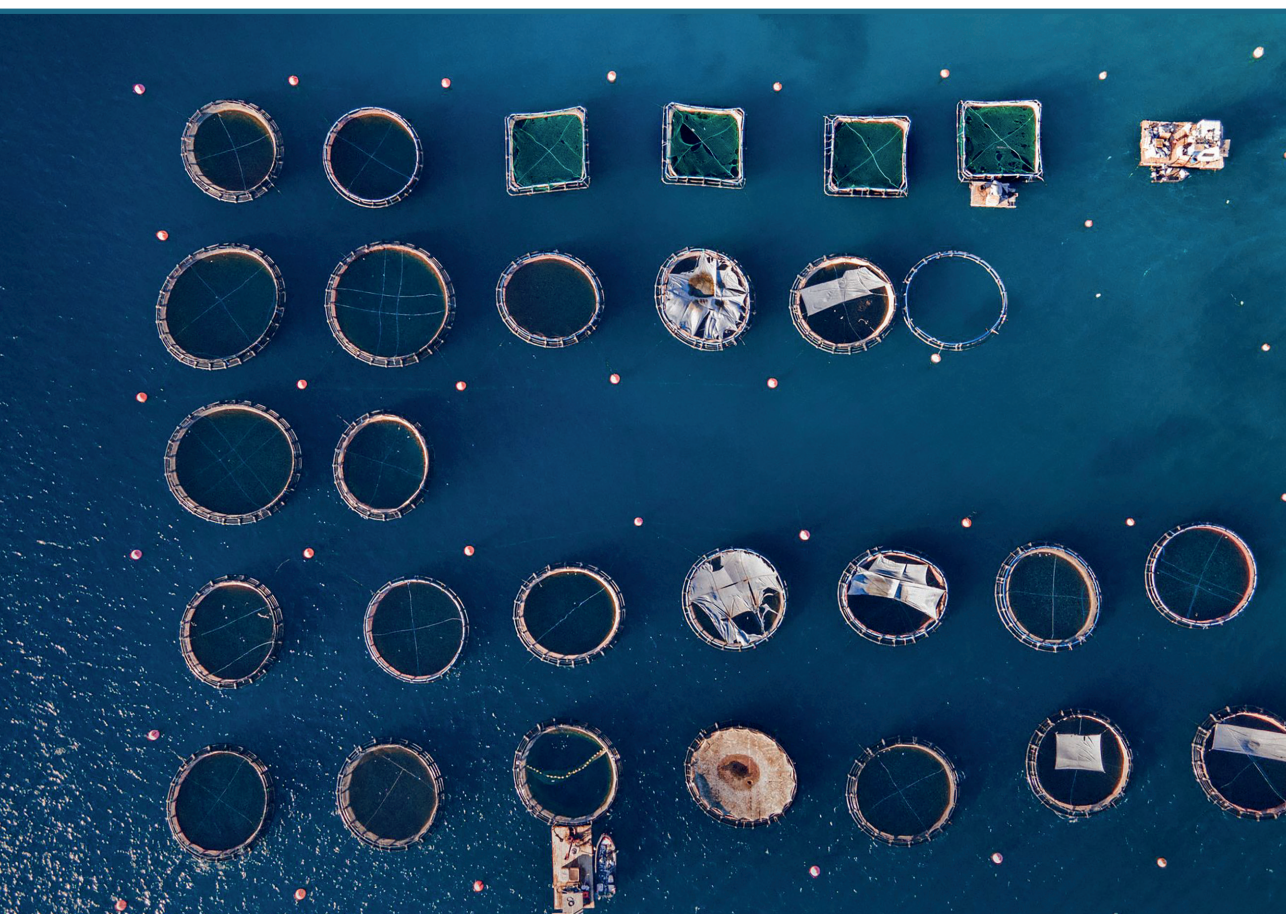


**Fabian Andres Diaz Sanchez**

# **ILGTSPĒJA PĀRTIKAS PIEGĀDES ĶĒDĒS: DZĪVES CIKLA PERSPEKTĪVA**

Promocijas darba kopsavilkums



**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**

Dabaszinātņu un tehnoloģiju fakultāte  
Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts

**Fabian Andres Diaz Sanchez**

Doktorantūras studiju programmas "Vides inženierija" doktorants

**ILGTSPĒJA PĀRTIKAS PIEGĀDES ĶĒDĒS:  
DZĪVES CIKLA PERSPEKTĪVA**

**Promocijas darba kopsavilkums**

Zinātniskais vadītājs

profesors *Dr. sc. ing.*

FRANCESCO ROMAGNOLI

RTU Izdevniecība

Rīga 2025

Sanchez Diaz F. A. Ilgtspēja pārtikas piegādes ķēdēs: dzīves cikla perspektīva. Promocijas darba kopsavilkums. Rīga: RTU Izdevniecība, 2025. 71 lpp.

Publicēts saskaņā ar promocijas padomes “RTU P-19” 2024. gada 26. jūnija lēmumu Nr. 207.

Attēls – *Milos Bicanski / Climate Visuals*.

<https://doi.org/10.7250/9789934372247>

ISBN 978-9934-37-224-7 (pdf)

# PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2025. gada 27. novembrī plkst. 14 Rīgas Tehniskās universitātes Dabaszinātņu un tehnoloģiju fakultātē, Āzenes ielā 12/1, 607. auditorijā.

## OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors *Dr. sc. ing.* Gatis Bažabauers,  
Rīgas Tehniskā universitāte

Profesors *Dr. sc. Andrea Capelli,*  
Romas *Sapienza* universitāte

Profesors *Dr. sc. Giuseppe Tomasoni,*  
*University of Brescia,* Itālija

## APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai. Promocijas darbs zinātniskā grāda iegūšanai nav iesniegts nevienā citā universitātē.

Fabian Andres Diaz Sanchez..... (paraksts)

Datums: .....

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā. Tajā ir ievads, četras nodaļas, secinājumi, 64 attēli, 47 attēli, 12 tabulas un septiņi pielikumi. Kopējais lappušu skaits ir 108, neskaitot pielikumus. Izmantotajā literatūrā ir 241 avots.

## LIETOTIE SAĪSINĀJUMI

<i>FSC</i>	pārtikas piegādes ķēde
<i>EPD</i>	Deklarācija par ekoloģiskajiem produktiem
<i>CSRDC</i>	Uzņēmumu ilgtspējīgas attīstības ziņojumu direktīva
<i>LCAL</i>	dzīves cikla novērtējums
<i>LCT</i>	dzīves cikla domāšana
<i>LCC</i>	dzīves cikla izmaksu aprēķins
<i>S-LCA</i>	sociālā dzīves cikla novērtējums
<i>PRISMA</i>	ieteicamie ziņošanas elementi sistemātiskiem pārskatiem un metaanalīzēm
<i>ICCEE</i>	aukstuma ķēdes energoefektivitātes uzlabošana
<i>EU</i>	Eiropas Savienība
<i>FAO</i>	Apvienoto Nāciju Organizācijas Pārtikas un lauksaimniecības organizācija
<i>SDGs</i>	ilgtspējīgas attīstības mērķi
<i>SCMS</i>	piegādes ķēdes vadība
<i>KPI</i>	galvenie veiktspējas rādītāji
<i>LCI</i>	dzīves cikla inventarizācija
<i>LCIA</i>	dzīves cikla ietekmes novērtējums
<i>TJS</i>	kopā par ilgtspējību
<i>ESG</i>	vides sociālā un pārvaldības joma
<i>CSR</i>	uzņēmumu sociālā atbildība
<i>GHG</i>	Siltumnīcefekta gāzes
<i>CDP</i>	oglekļa izmešu atklāšanas projekts
<i>SME</i>	mazie un vidējie uzņēmumi
<i>CFC</i>	hlora fluora oglūdeņraži
<i>ODP</i>	ozona noārdīšanas potenciāls
<i>HCFC</i>	hlorfluorogļūdeņraži
<i>GWP</i>	globālās sasilšanas potenciāls
<i>LCST</i>	dzīves cikla ilgtspējas rīks
<i>LCSA</i>	dzīves cikla ilgtspējas novērtējums
<i>C-LCC</i>	konvencionālā aprites cikla izmaksu aprēķināšana
<i>E-LCC</i>	vides aprites cikla izmaksu aprēķins
<i>S-LCC</i>	sabiedrības aprites cikla izmaksu aprēķins
<i>EoL</i>	kalpošanas laika beigas
<i>ABC</i>	darbībā balstīta izmaksu aprēķināšana
<i>FW</i>	pārtikas atkritumi
<i>EEM</i>	energoefektivitātes pasākumi
<i>FU</i>	funkcionālā vienība
<i>PCR</i>	produktu kategorijas noteikumi
<i>AD</i>	anaerobā fermentācija
<i>CHP</i>	kombinētā siltumenerģija un elektroenerģija
<i>DOC</i>	degradējams organiskais saturs
<i>SETAC</i>	Vides toksikoloģijas un ķīmijas biedrība
<i>CED</i>	kopējais enerģijas pieprasījums
<i>SNPV</i>	sociālā neto pašreizējā vērtība
<i>SCBA</i>	sociālo izmaksu un ieguvumu analīze

## SATURS

Lietotie saīsinājumi .....	4
1. Ievads .....	7
1.1. Pētījuma hipotēze .....	8
1.2. Mērķi un uzdevumi .....	9
1.3. Zinātniskā novitāte .....	9
1.4. Praktiskā nozīme .....	10
1.5. Darbības joma un ierobežojumi .....	10
1.6. Pētījuma sistēma .....	11
1.7. Pētījuma rezultātu apstiprināšana .....	13
1.8. Citas zinātniskās publikācijas .....	14
1.9. Dalība konferencēs .....	14
1.10. Vadītais un līdzvadītais maģistra darbs .....	15
2. Literatūras apskats un pētniecības nepieciešamība .....	16
2.1. Ilgtspējas koncepcija .....	16
2.2. Ilgtspēja pārtikas piegādes ķēdēs .....	17
2.3. Pārskats par ilgtspējības metodēm pārtikas piegādes ķēdēs .....	18
2.3.1. Satura analīze .....	19
2.3.2. Ilgtspējas novērtēšanas metodes nozares līmenī .....	21
2.4. Pārtikas piegādes ķēdes apsvērumi .....	22
2.4.1. Papildu apsvērumi par ilgtspējību .....	22
2.5. Pētījumu trūkumi .....	23
3. Metodoloģija .....	24
3.1. Pētījuma metodes .....	25
3.1.1. <i>PRISMA</i> protokols .....	25
3.1.2. Vides <i>LCA</i> .....	26
3.1.3. Aprites cikla izmaksu aprēķināšana .....	26
3.1.4. Sociālais <i>LCA</i> un tā izaicinājumi .....	28
3.1.5. Dzīves cikla ilgtspējas novērtējums .....	29
4. Rezultāti un diskusija .....	33
4.1. Gadījumu izpētes apraksts un galvenie rezultāti .....	33
4.1.1. Liellopu gaļas piegādes ķēde .....	33
4.1.2. Zivju piegādes ķēde .....	35
4.1.3. Olu piegādes ķēde .....	39
4.1.4. Pārtikas atkritumu valorizācijas ilgtspējības novērtējums .....	42
4.2. Dažādu scenāriju kopsavilkums .....	46
5. Dzīves cikla ilgtspējas rīks .....	48
5.1. <i>LCA</i> izejas rādītāji .....	49
5.2. <i>LCC</i> iznākuma rādītāji .....	50
5.3. <i>S-LCA</i> ( <i>S-LCC</i> ) izejas rādītāji .....	51
5.4. Datu vākšanas procedūra .....	51
5.5. Datu ievade .....	52
5.6. <i>LCA</i> datu apstrāde un rezultātu vizualizācija .....	53
5.7. <i>LCC</i> modeļošana .....	54
5.8. Rīka validācija .....	56
6. Secinājumi un ieteikumi .....	58
6.1. Secinājumi saistībā ar mērķiem .....	58

6.2. Ieteikumi .....	59
6.3. Ieteikumi turpmākajiem pētījumiem .....	60
BIBLIOGRĀFIJA .....	61

## 1. IEVADS

Ilgspēja mūsdienu straujās globalizācijas un tehnoloģiskā progresa apstākļos ir kļuvusi par centrālo tēmu vides aizsardzības un ekonomiskās attīstības diskursā. Šis jēdziens, kura pamatā ir izpratne par to, ka dzīvojam uz planētas ar ierobežotiem resursiem, pēdējās desmitgadēs ir būtiski attīstījies. Brundtlandes ziņojumā ilgspējīga attīstība tika definēta kā “spēja apmierināt pašreizējās cilvēku vajadzības, neapdraudot nākamo paaudžu spēju apmierināt savējās”. Tomēr ceļš no šīs pamatizpratnes līdz piemērošanai konkrētās nozarēs, piemēram, pārtikas piegādes ķēdēs, ir sarežģīts un niansētu problēmu pilns.

Pārtikas nozare, kas ir būtiska globālās ekonomikas sastāvdaļa, ilustrē sarežģīto savstarpējo mijiedarbību starp ekonomisko izaugsmi, vides pārvaldību un sociālo taisnīgumu. Problēmas šajā nozarē ietver oglekļa emisijas un resursu izmantošanu, pārtikas nekaitīgumu un atkritumu apsaimniekošanu, ko pastiprina globalizācijas izraisītā pārtikas piegādes ķēžu (*FSCs*) pagarināšanās. Starptautiskās organizācijas un tehnoloģiskās inovācijas cenšas mazināt šīs ietekmes, tāpēc *FSC* kontekstā kļūst nepieciešama konsekventa un kvantitatīva pieeja ilgspējas novērtēšanai.

Neraugoties uz ilgspējas nozīmes atzīšanu dažādās nozarēs, tās novērtēšanas metodoloģijām bieži trūkst pietiekama kontekstuālā dziļuma, un tās ignorē būtiskas ilgspējas īpašības. Lai gan finanšu dimensiju apskate ir svarīga, dominējošais fokuss uz tām nereti aizēno ne mazāk nozīmīgos vides un sociālos aspektus. Tādi instrumenti kā vides produkta deklarācijas (*EPDs*) un tādi regulatīvie ietvari kā Korporatīvās ilgspējas ziņošanas direktīva (*CSDR*) ir mēģinājumi mazināt šīs nepilnības. Tomēr tie bieži vien nespēj sniegt holistisku priekšstatu par produkta vai uzņēmuma ilgspēju.

Neraugoties uz panākto progresu, ilgspējas novērtēšana *FSC* ietvarā rada unikālus izaicinājumus. Tradicionālās metodes bieži nespēj aptvert pilnu vides, ekonomisko un sociālo ietekmju spektru. Piemēram, oglekļa marķējums un “pārtikas kilometri” (*food miles*) gan veicina patērētāju informētību, taču piedāvā ierobežotu perspektīvu, galvenokārt koncentrējoties uz vides pēdas nospiedumu un atstājot novārtā citas būtiskas ilgspējas dimensijas. Līdzīgi arī centieni mazināt pārtikas zudumus un atkritumus, lai gan tie ir vērtīgi, vēl pilnībā nerisina plašākās sociālā taisnīguma un ekonomiskās attīstības sekas.

Pētījumu tendences *FSC* ilgspējā pārsvarā balstās kvalitatīvās pieejas, kur gadījumu izpēte ir izplatīts metodoloģiskais instruments. Šādi pētījumi sniedz vērtīgas atziņas par dažādiem ilgspējas jautājumiem, tostarp piegādātāju pārvaldību un ilgspējīgas attīstības stratēģijām. Tomēr tiem nereti trūkst konsekventas teorētiskas ietvarstruktūras, kas atspoguļo šīs pētniecības jomas veidošanās stadiju. Turklāt ir steidzami nepieciešami padziļināti pētījumi, īpaši attīstības valstīs, kur infrastruktūras un loģistikas neefektivitātes var saasināt pārtikas atkritumu (*FW*) problēmu un vājināt ilgspējas centienus.

Reaģējot uz šiem izaicinājumiem, veidojas konsenss par nepieciešamību pēc holistiskām, multidimensionālām pieejām ilgspējas novērtēšanā *FSC* ietvarā. Šādas pieejas paredz integrēt “cietās” kvantitatīvās metodes, piemēram, dzīves cikla novērtējumu (*LCA*), ar “mīkstajām” kvalitatīvajām metodēm, nodrošinot visaptverošu izpratni par ilgspējas ietekmēm. Šāds metodoloģiju sajaukums ir būtisks, lai analizētu bieži novārtā atstātās jomas, piemēram, cilvēku veselību, kā arī uztura izvēļu savstarpējo saistību ar ietekmi uz vidi.



Šajā promocijas darbā tiek apgalvots, ka pašreizējai pieejai ilgtspējas novērtēšanai pārtikas piegādes ķēdē, lai arī labi iecerētai, jābūt vienotai un visaptverošai. Tiek uzsvērts, ka pastāv acīmredzams standarta, kvantitatīvi nosakāmas metodikas trūkums, kas integrētu ilgtspējas daudzšķautnaino dabu, aptverot gan vides, gan ekonomisko, gan sociālo dimensiju. Analītiski izjaucot pašreizējās metodoloģijas un izgaismojot atšķirības ilgtspējas novērtējumā, šis pētījums tiecas izstrādāt holistisku, pielāgojamu modeli visam pārtikas piegādes ķēžu spektram. Šis uzdevums ir ne vien akadēmiski nozīmīgs, bet arī kritiski svarīgs politikas veidotājiem un nozares līderiem, lai mazinātu plaisu starp teorētiskajiem ilgtspējas konceptiem un praktiski īstenojamiem, ietekmējošiem pasākumiem.

Kopsavēlot – šī pētījuma aktualitāti nosaka pieaugošās prasības pārtikas nozarei saskaņot darbību ar ilgtspējīgas prakses principiem globālo vides izaicinājumu apstākļos. Darbā argumentēts, ka patiesai ilgtspējas transformācijai pārtikas piegādes ķēdēs ir nepieciešama visaptveroša, kvantitatīvi balstīta metodoloģija.

### 1.1. Pētījuma hipotēze

Šajā promocijas darbā tiek izvirzīta hipotēze, ka, operacionalizējot dzīves cikla domāšanu (*LCT*) ar integrētu ietvaru, kas ietver vides *LCA*, dzīves cikla izmaksas (*LCC*) un sociālo dzīves cikla novērtējumu (*S-LCA*), ir iespējams nodrošināt kvantitatīvu, standartizētu un nozarei specifisku ilgtspējas izvērtējumu pārtikas piegādes ķēdēs (*FSCs*). Risinot pašreizējās metodoloģiskās nepilnības, piedāvātā pieeja pārsniedz fragmentārus novērtējumus un nodrošina universāli piemērojamu, tomēr pielāgojamu metodiku, kas atbilst pārtikas nozares unikālajām darbības un kontekstuālajām iezīmēm.

Promocijas darbā tiek pārbaudītas vairākas hipotēzes.

- 1. hipotēze (H1). Integrēts *LCT* ietvars var sistemātiski identificēt ilgtspējas karstos punktus un intervences iespējas dažādos *FSCs* posmos, ļaujot ieviest mērķētus pasākumus, piemēram, energoefektivitātes uzlabošanu un blakusplūsmu valorizāciju, kas potenciāli var samazināt vides ietekmes, vienlaikus saglabājot ekonomisko dzīvotspēju.
- 2. hipotēze (H2). Darba gaitā izstrādātais *Life Cycle Sustainability Tool (LCST)* nodrošina mērogojamu, caurskatāmu un uz lēmumu pieņemšanu vērstu mehānismu *LCT* ietvara operacionalizēšanai. Sniedzot rezultātus par standartizētiem vides, ekonomiskās un sociālās veiktspējas rādītājiem, ko papildina ekonomiskie rezultāti (piemēram, neto pašreizējā vērtība un iekšējā peļņas norma), rīks atbalsta pierādījumos balstītu lēmumu pieņemšanu gan lieliem, gan maziem un vidējiem uzņēmumiem (*SMEs*).
- 3. hipotēze (H3). *LCST* lietojums reālās gadījumu izpētēs (liellopu gaļas, zivju un olu aukstuma ķēdes) apstiprina tā praktisko īstenojamību un efektivitāti, demonstrējot spēju nodrošināt konsekventas un praktiski izmantojamas ilgtspējas atziņas, kas veicina apritīgumu, efektivitāti un saskaņotību ar *EU* un globālajiem ilgtspējas mērķiem.

Kopsavelkot – promocijas darbs postulē, ka dzīves cikla domāšanas operacionalizēšana ar pielāgotu rīku var nodrošināt konsekventus un darbībā izmantojamus ilgtspējas novērtējumus pārtikas nozarē, veicinot apritīgāku, efektīvāku un videi atbildīgāku piegādes ķēžu sistēmu.

## 1.2. Mērķi un uzdevumi

Galvenais promocijas darba mērķis ir izstrādāt un validēt visaptverošu, dzīves cikla domāšanā (*LCT*) balstītu metodoloģiju pārtikas piegādes ķēžu (*FSCs*) ilgtspējas standartizētai, kvantitatīvai novērtēšanai. Lai sasniegtu šo mērķi, definēti vairāki uzdevumi.

- Izpētīt pašreizējās ilgtspējas novērtēšanas metodes pārtikas sektorā, īpašu uzmanību pievēršot pārtikas piegādes ķēdēm, lai identificētu metodoloģiskās un praktiskās nepilnības, lietojamības barjeras un iespējas integrēt vides, sociālo un ekonomisko pīlāru.
- Pielāgot un izstrādāt *LCT* balstītu ietvaru, kas risina ilgtspējas vides, sociālās un ekonomiskās dimensijas, īpaši kontekstualizētu pārtikas piegādes ķēdēm.
- Lietot *LCT* metodoloģiju atlasītās pārtikas nozares gadījumu izpētēs (piemēram, liellopu gaļa, zivis, augļi, atkritumi, olas), lai pārbaudītu tās spēju fiksēt ilgtspējas kompromisus dažādās piegādes ķēžu konfigurācijās.
- Interpretēt *LCT* balstītu metodoloģiju, lai identificētu galvenos ilgtspējas karstos punktus pārtikas piegādes ķēdē, kas palīdz analizēt un mazināt ietekmi uz vidi, samazināt pārtikas zudumus un uzlabot pārtikas kvalitāti patērētāja galapunktos, tādējādi uzlabojot piegādes ķēdes kopējo ilgtspēju.
- Izstrādāt un validēt *LCT* lēmumu atbalsta rīku, kas ir lietotājam draudzīgs un uz nozari orientēts, nodrošina ieskatu vides pēdas nospiedumā, kā arī ekonomiskajā un sociālajā veiktspējā, veicina zināšanu pārnesi no akadēmijas uz industriju un atbalsta lēmumu pieņēmējus ilgtspējas stratēģiju ieviešanā reālās piegādes ķēdēs.

## 1.3. Zinātniskā novitāte

Promocijas darbs virza ilgtspējīgas piegādes ķēžu pārvaldības attīstību, pārejot no ilgtspējas un dzīves cikla domāšanas konceptuālās nozīmes uz šo principu operacionalizēšanu praktiskā, kvantitatīvā un nozarei specifiskā ietvarā pārtikas sektoram. Pētījums ievieš dzīves cikla ilgtspējas (*LCS*) ietvaru, kas integrē vides (*LCA*), ekonomiskās (*LCC*) un sociālās (*S-LCA*) dimensijas vienotā multidisciplinārā metodē, ko apstiprina reālās dzīves gadījumu izpēte.

Darba zinātniskā novitāte ir spēja pārvarēt plaisu starp teorētiskajiem ilgtspējas modeļiem un to praktisko īstenošanu. Neskatoties uz pastāvošajām fragmentētajām vai pārlieku vienkāršotajām pieejām, piedāvātais ietvars nodrošina universāli piemērojamu, tomēr lietotājam draudzīgu rīku, kas ļauj gan lieliem uzņēmumiem, gan *SMEs* konsekventi vērtēt un uzlabot ilgtspējas veiktspēju, īpašu uzmanību pievēršot pārtikas piegādes ķēdēm.

Sniedzot būtiskas atziņas piegādes ķēžu dalībniekiem un politikas veidotājiem, ietvars atbalsta tā izmantošanu gan reģionālā, gan globālā līmenī. Tādējādi šī pētījuma zinātniskais

pienesums ir kvantitatīvi nosakāma, pārnesama un visaptveroša ilgtspējas ietvara izveide pārtikas piegādes ķēdēm. Šī pieeja ne tikai virza globālos vides un sociālos mērķus, bet arī pārvērš nostiprinātos konceptus praktiski izmantojamā lēmumu atbalsta rīkā, kas spēj veicināt izmērāmas pārmaiņas nozares praksē.

#### 1.4. Praktiskā nozīme

Promocijas darbs sniedz novitāti, transformējot nostiprinātos dzīves cikla domāšanas principus praktiskā, lietotājam draudzīgā ietvarā, kas ļauj konsekventi novērtēt ilgtspēju pārtikas piegādes ķēdēs.

Konkrētāk – promocijas darbs nodrošina taustāmu praktisko vērtību, pārvarot plaisu starp akadēmisko pētniecību un reālo lietojumu ilgtspējīgas pārtikas piegādes ķēžu pārvaldībā. Izstrādātais dzīves cikla ilgtspējas rīks (*LCST*), kas balstīts visaptverošā *LCT* ietvarā, ir validēts ar empīrisku gadījumu izpēti liellopu gaļas, zivju un olu aukstuma ķēdēs. Promocijas darbā izstrādātie lietojumi demonstrē rīka spēju identificēt piegādes ķēdes posmus ar augstāko ietekmi, kvantificēt vides slogu un novērtēt energoefektivitātes pasākumu, piemēram, anaerobās gremošanas un atjaunojamās enerģijas integrācijas, izmaksu efektivitāti.

Praktiskā līmenī piedāvātais *LCST* ļauj piegādes ķēžu vadītājiem un lēmumu pieņēmējiem modelēt dažādus scenārijus, salīdzināt vides un ekonomiskos kompromisus un prioritizēt intervences, balstoties kvantitatīvos ilgtspējas veiktspējas rādītājos. Piemēram, Latvijas zivju aukstuma ķēdes gadījuma izpētē rīks palīdzēja identificēt energoefektivitātes pasākumus ar potenciālu nodrošināt zemāku vides ietekmi un uzlabot iekšējās peļņas līmeni.

Turklāt rīka dizains ļauj to pielāgot dažādiem pārtikas sektoriem un ģeogrāfijai, padarot to nozīmīgu politikas veidotājiem, īpaši topošo ES ilgtspējas direktīvu un korporatīvās ilgtspējas prasību kontekstā. Tā caurskatāmie rezultātu rādītāji un lietotājam draudzīgā saskarne padara rīku pieejamu mazajiem un vidējiem uzņēmumiem (*SMEs*), risinot bieži sastopamus ierobežojumus esošajā *LCA* programmatūrā.

Papildus izmantošanai nozarē metodoloģiskais ietvars un gadījumu izpētes atziņas kalpo kā vērtīgs resurss studiju programmām vides inženierijā, ilgtspējas analītikā un piegādes ķēžu vadībā. Rīks jau ir iekļauts maģistra darbu projektos Rīgas Tehniskajā universitātē, atbalstot studentu vadītus ilgtspējas novērtējumus reālos industriālos kontekstos.

Kopumā promocijas darbs piedāvā validētu, adaptējamu un pielāgojamu risinājumu sarežģītajam uzdevumam integrēt ilgtspēju pārtikas piegādes ķēdēs – ar pierādāmu ietekmi operacionālajā, stratēģiskajā un izglītības līmenī.

#### 1.5. Darbības joma un ierobežojumi

Promocijas darbs koncentrējas uz kvantitatīva ietvara izstrādi ilgtspējas novērtēšanai FSCs, izmantojot dzīves cikla domāšanas instrumentus. Pētījuma tvērums iekļauj:

- esošo ilgtspējas novērtēšanas modeļu analīzi – visaptverošu pārskatu un kritisku analīzi par pašreizējiem modeļiem un metodēm FSC ilgtspējas novērtēšanā;

- kvantitatīva ietvara izstrādi – jauna ietvara izveidi, kas kvantitatīvā veidā integrē ilgtspējas vides, ekonomisko un sociālo dimensiju un ir īpaši pielāgota *FSCs* unikālajām iezīmēm;
- gadījumu izpētes konkrētos *FSC* sektoros – izstrādātā ietvara piemērošanu atlasītām gadījumu izpētēm *FSC* ietvarā, aptverot posmus, piemēram, lauksaimniecību, pārstrādi, izplatīšanu un mazumtirdzniecību, lai ilustrētu tā piemērojamību un efektivitāti;
- dažādu ģeogrāfisko kontekstu izvērtēšanu – lai gan pētījums tiecas pēc globālas nozīmes, īpaša uzmanība tika pievērsta Eiropas piegādes ķēdēm, ņemot vērā datu pieejamību un pārtikas piegādes ķēdes nozīmīgumu šajos reģionos.

