilor specifice sistemelor de management al deșeurilor în Europa și durabilității instrumentelor de analiză aplicate în managementul deșeurilor solide, abordate într-o manieră critică, asociate cu politicile, strategiile și procesele de luare a deciziilor în domeniul menționat;
- a doua parte descrie și justifică contribuțiile personale și rezultatele originale obținute după realizarea programului experimental.

Primul capitol, *Privire de ansamblu asupra stadiului actual al cunoașterii în domeniul generării și managementului deșeurilor solide* este o analiză complexă și critică a literaturii de specialitate prin prisma stadiului cunoașterii situației managementului deșeurilor. În acest capitol sunt prezentate cele mai relevante aspecte privind contextul generării deșeurilor solide și alternativele cele mai utilizate în managementul acestora conform ierarhiei de management al deșeurilor solide. De asemenea, se prezintă și se discută, pe baza unor studii de caz din literatură, indicatori pentru evaluarea durabilității sistemelor actuale de management al deșeurilor și a practicilor durabile posibil a fi aplicate și combinate pentru asigurarea unor sisteme eco-eficiente de management al deșeurilor solide.

Această analiză a constituit baza teoretică pentru elaborarea obiectivului tezei de doctorat și a programului experimental.

În capitolul 2, ***Instrumente de evaluare a durabilității sistemelor de management al deșeurilor solide*** se analizează aplicabilitatea și modul de aplicare a unor indicatori ai dezvoltării durabile - ce reprezintă adesea parametri ai unor modele de evaluare a sistemelor de management al deșeurilor, astfel încât să se constituie baza științifică pentru luarea deciziilor specifice de management al deșeurilor, la nivele diferite de management, într-un anumit context social și național.

Pornind de la aceste considerente **s-a considerat oportun ca, în realizarea tezei de doctorat să se aplice, pentru evaluarea sistemelor de management al deșeurilor C&DW și a eficienței acestora, indicatori de durabilitate derivați din Evaluarea Ciclului de Viață (LCA), Amprenta Ecologică (EF), Analiza de Decizie Multicriterială (MCDA)**. Modelele LCA au permis aplicarea unei serie de indicatori de impact asupra mediului în evaluarea scenariilor de management al C&DW. Utilizarea conceptului de Amprentă Ecologică a permis evaluarea scenariilor de management al C&DW în termeni de amprentă ecologică globală, amprenta ecologică de carbon, amprenta ecologică a utilizării terenurilor, amprenta ecologică nucleară. Analiza de decizie multicriterială (MCDA) a oferit instrumente adecvate pentru a evalua scenarii de management al C&DW luând în considerare criteriile de mediu, economice și tehnice, combinate, în contextul metodologiei procesului de ierarhizare analitică (AHP). De asemenea, rezultatele analizelor LCA și AHP au demonstrat că reciclarea C&DW este una dintre cele mai bune practici de management din punctul de vedere al eco-eficienței. În acest capitol se sintetizează avantajele și dezavantajele utilizării și aplicării de modele și instrumente specifice în evaluarea gradului de integrare a sistemului de management al C&DW.

Capitolul 3, ***Managementul deșeurilor din construcții și demolări: situația actuală și planificarea scenariilor și alternativelor pentru managementul integrat durabil***, prezintă situația generării și managementul deșeurilor la nivelul anului 2009, în două țări europene, România și Italia. Cele două zone alese pentru analiză sunt: județul Iași (orașul Iași), din România și, respectiv Regiunea Emilia Romagna (orașul Bologna) din Italia. Studiul a demonstrat că, în ambele regiuni, managementul deșeurilor din construcții și demolări în 2009 include stocarea temporară, colectarea și transportul, depozitarea.

În acest context, am dezvoltat patru scenarii pentru managementul integrat al C&DW, pe baza cantității de deșeuri generate pe fracțiuni de deșeuri, atât în România cât și în Italia. Pentru tratarea sau eliminarea

deșeurilor am considerat cele mai bune opțiuni pentru sistemele de management recomandate de ierarhia de management al deșeurilor.

Capitolul 4, *Indicatori ai dezvoltării durabile bazați pe analiza ciclului de viață pentru evaluarea sistemelor de management al deșeurilor din construcții și demolări*, constituie o analiză în detaliu a impactului indus în mediu de diferitele scenarii elaborate pentru managementul deșeurilor C&DW din Iași-România și Bologna-Italia. De asemenea, s-a realizat o comparație a efectelor asupra mediului generate de sistemul de management a deșeurilor existent în 2009 și a scenariilor propuse pentru a reduce cantitatea de deșeuri depozitate în cele două regiuni considerate în analiză. Principalul rezultat al acestei analize a constat în determinarea celei mai bune opțiuni de management al deșeurilor prin prisma indicatorilor asociați cu categorii de impact asupra mediului. Analiza a fost asistată de două medii software, GaBi și SimaPro.

Capitolul 5, *Amprente ecologice ale generării și managementului deșeurilor din construcții și demolări*, oferă o analiză a durabilității scenariilor elaborate din punctul de vedere al indicatorilor Amprentei Ecologice. Amprenta ecologică globală este frecvent utilizată pentru a determina EF a umanității în comparație cu biocapacitatea Pământului. Am evaluat scenariile propuse, prin utilizarea, de asemenea, a amprente ecologice de carbon, amprente ecologice a utilizării terenurilor și amprente ecologice nucleare. Amprenta ecologică de carbon, cea mai relevantă dintre toate, evaluează efectul emisiilor de CO<sub>2</sub> asupra schimbărilor climatice. Evaluarea a fost asistată de software-ul SimaPro.

Capitolul 6, *Indicatori ai dezvoltării durabile pentru evaluarea scenariilor de management al deșeurilor din construcții și demolări derivați din analiza de decizie multicriterială*, constituie o analiză integrată a criteriilor de sustenabilitate economică și tehnică și în raport cu mediul înconjurător, specifice pentru managementul C&DW, realizată prin aplicarea metodologiei Proceselor Analitice Ierarhice (AHP). Pentru evaluarea scenariilor elaborate au fost utilizate metode precum *Ranking-Rating și Compararea prin Perechi*.

Evaluările au permis stabilirea unei ierarhii a scenariilor de management al C&DW analizate, care au evidențiat și scenariile cele mai adecvate pentru a fi aplicate în vederea asigurării eco-eficienței în legătură cu aspectele luate în considerare (economice, de mediu și tehnice).

Capitolul 7, *Indicatori ai dezvoltării durabile pentru evaluarea materialelor reciclabile din deșeurile din construcții și demolări*, ia în considerare posibilitatea de a utiliza anumite părți ale C&DW ca materiale

reciclabile, după ce a fost evaluat impactul lor asupra mediului. În acest capitol s-au aplicat indicatori de durabilitate derivați din LCA și MCDA pentru evaluarea deșeurilor reciclabile.

Capitolul 8, *Cele mai bune practici pentru creșterea durabilității sistemelor de management al deșeurilor din construcții și demolări – reciclarea deșeurilor*, subliniază importanța reutilizării/reciclării deșeurilor din construcții și demolări. Sunt evaluate două scenarii pentru producția unui agregat de tip 0/30 mm (dimensiunea cea mai utilizată a agregatelor în industria de construcții), atât din inert natural cât și din deșeurile inerte din C&DW. Pe baza rezultatelor obținute se demonstrează că reciclarea C&DW nu numai că reduce impactul generat de deșeuri asupra mediului, dar reduce și consumul de resurse naturale.

Teza se încheie cu concluzii generale și recomandări.

Teza de doctorat "*Indicatori ai dezvoltării durabile în managementul deșeurilor*" a fost elaborată în cadrul unui **program doctoral în cotutelă**, stabilit între **Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași**, România, sub îndrumarea științifică a doamnei Profesor **Maria Gavrilăscu** și **Universitatea de Studii „Alma Mater Studiorum” din Bologna**, sub îndrumarea științifică a doamnei Profesor **Alessandra Bonoli**. Teza de doctorat este redactată și susținută în limba engleză.

### **Capitolul 3. MANAGEMENTUL DEȘEURILOR DIN CONSTRUCȚII ȘI DEMOLĂRI: SITUAȚIA ACTUALĂ ȘI PLANIFICAREA SCENARIILOR ȘI ALTERNATIVELOR PENTRU MANAGEMENTUL INTEGRAT DURABIL**

#### **3.2.1. Generarea și managementul deșeurilor din construcții și demolări**

Deșeurile din construcții și demolări au o densitate mare, sunt adesea voluminoase și ocupă spațiu de depozitare considerabil, fie pe drumul comunal sau în pubelă/container. Managementul deșeurilor din construcții și demolări (C&DW), în afara principiilor și limitelor durabilității duce de cele mai multe ori la efecte considerabile asupra mediului și eficienței economice, cu implicații sociale (Fig. 3.2) (JRC, 2011).

#### **3.5.2. Scenarii de management al deșeurilor din construcții și demolări propuse ca alternative la sistemul actual**

Pentru managementul deșeurilor din construcții și demolări în orașul Iași au fost elaborate patru scenarii (Fig. 3.15). Scenariile reprezintă situația

actuală a sistemelor de management al C&DW în județul Iași și regiunea Bologna.

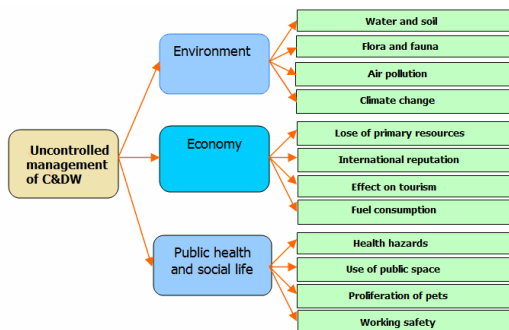


Fig. 3.2. Impacturile negative ale C&DW (Spies, 2009)

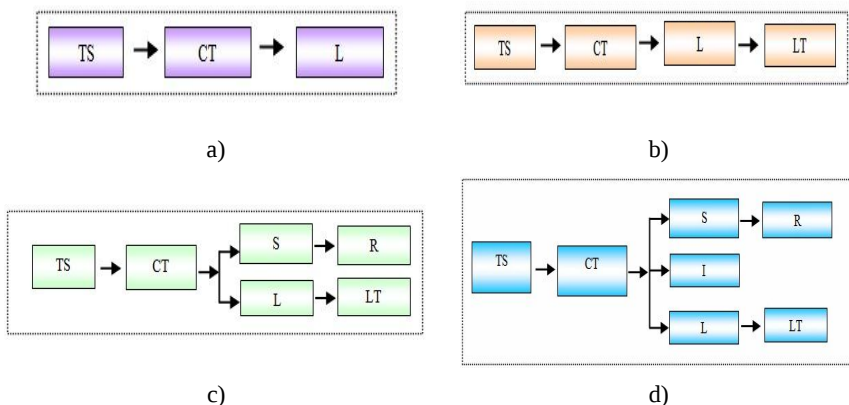


Fig. 3.15. Scenarii elaborate și analizate: a) *scenariul S1*; b) *scenariul S2*; c) *scenariul S3*; d) *scenariul S4*; TS- depozitare temporară; CT- colectare și transport; L- depozitare; S- sortare; R- reciclare; I – incinerare; LT- tratare levigat

*Scenariul 1* reprezintă situația sistemelor de management al deșeurilor în anul 2009 și cuprinde: depozitarea temporară a deșeurilor, colectare și transport și depozitarea deșeurilor.

*Scenariul 2* este similar scenariului descris mai sus, cu diferența că este introdusă o nouă etapă: tratarea levigatului.

*Scenariul 3* propune o nouă etapă de reducere a cantității de deșeuri depozitate. Etapa de sortare urmată de reciclarea unor tipuri de deșeuri este o alternativă de reducere a deșeurilor și a impactului negativ al acestora

asupra mediului. Reciclarea acestor deșeuri induce un impact pozitiv asupra mediului.

*Scenariul 4* este cel mai complex, incluzând și o etapă de incinerare a deșeurilor.

Scenariile 3 și 4 sunt propuse pentru îmbunătățirea sistemului actual de management al deșeurilor.

Toate aceste scenarii sunt evaluate în continuare utilizând indicatori bazați pe LCA și MCDA, metodologii și indicatori specifici, asistați de instrumente de analiză (GaBi 5, SimaPro 7.3.3 și AHP) pentru selecția celui mai bun scenariu de management, în vederea aplicării.

Astfel devine posibilă fructificarea beneficiilor obținute în urma implementării unui nou sistem de management în Iași și compararea cu sistemul existent sau prevăzut în Bologna.

#### **Capitolul 4. INDICATORI AI DEZVOLTĂRII DURABILE BAZAȚI PE ANALIZA CICLULUI DE VIAȚĂ PENTRU EVALUAREA SISTEMELOR DE MANAGEMENT AL DEȘEURILOR DIN CONSTRUCȚII ȘI DEMOLĂRI**

LCA evaluează consumul de resurse naturale, presiunile asupra mediului și a sănătății, emisiile care pot fi atribuite diferitelor procese și produse luând în considerare întregul ciclu de viață al acestora, de la "leagăn" la "mormânt". Fazele parcurse în LCA sunt: definirea scopului și domeniul de aplicare, analiza de inventariere, evaluarea impactului și interpretarea rezultatelor (JRC European Commission, 2011; LCA, 2007).

##### **4.1. Scopul, analiza domeniului de aplicare, limitele sistemului, unitatea funcțională**

Definirea scopului și domeniului de aplicare a reprezentat cel mai important pas în identificarea scopului studiului, pentru identificarea întrebărilor la care sistemul trebuie să se răspundă, sunt luate toate deciziile generale pentru stabilirea sistemului de LCA (PE International, 2011). Acest pas poate influența rezultatul studiului propus. Definirea scopului și a domeniului în cele din urmă definesc direcția de studiu și valorile de referință.

Scopul acestui studiu **este de a cuantifica impactul asupra mediului indus de sistemul actual de management al deșeurilor din construcții și demolări din Iași**, de a planifica diverse alternative la sistemul actual de management al C&DW și de a evalua impactul potential a fi generat asupra mediului prin implementarea acestor scenarii de management. În acest context a fost determinată magnitudinea unor categorii de impact, asociate unor indicatori de durabilitate rezultați prin

aplicarea analizei ciclului de viață. În paralel s-au făcut **studii de evaluare a scenariilor de management al deșeurilor din construcții și demolări din Bologna, Italia.**

**Unitatea funcțională** este reprezentată de **cantitatea totală de deșeuri din construcții și demolări, generată în Iași și Bologna** pe parcursul unui an. În cadrul acestui studiu, pentru ambele regiuni a fost luat în considerare anul 2009.

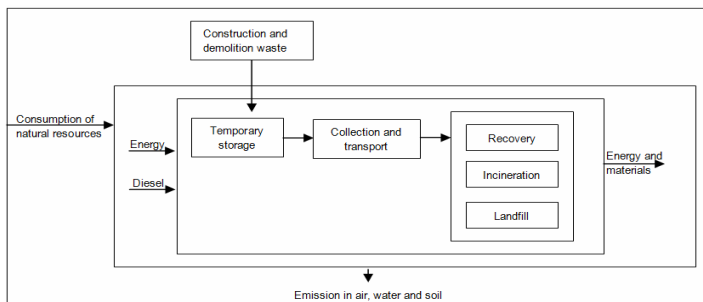
Limitele sistemului de management al C&DW sunt prezentate în Fig. 4.1. Sistemul include impactul depozitării temporare și transportului, sortarea deșeurilor cu recuperare, incinerare, prelucrarea prin tehnologii selectate de management al deșeurilor și apoi prelucrarea sau eliminarea materialelor reziduale (Balázs et al., 2000; Bohne, 2005; Ghinea și colab., 2012; Ortiz et al., 2010).

#### 4.2.1. Analiza de inventariere a C&DW – Iași

Ciclul de viață al deșeurilor din construcții și demolări începe cu depozitarea temporară a deșeurilor. Pentru evaluarea procesului de depozitare temporară a fost important să se calculeze numărul containerelor necesare pentru depozitarea deșeurilor și cantitatea de material necesară pentru fabricarea lor.

Analiza proceselor de colectare și transport a necesitat determinarea numărului vehiculelor și capacitatea lor de încărcare, distanța de transport, consumul de motorină și emisiile rezultate în urma acestui consum.

Municipiul Iași dispune de 30 de vehicule cu o capacitate totală de 1881 m<sup>3</sup> pentru toate deșeurile solide și, respectiv 3 vehicule speciale pentru deșeurile voluminoase, toate descrise în Tabelul 4.2 (Iasi County Council, 2009, 2011; Doba et al., 2008).



**Fig. 4.1.** Limitele sistemului de management al deșeurilor din construcții și demolări

Consumul de motorină pentru transportul cantității de deșeuri generate în 2009 este estimat la 6 L/km și densitatea motorinei  $\rho_{\text{diesel}} =$

0.845 kg/L (den Boer et al., 2005b; ROM, 2007). Emisiile generate de consumul de motorină au fost calculate utilizând datele rezultate din arderea a 1 kg de motorină (Tabel 4.3) (Ghinea, 2011).

**Tabel 4.3.** Emisii obținute în urma arderii 1 kg de motorină

| <i><b>Materiale</b></i> | <i><b>Emisii (kg)</b></i> |
|-------------------------|---------------------------|
| CO <sub>2</sub>         | 3.28425                   |
| CO                      | 0.01392                   |
| NO <sub>x</sub>         | 0.038715                  |
| N <sub>2</sub> O        | 8.265E-5                  |
| PM <sub>10</sub>        | 1.7835E-3                 |
| CH <sub>4</sub>         | 1.827E-4                  |
| SO <sub>2</sub>         | 5.22E-3                   |
| Hidrocarburi            | 3.6975E-3                 |

Procesul de depozitare este ultimul pas, imposibil de evitat în orice sistem de management al deșeurilor. Un depozit modern trebuie să asigure securitatea pe termen lung a depozitării deșeurilor, din două puncte de vedere: sănătate și mediu. Deoarece din acest proces rezultă emisii (biogaz și levigat) este necesar ca și acestea să fie controlate și tratate într-o cât mai mare măsură (den Boer, 2005b). În urma depozitării deșeurilor din construcții și demolări s-a presupus că singura emisie este levigatul, a cărui cantitate poate fi calculată separat, pentru fiecare fracție de deșeu.

