

REZUMAT

De la deșeu la materie primă: zgura de furnal folosită în producția de zinc secundar. Studiu de caz prin evaluarea ciclurilor de viață

Conducător de doctorat:

Prof. Univ. Dr. Ing. ALEXANDRU OZUNU

Doctorand:

Ing. VOICU-TEODOR MUICA

În ziua de astăzi, zincul are un rol de importanță majoră. De la utilizarea sa medicinală, pentru o bună dezvoltare a organismelor, până la utilizarea acestuia în industrie, pentru proprietățile sale anticorozive, zincul face parte din topul celor mai utilizate metale de pe planetă, împreună cu fierul, aluminiul și cuprul. În plus, zincul poate fi reciclat în mod economic și fără pierderea calității, fapt ce încurajează găsirea de noi și noi metode de a-l recupera.

În Europa ultimilor ani, s-a implementat din ce în ce mai puternic conceptul de Economie Circulară – există programe de acțiune adoptate la întreg nivelul Uniunii Europene, care în mare au ca scop așa-numita „închidere a buclei” ciclului de viață al produselor. Așadar, accentul este pus pe reutilizarea și reciclarea deșeurilor, ba mai mult pe transformarea acestora în materii prime pentru alte procese.

O problemă specifică a gestionării deșeurilor o reprezintă existența unor mari cantități de deșeuri generate în trecut, când singura modalitate de gestiune era depozitarea. Astfel de depozite „istorice” au impact semnificativ asupra mediului și necesită găsirea de soluții fezabile pentru închiderea lor.

Un astfel de depozit identificat este cel de la Sometra SA din Copșa Mică, județul Sibiu, pentru care este în plină dezbateră o strategie nouă de închidere, bazată pe principiile Economiei Circulare, respectiv închidere prin reciclarea categoriei principale de deșeu depozitat, zgura de furnal cu conținut de zinc, utilizând tehnologia Waelz.

Prezenta teză de doctorat este construită în jurul acestui studiu de caz, iar scopul principal al lucrării este de a analiza impactul ciclurilor de viață a zincului metalurgic obținut prin metoda convențională (din concentrate miniere naturale) comparativ cu zincul metalurgic obținut din oxizi de zinc, la rândul lor obținuți prin tehnologia Waelz, având ca materie primă zgura de furnal. Studiul este de tipul Evaluare Ciclului de Viață, după metoda consecvențială.

Primul capitol, intitulat „Stadiul cercetărilor și aplicațiilor tehnologice pentru obținerea zincului primar și secundar din materii prime, materii prime alternative și deșeuri”, elaborează în baza literaturii de specialitate o complexă analiză a metalurgiei zincului. Acest capitol include un scurt istoric al zincului, aspecte privind importanța lui în ziua de astăzi, precum și situația actuală a industriei. De asemenea, se prezintă aspecte privind procesele tehnologice aplicate pentru zinc, materiile prime folosite la producerea lui, dar și deșeurile rezultate și impactul acestei industrii asupra mediului. În continuarea capitolului, se descrie evoluția acestei ramuri industriale și încadrarea ei în conceptul de economie circulară – concept care este și el analizat în cadrul capitolului.

În capitolul 2, intitulat „Stadiul actual al valorificării/reciclării zgurii de furnal din metalurgia zincului primar. Depozitul de deșeuri Sometra SA”, se analizează diferitele studii, proiecte și aplicații tehnologice pentru valorificarea zgurii de furnal rezultată din metalurgia zincului primar. Capitolul introduce totodată și studiul de caz ales pentru teza de doctorat, și anume strategia și proiectul propus de Sometra SA pentru închiderea prin exploatare a propriei halde industriale de zgură. Acest capitol se bazează în mare parte pe studii de specialitate și informații puse la dispoziție de operatorul economic.

În capitolul 3, intitulat „Utilizarea Tehnologiei Waelz pentru obținerea zincului secundar din subproduse și deșeuri cu conținut de zinc. Studiu de caz: reciclarea zgurii ISP prin tehnologia Waelz la Sometra SA”, se prezintă în detaliu această tehnologie Waelz ce a fost aleasă de Sometra SA pentru reciclarea zgurii de furnal rezultate din activitățile anterioare a societății, și anume obținerea zincului și plumbului primar prin procedeul pirometalurgic Imperial Smelting Process (ISP).