Lai arī šī pētījuma mērķis ir sniegt būtisku ieguldījumu *FSCs* ilgtspējas jomā, tā tvērumam un metodoloģijai ir noteikti ierobežojumi:

- datu pieejamība un uzticamība – ilgtspējas novērtējuma precizitāte un visaptveramība ir atkarīga no datu pieejamības un uzticamības dažādos *FSC* posmos;
- metodoloģiskie ierobežojumi – dažādu ilgtspējas dimensiju integrēšana vienotā kvantitatīvā ietvarā ir komplekss uzdevums, īpaši līdzsvarojot analīzes dziļumu un plašumu;
- vispārināmība – lai gan šajā pētījumā izstrādātais ietvars ir paredzēts pielāgošanai dažādiem *FSC* sektoriem, tā piemērojamība var atšķirties atkarībā no konkrētām nozares iezīmēm un ģeogrāfiskā konteksta;
- laika tvērums – pētījums koncentrējas uz aktuāliem un neseniem datiem, tādējādi ilgtermiņa ilgtspējas tendences un nākotnes projekcijas var nebūt fiksētas pilnībā;
- starpdisciplināri izaicinājumi – ņemot vērā ilgtspējas novērtējuma starpdisciplināro dabu, kas aptver vides zinātni, ekonomiku un sociālās zinātnes, šo daudzveidīgo perspektīvu sintezēšana vienotā ietvarā rada būtiskus izaicinājumus.

Pētījuma definētais tvērums un atzītie ierobežojumi skaidri nosaka pētījuma robežas un ekspektācijas. Tie nodrošina pētījumam ietvaru, kas garantē fokusētu un reālistisku pieeju pārtikas piegādes ķēžu ilgtspējas izpratnei un uzlabošanai.

## 1.6. Pētījuma sistēma

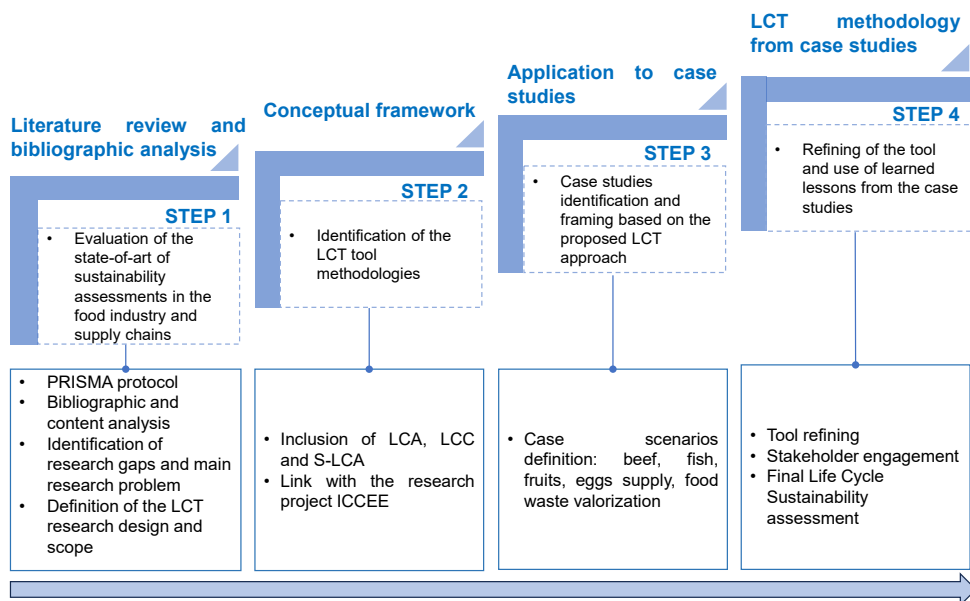
Promocijas darbā izmantots strukturēts pētniecības ietvars, kas pārvērš dzīves cikla domāšanas (*LCT*) konceptuālos pamatus praktiskā, operacionālā metodoloģijā, pielāgotā pārtikas nozarei. Ietvars seko loģiskai secībai, sākot ar esošo ilgtspējas novērtēšanas praksi izvērtējumu, turpinot ar jaunus metodoloģijas izstrādi un lietojumu un noslēdzot ar teorētiskiem sasniegumiem un praktiskiem pienesumiem. Daļa ietvara tika izstrādāta projektā “*Improving Cold Chain Energy Efficiency*” (*ICCEE*), kura izstrādē piedalījās arī promocijas darba autors un ko finansēja Eiropas Savienības pētniecības un inovāciju programma “*Horizon 2020*”

saskaņā ar granta līgumu Nr. 847040. Šī sadarbība bagātināja metodoloģisko dizainu un stiprināja pētījuma empīrisku dimensiju, nodrošinot tiešu nozares iesaisti.

Promocijas darbs ir strukturēts piecos pētniecības posmos, kas secīgi aptver literatūras pārskatu, metodoloģijas izstrādi, gadījumu izpētes lietojumus, rezultātus un diskusiju, kā arī galīgos secinājumus ar ieteikumiem. Katra nodaļa balstās iepriekšējā, nodrošinot saskaņotu virzību no pētījuma nepilnību identificēšanas līdz piedāvātās metodoloģijas validācijai un pilnveidei. Šāda struktūra garantē gan teorētisku dziļumu, gan praktisku nozīmīgumu, kulminējot visaptverošā izpratnē par implikācijām ilgtspējīgas pārtikas piegādes ķēžu pārvaldībā.

1.1. attēls sniedz pētījuma ietvara pārskatu, izceļot saiknes starp pētniecības mērķiem un *top-down* metodoloģisko pieeju [1]. Šis vizuālais attēlojums uzsver pētījuma sistemātisko un stingro raksturu, kā arī fokusu uz kritisko izaicinājumu risināšanu ilgtspējas novērtējumā.

Metodoloģiskās izvēles tika aprakstītas ar visaptverošu literatūras pārskatu, kurā identificētas modernākās kvantitatīvās ilgtspējas novērtēšanas pieejas. Tajās ietilpst dzīves cikla novērtējums (*LCA*), dzīves cikla izmaksu (*LCC*) un sociālais dzīves cikla novērtējums (*S-LCA*), ko papildina atzīti ietekmes novērtēšanas modeļi un starptautiskie standarti (piemēram, *ISO 14040/44* un *UNEP* vadlīnijas). Īss šo metožu apraksts sniegts 3. nodaļā, savukārt to integrācija un lietojums demonstrēti empīriskajās nodaļās. Plašākai diskusijai par teorētiskajiem pamatiem un praktiskajām implikācijām jāskatās pilnais promocijas darba teksts.



1.1. attēls. Promocijas darba pētniecības ietvars.

Ietvars sastāv no četriem secīgiem posmiem:

- 1. posms. Literatūras pārskats un bibliogrāfiskā analīze. Pētījums sākas ar sistemātisku esošo ilgtspējas novērtēšanas prakšu analīzi pārtikas piegādes ķēdēs (*FSCs*), īpašu uzmanību veltot *LCT* balstītām metodoloģijām (*LCA*, *LCC*,

*S-LCA*). Šis posms identificē metodoloģiskos robus un pašreizējo pieeju ierobežojumus, formulē pētījuma problēmu un nosaka metodoloģiskās izstrādes tvērumu.

- 2. posms. Konceptuālā ietvara izstrāde. Balstoties 1. posma atziņās, tiek izstrādāta standartizēta, kvantitatīva un multidimensionāla *LCT* metodoloģija. Šis ietvars skaidri integrē vides, ekonomiskās un sociālās dimensijas, vienlaikus pielāgojoties pārtikas piegādes ķēžu darbības un kontekstuālajām īpatnībām. Rezultāts ir nozarei specifisks konceptuāls modelis, kas operacionalizē *LCT* praktiski izmantojamā lēmumu atbalsta struktūrā.
- 3. posms. Lietojums gadījumu izpētēs. Piedāvātā metodoloģija tiek pārbaudīta empīriskā lietojumā atlasītās gadījumu izpētēs (liellopu gaļas, zivju un olu aukstuma ķēdes). Tās pārstāv nozares kritiskos segmentus, kas izvēlēti to energoietilpīgo procesu un ilgtspējas izaicinājumu dēļ. Gadījumu izpētes kalpo kā testēšanas platformas ietvara piemērojamības validēšanai, ilgtspējas “karsto punktu” identificēšanai, kompromisu izvērtēšanai un mērķētu intervenciju priekšlikumu izstrādei vides sloga mazināšanai un efektivitātes uzlabošanai.
- 4. posms. *LCT* metodoloģijas pilnveide. Gadījumu izpētēs gūtās atziņas tiek izmantotas metodoloģijas pilnveidei un stiprināšanai. Iteratīvais process palielina robustumu, lietojamību un pielāgojamību, rezultējoties *Life Cycle Sustainability Tool (LCST)* izstrādē. Šī pilnveide nodrošina metodoloģisko konsekvenci, standartizētus rādītājus un praktisku nozīmi gan politikas veidotājiem, gan nozares praktiķiem, tostarp mazajiem un vidējiem uzņēmumiem (*SMEs*).

Atbilstoši šim ietvaram promocijas darbs ir strukturēts nodaļās, kas aptver literatūras pārskatu, metodoloģijas izstrādi, gadījumu izpētes lietojumu, rezultātus un diskusiju, kā arī secinājumus ar ieteikumiem. Katra nākamā nodaļa balstās iepriekšējā, demonstrējot teorētiskās argumentācijas un empīriskās validācijas mijiedarbību.

### 1.7. Pētījuma rezultātu apstiprināšana

1. **Diaz, F.** et al. Effects of Energy Efficiency Measures in the Beef Cold Chain: A Life Cycle-based Study. *Environmental and Climate Technologies* 25, 343–355 (2021).
2. **Diaz Sanchez, F. A.,** Koiro, L. & Romagnoli, F. Energy Efficiency Measures on Cold Supply Chains Problem identification and gaps for the fish sector. Conference Proceedings of the IEEE 62nd International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON) 1–6 (IEEE, 2021). doi:10.1109/RTUCON53541.2021.9711739.
3. **Diaz, F.,** Koiro, L. & Romagnoli, F. Environmental and economic life cycle evaluation of potential energy efficiency measures on Latvian fish supply chain. *Future Foods* 6, 100203 (2022).

4. **Diaz, F.** et al. The ICCEE Toolbox. A Holistic Instrument Supporting Energy Efficiency of Cold Food and Beverage Supply Chains. *Environmental and Climate Technologies* 26, 428–440 (2022).
5. Ruiz, M. & **Diaz, F.** Life Cycle Sustainability Evaluation of Potential Bioenergy Development for Landfills in Colombia. *Environmental and Climate Technologies* 26, 454–469 (2022).
6. **Diaz, F.**, Pakere, I. & Romagnoli, F. Life Cycle Assessment of Low Temperature District Heating System in Gulbene Region. *Environmental and Climate Technologies* 24, 285–299 (2020).

Citi zinātniskie raksti, kas saistīti ar tēmu, bet nav iekļauti promocijas darbā

- Zlaugotne, B., **Diaz Sanchez, F. A.**, Pubule, J. & Blumberga, D. Life Cycle Impact Assessment of Microalgae and Synthetic Astaxanthin Pigments. *Environmental and Climate Technologies* 27, 233–242 (2023).
- Zlaugotne, B., **Sanchez, F. A. D.**, Pubule, J. & Blumberga, D. Protein Alternatives for Use in Fish Feed – Life Cycle Assessment of Black Soldier Fly, Yellow Mealworm and Soybean Protein. *Environmental and Climate Technologies* 27, 581–592 (2023).

### 1.8. Citas zinātniskās publikācijas

- **Diaz, F.** & Cilinskis, E. Use of Multi-Criteria TOPSIS Analysis to Define a Decarbonization Path in Colombia. *Environmental and Climate Technologies* 23, 110–128 (2019).
- Vamza, I., **Diaz, F.**, Resnais, P., Radziņa, A. & Blumberga, D. Life Cycle Assessment of Reprocessed Cross Laminated Timber in Latvia. *Environmental and Climate Technologies* 25, 58–70 (2021).
- Bumbiere, K., **Diaz Sanchez, F. A.**, Pubule, J. & Blumberga, D. Development and Assessment of Carbon Farming Solutions. *Environmental and Climate Technologies* 26, 898–916 (2022).

### 1.9. Dalība konferencēs

- **Diaz, F.** & Cilinskis, E. Use of Multi-Criteria TOPSIS Analysis to Define a Decarbonization Path in Colombia. *The Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT 2019*. Rīga.
- **Diaz Sanchez, F. A.**, Koiro, L. & Romagnoli, F. Energy Efficiency Measures on Cold Supply Chains Problem identification and gaps for the fish sector. *IEEE 62nd International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, 2021. Rīga.

- Ruiz, M. & Diaz, F. Life Cycle Sustainability Evaluation of Potential Bioenergy Development for Landfills in Colombia. *The Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT 2022*. Riga.
- Diaz, F. et al. The ICCEE Toolbox. A Holistic Instrument Supporting Energy Efficiency of Cold Food and Beverage Supply Chains. *The final ICCEE conference, towards more energy efficient companies – focus on various industry sectors*. Riga.

#### **1.10. Vadītais un līdzvadītais maģistra darbs**

- Arnis Dzalbs. Analysis and modelling of the cold supply chain of frozen berries: a life cycle-based approach for a Latvian case study. RTU, 2020.
- Lolita Koiro. Energy efficiency measures on cold supply chains- quantitative approach based on life cycle thinking perspective. RTU, 2021.
- Lelde Matuko. Life cycle assessment of cold supply chains: a case study of a Latvian egg producer. RTU, 2022.



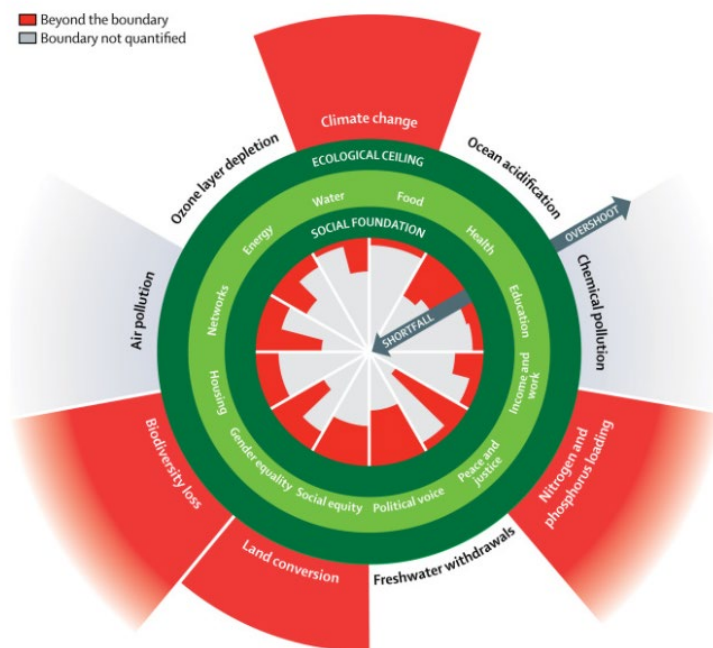
## 2. LITERATŪRAS APSKATS UN PĒTNIECĪBAS NEPIECIEŠAMĪBA

### 2.1. Ilgtspējas koncepcija

Pasaule arvien vairāk apzinās, ka planētas resursi ir ierobežoti, un tas uzsvēr nepieciešamību pēc ilgtspējīgām sistēmām. Šī atziņa veido ilgtspējības pamatu, kas pirmo reizi definēta 1987. gada Bruntlandes ziņojumā kā “spēja apmierināt pašreizējās cilvēku vajadzības, vienlaikus aizsargājot nākamo paaudžu intereses” [2]. Ilgtspējība ir galīgais mērķis, savukārt ilgtspējīga attīstība ir nepārtraukts process tās sasniegšanai. Bruntlandes ziņojumā tika ieviests paaudžu taisnīgums, bet “vajadzību” definīcija palika neskaidra, radot bažas par ekonomiskās izaugsmes un ietekmes uz vidi saistību. Ziņojumā galvenā uzmanība tika pievērsta cilvēku vajadzībām, nepārprotami neaplūkojot dabisko vidi, lai gan tika uzsvērta tās aizsardzība.

Līdz 2000. gadam tika izstrādāta pilnveidota ilgtspējīgas attīstības definīcija, kas integrē ekoloģisko, ekonomisko un sociālo dimensiju un veicina sociālo taisnīgumu bez kompromisiem vides jomā [3]. No ekoloģiskās ekonomikas viedokļa attīstība tiek uzskatīta par cilvēku labklājības uzlabošanu līdztekus ilgtspējīgai dabas resursu izmantošanai [4]. Šī pieeja prasa saskaņot vides vērtēšanas un politikas pamatnostādnes, lai novērstu neatgriezenisku ekoloģisko kaitējumu, ko izraisa ekosistēmu nestspējas un noturības sliekšņu pārkāpšana [5].

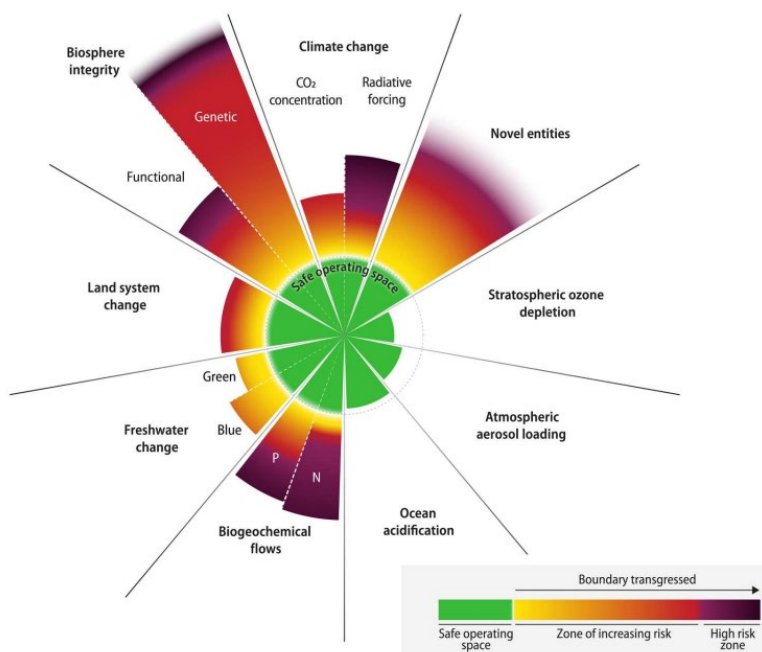
Šī jaunā perspektīva veicināja planētas robežu atzīšanas [6] un “pīrāga ekonomikas” modeļa izstrādi, kas apvieno sociālos un vides apsvērumus [7], ko atspoguļo sociālās un ekoloģiskās robežas (2.1. attēls).



2.1. attēls. Sociālo un ekoloģisko robežu attēlojums [7].

Planētas robežas, kas noteiktas 2009. gadā, ir drošas robežas, kurās cilvēce var darboties, neizjaucot Zemes sistēmas [6]. Šīs robežas ir ļoti svarīgas, lai izprastu vides ilgtspēju un noteiktu ekosistēmas stabilitātes robežas. Nesen veiktajos pētījumos, tostarp Stokholmas izturētspējas centra darbā, ir apzinātas deviņas kritiskās planētas robežas, no kurām sešas jau ir pārkāptas, uzsverot nepieciešamību steidzami rīkoties globālā mērogā vides jomā (2.2. attēls) [9].

2015. gadā Bjērn un citi ierosināja integrēt planētas robežu sistēmu ar *LCA*, lai novērtētu “absolūto ilgtspēju”, nodrošinot to, ka cilvēka darbība nepārsniedz ekoloģiskās robežas [11]. Šī sistēma ir kļuvusi ļoti svarīga zinātniekiem un politikas veidotājiem, piedāvājot skaidras vadlīnijas, kā risināt pieaugošās vides problēmas.



2.2. attēls. Planētas deviņu robežu pašreizējais stāvoklis [9].

## 2.2. Ilgtspēja pārtikas piegādes ķēdēs

Pārtikas rūpniecības ietekme uz vidi un sociālo jomu ir būtiska, jo šī nozare ir ļoti atkarīga no zemes un resursu izmantošanas – 70 % ES zemes tiek izmantota lauksaimniecībā vai mežsaimniecībā, kas būtiski ietekmē nodarbinātību laukos un dabas kapitāla saglabāšanu. Nozare 2012. gadā radīja vairāk nekā 1000 miljardus eiro, veidojot 12,8 % no ES ražošanas vērtības un nodarbinot vairāk nekā 4,3 miljonus cilvēku [12], [13], [5].

Piegādes ķēdēs šajā nozarē ir ļoti sarežģītas un ietver vairākus posmus dažādās nozarēs, piemēram, lauksaimniecībā, akvakultūrā, iepakojšanā un loģistikā. Higiēnas un saldēšanas prasības ir palielinājušās globalizācijas dēļ, kā arī vēl vairāk palielinājies enerģijas patēriņš un resursu izmantošana [14]. Pārtikas zudumi, ko izraisa nekaitīguma un ātrbojības problēmas, rodas vairākos PĶI posmos, saasinot sabiedrības un vides problēmas [15]–[17].

Starptautiskās organizācijas, piemēram, *FAO* un *UNEP*, koncentrējas uz pārtikas atkritumu samazināšanu, izmantojot tehnoloģiskos sasniegumus uzglabāšanas un uzraudzības jomā [18], [19]. Arī privātā sektora kosmētikas standarti pārtikas mazumtirdzniecībā veicina pārtikas izšķērdēšanu, jo īpaši attiecībā uz svaigiem produktiem, tāpēc ir nepieciešamas atkritumu reģenerācijas stratēģijas, lai sasniegtu ilgtspējīgas attīstības mērķa 12.3. mērķi līdz 2030. gadam uz pusi samazināt pārtikas izšķērdēšanu [20]–[22].

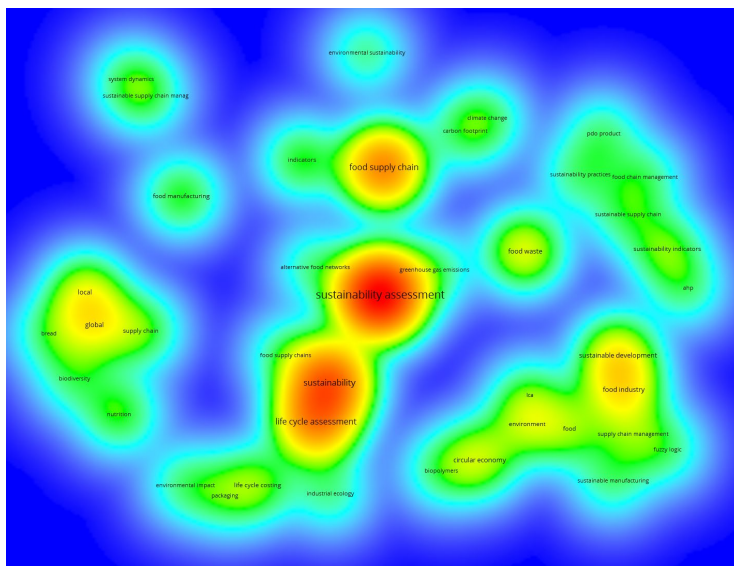
Piegādes ķēdes pārvaldībai (*SCM*) ir potenciāls risināt gan ētikas, gan vides problēmas visā piegādes ķēdē [23]. Tomēr *FSC* ilgtspēju sarežģī tādi faktori kā ātrbojīgums, mainīgās patērētāju vēlmes un darba apstākļi. Pašreizējos pētījumos ilgtspējības jautājumu izpētei lielākoties tiek izmantotas kvalitatīvas metodes, piemēram, gadījumu izpēte [23]–[25], bet ir nepieciešami papildu pētījumi, lai labāk izprastu *FSC* ilgtspējību, jo īpaši jaunattīstības valstīs, kur neefektivitāte loģistikā var palielināt pārtikas izšķērdēšanu.

### 2.3. Pārskats par ilgtspējības metodēm pārtikas piegādes ķēdēs

Sistemātisks literatūras pārskats par ilgtspējas novērtēšanu pārtikas nozarē, jo īpaši *FSC*, tika veikts, izmantojot *PRISMA-2020* protokolu [26], ņemot vērā patērētāju, ražotāju un politikas veidotāju pieaugošu uzmanību pārtikas sistēmu ilgtspējai [27].

Pēdējos gados *FSC* ilgtspējības pētniecība ir strauji pieaugusi – 2021. un 2022. gadā ir identificēti 14 būtiski dokumenti, kas ir par 250 % vairāk nekā iepriekšējā desmitgadē. Bibliogrāfiskā analīze liecina, ka visvairāk citētie atslēgvārdi literatūrā ir “klimata pārmaiņas”, “pārtikas piegādes ķēdes” un “piegādes ķēde”, kam seko “aprites cikla novērtējums”, “ilgtspējība” un “sistēmas dinamika”. Līdzāspastāvēšanas dati liecina, ka no 2016. līdz 2020. gadam “ilgtspējas novērtējums” bieži parādās līdzās “pārtikas piegādes ķēdei”, “vietējais”, “globālais”, “pārtikas rūpniecība” un “uzturs”.

2.3. attēlā uzsvērts, ka pārtikas apgādes ķēdēs ilgtspējības novērtējumi tiek apvienoti ar aprites cikla novērtēšanas metodoloģijām. Lai gan bibliogrāfiskā analīze ir ļoti svarīga, lai izprastu pētniecības jomas pamatjēdzienus, tika veikta 95 dokumentu galīgā satura analīze, papildus paplašinot attiecīgo literatūru, izmantojot *AI* rīku *Research Rabbit* [28].



2.3. attēls. Bibliogrāfiskā blīvuma karte ilgtspējas novērtēšanai pārtikas nozarē.

### 2.3.1. Satura analīze

Neseno pētījumu satura analīze ir parādījusi pārtikas ķēdes konfigurācijas sarežģīto ietekmi uz veselību un ilgtspēju, uzsvērt uztura izvēles un ietekmes uz vidi savstarpējo saistību. Pētnieki iestājas par daudzdimensionālu pieeju ilgtspējas novērtējumiem, iekļaujot kvantitatīvas metodes, piemēram, *LCA*. Tiek uzskatīts, ka tas nodrošina visaptverošu plašākas ietekmes uz ilgtspēju novērtējumu, tostarp tādu bieži nepamanītu faktoru kā cilvēka veselība [29].

Ražošanai pārtikas nozarē ir būtiska ietekme uz vidi, sociālo un ekonomisko jomu. Lai gan esošās ilgtspējas metodes lielākoties koncentrējas uz vides faktoriem, kā konstatēja *Ahmad* un *Wong* (2019) [30]. Viņu pētījumā tika ierosināti 57 ilgtspējas rādītāji, tostarp sociālie, vides un ekonomiskie faktori, un tika izmantota izplūdušā loģika un Montekarlo simulācijas, lai pārvaldītu ilgtspējas novērtējumiem raksturīgās nenoteiktības [30]. Šī pieeja iezīmēja pāreju uz integrētākiem un detalizētākiem ilgtspējas rādītāju novērtējumiem pārtikas ražošanā.

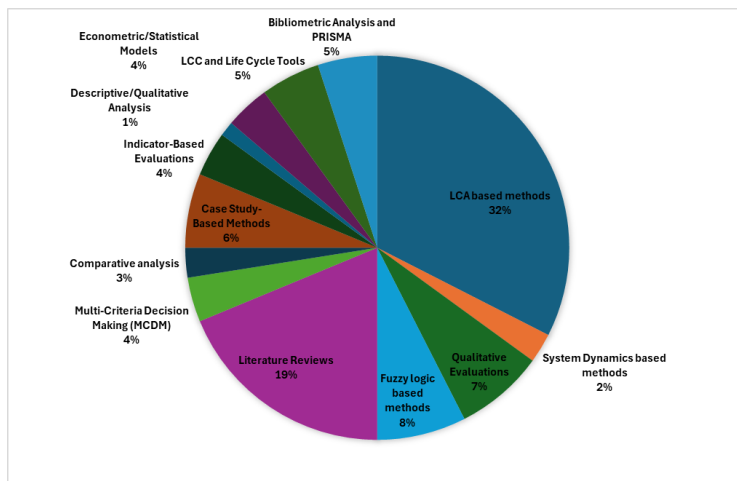
Turpmāka 95 dokumentu satura analīze ļāva sagrupēt metodes, kā norādīts turpmāk (2.1. tabula).

## FSC ILGTSPĒJĪBAS NOVĒRTĒŠANAS METOŽU SARAKSTS

Metode	# dokumentu	Atsauce
<i>LCA</i> balstītas metodes	26	[31], [29], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [41], [42], [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49], [50], [51], [52], [53], [54], [55]
Sistēmas dinamikā balstītas metodes	2	[56], [57]
Kvalitatīvie novērtējumi	6	[58], [59], [60], [61], [62], [63]
Izplūdušā loģikā balstītas metodes	6	[30], [64], [65], [66], [67], [68]
Literatūras apskats	15	[25], [58], [69], [70], [71], [72], [73], [74], [75], [76], [77], [78], [79], [80]
Daudzkritēriju lēmumu pieņemšana ( <i>MCDM</i> )	3	[51], [53], [68]
Salīdzinošā analīze	2	[29], [81]
Gadījumu izpētē balstītas metodes	5	[27], [82], [83], [84], [85]
Rādītājos balstīti novērtējumi	3	[86], [87], [88]
Aprakstošā/kvalitatīvā analīze	1	[89]
Ekonometriskie/statistiskie modeļi	3	[90], [91], [92]
<i>LCC</i> un citi aprites cikla rīki	4	[38], [48], [55], [93]
Bibliometriskā analīze un <i>PRISMA</i>	4	[24], [70], [75], [94]

Satura analīze uzsver vairākas *LCA* priekšrocības, jo īpaši tās visaptverošo tvērumu, novērtējot ietekmi uz vidi visā produkta dzīves ciklā [31]–[33]. *LCA* ļauj noteikt kritiskās jomas, kurās jāveic ilgtspējības uzlabojumi, un vairākus vides faktorus, piemēram, siltumnīcefekta gāzu emisijas un resursu izmantošanu, kas palīdz scenāriju plānošanā un ilgtermiņa ilgtspējības stratēģijās. Tādējādi var secināt, ka *LCA* ir ieteicamākā metode ilgtspējības novērtēšanai pārtikas piegādes ķēdēs, kā redzams šajos piemēros (2.4. attēls).