#### **4.2.2. Analiza de inventariere a C&DW din Bologna, Italia**

Datele referitoare la cantitatea totală de deșeuri din construcții și demolări generată în Bologna (regiunea Emilia Romagna) în 2009 au fost preluate din documentul oficial ISPRA (2012). C&DW în Italia sunt catalogate ca "deșeu special", deoarece unele dintre ele pot fi periculoase. În acest studiu ne-am axat pe deșeurile nepericuloase din construcții și demolări. Compoziția C&DW în Italia este reprezentată în Fig. 4.2.

Tipurile de containere folosite în depozitarea deșeurilor sunt diferite pentru fiecare regiune și depinde de tipul de deșeu depozitat. Pentru depozitarea C&DW sunt folosite recipiente fabricate din oțel cu o durată de viață între 9 - 10 ani (Tabelul 4.4).

#### **4.3. Instrumente de analiză utilizate în evaluarea ciclului de viață a managementului C&DW**

Pentru evaluarea impactului scenariilor propuse în acest studiu au fost alese două programe de analiză foarte utilizate în evaluarea ciclului de viață: GaBi și SimaPro.

#### **4.3.1. Prezentarea mediului software GaBi**

LCA GaBi Software a fost aplicat pentru a susține fiecare etapă a studiilor LCA, de la colectarea și organizarea datelor, la prezentarea rezultatelor și cuantificarea măsurii de implicare a părților interesate. Software-ul GaBi include cea mai cuprinzătoare bază de date în ceea ce privește etapa de Inventariere a Ciclului de Viață, permițând o evaluare rapidă chiar și a proceselor complexe sau a diferitelor opțiuni de producție. Software-ul GaBi reprezintă unul dintre cele mai cunoscute instrumente software pentru LCA și este primul model considerat în evaluarea scenariilor de management a deșeurilor. Acesta poate fi folosit pentru efectuarea evaluărilor ciclului de viață nu numai pentru managementului deșeurilor, ci și pentru alte sisteme, de producție precum: industria chimică, industria electronică, agricultură, construcții, sectorul energetic, produsele industriale și sectorul minier, industria alimentară (<http://www.gabi-software.com>).

#### **4.3.2. Prezentarea mediului software SimaPro**

SimaPro conține o serie de metode de evaluare a impactului, utilizate pentru a calcula rezultatele acestei evaluări. Software-ul SimaPro, distribuit de Pre 'Product Ecology Consultants' este un instrument de încredere pentru că, datorită unei capacități puternic interactive, oferă posibilitatea de a crea, modifica și adapta procesele specifice celor deja existente în baza de date. Acesta poate fi, de asemenea, utilizat pentru evaluarea oricărei alte industrii, din cele enumerate în cazul utilizării instrumentului de analiză GaBi.

Respectând fidel cele patru macro-faze ale metodologiei prevăzute de ISO 14040 și 14044, mediile software au fost construite prin îmbinarea celor trei arii de investigare care stau la baza LCA (Goedkoop et al., 2010a, b).

#### **4.4. Evaluarea durabilității scenariilor existente și propuse de management al deșeurilor din construcții și demolări aplicând indicatori asociați cu impacturile în mediu**

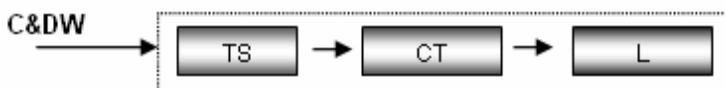
Evaluarea impactului scenariilor se realizează pentru fiecare județ utilizând aceleași metodologii propuse de baza de date Ecoinvent, specifice fiecărui software aplicat. În acest studiu, au fost investigate șase metodologii pentru fiecare instrument de analiză aplicat. Categoriile de impact cele mai relevante în managementul deșeurilor sunt prezentate în Tabelul 4.5 din teza de doctorat.

#### 4.4.1.1. Evaluarea sistemului de management al C&DW existent în Iași în anul 2009 (Scenariul 1)

Managementul deșeurilor din construcții și demolări din Iași în 2009 nu include întreaga serie de procese posibil a fi aplicate în tratarea C&DW. În perioada respectivă autoritățile începuseră înregistrarea cantității de ‘deșeu masiv, voluminos’, denumire stabilită pentru deșeurile din construcții și demolări.

Sistemul de management al deșeurilor din construcții și demolări existent în anul 2009 este prezentat schematic în Fig. 4.5 și este evaluat în cadrul tezei cu instrumentele de analiză GaBi și SimaPro, pentru a evalua impactul asupra mediului folosind indicatori specifici, derivați din LCA.

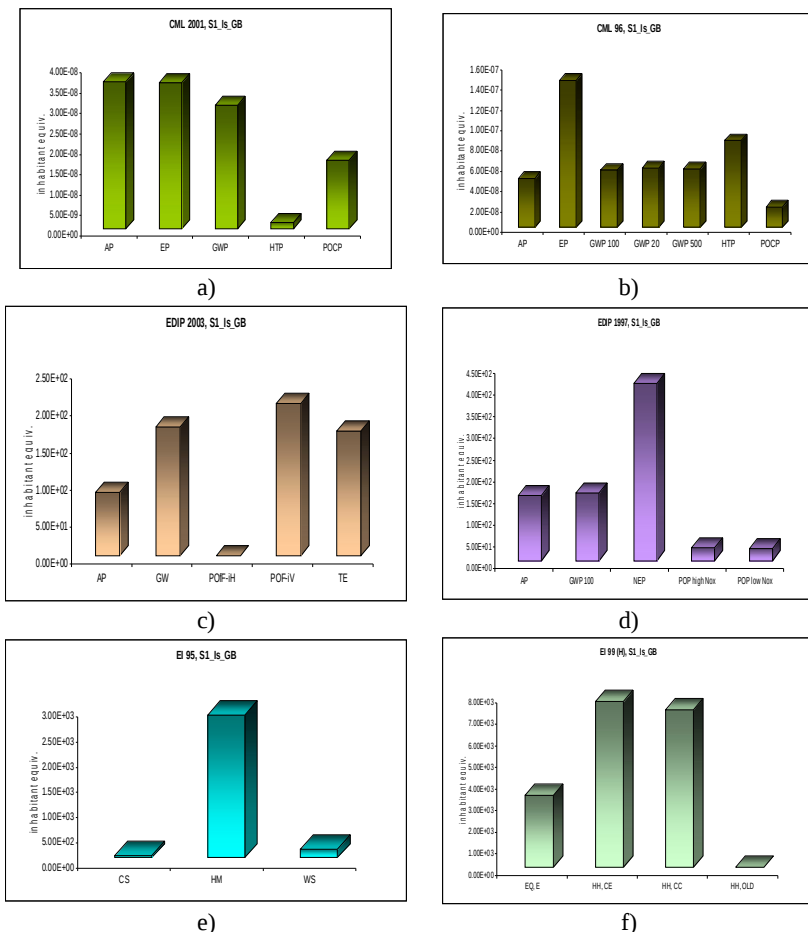
Scenariul 1 evaluat cu mediul software GaBi este reprezentat în Fig. 4.6 din teza de doctorat.



**Fig. 4.5.** Managementul C&DW în Iași în 2009, TS- depozitare temporară; CT- colectare și transport; L- depozitare

În Fig. 4.7 sunt ilustrate rezultatele pe categorii de impact obținute aplicând metodologii specifice incluse în mediul software GaBi. Rezultatele evaluării sunt valori normate ale impactului asupra mediului. Se poate observa că toate rezultatele sunt deasupra abscisei (sunt pozitive), ceea ce înseamnă un impact negativ al deșeurilor asupra mediului. Impactul negativ este generat de cantitatea de deșeuri, de emisiile generate de transportul și depozitarea deșeurilor. Fiecare etapă a *scenariului 1* implică consum de energie și energie electrică, consum care după evaluarea cu software-ul specific este prezentat ca impact negativ asupra mediului. În cazul reciclării, atunci când o parte din energie este recuperată, impactul este unul pozitiv (asociat cu o detensionare, descărcare a mediului).

Rezultatele obținute ca urmare a evaluării impactului cu diferite metodologii au evidențiat ponderea celor mai importante categorii de impact asupra mediului. Unele dintre acestea sunt orientate asupra cauzei, altele asupra efectului. De exemplu, prin aplicarea metodologiei CML se constată că cei mai importanți indicatori de mediu sunt: potențialul de acidifiere (Fig. 4.7a), impact indicat de cantitatea de oxizi de azot și dioxid de sulf și, respectiv potențialul de eutrofizare (Fig. 4.7a, b), impact indus de generarea levigatului, care nu este colectat și poate ajunge cu ușurință în sol și în apele subterane.



**Fig. 4.7.** Impacturile de mediu normate pentru S1\_Is\_GB conform metodologiilor:  
a) CML 2001; b) CML 96; c) EDIP 2003; d) EDIP 1997; e) Eco-indicator 95;  
f) Eco-indicator 99, HA

Un impact negativ semnificativ asupra mediului a sistemului de management al deșeurilor din construcții și demolări se poate observa în cazul categoriei de impact asociată cu încălzirea globală (Fig. 4.7c), metalele grele (Fig. 4.7e) și sănătatea umană (Fig. 4.7f), ca urmare a consumului de energie pe bază de combustibili fosili în faza de producție și utilizare a materialelor de construcție.

#### *4.4.1.2. Evaluarea sistemului de management al C&DW existent în Bologna în anul 2009 (Scenariul 1)*

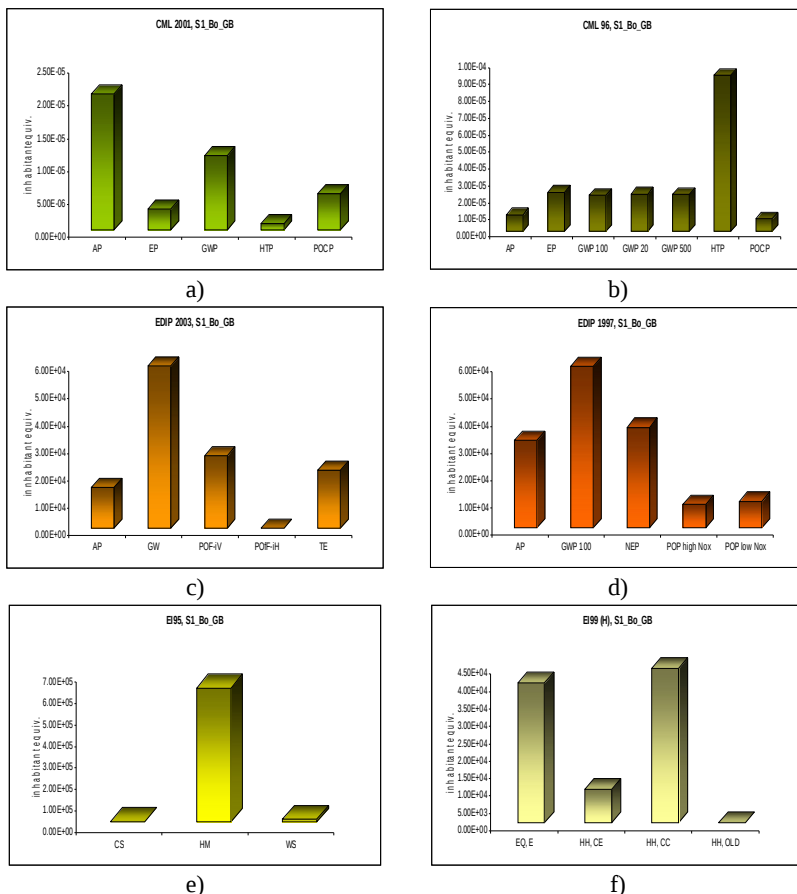
Sistemul de management al C&DW existent în 2009, în Italia, nu este foarte diferit de sistemul existent în România, în același an. Diferența cea mai evidentă este reprezentată de compoziția deșeurilor, precum și de cantitatea de deșeuri generate. Cantitatea deșeurilor generate este influențată, de asemenea, de zona analizată, populația fiind aproximativ aceeași. Diferența între compoziția deșeurilor în cele două țări studiate se datorează unei componente specifice a C&DW din Italia, roca naturală, o materie primă importantă, foarte utilizată în industria construcțiilor, care reprezintă 10% din cantitatea totală a deșeurilor.

Scenariile propuse în cazul orașului Bologna sunt aceleași ca și în Iași, cu diferența că impactul asupra mediului al deșeurilor este datorat, în cea mai mare măsură cantității mult mai mari de deșeuri în Bologna, compoziției C&DW și consumului de electricitate particularizat pentru fiecare țară. Consumul de energie pe fiecare etapă a scenariului propus este evaluat separat pentru țara studiată, existent în baza de date a software-ului, care poate influența, de asemenea, rezultatele finale. Sistemul de management a fost evaluat prin aplicarea instrumentului de analiză GaBi, iar rezultatele sunt reprezentate în Fig. 4.8. Metodologiile includ clasificarea, caracterizarea și normarea rezultatelor.

Normarea rezultatelor este foarte importantă pentru interpretarea LCA. În acest studiu rezultatele au fost normate la nivelul tuturor țărilor europene membre UE. Rezultatele indicatorilor de impact normate sunt cantități adimensionale și permit compararea diferitelor categorii de impact incluse în baza de date a instrumentelor de analiză.

După normare, metodologia CML 2001 a indicat faptul că potențialul de acidifiere și potențialul de încălzire globală sunt indicatorii care au un impact negativ semnificativ asupra mediului (Fig. 4.8a). CML este o metodă orientată asupra problemei. Indicatorul de încălzirea globală, în cazul managementului C&DW este unul din indicatorii de impact cei mai importanți, fiind un rezultat al reținerii energiei și a eliberării de CO<sub>2</sub> în mediu în timpul prelucrării materialelor de construcții, atât pe perioada utilizării construcției, dar și în faza de demolare.

Rezultatele obținute prin aplicarea metodologiei Eco-indicator au arătat că indicatorii de impact cu cel mai mare impact negativ asupra mediului și sănătății umane sunt asociați de prezența metalelor grele (Fig. 4.8e, 4.8f) și eliberarea de SO<sub>2</sub> și CO<sub>2</sub> în mediu înconjurător.



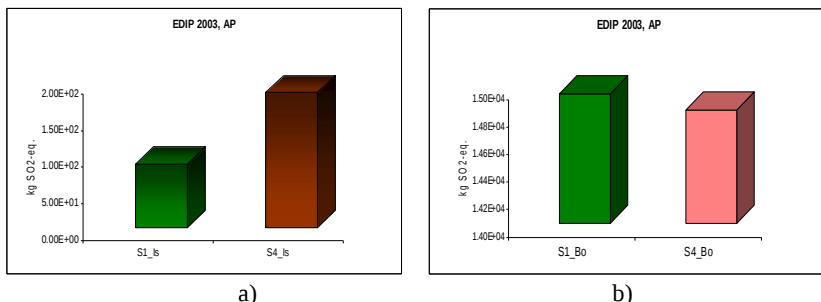
**Fig. 4.8.** Impacturile de mediu normate pentru S1\_Bo\_GB conform metodologiilor:  
a) CML 2001; b) CML 96; c) EDIP 2003; d) EDIP 1997; e) Eco-indicator 95;  
f) Eco-indicator 99, HA

#### 4.4.1.4. Evaluarea comparativă a durabilității scenariilor propuse pentru sistemele de management al deșeurilor în Iași și Bologna mediul software GaBi

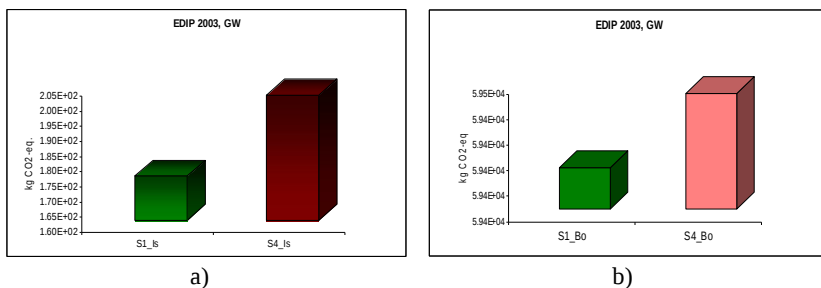
În Figs. 4.11-4.15 se poate observa diferența dintre un scenariu care implică doar depozitarea, colectarea-transportul și depozitarea C&DW și un alt scenariu mai complex, care implică sortarea, reciclarea, incinerarea, eliminarea finală a deșeurilor și tratamentul levigatului fără recuperarea energiei, evaluat cu metodologia EDIP2003.

Se poate observa intensificarea potențialului de acidifiere și încălzire globală, datorită emisiilor de  $\text{SO}_2$  și  $\text{CO}_2$  provenite ca urmare a arderilor.