Capitolul 4, intitulat „Evaluarea Ciclului de Viață. Considerații teoretice și practice”, prezintă un scurt istoric și informații de bază privind instrumentul Evaluării Ciclului de Viață. De asemenea, capitolul definește toate detaliile ce vor fi folosite în calculul Evaluării Ciclului de Viață și comparației rezultatelor viitoare.

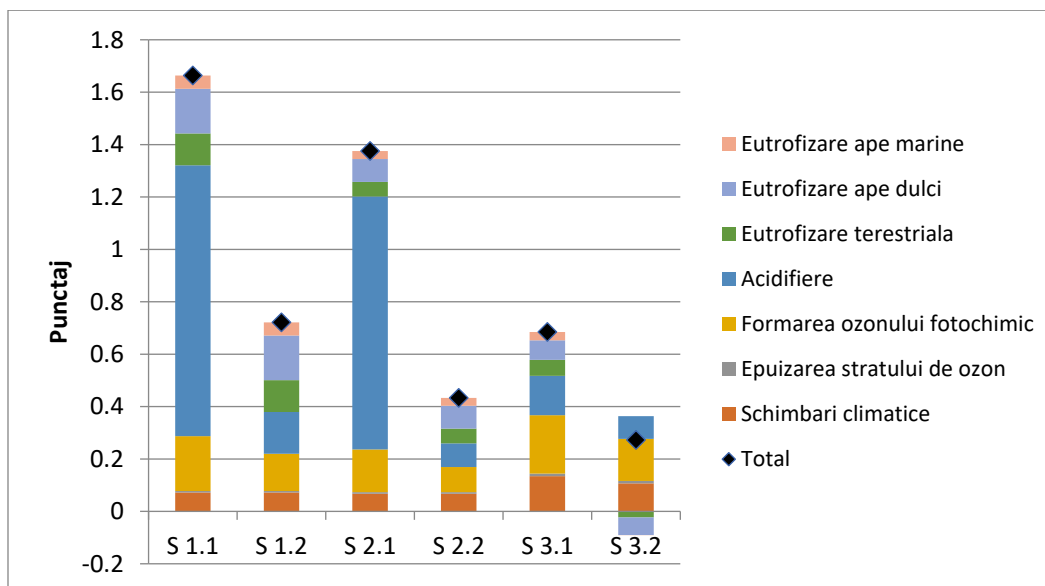
În capitolul 5, intitulat „Descrierea sistemelor și scenariilor evaluate. Analiza inventarului ciclului de viață”, reprezentând primul capitol de cercetare originală, se prezintă sistemele identificate și studiate, precum și diagramele acestora. Aceste sisteme vor fi propuse pentru analiză și comparare, în principal obiectivul fiind acela de a compara obținerea zincului din surse primare cu obținerea zincului din deșeuri cu conținut de zinc. Următorul tabel prezintă denumirea acestor scenarii:

Scenariu	Denumire
Scenariul 1.1	Zinc din concentrate miniere, ecoinvent, fără recuperare SO ₂
Scenariul 1.2	Zinc din concentrate miniere, ecoinvent, cu recuperare SO ₂
Scenariul 2.1	Zinc din concentrate miniere, personalizat, fără recuperare SO ₂
Scenariul 2.2	Zinc din concentrate miniere, personalizat, cu recuperare SO ₂
Scenariul 3.1	Zinc din oxizi Waelz, fără evitare de concentrate miniere
Scenariul 3.2	Zinc din oxizi Waelz, cu evitare de concentrate miniere