*LCA* ir ierobežojumi, piemēram, tās sarežģītība, vajadzība pēc plašām datu kopām, augstas izmaksas un skaitļošanas prasības, kas var būt izaicinājums mazākiem uzņēmumiem. Tā bieži vien galvenokārt koncentrējas uz vides faktoriem, atstājot novārtā sociālekonomiskos aspektus, un to ir grūti piemērot dažādos reģionos vai nozarēs. Kvalitatīvās metodes veicina ieinteresēto personu iesaisti un starpdisciplināru sadarbību, taču tās saskaras ar mērogojamības problēmām un prasa pielāgošanu konkrētam kontekstam. Neskaidras loģikas metodes risina nenoteiktības problēmas, apvienojot kvalitatīvos un kvantitatīvos datus, lai gan tās ievieš subjektivitāti un neatbilstību standarta *LCIA* metodēm.



2.4. attēls. FSC ilgtspējības novērtēšanas metodes.

### 2.3.2. Ilgtspējas novērtēšanas metodes nozares līmenī

Lai novērtētu uzņēmumu darbību ilgtspējīgas attīstības aspektā, tiek izmantotas dažādas ilgtspējīgas attīstības novērtēšanas metodes, piemēram, Pasaules Biznesa padomes ilgtspējīgai attīstībai, Globālās ziņošanas iniciatīvas un *ESAO* izstrādātās metodes [95]–[97]. Rādītāji un saliktie rādītāji arvien vairāk tiek atzīti par svarīgiem politikas veidošanas un publiskās komunikācijas instrumentiem, lai gūtu noderīgu ieskatu [98]–[102]. Šie novērtējumi palīdz lēmumu pieņēmējiem izprast integrētas dabas un sabiedrības sistēmas un veicināt ilgtspējīgu praksi [103].

Dažādās nozarēs ilgtspējas pieeja ir atšķirīga. Piemēram, ķīmijas rūpniecībā tiek ievērota “*Together for Sustainability*” (*TfS*) sistēma, kas novērtē tikai SEG emisijas [104]. Turpretī kopš 2000. gadu sākuma plaši izplatīta ir kļuvusi vides, sociālā un pārvaldības (*ESG*) sistēma, kas uzņēmumiem palīdz pārvaldīt ilgtspējas riskus un iespējas saistībā ar dažādām problēmām, tostarp klimata pārmaiņām un sociālo taisnīgumu [105], [106]. Tomēr *ESG* ziņošana galvenokārt atbalsta finanšu ilgtspējības lēmumus un tieši neatspoguļo vispārējo ilgtspējības sniegumu, jo tai trūkst kontekstā balstītas pieejas [107], [108].

Jauni noteikumi, piemēram, ES Uzņēmumu ilgtspējīgas attīstības ziņošanas direktīva (*CSRD*), nosaka standartizētu informācijas atklāšanu par *ESG* un ilgtspējību, kas atbilst plašākiem ilgtspējīgas attīstības mērķiem [109], [110]. Citas nozares, piemēram, būvniecība, ir pieņēmušas *EPD*, lai sniegtu pārredzamus datus par produktu dzīves cikla ietekmi uz vidi, bet neņem vērā finanšu un sociālo dimensiju [111].

Tādi *LCA* rīki kā *SimaPro* un *GaBi* saskaras ar dzīves cikla inventarizācijas (*LCI*) reāllaika korekcijas un sarežģītu sistēmu robežu ierobežojumiem, kas padara tos mazāk praktiskus SME [110]. Lai veicinātu ilgtspējas novērtēšanas rīku plašāku ieviešanu, ir nepieciešama lietotājam draudzīga, pieejama un droša *LCA* programmatūra, kas ļautu pat profesionāļiem ar pamatzināšanām *LCA* jomā iegūt precīzus rezultātus.

### 2.3.3. Pārtikas piegādes ķēdes apsvērumi

Iedzīvotāju skaita pieaugums pasaulē un tirdzniecības liberalizācija ir veicinājuši *FSC* globalizāciju, un tā rezultātā palielinās attālums no ražošanas līdz patēriņam, palielinās resursu izmantošana un emisijas [15], [29]. Tādi centieni kā oglekļa dioksīda marķēšana un “oglekļa jūdzes” ir vērsti uz patērētāju informētības palielināšanu, taču šīs iniciatīvas tikai daļēji risina kopējo vides slodzi [112], [113].

Lai mazinātu šo ietekmi, ir svarīgi ieviest ilgtspējīgākus pārtikas un pārtikas produktu ražošanas standartus, jo pārtikas zudumi rada izmaksas gan sabiedrībai, gan videi. *FAO*, *WFP* un *UNEP* strādā pie tā, lai samazinātu pārtikas zudumus, kas ir ļoti svarīgi, lai sasniegtu “nulles bada izaicinājumu” [21], [114], un jaunās tehnoloģijas, tostarp viedā uzraudzība un temperatūras kontrole, ir galvenais, lai samazinātu pārtikas zudumus, vienlaikus saglabājot kvalitāti [115], [116].

*FSC* pārvaldību ietekmē arī patērētāju pieprasījums pēc augstas kvalitātes un videi nekaitīgiem produktiem [117]. Taču, lai saglabātu pārtikas kvalitāti, jo īpaši attiecībā uz ātrbojīgām precēm, ir rūpīgi jāsabalansē drošība, efektivitāte un rentabilitāte. Pārtikas un lauksaimniecības organizācija (*FAO*) pārtikas atkritumus (*PP*) definē kā nolaidības dēļ izmetu pārtiku, arvien lielāku uzmanību pievēršot tās ietekmei uz vidi un sociālo jomu [121]–[123].

*FW* rodas dažādos posmos, un 25–40 % atkritumu lielveikalos bieži vien vēl vairāk saasina tas, ka mazumtirgotāji noraida ēdamus pārtikas produktus, pamatojoties uz to izskatu [128], [130]. Pasaulē 30 % no saražotās pārtikas tiek zaudēti, un *FAO* ziņo, ka ik gadu tiek izšķiesti 1,3 miljardi tonnu pārtikas, kas ir 48 % kaloriju zudumi [135], [136].

Pārtikas zudumu novēršana ir ļoti svarīga globālai ilgtspējībai, cilvēku veselībai un resursu saglabāšanai [137]. Diskusijās par klimata pārmaiņām liela uzmanība tiek pievērsta enerģijas ražošanai, bet pārtikas sistēma netiek ņemta vērā, lai gan tā rada 26 % no globālajām SEG emisijām. Lielākie emisiju avoti ir lopkopība, zivsaimniecība, augkopība un zemes izmantošana [138]. Ļoti svarīgi ir samazināt pārtikas izšķērdēšanu piegādes ķēdēs, jo PĶV darbības veido 18 % no pārtikas rūpniecības emisijām [139].

### 2.3.4. Papildu apsvērumi par ilgtspējību

*FSC* ietekme uz vidi ir gan tieša, ko rada resursu, piemēram, izejvielu un enerģijas, izmantošana, gan netieša, piemēram, pārtikas atkritumu ietekme. Mūsdienās aukstumiekārtās un transportēšanā izmantotajiem aukstumaģentiem, piemēram, daļēji halogēnētajiem hlorfluorogļūdeņražiem (HCFC), kas aizstāja *CFC*, ir zemāks *ONP*, bet tiem ir augsts globālās sasilšanas potenciāls (GSP), kas veicina klimata pārmaiņas un bioloģiskās daudzveidības samazināšanos [140], [141].

*FW* ir arī būtiska ietekme uz vidi, jo tā rada 3,3 Gt CO<sub>2</sub> ekvivalenta gadā, kas ir trešais lielākais emisiju avots pasaulē aiz ASV un Ķīnas, vērtējot pēc valsts lieluma [121]. *FW* rezultātā tiek iznīcināts milzīgs ūdens un zemes daudzums – gandrīz 1,4 miljardi hektāru, kas ir gandrīz trešdaļa no pasaules lauksaimniecības zemes.

*FSC* saskaras ar izaicinājumiem, ko rada normatīvais un vides spiediens, piemēram, izsekojamības un iepakojšanas standarti, kas dažādos reģionos atšķiras [142], [143]. Atkritumu

samazināšana un iepakojuma atkārtota izmantošana ir būtiski svarīga, lai uzlabotu ilgtspējību *FSC*, un šie centieni ietekmē arī sociālās atbildības iniciatīvas [144]–[146].

Ilgspējas nodrošināšanai *FSC* ir nepieciešami arī sociālie rādītāji, piemēram, cilvēktiesības un darba drošība, ko ir grūti kvantitatīvi noteikt [147]–[153]. Lai gan dabas resursu apsaimniekošana, transports un uzglabāšana ir būtiski svarīgi ES ilgtspējīgai attīstībai, ir nepieciešams vairāk pētījumu par *FSC* ilgtspēju, jo īpaši kvantitatīvos vides un sociālās ietekmes novērtējumos [154], [70].

### 2.3.5. Pētījumu trūkumi

*FSC* virzībai uz ilgtspēju ir nepieciešami efektīvi instrumenti, kas ļauj novērtēt esošo praksi atbilstoši ilgtspējas kritērijiem. Tradicionālie vides novērtējumi nereti fokusējas uz ierobežotām vai īstermiņa ietekmēm, neaptverot ilgtspējas plašāko sarežģītību. Dzīves cikla domāšana (*LCT*) piedāvā holistisku pieeju, izvērtējot ietekmes visā produkta vai pakalpojuma dzīves ciklā. Atšķirībā no tradicionālajām “no šūpuļa līdz kapam” (“*cradle-to-grave*”) metodēm *LCT* izmanto “no šūpuļa līdz šūpulim” (“*cradle-to-cradle*”) skatījumu, aptverot visus posmus no izejvielu ieguves līdz dzīves cikla noslēgumam un identificējot apritīguma un inovāciju iespējas.

Neskatoties uz savām stiprajām pusēm, *LCT* praksē netiek plaši ieviesta, izmantojot pieejamus, nozares specifiskus rīkus. Esošajiem rīkiem bieži trūkst visaptverošu datu, pielāgojamības vai lietojamības – īpaši mazajiem un vidējiem uzņēmumiem (*SMEs*), radot plaisu starp akadēmiskajiem modeļiem un praktiskajiem lietojumiem. Tāpēc pastāv skaidra iespēja izstrādāt robustu, lietotājam draudzīgu lēmumu atbalsta rīku, kas balstīts *LCT*, spēj identificēt ilgtspējas karstos punktus, atbalstīt mērķētas rīcības un izvērtēt kompromisus vides, sociālajā un ekonomiskajā dimensijā.

Literatūras pārskats identificē galvenos trūkumus, kas definē pētījuma problēmu un mērķus.

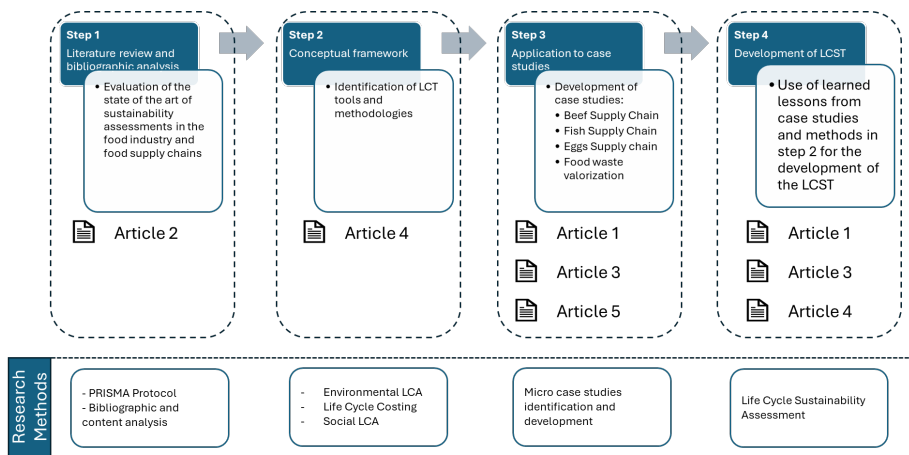
1. Saītes starp teoriju un praksi nodrošināšana. *LCT* ir labi nostiprināts koncepts, taču trūkst praktisku rīku lēmumu pieņemšanai reālajā vidē.
2. Daudzdimensionālas ilgtspējas integrācija. Lielākā daļa rīku fokusējas uz vides ietekmēm, ierobežoti iekļaujot sociālos un ekonomiskos aspektus, kas saskaņoti ar *SDGs*, *CSRD* un *ESG* ietvariem.
3. Nozares specifiskā kontekstualizācija. Vispārīgi rīki nerisina pārtikas piegādes ķēžu unikālos izaicinājumus – ātru bojājamību, dzesēšanas vajadzību un augstu pārtikas atkritumu apjomu, kas uzsver pielāgotu pieeju nepieciešamību.
4. Planētas robežu un absolūtās ilgtspējas lietošana. Šie koncepti tiek atzīti teorijā, bet reti tiek piemēroti produkta vai procesa līmenī, ierobežojot to izmantošanu piegādes ķēžu saskaņošanai ar globālajām ilgtspējas robežām.

Šie trūkumi uzsver nepieciešamību pēc visaptverošas, praktiskas un nozarei specifiskas, *LCT* balstītas metodoloģijas, kas atbalsta ilgtspējas novērtēšanu un uzlabošanu pārtikas piegādes ķēdēs.



### 3. METODOLOĢIJA

Promocijas darbs piedāvā jaunu pieeju *FSCs* ilgtspējas novērtēšanai, balstītu LCT metodoloģijās. Mērķis ir uzlabot esošās pieejas, sniedzot plašāku skatījumu uz ilgtspējas jautājumiem un atbalstot sadarbību starp dažādiem *FSC* dalībniekiem, lai nodrošinātu konsekventāku izvērtējumu. Pētījums seko kvantitatīvai metodoloģijai centrālās hipotēzes pārbaudei, tas ir strukturēts četros galvenajos posmos – no pētījuma problēmas definēšanas līdz *LCST* prototipa izstrādei un galadokumentācijai, tostarp šim promocijas darbam. Metodoloģijas vizuāls attēlojums redzams 3.1. attēlā.



3.1. attēls. Promocijas darba pētniecības ietvars un metodes.

Pēc sākotnējā ilgtspējas metodoloģiju izvērtējuma pārtikas nozarē pētījuma problēma tika definēta paralēli *ICCEE* projekta attīstībai. Pēc tam tika veikts literatūras pārskats, lai izpētītu ilgtspējas pašreizējo stāvokli nozarē, kas rezultējās pētījuma tvēruma, hipotēzes un galveno mērķu formulēšanā. Lai gan šie posmi ir prezentēti secīgi, tie nebija striktā lineārā secībā, jo kvantitatīvajā pētniecībā ir ierasts pārskatīt mērķus un tvērumu [156].

Šajā posmā tika analizētas dažādas pārtikas piegādes ķēdes, lai identificētu galvenos ilgtspējas karstos punktus. Šīs atziņas tika izmantotas dinamiska rīka izstrādei, kas paredzēts piegādes ķēžu sarežģītības fiksēšanai un ilgtspējas novērtēšanai vairākās dimensijās.

Noslēdzošie posmi ir vērsti uz gadījumu izpēšu rezultātu analīzi, *Life Cycle Sustainability Tool (LCST)* pilnveidošanu un tā funkcionalitātes validāciju. Iegūtie rezultāti atbalsta galīgās rīka versijas izveidi, kas spēj nodrošināt iecerētos rezultātus.

Šis pētījums seko *top-down* pētniecības pieejai, sākot no plašiem konceptiem un pakāpeniski fokusējoties uz specifiskiem elementiem. Šīs metodes galvenās iezīmes ir šādas:

- sākums ar vispārīgām teorijām vai ietvariem un sašaurināšana līdz konkrētām gadījumu izpētēm;
- iedibinātu teoriju izmantošana, lai nodrošinātu datu vākšanu un analīzi;
- strukturēta, lineāra metodoloģija virzībā no vispārīgā uz specifisko;
- uzsvars uz makrolīmeņa tendencēm un principiem agrīnajos posmos;
- agrīnie atklājumi virza turpmākās detalizētākas izpētes virzienu.

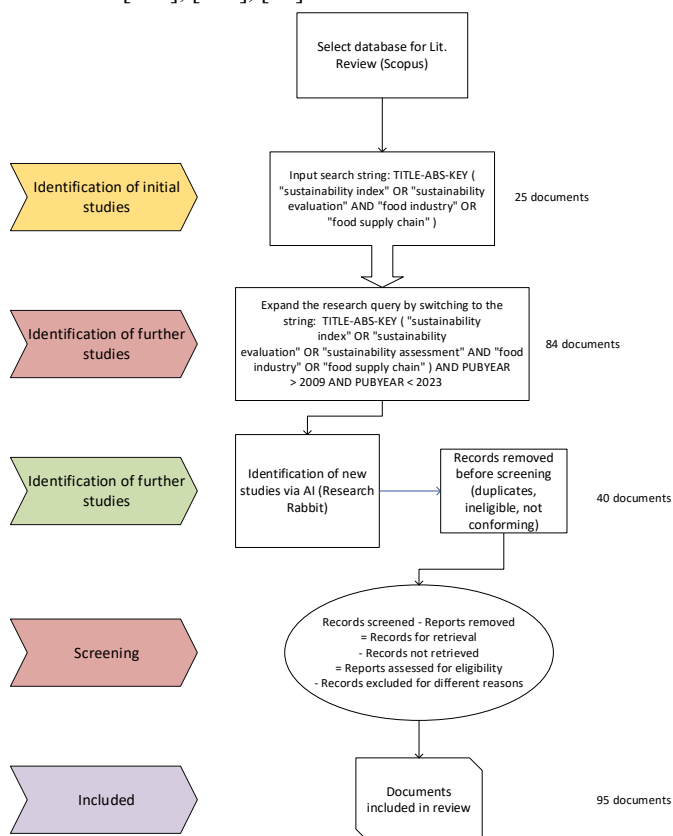
Šī pieeja ir izplatīta politikas, ekonomikas un sociālajos pētījumos, un tā tika piemērota arī promocijas darbā, lai virzītos no vispārīgiem ilgtspējas ietvariem uz mērķētu risinājumu pārtikas piegādes ķēdēm.

### 3.1. Pētījuma metodes

Pētījuma metodes ir aprakstītas turpmākajās sadaļās.

#### 3.1.1. PRISMA protokols

Šajā promocijas darbā *PRISMA* metodoloģija tika izmantota, lai vadītu literatūras pārskatā sniegto bibliogrāfisko un satura analīzi (3.2. attēls). *PRISMA-P* protokols nodrošina caurspīdīgumu, konsekveni un pilnīgumu sistemātiskajos pārskatos, novēršot patvaļīgus lēmumus un veicinot skaidru dokumentēšanu. Tas ietver 17 punktu kontrolsarakstu pārskata protokolu strukturēšanai [28]. Plaši atzīta pētniecības kopienā, *PRISMA* palīdz autoriem, recenzentiem un finansētājiem izstrādāt stingrus pārskatus. *PRISMA 2020* jaunākie atjauninājumi atspoguļo pārskatu metožu attīstību un ietver lietotāju atsauksmes, lai uzlabotu tās efektivitāti [157], [158], [26].



3.2. attēls. Sistemātiskā literatūras pārskata shēma saskaņā ar *PRISMA* protokolu.

### 3.1.2. Vides LCA

Vides LCA ir būtiska ekoloģisko ietekmju izvērtēšanai visā produktu un procesu dzīves ciklā. Atšķirībā no oglekļa pēdas, kas fokusējas uz vienu ietekmi, LCA aptver vairākas kategorijas, piemēram, globālo sasilšanu, resursu noplicināšanu un ozona slāņa noārdīšanu [159], [160], [66]. Metodoloģija seko ISO 14040:2006 un ISO 14044:2006 standartiem, un tā ietver četrus posmus: mērķa un tvēruma definēšana; LCI; LCIA; interpretācija. Šī struktūra atbalsta informētu lēmumu pieņemšanu ilgtspējas jomā [161], [162].

LCA mūsdienās risina plašākas problēmas, piemēram, klimata pārmaiņas, bioloģiskās daudzveidības zudumu un piesārņojumu, paplašinot lietojumu no produkta līmeņa līdz sistēmas mēroga novērtējumiem, kas ir būtiski dekarbonizācijas un aprites ekonomikas stratēģijām [163], [164]. Jaunākie attīstības virzieni izceļ citu novērtēšanas metožu integrāciju LCA, tomēr nepieciešama lielāka standartizācija, lai nodrošinātu konsekveni un salīdzināmību [37], [164]. LCIA rezultātu sasaistīšana ar planētas robežām kļūst arvien svarīgāka ilgtspējas izvērtēšanai lauksaimniecības un pārtikas sektoros [41], [165], [166]. Arias u. c. to demonstrēja, sasaistot planētas robežas ar LCA koksnes bāzes bioadhezīvu sektorā, uzsverot šādas integrācijas nozīmīgumu [165].

Ilgspējīgas prakses nodrošināšanai Zemes drošajās un taisnīgajās robežās nepieciešama ieinteresēto pušu sadarbība un robustas, caurspīdīgas metodes, kas ņem vērā pieņēmumus un nenoteiktības [167], [168].

Šajā pētījumā vides LCA visās gadījumu izpētēs tika veikta saskaņā ar ISO 14040 un ISO 14044 ietvariem, izmantojot SimaPro programmatūru ar iepriekš definētu LCIA metodi. Lai gan katrs gadījums tika veikts neatkarīgi, visos ievērota vienāda metodoloģiskā struktūra. LCST fokusējas uz vides ietekmju izvērtēšanu līdz produkta lietošanas fāzei. Konkrētā rīkā izmantotā LCIA metode detalizēti aprakstīta 5.1.1. apakšnodaļā.

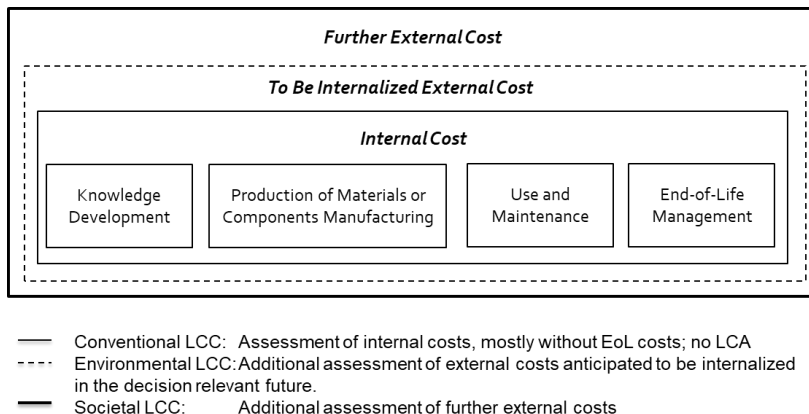
### 3.1.3. Aprites cikla izmaksu aprēķināšana

LCC aptver visas izmaksas visā produkta vai projekta dzīves ciklā, ietverot piegādātājus, ražotājus, patērētājus un dzīves cikla beigu posma (EoL) dalībniekus. Ņemot vērā projektu izvērtējumu, LCC atbalsta vides ietekmes novērtējumu, ilgtspējas analīzi, LCA un sabiedriskos novērtējumus. Tradicionālās izmaksu metodes var neietvert EoL izmaksas vai vides apsvērumus, tāpēc LCC jāaptver viss dzīves cikls un vajadzības gadījumā jāpaplašina sistēmas robežas uz vides un sociālajiem faktoriem [169].

3.3. attēlā redzamas trīs LCC pieejas: tradicionālā (C-LCC); vides (E-LCC); sabiedriskā (S-LCC). C-LCC koncentrējas uz izmaksām ražotājam vai lietotājam, bieži izslēdzot EoL un citus posmus, kas ierobežo saderību ar LCA [170]. E-LCC saskaņo sistēmas robežas un produktu modeļus ar LCA, iekļauj piegādes ķēdes izmaksas, ko C-LCC parasti neņem vērā, un kalpo kā papildinoša sastāvdaļa ilgtspējas novērtējumos, nevis kā patstāvīga metode [163], [171], [172].

E-LCC kopā ar LCA tiek izmantots, lai salīdzinātu dzīves cikla izmaksas, identificētu tiešos un netiešos izmaksu virzītājus, novērtētu uzlabojumus, kas izriet no produkta modifikācijām, un atklātu abpusēji izdevīgas iespējas. Tas seko mērķa un tvēruma definēšanai, datu vākšanai, interpretācijai, karsto punktu noteikšanai un jutīguma analīzei ar kvantitatīvām un kvalitatīvām

interpretācijām, kas ietver investīciju novērtēšanas instrumentus un nemonētārus faktoros, piemēram, tirgus tipu un pārdošanas apjomu [170], [171]. Līdzīgi kā *LCA*, *E-LCC* izmanto tiešo izmaksu datus uz vienu procesa vienību. Netiešo izmaksu noteikšanai sarežģītos apstākļos var būt nepieciešama darbības bāzēta uzskaitē (*Activity-Based Costing*). Materiālu, enerģijas un ekspluatācijas izmaksas tiek saskaņotas ar *LCA* atsaucē plūsmām [170], [173], [174].



3.3. attēls. Sistēmas robežas dažādām *LCC* pieejām [170].

*S-LCC* paplašina *E-LCC*, iekļaujot izmaksas, ko sedz visi sociālie dalībnieki, un ārējās ietekmes, piemēram, sabiedrības veselību un vides ietekmes, kas ir nozīmīgi korporatīvajai sociālajai atbildībai un publiskajai lēmumu pieņemšanai [169], [171], [172], [175]. *LCC* modelēšana seko ekonomisko izmaksu kategorijām, dzīves cikla posmiem un aktivitātēm, netiešās izmaksas izsakot ar fiziskiem vai finanšu parametriem. Pārtikas atkritumu (*FW*) pētījumos ieinteresētās puses diferencē izdevumus visā piegādes ķēdē, lai izvērtētu novēršanas un apsaimniekošanas iespējas, kuru mērķis ir samazināt *FW* un uzlabot efektivitāti [169], [170].

Šajā pētījumā *LCC* papildina *LCA*, lai novērtētu pārtikas piegādes ķēžu ekonomisko ilgtspēju, lai gan integrācija ar *LCA* joprojām ir metodoloģiski nestandarta un multidimensionāla, īpaši attiecībā uz pārtikas produktiem un *FW* apsaimniekošanu [169], [176]. Vēlamā pieeja ir *E-LCC*, kas aptver izmaksas, ko sedz dzīves cikla dalībnieki, un ārējās izmaksas, ko plānots ietvert lēmumu pieņemšanai piemērotā nākotnē, saskaņā ar [170].

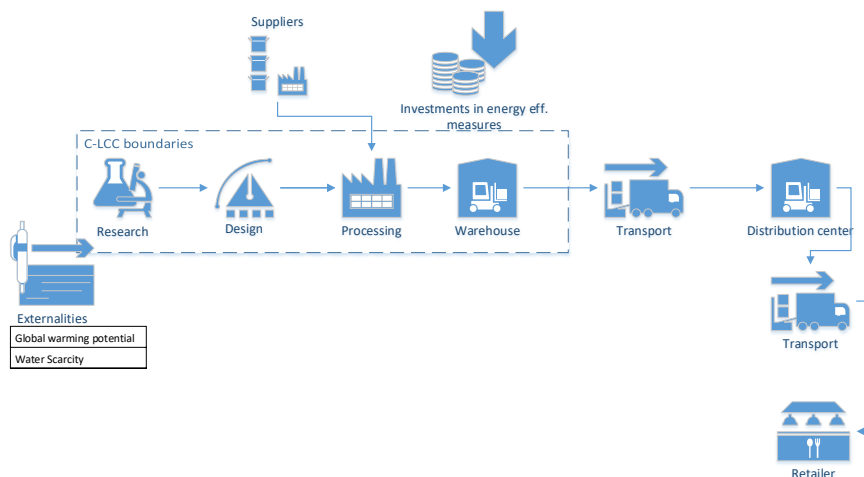
Daži būtiski aspekti *E-LCC* ieviešanai šajā pētījumā:

- Izslēgšanas (*cut-off*) kritēriji. Izmantot vides izslēgšanu. Izslēgt naudas plūsmas tādiem procesiem kā darbaspēks un kapitāls. Iekļaut tikai naudas plūsmas, kas saistītas ar materiālu plūsmām, piemēram, enerģiju, kurināmo un materiāliem.
- Izmaksu modelēšana pēc aktivitātes vai posma, fokusējoties uz izmantotajām materiālu plūsmām. Tas *E-LCC* ietvaros dod aukstuma ķēdes izmaksu uz vienu produktu.
- Ārējie faktori, piemēram, investīciju izmaksas un vides ietekmju monetārā novērtēšana, izmantojot standarta ekonomisko pārveidošanas koeficientu, var tikt iekļauti *E-LCC*.

- Nepieciešams stacionārs modelis, jo lielākajai daļai *LCA* lietojumu trūkst laika specifikācijas un tiek pieņemta nemainīga tehnoloģija [177].
- Nākotnes scenārijiem, kas ietver energoefektivitātes investīcijas, izmantot socioekonomiskos rādītājus, piemēram, izmaksu/ieguvumu attiecību vai neto peļņu.
- Galvenā *E-LCC* priekšrocība, salīdzinot ar tradicionālo *LCC*, ir tās konsekvence ilgtspējas novērtējumos, jo daļa ārējo izmaksu tiek internalizēta. Tā atbalsta iekšējo lēmumu pieņemšanu un ārējo komunikāciju, līdzīgi kā *LCA*.
- Vērtētās izmaksu kategorijas – izstrāde, materiāli, enerģija, transports un emisijas.