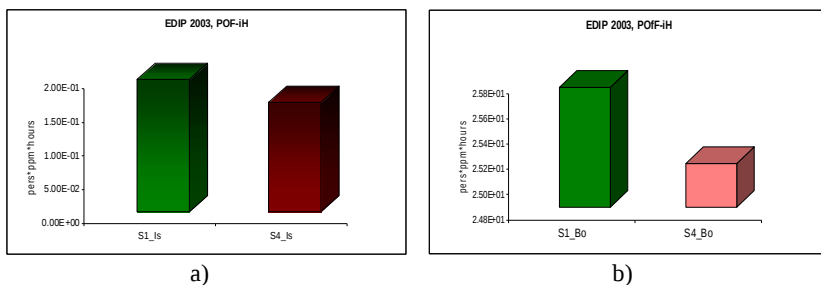
Poate fi observată și o reducere a impactului asociat eutrofizării terestre și a formării ozonului fotochimic cu impact asupra omului și a vegetației. De asemenea se poate constata că, în cazul metodologiei EDIP 2003, nu există diferențe majore între efectele generate de scenariile propuse.



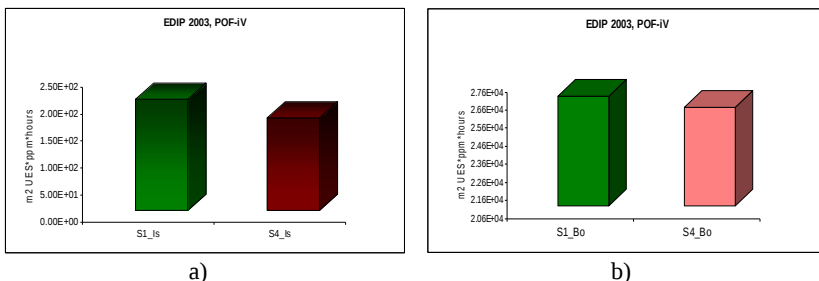
**Fig. 4.11.** Potențialul de acidifiere, comparație S1 și S4: a) Iași; b) Bologna



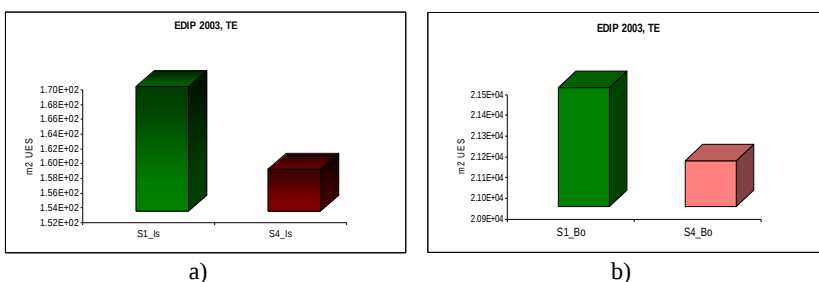
**Fig. 4.12.** Potențialul de încălzire globală, comparație S1 și S4: a) Iași; b) Bologna



**Fig. 4.13.** Formarea ozonului fotochimic – impactul asupra sănătății umane și a materialelor, comparație S1 și S4: a) Iași; b) Bologna



**Fig. 4.14.** Formarea ozonului fotochimic – impact asupra vegetatiei, comparație S1 și S4: a) Iași; b) Bologna

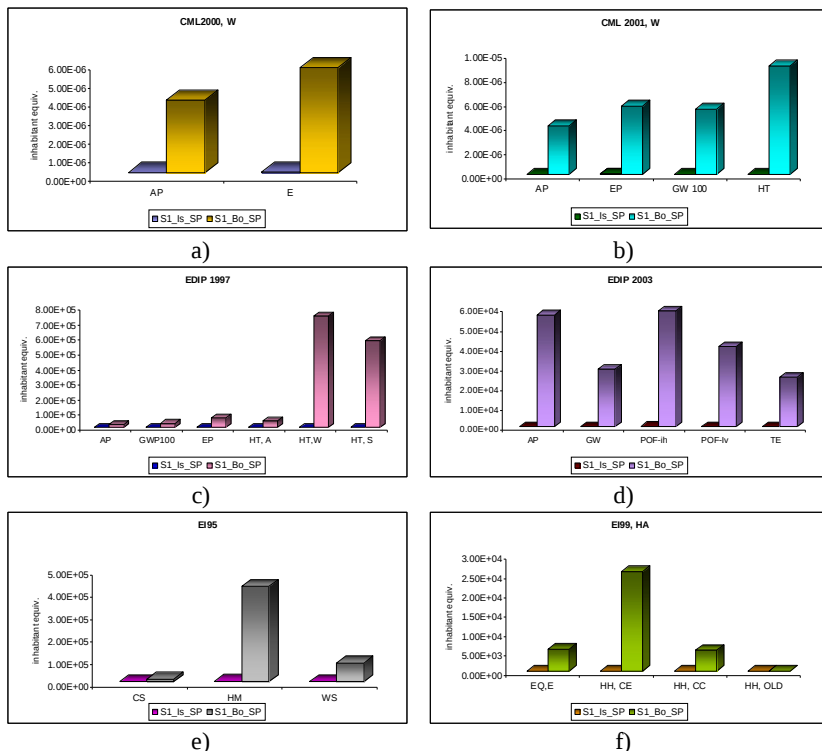


**Fig. 4.15.** Eutrofizare terestră, comparație S1 și S4: a) Iași; b) Bologna

#### 4.4.2. Evaluarea impactului scenariilor de management prin aplicarea mediului software SimaPro

##### 4.4.2.3. Compararea impacturilor de mediu a sistemelor actuale de management al C&DW din Iasi și Bologna (mediu software SimaPro)

Scenariile de management al C&DW au fost analizate considerând că limita sistemului este aceeași pentru fiecare oraș. Din Fig. 4.20 se poate observa că S1\_Bo\_SP are un impact major asupra mediului. Ca și în cazul anterior, impactul negativ poate fi explicat prin diferența de compoziție și cantitatea mare de C&DW din Italia, precum și de specificul sistemului de management al deșeurilor, care în acest moment nu reduce cantitatea de deșeu depozitat. În acest segment al studiului au fost analizate sistemele care nu includ reciclarea și incinerarea C&DW. Situația rezultată este similară în cele două cazuri, din cauza restricțiilor din jurul datelor în ceea ce privește reciclarea celor mai importante componente a C&DW cum ar fi cărămida, cimentul, mortarul și ceramica.

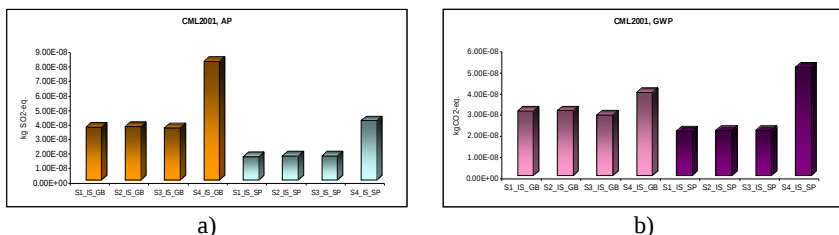


**Fig. 4.20.** Normarea impacturilor de mediu pentru S1\_Is\_SP și S1\_Bo\_SP, conform metodologiilor: a) CML2000; b) CML2001; c) EDIP 1997; d) EDIP 2003; e) Eco-indicator 95; f) Eco-indicator 99 (HA)

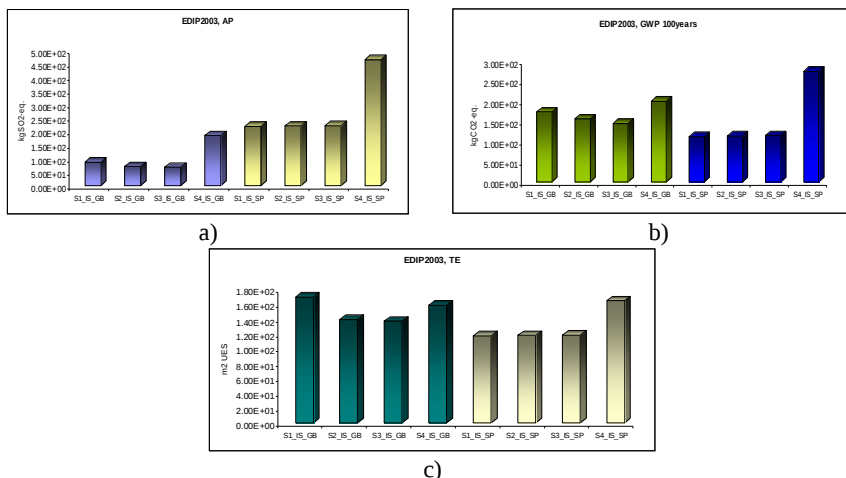
#### 4.4.3. Compararea datelor privind performanțele sistemelor de management al C&DW evaluate cu instrumentele de analiză GaBi și SimaPro

Evaluarea sistemelor de gestionare a deșeurilor solide, cu două modele bazate pe metodologia LCA a permis o comparație a instrumentelor de analiză, în termeni de indicatori ai dezvoltării durabile derivați din LCA. Aproape toate metodele permit compararea rezultatelor pentru diferiți indicatori ai categoriilor de impact în raport cu o valoare de referință. Aceasta înseamnă că diferențierea categoriilor de impact se realizează funcție de referința folosită. Referința utilizată în teză este sarcina medie anuală a mediului într-o țară sau continent, împărțită la numărul de locuitori, dar poate fi aleasă oricare altă referință.

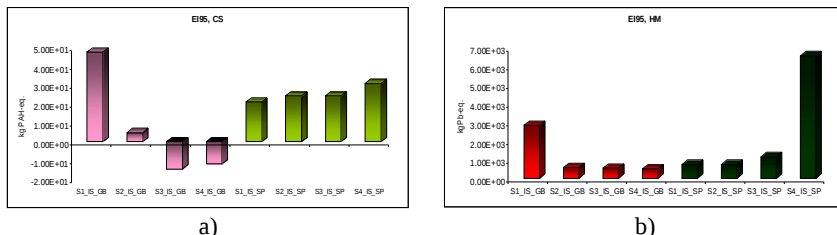
Înainte de compararea impacturilor evaluate cu cele două medii software a fost realizată normarea rezultatelor obținute cu fiecare dintre acestea. Metodele comune celor două instrumente de analiză sunt CML 2001, EDIP 2003, EI95, EI99, I02 +. Între cele două medii software apar diferențe datorită schimbării unor indicatori pe care se bazează unele metode sau utilizării altor unități de măsură, fapt ce împiedică compararea tuturor metodelor. Pentru compararea rezultatelor este necesară aceeași unitate de măsură și implicit aceiași indicatori. Metodele alese pentru evaluarea și compararea impactelor au fost CML2001 (Fig. 4.26), EDIP2003 (Fig. 4.27), IE95 (Fig. 4.28) și I02+ (Fig. 4.29).



**Fig. 4.26.** Impactul de mediu pentru același scenariu evaluat cu GaBi și SimaPro software, cu metodologia CML2001, a) potențialul de acidifiere (AP); b) potențialul de încălzire globală (GWP)



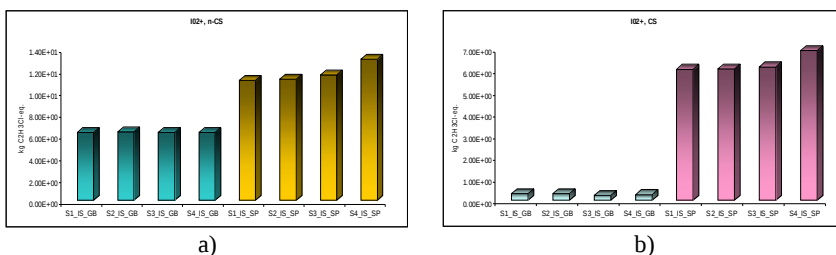
**Fig. 4.27.** Impactul de mediu pentru același scenariu evaluat cu GaBi și SimaPro software, cu metodologia EDIP2003, a) potențialul de acidifiere (AP); b) potențialul de încălzire globală (GWP); c) eutrofizarea terestră (TE)

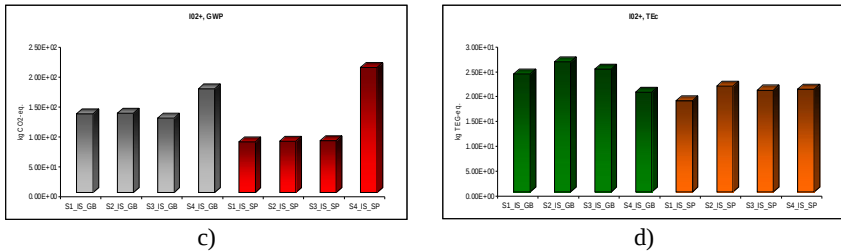


**Fig. 4.28.** Impactul de mediu pentru același scenariu evaluat cu GaBi și SimaPro software, cu metodologia EI95, a) substanțe cancerigene (CS); b) metale grele (HM)

Din Figs. 4.26 - 4.29 se pot observa diferențele dintre rezultatele evaluării scenariilor propuse cu GaBi și SimaPro software. Cu toate acestea, în cazul metodologiilor CML2001, EDIP2003 și I02 +, se poate observa că rezultatele sunt similare, acestea indicând un impact negativ pentru toți indicatorii. În schimb, în cazul metodologiei EI95 se poate observa o diferență majoră, software-ul GaBi scoțând în evidență o reducere a efectelor asupra mediului și înregistrând un impact pozitiv în cazul scenariilor S3 Is și S4 Is pentru categoria de impact “substanțe cancerigene”. SimaPro indică o creștere a impactului negativ asupra mediului al acelorași scenarii. Diferențele sunt induse de baza de date specifică fiecărui program. GaBi de exemplu, necesită mai multe informații, iar atunci când este realizat un nou proces, software-ul are în vedere modificarea fără detalizarea noilor caracteristici ale produsului sau procesului. SimaPro, în schimb nu necesită atât de multe date, datorită bazei de date extinse și, în unele cazuri, funcționează cu diferiți algoritmi comparativ cu GaBi. Dar când un nou proces/produs este creat, trebuie introduse și detaliile caracteristice ale acestuia. Sunt ușor de realizat noi procese, dar fără furnizarea de caracteristici, programul nu le ia în considerare la calculul impactului final.

Avantajul instrumentului de analiză SimaPro este că furnizează impactul de mediu al fiecărei etape cuprinse în scenariu, precum și impactul asupra mediului a fiecărei componente a deșeurilor solide.





**Fig. 4.29.** Impactul de mediu pentru același scenariu evaluat cu GaBi și SimaPro software, cu metodologia I02+, a) substanțe ne-cancerigene (n-CS); b) substanțe cancerigene (CS); c) potențialul de încălzire globală (GWP); d) ecotoxicitatea terestră (TEc)

## Capitolul 5. AMPRENTELE ECOLOGICE ALE GENERĂRII ȘI MANAGEMENTULUI DEȘEURILOR DIN CONSTRUCȚII ȘI DEMOLĂRI

### 5.1. Scopul și obiectivele studiului

Metodologia și rezultatele Amprentei Ecologice (EF) sunt bine documentate în lucrări de specialitate (Moffat, 2000; Rees și Wackernagel, 1996).

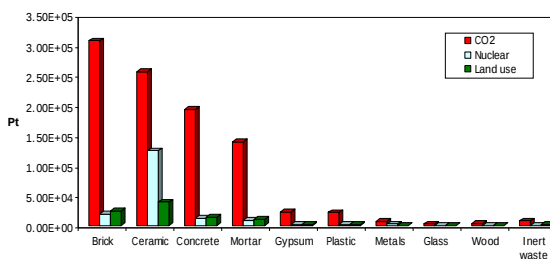
**În acest context, obiectivul principal al acestui capitol vizează analiza eficienței managementului deșeurilor pe baza unor indicatori de durabilitate asociați Amprentei Ecologice. Studiul a fost aplicat pentru compararea Amprentei ecologice a sistemelor de management al deșeurilor din construcții și demolări (C&DW) în două zone europene: regiunea Emilia Romagna din nordul Italiei (orașul Bologna) și județul Iași, din estul României (orașul Iași) în anul 2009.**

Obiectivele specifice implică următoarele aspecte:

- screening-ul indicatorilor de durabilitate și indici aplicabili în managementul deșeurilor solide asociați Amprentei Ecologice;
- evaluarea amprente ecologice a C&DW în două zone europene diferite;
- evaluarea comparativă a scenariilor de management al deșeurilor folosind Amprenta Ecologică, luând în considerare diverse compoziții și cantități ale C&DW.

### 5.3. Amprelele ecologice ale C&DW din orașul Iași

EF generată de componentele C&DW este reprezentată în Fig. 5.1. Acest studiu a fost realizat pentru identificarea deșeurilor cu cel mai mare impact asupra mediului, reprezentat de indicatori precum utilizarea terenurilor și CO<sub>2</sub>. Cel mai mare impact asupra mediului a C&DW este indus de prezența materialelor de construcții specifice, precum ceramica, cărămida, betonul și mortarul, generând implicit valori mari ale EF. Atenția noastră a fost îndreptată către deșeurile din ceramică, un poluant major și în același timp un material foarte utilizat în industria construcțiilor și nu numai, datorită impactului general negativ semnalat de toți indicatorii metodologiei EF.



**Fig. 5.1.** Amprenta ecologică a componentelor C&DW

Pentru evaluarea amprenteii ecologice a C&DW s-au propus patru scenarii care reprezintă situația reală a deșeurilor în țările analizate. Scenariile propuse pentru evaluarea EF sunt reprezentate în Fig. 3.16 din teza de doctorat. Primul scenariu reprezintă situația reală a C&DW. Sunt propuse alte trei scenarii pentru îmbunătățirea performanțelor sistemului de management al deșeurilor în relația cu mediul înconjurător și consumul de resurse. În urma evaluării se poate observa că indicatorul cu cel mai mare impact asupra mediului este reprezentat de CO<sub>2</sub> echivalent, adică amprenta de carbon, în conformitate cu următoarea ierarhie a proceselor din structura sistemului de management analizat: TS>C&T>L (Fig. 5.2).