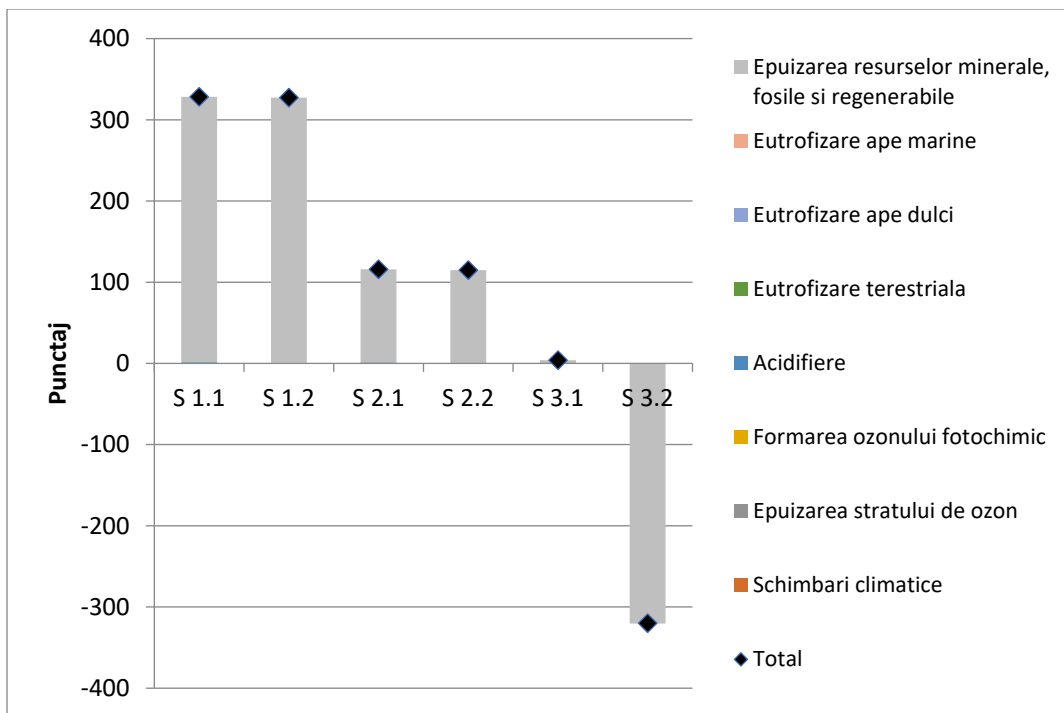
Capitolul 6, intitulat „Rezultate la evaluarea impactului ciclului de viață”, conține toate rezultatele calculelor pe această temă, utilizând programe speciale, culminând într-o secțiune de discuții pe baza acestora. Rezultatul final pentru toate scenariile identificate se poate observa în tabelul de mai jos, conform Punctajului Unic dezvoltat în cadrul metodei ILCD 2011 Midpoint+:

Categorie impact	S 1.1	S 1.2	S 2.1	S 2.2	S 3.1	S 3.2
Schimbări climatice	0.072448	0.072448	0.067295	0.067295	0.134213	0.103781
Epuizarea stratului de ozon	0.004937	0.004937	0.006311	0.006311	0.01018	0.008967
Formarea ozonului fotochimic	0.209461	0.142378	0.162805	0.095722	0.223007	0.154251
Acidifiere	1.034455	0.159475	0.965298	0.090318	0.150196	0.079593
Eutrofizare terestrială	0.121555	0.121555	0.055916	0.055916	0.060666	-0.03199
Eutrofizare ape dulci	0.170312	0.170312	0.087476	0.087476	0.074713	-0.08176
Eutrofizare ape marine	0.050247	0.050247	0.030306	0.030306	0.031729	-0.00406
Epuizarea resurselor minerale, fosile și regenerabile	326.617	326.617	114.4704	114.4704	3.200306	-320.199
Total	328.2804	327.3384	115.8458	114.9038	3.88501	-319.970

Pentru o imagine cât mai completă a rezultatelor finale, se va prezenta pentru început graficul punctajul unic pentru toate categoriile de impact mai puțin „epuizarea resurselor minerale, fosile și regenerabile”. S-a ales acest mod de prezentare întrucât scorul obținut de această categorie din urmă depășește cu mult scorurile obținute de toate celelalte, acest fapt putând fi observat în figurile ce urmează:



Comparație finală, punctaj unic, excluzând categoria epuizării resurselor



Comparație finală, punctaj unic, incluzând categoria epuizării resurselor

Indiferent că se include categoria de impact „epuizarea resurselor minerale, fosile și regenerabile”, se poate observa că scenariul 3.2 are scorul minimal, chiar negativ, însemnând că prin folosirea zgurii de furnal ca materie primă de bază pentru producerea zincului este cea mai benefică pentru mediul înconjurător.