Saskaņā ar *LCA* sistēmas robežām *E-LCC* mērķis pētījuma gadījumos un rīka izstrādē ir identificēt enerģijas un materiālu plūsmu ekonomisko ietekmi pārtikas piegādes ķēdēs. Tvērums palīdz lēmumu pieņemšanai, salīdzinot scenārijus ar un bez energoefektivitātes pasākumiem. Kā redzams 3.4. attēlā, sistēmas robežas sākas pēc tam, kad gatavais produkts ir uzglabāts ražotāja noliktavā. Lai iespējotu viena dalībnieka izvērtējumu, tiek piemērots arī *C-LCC* ar robežām, kas fokusētas uz pārstrādes posmu (3.4. attēls).

Rīka lietotājiem mērķis ir vienkāršot *LCC* izvērtējumu un atklāt plūsmu izmaiņu ieguvumus energoefektivitātes pasākumu dēļ. Izmantojot vides izslēgšanu (*cut-off*), netiek veikti *CAPEX* un *OPEX* aprēķini, novērtējot tikai materiālu un enerģijas plūsmas uz funkcionālo vienību. Scenāriju ietekmes atspoguļojas šajās plūsmās, tostarp enerģijā, kurināmajos, aukstumaģentos un elektroenerģijā.



3.4. attēls. Novērtētās *C-LCC* sistēmas robežas.

### 3.1.4. Sociālais LCA un tā izaicinājumi

Sociālais pīlārs prioritizē pamatvajadzības un taisnīgu piekļuvi ilgtspējīgas attīstības ieguvumiem. Pastāvīgas problēmas ir nevienlīdzība, cilvēktiesību pārkāpumi, nepietiekams uzturs, ierobežota piekļuve tīram ūdenim, slimības, analfabētisms, bēgļu krīzes un dzimumu

nevienlīdzība. *SDGs* un *ISO 26000* risina šos izaicinājumus [20]. Tehnoloģiskās pārmaiņas un iedzīvotāju skaita pieaugums pastiprina vides un sociālo spiedienu, radot risku, ka izaugsme būs atkarīga no materiālu un enerģijas patēriņa. Nepieciešams samazināšanas, atkārtotas izmantošanas un koplietošanas modelis, lai veidotu bioekonomiku, kas atdala labklājību no vides degradācijas, ko atbalsta pētnieku, industrijas, patērētāju un politikas veidotāju sadarbība [178].

Sociālās ietekmes novērtējums fiksē ilgtspējas kvalitatīvos aspektus un dažādās ieinteresēto pušu perspektīvas. Sociālais dzīves cikla novērtējums (*S-LCA*) kā *LCA* paplašinājums *LCT* ietvarā novērtē produktu un pakalpojumu sociālās ietekmes [179]–[182]. *UNEP*, *SETAC* un Dzīves cikla iniciatīva sniedz *S-LCA* vadlīnijas, kas klasificē sešas ieinteresēto pušu grupas, definē ietekmes apakškategorijas un nosaka indikatorus, izmantojot inventarizācijas datus. Pašreizējā prakse seko mērķa un tvēruma definēšanai, *S-LCI*, *S-LCIA* un interpretācijai, identificējot ieinteresēto pušu sociālos tematus un galvenos lēmumu jautājumus [183]–[185].

Sociālo seku komunikācija atbalsta atbildīgu patēriņu un ražošanu. Lietojums atšķiras uzņēmumos, patērētājiem un NVO. Uzņēmumos *S-LCA* paredz sociāli atbildīgu praksi un konkurētspējas stratēģiju, pieejas ietver inovāciju, izvēles manipulāciju un izvēles rediģēšanu ar ieguvumiem kopienai, piemēram, tirgus veidošanu un talantu noturēšanu [186], [187]. NVO paaugstina informētību par kaitējumu, piemēram, bērnu darbu un nedrošiem apstākļiem, savukārt vairāku pušu sadarbība ir veidojusi starptautiskos atbildības ietvarus [42], [180], [188].

Ietekmes ceļu standarti *S-LCA* ir ierobežoti, tāpēc pētījumos bieži tiek izmantota atsaucē skala, taču tā ir daļēji kvantitatīva un neseko ievades-izvades transformācijai, ko *LCIA* izmanto *LCA* vai *LCC* [183]. *UNEP* atsaucē skālas īstenošana prasa kvalitatīvus rīkus, piemēram, intervijas un kontekstspecifisku analīzi, kas sarežģī integrāciju *LCST*. Tāpēc šajā projektā *LCST* ietvarā tiek pieņemta pieeja, kas ir saskaņota ar *S-LCA* metodoloģiju (5.1.3. apakšnodaļa), ļaujot praktiķim iekļaut gatavību maksāt par ārējiem faktoriem, piemēram, globālās sasilšanas potenciālu, un, partneriem vienojoties, par cilvēku veselības ietekmi vai ekosistēmu bojājumiem. Šī izvēle ietekmē dzīves cikla izmaksas un vides novērtējumu ar drošības pasākumiem, lai izvairītos no dubulta aprēķina. Pieeja atspoguļo sociālo izmaksu koncepciju, tostarp oglekļa dioksīda sociālās izmaksas, kas monetizē kaitējumu par katru papildu CO<sub>2</sub> metrisku tonnu un, uzlabojoties modeļiem, ir pieaugušas, ietekmējot klimata politikas izvērtējumus [189].

### 3.1.5. Dzīves cikla ilgtspējas novērtējums

*LCT* pieeja tika īstenota paralēli *ICCEE* projektam, kas atbalsta energoefektivitāti pārtikas un dzērienu aukstuma ķēdēs, veicot piegādes ķēdes enerģijas novērtējumus. Lai gan *ICCEE* fokusējas uz pārtikas sektora aukstuma ķēdēm [190], šī promocijas darba pieeja attiecas uz jebkuru pārtikas piegādes ķēdi neatkarīgi no tā, vai tā ir saldēta vai ne. Pētījums pieņem ķēdes līmeņa perspektīvu, lai paplašinātu energoefektivitātes iespējas.

Darbs integrē pārtikas un dzērienu piegādes ķēžu iezīmes analītiskā lēmumu atbalsta rīkā ar pielāgotām energoefektivitātes analīzēm posmos, piemēram, izejvielu sagatavošanā, loģistikā un uzglabāšanā, ražošanā un pārstrādē, kā arī iepakojumā. Lai atvieglotu

energoefektivitātes pasākumu atjaunināšanu un lēmumu pieņemšanu par enerģijas ietaupījuma potenciālu, tika izstrādāts un nodots speciāls aukstās piegādes ķēdes energoefektivitātes rīks.

Vides *LCA*, *LCC* un *S-LCA* tika piemērotas vienlaikus un konsekventi visos gadījumu scenārijos, ievērojot standartizētu procedūru. Detalizēti gadījumu apraksti sniegti 4.1. apakšnodaļā. Paredzētie *LCT* ieguvumi ietver:

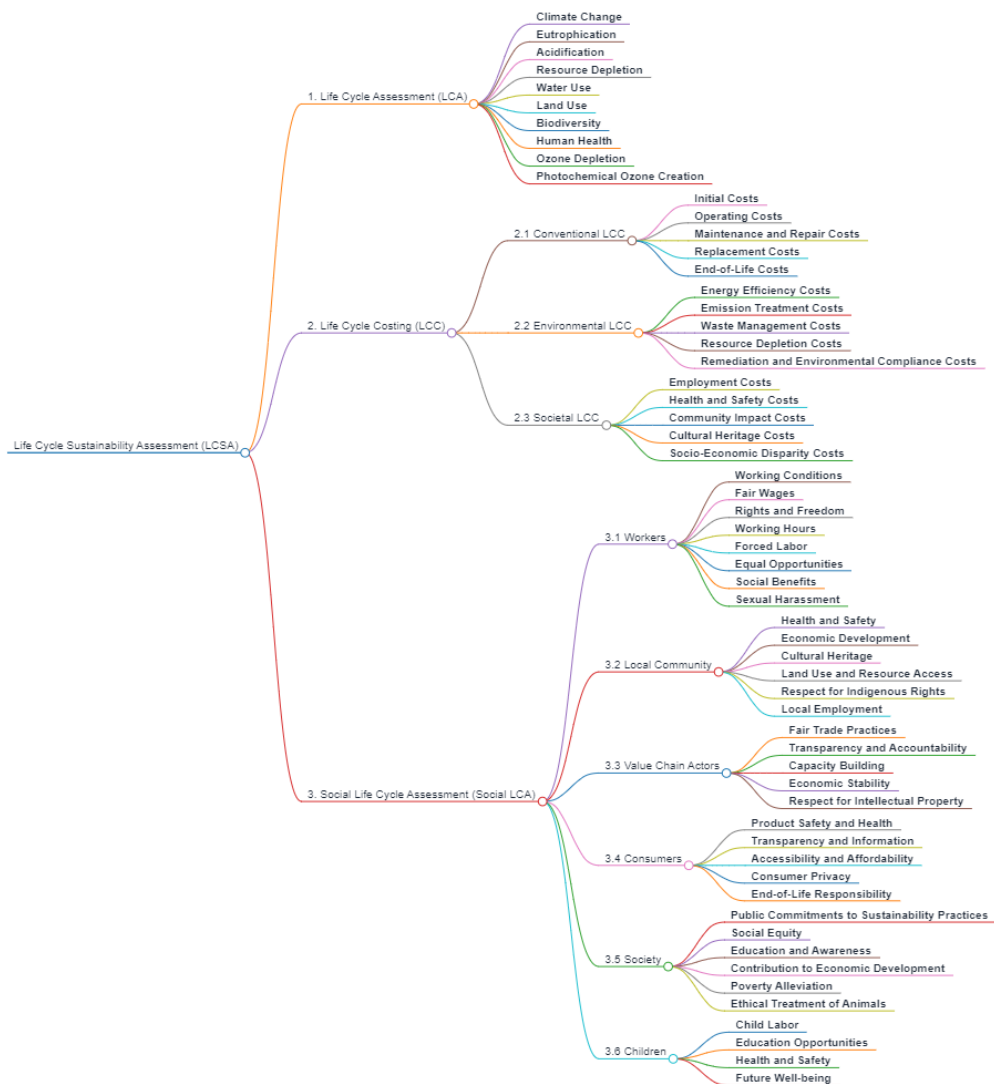
- atbalstīt izvēles, kas ņem vērā vides, ekonomiskās un sociālās ietekmes visā dzīves ciklā;
- sadalīt atbildību starp projektēšanu, ražošanu un patēriņu;
- iespējot ilgtermiņa lēmumus attiecībā uz gaisu, ūdeni un zemi;
- virzīt ekodizainu uz tīrākiem produktiem un procesiem;
- uzlabot *H&S*, risku un kvalitātes vadību;
- atbalstīt valdības iniciatīvas, kas aizsargā vidi un sabiedrību;
- informēt patērētājus par izvēlēm attiecībā uz pirkumiem, transportu un enerģiju, veicinot iesaisti ar industriju un valdību.

*LCT* padara skaidrākus kompromisus un sinerģijas starp dzīves cikla posmiem, ļaujot optimizēt procesus īstermiņa un ilgtermiņa ilgtspējai. Visaptverošs skatījums novērš sloga pārlikšanu un iekļauj vides faktorus lēmumu pieņemšanā.

*LCA* ir ekodizaina un ražošanas balsts, un jaunākās integrācijas aptver ražošanas iekārtas, tehniskos pakalpojumus un enerģijas apgādi. *LCSA* palīdz identificēt ilgtspējas karstos punktus precēs un procesos [191]–[193]. *LCA* daudzpusība aptver nozares [194], tostarp farmāciju, kur tā virza mazāk ietekmīgas ķīmiskās procesa izvēles [195], un būvniecību, kur tā informē par materiāliem, atkritumu apsaimniekošanu un infrastruktūras ietekmēm [196]–[200].

Balstoties 2.5. apakšnodaļā (“Pētījuma robi”) un pārbaudēs [96], šis darbs piedāvā *LCT* rīkos balstītu ilgtspējas novērtēšanas metodi, kas saskan ar promocijas darba hipotēzi un mērķiem. Fokuss sniedzas tālāk par oglekļa aspektu līdz ekoloģiskajam, sociālajam un ekonomiskajam pilāram, pievēršot uzmanību neparedzētām sekām, kas bieži noslogo nabadzīgākas valstis [201], [202]. Holistiskas rīcības sniedz līdzguvumus, piemēram, pārpatēriņa mazināšanu, vietējo uzņēmumu atbalstu un izglītības stiprināšanu [203], [204], [61], [205]. Ekosistēmu atjaunošanas prakses uzlabo bioloģisko daudzveidību un oglekļa piesaisti [206], [207]. Holistisks skats ir būtisks, lai saskaņotu cilvēka darbību ar ekosferu [208].

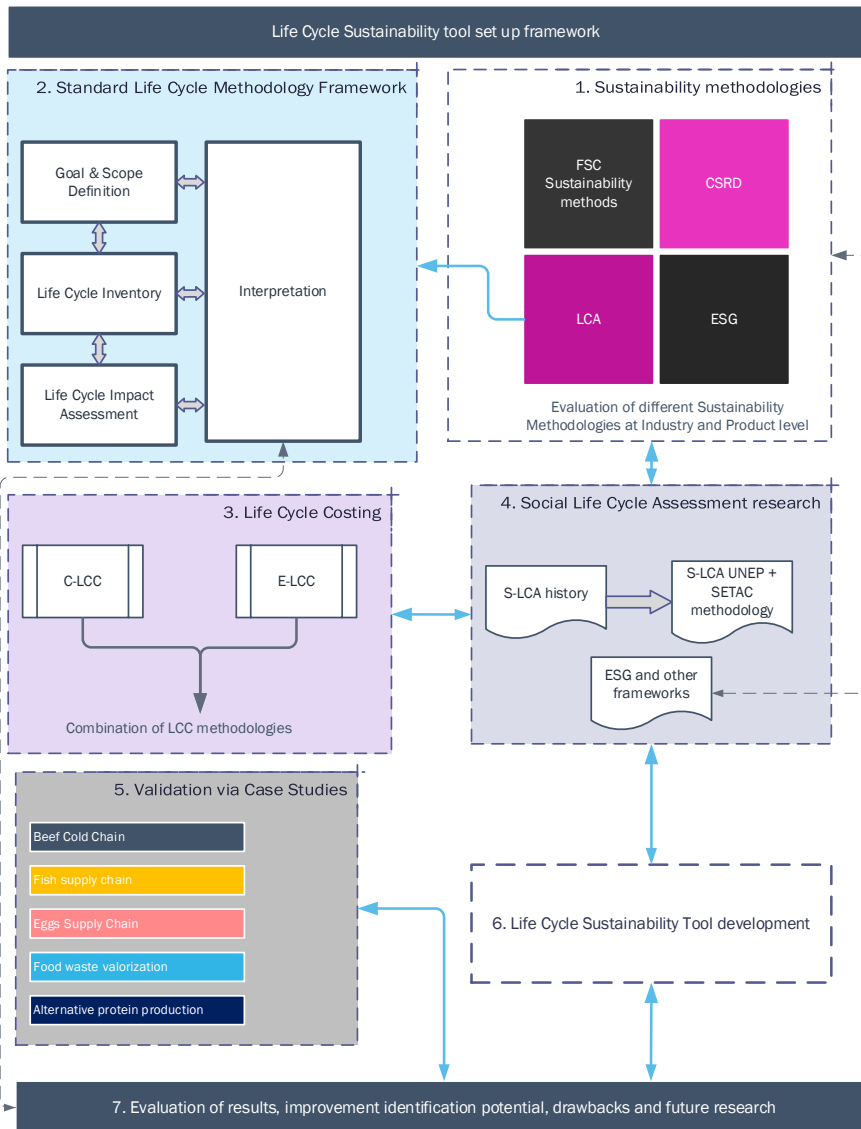
*LCSA* trūkst vienota ietvara, un 3.5. attēlā iezīmēti galvenie ietekmes rādītāji. Prāta karte balstās izplatītās vides viduspunktu kategorijās no *LCIA*, *LCC* indikatoriem [170] un *S-LCA* indikatoriem, kas definēti ANO vadlīnijās [183], [209]. *LCSA* atbalsta pārejas enerģētikas sektorā, skaidrojot izaicinājumus, metodes un indikatorus [210]. Pārtikas *LCA* aptver augšupejošos un lejupējos procesus [17], arvien plašāk izmantojot *LCT*, lai mazinātu vides un sociālās ietekmes un palielinātu *n-LCA*, kas integrē uzturu novērtējumā [211]. Ņemot vērā agropārtikas ķēdes sarežģītību, nepieciešami harmonizēti mērījumi un pilna dzīves cikla perspektīvas, lai piemērotu aprites ekonomikas principus, un ir noteikti dzīves ciklā balstīti paneļi starpnozaru testēšanai [212], [213]. Vides novērtējums agropārtikas jomā kopš pagājušā gadsimta 70. gadiem ir būtiski paplašinājies, atspoguļojot *LCA* attīstību šajā sektorā [214].



3.1. attēls. Dzīves cikla ilgtspējas novērtējuma *KPIs*.

Dzīves cikla domāšanas (*LCT*) ieviešana dažādās nozarēs atspoguļo pieaugošu atziņu par visaptveroša vides ietekmju novērtējuma nepieciešamību. *LCT* atbalsta inovācijas un informētu lēmumu pieņemšanu, kas saskaņota ar globālajiem ilgtspējas mērķiem, tai jāturpina attīstīties, piemērojot to dažādos sektoros. Literatūras pārskatā veiktā satura analīze liecina par nepieciešamību pēc visaptverošāka, iteratīva *LCSA* ietvara. Piedāvātais ietvars ir piemērojams dažādiem pētniecības mērķiem dažādās tēmās un aktivitātēs (3.6. attēlā).





3.2. attēls. Integrēta pētniecības metodoloģija dzīves cikla ilgtspējas ietvarā.

## 4. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

Metodoloģiskā pieeja tika pārbaudīta vairākos mikrogadījumu pētījumos, pateicoties *ICCEE* projektam. [215]. Katrā izstrādātajā gadījumā bija nepieciešama rūpīga piegādes ķēdes energoefektivitātes (un to ietekmējošo parametru) analīze, lai saprastu, kur rodas enerģijas patēriņš un kā to samazināt dažādos pārtikas un dzērienu piegādes ķēdes posmos.

Ir vērts atzīmēt, ka ietekmes novērtējuma metodes *LCA* vai *LCC* tiem visos gadījumu pētījumos ne vienmēr bija vienādas. Tas tika darīts, lai pārbaudītu dažādas metodes un novērtētu katras metodes priekšrocības un trūkumus. Šajā procesā gūtās mācības vēlāk tika ņemtas vērā, definējot promocijas darba pētījumā ieviesto *LCST* sistēmu.

### 4.1. Gadījumu izpētes apraksts un galvenie rezultāti

Četri gadījumu scenāriji tika izstrādāti un pārbaudīti ilgtspējas sistēmas pētniecības un izstrādes laikā, daži no tiem ir atspoguļoti publicētajos zinātniskajos darbos, citi – maģistra darba uzraudzības laikā. Turpmākajās nodaļās sniegts īss mērķa un darbības jomas, funkcionālās vienības, sistēmas robežu un dzīves cikla inventarizācijas galveno aspektu apraksts. Pilns katra gadījuma scenārija metodoloģijas un rezultātu apraksts ir sniegts pievienotajos rakstos.

#### 4.1.1. Liellopu gaļas piegādes ķēde

Šajā pētījumā ir novērtēta reģionālās un vietējās liellopu gaļas aukstuma ķēdes ietekme uz vidi Eiropas kontekstā. Liellopu gaļas saldēšanas ķēde ir sarežģīta, jo ietver dažādus posmus, piemēram, kaušanu, pārstrādi, uzglabāšanu un transportēšanu dažādos ģeogrāfiskos apgabalos. Tika analizēti četri scenāriji, tostarp bāzes scenārijs, lai salīdzinātu to efektivitāti (sīkāk aprakstīts 1. punktā):

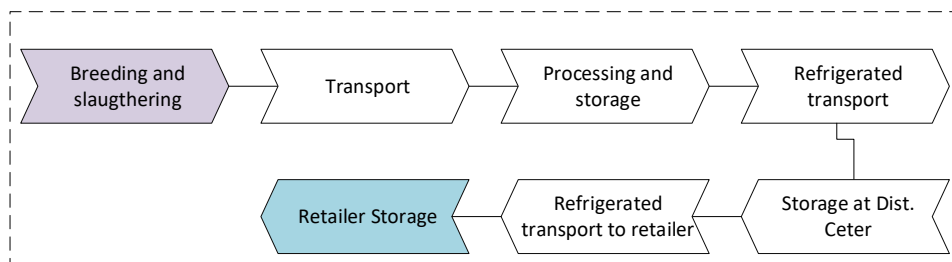
- 1) bāzes scenārijs;
- 2) enerģijas reģenerācijas scenārijs – bioatkritumu pārvēršana biogāzē ar koģenerāciju (EEM-1);
- 3) atjaunojamās enerģijas izmantošana – saules fotoelementu enerģijas integrēšana (EEM-2);
- 4) efektīva kompresora nomaīņa (EEM-3).

Pētījumā modelētas šīs piegādes ķēdes, nieiekļaujot galapatērētāja posmu tā mainīguma dēļ. Gan reģionālās, gan vietējās liellopu gaļas aukstās piegādes ķēdes, ieskaitot uzglabāšanu pēc pārstrādes, transportēšanu no saimniecības uz kautuvi, no kautuves uz pārstrādi, no pārstrādes uz centrālo izplatītāju un tad uz vairumtirdzniecību un mazumtirdzniecību (4.1. attēls).

Šajā pētījumā funkcionālā vienība (FV) ir 1 kg liellopu gaļas, kas piegādāta vairumtirgotājam vai mazumtirgotājam. Visas norādītās vērtības, tostarp enerģijas patēriņš, iepakojums, atkritumi, ūdens patēriņš un transportēšana, ir normētas uz 1 kg šī produkta.

Tiek nošķirtas reģionālās un vietējās piegādes ķēdes. Reģionālā aukstuma ķēde sākas ar audzēšanu *Villareal*, Spānijā, kam seko kaušana Tarragonā (transportēšanas attālums – 200 km) un gaļas pārstrāde un uzglabāšana *Leidā* (attālums – 100 km). No *Leidas* liellopu gaļa tiek

transportēta 1240 km uz Florenci, Itālijā, lai to izplatītu, un pēdējais transportēšanas posms – 20 km – līdz lielveikalam Florencē.



4.1. attēls. Liellopu gaļas piegādes ķēde.

Vietējā aukstuma ķēde sākas ar audzēšanu Tolmeco, Itālijā, kam seko kaušana *Castelfranco Veneto* (transportēšanas attālums – 200 km) un pārstrāde Veronā (attālums – 100 km). No Veronas liellopu gaļa tiek transportēta 500 km attālumā uz Romas izplatīšanas centru, un tālāk tā tiek nogādāta vietējos lielveikalos (pēdējie 20 km). Pētījuma dati tika iegūti no diviem Itālijas pārstrādes uzņēmumiem, kas nodarbojas ar liellopu gaļas izciršanu, saldēšanu un iepakojšanu. Sīkāka informācija par *LCI* apkopota 4.1. tabulā.

4.1. tabula. *DII* liellopu gaļas piegādes ķēdes pārstrādes posmam

Materials	Reģionālais	Lokālais
Izvade. Saldēta gaļa (liellopa), kg	1	1
Izvade. Gaļas organiskie atkritumi, kg	0,66	0,66
Ievade. Neapstrādāta gaļa, kg	1,66	1,66
Siltumenerģija, MJ	2,391	2,391
Elektrība, kWh	0,14742	0,12346
Krāna ūdens, kg	0,013	0,0042
Iepakojuma materiāls – polietilēns, zema blīvuma, kg	0,000056	0,000066
Iepakojuma plēve, zema blīvuma polietilēns, kg	0,0046	0,00583
Rūpnieciskās teritorijas aizņemšana, m <sup>2</sup>	0,000221833	0,00031

4.2. tabula. *GKI* uzglabāšanai liellopu gaļas piegādes ķēdes izplatīšanas centrā

Materials	Reģionālais	Lokālais
Izvade. Saldēta gaļa (liellopa), kg	1	1
Ievade. Saldēta gaļa, kg	1	1
Elektrība, kWh	0,01957	0,01957
Krāna ūdens, kg	0,034463	0,0282
Rūpnieciskās teritorijas aizņemšana, m <sup>2</sup>	0,000002712	0,000002712

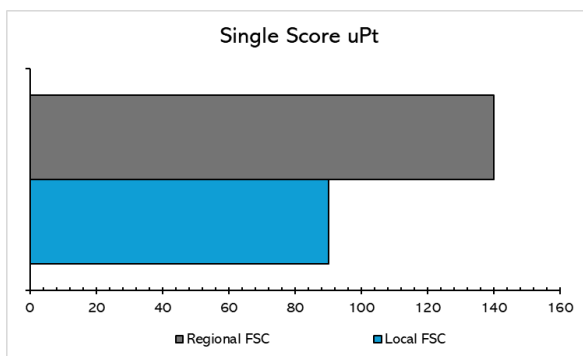
4.3. tabula. *GKI* uzglabāšanai mazumtirgotāja noliktavā liellopu gaļas piegādes ķēdē

Materials	Reģionālais	Lokālais
Izvade. Saldēta gaļa (liellopa), kg	1	1
Ievade. Saldēta gaļa, kg	1	1
Elektrība, kWh	0,04	0,04
Rūpnieciskās teritorijas aizņemšana, m <sup>2</sup>	0,000042462	0,000042462

**Galvenie secinājumi.** Reģionālās piegādes ķēdes scenārijam tika konstatēta kopējā ietekme uz vidi 140 mPt apmērā. Vis svarīgākie posmi ir transportēšana no pārstrādes uzņēmuma uz izplatīšanas centru, kam seko pārstrādes posms.

Aplūkojot problemātiskās jomas, jāsecina, ka vides slogs galvenokārt ir saistīts ar klimata pārmaiņām un resursu patēriņu, un nedaudz mazāk – ar cilvēku veselību, savukārt ekosistēmas kvalitāte ir tikai nedaudz ietekmēta. Vietējās liellopu gaļas piegādes ķēdes rezultāti ir līdzīgi, jo lielākajai daļai darbību nepieciešams līdzīgs enerģijas patēriņš un tās tiek veiktas ļoti līdzīgi. Tomēr īsāks transportēšanas attālums, jo īpaši, lai sasniegtu izplatīšanas centru pēc pārstrādes, padara šo piegādes ķēdi mazāk ekoloģiski intensīvu, un tās kopējais rādītājs ir 90 mPt (4.2. attēls).

Turklāt pētījums atklāja, ka EEM-1 nodrošināja ieguvumus videi visās problemātiskajās jomās, savukārt EEM-2 un EEM-3 uzrādīja minimālus uzlabojumus, salīdzinot ar bāzes scenāriju. EEM-1 varētu piedāvāt arī vides kredītus, samazinot elektroenerģijas patēriņu no fosilā kurināmā un hidroenerģijas zemes izmantošanu [218]. Īsāks transportēšanas attālums vietējā piegādes ķēdē kopā ar EEM-1 radīja negatīvu vides novērtējumu, kas liecina par vispārēju ieguvumu.



4.2. attēls. Svērtie rezultāti dažādiem EEM vietējā piegādes ķēdē.

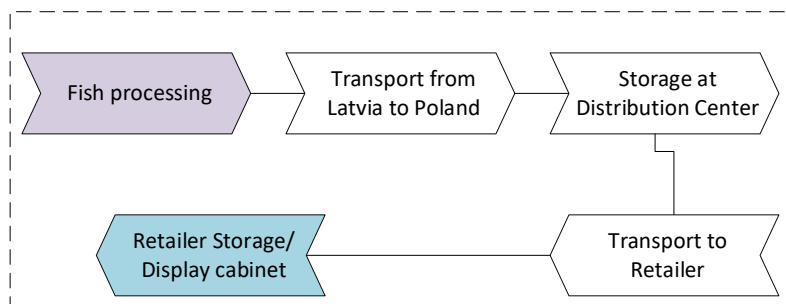
Lai salīdzinātu dažādu EEM alternatīvu ekonomiskos rādītājus, šajā pētījumā tika veikta arī *LCC*. Jūtīguma analīze parādīja, ka liellopu gaļas tirgus cenu svārstības var ietekmēt iekšējo peļņas normu vai peļņas indeksu, pieņemot nemainīgu ražošanas jaudu. Neto pašreizējās vērtības (NPV) analīze parādīja, ka EEM-1 bija ekonomiski visizdevīgākā iespēja. Sīkāka informācija ir sniegta 1. punktā.

#### 4.1.2. Zivju piegādes ķēde

Šajā pētījumā uzmanība tika pievērsta Baltijas reģionam, konkrēti Latvijai, kas saņem ES finansiālo atbalstu Kopējās zivsaimniecības politikas (KZP) īstenošanai [217], [218]. Latvijā 2019. gadā zivju produkcija sasniedza 110 200 tonnu dzīvsvāra, akvakultūras apakšnozarē saražojot 626,4 tonnas zivju un vēžveidīgo [219], [220]. Neraugoties uz zivju nozares nozīmi Latvijas ekonomikā, tās ietekme uz vidi joprojām nav novērtēta.