Din Fig. 5.5 se poate observa că cel mai mare impact al CO<sub>2</sub> – cea mai mare valoare a amprenteii de carbon, în cazul *scenariului 4* se obține în faza de incinerare. În cazul celorlalte trei scenarii, cea mai mare amprentă de carbon (în echivalent CO<sub>2</sub>) este asociată etapelor de depozitare temporară, colectare și transport.

Diferența dintre scenariile propuse în cazul amprenteii de carbon este reprezentată în Fig. 5.6. Datorită fazei de incinerare din *scenariul 4*, acesta este identificat ca fiind scenariul cu cel mai mare impact în mediu, apreciat

prin amprenta de carbon. Celelalte trei scenarii au aproximativ aceeași amprentă ecologică de carbon.

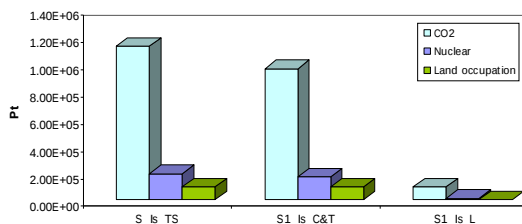


Fig. 5.2. Amprenta ecologică a S1\_Is

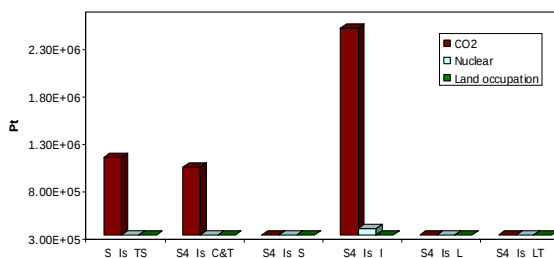


Fig. 5.5. Amprenta ecologică a S4\_Is

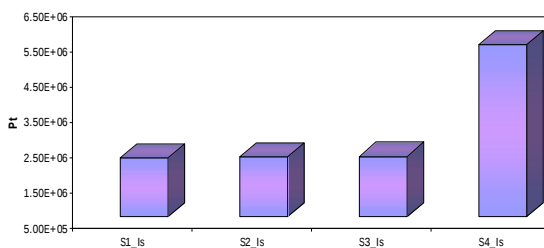
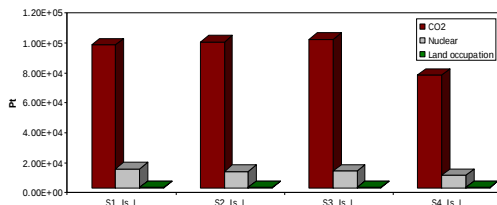


Fig. 5.6. Compararea impactului CO<sub>2</sub> a scenariilor propuse, evaluat cu metodologia EF

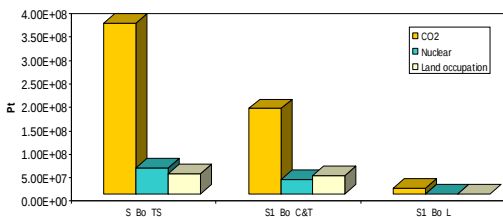
O reducere importantă a amprentei ecologice se poate observa în cazul depozitării, pentru *scenariul 4* (Fig. 5.8). Deoarece acest scenariu implică mai multe etape ale sistemului de management al deșeurilor, în urma evaluărilor se poate observa că are cel mai mare impact. Se poate observa faptul că re folosirea, reciclarea, incinerarea unei părți din C&DW reduc amprenta ecologică globală a C&DW, în special în cazul etapei de depozitare a deșeurilor.



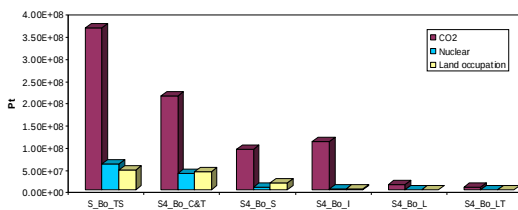
**Fig. 5.8.** Compararea amprentelor ecologice pentru etapa de depozitare a fiecărui scenariu propus pentru studiul de caz Iași

#### 5.4. Ampretele ecologice ale C&DW din orașul Bologna

Metodologia a fost aplicată pentru scenariile reprezentate în Fig. 5.1. Situația C&DW din Bologna, Italia este asemănătoare cu cea din Iași, România. Diferențele pot fi puse pe seama cantității diferite, compoziției deșeurilor. În Figs. 5.9, 5.12 se poate observa amprenta ecologică globală a C&DW din Bologna, pentru fiecare scenariu propus.

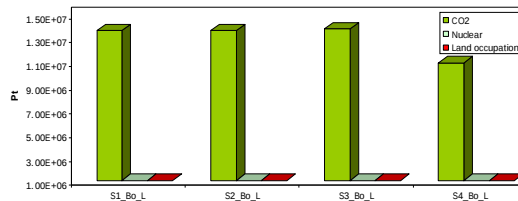


**Fig. 5.9.** Ampretele ecologice pentru S1\_Bo



**Fig. 5.12.** Ampretele ecologice pentru S4\_Bo

Ca și în cazul managementului C&DW din orașul Iași, în orașul Bologna situația este similară, indicatorul CO<sub>2</sub> având cel mai mare impact asupra mediului – adică rezultă valoarea cea mai mare a amprentei de carbon (Fig. 5.14). O reducere a impactului negativ asupra mediului poate fi observată în faza de depozitare din cadrul *scenariului* 4 (Fig. 5.13 din teza de doctorat).

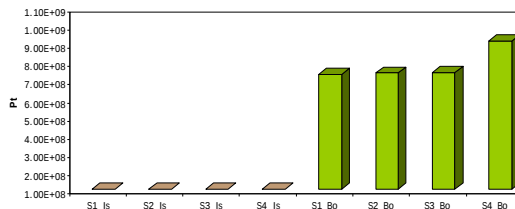


**Fig. 5.14.** Compararea amprentelor ecologice a scenariilor propuse pentru faza de depozitare, specifice studiului de caz Bologna

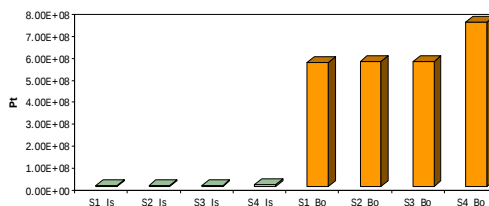
### 5.5. Compararea amprentelor ecologice a sistemelor de management al C&DW din Iași și Bologna

Rezultatele studiului Ampreței ecologice indică o serie de diferențe între privind influența C&DW asupra mediului în cele două zone europene (Fig. 5.15). Cei mai importanți factori în stabilirea diferențelor este compoziția și proporția fiecărei componente a C&DW.

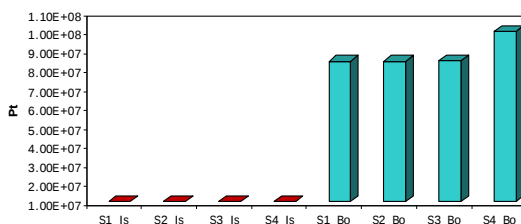
Diferențele pot fi observate în Figs. 5.16-5.17, și cum a fost explicat anterior cantitatea de C&DW generate în Bologna (Italia), este mai mare comparativ cu cantitatea de deșeuri generate din Iași (România). Cantitatea mare de deșeuri din Bologna poate fi explicată de suprafața mare a regiunii Emilia Romagna.



**Fig. 5.15.** Compararea ampreței ecologice globale pentru scenariile de management al C&DW în cele două orașe europene considerate în studiul de caz



**Fig. 5.16.** Compararea ampreței de carbon pentru scenariile de management al C&DW în cele două orașe europene considerate în studiul de caz



**Fig. 5.17.** Compararea amprenteii utilizării terenului pentru scenariile de management al C&DW în cele două orașe europene considerate în studiul de caz

## **Capitolul 6. INDICATORI AI DEZVOLTĂRII DURABILE PENTRU EVALUAREA SCENARIILOR DE MANAGEMENT AL DEȘEURILOR DIN CONSTRUCȚII ȘI DEMOLĂRI DERIVAȚI DIN ANALIZA DE DECIZIE MULTICRITERIALĂ**

### **6.1. Scopul și obiectivele studiului**

În acest capitol s-au utilizat indicatori ai dezvoltării durabile derivați din Analiza de Decizie Multicriterială (MCDA) pentru a analiza și evalua scenariile de management al C&DW și a alternativelor ce ar putea fi implementate în cele două zone europene luate în studiu. S-au avut în vedere indicatori tehnico-economici și pentru mediul înconjurător abordați într-o manieră integrată, evaluați prin aplicarea metodei Proceselor Analitice Ierarhice (AHP), în particular metodele *rating-ranking* și *compararea prin perechi* utilizând un mediu software dezvoltat în contextual AHP pentru a modela și simula scenariile avute în vedere. Metoda AHP a fost apoi integrată cu LCA și utilizată pentru evaluarea durabilității procesului de reciclare a unor componente din C&DW (plastic, sticlă, metal).

LCA a fost aplicată pentru a examina impacturile de mediu prin indicatori specifici: potențialul de încălzire globală, eutrofizarea, acidifierea, toxicitatea umană, în timp ce AHP a fost aplicată pentru a stabili cea mai bună ierarhie a managementului deșeurilor ținând seama de emisiile în mediu, asistată de mediile software Excel și Matlab. MCDA a implicat și o analiză cost/beneficiu (CBA, partea economică a studiului) pentru fiecare scenariu de management al C&DW.

Etapele analizei de decizie multicriterială vizate în acest studiu sunt prezentate în Fig. 6.1.

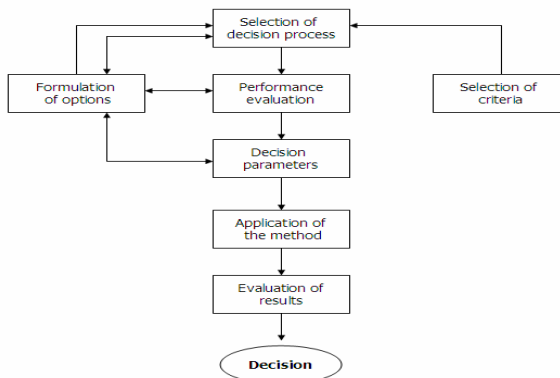


Fig. 6.1. Procesul de analiză de decizie multicriterială (adaptat după Ghinea, 2012)

## 6.2. Costurile și beneficiile asociate managementului deșeurilor din construcții și demolări

Analiza cost-beneficiu (CBA) a fost aplicată ca instrument suport pentru procesul decizional pentru segmentul economic al dezvoltării durabile (Hahn și Bondam, 2006). Determinarea fezabilității economice a scenariilor de management al C&DW și stabilirea unei baze pentru compararea acestora sunt cele două scopuri principale ale CBA. În cadrul analizei cost/beneficiu am comparat eficiența economică a alternativelor de management (Ghinea, 2012; NORDEN, 2007).

Unitatea funcțională în studiul de față este reprezentată de valoarea monetară a C&DW generate în Iași în 2009. Scenariul de bază este reprezentat de *scenariul 1* și reprezintă situația de referință la care scenariile alternative (scenariile 2-4 prezentate în sub-sectiunea 3.3.2 ) vor fi raportate pentru a fi comparate din punct de vedere economic.

Cantitatea de C&DW generată în Iași în 2009 a fost preluată din Master-Planul Primăriei Județului Iași din 2011. Acesta este un document oficial despre generarea și managementul deșeurilor în județul Iași. Compoziția C&DW din această zonă a fost stabilită conform normelor UE: cărămidă (42%), ciment (25%), mortar (18%), metale (3%), hârtie (0.5%), sticlă (0.5%), plastic (4%), ceramică (2%), gips (3%), altele (2%).

### 6.2.1. Metodologia de calcul a costurilor scenariilor C&DW

În analiza de față s-au calculat costurile administrative reprezentate de costurile de investiție, de operare și mentenanță. Costul total rezultat pentru fiecare proces inclus în scenariile propuse pentru managementul

deșeurilor din construcții și demolări este prezentat în Tabelul 6.2. Cele mai mari costuri de management au rezultat în cazul *scenariului 4* care include incinerarea ca una dintre metodele de tratare a deșeurilor solide.

**Tabelul 6.2.** Costurile de producție a tehnologiilor de management al C&DW incluse în scenariile propuse

| <i>Scenarii</i> | <i>Cost total depozitare temporară – colectare și transport (€/y)</i> | <i>Cost total sortare (€/y)</i> | <i>Cost total incinerare (€/y)</i> | <i>Cost total depozitare (€/y)</i> | <i>Cost total (€/y)</i> |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| S1              | 1456388,632                                                           | -                               | -                                  | 1254151                            | <b>2710540</b>          |
| S2              | 1456388,632                                                           | -                               | -                                  | 1275073                            | <b>2731462</b>          |
| S3              | 1456388,632                                                           | 29436                           | -                                  | 1274719                            | <b>2760544</b>          |
| S4              | 1456388,632                                                           | 702146                          | 695918                             | 1263488                            | <b>4117941</b>          |

Costurile totale de investiție pentru fiecare scenariu analizat sunt incluse în Tabelul 6.3. De asemenea poate fi observat că *scenariul 4* presupune cele mai mari costuri de investiții.

**Tabelul 6.3.** Costurile de investiții, operare și de mentenanță pentru scenariile analizate

| <i>Scenarii</i> | <i>Cost total investiții (€)</i> | <i>Costuri operare și mentenanță (€/y)</i> |
|-----------------|----------------------------------|--------------------------------------------|
| S1              | 23657112                         | 1959314                                    |
| S2              | 23657112                         | 1959314                                    |
| S3              | 23679011                         | 1966702                                    |
| S4              | 1093540                          | 2222585                                    |

### 6.2.2. Metodologia de calcul a beneficiilor scenariilor C&DW

Beneficiile totale sunt calculate prin luarea în considerare a trei tipuri de beneficii: beneficii economice, sociale și de mediu. Dacă beneficiile economice sunt ușor de calculat, beneficiile sociale și cele de mediu sunt mult mai dificil de identificat și li se atribuie mai greu o valoare monetară.

De asemenea, pentru calculul beneficiilor anuale pentru scenariile propuse au fost luate în considerare beneficiile conform legislației (10000 €). Tariful pentru populație a fost estimat la 10 €/an, beneficiul social și de mediu a fost estimat la 50 €/an/locuitor pentru *scenariul 2*, 100 €/an/loc pentru *scenariul 3*, 150 €/an/locuitor pentru *scenariul 4*.

Pentru fiecare scenariu propus au fost calculate și estimate beneficiile economice, sociale și de mediu în unități monetare (Tabelul 6.4).

**Tabelul 6.4.** Beneficiile anuale pentru scenariile evaluate

| <i>Scenarii</i> | <i>Beneficii anuale</i> |
|-----------------|-------------------------|
| S1              | 5804520                 |
| S2              | 25157920                |
| S3              | 44521462                |
| S4              | 64711389                |

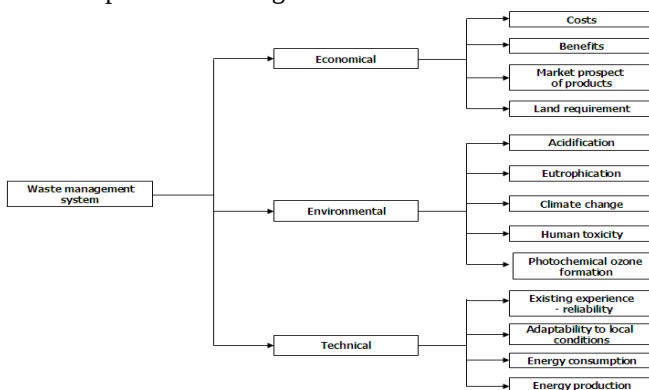
### 6.3. Metoda Proceselor Analitice Ierarhice (AHP) în analiza scenariilor C&DW

Metoda Proceselor Analitice Ierarhice (AHP) este un instrument suport utilizat în rezolvarea unor probleme de decizie complexe. AHP a fost inițiată și dezvoltată de Saaty (1980) și este una dintre cele mai aplicate metode în problemele legate de Analiza de Decizie Multicriteriale (MCDA) (Tarmudi et al., 2010).

#### 6.3.2. Evaluarea criteriilor pentru analiza scenariilor C&DW

Criteriile reprezintă puncte de vedere utilizate în stabilirea de comparații (BALKWASTE, 2011). În cazul managementului C&DW a fost definit obiectivul principal, reprezentat de selectarea celui mai potrivit sistem de management a deșeurilor solide pentru un oraș în funcție de o serie de obiective principale identificate: protecția mediului, viabilitatea financiară, capacitatea tehnică și fezabilitatea tehnologiei utilizate (Fig. 6.5).

Criteriile luate în considerare în evaluarea sistemelor de management al C&DW sunt reprezentate în Fig. 6.6.



**Fig. 6.6.** Criterii luate în considerare pentru evaluarea sistemelor de management a deșeurilor

#### 6.3.4.1. Metodele rating și ranking

Datele rating și ranking au fost colectate de la echipa de experți italieni care au sprijinit realizarea evaluărilor (Tabelul 6.18). Echipa de experți a fost formată din câte un expert care reprezintă Guvernul, un expert de la compania care se ocupă cu gestionarea deșeurilor solide și un expert din partea consumatorului.