Concluzia generală în urma calculelor și studiului comparativ între trei scenarii elaborate și trei variațiuni ale acestora este aceea că, deși în unele privințe poate părea că metoda alternativă este contraindicată, per total aceasta aduce multe beneficii mediului înconjurător, economiei și populației, și poate fi folosită ca și exemplu de urmat acolo unde astfel de materiale sunt regăsite.

Cuvinte cheie: zinc; economia circulară; depozite „istorice” de deșeuri; reciclare deșeuri; zgura de furnal; concentrate miniere; oxizi Waelz; oxizi de zinc; tehnologia Waelz; evaluarea ciclului de viață; evaluarea impactului ciclului de viață; optimizarea sistemelor;

CONTRIBUȚII ȘTIINȚIFICE

Publicații în reviste indexate ISI:

- Muica, V.-T.; Ozunu, A.; Török, Z., 2021, "Comparative Life Cycle Impact Assessment between the Productions of Zinc from Conventional Concentrates versus Waelz Oxides Obtained from Slags", Sustainability, 13:580, pp. 1-17
- Muica, V.-T.; Ozunu, A.; Török, Z., 2021, "New strategies and alternatives for closing historic industrial landfills. Case study: Copșa Mică", Environmental Engineering and Management Journal, 20:8, pp. 1395-1403

Alte publicații:

- Muica, V.-T., 2021 "Life Cycle Impact Assessment of Zinc Production – Conventional Concentrates Versus Waelz Oxides Obtained From Slags. Case Study and Comparative Analysis", 2021, în Mediul ca risc și urgență / Environment as Risk and Emergency, coord.: Burny, P.; Baciu, L.-C.; Botezan, C.S.; Petrescu, D.-C.; Vlad, G.

Prezentări orale la conferințe de specialitate:

- ELSEDIMA 2018 (Environmental Legislation, Safety Engineering and Disaster Management)
 - "Modular closing by valorification of S.C. Sometra S.A. Industrial landfill, Copșa Mică, Sibiu county". Susținută public în data de 17 mai 2018
- ISUMADECIP 2020 (Institutului de Cercetări pentru Sustenabilitate și Managementul Dezastrelor bazat pe Calcul de Înaltă Performanță)
 - "Economia circulară – responsabilizarea consumatorului industrial. Studiu de caz." Susținută online în data de 7 mai 2020.
- SICHEM 2020 (International Chemical Engineering and Material Symposium)
 - "Comparative life cycle impact assessment between the production of zinc from conventional concentrates versus waelz oxides obtained from slags". Susținută online în data de 17 septembrie 2020.
- ZASTR 2020 (Zilele Academiei de Științe Tehnice din România)
 - "Utilizarea zgurii de furnal ca materie primă alternativă în producția de zinc metalurgic, în contextul economiei circulare. Studiu de caz și analiză comparativă a ciclului de viață." Susținută online în data de 27 noiembrie 2020

BIBLIOGRAFIE (SELECTIE)

M. Hauschild, R. Rosenbaum și S. Olsen, Ed., „Life Cycle Assessment - Theory and Practice,” Charm, Switzerland: Springer International Publishing AG, 2018

H. Wenzel, „Application dependency of LCA methodology: Key variables and their mode of influencing the method,” The International Journal of Life Cycle Assessment, vol. 3, pp. 48-56, 1998

R. Sinclair, „The Extractive Metallurgy of Zinc,” Carlton, Australia: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy Spectrum Series vol. 13, 2005

B. Schwab și W. Schneider, „Zinc Recycling via the Imperial Smelting Technology—Latest Developments and Possibilities,” în Proceedings of the 4th International Symposium on Recycling of Metals and Engineered Materials, Pittsburgh, USA, 2000

P. Ghisellini, C. Cialani și S. Ulgiati, „A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems,” Journal of Cleaner Production, vol. 114, pp. 11-32, 2016