Tika izstrādāts bāzes scenārijs attiecībā uz atzdesētām Latvijas mencām, un tika izpētīti divi konkrēti energoefektivitātes pasākumi visā aukstuma piegādes ķēdē. Standarta darbības

scenārijā pieņemts, ka mencas tiek eksportētas uz citām Eiropas Ekonomikas zonas valstīm. Šī gadījuma scenārija sistēmas robežas, kas tika noteiktas, pamatojoties uz *LCA* pētījumiem par zivju produktiem Eiropas kontekstā [221]–[223], redzamas 4.3. attēlā.



4.3. attēls. Zivju piegādes ķēdes sistēmas robežas.

Tika pieņemts, ka zvejas kuģi piestāj Ventspils ostā, kas ir nozīmīga Latvijas vieta, kas pazīstama ar tradicionālo zvejniecību. Tiek pieņemts, ka visa apstrāde, kas vajadzīga, lai iegūtu filejētas mencas, notiek Ventspilī, un leļup pa straumi nerodas atkritumi.

Zivju transportēšanas vides apstākļi ir  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ja tiek izmantota īpaša dzesēšanas tehnoloģija, un  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ja tiek izmantota atdzesētu dzesēšana. Dīzeļdegvielas patēriņš palīgiekārtai tiek lēsts  $3,68\text{ kg/h}$ . Izmantotais aukstuma aģents ir R-134a, kura ikgadējais priekšpiegādes daudzums ir  $6,5\text{ kg}$  un noplūdes līmenis ir  $10\%$  gadā. Savākto DII kopsavilkums sīki izklāstīts 3. punktā.

Lai salīdzinātu divus EEM ar bāzes scenāriju, tika izmantota *C-LCC* pieeja. Pirmais scenārijs (EEM-1) ietver anaerobo fermentāciju (*AD*) ar koģenerācijas staciju, otrais (EEM-2) modelē fotoelementu staciju mazumtirgotāja objektā, kas nodrošina  $20\%$  no tā elektroenerģijas patēriņa.

**Galvenie rezultāti.** Modeļa vides profils tika novērtēts, izmantojot *IMPACT 2002+* metodi, kas sniedz rezultātus gan vidējā punktā, kā ieteikts *ISO 14044* (4.4. tabula), gan beigu punkta kategorijās [163].

4.4. attēlā sniegti rezultāti galapunktu kategoriju līmenī. Identificētie “karstie punkti” ir uzglabāšana lielveikalā/mazumtirgotavā, pārstrādes posms un transportēšana pārdzesētos apstākļos, jo īpaši resursu izmantošanas, cilvēku veselības un klimata pārmaiņu jomā.

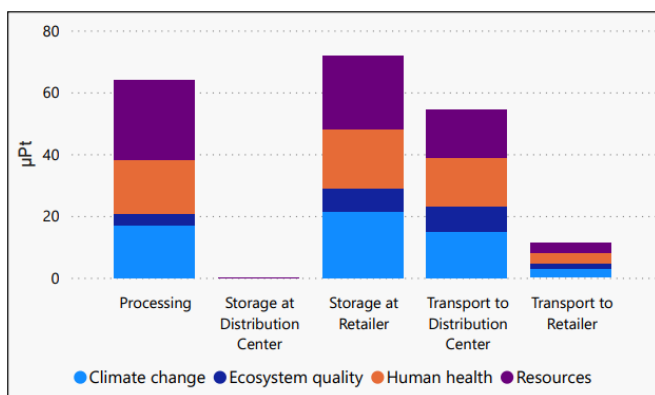
4.4. tabula. Viduspunkta kategorijas rezultāti bāzes scenārijam

Ietekmes kategorija	Vienība	Apstrāde	Transports uz dist. centru	Izplatīšanas centrs	Transportēšana līdz mazumtirgotāja m	Mazumtirgotājs
Kancerogēni	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl ekv.	4,8E-03	8,6E-04	1,4E-06	1,8E-04	1,8E-03
Nekancerogēnas vielas	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl ekv.	3,2E-03	3,1E-03	1,7E-06	6,4E-04	2,3E-03
Neorganiskie elpošanas orgāni	kg PM <sub>2,5</sub> ekv.	1,5E-04	1,4E-04	1,3E-07	2,9E-05	1,8E-04
Jonizējošais starojums	Bq C-14 ekv.	0,91	1,17	0,00	0,24	2,66
Ozona slāņa noārdīšanās	kg CFC-11 ekv.	9,9E-09	2,7E-08	2,4E-11	5,6E-09	3,3E-08
Respiratorās organiskās vielas	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ekv	1,1E-04	7,3E-05	4,2E-08	1,5E-05	5,7E-05
Ekotoksicitāte ūdens videi	kg TEG ūdens	14,33	15,75	0,02	3,23	23,41
Sauszemes ekotoksicitāte	kg TEG augsnes	3,86	11,54	0,00	2,36	5,51
Sauszemes skābes/nutri	kg SO <sub>2</sub> ekv	2,3E-03	3,1E-03	2,9E-06	6,4E-04	4,0E-03
Zemes aizņemšana	m <sup>2</sup> org.arable	1,6E-02	1,7E-02	3,5E-05	3,4E-03	4,8E-02
Ūdens paskābināšanās	kg SO <sub>2</sub> ekv	6,8E-04	5,8E-04	8,4E-07	1,2E-04	1,1E-03
Ūdens eitrofikācija	kg PO <sub>4</sub> P-lim	2,1E-05	1,4E-05	1,2E-08	2,8E-06	1,7E-05
Globālā sasilšana	kg CO <sub>2</sub> ekv.	0,17	0,15	0,00	0,03	0,21
Neatjaunojamā enerģija	MJ primārais	3,90	2,38	0,00	0,49	3,60
Derīgo izrakteņu ieguve	MJ pārpalikums	4,7E-03	1,6E-03	1,1E-06	3,3E-04	1,4E-03

Procesi, kas visvairāk apgrūtina vidi, ir šādi: elektroenerģijas patēriņš mazumtirgotavā; transportlīdzekļu izmantošana transportēšanai uz izplatīšanas centru; kautuves atkritumu apstrāde; izvēlētā iepakojuma materiāla izmantošana zivju filejām apstrādes posmā (4.4. attēls). Salīdzinot ar citiem posmiem, zemā ietekme, ko rada transportēšana līdz mazumtirgotājam (pazīstama arī kā pārtikas jūdzes), atbilst *Coley et al.* 2013. gadā veiktajā pētījumā apkopotajai diskusijai [224].

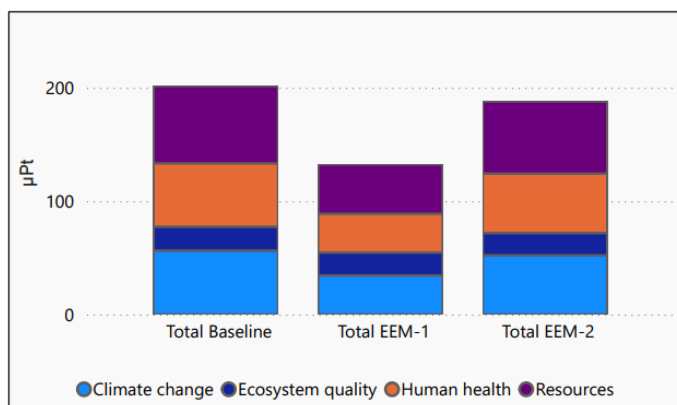
Šajā pētījumā aplūkoti EEM ir šādi:

- enerģijas reģenerācija no bioloģiskajiem atkritumiem (EEM-1);
- elektroenerģijas ražošana no PV sistēmas (EEM-2).



4.4. attēls. Viena rezultāta rezultāti bāzes scenārijam.

4.5. attēlā sniegts scenāriju salīdzinājums pēc viena rezultāta, un vislielākā ietekme ir bāzes scenārijam. EEM-1 ir vislielākais potenciāls samazināt zivju piegādes ķēdes kopējo ietekmi uz vidi novērtētajā kontekstā. Lai gan EEM-2 radītu kopējo ietaupījumu  $\mu\text{Pt}$  (6,8 %), EEM-1 varētu potenciāli samazināt ietekmi par 69,2  $\mu\text{Pt}$  (34,3 %) šajā FSC.



4.1. attēls. Viena rezultāta salīdzinājuma rezultāti trim piegādes ķēdes scenārijiem.

Tika veikta jutīguma analīze, lai noteiktu neatkarīgo ievades parametru ietekmi uz vienoto rezultātu. Divi neatkarīgie mainīgie lielumi ir transportēšanas attālums no pārstrādes uzņēmuma līdz centrālajai noliktavai un enerģijas patēriņš pārstrādes vienības procesā. Šie mainīgie lielumi tika izvēlēti, ņemot vērā to ietekmi uz kopējo bāzes scenāriju.

Veicot jutīguma analīzi, tika ņemti vērā scenāriji, kas paredz katra izvēlēta mainīgā lieluma samazinājumu un palielinājumu par 5 %, 15 %, 30 % un 50 %. Rezultātu relatīvās izmaiņas tiek aprēķinātas šādi:

$$c_r = \frac{(s_0 - s_1)}{s_0}, \quad (1)$$

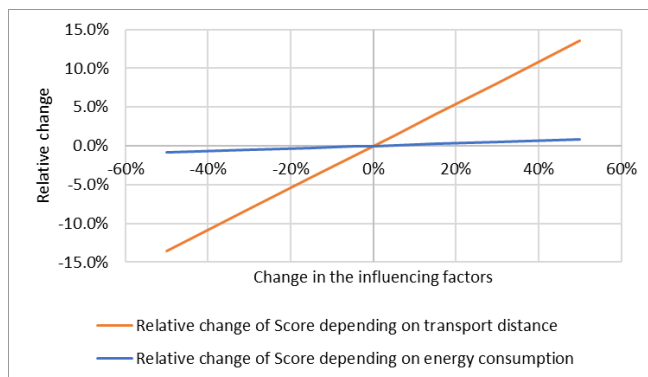
kur:

$c_r$  = relatīvās izmaiņas;

$s_0$  = modeļa rezultāts bāzes scenārijā;

$s_1$  = modeļa novērtējums saskaņā ar jauno scenāriju.

Šīs izmaiņas ir atspoguļotas 4.6. attēlā. Visaugstākais un viszemākais atsevišķais rādītājs tiek iegūts, ja transportēšanas attālums palielinās un samazinās par 50 %, savukārt nelielas relatīvās izmaiņas ir novērojamas kā enerģijas patēriņa funkcija procesorā.



4.6. attēls. Relatīvās jaudas izmaiņas atkarībā no ietekmējošiem faktoriem.

*C-LCC* novērtējumā tika salīdzināts bāzes scenārijs ar diviem ierosinātajiem EEM, izmantojot trīs ekonomiskos rādītājus. Ņemot vērā to, ka trūka primāro izmaksu datu, analīzei tika izmantoti sekundārie dati (budžeta izmaksas; sīkāka informācija 3. punktā). Rezultāti, kas apkopoti 4.5. tabulā, liecina, ka, lai gan abi EEM ir ekonomiski pamatoti, EEM-1 ir vispievilcīgākais variants, ko apstiprina rādītāji *NPV*, iekšējā peļņas norma (*IRR*) un peļņas indekss (*PI*).

4.5. tabula. Ekonomisko rādītāju salīdzinājums zivju piegādes ķēdē

Ekonomiskais rādītājs	EEM-1	EEM-2
<i>NPV</i>	520 786 €	65 601 €
<i>IRR</i>	14,38 %	9,92 %
<i>PI</i>	1,95	1,25

Šī gadījuma scenārija rezultāti parāda, kā *LCA* galapunktu kategoriju rezultātu apvienošana ar *C-LCC* ekonomiskajiem rādītājiem var palīdzēt piegādes ķēdes vadītājiem un dalībniekiem pieņemt pamatotus lēmumus. Tomēr, lai pilnībā izprastu energoefektivitātes pasākumu potenciālu, ir nepieciešami turpmāki pētījumi par *FSC* un modernām dzesēšanas tehnoloģijām.

#### 4.1.3. Olu piegādes ķēde

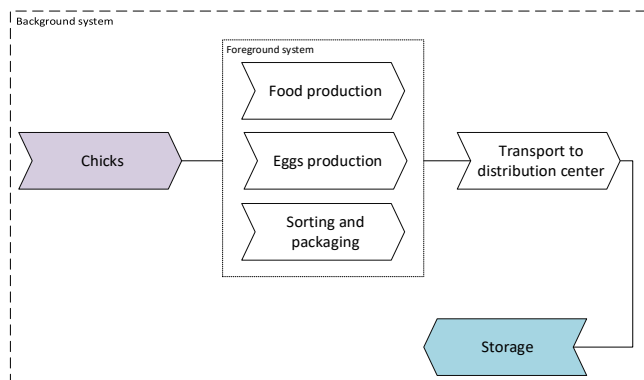
Latvija ir viens no vadošajiem olu un olu produktu ražotājiem Ziemeļeiropā, taču līdz šim nav veikti pētījumi, kas vietējā līmenī izvērtētu šīs nozares ietekmi uz vidi. Lai aizpildītu šo robu, tika veikta gadījuma izpēte par Latvijā ražotām olām, kas tiek transportētas uz Eiropas valstīm [225]<sup>1</sup>, izmantojot *EPD* vajadzībām izstrādāto specifisko produktu kategorijas noteikumu (*PCR*) ietvaru [226]. Mērķis ir identificēt dzīves cikla posmus ar vislielāko ietekmi

<sup>1</sup> Šo pētījumu un maģistra darbu līdzvadija promocijas darba autors viņa doktora studiju pētījuma ietvaros.



uz vīdi, ieteikt šīs ietekmes mazināšanas pasākumus un salīdzināt dējējvistu turēšanas veidus ar citu pētījumu rezultātiem.

Šajā pētījumā novērtēta visa piegādes ķēde, tostarp vistas gaļas transportēšana, ražošana, iepakošana un izplatīšana mazumtirgotājiem, bet nav ņemta vērā transportēšana uz mājāsaimniecībām un atkritumu iznīcināšana. *FU* ir definēts kā 1 kg olu (1., 2. un 3. tipa) mazumtirgotāja veikalā, kur 1 kg, ieskaitot iepakojumu, ir ~ 17 olu. Tika analizēti augšupējie procesi, izmantojot masas un enerģijas bilances, ņemot vērā atkritumu rašanos katrā posmā, ievērojot principu “piesārņotājs maksā”. Saskaņā ar *PCR* metodoloģiju aprites cikls tika sadalīts tā, kā redzams 4.7. attēlā.



4.7. attēls. Olu piegādes ķēdes sistēmas robežas.

Lai veiktu *DII*, uzņēmums sniedza primāros datus par trim olu veidiem, ko tas ražo: Nr. 3 – būros dētas olas; Nr. 2 – kūtī dētas olas; Nr. 1 – brīvās turēšanas apstākļos dētas olas. Dati atspoguļo uzņēmuma kontrolē esošās darbības, tostarp sīkāku informāciju par vistu dzīves apstākļiem: 3. kategorijas olām – turēšana būros, 2. kategorijas olām – turēšana kūtī, 1. kategorijas olām – turēšana brīvā dabā, kur katrai vistai ir vismaz 4 m<sup>2</sup> āra platības. Sīkāks *DII* kopsavilkums sniegts 4.6.–4.8. tabulās.

4.6. tabula. Materiālu *DII* pa olu veidiem

Ievades materiāli	Olas Nr. 3	Olas Nr. 2	Olas Nr. 1
Kvieši, kg	1,19	1,33	1,55
Saulespuķu sēklas, kg	0,31	0,35	0,4
Mieži, kg	0,29	0,32	0,37
Kukurūza, kg	0,24	0,27	0,31
Kalcijs, kg	0,24	0,27	0,31
Soja, kg	0,12	0,13	0,15
Plastmasas kastes, kg	0,01	0,01	0,01
Kartona kastes, kg	0,07	0,07	0,07
Plastmasas kastu transports (1350 km), kg*km	7,7	7,7	7,7
Kartona transports (1414 km), kg*km	99	99	99

4.7. tabula. Pamatprocesa LCI

Ievades materiāli	Olas Nr. 3	Olas Nr. 2	Olas Nr. 1
Pārtikas pārstrāde			
Ūdens, m <sup>3</sup>	3,69E-05	3,69E-05	3,67E-05
Elektrība, MWh	1,64E-05	1,92E-05	1,91E-05
Dabaszāze, MWh	1,03E-05	1,03E-05	1,03E-05
Olu ražošana			
Elektrība, MWh (Olu ražošana)	1,29E-04	9,97E-05	2,10E-04
Dabaszāze, MWh (Olu ražošana)	1,23E-04	7,36E-05	5,13E-06
Ūdens, m <sup>3</sup> (Olu ražošana)	4,09E-03	3,21E-03	3,85E-03
Dīzeļdegviela (iekšējā), euro 4, l	1,40E-03	1,40E-03	1,39E-03
Olu šķīrošana un iepakojšana			
Elektrība, kWh (olu šķīrošana un iepakojšana)	2,19E-02	2,19E-02	2,19E-02
Dabaszāze, kWh (olu šķīrošana un iepakojšana)	1,48E-02	1,48E-02	1,48E-02
Notekūdeņu attīrīšana			
Notekūdeņu attīrīšana, litri	6,70E-02	6,70E-02	6,70E-02

Inventarizācija aptver tādus svarīgus izejmateriālus kā no Vācijas transportēti vienu dienu veci cāļi, pārstrādāta graudu barība, ūdens, enerģija šķīrošanai un iepakojšanai, kā arī kūtsmēsli un notekūdeņu apsaimniekošana uzņēmuma piecās ražotnēs (Bēnē, Jelgavā, Iecavā, Madonā, Daugavpilī). Nebija nepieciešams sadalījums; vienīgie robežvērtības punkti bija zaudējumi mazāk nekā 1 % vistu zudumiem transportēšanas laikā, vistu olu zudumiem vistu mītnē un iepakojuma zudumiem.

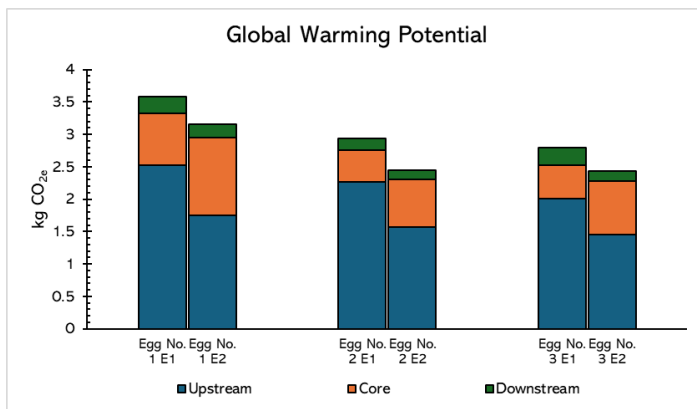
4.8. tabula. Pakārtotā procesa LCI

Ievades materiāli	Olas Nr. 3	Olas Nr. 2	Olas Nr. 1
Transports uz izplatīšanas centru			
Olu transports Latvija	50 km	12,5 kg/km	12,5 kg/km
	(25 %)		
Olu transports LT/EE	300 km	75 kg/km	75 kg/km
	(25 %)		
Olu transports EU	1500 km	750 kg/km	750 kg/km
	(50 %)		
Mēsli (izvaiņšanās no emisijām)			
Mēsli	1	1,55E+00	1,55E+00
Zemes izmantošana			
Zemes izmantošana	ha	0	2,68E-05

**Galvenie rezultāti.** Ietekmes novērtējums visiem trim olu veidiem, izmantojot *ReCiPe 2016* metodi, liecina, ka vislielāko ietekmi uz vidi rada augšupejošās darbības. Būtiskas atšķirības tika novērotas visos trīs olu tipos attiecībā uz cilvēku veselību, ekoloģisko līdzsvaru un resursu pieejamību.

- Olām Nr. 1 (brīvās turēšanas) bija vismazākā negatīvā ietekme uz cilvēku veselību un ekosistēmu, bet vislielākā ietekme uz resursu pieejamību.
- Olām Nr. 3 (sprostos dētas) ietekme uz cilvēku veselību un vidi bija visnopietnākā, bet vismazākā ietekme uz resursu pieejamību.
- Olām Nr. 2 (kūtī turētas vistas) ietekme visās trīs kategorijās bija mērena.

Attiecībā uz ietekmi uz klimata pārmaiņām olu Nr. 1 kopējā ietekme bija 3,58E+00 kg CO<sub>2</sub> ekv/kg olu, bet olu Nr. 2 un olu Nr. 3 kopējā ietekme bija attiecīgi 2,94E+00 kg CO<sub>2</sub> ekv/kg olu un 2,79E+00 kg CO<sub>2</sub> ekv/kg olu (sk. Attēls 4.8). To var izskaidrot ar inventarizācijas analīzi, kurā redzams, ka vistām, kas dēj olas Nr. 1, bija nepieciešams lielāks pārtikas daudzums, ko var saistīt ar barības izšķērdēšanu brīvās turēšanas sistēmā un vistu lielākām kaloriju vajadzībām.

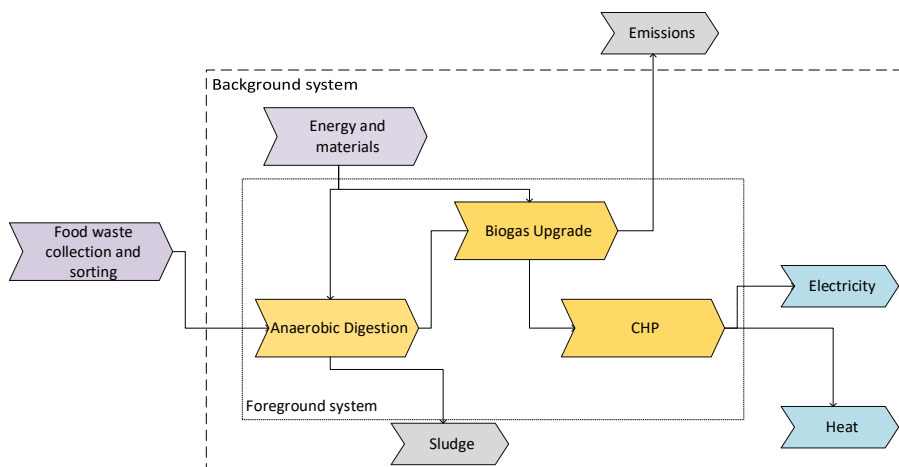


4.8. attēls. Rezultātu salīdzinājums klimata pārmaiņu jomā.

#### 4.1.4. Pārtikas atkritumu valorizācijas ilgtspējības novērtējums

Šajā pētījumā ir novērtēta enerģijas reģenerācijas iekārtas ekspluatācijas iesākšanas ietekme uz vidi Mondonedo poligonā Kolumbijā, pievēršot uzmanību pārtikas atkritumu apstrādei. Pētījumā modelēta *AD* iekārta biogāzes ražošanai, metāna attīrīšanai un enerģijas reģenerācijai, novērtējot ietekmi uz vidi, ekonomiku un sociālo jomu, izmantojot *LCA*, *LCC* un *S-LCA*.

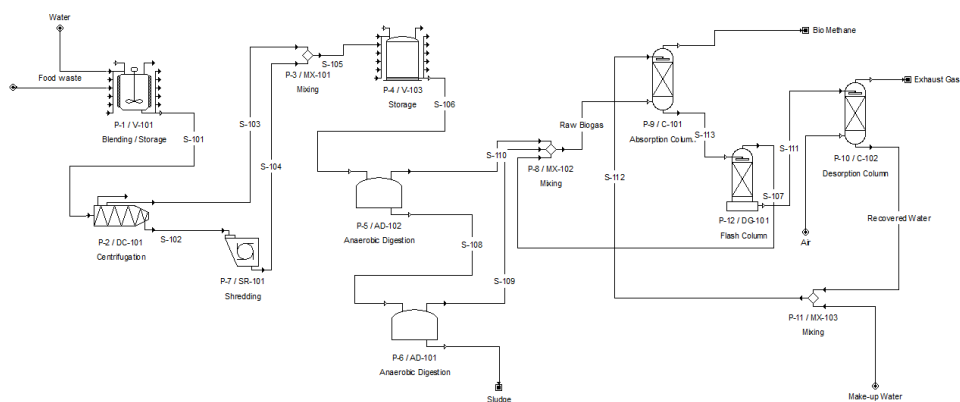
*FU* ir definēts kā 100 tonnas dienā (36 500 tonnas/gadā). Pētījumā izmantota pieeja “no vērtiem līdz vērtiem”, kas aptver *AD*, biogāzes ražošanu, biometāna attīrīšanu un koģenerāciju, bet neietver šķirošanas un reģenerācijas darbības. Sistēmas robežas redzamas 4.9. attēlā.



4.9. attēls. Sistēmas robežas *FW* valorizācijas gadījumā.

*DII* ietver materiālu un enerģijas plūsmas, kā arī ražošanai nepieciešamās iekārtas un infrastruktūru. Primārie dati par kopējo atkritumu daudzumu, pārtikas atkritumu sastāvu atkritumos un noārdāmo organisko vielu saturu (*DOC*) ir iegūti no Mondonedo poligona emisiju samazināšanas projekta ziņojuma, ņemot vērā vidējās vērtības 2007. līdz 2016. gadā [227]. Attiecībā uz biogāzes pārveidi, biogāzes pārveidošanu biometānā un koģenerācijas staciju darbību *SuperPro Designer*® tika izveidots procesa modelis, lai veiktu visu produktu un elementu plūsmu masas un enerģijas bilances (4.10. attēls).

*LCA* un *LCC* modeļu galvenie parametri ietver aprēķinus, kas saistīti ar biometāna reģenerāciju un ūdens plūsmu destilācijas kolonnās. No *AD* iegūto biogāzi pārstrādā biometānā, izmantojot ūdens skrubera tehnoloģiju, ko parasti izmanto lielās sistēmās (> 100 m<sup>3</sup>/h) [228]–[230]. Šīs metodes pamatā ir augstāka CO<sub>2</sub> un H<sub>2</sub>S šķīdība ūdenī nekā metānam, ievērojot Henrija likumu (2. vienādojums), kas apraksta sakarību starp gāzes koncentrāciju šķīdumā un tās parcelālo spiedienu [231].



4.10. attēls. Ierosināto tehnoloģiju plūsmas shēma.

$$C_A = K_H \cdot p_A, \quad (2)$$

kur:

$C_A$  – A gāzes molārā koncentrācija šķīdumā;

$K_H$  – Henrija konstante;

$p_A$  – gāzes daļējais spiediens.

Augsta spiediena absorbcijas kolonnā (augsts spiediens palielina gāzu šķīdību ūdenī) [232] oglekļa dioksīds tiek atdalīts no neapstrādātās biogāzes, izšķīdināts ūdenī un izsmidzināts no skrubera augšdaļas pret straumi ar biogāzi. Ūdens daudzums, kas nepieciešams, lai sekvestrētu noteiktu oglekļa dioksīda daudzumu, kā redzams 3. vienādojumā, ir atkarīgs no vēlamās CO<sub>2</sub> koncentrācijas attīrītajā gāzē, oglekļa dioksīda šķīdības ūdenī, ko ietekmē temperatūra un spiediens skrubērī, un kolonnas konstrukcijas. [230], [231]. Sīkāks detalizēts *LCI* apkopojuma apraksts atrodams 5. punktā.

$$Q_w(l/h) = \frac{Q_{CO_2}(g)(mol/h)}{C_{CO_2}(aq)(M)}, \quad (3)$$

kur:

$Q_w$  – ūdens plūsma kolonnā;

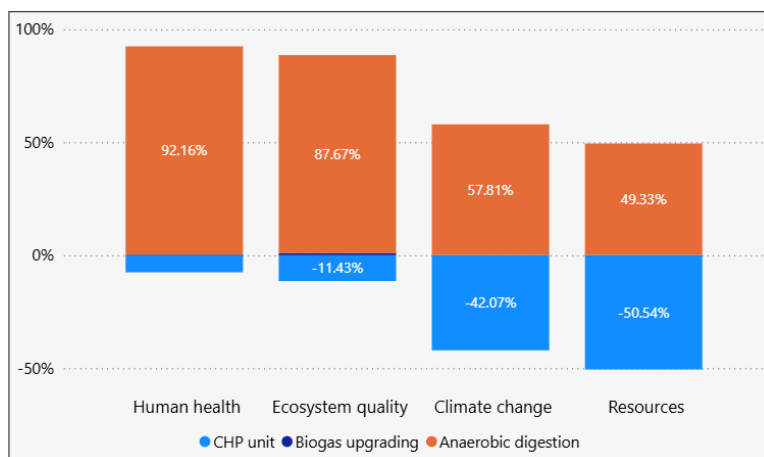
$Q_{CO_2}$  – molārā plūsma, kas jānoņem no biogāzes;

$C_{CO_2}$  – aprēķinātā oglekļa dioksīda šķīdība (izteikta kā maksimālā koncentrācija ūdenī), izmantojot 2. vienādojumu.

Šajā pētījumā *C-LCC* tiek izmantotas tās pašas sistēmas robežas kā *LCA*, modelējot pilna mēroga iekārtu, lai optimizētu izmaksu efektivitāti, izmantojot apjomradītus ietaupījumus [233]. *S-LCA* tiek novērtētas tādas ieinteresētās personas kā vietējā sabiedrība un darbinieki, koncentrējoties uz tādiem rādītājiem kā nodarbinātība, veselība un drošība un ekonomiskais ieguldījums [183], [234].