**Tabelul 6.18.** Suma voturilor ranking și rating pentru fiecare criteriu al scenariilor analizate

| Criterii             | Scenariul 1            |                       | Scenariul 2            |                       | Scenariul 3            |                       | Scenariul 4            |                       |
|----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
|                      | Suma voturilor ranking | Suma voturilor rating | Suma voturilor ranking | Suma voturilor rating | Suma voturilor ranking | Suma voturilor rating | Suma voturilor ranking | Suma voturilor rating |
| <i>Economic</i>      |                        |                       |                        |                       |                        |                       |                        |                       |
| C1.1                 | 12                     | 85                    | 15                     | 100                   | 18                     | 130                   | 24                     | 190                   |
| C1.2                 | 9                      | 75                    | 12                     | 85                    | 18                     | 135                   | 21                     | 175                   |
| C1.3                 | 9                      | 65                    | 12                     | 75                    | 17                     | 130                   | 18                     | 160                   |
| C1.4                 | 14                     | 45                    | 15                     | 60                    | 18                     | 120                   | 21                     | 185                   |
| <i>Environmental</i> |                        |                       |                        |                       |                        |                       |                        |                       |
| C2.1                 | 18                     | 160                   | 18                     | 150                   | 15                     | 135                   | 19                     | 160                   |
| C2.2                 | 20                     | 165                   | 16                     | 155                   | 14                     | 135                   | 19                     | 165                   |
| C2.3                 | 23                     | 190                   | 23                     | 175                   | 25                     | 195                   | 26                     | 205                   |
| C2.4                 | 22                     | 190                   | 20                     | 180                   | 19                     | 175                   | 19                     | 175                   |
| C2.5                 | 21                     | 165                   | 21                     | 150                   | 20                     | 160                   | 22                     | 190                   |
| <i>Technical</i>     |                        |                       |                        |                       |                        |                       |                        |                       |
| C3.1                 | 10                     | 40                    | 12                     | 100                   | 16                     | 115                   | 15                     | 140                   |
| C3.2                 | 8                      | 30                    | 12                     | 55                    | 15                     | 120                   | 15                     | 155                   |
| C3.3                 | 12                     | 30                    | 12                     | 55                    | 18                     | 175                   | 18                     | 185                   |
| C3.4                 | 6                      | 15                    | 6                      | 15                    | 18                     | 150                   | 22                     | 210                   |
| <b>Total</b>         | <b>184</b>             | <b>1255</b>           | <b>194</b>             | <b>1355</b>           | <b>231</b>             | <b>1875</b>           | <b>259</b>             | <b>2295</b>           |

Fiecare expert a fost solicitat să elaboreze o listă criteriilor de decizie (indicatori) în ordinea importanței (ranking) și, de asemenea, să dea fiecărui element de decizie un scor, ca procent, între 0 și 100 (rating). Odată ce experții echipei au atribuit rating-ul și ranking-ul fiecărui element de decizie (indicatori de mediu, economici și tehnici) răspunsurile lor au fost analizate conform metodologiilor specifice.

**Tabelul 6.22.** Scor final utilizând metodele ranking și rating

|                   | S1       | S2       | S3       | S4       |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Scor final</b> | 1,299595 | 2,137853 | 4,119446 | 2,557204 |

#### 6.3.4.2. Compararea prin perechi

Metoda *comparării prin perechi* (PC) presupune compararea unu-la-unu a indicatorilor (Mendoza et al., 1999). Echipa de experți a fost solicitată să facă analize comparative în ceea ce privește importanța relativă a fiecărei perechi de indicatori în termenii propriului criteriu măsurat. În continuare a fost calculat scorul final pentru fiecare scenariu utilizând *compararea prin perechi*, iar rezultatele sunt cele prezentate în Tabelele 6.27-6.30.

După construirea matricilor criteriilor, *compararea prin perechi* pentru scenariile propuse (S1-S4) a condus la valoarea CI între 6.16 și 9.16, sub limita indicelui de consistență de 10% ceea ce evidențiază o limită de inconsecvență tolerabilă. Scorul final obținut după aplicarea *comparării prin perechi* este reprezentat în Tabelul 6.31.

**Tabelul 6.25.** Matricea comparativă a criteriilor pentru scenariul 3

| S3   | C1.1 | C1.2 | C1.3 | C1.4 | C2.1 | C2.2 | C2.3 | C2.4 | C2.5 | C3.1 | C3.2 | C3.3 | C3.4 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| C1.1 | 1    | 2    | 4    | 6    | 5    | 4    | 5    | 5    | 5    | 3    | 3    | 2    | 2    |
| C1.2 | 0,5  | 1    | 3    | 5    | 4    | 3    | 4    | 4    | 4    | 2    | 2    | 0,5  | 0,5  |
| C1.3 | 0,25 | 0,33 | 1    | 3    | 2    | 1    | 2    | 2    | 2    | 0,5  | 0,5  | 0,25 | 0,33 |
| C1.4 | 0,17 | 0,2  | 0,33 | 1    | 0,5  | 0,33 | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,25 | 0,25 | 0,17 | 0,2  |
| C2.1 | 0,2  | 0,25 | 0,5  | 2    | 1    | 0,5  | 0,33 | 0,33 | 0,5  | 0,33 | 0,33 | 0,2  | 0,25 |
| C2.2 | 0,25 | 0,33 | 1    | 3    | 2    | 1    | 3    | 2    | 2    | 0,5  | 0,5  | 0,25 | 0,33 |
| C2.3 | 0,2  | 0,25 | 0,5  | 2    | 3    | 0,33 | 1    | 3    | 3    | 0,33 | 0,33 | 0,2  | 0,25 |
| C2.4 | 0,2  | 0,25 | 0,5  | 2    | 3    | 0,5  | 0,33 | 1    | 0,5  | 0,33 | 0,33 | 0,2  | 0,25 |
| C2.5 | 0,2  | 0,25 | 0,5  | 2    | 2    | 0,5  | 0,33 | 2    | 1    | 0,33 | 0,33 | 0,2  | 0,25 |
| C3.1 | 0,33 | 0,5  | 2    | 4    | 3    | 2    | 3    | 3    | 3    | 1    | 0,5  | 0,25 | 0,33 |
| C3.2 | 0,33 | 0,5  | 2    | 4    | 3    | 2    | 3    | 3    | 3    | 2    | 1    | 0,25 | 0,33 |
| C3.3 | 0,5  | 2    | 4    | 6    | 5    | 4    | 5    | 5    | 5    | 4    | 4    | 1    | 2    |
| C3.4 | 0,5  | 2    | 3    | 5    | 4    | 3    | 4    | 4    | 4    | 3    | 3    | 0,5  | 1    |

**Table 6.31.** Scorul final obținut după aplicarea *comparației prin perechi* (PC)

|                      | S1       | S2       | S3      | S4      |
|----------------------|----------|----------|---------|---------|
| Final score using PC | 1,318996 | 2,135987 | 3,83831 | 2,33442 |

Conform cu Mendoza et al. (1999), în lucrarea de față, scenariul cel mai potrivit pentru a fi implementat este *Scenariul 3*. Ca și în cazul metodelor *ranking și rating*, pentru celelalte scenarii situația este aceeași, *Scenariul 1* având un scor final de performanță extrem de scăzut.

## Capitolul 7. INDICATORI AI DEZVOLTĂRII DURABILE PENTRU EVALUAREA MATERIALELOR RECICLABILE DIN DEȘEURILE DIN CONSTRUCȚII ȘI DEMOLĂRI

### 7.2. Aplicarea metodologiilor LCA și AHP pentru evaluarea materialelor reciclabile

#### 7.2.1. Metodologiile LCA și AHP

Evaluarea ciclului de viață (LCA) și Procesele Analitice Ierarhice (AHP) au fost utilizate pentru evaluarea proceselor de depozitare și sortare a materialelor reciclabile din compoziția deșeurilor din construcții și demolări (plastic, metal, sticlă).

În acest studiu au fost considerate două scenarii (Fig. 7.1):

- în primul scenariu materialele reciclabile sunt colectate și transportate la depozit, SR1;
- în al doilea scenariu aceeași cantitate de deșeuri este colectată și transportată la stația de sortare, SR2.

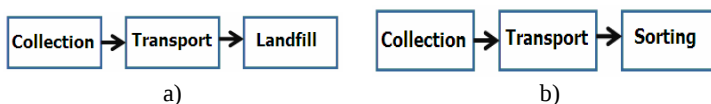


Fig. 7.1. Scenarii considerate pentru materialele reciclabile a) SR1; b) SR2

#### 7.2.2. Inventarul ciclului de viață

Pentru stabilirea impactului emisiilor rezultate de la colectare, transport, depozitare și sortare a trei materiale reciclabile precum plastic, metal, sticlă în acest studiu am aplicat metodologia LCA și am desfășurat o analiză de inventariere.

### 7.3. Evaluarea multicriterială a colectării, transportului și depozitării materialelor reciclabile (scenariul SR1)

Metoda de decizie multicriterială AHP este aplicată în scopul ierarhizării a trei materiale reciclabile. Metodologia utilizată este prezentată în subcapitolul 6.3.1. Pe baza acesteia am calculat matricile criteriilor, matrici alternative, vectorul de prioritate (atât pentru matricile criteriilor cât și pentru cele alternative), valorile proprii cât și scorul de mediu pentru fiecare alternativă (materiale reciclabile).

### 7.3.1. Emisii în aer la colectarea, transportul și depozitarea materialelor reciclabile

#### *Determinarea scorului unic de mediu*

Pentru a determina scorul unic de mediu pentru fiecare dintre alternative am multiplicat vectorul priorităților criteriilor considerate împreună ca o singură matrice MS cu fiecare vector individual al priorităților. Pe baza scorului de mediu a fost determinat scorul unic de mediu pentru fiecare alternativă:  $SES_{plastic} = 0.5306$ ,  $SES_{metal} = 0.4062$ ,  $SES_{sticlă} = 0.0666$ .

Deșeurile cu cea mai ridicată valoare pentru toate alternativele avute în vedere sunt deșeurile din material plastic, urmate de metale și, în final deșeurile din sticlă. În continuare a fost stabilită o singură matrice MS luând în considerare vectorul de priorități pentru criterii (Ec. 7.38). Scorul combinat de mediu (ES) este determinat prin înmulțirea matricei MS cu fiecare vector individual al priorităților pentru fiecare dintre alternative.

$$MS = \begin{bmatrix} 9.77E-09 & 0.966449 & 3.49E-06 & 0.9553 & 0.98207 & 0.98197 & 0.42056 \\ 1 & 0.03356 & 0.99999 & 0.04469 & 0.01539 & 0.01803 & 0.57944 \\ 9.77E-09 & 1.90E-07 & 3.49E-06 & 9.81E-07 & 0.00254 & 1.57E-07 & 1.98E-06 \end{bmatrix} \quad (7.38)$$

Valorile determinate pentru SES sunt:  $SES_{plastic} = 0.3480$ ,  $SES_{metal} = 0.6509$ ,  $SES_{sticlă} = 0.00107$ . Rezultatele au arătat că deșeurile metalice au cea mai mare valoare în rândul tuturor alternativelor.

### 7.4. Evaluarea multicriterială a colectării, transportului și sortării materialelor reciclabile (scenariul SR2)

Au fost urmărite aceleași faze și în cazul evaluării multicriteriale a colectării, transportului și sortării materialelor reciclabile SR1. De asemenea a fost stabilită o singură matrice MS reprezentată în Ec. (7.50):

$$MS = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.400214 & 0.40483 & 0.40502 & 0.4 & 0.39947 & 0.4043 & 0.40008 \\ 0.53333 & 0.53317 & 0.52827 & 0.52848 & 0.53422 & 0.53262 & 0.52844 & 0.540982 \\ 0.06667 & 0.06661 & 0.06689 & 0.0665 & 0.06578 & 0.06791 & 0.06725 & 0.05894 \end{bmatrix} \quad (7.50)$$

A fost determinat, de asemenea, scorul de mediu pentru fiecare alternativă ( $SES_{plastic} = 0.533$ ,  $SES_{metal} = 0.40$ ,  $SES_{sticlă} = 0.067$ ), rezultând faptul că deșeurile plastice au cea mai ridicată valoare. Pentru a obține o ierarhie în ceea ce privește impactul asupra mediului al deșeurilor reciclabile stabilind tipul deșeurii celui mai ecologic prin aplicarea unei

anumite metode de tratament, am folosit două metode: MCDA și LCA. Pentru implementarea metodei MCDA, am dezvoltat mai întâi metodologia LCA și am stabilit costurile și beneficiile pentru sistemul propus. În urma evaluării s-a observat că:

- scorul pentru deșeurile din material plastic și metale sunt similare, astfel încât se poate considera că ambele au cel mai mic impact asupra mediului în ceea ce privește emisiile în aer din colectarea, transportul și depozitarea materialelor reciclabile;
- în cazul emisiilor în sol și apă rezultate din colectarea, transportul și depozitarea materialelor reciclabile se obține următoarea ierarhie: metale, plastic, sticlă;
- ierarhia deșeurilor reciclabile rezultată din analiza emisiilor în aer de la sortarea deșeurilor a fost, în final: plastic, metal, sticlă.

S-a constatat că cele două metode pot fi aplicate în prioritizarea reciclabililor în funcție de emisiile provenite de la tratarea acestor deșeuri, prin furnizarea de informații pentru un management durabil al materialelor reciclabile.

## **Capitolul 8. CELE MAI BUNE PRACTICI PENTRU CREȘTEREA DURABILITĂȚII SISTEMELOR DE MANAGEMENT AL DEȘEURILOR DIN CONSTRUCȚII ȘI DEMOLĂRI – RECLCLAREA DEȘEURILOR**

Scopul acestui capitol este de a analiza procesele și materialele implicate în sistemul de management al C&DW și beneficiile de mediu ale reciclării/reutilizării C&DW. Având în vedere aceste aspecte, în acest studiu am dezvoltat o abordare pentru evaluarea durabilității a două scenarii care utilizează ca material de construcție deșeuri reciclate/reutilizate și, respectiv material natural. Pentru aceasta s-a aplicat metodologia LCA în vederea comparării indicatorilor de dezvoltare durabilă asociați unor impacturi în mediu pentru reciclarea/reutilizarea C&DW și respectiv pentru prelucrarea inertului natural. Au fost luate în considerare două scenarii:

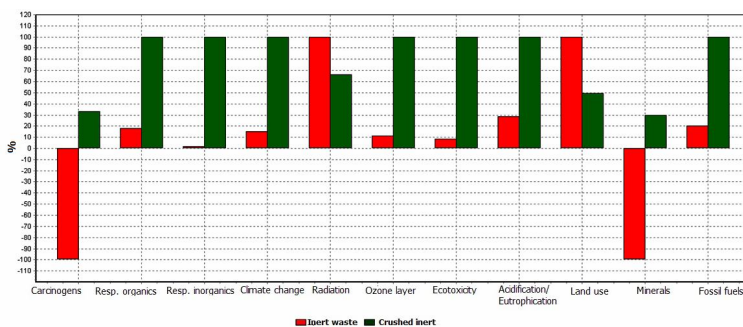
- *scenariul SA1*: producerea unui *agregat* 0/30 mm din inertul natural de la carieră,
- *scenariul SA2*: producerea unui *agregat* 0/30 mm din deșeuri inerte din C&D.

### **8.3.2. Metoda Eco-Indicator 99**

*Metoda Eco-indicator99* este utilizată pentru caracterizarea impactului asupra *sănătății umane, calității ecosistemelor și a resurselor*.

Aceste trei categorii de impact sunt considerate "categorii macro", dar includ anumite categorii de impact individuale.

Caracterizarea a trei categorii principale de impact și a categoriilor individuale este ilustrată în Figs. 8.3 și 8.4, și permite realizarea comparației între efectele asupra mediului ca urmare a producției de *agregate* conform celor două scenarii analizate.



**Fig. 8.4.** Caracterizarea categoriilor de impact cu metoda Eco-Indicator

Se poate observa că impacturile generate de producția de agregate din inert natural zdrobit sunt majore în ceea ce privește sănătatea oamenilor, calitatea ecosistemului și resursele. Pe de altă parte, reciclarea C&DW generează un impact pozitiv asupra sănătății umane, dar și un impact negativ asupra calității ecosistemelor și resurselor luând în considerare și aproximativ 20% din impactul asupra mediului generat de procesarea inertului natural.

În cazul în care analiza este detaliată prin luarea în considerare a categoriilor de impact individuale devine evident că cele două scenarii induc efecte negative pentru toate aceste subcategorii cu excepția *substanțelor cancerigene și mineralelor*. În aceste două cazuri, reciclarea C&DW generează efecte pozitive.

### 8.3.2. Metoda EDIP/UMIP

Această metodă permite evaluarea diverșilor indicatori, cel mai important fiind potențialul de încălzire globală (GWP), ca urmare a emisiilor de gaze cu efect de seră. Alte categorii de impact ce pot fi evaluate de către EDIP / UMIP sunt după cum urmează: epuizarea stratului de ozon; acidifierea; eutrofizarea; formarea smogului fotochimic; ecotoxicitatea cronică (în apă); ecotoxicitatea cronică (în sol); toxicitatea umană (aer); toxicitate umană (apă); toxicitate umană (sol); deșeuri voluminoase, deșeuri radioactive; zgură/cenușă; resurse; deșeuri periculoase. Fig. 8.5

demonstrează că reciclarea și reutilizarea C&DW (*scenariul SA2*) generează un impact pozitiv în ceea ce privește smogul fotochimic, ecotoxicitate (cronică, acută) asociată componentei de mediu apă, ecotoxicitatea asociată componentei de mediu sol, toxicitatea umană (aer, apă, sol), deșeuri voluminoase, deșeuri periculoase, deșeuri radioactive, zgură / cenușă, în timp ce impacturile negative reprezintă maximum 40% din cele ale *scenariului SA1*.