M. Ashby, „The Vision: a Circular Materials Economy,” în Materials and Sustainable Development, Boston, USA, Butterworth-Heinemann, 2016, pp. 211-239

V.-T. Muica, A. Ozunu și Z. Török, „New strategies and alternatives for closing historic industrial landfills. Case study: Copșa Mică,” Environmental Engineering and Management Journal, vol. 20, no. 8, 2021

P. Kozlov, The Waelz Process, Moscow: „Ore and metals” publishing house, 2003.

E. van Genderen, M. Wildnauer, N. Santero și N. Sidi, „A global life cycle assessment for primary zinc production,” International Journal of Life Cycle Assessment, vol. 21, p. 1580–1593, 2016

M. Hauschild, M. Goedkoop, J. H. R. Guinee, M. Huijbregts, O. Jolliet, M. Margni și A. De Schryver, „Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context - based on existing environmental impact assessment models and factors (International Reference Life Cycle Data System - ILCD handbook),” în ILCD Handbook, Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2011

V.-T. Muica, A. Ozunu și Z. Török, „Comparative Life Cycle Impact Assessment between the Productions of Zinc from Conventional Concentrates versus Waelz Oxides Obtained from Slags,” Sustainability, vol. 13, nr. 580, pp. 1-17, 2021

N. Santero și J. Hendry, „Harmonization of LCA methodologies for the metal and mining industry,” International Journal of Life Cycle Assessment, vol. 21, pp. 1543-1553, 2016

CUPRINSUL TEZEI

Abstract

Summary

Introducere

Obiective principale

Obiective secundare

Capitolul 1. Stadiul cercetărilor și aplicațiilor tehnologice pentru obținerea zincului primar și secundar din materii prime, materii prime alternative și deșeuri

1.1. *Scopul și importanța cercetării*

1.2. *Metalurgia zincului*

1.2.1. Scurt istoric al zincului

1.2.2. Zincul – proprietăți fizice, chimice și biologice

1.2.3. Zincul – metode de obținere

1.2.4. Zincul – producție, utilizări și consum

1.2.5. Beneficii și riscuri în funcționarea întreprinderilor de producție a zincului primar

1.3. *Economia circulară*

1.3.1. Noțiuni de dezvoltare durabilă

1.3.2. Contextul apariției economiei circulare

1.3.3. Deșeurile în contextul Economiei Circulare

1.3.4. Instrumentele folosite în Economia Circulară

1.4. *Concluzii pentru Capitolul 1*

Capitolul 2. Stadiul actual al valorificării/reciclării zgurii de furnal din metalurgia zincului primar. Depozitul de deșeuri Sometra SA

2.1. *Scopul și importanța cercetării*

2.2. *Zgura de furnal – deșeu principal rezultat din procesul pirometalurgic de obținere a zincului primar*

2.3. *Descrierea depozitului de deșeuri (halda industrială) Sometra SA.*

2.4. *Strategia și proiectul de închidere a haldei industriale Sometra SA.*

2.5. *Concluzii pentru Capitolul 2*

Capitolul 3. Utilizarea Tehnologiei Waelz pentru obținerea zincului secundar din subproduse și deșeuri cu conținut de zinc. Studiu de caz: reciclarea zgurii ISP prin tehnologia Waelz la Sometra SA.

3.1. *Scopul și importanța cercetării*

3.2. *Istoricul tehnologiei Waelz*

3.3. *Materii prime și auxiliare utilizate în instalațiile Waelz*

- 3.4. *Produse finite și deșeuri rezultate din tehnologia Waelz*
- 3.5. *Bazele teoretice ale tehnologiei Waelz*
 - 3.5.1. Prepararea și peletizarea șarjei
 - 3.5.2. Prelucrarea șarjei în cuptor rotativ tip Waelz
 - 3.5.3. Descrierea secțiunilor din cuptorul Waelz
- 3.6. *Studiu de caz: reciclarea zgurii ISP prin tehnologia Waelz la Sometra SA. Scop, rezultate, impact asupra mediului*
 - 3.6.1. Rezultate ale funcționării instalației Waelz Sometra SA, utilizând ca materie primă zgura ISP
 - 3.6.2. Funcționarea instalației Waelz Sometra SA – impact asupra mediului
 - 3.6.3. Dezvoltări viitoare ale tehnologiei Waelz la Sometra SA Copșa Mică
- 3.7. *Concluzii pentru Capitolul 3*

Capitolul 4. Evaluarea Ciclului de Viață. Considerații teoretice și practice.