**Galvenie rezultāti.** Izmantojot *SimaPro 9.2* un *Ecoinvent v.3.7*, lietojot *IMPACT 2002+* metodi [162], [163], [235], [236], tika novērtēta pārtikas atkritumu valorizācijas scenārija ietekme uz vidi.

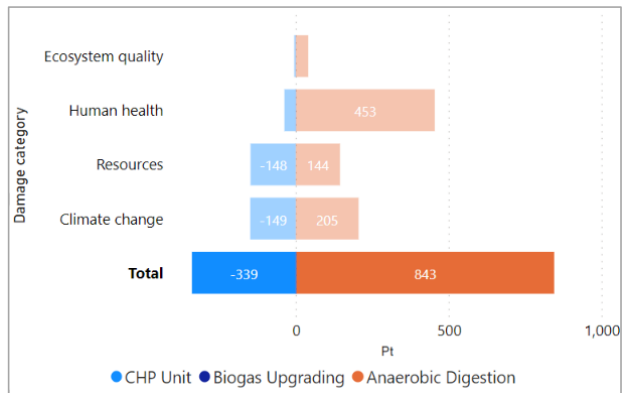
Mondonedo rūpnīcas ietekme uz vidi četrās galvenajās kaitējuma kategorijās ir redzama nākamajos attēlos. Elektroenerģijas un siltumenerģijas ražošana koģenerācijas stacijā rada ieguvumus videi, kas var gandrīz kompensēt slogu, ko rada citi posmi resursu izmantošanas un klimata pārmaiņu aizsardzības jomās (4.11. attēls).



4.11. attēls. Bojājumu novērtēšanas rezultāti ierosinātajam valorizācijas scenārijam.

Mondonedo ražotnes kopējā ietekme uz vidi ir 506 Pt, no kurām galvenā ir digestāta dūņu apstrāde (515 Pt), kam seko šķirotu pārtikas atkritumu transportēšana (247 Pt) un *AD* ražotnes būvniecība (79,8 Pt). Ieguvumi videi ir saistīti ar elektroenerģijas un siltuma ražošanu, kas attiecināmi uz produktiem, kuru rašanos novērš, paplašinot sistēmu (4.12. attēls).

Veicot sociālekonomisko novērtējumu, rezultāti parādīja neto pašreizējo vērtību 112 248 095 ASV dolārus, iekšējo atdevi – 16,25 %, savukārt vidējo atdevi – 3,43 %, kas apliecina tā ekonomisko dzīvotspēju. Sīkāka informācija par *CAPEX* un *OPEX* pieejama 5. punktā. Paredzams, ka darba formalizācija un obligātie aizsardzības pasākumi, biometāna koģenerācija un atkritumu šķirošana uzlabos darbinieku veselību un drošību. Tomēr vietējās kopienas baidās, ka šīs jaunās darbavietas bieži vien varētu būt labvēlīgas speciālistiem no citiem reģioniem.



4.12. attēls. Ierosināto valorizācijas scenāriju svērtie kopējie rezultāti.

## 4.2. Dažādu scenāriju kopsavilkums

Katrā šajā pētījumā veiktajā gadījumā izpētē tika izmantotas unikālas sistēmas robežas, kas pielāgotas konkrētajam *FSC*, atklājot atšķirīgas atziņas par energoefektivitāti un ietekmi uz vidi.

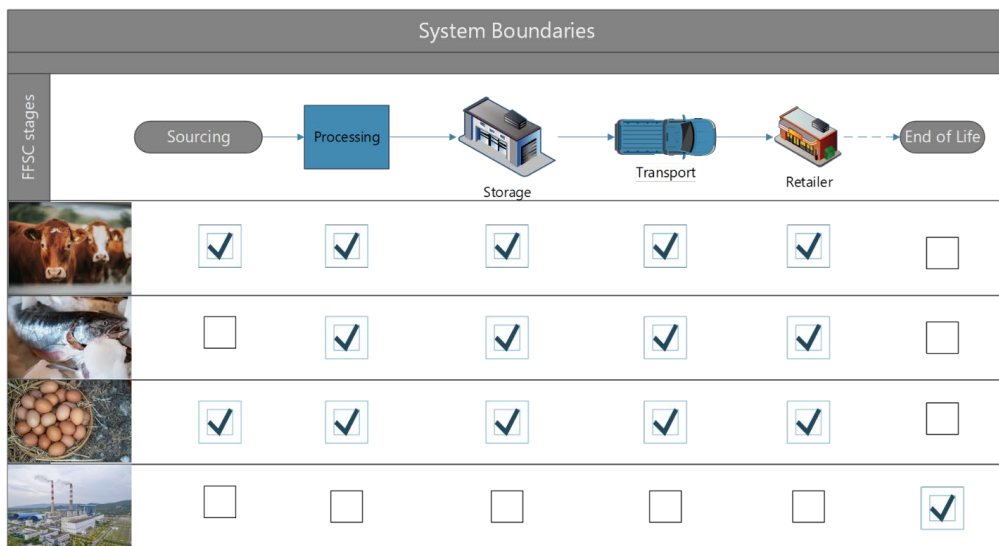
Liellopu gaļas aukstuma ķēdes gadījumā galvenā uzmanība tika pievērsta pārstrādei un atkritumu apsaimniekošanai, parādot, ka biogāzes reģenerācija anaerobās fermentācijas procesā var ievērojami samazināt siltumnīcefekta gāzu emisijas un kompensēt enerģijas pieprasījumu. Lai gan patērētājiem paredzētie posmi tika izslēgti, šī pieeja uzsvēra vides ieguvumus, ko sniedz no atkritumiem iegūtas enerģijas risinājumi.

Zivsaimniecības aukstuma piegādes ķēdes pētījumā tika analizēti visi posmi – no pārstrādes līdz uzglabāšanai lielveikalā. Tika konstatēts, ka aukstumiekārtu izmantošana visvairāk ietekmē kopējo ietekmi uz vidi, jo īpaši lielveikalos. Pētījumā tika ieteikti tādi pasākumi kā dzesēšanas līdzekļu optimizācija un atkritumu utilizācija, parādot, ka, iekļaujot visu ķēdi, atklājas enerģijas taupīšanas iespējas, ko šaurāka darbības joma varētu palaist garām.

Olu ražošanas pētījums ietvēra ražošanu un uzglabāšanu pēc apstrādes, bet neietvēra patēriņu un atkritumu fāzes. Tajā atklājās, ka brīvās turēšanas vistu olu ietekme uz vidi ir lielāka, jo pieaug kaloriju patēriņš. Šajā gadījumā galvenā uzmanība tika pievērsta neefektivitātei saldēšanā un iepakojumā, sniedzot ieskatu bez sarežģītības vēlākajos posmos.

Pārtikas produktu valorizācijas gadījums tika paplašināts, iekļaujot arī nolietotās pārtikas aprites beigu posmus un sociālo ietekmi, parādot, ka enerģijas reģenerācija no pārtikas atkritumiem varētu aizstāt tradicionālos enerģijas avotus, nodrošinot vides un ekonomiskos ieguvumus. Šis gadījums parādīja, cik svarīgs ir holistisks ilgtspējas novērtējums, kurā integrēti aprites ekonomikas principi.

Šie pētījumi ilustrē sistēmas robežu izvēles stratēģisko nozīmi *LCA* modelēšanā, jo tās nosaka iegūtās atziņas (4.13. attēls). Katrs gadījums parādīja, ka elastīgas, konkrētam kontekstam pielāgotas robežas ir būtiskas, lai noteiktu pielāgotus energoefektivitātes pasākumus, kas piemēroti katras piegādes ķēdes unikālajām prasībām.



4.13. attēls. Sistēmas robežu kopsavilkums.



## 5. DZĪVES CIKLA ILGTSPĒJAS RĪKS

*LCST* izstrāde *FSCs* pievēršas tradicionālai *LCA* sarežģītībai un izmaksām. Rīks vienkāršo vides, ekonomisko un sociālo ietekmju novērtēšanu piegādes ķēdes posmos, mazinot atkarību no dārgas programmatūras un speciālistu atbalsta. Salīdzinot ar *SimaPro* vai *GaBi*, uz nozari fokusēts rīks pazemina barjeras *SMEs*, identificē enerģijas un vides karstos punktus, atbalsta salīdzinājumu ar koplietotām pieņēmumu un fona datubāzēm un lietotājam draudzīgā saskarnē prioritizē enerģijas taupīšanas darbības. Tas demokratizē novērtēšanu, izgaismo izmaksu un emisiju samazinājumu un atbalsta aprītes ekonomikas prakses, dodot ieguvumu organizācijām ar ierobežotiem resursiem.

*LCST* sniedz rezultātus globālās sasilšanas potenciālam, enerģijas pieprasījumam un ūdens deficītam. Iebūvētais *LCC* aprēķina *NPV* un *IRR* un iekļauj sociālās izmaksas, ko rada *GHG* emisijas. Rīku izstrādāja promocijas darba autors. Rīks paredz priekšplāna aktivitāšu datu ievadi un izmanto *Ecoinvent 3.6* fona datiem un inventarizācijas normalizācijai. Izvades rezultāti ietver diagrammas, tabulas un grafikus, lai lietotājam atklātu karstos punktus. Lietotāji izvēlas produktus un piegādes ķēdes posmus reģionālai vai globālai analīzei, un aprēķina robežas automātiski pielāgojas lietotāja izvēlei.

Datubāze aptver transportlīdzekļus, attālumu, degvielas, uzglabāšanu un atkritumu scenārijus. *Ecoinvent 3.6* dati tiek pārveidoti uz 1 kg funkcionālo vienību. *LCC* gadījumā rīks balstās lietotāja priekšplāna datus un nodrošina lietotājam iespēju rediģēt bāzes ekonomiskās vērtības. Tas atbalsta tradicionālo, vides un sabiedrisko *LCC*, piedāvājot papildu perspektīvas lēmumu pieņemšanai.

Rīka saskarne ir veidota lietojamībai ar krāsu kodētām šūnām, sarakstiem, rediģējamiem laukiem un automātiskiem aprēķiniem. Atbilstība *ISO 14040* un *ISO 14044* ļauj piegādes ķēžu vadītājiem vērtēt ilgtspēju no *LCT* skatpunkta bez padziļinātām *LCA*, *LCC* vai *S-LCA* zināšanām. Lietotāji koncentrējas uz precīzu un konsekventu datu ievadi, nevis uz aprēķiniem.

Visi posmi ir redzami vienā lapā, lai atvieglotu izsekošanu. Stabiņu diagrammas sniedz tūlītēju atgriezenisko saiti. Aprēķinu lapas ir paslēptas, un datubāžu bibliotēkas ir aizsargātas, lai izvairītos no neparedzētām izmaiņām pārveidošanas koeficientos.

Rīks ļauj lietotājam izvēlēties reģionālu vai globālu piegādes ķēdes tipu, ievades datus par pārtikas un iepakojuma tipu, transporta veidu, attālumu, ceļošanas laiku, kravas, ergoavotus un citus nepieciešamos ievadus. Atkritumu apstrādes scenārijus var pievienot jutīguma analīzei (5.1. attēls). Vides ietekmes tiek kvantificētas ar trīs metodēm trīs kategorijās: *GWP CO<sub>2</sub> eq* ar *IPC100a*, enerģijas intensitāte *MJ* ar *Cumulative Energy Demand* un ūdens deficīts *m<sup>3</sup>* ar *AWARE*.

*LCA* sniedz visaptverošu skatījumu par pārtikas ķēdes scenārijiem dzīves cikla posmos un plūsmās ar nozīmību reģionālā, nacionālā un sabiedriskā līmenī. *LCST* tādējādi nodrošina plašu un detalizētu konkrētās piegādes ķēdes vides novērtējumu.

COLD CHAIN AND PRODUCT			FUNCTIONAL UNIT (FU) =				
Please select the type of product to model a cold chain for			Meat				
Please specify the product			Eggs of a rabbit or poultry				
Select the type of cold chain to model: Global or Regional			Regional				
TRANSPORT FROM LIVESTOCK PRODUCTION TO PROCESSOR							
Is refrigeration accomplished by an availability limited unit? <input checked="" type="checkbox"/> YES							
Please choose the type of vehicle(s) involved in this stage of the supply chain							
Lorry 35-75 ton R134a-freezing	Distance (km)	Travel Time (hr)	Amount Raw Material	Refrigerant	Annual initial	Fuel (only for refrigeration units)	Electrical Power (kWh)
-	100	2	6,000	R404a	100.0	-	50.0
-	0	0	0	R134a	-	-	-
-	0	0	0	R22	-	-	-
-	0	0	0	R22	-	-	-
-	0	0	0	R410a	-	-	-
Water consumption per year		Amount	Unit				
Tap Water	5	m3					
Underground Well-Water chemically treated	3	m3		SEC (kWh/kg)			0.19
TRANSPORT FROM AGRICULTURE PRODUCTION							
Impact per FU							
0.00 0.20 0.40 0.60 0.80 1.00 1.20 1.40							
* GHG (kg CO2 eq) * CED (MJ) * Water (m3) * ODP (kg CO2 eq) (m3)							
STAGE: PROCESSING AND STORAGE							
DEFINITION OF FINISHED PRODUCTS AND PAYLOAD (PROCESSING)							
Manufactured products to transport (without packaging)		Amount	Unit				
Eggs		5000	kg				
Does user want to create their own food product and impact per category data set? If yes, please use the following fields							
Insert product name			Amount	Unit	NO		
Impact category's values per FU			Amount	Unit			
GWP (kg CO <sub>2</sub> eq)			1000	kg			
CED (MJ)			5	MJ			
Temperatures for transport and Storage			°C				
Transport temperature (-20 to +20 °C)			-5				
Storage temperature (-20 to +20 °C)			-2				
Packaging Materials							
Polyethylene, low density, granulate		200	kg				
Ethylene/acetate, foil		40	kg				
Packaging film, low density polyethylene		80	kg				
Total amount to transport (Payload) + level material + packaging (level material)		5,300	kg				
		100,000	kg				
STORAGE AFTER PROCESSING							
Country where the processing and warehouse facilities are located at: Estonia							
Water consumption per year		Amount	Unit				
Tap Water		800	m3				
Underground Well-Water chemically treated		800	m3				
Energy consumption per year		Amount	Unit				
Electricity from the grid		10,000.0	kWh				
Electricity from natural gas		500.0	kWh				
Other energy sources (per year)		Amount	Unit				
Heavy fuel oil, rest of Europe		600.00	kg				
natural gas, low pressure		100.00	m3				
Refrigerant use per year (initial annual precharge)		Amount	Unit				
R134a		60.00	kg				
Storage time at the warehouse		30	days				
Warehouse size		Amount	Unit				
Warehouse Total size		200	m <sup>2</sup>				
Payload Volume		8.0	m <sup>3</sup>				
STORAGE AFTER PROCESSING							
Impact per FU							
0.0000 0.0025 0.0050 0.0075 0.0100 0.0125 0.0150 0.0175 0.0200							
* GHG (kg CO2 eq) * CED (MJ) * Water (m3) (m3)							
SEC only from energy sources at storage							
SEC (kWh/kg) 0.0125							
SEC (MJ/kg) 0.0451							
WASTE SCENARIO							
Type and Waste disposal scenario per year							
Slaughterhouse waste rendering to tallow and meal and Biodegradable waste to anaerobic digestion		Amount	Unit	Type of vehicle for waste	Distance	Select the type and amount of waste and the disposal scenario. The amount of waste generated per year is to be inserted. Then, the type of transport and distance to waste treatment facilities. Data will be automatically normalized to the FU.	
Slaughterhouse waste to municipal incineration		700.0	kg	Lorry 16-32   Euro 6	70.0		
Wastewater to average wastewater treatment plant		250.0	m <sup>3</sup>	Lorry 16-32   Euro 6	20.0		

5.1. attēls. Ieejas parametru saskarne.

## 5.1. LCA izejas rādītāji

LCST aprēķina izejas rādītājus, kas ietver visas piegādes ķēdes darbības gada laikā, un pieredzējušākiem lietotājiem ir iespēja modelēt atsevišķu notikumu scenārijus. Tā koncentrējas uz trim galvenajiem vides rādītājiem, kas iegūti, izmantojot LCA metodi saskaņā ar ISO 14040 un ISO 14044.

- Globālās sasilšanas potenciāls (GSP). Šis rādītājs, kas izteikts kilogramos CO<sub>2</sub> ekvivalenta, izmanto IPCC 2013. gada metodi ar 100 gadu laika periodu, aptverot materiālu aprites cikla emisijas, tostarp iegūvi, izejvielas un transportu, nevis tikai tiešās emisijas [237].
- Kumulētais enerģijas pieprasījums (CED). CED, ko mēra megadžoulos (MJ), uzskaita visu tiešo un netiešo enerģijas patēriņu, ņemot vērā gan atjaunojamus, gan neatjaunojamus avotus visā produkta dzīves ciklā [238], [239].
- Ūdens trūkums. Izmantojot AWARE metodoloģiju, šis rādītājs nosaka ūdens trūkuma potenciālu kubikmetros, aprēķinot ūdens trūkuma pēdu, pamatojoties uz reģionālo ūdens pieejamību un ietekmi uz cilvēku patēriņu, ievērojot ISO 14046 [240].

Aprēķina procedūra trim ietekmes kategorijām, kas iekļautas rīkā, ir šāda:

$$\text{Output indicator} = \text{input value(kg)} \times \text{characterization factor} \left( \frac{\text{emissions}}{\text{kg}} \right). \quad (4)$$

Ievaddati *LCST* lietotājam jāievada manuāli. Turpretī rīka kodols nodrošina pārrēķina koeficientus. Rezultātus var apskatīt vai nu rezultātu lapā, vai tieši lietotāja paneļa diagrammās.

## 5.2. *LCC* iznākuma rādītāji

*LCC* novērtējumā, izmantojot *ICCEE* rīku un *LCST*, tika novērtētas trīs galvenās *LCC* pieejas – tradicionālā, vides un sabiedrības. Dažādos *LCC* veidos tiek izmantotas atšķirīgas metodoloģijas, tāpēc attiecīgi tiek izmantoti dažādi izejas rādītāji. *C-LCC* un *S-LCC* ir ievērojamas līdzības, ko atspoguļo kopīgie rādītāji. Konkrētāk, *C-LCC* kontekstā, kā pieņemts šajā instrumentā, uzmanība galvenokārt tiek pievērsta ekonomiskajiem rādītājiem, kas ietver vairākus aspektus.

- Neto pašreizējā vērtība (*NPV*) – starpība starp ieguldījumu un nākotnes neto ienākumu (neto naudas plūsmas) kopējo pašreizējo vērtību.

$$NPV = \frac{R_t}{(1+i)^t}, \quad (5)$$

kur:

*NPV* – neto pašreizējā vērtība;

*R<sub>t</sub>* – neto naudas plūsma laikā *t*;

*i* – diskonta likme;

*t* – naudas plūsmas laiks.

- Iekšējā peļņas norma (*IRR*) ir rādītājs, kas ilustrē paredzamo peļņu attiecībā pret projekta ieguldījumu izmaksām. Var arī teikt, ka *IRR* parāda maksimālo aizdevuma procentu likmi, ko projekts var pieļaut.

$$0 = NPV = \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+IRR)^t} - C_0, \quad (6)$$

kur:

*C<sub>t</sub>* – neto naudas plūsma periodā *t*;

*C<sub>0</sub>* – kopējās sākotnējās ieguldījumu izmaksas;

*IRR* – iekšējā peļņas norma;

*t* – laika periodu skaits.

- Peļņas indekss (*PI*): ir attiecība starp nākotnes ienākumu kopējo pašreizējo vērtību (*PV*) un sākotnējo ieguldījumu.

$$PI = \frac{\text{PV of future cash flows}}{\text{Initial investment}} \quad (7)$$

*E-LCC* novērtējuma iznākuma rādītāju noteikšana rada lielākas problēmas, jo *E-LCC* galvenokārt koncentrējas tikai uz ekonomiskā aspekta novērtēšanu vai plašāku ilgtspējas novērtējuma komponentu. Tāpēc rezultāti tiek atspoguļoti katrā aprites cikla posmā naudas izteiksmē, un tas tiek darīts, nepiemērojot nekādas diskonta likmes.

### 5.3. *S-LCA (S-LCC)* izejas rādītāji

Līdzīgi apsvērumi, kas attiecas uz *C-LCC*, ir piemērojami arī *S-LCC*. Tomēr *S-LCC*, novērtējot kopējās naudas plūsmas, ietver papildu kaitējuma izmaksu komponentu. Šīs iekļaušanas pamatā ir pieņēmums, ka pastāv vēlme maksāt par ietekmi uz sabiedrību. *S-LCC* izejas rādītāji ietver vairākus aspektus.

- Sociālā *NPV (SNPV)*. *SNPV (SNPV)* ir līdzīga *NPV* definīcijai, bet novērtējumā iekļauj papildu zaudējumu izmaksas.
- Sociālo izmaksu un ieguvumu analīze (*SCBA*). Tā tiek ieteikta, kad tiek veikta *S-LCC*, un to nosaka, dalot nākotnes scenārija *SNPV* ar *SNPV* bāzes scenāriju. *SCBA* vērtība, kas ir lielāka par 1,0, liecina par sociālo ieguvumu no novērtētā ieguldījuma vai projekta, savukārt vērtība, kas ir mazāka par 1,0, liecina par projekta sociālo zaudējumu.

### 5.4. Datu vākšanas procedūra

Priekšplāna sistēma koncentrējas uz konkrētiem datiem, ko tieši kontrolē piegādes ķēdes ieinteresētās personas, savukārt fona sistēma izmanto vidējos datus par procesiem, kas nav tieši kontrolē. Pamatdati galvenokārt tiek vākti, apmeklējot ražotnes un veicot energoauditus, un tie ir kritiski svarīgi dati *LCST*. Fona dati, ko nodrošina rīks, atbalsta vispārējo modeli.

*LCST* nepieciešamie kritiskie jaunie dati ir šādi.

- Vispārīga informācija par uzņēmumu. Informācija par uzņēmuma atrašanās vietu, nozari, produktu pieprasījumu, noliktavas platības izmantojumu un maksimālo temperatūru.
- Uzglabāšanas darbības. Dati par ražošanas apjomiem, noliktavas temperatūru, enerģijas patēriņu saldēšanai, ūdens un dzesēšanas līdzekļu patēriņu un iepakojuma materiāliem.
- Transporta operācijas. Informācija par transportlīdzekļu tipiem, degvielu, attālumiem, dzesēšanas tehnoloģijām un kravnesību.
- EEM. Dati par enerģijas uzlabošanas pasākumiem, piemēram, dzesēšanas sistēmu maiņu, izolāciju, enerģijas reģenerācijas tehnoloģijām, uzturēšanas uzlabojumiem un energopārvaldības sistēmām. *LCST* atbalsta salīdzinošo analīzi un atsevišķus energoefektivitātes novērtējumus pārtikas piegādes ķēdēs, integrējot datus par dažādiem EEM.

Iepriekšējo datu vākšana *LCST* vajadzībām notiek saskaņā ar *ISO 14044* vadlīnijām, un galvenā uzmanība tiek pievērsta emisiju un resursu izmantošanas datu vākšanai, sakārtošanai un analīzei, kas tiek klasificēti līdzīgi kā priekšplāna dati. Galvenās kategorijas ir šādas.

- Transports
  - Autotransports. Dīzeļdzinēja transportlīdzekļi (EURO 5 un EURO 6) tālajiem pārvadājumiem līdz 32 tonnām.

- Autotransports ar saldētavu. Līdzīgi transportlīdzekļi ar saldēšanas iekārtām, ko darbina galvenais dzinējs.
- Globālais transports. Vilcieni, kuģi un lidmašīnas transokeāna kravu pārvadājumiem.
- Produkti un materiāli
  - Produkti. Ietver piena, zivju un gaļas produktus, aptverot kopējo ietekmi uz vidi no “šūpuļa līdz vārtiem”.
  - Iepakojuma materiāli. Tostarp pārtikas stikls, polimēri un plastmasa.
  - Ūdens. Ietver tādus avotus kā pazemes un dejonizēts ūdens.
- Enerģijas avoti
  - Elektriķa. Elektroenerģija ietver elektroenerģiju no valsts elektrotīkliem eirozonas valstīs un elektroenerģiju, kas ražota, izmantojot dažādus kurināmos, piemēram, fotoelementus un dabasgāzi.
  - Fosilais kurināmais. Ietver dabasgāzi, naftu un akmeņogles, ko mēra pēc masas/tilpuma.
  - Biodeģvijas. Parastās biodeģvijas, piemēram, biogāze, bioetānols, biodīzeļdeģvija u. c.
  - Siltums. Dažādi siltuma avoti, kas iedalīti pēc kurināmā veida un iekārtas lieluma, tostarp koģenerācija.
- Dzesēšanas materiāli. Ietver saldēšanas materiālus noliktavām un transporta līdzekļiem, kā arī deģviju neatkarīgām saldēšanas iekārtām.
- Atkritumu apglabāšana. Iespēja atbrīvoties no iepakojuma materiāliem, notekūdeņiem, kautuvju atkritumiem un bioloģiski noārdāmām vielām, tostarp transportēšana uz apstrādes iekārtu.

Visi raksturojuma faktori tika iegūti no datubāzes *Ecoinvent 3.6*, kas ir plaši izmantota komerciālās *LCA* programmatūras datubāze un atbilst *ISO 14044* [237].

## 5.5. Datu ievade

Materiālu un enerģijas plūsmas *LCST* ir izstrādātas tā, lai tās varētu ievadīt katru gadu un atbilstu tipiskajam pārskatu formātam, ko izmanto korporatīvajās sistēmās. Plūsmas ietver ūdens patēriņu, elektroenerģijas patēriņu, citus enerģijas avotus, aukstumaģentus (ikgadējā priekšlāde) un materiālu atkritumus. Piemēram, pārtikas uzņēmums parasti var nesekot elektroenerģijas patēriņu katram konkrētam produktam, bet var viegli iegūt kopējos gada patēriņa datus, izmantojot komunālo pakalpojumu uzskaites datus.

*LCST* ir ļoti svarīgi arī lietderīgās slodzes dati, lai gan tie tiek ievadīti atšķirīgi no materiālu plūsmām. Šie dati attiecas uz transportēto produktu masu vai tilpumu un ietver galvenos mainīgos lielumus, piemēram, transportlīdzekļa nobraukto attālumu, brauciena laiku, produkta tilpumu uz vienu transportlīdzekli, neatkarīgo vienību dzesēšanas un ventilācijas enerģiju un ūdens patēriņu. Tomēr dati par aukstumnesēju pirms uzpildes ir jāievada katru gadu, jo ietekmes uz vidi sadalījums ir balstīts gada noplūdes rādītājos, tādējādi radot nepieciešamību saskaņot šo ikgadējo metodi.

Turklāt tādi dati kā noliktavas lielums, produkta uzglabāšanas ilgums, lietderīgās slodzes apjoms un vidējais gadā uzglabājamo produktu daudzums ir būtiski svarīgi, lai rīkā sadalītu masu un enerģiju. Precīzu datu ievadišana ir būtiska, jo jebkādas kļūdas var būtiski ietekmēt aprēķinu rezultātus.

### 5.6. LCA datu apstrāde un rezultātu vizualizācija

LCST izmantotie raksturojošie faktori atspoguļo FSC materiālu un procesu ietekmi uz vidi, jo īpaši attiecībā uz GWP, CED un ūdens trūkumu. Faktori ir sakārtoti īpašās bibliotēkās un iedalīti kategorijās pēc fona datu veidiem, kā aprakstīts 5.1.4. apakšnodaļā. LCST ļauj lietotājiem pievienot jaunus lauksaimniecības produktus, kas nav iekļauti pamata datubāzē, sniedzot to vides profilus ietekmes kategorijām, izmantojot “no šūpuļa līdz galam” pieeju. Lietotāji var arī pielāgot šo produktu uzglabāšanas un transportēšanas nosacījumus, tiem pārvietojoties piegādes ķēdē.

Rīks apstrādā ievades datus, izmantojot Excel pamatlapu, izmantojot saglabātos pārrēķina koeficientus katram FSC posmam. Rezultāti, kas parādīti lapā “LCA rezultāti”, sniedz ieskatu par visas aukstuma ķēdes ietekmi uz vidi, sadalot pa posmiem.

- Kopējā ietekme visās trīs galvenajās ietekmes kategorijās un ietekme uz vienu FU visās kategorijās (5.2. attēls).