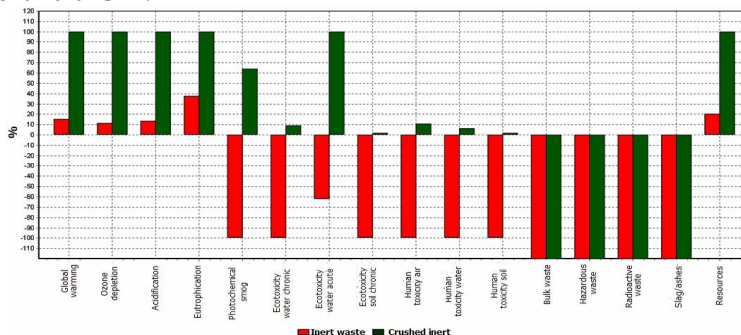


Fig. 8.5. Caracterizarea impacturilor cu metoda EDIP/UMIP

### 8.3.3. Metoda Necesarul de Energie Cumulativă

Această metodă ia în considerare consumul de energie, referindu-se la tipurile de energie utilizată în toate fazele ciclului de viață, ca extragerea, prelucrarea, reciclarea etc. (măsurată în MJ) (Fig. 8.6). În general, consumul energetic pentru *scenariul SA2* este de 17% din consumul pentru *scenariul SA1*. Consumul de energie pentru producerea de *agregate* din reciclarea C&DW sau extragerea materialelor inerte naturale este prezentată în Fig. 8.6.

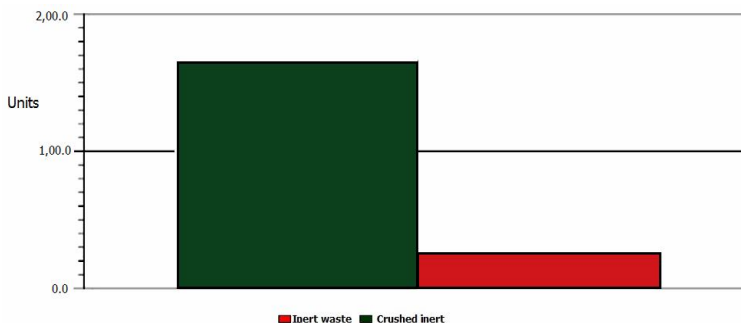


Fig. 8.6. Consumul de energie prin metoda Necesarului de Energie Cumulativă

Este important de subliniat faptul că energia necesară pentru producția de agregat din inert natural este mai mare (1664,11 MJ) decât energia necesară în cazul producerii de agregat din deșeuri inerte (246,41 MJ). Cea mai mare parte a energiei provine din arderea combustibililor fosili, care au un impact major asupra sănătății și mediului.

Categoriile de energie luate în considerare în această analiză sunt obținute din: combustibili fosili, nucleari, biomasă, din surse regenerabile (eoliană, solară, geotermală, etc), surse hidroelectrice (Tabelul 8.1). Datele din Tabelul 8.1 arată că există diferențe semnificative între consumul de energie pentru reciclarea/reutilizarea C&DW (*scenariu SA2*) și prelucrarea inertului natural, după cum urmează:

- potențialul *consum de energie din combustibilii fosili* pentru *scenariul SA2* este de 16% din cel asociat *scenariului SA1*;
- potențialul *consum de energie nucleară* asociată *scenariului SA2* este de 11% din cel asociat *scenariului SA1*;
- energie din biomasă este cuplat cu producerea de energie în *scenariul SA2*, spre deosebire de situația *scenariului SA1*, care consumă energie echivalentă cu cea obținută din biomasă;
- potențialul consum de energie hidroelectrică pentru *scenariul SA2* este de 9% din cel asociat *scenariului SA1*;
- potențialul consum de energie eoliană, solară, geotermală este similar pentru cele două scenarii.

## CONCLUZII GENERALE

Managementul deșeurilor este o problemă majoră pentru toate comunitățile din UE, iar numeroșii actori implicați (factorii de decizie politică, industrie, municipalități) se confruntă adesea cu lipsa de metodologii și medii software pentru definirea, evaluarea, optimizarea sau adaptarea deciziei privind managementul durabil al deșeurilor și pentru îndeplinirea obiectivelor de progres stabilite la nivelul UE. Legislația europeană privind managementul deșeurilor este strâns legată de creșterea cantității de deșeuri, inclusiv de cerințele de a reduce/elimina cantitatea de deșeuri din depozitele de deșeuri, prin reciclare sau reutilizare. Având în vedere că politica de management al deșeurilor în UE evoluează rapid, obiectivul major al acestei evoluții este decuplarea creșterii economice și producției de deșeuri, și o reducere a impacturilor asupra mediului asociate cu generarea și managementul deșeurilor, în acord cu principiile durabilității.

Pentru asigurarea durabilității în managementul deșeurilor solide în acord cu Strategia de Dezvoltare Durabilă UE, Directiva Deșeurilor evidențiază importanța unei abordări a managementului integrat durabil al

deșeurilor solide, care include măsuri de prevenire a generării deșeurilor, reducerea și reciclarea deșeurilor solide în conformitate cu opțiunile ierarhiei.

În consecință devine foarte important să se evalueze amploarea impactului asupra mediului și identificarea celor mai bune strategii de dezvoltare durabilă în sectorul managementului deșeurilor. În plus este oportună dezvoltarea unor viitoare abordări pentru determinarea celor mai bune opțiuni tehnice, economice, sociale și de mediu, precum și stabilirea de obiective privind reciclarea și valorificarea deșeurilor, luând în considerare diferențele dintre produse și materii prime și a posibilităților alternative, în special atunci când sunt implicate diferite categorii de deșeuri. În statele membre ale UE sunt aplicate o serie de opțiuni specifice de management pentru deșeuri din construcții și demolări (**C&DW**) (screening, zdrobire, mărunțire, separarea componentelor periculoase și reciclare, incinerare, deversare). Cu toate acestea, se cer în continuare îmbunătățite diferite metode de reciclare și recuperare, având în vedere că **C&DW** au un potențial de reciclare de peste 90% și că industria construcțiilor reprezintă unul dintre principalii consumatori de resurse naturale din Europa.

În acest context, teza de doctorat „*Indicatori ai dezvoltării durabile în managementul deșeurilor*” propune o schimbare în paradigma managementului deșeurilor C&DW în România, cu posibila extindere la alte țări sud - est europene, astfel încât să asigure: o utilizare mai eficientă a materialelor, atât la începutul cât și la sfârșitul vieții lor, reducerea epuizării resurselor naturale finite și a dependenței de depozitare a deșeurilor, utilizarea eficientă și reutilizarea materialelor, îmbunătățirea eficienței economice cu impact redus asupra mediului (creșterea eco-eficienței). Studiul s-a axat pe managementul C&DW luând în considerare indicatori ai dezvoltării durabile, prin abordarea studiilor de caz în două zone europene: județul Iași, în estul României (orașul Iași) și regiunea Emilia Romagna din Nordul Italiei (orașul Bologna).

**Obiectivul fundamental** al tezei de doctorat este de a **dezvolta o abordare integrată, cu un set simplu, dar cuprinzător a indicatorilor durabili de mediu, economici și tehnici, pentru identificarea și aplicarea celor mai adecvate practici durabile în managementul integrat al deșeurilor din construcții și demolări. Acesta are ca scop identificarea unor modalități relativ simple de măsurare a nivelului de sustenabilitate în primă instanță și de a contribui astfel la înțelegerea sensului de dezvoltare durabilă pentru managementul deșeurilor din construcții și demolări (C&DW).**

Pentru îndeplinirea obiectivului principal al tezei descris în contextul de mai sus, am îndeplinit câteva obiective specifice:

- selecția studiilor de caz: județul Iași, situat în estul României (orașul Iași) și regiunea Emilia Romagna situată în nordul Italiei (orașul Bologna);
- screening-ul indicatorilor și indicilor de durabilitate aplicabili în managementul deșeurilor solide;
- evaluarea sistemelor actuale de management al deșeurilor în locațiile selectate cu ajutorul indicatorilor dezvoltării durabile derivați din evaluarea ciclului de viață (LCA) și compararea rezultatelor obținute pentru diferite de categorii de impact asupra mediului;
- dezvoltarea de scenarii de management al C&DW și evaluarea durabilității acestora prin prisma unor indicatori ai dezvoltării durabile, luând în considerare compoziția și cantitatea deșeurilor;
- analiza și compararea scenariilor de management al deșeurilor, considerând diferite compoziții și cantități pentru C&DW din cele două zone europene luate în studiu;
- identificarea scenariului celui mai adecvat de management al deșeurilor din punctul de vedere al impactului asupra mediului;
- evaluarea amprentelor ecologice (EF) a C&DW în cele două zone europene selectate;
- evaluarea comparativă a scenariilor de management al deșeurilor utilizând amprenta ecologică globală, amprenta de carbon, amprenta utilizării terenurilor, pentru compoziții și cantități diferite de C&DW;
- analiza scenariilor durabile de management al C&DW din punct de vedere tehnico-economic și în raport cu mediul înconjurător, pe baza unor indicatori specifici de durabilitate care rezultă din metodologia analizei de decizie multicriterială (MCDA);
- analiza eco-eficienței deșeurilor reciclabile prin prisma indicatorilor dezvoltării durabile derivați din metodologiile MCDA și LCA;
- analiza comparativă a durabilității în raport cu mediul înconjurător la utilizarea, ca material de construcție a unui inert natural și, respectiv a unui deșeu inert reciclat din C&DW;
- analiza rezultatelor, ierarhizarea scenariilor și elaborarea de soluții pentru aplicare, formularea concluziilor și a recomandărilor pentru factorii de decizie în domeniul politicilor și strategiilor din sectorul C&DW.

Realizarea acestor obiective în cadrul tezei de doctorat a implicat o abordare multidisciplinară, prin conectarea mai multor zone de expertiză, prin corelarea de cunoștințe din diverse domenii într-un nou model de analiză a managementului integrat, durabil al deșeurilor din construcții și demolări.

Teza este structurată în două părți, fiecare dintre ele structurată pe capitole:

- în prima parte se realizează o analiză critică și cuprinzătoare a informațiilor din literatura de specialitate privind stadiul cunoașterii în domeniul sistemelor de management al deșeurilor în Europa și al instrumentelor de analiză a durabilității și, implicit a eco-eficienței, aplicate în managementul deșeurilor solide, precum și al politicilor și strategiilor implicate în procesul de luare a deciziilor în domeniul deșeurilor;
- a doua parte a tezei este dedicată contribuțiilor personale și conține rezultatele studiilor și cercetărilor originale elaborate pentru atingerea obiectivelor propuse și realizarea programului de cercetare.

În prima parte a tezei de doctorat este evidențiată importanța elaborării și aplicării unor indicatori ai dezvoltării durabile care să cuantifice aspecte tehnico-economice, sociale și de mediu și care să permită evaluarea progresului dezvoltării durabile în domeniul managementului integrat al deșeurilor solide. În plus, se subliniază faptul că acești indicatori trebuie să rezume, să concentreze și să condenseze informația despre aceste sisteme complexe, să evidențieze tendințe și fenomene în managementul deșeurilor și să constituie un suport pentru luarea deciziilor în managementul integrat și durabil al deșeurilor solide.

Analiza din prima parte a tezei a evidențiat faptul că asigurarea managementului durabil al deșeurilor solide este necesară pentru a diminua impacturile economice, sociale și ecologice generate de deșeuri în toate fazele ciclului de viață, de la proiectarea sistemului de management, planificare, funcționare și dezafectare, cu atât mai mult cu cât ratele de generare a deșeurilor rămân la niveluri ridicate, în particular în țările europene. În acest context s-a constatat că este necesară abordarea unor aspecte cheie în raport cu managementul deșeurilor solide dintre care, următoarele au fost identificate ca fiind printre cele mai relevante:

- creșterea volumului și a complexității deșeurilor solide induse de creșterea economică continuă și variabilitatea sistemelor economice sunt probleme stringente în strânsă legătură cu impactul și riscul asupra ecosistemelor și sănătății umane;
- dezvoltarea pieței deșeurilor, creșterea ratei de epuizare a resurselor, avansarea și disponibilitatea noilor tehnologii sunt oportunități de progres în asigurarea aplicării celor mai favorabile opțiuni din ierarhia managementului deșeurilor, cu atât mai mult cu cât această situație poate genera numeroase beneficii economice, sociale și de mediu;
- aplicarea celor mai favorabile alternative de tratare a deșeurilor - cum ar fi reducerea la sursă, reciclarea și reutilizarea într-o manieră integrată poate genera locuri de muncă, asigurarea sănătății și securității în domeniul managementului deșeurilor, adică beneficii sociale;

- dezvoltarea sistemelor durabile de management integrat al deșeurilor necesită resurse financiare, stimulente economice, măsuri politice și de reglementare, implicații instituționale și alte aranjamente;
- o problemă particulară este reprezentată de managementul deșeurilor din construcții și demolări (C&DW), date fiind caracteristicile acestor tipuri de deșeuri, volumul lor și oportunitățile de valorificare pe care le oferă.

Studiul situației actuale în domeniul managementului deșeurilor solide a oferit baza elaborării obiectivelor tezei de doctorat. În acest context este evident că **rezolvarea acestor probleme-cheie impune noi studii și cercetări pentru determinarea celor mai bune opțiuni de management din punct de vedere tehnic, economic, social și de mediu și pentru stabilirea obiectivelor de reciclare și recuperare a deșeurilor**, în special a C&DW, luând în considerare alternativele posibile în acord cu ierarhia managementului deșeurilor.

Din analiza datelor din literatura de specialitate și a documentelor oficiale în domeniul generării și managementului deșeurilor solide s-a putut stabili că obiectivul principal al tezei ***Indicatori de dezvoltare durabilă în managementul deșeurilor solide***, de a evalua și recomanda scenarii durabile de management integrat al C&DW se poate realiza prin aplicarea unor indicatori și instrumente ale dezvoltării durabile specifice **evaluării ciclului de viață (LCA), amprentelor ecologice (EF), analizei de decizie multicriterială (MCDA), analizei cost-beneficiu (CBA)**. Răspunzând acestor cerințe, studiile realizate în teză asigură o viziune pe termen lung pentru sectorul C&DW, cu posibilitatea extinderii la alte categorii de deșeuri, într-o manieră integrată.

***Acesta este primul studiu în domeniul ingineriei și managementului mediului în România, care, pe baza datelor din literatura de specialitate, a fundamentat un suport științific robust în măsură să permită selectarea de instrumente de evaluare a durabilității pentru sisteme antropogene, cu potențial de aplicabilitate în managementul deșeurilor solide, precum și în politicile și procesul decizional din sectorul deșeurilor solide, inclusiv pentru cazul particular al managementului integrat al C&DW.***

Partea a doua a tezei cuprinde contribuțiile personale, elementele de originalitate.

Un capitol important este dedicat selecției indicatorilor pentru evaluarea durabilității sistemelor de management al deșeurilor C&DW. În acest studiu a fost aplicat un set de indicatori, ca măsură a durabilității unor

scenarii de management al C&DW derivați din metodologii specifice dedicate diverselor evaluări de mediu: LCA, EF, MCDA.

Într-o primă etapă a fost constituit un portofoliu de indicatori de durabilitate derivați din evaluarea ciclului de viață (LCA) și analiza de decizie multicriterială (MCDA), ca "obiectiv", prin care este posibilă vizualizarea sistemului și care ar putea fi recomandați ca instrumente de sprijin în politica de luare a deciziilor pentru rezolvarea problemelor în sectorul managementului deșeurilor. Indicatorii asociați cu diferite categorii de impact asupra mediului derivați din analiza ciclului de viață (LCA) au fost corelați cu indicatori tehnico - economici derivați din analiza de decizie multicriterială și analiza cost-beneficiu, formând un **nou instrument analitic** care evită dezavantajele și combină aspecte complementare ale acestor trei instrumente. Studiul a demonstrat relevanța acestor instrumente ce se bazează pe capacitatea lor de a oferi suport tehnic pentru: (i) dezvoltarea și demonstrarea eco-eficienței opțiunilor și practicilor inovatoare de management al deșeurilor; (ii) sprijinirea managementului durabil al deșeurilor la nivel regional și european, prin implementarea de scenarii demonstrate a fi fezabile din punct de vedere tehnico-economic, social și al mediului înconjurător; (iii) posibilitatea dezvoltării rețelelor de cercetare în domeniul managementului deșeurilor și de promovare a cooperării între părțile interesate relevante.

***Este pentru prima dată când acest tip de abordare este utilizat în evaluarea managementului C&DW în România și pentru compararea cu alte sisteme de management, cum ar fi cel din Italia.***

Sistemele de management al C&DW existente în Iași-România și Bologna-Italia au fost analizate pentru evaluarea situației la nivelul anului 2009 pentru a genera perspectivele elaborării unor scenarii de management posibil a fi aplicate în viitor pentru managementul C&DW. Studiul a luat în considerare cantitatea de deșeuri generate în 2009, compoziția deșeurilor specifică fiecărei regiuni analizate, depozitarea deșeurilor, sisteme de transport și colectare și tehnologiile utilizate pentru tratarea deșeurilor solide. La nivelul anului 2009, situația sistemelor de management al deșeurilor din țările analizate a fost similară.

Având în vedere situația C&DW în anul 2009 ca referință, s-a propus un set de scenarii pentru managementul C&DW, astfel încât, după analiza acestora, să poată fi recomandat pentru aplicare celui scenariu care realizează cel mai mare scor în privința beneficiilor tehnico economice, sociale și în raport cu mediul înconjurător și care să asigure o mai bună conformare cu directivele UE în domeniul deșeurilor. În capitolul 3 sunt detaliate etapele studiilor efectuate pentru evaluarea sistemelor de management al deșeurilor solide bazate pe cele două studii de caz.