- 4.1. *Scurt istoric al Evaluării Ciclului de Viață*
- 4.2. *Metodologia evaluării ciclului de viață*
- 4.3. *Definirea obiectivului și a domeniului de aplicare*
- 4.4. *Unitatea funcțională folosită în ECV*
- 4.5. *Identificarea și construirea sistemelor pentru produsele studiate*
- 4.6. *Analiza inventarului ciclului de viață*
- 4.7. *Energia marginală identificată și folosită în studiul ECV*
- 4.8. *Materiale evitate considerate în studiul de tip consecvențial*
- 4.9. *Alegerea metodologiei de calcul și categoriilor de impact asupra mediului*
- 4.10. *Evaluarea impactului ciclului de viață*
- 4.11. *Interpretarea rezultatelor evaluării impactului ciclului de viață*
- 4.12. *Concluzii pentru Capitolul 4*

Capitolul 5. Descrierea sistemelor și scenariilor evaluate. Analiza inventarului ciclului de viață

- 5.1. *Diagramele de flux generale a obținerii zincului*
- 5.2. *Scenariile evaluate*
 - 5.2.1. Scenariul 1.1: Zinc din concentrate miniere, ecoinvent, fără recuperare SO₂
 - 5.2.2. Scenariul 1.2: Zinc din concentrate miniere, ecoinvent, cu recuperare SO₂
 - 5.2.3. Scenariul 2.1: Zinc din concentrate miniere, personalizat, fără recuperare SO₂
 - 5.2.4. Scenariul 2.2: Zinc din concentrate miniere, personalizat, cu recuperare SO₂
 - 5.2.5. Scenariul 3.1 Zinc din oxizi Waelz, fără evitare de concentrate miniere
 - 5.2.6. Scenariul 3.2: Zinc din oxizi Waelz, cu evitare de concentrat
- 5.3. *Concluzii pentru Capitolul 5*

Capitolul 6. Rezultate la evaluarea impactului ciclului de viață.

- 6.1. *Rezultate individuale pentru fiecare scenariu și categorie de impact*
 - 6.1.1. Scenariul 1.1- Zinc din concentrate miniere, ecoinvent, fără recuperare SO₂
 - 6.1.2. Scenariul 1.2 - Zinc din concentrate miniere, ecoinvent, cu recuperare SO₂
 - 6.1.3. Scenariul 2.1 - Zinc din concentrate miniere, personalizat, fără recuperare SO₂
 - 6.1.4. Scenariul 2.2 - Zinc din concentrate miniere, personalizat, cu recuperare SO₂
 - 6.1.5. Scenariul 3.1 - Zinc din oxizi Waelz, fără evitare de concentrate miniere
 - 6.1.6. Scenariul 3.2 - Zinc din oxizi Waelz, cu evitare de concentrate miniere
- 6.2. *Rezultate grupate pentru fiecare categorie de impact*
 - 6.2.1. Schimbări Climatice
 - 6.2.2. Epuizarea stratului de ozon
 - 6.2.3. Formarea ozonului fotochimic
 - 6.2.4. Acidifierea
 - 6.2.5. Eutrofizare terestrială
 - 6.2.6. Eutrofizarea apelor dulci
 - 6.2.7. Eutrofizarea apelor marine
 - 6.2.8. Epuizarea resurselor minerale, fosile și regenerabile
- 6.3. *Comparație finală după metoda de caracterizare*
- 6.4. *Comparație finală după metoda ponderată, conform Punctajului Unic al metodologiei utilizate*
- 6.5. *Analiza sensibilității*
- 6.6. *Concluzii pentru Capitolul 6*

7. Concluzii generale

8. Dezvoltări pentru viitor

9. Bibliografie

10. Contribuții științifice

Lista Abrevierilor

Lista Tabelelor

Lista Figurilor