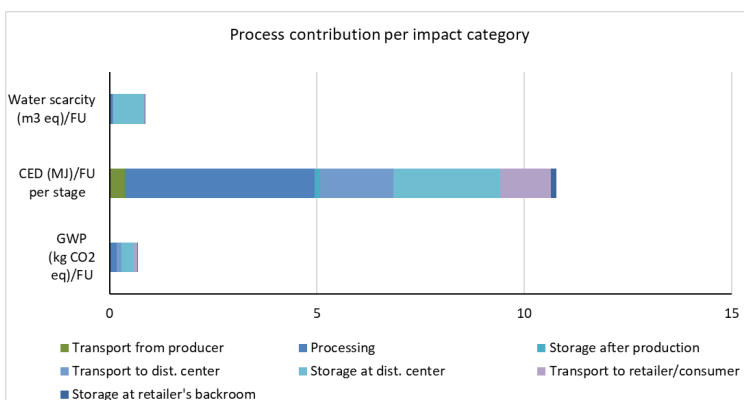
Total impact across the cold chain	GWP (kg CO <sub>2</sub> eq)	CED (MJ)	Water scarcity(m <sup>3</sup> eq.)
	3,603	57,167	4,246

Total impact per kg transported (FU)	GWP (kg CO <sub>2</sub> eq)	CED (MJ)	Water scarcity (m <sup>3</sup> eq.)
	0.68	10.78	0.85

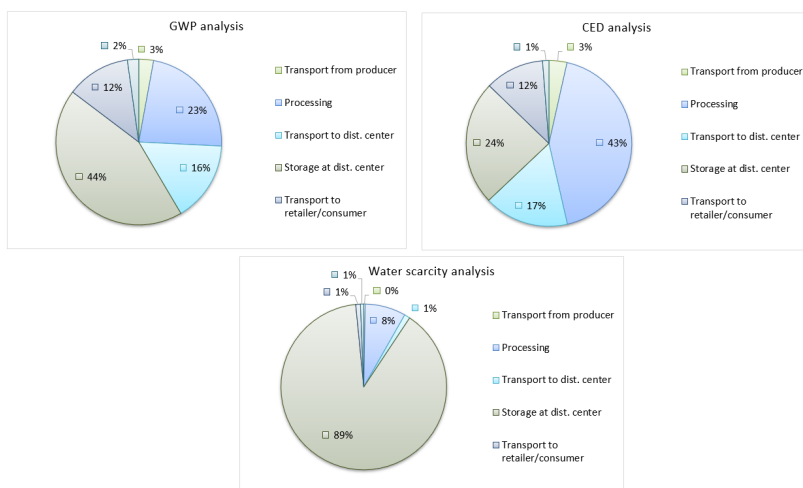
5.2. attēls. LCA rezultātu vispārējā izejas tabula.

- Diagramma, kurā parādīts katra posma ieguldījums dažādās ietekmes kategorijās (5.3. attēls), norādot vides karstos punktus,



5.3. attēls. Procesa ieguldījuma diagramma.

- Procesa ieguldījums katrā kategorijā vizuāls redzams 5.4. attēlā.



5.4. attēls. LCA rezultāti pa daļām katrā FSC posmā.

- Kumulatīvā ietekme visos FSC posmos.

## 5.7. LCC modelēšana

Šī pētījuma laikā tika novērtēti dažādi EEM dažādiem FSC dalībniekiem, tostarp ražotājiem, transporta uzņēmumiem un starpniekiem. LCST ļauj lietotājiem salīdzināt līdz pat trīs EEM ar bāzes scenāriju. Papildu lauki ieguldījumu datu ievadīšanai ļauj lietotājiem ievadīt datus par projekta izmaksām un EEM ieguldījumu izmaksām, ko var pielāgot dažādiem reģioniem vai tirgiem.

5.5. attēlā redzami lauki ar projekta un EEM ieguldījumu izmaksām, savukārt 5.6. attēlā – tabula ar paredzamajiem EEM rezultātiem. EEM rezultātā parasti tiek samazināts enerģijas patēriņš, taču ar šo rīku var novērtēt arī ūdens patēriņa un pārtikas kvalitātes izmaiņas. Parastās EEM iespējas ietver ventilācijas, apgaismojuma, motoru, dzesēšanas sistēmu, izolācijas un personāla uzvedības izmaiņu uzlabojumus.

Project costs			Baseline	EEM 1	EEM 2	EEM 3	Comments
Definition costs	Project costs						
	Design (calculations, internal coordination,... etc)		€				The costs of internal expertise for the project definition phase.
Investment costs in EEM	Technical assistance		€				The costs of external expertise (subcontracted) for the project definition phase.
	Construction	Item 1	€				
		Item 2	€				
		Item 3	€				
	Equipments and technical installations		€				Correspond to the program costs required beyond the definition phase: the construction costs and the purchase and installation of equipment.
Running costs/Cost Categories	Operation and maintenance	Item 1	€				
		Item 2	€				
		Item 3	€				
		Item 4	€				
		Item 5	€				
		Electricity	€/year				
	Fuels	€/year	-	-	-		
	Labour costs	€/year	-	-	-		
	Water	€/year	-	-	-		
	Refrigerants	€/year	-	-	-		
	Other	€/year	-	-	-		
	Production costs	Vehicle maintenance		€/year			
Raw Material 1		€/year	-	-	-		
Raw Material 2		€/year	-	-	-		
Raw Material 3		€/year	-	-	-		
Packaging material 1		€/year	-	-	-		
Packaging material 2		€/year	-	-	-		

5.5. attēls. Projekta un EEM ieguldījumu izmaksas.

Lapā “Ieguldījumu datu ievadīšana” ir apkopoti ražošanas dati un finanšu faktori, savukārt lapā “*C-LCC* rezultāti” doti tie rezultāti, kas atspoguļo katra scenārija apskatītos ekonomiskās produkcijas rādītājus (5.7. attēls).

Expected Results from EEM		Baseline	-25	EEM 2	EEM 3	Comments
Expected results/Energy savings	Unit					
Change in electricity consumption	%		-5.0%	3.0%	-8.0%	Corresponds to the change in the different material or energy flows, and changes in operational parameters due to EEM's implementation. Please enter the corresponding values.
Change in other energy sources	%		0.0%	0.0%	0.0%	
Change in labour costs	%		0.0%	0.0%	0.0%	
Change in water consumption	%		0.0%	0.0%	0.0%	
Change in refrigerant pre-charge	%		-2.0%	-5.0%	-3.0%	
Change in quality factor						Corresponds to the change in the quality factor affecting the total amount of units sold per year. Please enter the corresponding values.
Change in carbon emissions (ton CO <sub>2</sub> eq)	ton/year		0.0%	0.0%	0.0%	Expected amount of carbon emission reduction

5.6. attēls. EMM paredzamo rezultātu tabula.

Turklāt *E-LCC* funkcija aprēķina EEM ietekmi uz izmaksām, palīdzot lietotājiem noteikt visefektīvākos izmaksu samazināšanas pasākumus (5.8. attēls).

LIFE CYCLE COST COMPARISON (€/unit)				
	Baseline	EEM 1	EEM 2	EEM 3
	6.13	5.01	5.13	4.92

INVESTMENT EVALUATION COMPARISON				
	Baseline	EEM 1	EEM 2	EEM 3
NPV	33,721	35,587	27,509	27,940
IRR	-	115.32%	124.89%	104.65%
PI	-	9.90	8.64	7.21

*NPV*: Net present value is the difference between the total present value (PV) of the incoming net cash flow and the investment (-K).

*IRR*: Internal rate of return shows the maximum interest rate of a loan that can be tolerated by a project. If *IRR* > *WACC*, then an investment could be accepted.

*PI*: Profit index is a ratio between the total present value PV of future income and the initial investment.

5.7. attēls. *C-LCC* izejas rādītāju vizualizācija.

Please select from the droplist

In which Life cycle stage is the EEM implemented?

Energy efficiency measure to implement?

Baseline scenario (€/thousands of kg delivered)						
Costs	Transport 1	Storage after processing	Transport 2	Storage at dist. center	Transport 3	Retailer backroom
Flow material cost	5.10	7.59	20.02	164.99	14.65	6.91
GWP external cost	1.60	0.42	5.97	16.64	4.75	1.45
<b>Total E-LCC</b>	<b>6.70</b>	<b>8.02</b>	<b>25.99</b>	<b>181.63</b>	<b>19.40</b>	<b>8.36</b>

E-LCC

Future Scenario for implemented EEM (€/thousands of kg delivered)						
Costs	Transport 1	Storage after processing	Transport 2	Storage at dist. center	Transport 3	Retailer/large consumer backroom
Flow material cost	5.10	7.59	20.13	164.99	14.65	6.91
GWP external cost	1.60	0.42	5.98	16.64	4.75	1.45
<b>Total E-LCC</b>	<b>6.70</b>	<b>8.02</b>	<b>26.11</b>	<b>181.63</b>	<b>19.40</b>	<b>8.36</b>

Total environmental LCC per thousand of kg transported (€)	Baseline scenario -	Future scenario (implementing EEM)
		250.10

5.8. attēls. *E-LCC* rezultātu vizualizācija.



Pēdējā iezīme, kas integrē vēlmi maksāt par ārējiem faktoriem, ko parasti sedz sabiedrība, piemēram, klimata pārmaiņu radīto kaitējumu, ir iekļauta *LCST*. Lietotājs var mainīt šīs ārējo faktoru izmaksas atkarībā no vēlamās pieejas – CO<sub>2</sub> izmaksas par tonnu, kā tas ir ES *ETS*, kaitējuma izmaksas, kas saistītas ar vides cenām, vai samazināšanas izmaksas, piemēram, saskaņā ar ekoloģisko izmaksu metodiku (5.9. attēls).

		Baseline scenario													
Year		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Outflow	Up-front (investment)	-													
	On-going (O&M)		(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)
	Total standard costs		(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)
	Avoided damage cost		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Net cash flow		(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)
	Discount rate		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Discounted net cash flow		(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)
	\$LCC		(8,604,538)	(17,209,076)	(25,813,615)	(34,418,153)	(43,022,693)	(51,627,232)	(60,231,771)	(68,836,310)	(77,440,848)	(86,045,387)	(94,649,926)	(103,254,464)	(111,859,003)
	SNPV <sub>0</sub>		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SCBA														
		Future scenario (EEM-1)													
Year		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Outflow	Up-front (investment)	(26,878)													
	On-going (O&M)		(8,678,205)	(9,206,707)	(9,742,909)	(9,767,398)	(10,060,418)	(10,362,230)	(10,673,097)	(10,993,250)	(11,323,089)	(11,662,781)	(12,012,685)	(12,373,045)	(12,744,236)
	Total standard costs	(26,878)	(8,678,205)	(9,206,707)	(9,742,909)	(9,767,398)	(10,060,418)	(10,362,230)	(10,673,097)	(10,993,250)	(11,323,089)	(11,662,781)	(12,012,685)	(12,373,045)	(12,744,236)
	Avoided damage cost		5,250	5,624	5,821	6,024	6,235	6,454	6,679	6,913	7,155	7,405	7,661	7,923	8,191
	Net cash flow	(26,878)	(8,672,955)	(3,201,083)	(3,477,088)	(3,761,371)	(3,785,182)	(3,955,777)	(4,066,418)	(4,198,337)	(4,341,934)	(4,497,336)	(4,664,644)	(4,843,812)	(5,034,045)
	Discount rate		3.00%												
	Discounted net cash flow	(26,878)	(8,412,766)	(8,649,018)	(8,624,750)	(8,590,007)	(8,546,055)	(8,491,737)	(8,428,470)	(8,343,646)	(8,240,631)	(8,120,973)	(7,989,350)	(7,847,679)	(7,696,970)
	\$LCC		(26,878)	(8,439,444)	(17,088,462)	(25,732,482)	(34,369,818)	(43,004,874)	(51,639,641)	(60,274,128)	(68,908,336)	(77,542,364)	(86,176,212)	(94,810,080)	(103,443,968)
	SNPV <sub>0</sub>		1.02	1.01	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.03
	SCBA														
		Future scenario (EEM-2)													
Year		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Outflow	Up-front (investment)	-													
	On-going (O&M)		(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)
	Total standard costs		(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)
	Avoided damage cost		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Net cash flow		(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)
	Discount rate		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Discounted net cash flow		(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)
	\$LCC		(8,604,538)	(17,209,076)	(25,813,615)	(34,418,153)	(43,022,693)	(51,627,232)	(60,231,771)	(68,836,310)	(77,440,848)	(86,045,387)	(94,649,926)	(103,254,464)	(111,859,003)
	SNPV <sub>0</sub>		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SCBA														
		Future scenario (EEM-3)													
Year		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Outflow	Up-front (investment)	-													
	On-going (O&M)		(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)
	Total standard costs		(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)
	Avoided damage cost		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Net cash flow		(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)
	Discount rate		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Discounted net cash flow		(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)	(8,604,538)
	\$LCC		(8,604,538)	(17,209,076)	(25,813,615)	(34,418,153)	(43,022,693)	(51,627,232)	(60,231,771)	(68,836,310)	(77,440,848)	(86,045,387)	(94,649,926)	(103,254,464)	(111,859,003)
	SNPV <sub>0</sub>		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SCBA														

5.9. attēls. *S-LCC* rezultātu vizualizācija.

### 5.8. Rīka validācija

Rīka validācija notika *ICCEE* projekta ietvaros, kas bija vērsti uz MVU lēmumu pieņemšanai saistībā ar EEM. Šie rīki tika apstiprināti vairākos procesos.

- Konceptuāla rīka validācija.
- Iepriekšējos projekta posmos tika vākti dati no dažādām piegādes ķēdes ieinteresētajām personām, piemēram, piegādātājiem, ražotājiem un mazumtirgotājiem. Ar šiem datiem tika apstiprināti vairāki rīki, koncentrējoties uz piegādes ķēdes enerģijas patēriņu, aprites cikla analīzi un salīdzinošo novērtēšanu.
- Rīks tika pārbaudīts, izmantojot reālās piegādes ķēdes datus, lai gan tika atzīmēts, ka ne visas datu kopas bija pietiekami pilnīgas, lai modelētu visus gadījumus.
- Lai nodrošinātu lietojamību, funkcionalitāti un kļūdu neesamību, katrs rīks tika pakļauts stingrai tehniskai validācijai, tostarp sistēmas un lietotāju pieņemšanas testiem.

- Energoapgādes vadītāju un nozares ekspertu grupa tika aicināta sniegt atsauksmes gan par lietotāja saskarni, gan par rezultātu izklāstu. Katram projekta partnerim tika piešķirti konkrēti testējamie rīki, tādējādi nodrošinot visu izstrādāto rīku kopuma pārklājumu.

Validācijas protokola rezultāti bija šādi.

- Pozitīvas atsauksmes. Lielākā daļa lietotāju atzina, ka rīki ir noderīgi, un daži pauda interesi tos izmantot arī turpmāk. Tika atzinīgi novērtēta rīku vispārējā lietojamība un lietošanas ērtums un netika ziņots par būtiskām datu neatbilstībām.
- Identificētās problēmas. Tika konstatētas nelielas formatēšanas problēmas, piemēram, šūnu platuma korekcijas un problēmas ar nolaižamajām izvēlnēm. Turklāt tika uzsvērtas dažas tulkošanas nekonsekvences un ierosinājumi mainīt mērvienības uz intuitīvākām mērvienībām.
- Satura ieteikumi. Tika lūgts paplašināt nolaižamās izvēlnes opcijas un precizēt dažus norādījumus. *LCA* rīkā bija nepieciešami pielāgojumi aprēķinu formulās, savukārt citos bija nepieciešami uzlabojumi rezultātu noformējumā.

Kopumā rīks tika novērtēts atzinīgi, un tas ir vērtīgs resurss uzņēmumiem aukstuma piegādes ķēdes nozarē, lai uzlabotu energoefektivitāti. Bija nepieciešami daži nelieli pielāgojumi un kļūdu labojumi, taču kopumā rīks atbilda validācijas kritērijiem.

## 6. SECINĀJUMI UN IETEIKUMI

Pēdējās piecās desmitgadēs ilgtspēja no vajadzības balstīta koncepta ir kļuvusi par integrētu pieeju, kas līdzās ekonomiskajām vērtībām izceļ ekoloģiskās un sociālās vērtības. Ilgtspējīga attīstība tagad centrējas uz cilvēku labklājību un vides integritāti, nevis tikai uz izaugsmi.

Pārtikas nozarē globalizācija ir pagarinājusi un sarežģījusi piegādes ķēdes, palielinot enerģijas patēriņu, resursu izmantošanu un pārtikas atkritumu apjomu. Kvantitatīvam novērtējumam joprojām trūkst saliedēta ietvara, kas integrē vides, sociālo un ekonomisko pīlāru. Dzīves cikla domāšana to risina, izvērtējot ietekmes visā dzīves ciklā, tomēr praktisku un pieejamu rīku joprojām trūkst, īpaši nozares specifiskajām vajadzībām un *SMEs*.

Šajā pētījumā ar liellopu gaļas, zivju un olu gadījumu izpētēm tika izstrādāts un pārbaudīts dzīves cikla ilgtspējas rīks (*Life Cycle Sustainability Tool*), kas integrē visus trīs pīlārus, identificē karstos punktus un novērtē kompromisus un intervences.

Galvenie secinājumi

*LCA* rezultāti rāda augstāku ietekmi uz vienu kilogramu globalizētās liellopu gaļas ķēdēs, atbalstot vietējo iepirkumu;

- zvejas darbības, kurās izmantoti fosilie kurināmie, un neefektīva mazumtirdzniecības uzglabāšana palielina zivju ietekmes;
- transporta attālumi būtiski ietekmē vides pēdas nospiedumu;
- mērķēti energoefektivitātes pasākumi olu piegādes ķēdēs dod ieguvumus pat nelielā mērogā.

Ekonomiskās analīzes apstiprina, ka energoefektivitātes investīcijas ir gan videi labvēlīgas, gan finansiāli pamatotas. *LCST* sniedz praktiski izmantojamas atziņas ražotājiem, piegādes ķēžu vadītājiem un politikas veidotājiem, atbalstot stratēģiju izstrādi, resursu alokāciju un efektīvu politikas ietvaru izstrādi.

### 6.1. Secinājumi saistībā ar mērķiem

Šis pētījums risināja standartizēta, praktiska ietvara trūkumu, kas integrē vides, ekonomisko un sociālo pīlāru vienotā kvantitatīvā novērtējumā pārtikas nozarei. Balstoties dzīves cikla domāšanā (*LCT*), veiktie pētījumi parāda, ka fragmentārus izvērtējumus var aizstāt ar holistisku metodoloģiju.

Galvenais secinājums ir tas, ka *LCA* var vienkāršot, nezaudējot metodoloģisko stingrību. Piedāvātais *LCST* integrē *LCA*, *LCC* un atlasītos *S-LCA* indikatorus, standartizējot lietojumu tā, lai neprofesionāli, tostarp *SMEs*, ar minimālām priekšzināšanām varētu izveidot un izvērtēt piegādes ķēdes.

Liellopu gaļas, zivju un olu gadījumu izpētes apstiprina rīka lietderību. Rezultāti identificē karstos punktus un virza intervences – liels slogs no lieliem transporta attālumiem liellopu gaļas piegādes ķēdēs, energoietilpīgas zvejas operācijas zivju piegādes ķēdēs un mērķētas efektivitātes iespējas olu ražošanā. Izejas rezultāti informē ražotājus par procesu uzlabojumiem, palīdz vadītājiem prioritizēt investīcijas un norāda, kur politikas stimuli var būt visefektīvākie.

*LCST* savieno teoriju un praksi, tulkojot *LCT* principus standartizētā, tomēr pielāgojamā rīkā, kas līdzsvaro zinātnisko stingrību ar lietojamību. Tas ir īstajā laikā, ņemot vērā jauno

Eiropas regulējumu pieņemšanu, piemēram, *CSRD*, *ESPR*, *CBAM* un *CPR*, palielinot prasības uzticamai veiktspējas izvērtēšanai un ziņošanai.

Kopumā *LCA*, *LCC* un *S-LCA* integrēšana vienkāršotā, standartizētā metodoloģijā ir iespējama un nepieciešama. Demonstrējot *LCT* operacionalizāciju ar empīriskiem lietojumiem, promocijas darbs sniedz gan teorētisku pienesumu, gan praktisku instrumentu lēmumu pieņemšanai visā pārtikas piegādes ķēdē.

## 6.2. Ieteikumi

Promocijas darbā izstrādātais *LCST* ļauj ātri novērtēt ilgtspēju pārtikas piegādes ķēdēm lielākajā daļā ES-27 valstu. *ISO 14040/14044 LCA* pieejas vienkāršošana samazina sarežģītību, vienlaikus saglabājot stingrību. Lietotāji var veidot produktu sistēmas, pielāgot sistēmas robežas un iegūt rezultātus bez iepriekšējām *LCA* zināšanām. Rīks piemēro no vērtiem līdz vērtiem robežas, vienlaikus ņemot vērā attiecīgos augšupejošos un atlasītos lejupējos procesus.

Rūpniecībai un piegādes ķēžu vadītājiem *LCST* piedāvā praktisku lēmumu atbalsta rīku. Integrētie *LCA* un *LCC* moduļi ļauj analizēt vides un ekonomiskos kompromisus, savukārt sociālie indikatori paplašina tvērumu uz visiem trim pīlāriem. Lietojamība atbalsta gan lielus uzņēmumus, gan *SMEs*; ieteicama īsa apmācība, lai izvairītos no kļūdām un nodrošinātu konsekventus rezultātus.

Ieguvumi sniedzas tālāk par vides ieguvumiem. *LCST* palīdz identificēt pasākumus, kas samazina transportlīdzekļu izmantošanu vai pāreju uz efektīvākiem autoparkiem, optimizēt enerģiju saldēšanā un pārstrādē, atbalstīt atbilstību regulējumam un mazināt izmaksas, kas saistītas ar atkritumiem un resursu neefektivitāti. Rezultāti stiprina arī ilgtspējas komunikāciju ar patērētājiem, klientiem un investoriem.

*ICCEE* projekta pieredze rāda, ka uzņēmumi var gūt energoefektivitātes ieguvumus un ieguvumus, kas nav saistīti ar enerģiju. Salīdzināšana (*benchmarking*) un kapacitātes stiprināšana (apmācība un e-mācības) palīdzēja pārvērst novērtējumus rīcībā. Turpmākai *LCST* izplatīšanai vajadzētu ietvert mērķētas apmācības, lai nostiprinātu ilgtspējas praksi.

Politikas veidotājiem vienkāršotus un standartizētus rīkus, piemēram, *LCST*, vajadzētu iekļaut politikas un regulatīvajos instrumentos, lai mazinātu atbilstības barjeras un paplašinātu ieviešanu. Kvantitatīvie rezultāti var virzīt mērķētus pasākumus, piemēram, stimulēt vietējo iepirkumu, paaugstināt saldēšanas efektivitāti un mazināt fosilo kurināmo atkarību zvejniecībā.

Akadēmiskajai videi *LCST* ir mācību un apmācību resurss studentiem un praktiķiem bez padziļinātām *LCA* zināšanām. Tā iekļaušana studiju programmās un darba grupās palīdzēs sasaistīt teoriju ar industriālo praksi.

Kopsavelkot – *LCST* ieviešana industrijā, tā integrēšana politikā un izmantošana izglītībā var samazināt vides slogu, uzlabot ekonomisko efektivitāti un stiprināt sociālo atbildību visā pārtikas piegādes ķēdē.

### 6.3. Ieteikumi turpmākajiem pētījumiem

Papildus šiem praktiskajiem, politikas un izglītības pielietojumiem promocijas darbs iezīmē vairākus turpmāko pētījumu virzienus. Pirmkārt, nepieciešams tālāk pilnveidot sociālās dimensijas integrāciju *LCT* balstītos rīkos. Vides un ekonomiskais pīlārs ir salīdzinoši labi attīstīts, savukārt sociālā ilgtspēja joprojām ir mazāk standartizēta un prasa metodoloģiskas inovācijas, jo īpaši piegādes ķēdes līmeņa jautājumu skaidrošanā, piemēram, darba tiesību, kopienas labklājības un godīgas tirdzniecības prakses.

Otrkārt, turpmākajiem pētījumiem vajadzētu paplašināt *LCST* ietvaru ārpus pārtikas nozares, lai pārbaudītu tā pielāgojamību citos sektoros ar sarežģītām piegādes ķēdēm, piemēram, tekstilrūpniecībā, būvniecībā vai farmācijā. Salīdzinošie pētījumi ļautu izvērtēt gan metodoloģijas universālumu, gan nozarēm specifiskos ierobežojumus.

Treškārt, digitalizācijai un lielo datu analītikai turpinot attīstīties, būtiska būs reāllaika datu plūsmu, blokķēdē balstītas izsekojamības un mākslīgā intelekta integrācija dzīves cikla ilgtspējas novērtēšanas rīkos. Šāda integrācija varētu būtiski mazināt datu trūkumus un uzlabot rezultātu precizitāti, mērogojamību un dinamisku atjaunināšanu.

Ceturtkārt, nepieciešami turpmāki pētījumi par to, kā *LCST* var sistemātiskāk apvienot ar planētas robežu un absolūtās ilgtspējas konceptiem. Lai gan šis promocijas darbs iezīmē soļus šajā virzienā, globālo robežu operacionalizācija produktu un procesu līmeņa lēmumu atbalsta rīkos joprojām ir ilgtspējas zinātnes prioritāte.

## BIBLIOGRÁFIJA

- [1] R. Hernández Sampieri and C. F. Fernandez-Collado, *Metodología de la investigación*, Sexta edición. México D.F.: McGraw-Hill Education, 2014.
- [2] WCED, “Our common future. Oxford: Oxford university press.” 1987.
- [3] M. Diesendorf, “Sustainability and sustainable development,” in *Sustainability: The corporate challenge of the 21st century*, Epping, 2000, pp. 19–37. [Online]. Available: <http://markdiesendorf.com/wp-content/uploads/2015/09/CorpSust2000.pdf>.
- [4] T. Snegireva, G. Kayachev, A. Falaleev, and S. Kurgansky, “Human potential in the system of sustainable development,” in *E3S web of conferences*, 2019. doi: 10.1051/e3sconf/201913403014.
- [5] A. Romeiro, “Sustainable development: an ecological economics perspective,” 2013.
- [6] J. Rockström *et al.*, “A safe operating space for humanity,” *Nature*, vol. 461, no. 7263, Art. no. 7263, Sep. 2009, doi: 10.1038/461472a.
- [7] K. Raworth, “A Doughnut for the Anthropocene: humanity’s compass in the 21st century,” *The Lancet Planetary Health*, vol. 1, no. 2, pp. e48–e49, May 2017, doi: 10.1016/S2542-5196(17)30028-1.
- [8] L. Persson *et al.*, “Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 56, no. 3, pp. 1510–1521, Feb. 2022, doi: 10.1021/acs.est.1c04158.
- [9] K. Richardson *et al.*, “Earth beyond six of nine planetary boundaries,” *Sci. Adv.*, vol. 9, no. 37, p. eadh2458, Sep. 2023, doi: 10.1126/sciadv.adh2458.
- [10] J. Rockström *et al.*, “Safe and just Earth system boundaries,” *Nature*, vol. 619, no. 7968, Art. no. 7968, Jul. 2023, doi: 10.1038/s41586-023-06083-8.
- [11] A. Bjørn, M. Diamond, M. Owsianiak, B. Verzat, and M. Z. Hauschild, “Strengthening the Link between Life Cycle Assessment and Indicators for Absolute Sustainability To Support Development within Planetary Boundaries,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 49, no. 11, pp. 6370–6371, Jun. 2015, doi: 10.1021/acs.est.5b02106.
- [12] FoodDrinkEurope, “EU Food and Drink Industry,” 2016. Accessed: Jan. 12, 2024. [Online]. Available: [https://www.triptolemos.org/wp-content/uploads/2017/02/0184\\_2016\\_IA\\_Dades-agroalimentaria-UE-2015.pdf](https://www.triptolemos.org/wp-content/uploads/2017/02/0184_2016_IA_Dades-agroalimentaria-UE-2015.pdf).
- [13] Deloitte, “Energy efficiency in Europe - The levers to deliver the potential,” Deloitte, 2016. Accessed: Jan. 12, 2024. [Online]. Available: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Energy-and-Resources/energy-efficiency-in-europe.pdf>.
- [14] D. Coulomb, “Refrigeration and cold chain serving the global food industry and creating a better future: two key IIR challenges for improved health and environment,” *Trends in Food Science & Technology*, vol. 19, no. 8, pp. 413–417, Aug. 2008, doi: 10.1016/j.tifs.2008.03.006.
- [15] G. Liu, “The impact of supply chain relationship on food quality,” *Procedia Computer Science*, vol. 131, pp. 860–865, 2018, doi: 10.1016/j.procs.2018.04.286.
- [16] M. M. Aung and Y. S. Chang, “Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives,” *Food Control*, vol. 39, no. 1, pp. 172–184, 2014, doi: 10.1016/j.foodcont.2013.11.007.
- [17] S. H. Gheewala, N. Jungbluth, B. Notarnicola, B. Ridoutt, and H. van der Werf, “No simple menu for sustainable food production and consumption,” *Int J Life Cycle Assess*, vol. 25, no. 7, pp. 1175–1182, Jul. 2020, doi: 10.1007/s11367-020-01783-z.
- [18] FAO, “The State of Food and Agriculture 2019. Moving forward on food loss and waste reduction,” in *the State of the World*, 2016, pp. 1–439.
- [19] C. Arias Bustos and E. H. M. Moors, “Reducing post-harvest food losses through innovative collaboration: Insights from the Colombian and Mexican avocado supply chains,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 199, pp. 1020–1034, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.06.187.
- [20] United Nations, “The sustainable development goals report 2019,” *United Nations publication issued by the Department of Economic and Social Affairs*, p. 64, 2019.
- [21] M. del C. Alamar, N. Falagán, E. Aktas, and L. A. Terry, “Minimising food waste: a call for multidisciplinary research,” *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, doi: 10.1002/jsfa.8708.
- [22] C. Beretta, F. Stoessel, U. Baier, and S. Hellweg, “Quantifying food losses and the potential for reduction in Switzerland,” *Waste Management*, 2013, doi: 10.1016/j.wasman.2012.11.007.
- [23] “A systematic literature review of food sustainable supply chain management (FSSCM): building blocks and research trends | Emerald Insight.” Accessed: Jan. 01, 2024. [Online]. Available: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/TQM-10-2021-0300/full/html>.
- [24] A. Guo, S. Bryngelsson, A. Strid, M. Bianchi, A. Winkvist, and E. Hallström, “Choice of health metrics for combined health and environmental assessment of foods and diets: A systematic review of methods,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 365, 2022. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.132622.