Am elaborat patru scenarii pentru managementul deșeurilor din construcții și demolări, după cum urmează:

- *Scenariul 1 (S1)* reprezintă situația sistemelor de management al deșeurilor în anul 2009, în Iași și, respectiv Bologna. Procesele constitutive ale acestui scenariu sunt: *depozitarea temporară a deșeurilor, colectare și transport și depozitarea deșeurilor.*

- *Scenariul 2 (S2)* este similar *scenariului 1*, cu diferența că include procesul de *tratare a levigatului.*

- *Scenariul 3 (S3)* propune o nouă etapă de reducere a deșeurilor depozitate, cea de *sortare*, urmată de *reciclarea* unei părți de deșeuri.

- *Scenariul 4 (S4)*, este similar cu scenariul 3, dar include și o etapă de incinerare.

**Scenariile 3 și 4 sunt propuse pentru creșterea performanței și eco-eficienței sistemului actual de management al deșeurilor.** Aceste scenarii sunt evaluate în continuare cu ajutorul indicatorilor de durabilitate pe baza metodologiilor stabilite anterior (LCA, EF, CBA, MCDA) aplicând indicatori specifici, asistați de medii software (GaBi 5, SimaPro 7.3.3, AHP, Excel, Matlab).

Evaluarea durabilității utilizând indicatorii de impact asupra mediului derivați din LCA a fost realizată în *capitolul 4* pentru sistemele de management al C&DW în cele două zone europene: orașul Iași-județul Iași, România și, respectiv Bologna din regiunea Emilia-Romagna din Italia. Metodologia LCA a fost aplicată luând în considerare cele patru scenarii descrise în *capitolul 3*. Întrucât baza de date referitoare la situația actuală privind generarea deșeurilor, ratele de reciclare și reutilizare, incinerare și depozitare a deșeurilor nu oferă suficiente informații, studiul privind procese de recuperare a energiei și reciclarea celei mai importante părți a deșeurilor a fost realizat numai pentru materialele reciclabile din C&DW.

Datele au fost prelucrate cu ajutorul a două instrumente software dedicate pentru LCA: GaBi5 și SimaPro7.3.3. Ambele conțin diverse baze de date și metodologii, cum ar fi: CML96, CML de bază 2000, CML2001, EDIP2003, EDIP96, EI95, EI99, IO +2, ReCiPe, Traci în măsură să ofere informații cu privire la valoarea indicatorilor de impact asupra mediului. Utilizarea în paralel a celor două medii software este justificată de faptul că suportă analize comparative și complexe de impact generate în mediu de sisteme de management al C&DW.

*Analiza scenariului 1*, care include procesele de depozitare temporară, colectare și transport și depozitare a C&DW a indicat prevalența unor impacturi negative asupra mediului ale managementului C&DW asociat *scenariului 1*. Deși același scenariu a fost analizat pentru ambele zone europene, s-au constatat unele diferențe în magnitudinea unor indicatori de impact, ca rezultat al cantității și compoziției diferite a deșeurilor. Întrucât în Bologna, cantitatea de deșeuri este mai mare decât în

Iași, iar componentele cu cel mai mare impact asupra mediului sunt cărămizile, ceramica, ipsosul și betonul, impactul *scenariului 1* este mai mare în Italia decât în România. Din analiză a rezultat că, atunci când se analizează *scenariul 1*, ambele sisteme (românesc și italian) au un impact negativ asupra mediului și, prin urmare, sistemele existente de management al deșeurilor nu sunt durabile în raport cu mediul înconjurător. **Prin urmare este necesară o îmbunătățire a sistemului de management al deșeurilor.**

*Scenariul 4* (S4) este cel mai complex sistem de management al deșeurilor analizate. Acesta include depozitarea temporară, colectarea și transportul deșeurilor, sortarea și recuperarea metalelor și a sticlei, incinerarea, depozitarea deșeurilor și tratarea levigatului. Impactul asupra mediului rezultat din prelucrarea datelor a fost la un nivel semnificativ, dar dependent de cantitatea de deșeuri incinerate și rata de recuperare a energiei.

După evaluarea rezultatelor cu cele două instrumente software s-a constatat că *scenariul 3*, care include **depozitarea temporară, colectarea și transportul deșeurilor, sortarea cu reciclarea metalelor și a sticlei, depozitarea deșeurilor și tratarea levigatului** este cel mai potrivit scenariu pentru sistemul de management al C&DW, din punctul de vedere al durabilității în raport cu mediul înconjurător.

În funcție de metodologia și indicatorii metodologiilor de evaluare selectate, valorile unor indicatori de impact au fost găsiți ca fiind diferiți, dependent de metodologia aplicată. De exemplu, în cazul potențialului de acidifiere (AP), atunci când s-a aplicat metoda EDIP 2003, SimaPro a condus la o valoare a impactului negativ asupra mediului mare, în timp ce CML 2001 - metoda aplicată utilizând GaBi a indicat că AP are un impact mult mai mare, apreciat ca fiind major. Într-un alt exemplu, potențialul de încălzire globală (GWP) a fost indicat a fi mai mare, în toate cazurile, cu excepția scenariului 4, în Iași, evaluat cu SimaPro (*S4\_Is\_SP*), care este mai mare comparativ cu cel rezultat în urma evaluării realizate cu GaBi (*S4\_Is\_GB*). Diferențele sunt generate de procesele de incinerare, colectare-transportul C&DW, care în cazul în care s-a utilizat software-ul SimaPro au rezultat ca având un impact major.

În scenariile analizate, reciclarea deșeurilor nu se realizează la un nivel ridicat. În acest moment sunt reciclate doar sticla și metalele, care nu au un impact major asupra mediului în comparație cu ceramica, cărămida, betonul și gipsul, care reprezintă cea mai mare parte a compoziției deșeurilor din construcții și demolări. În acest context s-a dovedit necesar un nou sistem de management al C&DW, care include reciclarea deșeurilor cu impact negativ major asupra mediului. Rezultatele studiilor din această parte a tezei se recomandă a fi folosite pentru a selecta sistemul de management al deșeurilor cel mai favorabil din punctul de vedere al impacturilor asupra mediului. Pentru reducerea impactului asupra mediului

al C&DW, este esențială o îmbunătățire a sistemului existent de management al deșeurilor.

***Este pentru prima dată când se elaborează și realizează o astfel de comparație în România, pentru C&DW, bazată pe studii LCA, având ca elemente măsurabile, indicatorii de durabilitate asociați cu diferite categorii de impact asupra mediului.***

O analiză suplimentară a performanțelor sistemelor de management al C&DW a avut în vedere indicatori de durabilitate asociați **amprentelor ecologice** (EF). Studiul a fost aplicat pentru a evalua și compara amprente ecologice ale scenariilor de management al C&DW în cele două zone europene selectate: județul Iași, în estul României (orașul Iași) și Emilia Romagna din nordul Italiei (orașul Bologna). Ampretele ecologice (EF) au fost selectate ca indicatori de durabilitate, deoarece acestea reprezintă fie cuantificări ale presiunii/impactului global asupra mediului generat de sistemele de management al C&DW în raport cu capacitatea mediului de a absorbi deșeurile și a regenera resursele, fie ale impactul generat în mediu exprimat în echivalent CO<sub>2</sub> (amprenta de carbon), fie al impactului generat în mediu de utilizarea terenurilor, fie de impactul generat în mediu la generarea energiei nucleare (amprenta nucleară). În timpul analizei, prelucrarea datelor a fost susținută de mediul software SimaPro, deoarece acesta include secțiuni dedicate evaluării EF, permițând cuantificarea celor patru indicatori importanți în evaluarea amprente ecologice: amprenta ecologică globală, amprenta de carbon, amprenta utilizării terenurilor și amprenta nucleară.

Analiza EF a fost efectuată luând în considerare cele patru scenarii elaborate pentru sistemele de management al C&DW în Iași și Bologna, considerând aceeași unitatea funcțională utilizată pentru evaluarea indicatorilor de impact din LCA. Valorile semnificative obținute pentru amprenta ecologică globală demonstrează că sistemele de management al C&DW exercită presiuni asupra mediului, mai ales pentru studiul de caz din Bologna, în principal din cauza cantității mari de C&DW comparativ cu cea din Iași. Cea mai importantă contribuție pentru amprenta C&DW a fost asociată cu prezența, în compoziția deșeurilor a unor componente specifice precum: gips, mortar, beton, cărămidă și deșeuri ceramice, care sunt cele mai poluante componente. **Pe baza acestor date se recomandă reutilizarea/reciclarea acestor componente cu impact major din C&DW, fapt care ar diminua amprenta ecologică, în particular cea asociată cu etapa de depozitare a deșeurilor.**

S-a constatat că toate scenariile sunt generatoare de amprente ecologice semnificative, amprenta de carbon fiind cea mai relevantă. *Scenariul 4* are cea mai mare amprentă de carbon, ca o consecință a prezenței etapei de incinerare, caz în care emisiile de CO<sub>2</sub> sunt

semnificative, urmate de etapele de colectare și transport al C&DW. Aceste constatări sunt valabile pentru ambele zone europene investigate. O situație specială a fost observată în cazul etapei de depozitare pentru *scenariul 4*. Amprenta ecologică a depozitării C&DW este scăzută, ca urmare a reciclării și incinerării unei părți a deșeurilor, care contribuie la reducerea cantității deșeurilor trimise spre depozitare.

***Acesta este primul studiu din România care evaluează scenariile de management al C&DW bazate pe patru categorii de amprente ecologice, ca măsură a durabilității.***

Analiza de decizie multicriterială (MCDA) a fost aplicată în capitolul 6 pentru a analiza și evalua scenariile propuse pentru managementul C&DW și alternativele ce ar putea fi implementate considerând indicatori economici, tehnici și de mediu care decurg din MCDA, **într-o manieră integrată**. Evaluarea durabilității managementului C&DW bazată pe indicatori derivați din MCDA a demonstrat că acesta este un instrument robust, fiabil și poate oferi un cadru de evaluare flexibil și multidisciplinar.

Metoda Proceselor Analitice Ierarhice (AHP), care include diferite tipuri de metodologii (*rating și raking, comparare prin perechi*), a fost aplicată pentru a evalua scenariile de management al C&DW propuse, în vederea determinării factorilor critici și de succes, pentru a construi modele ierarhice, pentru a ierarhiza factorilor critici și de a analiza durabilitatea acestor rezultate. Prelucrarea datelor s-a efectuat utilizând medii software dezvoltate în Excel și Matlab în acord cu metodologia AHP. Studiul a avut în vedere trei categorii de criterii: durabilitatea în raport cu mediul, viabilitatea financiară, capacitatea tehnică și caracterul adecvat din punct de vedere tehnic, economic al tehnologiei utilizate. Analizei Cost-Beneficiu (CBA) a fost integrată cu metodologia MCDA pentru a evalua activitățile economice în unități unice, monetare, în vederea realizării unei imagini de ansamblu a tuturor efectelor economice importante ale diferitelor scenarii a C&DW. Costurile și beneficiile scenariilor se management analizate au fost stabilite în unități monetare pentru a sprijini metodologia MCDA.

*Metodele rating și raking* au fost aplicate pentru a obține scorul final al criteriilor prestabilite, prin combinarea ponderii fiecărui criteriu. Criteriile au fost comparate *unu-la-unu* cu scopul de a stabili scorul final al alternativelor prin *compararea prin perechi*. Scorurile finale rezultate din evaluarea scenariilor au indicat că *scenariul 3* (care include sortarea și depozitarea) este cel mai potrivit pentru a fi pus în aplicare, pentru că a generat cel mai mare punctaj, situându-se astfel primul în ierarhia scorurilor.

Metoda AHP a fost integrată cu metodologia LCA și utilizată pentru evaluarea durabilității deșeurilor reciclabile (plastic, sticlă și metale). În

prima etapă a analizei au fost identificate materialele reciclabile din C&DW și au fost stabilite metodologiile de evaluare a două scenarii propuse pentru managementul materialelor reciclabile, din punctul de vedere al indicatorilor de durabilitate.

În studiul s-au luat în considerare două situații posibile: materialele reciclabile sunt colectate și transportate la depozitare (SR1), sau aceeași cantitate de deșeuri este colectată și transportată la stația de sortare (SR2). Pentru a stabili o ierarhie a deșeurilor pe baza emisiilor în mediu, rezultatele obținute în urma evaluării LCA au fost prelucrate ulterior într-o evaluare multicriterială prin aplicarea metodologiei AHP.

LCA și AHP au fost aplicate în evaluarea durabilității proceselor de depozitare și sortare a materialelor reciclabile din C&DW: plastic, metale, sticlă. Examinarea impactului asupra mediului generate de tratarea materialelor reciclabile a fost realizat folosind metodologia LCA, luând în considerare indicatorii de impact asupra mediului, cum ar fi: încălzirea globală, eutrofizarea, acidifierea, toxicitatea umană etc. În continuare, evaluarea multicriterială a impactului asupra mediului a fost integrată cu metodologia AHP, astfel încât să definească și să evalueze criteriile tehnico-economice și de mediu pentru materialele reciclabile: plastic, sticlă și metale desemnate ca alternative. Prin ponderarea alternativelor avute în vedere, metoda AHP a fost aplicată pentru a stabilirea rangului proceselor de tratare a deșeurilor, pe baza scorurilor de mediu.

În final au fost stabilite ierarhiile materialelor reciclabile conform alternativelor de tratament propuse, având la bază impactul generat în aer, apă, sol. În *capitolul 7* această evaluare a rezultat într-o ierarhie a proceselor de tratare a deșeurilor reciclabile bazată pe impactul generat de alternativele de tratament a materialelor reciclabile din C&DW asupra mediului. Această ierarhie a dovedit că **reciclarea este un proces preferat din punctul de vedere al durabilității, comparativ cu incinerarea și depozitarea materialelor neregenerabile cum ar fi sticla, metalele, plasticul**. Plasarea reciclării în în topul ierarhiei a fost posibilă ca urmare a necesarului redus de energie și a unui impact redus în raport cu potențialul de încălzire globală.

***Acesta este primul studiu din România care integrează LCA și MCDA, cu scopul de a evalua viabilitatea diverselor sisteme de management al deșeurilor reciclabile din C&DW (plastic, sticlă și metale), și care stabilește o ierarhie dependentă de emisiile în aer, apă și sol.***

În scopul sporirii durabilității sistemelor de management al C&DW s-a considerat oportună o analiză bazată pe indicatori ai dezvoltării durabile aplicată pentru producția materialelor de construcții din materiale naturale sau din deșeuri reciclate ori reutilizate. În *capitolul 8*, a fost realizată o analiză a celor mai bune practici de management posibil a fi aplicate în

managementul C&DW, pentru a reduce impactul asupra mediului indus de procesarea inertului natural prin reciclarea/reutilizarea deșeurilor din construcții și demolări. Această analiză s-a efectuat cu ajutorul metodologiei LCA pentru a arăta și a înțelege mai bine diferențele dintre impactul asupra mediului și impactul economic generate de de exploatare a rocilor naturale și reciclarea/reutilizarea componentelor valoroase din C&DW.

Urmând scopul acestui studiu a fost dezvoltată o evaluare a ciclului de viață pentru a compara scenariul de management al C&DW prin reciclare/reutilizare cu scenariul convențional, când se procesează un inert natural este procesat, considerând un set de criterii de durabilitate în raport cu mediul înconjurător. Au fost considerate două scenarii:

- *Scenariul SA1*: producția unui agregat 0/30 mm din inert natural de la cariere;
- *Scenariul SA2*: producția de agregat 0/30 mm din deșeu inert din C&DW.

Cele două scenarii specifice pentru regiunea italiană Emilia Romagna sunt discutate și evaluate pe baza impactului lor asupra mediului, explorând facilitățile oferite de software-ul SimaPro 7.3.3. Rezultatele oferă un suport pentru luarea deciziilor, bazat pe trei metode de evaluare diferite din cadrul LCA: Eco - Indicator 99, EDIP/UMIP și Cererea de energie cumulativă. Unitatea funcțională aleasă este reprezentată de 1 tonă de material prelucrat. Limitele sistemelor sunt trasate astfel încât să cuprindă toate efectele semnificative generate de procesul de prelucrare.

Compararea celor două scenarii cu ajutorul metodelor menționate au arătat că procesul de reciclare generează un impact semnificativ mai mic asupra mediului în comparație cu cel rezultat din procesarea inertului natural, în ceea ce privește emisiile de poluanți, consecințele asupra sănătății umane și a ecosistemelor, precum și cantitatea de energie consumată. Trebuie remarcat faptul că, în procesul de reciclare, recuperarea fierului are un impact pozitiv asupra reducerii consumului de materii prime și a energiei consumate. Diferențe substanțiale ce se regăsesc între cele două procese se referă la potențialul de încălzire globală, deoarece producția a 1 tonă de agregat din inert zdrobit generează 103,000 g de echivalent CO<sub>2</sub>, față de 15,500 g de CO<sub>2</sub> generate de reciclarea C&DW (aproape de 7 ori mai mică). Un argument similar este valabil și pentru potențialul de acidifiere și eutrofizare, evaluat în cantități echivalente de SO<sub>2</sub> și N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.

*Având în vedere efectele pozitive menționate asociate cu reciclarea/reutilizarea C&DW din ambele perspective, economice și de mediu, se recomandă consolidare pieței agregatelor reciclate, mai ales din perspectiva creșterii durabilității în sectorul construcțiilor.*

***Acesta este primul studiu din România privind cele mai bune practici posibile de management ce se recomandă a fi aplicate în managementul C&DW, în particular, reciclarea/reutilizarea, pentru a***

**reduce impactul asupra mediului produs în urma procesării inertului natural și reciclării deșeurilor din construcții și demolări.**

*Studiul complex din cadrul tezei de doctorat demonstrează că sistemele de management al C&DW existente în Iași, România, precum și cele din regiunea Emilia-Romagna/Bologna, Italia trebuie reconsiderate, astfel încât să îndeplinească cerințele de mediu, economice și tehnice asociate cu dezvoltarea durabilă și utilizarea pe baze durabile a resurselor materiale, energetice și monetare.*

Teza de doctorat "**Indicatori ai dezvoltării durabile în managementul deșeurilor**" este primul studiu elaborat în România pentru evaluarea sistemelor de management al C&DW din perspectiva ingineriei și managementului mediului, utilizând indicatori de durabilitate ca instrumente cantitative, măsurabile, derivați din criteriile de mediu, economice și tehnice. De asemenea, acesta este primul studiu care definește compoziția C&DW, evaluează impactul economic, tehnic și de mediu, și propune noi opțiuni de tratament și management pentru reducerea impactului direct și indirect, prin aplicarea celor mai bune practici de management.

**Cercetarea s-a desfășurat pe parcursul a trei ani în laboratoarele Departamentului Ingineria și Managementul Mediului (TUIași) și DICAM (UNIBO).** Studiul deschide calea pentru noi cercetări pentru asigurarea progresului în domeniul managementului C&DW și sporirea contribuțiilor la baza științifică pe care se sprijină acest progres. În acest mod studiul va contribui pe termen mediu și lung la reducerea efectelor globale negative asupra mediului, zonei economice și sociale ce pot fi generate de un management slab al C&DW, ca urmare a unui grad ridicat de variabilitate a datelor privind cantitățile de deșeuri și compoziția acestora. Toate acestea sunt asociate condițiilor diferite economice, geografice, culturale și de mediu, așa cum s-a demonstrat în studiul de față.

## **BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ**

Azapagic A., (2012), *Indicators of Sustainable Development for the Minerals Extraction Industry: Environmental Considerations*, IMAAC COPPER FORUM, Accessed on 20.05.2012, on line at: [https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:9QL1Fjx0XlGJ:w3.cetem.gov.br/imaac/Publications/Reports/Indicadores\\_de\\_Sustentabilidade\\_Adisa.doc+Indicators+of+Sustainable+Development+for+the+Minerals+Extraction+Industry:+Environmental+Considerations&hl=en&gl=ro&pid=bl&srcid=ADGEEsGlezmHrj0oGBWNMP1TAkrwKQSLvayh9hBGRz9jN6z\\_dHqVXB6FTwpj9TC685FzWzvwrwat7GZPMzyhr2Y4CRGqc8-j48YHD4VhA\\_ftZd-](https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:9QL1Fjx0XlGJ:w3.cetem.gov.br/imaac/Publications/Reports/Indicadores_de_Sustentabilidade_Adisa.doc+Indicators+of+Sustainable+Development+for+the+Minerals+Extraction+Industry:+Environmental+Considerations&hl=en&gl=ro&pid=bl&srcid=ADGEEsGlezmHrj0oGBWNMP1TAkrwKQSLvayh9hBGRz9jN6z_dHqVXB6FTwpj9TC685FzWzvwrwat7GZPMzyhr2Y4CRGqc8-j48YHD4VhA_ftZd-)

- vli5bCqeeQDblBdk\_BdsQoUrHf45&sig=AHIEtbRSJHYqBefS9t7p3ek\_W-8GWwS6xw.
- Blengini G.A., Garbarino E., (2010), Resources and waste management in Turin (Italy): the role of recycled aggregates in the sustainable supply mix, *Journal of Cleaner Production*, **18**, 1021–1030.
- Bonoli A, Ciancabilla F., Fabbri S., (2001), *Selective Demolition and treatments "certificates" for a quality recycling of waste from C&D*, Proceedings of the Conference "The recovery of waste from construction and demolition current situation and prospects", Imola (Bologna).
- Bonoli A., Fabbri S., Goldoni S., (2006), Demolition techniques and enhancement of C&D waste, *Recycling*, 115-122.
- Bonoli A., Garfi M., (2008), *The recycling of Construction and Demolition Waste: the Quality Standards for the reuse in construction field*, in: REWAS 2008, Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology proceedings, WARRENDALE PA, TMS, 1163 – 1169.
- Fortuna M.E., **Simion I.M.**, Gavrilescu M., (2011a), Sustainability in environmental remediation, *Environmental Engineering and Management Journal*, **10**, 1987-1996.
- Fortuna M.E., **Simion I.M.**, Gavrilescu M., (2011b), Indicators for Sustainability in Industrial Systems Case Study: Paper Manufacturing, *Scientific Study & Research. Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, **12**, 363-372.
- Fortuna M.E., **Simion I.M.**, Ghinea C., Petraru M., Cozma P., Apostol L.C., Hlihor R.M., Fertu D.T., 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.
- Iasi County Council, (2009), *Long-term investment plan for the period 2008-2038 on integrated waste management*, on line at: <http://www.icc.ro/activitate/mediu/MasterP/MasterPlan.pdf>.
- Iasi County Council, (2011), *Technical Assistance to Prepare Projects in the Environmental Sector in Romania*, Integrated Waste Management System in Iasi, First revision, Report to the Study of Environmental Impact Assessment.
- ISO, (2006a), *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework (ISO 14040: 2006)*, European Standard EN ISO 14040, The International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO, (2006b), *Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and Guidelines (ISO 14044: 2006)*, European Standard EN ISO 14040, The International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISPRA, (2012), *Waste Report*, Edition 2011, Institute for the Protection and Environmental Research.
- SARMA, (2011a), *The production of recycled aggregates from inert waste*, Authors Bressi Giorgio, Volpe Gianpaolo, Pavesi Elisabetta, Edited by Tecnitalia Consultants, MILANO.
- SARMA, (2011b), *Sustainable management of aggregate resources and sustainable supply combined to regional / national and transnational*, Handbook, Edit by Zacharias Agioutantis Slavko Šolar.

- Schiopu A.M., Robu B.M., Apostol I., Gavrilescu M., (2009), Impact of landfill leachate on soil quality in Iasi County, *Environmental Engineering and Management Journal*, **8**, 1155-1164.
- Simion I.M.**, Fortuna M.E., Gavrilescu M., (2012), Use of Sustainable Indicators in Solid Waste Management – A review, *Bulletin of The Polytechnic Institute of Iasi*, Tomul LVIII (LXII), Fasc. 1, 57-71.
- Simion I.M.**, (2013), *Construction and demolition waste management for sustainable development*, Workshop “Trends and requirements of interdisciplinarity in research”, Iași, Doctoral Studies project for European Research and Innovation Performance CUANTUMDOC - POSDRU/107/1.5/S/7940725 January 2013, 135-144 (in Romanian) CD suport.
- Simion I.M.**, Fortuna M.E., Bonoli A., Gavrilescu M., (2013a), Comparing Environmental Impacts of Natural Inert and Recycled Construction and Demolition Waste Processing using LCA, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, (under revision).
- Simion I.M.**, Ghinea C., Maxineasa S.G., Taranu N., Bonoli A., Gavrilescu M., (2013b), Ecological footprint applied in the assessment of construction and demolition waste integrated management, *Environmental Engineering and Management Journal*, **4**, 779-788.
- Wackernagel M., Rees W., (1996), *Our Ecological Footprint. Reducing Human Impact on the Earth*, New Society Publisher, Gabriola Island.

## LISTA CONTRIBUȚIILOR ȘTIINȚIFICE

### Lucrări publicate în jurnale cotate ISI

1. *Evaluation of the environmental impact of road pavements from a life cycle perspective*, (2013), Laura Dumitrescu, Sebastian George Maxineasa, Maria Gavrilescu, **Isabela Maria Simion**, Nicolae Taranu, Radu Andrei, *Environmental Engineering and Management Journal*, (acceptat).
2. *Comparing environmental impacts of natural inert and recycled construction and demolition waste processing using LCA*, (2013), **Simion Isabela Maria**, Fortuna Maria Emiliana, Bonoli Alessandra, Gavrilescu Maria, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, **acceptată pentru publicare, JEELM-2013-0034.R1**.
3. *Ecological footprint applied in the assessment of construction and demolition waste integrated management*, (2013), **Isabela Maria Simion**, Cristina Ghinea, Sebastian George Maxineasa, Nicolae Taranu, Alessandra Bonoli, Maria Gavrilescu, *Environmental Engineering and Management Journal*, **4**, 779-788.
4. *Analysis and management of specific processes from environmental engineering and protection based on sustainability indicators*, (2012), Maria Emiliana 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*, **2**, 333-350.

5. *Assessment of sustainability based on LCA – case of woody biomass*, (2012), Maria Emiliană Fortună, **Isabela Maria Simion**, Maria Gavrilescu, *Cellulose Chemistry and Technology*, **46**, 493-510.

6. *Sustainability in environmental remediation*, (2011), Maria Emiliană Fortuna, **Isabela Maria Simion**, Maria Gavrilescu, *Environmental Engineering and Management Journal*, **12**, 1987-1996.

### Lucrări publicate în jurnale cotate B+, CNCSIS

1. *Solid waste recycling for remanufacturing and bioremediation*, (2013), Cristina Ghinea, **Isabela Maria Simion**, Maria Gavrilescu, *Bulletin of the Polytechnic Institute of Iassy, Chemistry and Chemical Engineering*, **59**, 35 – 48.

2. *Use of sustainable indicators in solid waste management – a review*, (2012), **Isabela Maria Simion**, Maria Emiliană Fortuna, Maria Gavrilescu, *Bulletin of the Polytechnic Institute of Iassy, Chemistry and Chemical Engineering*, **58**, 57-71.

3. *Indicators for sustainability in industrial systems. Case study: paper manufacturing*, (2011), Maria Emiliană Fortună, **Isabela Maria Simion**, Maria Gavrilescu, *Scientific Study and Research*, **12**, 363 – 372.

### Lucrări publicate în volume ale workshop-urilor

1. *Construction and demolition waste management for sustainable development*, (2013), **Simion Isabela Maria**, Workshop “Trends and requirements of interdisciplinarity in research”, Iași, Doctoral Studies project for European Research and Innovation Performance CUAUTUMDOC - POSDRU/107/1.5/S/7940725 January 2013, 135-144.

### Conferințe

1. *Life cycle assessment of waste management and recycled paper systems*, (2013), Cristina Ghinea, Madalina Petraru, **Isabela Simion**, Dana Sobariu, Hans Th. A Bressers, Maria Gavrilescu, 7th International Conference on Environmental Engineering and Management, Integration Challenges for Sustainability, 18 - 21 September, Vienna, Austria (poster).

2. *Evaluation of environmental impacts for Cd(II) biosorption on pumpkin seed hulls using life cycle assessment*, (2013), Raluca Maria Hlihor, Cristina Ghinea, Dana Sobariu, **Isabela Teslaru**, Laura Carmen Apostol, Petronela Cozma, Laura Bulgariu, Maria Gavrilescu, 7th International Conference on Environmental Engineering and Management, Integration Challenges for Sustainability, 18 - 21 September, Vienna, Austria (communication).

3. *Ecological footprint application in building construction*, (2012), Maria Emiliană Fortună, **Isabela Maria Simion**, Alessandra Bonoli, Maria Gavrilescu, Days of the "Alexandru Ioan Cuza" University, Scientific Session of the Faculty of Chemistry, October 25-27, Iași, Romania (communication).

4. *Research perspectives arising from the LCA applications in the engineering field*, (2012), Luca Antonozzi, Alessandra Bonoli, Francesca Cappellaro, Alessandro

- Cascini, Cristian Chiavetta, Sara Rizzo, **Isabela Simion**, Sara Zanni, ECOMONDO, 16<sup>th</sup> International Trade Fair of Material & Energy Recovery and Sustainable Development, 7-10 November, Rimini, Italy (poster).
5. *Application of the ecological footprint for assessing the impacts of construction and demolition waste on key resources and biodiversity*, (2012), Maria Emiliana Fortună, **Isabela Maria Simion**, Alessandra Bonoli, Maria Gavrilescu, Conference "Biodiversity and Society: Societal dimensions of the conservation and utilisation of biological diversity", 14th – 16th November, Göttingen, Germany (poster).
6. *Production and composition of construction and demolition waste in Romania*, (2012), **Isabela Maria Simion**, Maria Emiliana Fortuna, Alessandra Bonoli, Maria Gavrilescu, International Conference Centenary of Education in Chemical Engineering, 100th Anniversary of Faculty of Chemical Engineering and Environmental Protection, November 28-30, Iasi, Romania (poster).
7. *Sustainable urban environment: ecological footprint analysis of building construction*, (2012), Maria Emiliana Fortuna, **Isabela Maria Simion**, Alessandra Bonoli, Maria Gavrilescu, International Conference Centenary of Education in Chemical Engineering, 100th Anniversary of Faculty of Chemical Engineering and Environmental Protection, November 28-30, Iasi, Romania (poster).
8. *Indicators for sustainability in industrial systems. Case study: Paper manufacturing*, (2011), Maria Emiliana Fortună, **Isabela Maria Simion**, Maria Gavrilescu, „International Conference of Applied Sciences. Chemistry and Chemical Engineering”, fifth edition, Universitatea ”Vasile Alecsandri” din Bacău, 28 –30 April, 2011, Bacau, Romania (communication).
9. *Recycling in paper manufacturing process: Sustainable development indicators and environmental impact*, (2011), Maria Emiliana Fortună, **Isabela Maria Simion**, Maria Gavrilescu, European Exhibition of Creativity and Innovation, Iasi, Romania, 12-14 May (poster).
10. *Sustainability indicators in personal care products sector*, (2011), **Isabela Maria Simion**, Maria Emiliana Fortună, Maria Gavrilescu, The 10-th Romanian International Symposium on Cosmetic and Flavour Products “COSMETIC SCIENCE – LOOKING TO THE FUTURE”, Iasi Romania, 31 May-3 June (poster).
11. *Ecological footprint of pharmaceutical and cosmetic industries*, (2011), Maria Emiliana Fortună, **Isabela Maria Simion**, Maria Gavrilescu, The 10-th Romanian International Symposium on Cosmetic and Flavour Products “Cosmetic Science – Looking to The Future”, Iasi Romania, 31 May-3 June (poster).
12. *Analysis and Management of Specific Processes from Environmental Engineering and Protection Based on Sustainability Indicators*, (2011), Fortună M.E., **Teslaru Simion I.**, Ghinea C., Petraru M., Fasolă Apostol L.C., Hlihor R.M., Gavrilescu M., The 6th International Conference on Environmental Engineering and Management – ICEEM 06 Green Future, 1-4 September, Balatonalmadi, Hungary (communication).
13. *Sustainable development indicators a tool for pollution prevent*, (2011), Maria Emiliana Fortună, **Isabela Maria Simion**, Maria Gavrilescu, Days of the "Alexandru Ioan Cuza" University , Scientific Session of the Faculty of Chemistry, October 28 – 29 (poster).
14. *Ecological footprint of construction and demolition waste*, (2011), **Isabela Maria Simion**, Maria Emiliana Fortună, Maria Gavrilescu, The 9th International

Congress of Young Chemists “YoungChem 2011”, 12-16 October, Cracow, Poland (poster).

15. *Life cycle analysis, a tool for assessing the environmental impact of solid waste*, (2011), Maria Emiliană Fortună, **Isabela Maria Simion**, Maria Gavrilăscu, The VI edition of the International Symposium, Present Environment and Sustainable Development, October 14 - 16, Iasi, Romania (poster).

16. *Assessing pollution prevention and waste management scenarios using specific sustainability indicators*, (2011), Maria Emiliană Fortună, **Isabela Maria Simion**, Maria Gavrilăscu, International symposium „Environment and Industry”- Section Chemical Science, 16 – 18 November 2011, Bucharest, Romania (poster).

17. *Life cycle assessment of construction and demolition waste*, (2011), **Isabela Maria Simion**, Maria Emiliană Fortună, Maria Gavrilăscu, INCD ECOIND, International symposium „Environment and Industry”- Section Chemical Science, 16 – 18 November, Bucharest, Romania (poster).

18. *Use of sustainable indicators in solid waste management*, (2011), **Isabela Maria Simion**, Maria Emiliană Fortună, Maria Gavrilăscu, Days of the Faculty of Chemical Engineering and Environmental Protection „Materials and inovative processes”, 17-18 November, Iași – Romania (poster).

19. *Assessment of sustainability based on LCA. Case of woody biomass*, (2011), Maria Emiliană Fortună, **Isabela Maria Simion**, Maria Gavrilăscu, Congress International „Woodchem 2011”, 1-2 December, Strasbourg, France (poster).

## Workshop

1. *“What is sustainable technology? The role of life cycle-based methods in addressing the challenges of sustainability assessment of technologies”*, International Conference 18th IGWT Symposium 24-28 September 2012, „Federico Caffè” Faculty of Economics of the Roma Tre University, Roma, 27 September 2012, 10.00-17.30.

2. *“Assessment of environmental impacts in the life cycle of products and services”*, Technical Course, Exhibition Hall of the Library, Professor Emanuela Scimìa, Festival Green Economy District, 2<sup>nd</sup> edition October, 2012, 24-25-26-27-28 Square Ruffilli 3 Casalgrande (RE), 9.00-13.00 26 October, 2012, Italy.

## Training

*ANSYS CFD SUMMER SCHOOL*, training software simulation, Organized by ANSYS Italy Srl and ALMA MATER STUDIORUM - Università' di Bologna, Lab. 04, 2 Risorgimento Street, Bologna, 18-20 September 2012, 8.30-17.30.

## Săgiu cercetare

Universitatea din Bologna ALMA MATER STUDIORUM, Departamentul DICAM, Italia, sub îndrumarea doamnei Profesor Alessandra Bonoli, 1 Martie 2012 - 31 Octombrie 2012.