- [25] S. Ammirato, A. M. Felicetti, M. Ferrara, C. Raso, and A. Violi, "Collaborative Organization Models for Sustainable Development in the Agri-Food Sector," *Sustainability*, vol. 13, no. 4, p. 2301, 2021, doi: 10.3390/su13042301.
- [26] M. J. Page *et al.*, "The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews," *BMJ*, p. n71, Mar. 2021, doi: 10.1136/bmj.n71.
- [27] Y. Chiffolleau and T. Dourian, "Sustainable Food Supply Chains: Is Shortening the Answer? A Literature Review for a Research and Innovation Agenda," *Sustainability*, vol. 12, no. 23, p. 9831, 2020, doi: 10.3390/su12239831.
- [28] L. Shamseer *et al.*, "Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015: elaboration and explanation.," *BMJ*, vol. 349, pp. 1–25, Jan. 2015, doi: 10.1136/bmj.g7647.
- [29] G. Brunori and F. Galli, "Sustainability of local and global food chains: Introduction to the special issue," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 8, no. 8. 2016. doi: 10.3390/su8080765.
- [30] S. Ahmad and K. Wong, "A Comprehensive and Integrated Stochastic-Fuzzy Method for Sustainability Assessment in the Malaysian Food Manufacturing Industry," *Sustainability*, vol. 11, no. 4, p. 948, Feb. 2019, doi: 10.3390/su11040948.
- [31] A. Bjorn *et al.*, "A comprehensive planetary boundary-based method for the nitrogen cycle in life cycle assessment: Development and application to a tomato production case study." Accessed: Dec. 22, 2022. [Online]. Available: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0048969720303235?token=23A7616CCB8DC5C94FC35513641ABEC8A45499DEEE391B96DE8C5A582F8032C9E05525D2A11B997FEAA430419392E5A5&origInRegion=eu-west-1&originCreation=20221222110904>.
- [32] M. Kucukvar, N. C. Onat, G. M. Abdella, and O. Tatari, "Assessing regional and global environmental footprints and value added of the largest food producers in the world," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 144, pp. 187–197, 2019. doi: 10.1016/j.resconrec.2019.01.048.
- [33] A. Avadí, P. Fréon, and J. Tam, "Coupled ecosystem/supply chain modelling of fish products from sea to shelf: The Peruvian anchoveta case," *PLoS ONE*, vol. 9, no. 7. 2014. doi: 10.1371/journal.pone.0102057.
- [34] M. Al-Obadi, "Dairy Wastage Footprint Analysis: A Farm-to-Fork Life Cycle Approach Across Dairy Supply Chain.," *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. pp. 200–211, 2021. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85130250902&partnerID=40&md5=e23f93022cf47e97afeb4137dd99b90b>.
- [35] T. Winkler and R. Aschemann, "Decreasing greenhouse gas emissions of meat products through food waste reduction. A framework for a sustainability assessment approach," *Food Waste Reduction and Valorisation: Sustainability Assessment and Policy Analysis*. 2017. doi: 10.1007/978-3-319-50088-1\_4.
- [36] A. K. Farmery, C. Gardner, B. S. Green, S. Jennings, and R. A. Watson, "Domestic or imported? An assessment of carbon footprints and sustainability of seafood consumed in Australia," *Environmental Science and Policy*, vol. 54, pp. 35–43, 2015. doi: 10.1016/j.envsci.2015.06.007.
- [37] G. Garcia-Garcia, L. Azanedo, and S. Rahimifard, "Embedding sustainability analysis in new food product development," *Trends in Food Science and Technology*, vol. 108, pp. 236–244, 2021. doi: 10.1016/j.tifs.2020.12.018.
- [38] R. Stefanini and G. Vignali, "Environmental and economic sustainability assessment of an industry 4.0 application: the AGV implementation in a food industry," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 120, no. 5–6, pp. 2937–2959, 2022. doi: 10.1007/s00170-022-08950-6.
- [39] Preethi, S. Kavitha, J. R. Banu, P. Arulazhagan, and M. Gunasekaran, "Environmental impacts and sustainability assessment of food loss and waste valorization: Value chain analysis of food consumption," *Food Waste to Valuable Resources: Applications and Management*. 2020. doi: 10.1016/B978-0-12-818353-3.00017-1.
- [40] M. Dreyer *et al.*, "Environmental life cycle assessment of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) production for human consumption in Austria – a comparison of mealworm and broiler as protein source," *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 26, no. 11, pp. 2232–2247, 2021. doi: 10.1007/s11367-021-01980-4.
- [41] V. Uusitalo, A. Kuokkanen, K. Grönman, N. Ko, H. Mäkinen, and K. Koistinen, "Environmental sustainability assessment from planetary boundaries perspective – A case study of an organic sheep farm in Finland," *Science of the Total Environment*, vol. 687, pp. 168–176, 2019. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.06.120.
- [42] M. Cooreman-Algoed, L. Boone, S. E. Taelman, S. Van Hemelryck, A. Brunson, and J. Dewulf, "Impact of consumer behaviour on the environmental sustainability profile of food production and consumption chains – a case study on chicken meat," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 178. 2022. doi: 10.1016/j.resconrec.2021.106089.

- [43] S. Cristiano, H. Baarset, C. Bruckner, J. Johansen, and R. Pastres, "Innovative options for the reuse and valorisation of aquaculture sludge and fish mortalities: Sustainability evaluation through Life-Cycle Assessment," *Journal of Cleaner Production*, vol. 352. 2022. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.131613.
- [44] S. Ahmad, K. Y. Wong, and R. Ahmad, "Life cycle assessment for food production and manufacturing: Recent trends, global applications and future prospects," vol. 34. pp. 49–57, 2019. doi: 10.1016/j.promfg.2019.06.113.
- [45] F. Ziegler *et al.*, "Local seal or imported meat? Sustainability evaluation of food choices in greenland, based on life cycle assessment," *Foods*, vol. 10, no. 6. 2021. doi: 10.3390/foods10061194.
- [46] G. Egilmez, M. Kucukvar, O. Tatari, and M. K. S. Bhutta, "Supply chain sustainability assessment of the U.S. food manufacturing sectors: A life cycle-based frontier approach," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 82, pp. 8–20, Jan. 2014, doi: 10.1016/j.resconrec.2013.10.008.
- [47] G. M. Abdella *et al.*, "Sustainability assessment and modeling based on supervised machine learning techniques: The case for food consumption," *Journal of Cleaner Production*, vol. 251, p. 119661, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119661.
- [48] P. Bergström, C. Malefors, I. Strid, O. J. Hanssen, and M. Eriksson, "Sustainability assessment of food redistribution initiatives in Sweden," *Resources*, vol. 9, no. 3. 2020. doi: 10.3390/resources9030027.
- [49] S. Rafiee, B. Khoshnevisan, I. Mohammadi, M. Aghbashlo, H. mousazadeh, and S. Clark, "Sustainability evaluation of pasteurized milk production with a life cycle assessment approach: An Iranian case study," *Science of the Total Environment*, vol. 562, pp. 614–627, 2016. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.04.070.
- [50] K. Shahzad, M. Rehan, M. I. Rashid, N. Ali, A. S. Summan, and I. M. I. Ismail, "Sustainability evaluation of polyhydroxyalkanoate production from slaughterhouse residues utilising emergy accounting," *Polymers*, vol. 14, no. 1. 2022. doi: 10.3390/polym14010118.
- [51] N. Yakovleva, J. Sarkis, and T. W. Sloan, "Sustainability indicators for the food supply chain," in *Environmental Assessment and Management in the Food Industry*, Elsevier, 2010, pp. 297–329. doi: 10.1533/9780857090225.3.297.
- [52] J. Schwarz, M. Schuster, B. Annaert, M. Maertens, Erik Mathijs, and E. Mathijs, "Sustainability of global and local food value chains. An empirical comparison of Peruvian and Belgian asparagus," Mar. 2016.
- [53] S. M. Ioannidou *et al.*, "Sustainable production of bio-based chemicals and polymers via integrated biomass refining and bioprocessing in a circular bioeconomy context," *Bioresource Technology*, vol. 307. 2020. doi: 10.1016/j.biortech.2020.123093.
- [54] H. Rohn, M. Lukas, K. Bienge, J. Ansorge, and C. Liedtke, "The hot spot analysis: Utilization as customized management tool towards sustainable value chains of companies in the food sector," *Agris Online Papers in Economics and Informatics*, vol. 6, no. 4. pp. 133–143, 2014.
- [55] A. Dobon *et al.*, "The sustainability of communicative packaging concepts in the food supply chain. A case study: Part 2. Life cycle costing and sustainability assessment," *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 16, no. 6. pp. 537–547, 2011. doi: 10.1007/s11367-011-0291-9.
- [56] A. Melkonyan, K. Krumme, T. Gruchmann, and G. De La Torre, "Sustainability assessment and climate change resilience in food production and supply," *Energy Procedia*, vol. 123. pp. 131–138, 2017. doi: 10.1016/j.egypro.2017.07.236.
- [57] A. Melkonyan, T. Gruchmann, F. Lohmar, V. Kamath, and S. Spinler, "Sustainability assessment of last-mile logistics and distribution strategies: The case of local food networks," *International Journal of Production Economics*, vol. 228. 2020. doi: 10.1016/j.ijpe.2020.107746.
- [58] G. Brunori *et al.*, "Are local food chains more sustainable than global food chains? Considerations for Assessment," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 8, no. 5. 2016. doi: 10.3390/su8050449.
- [59] C. Peano, N. Tecco, E. Dansero, V. Girgenti, and F. Sottile, "Evaluating the sustainability in complex agri-food systems: The SAEMETH framework," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 7, no. 6. pp. 6721–6741, 2015. doi: 10.3390/su7066721.
- [60] A. M. Gómez-Trujillo and I. C. A. Rendón, "International presence and sustainability in emerging markets: Nutresa Group towards a global leadership; [Presencia internacional y sostenibilidad en mercados emergentes: Grupo Nutresa hacia un liderazgo global]," *Produccion y Limpia*, vol. 14, no. 1. pp. 77–93, 2019. doi: 10.22507/pml.v14n1a4.
- [61] A. Doernberg, A. Piorr, I. Zasada, D. Wascher, and U. Schmutz, "Sustainability assessment of short food supply chains (SFSC): developing and testing a rapid assessment tool in one African and three European city regions," *Agriculture and Human Values*, vol. 39, no. 3. pp. 885–904, 2022. doi: 10.1007/s10460-021-10288-w.
- [62] A. Woodhouse, J. Davis, C. Pénicaud, and K. Östergren, "Sustainability checklist in support of the design of food processing," *Sustainable Production and Consumption*, vol. 16. pp. 110–120, 2018. doi: 10.1016/j.spc.2018.06.008.



- [63] D. Marino, L. Mastronardi, A. Giannelli, V. Giaccio, and G. Mazzocchi, "Territorialisation dynamics for Italian farms adhering to Alternative Food Networks," *Bulletin of Geography. Socio-economic Series*, no. 40, Art. no. 40, Jun. 2018, doi: 10.2478/bog-2018-0018.
- [64] E. Bottani, M. C. Gentilotti, and M. Rinaldi, "A fuzzy logic-based tool for the assessment of corporate sustainability: A case study in the food machinery industry," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 9, no. 4. 2017. doi: 10.3390/su9040583.
- [65] E. Sharifi, S. H. Amin, and L. Fang, "A new fuzzy group decision-making approach for evaluating sustainability of food supply chains," *IISE Annual Conference and Expo 2021*. pp. 199–204, 2021. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85120932241&partnerID=40&md5=e4d427d0f02beb3529572821435d8c71>.
- [66] M. Yani *et al.*, "An Adaptive Fuzzy Multi-Criteria Model for Sustainability Assessment of Sugarcane Agroindustry Supply Chain," *IEEE Access*, vol. 10. pp. 5497–5517, 2022. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3140519.
- [67] V. Sridharan and M. Suresh, "Environmental sustainability assessment using multigrade fuzzy-A case of two Indian colleges," *2016 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research, ICCIC 2016*. 2016. doi: 10.1109/ICCIC.2016.7919594.
- [68] Mukesh Kumar, M. Sharma, R. D. Raut, S. K. Mangla, and Vikas Kumar Choubey, "Performance assessment of circular driven sustainable agri-food supply chain towards achieving sustainable consumption and production," *Journal of Cleaner Production*, vol. 372, pp. 133698–133698, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.133698.
- [69] C J Siddegowda and A. Jayanthila Devi, "A Study on the Role of Precision Agriculture in Agro-Industry," vol. 5, no. 2, pp. 57–67, Sep. 2021, doi: 10.47992/ijaeml.2581.7000.0103.
- [70] A. Kumar, S. K. Mangla, and P. Kumar, "An integrated literature review on sustainable food supply chains: Exploring research themes and future directions," *Science of the Total Environment*, vol. 821. 2022. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153411.
- [71] W. A. P. Dania, K. Xing, and Y. Amer, "Collaboration and Sustainable Agri-Food Supply Chain: A Literature Review," vol. 58, p. 02004, Jan. 2016, doi: 10.1051/mateconf/20165802004.
- [72] R. K uchler and C. Herzig, "Connectivity is key: holistic sustainability assessment and reporting from the perspective of food manufacturers," *British Food Journal*, vol. 123, no. 9. pp. 3154–3171, 2021. doi: 10.1108/BFJ-03-2021-0317.
- [73] C. Moreno-Miranda and L. Dries, "Integrating coordination mechanisms in the sustainability assessment of agri-food chains: From a structured literature review to a comprehensive framework," *Ecological Economics*, vol. 192. 2022. doi: 10.1016/j.ecolecon.2021.107265.
- [74] A. M. Faus, A. Moragues-Faus, and A. Marceau, "Measuring Progress in Sustainable Food Cities: An Indicators Toolbox for Action," *Sustainability*, vol. 11, no. 1, p. 45, Dec. 2018, doi: 10.3390/su11010045.
- [75] E. Desiderio, L. Garc a-Herrero, D. Hall, A. Segr e, and M. Vittuari, "Social sustainability tools and indicators for the food supply chain: A systematic literature review," *Sustainable Production and Consumption*, vol. 30. pp. 527–540, 2022. doi: 10.1016/j.spc.2021.12.015.
- [76] Shamraiz Ahmad, Kuan Yew Wong, and Shahid Ikramullah Butt, "Status of sustainable manufacturing practices: literature review and trends of triple bottom-line-based sustainability assessment methodologies," *Environmental Science and Pollution Research*, Jul. 2022, doi: 10.1007/s11356-022-22172-z.
- [77] J. G. A. J. van der Vorst, L. Peeters, and J. M. Bloemhof, "Sustainability Assessment Framework for Food Supply Chain Logistics: Empirical Findings from Dutch Food Industry," *International Journal on Food System Dynamics*, vol. 4, no. 2. pp. 130–139, 2013. doi: 10.18461/ijfsd.v4i2.424.
- [78] H. El Bilali, C. Strassner, and T. Ben Hassen, "Sustainable agri-food systems: Environment, economy, society, and policy," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 11. 2021. doi: 10.3390/su13116260.
- [79] E. Sl atmo, Elin Sl atmo, K. Fischer, and E. R o s, "The Framing of Sustainability in Sustainability Assessment Frameworks for Agriculture," *Sociologia Ruralis*, vol. 57, no. 3, pp. 378–395, Jul. 2017, doi: 10.1111/soru.12156.
- [80] C. Silvestri, L. Silvestri, M. Piccarozzi, and Alessandro Ruggieri, "Toward a framework for selecting indicators of measuring sustainability and circular economy in the agri-food sector: a systematic literature review," *International Journal of Life Cycle Assessment*, Mar. 2022, doi: 10.1007/s11367-022-02032-1.
- [81] F. Galli *et al.*, "Sustainability assessment of food supply chains: an application to local and global bread in Italy," *Agricultural and Food Economics*, vol. 3, no. 1. 2015. doi: 10.1186/s40100-015-0039-0.
- [82] V. Le on Bravo, A. Moretto, and F. Cianiato, "A roadmap for sustainability assessment in the food supply chain," *British Food Journal*, vol. 123, no. 13. pp. 199–220, 2021. doi: 10.1108/BFJ-04-2020-0293.
- [83] A. Tunı and A. Rentizelas, "Improving environmental sustainability in agri-food supply chains: Evidence from an eco-intensity-based method application," *Cleaner Logistics and Supply Chain*, vol. 5. 2022. doi: 10.1016/j.elcscn.2022.100081.

- [84] V. León-Bravo, F. Caniato, and M. Caridi, "Sustainability assessment in the food supply chain: study of a certified product in Italy," *Production Planning and Control*, vol. 32, no. 7. pp. 567–584, 2021. doi: 10.1080/09537287.2020.1744761.
- [85] N. P. Springer *et al.*, "Sustainable sourcing of global agricultural raw materials: Assessing gaps in key impact and vulnerability issues and indicators," *PLoS ONE*, vol. 10, no. 6. 2015. doi: 10.1371/journal.pone.0128752.
- [86] A. Avadi and P. Fréon, "A set of sustainability performance indicators for seafood: Direct human consumption products from Peruvian anchoveta fisheries and freshwater aquaculture," *Ecological Indicators*, 2015, doi: 10.1016/j.ecolind.2014.09.006.
- [87] Y. Leeben, P. Soni, and G. P. Shivakoti, "Indicators of sustainable development for assessing performance of pineapple canneries: Conceptual framework and application," *Journal of Food, Agriculture and Environment*, vol. 11, no. 2. pp. 100–109, 2013.
- [88] A. Malak-Rawlikowska *et al.*, "Measuring the economic, environmental, and social sustainability of short food supply chains," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 11, no. 15. 2019. doi: 10.3390/su11154004.
- [89] M. E. Ruiz Molina, S. Belda-Miquel, A. Hytti, and I. Gil-Saura, "Addressing sustainable food management in hotels: proposing a framework and examining hotel groups," *British Food Journal*, vol. 124, no. 2. pp. 462–492, 2022. doi: 10.1108/BJFJ-12-2020-1171.
- [90] S. A. Sarkodie, V. Strezov, H. Weldekidan, E. F. Asamoah, P. A. Owusu, and I. N. Y. Doyi, "Environmental sustainability assessment using dynamic Autoregressive-Distributed Lag simulations – Nexus between greenhouse gas emissions, biomass energy, food and economic growth," *Science of the Total Environment*, vol. 668. pp. 318–332, 2019. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.432.
- [91] L. Mastronardi, D. Marino, V. Giaccio, A. Giannelli, M. Palmieri, and G. Mazzocchi, "Analyzing Alternative Food Networks sustainability in Italy: a proposal for an assessment framework," *Agricultural and Food Economics*, vol. 7, no. 1. 2019. doi: 10.1186/s40100-019-0142-8.
- [92] A. Bonanno *et al.*, "Improvement of oxidative status, milk and cheese production, and food sustainability indexes by addition of durum wheat bran to dairy cows' diet," *Animals*, vol. 9, no. 9. 2019. doi: 10.3390/ani9090698.
- [93] T. Stillitano *et al.*, "An economic sustainability assessment of 'Fichi di Cosenza' PDO production compared with other profitable permanent crops," *Acta Horticulturae*, vol. 2017, no. 1173. pp. 395–400, 2017. doi: 10.17660/ActaHortic.2017.1173.68.
- [94] Mariany Costa Deprá, Rosangela Rodrigues Dias, Leila Queiroz Zepka, and Eduardo Jacob-Lopes, "Building cleaner production: How to anchor sustainability in the food production chain?," *Environmental advances*, vol. 9, pp. 100295–100295, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.envadv.2022.100295.
- [95] S. Schmidheiny, R. Chase, and L. DeSimone, *Signals of change : business progress towards sustainable development*. 1997. Accessed: Jan. 02, 2024. [Online]. Available: <https://portals.iucn.org/library/node/22701>.
- [96] G. Halkos and S. Nomikos, "Corporate social responsibility: Trends in global reporting initiative standards," *Economic Analysis and Policy*, vol. 69, pp. 106–117, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.eap.2020.11.008.
- [97] R. K. Singh, H. R. Murty, S. K. Gupta, and A. K. Dikshit, "An overview of sustainability assessment methodologies," Apr. 2012, Accessed: Jan. 01, 2024. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X11000240>.
- [98] E. Širá, R. Vavrek, I. Kravčáková Vozárová, and R. Kotulič, "Knowledge Economy Indicators and Their Impact on the Sustainable Competitiveness of the EU Countries," *Sustainability*, vol. 12, no. 10, Art. no. 10, Jan. 2020, doi: 10.3390/su12104172.
- [99] D. Meadows, "Indicators and Information Systems for Sustainable Development," in *The Earthscan Reader in Sustainable Cities*, 1st ed., London: Routledge, 2021, pp. 364–393. doi: 10.4324/9781315800462-21.
- [100] S. Damkjaer and R. Taylor, "The measurement of water scarcity: Defining a meaningful indicator," *Ambio*, vol. 46, no. 5, pp. 513–531, Sep. 2017, doi: 10.1007/s13280-017-0912-z.
- [101] A. Warhurst, "Sustainability Indicators and Sustainability Performance Management".
- [102] J. Bebbington, J. Brown, and B. Frame, "Accounting technologies and sustainability assessment models," *Ecological Economics*, vol. 61, no. 2, pp. 224–236, Mar. 2007, doi: 10.1016/j.ecolecon.2006.10.021.
- [103] B. Ness, E. Urbel-Piirsalu, S. Anderberg, and L. Olsson, "Categorising tools for sustainability assessment," *Ecological Economics*, vol. 60, no. 3, pp. 498–508, Jan. 2007, doi: 10.1016/j.ecolecon.2006.07.023.
- [104] "The Product Carbon Footprint Guideline for the Chemical Industry." Nov. 2022. [Online]. Available: <https://www.tfs-initiative.com/>.
- [105] Florian Berg, Julian F K&oumluml;lbl, Julian F K&oumluml;lbl, and Roberto Rigobon, "Aggregate Confusion: The Divergence of ESG Rating," *Review of Finance*, May 2022, doi: 10.1093/rof/rfac033.

- [106] "Timeline and History of ESG Investing, Rules and Practices," Sustainability and ESG. Accessed: Jan. 01, 2024. [Online]. Available: <https://www.techtarget.com/sustainability/feature/A-timeline-and-history-of-ESG-investing-rules-and-practices>.
- [107] A. Edmans, "The End of ESG." 2023. Accessed: Jan. 01, 2024. [Online]. Available: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=4221990](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4221990).
- [108] B. Baue, "ESG or Sustainability: You Choose | Impact Entrepreneur." Accessed: Jan. 01, 2024. [Online]. Available: <https://impactentrepreneur.com/esg-or-sustainability-you-choose/>.
- [109] Joanna Krasodomska, E. Zarzycka, and Pawel Zieniuk, "Voluntary sustainability reporting assurance in the European Union before the advent of the corporate sustainability reporting directive: The country and firm-level impact of Sustainable Development Goals," *Sustainable Development*, 2023, doi: 10.1002/sd.2744.
- [110] *DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 2013/34/EU, Directive 2004/109/EC, Directive 2006/43/EC and Regulation (EU) No 537/2014, as regards corporate sustainability reporting.*
- [111] L. Reeder, *Guide to Green Building Rating Systems: Understanding LEED, Green Globes, Energy Star, the National Green Building Standard, and More*, 1st ed. Wiley, 2010. doi: 10.1002/9781118259894.
- [112] SJ Kühne, E. Reijnen, L. Vogt Laasner, and M Baumgartner, "Can carbon labels encourage green food choices?," *Frontiers in psychology*, vol. 13, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.902869>.
- [113] M. Li *et al.*, "Global food-miles account for nearly 20% of total food-systems emissions," *Nature food*, doi: 10.1038/s43016-022-00531-w.
- [114] F. Sgarbossa and I. Russo, "A proactive model in sustainable food supply chain: Insight from a case study," *International Journal of Production Economics*, 2017, doi: 10.1016/j.ijpe.2016.07.022.
- [115] K. C. Krishna Bahadur, I. Haque, A. F. Legwegoh, and E. D. G. Fraser, "Strategies to reduce food loss in the global south," *Sustainability (Switzerland)*, 2016, doi: 10.3390/su8070595.
- [116] B. Notarnicola, K. Hayashi, M. A. Curran, and D. Huisingsh, "Progress in working towards a more sustainable agri-food industry," *Journal of Cleaner Production*, 2012, doi: 10.1016/j.jclepro.2012.02.007.
- [117] J. H. Trienekens, P. M. Wognum, A. J. M. Beulens, and J. G. A. J. Van Der Vorst, "Transparency in complex dynamic food supply chains," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 26, no. 1, pp. 55–65, 2012, doi: 10.1016/j.aei.2011.07.007.
- [118] J. B. E. M. Steenkamp, "Conceptual model of the quality perception process," *Journal of Business Research*, 1990, doi: 10.1016/0148-2963(90)90019-A.
- [119] G. Migliore, G. Schifani, and L. Cembalo, "Opening the black box of food quality in the short supply chain: Effects of conventions of quality on consumer choice," *Food Quality and Preference*, vol. 39, pp. 141–146, 2015, doi: 10.1016/j.foodqual.2014.07.006.
- [120] C. Chen, J. Zhang, and T. Delaurentis, "Quality control in food supply chain management: An analytical model and case study of the adulterated milk incident in China," *International Journal of Production Economics*, vol. 152, pp. 188–199, 2014, doi: 10.1016/j.ijpe.2013.12.016.
- [121] FAO, "Food wastage footprint," in *Fao, un*, 2013.
- [122] B. Lipinski, C. Hanson, J. Lomax, L. Kitinoja, R. Waite, and T. Searchinger, "Reducing food loss and waste. Working paper, installment 2 of creating a sustainable food future.," 2016.
- [123] C. Willersinn, G. Mack, P. Mouron, A. Keiser, and M. Siegrist, "Quantity and quality of food losses along the Swiss potato supply chain: Stepwise investigation and the influence of quality standards on losses," *Waste Management*, vol. 46, pp. 120–132, 2015, doi: 10.1016/j.wasman.2015.08.033.
- [124] B. Devin and C. Richards, "Food waste, power, and corporate social responsibility in the Australian food supply chain," *Journal of Business Ethics*, vol. 150, no. 1, pp. 199–210, 2018, doi: 10.1007/s10551-016-3181-z.
- [125] A. Patel and D. G. Woodward, "Supermarkets and the organic food supply chain: The potential for waste generation and its mitigation." 2007. doi: 10.1504/IJGENVI.2007.012076.
- [126] S. S. Davey and C. Richards, "Supermarkets and private standards: Unintended consequences of the audit ritual," *Agriculture and Human Values*, 2013, doi: 10.1007/s10460-012-9414-6.
- [127] C. Richards, H. Bjørkhaug, G. Lawrence, and E. Hickman, "Retailer-driven agricultural restructuring-Australia, the UK and Norway in comparison," *Agriculture and Human Values*, 2013, doi: 10.1007/s10460-012-9408-4.
- [128] J. Liu, J. Lundqvist, J. Weinberg, and J. Gustafsson, "Food losses and waste in china and their implication for water and land," *Environmental Science and Technology*, 2013, doi: 10.1021/es401426b.
- [129] European Commission and T. Report, "Preparatory study on food waste across eu 27," in *October*, 2010.
- [130] K. Verghese, H. Lewis, S. Lockrey, and H. Williams, "Packaging's role in minimizing food loss and waste across the supply chain," *Packaging Technology and Science*, 2015, doi: 10.1002/pts.2127.
- [131] K. Liljestrand, "Logistics solutions for reducing food waste," *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 2017, doi: 10.1108/IJPDLM-03-2016-0085.

- [132] J. K. Heising, G. D. H. Claassen, and M. Dekker, "Options for reducing food waste by quality-controlled logistics using intelligent packaging along the supply chain," *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, vol. 34, no. 10, pp. 1672–1680, 2017, doi: 10.1080/19440049.2017.1315776.
- [133] F. Lomiri and S. Cappello, "Stuffed and starved: The hidden battle for the world food system," *Development*, 2008, doi: 10.1057/dev.2008.63.
- [134] D. Gunasekera, "Food production: Cut food waste to help feed world." 2015. doi: 10.1038/524415a.
- [135] K. D. Hall, J. Guo, M. Dore, and C. C. Chow, "The progressive increase of food waste in America and its environmental impact," *PLoS ONE*, 2009, doi: 10.1371/journal.pone.0007940.
- [136] FAO, "State of Food and Agriculture 2010-2011," 2011.
- [137] L. Xue *et al.*, "Missing food, missing data? A critical review of global food losses and food waste data," *Environmental Science and Technology*, 2017, doi: 10.1021/acs.est.7b00401.
- [138] "Reducing food's environmental impacts through producers and consumers | Science." Accessed: Jan. 02, 2024. [Online]. Available: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aaq0216>.
- [139] C. Cederberg and U. Sonesson, *Global food losses and food waste: extent, causes and prevention; study conducted for the International Congress Save Food! at Interpack 2011, [16–17 May], Düsseldorf, Germany*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011.
- [140] T. Wan, D. Wan, L. Wang, Y. Dou, X. Sun, and J. Hu, "Assessment of environmental benefits from phasing out CFCs in refrigerator industry of China," *Beijing Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)/Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2011.
- [141] H. Zhao, S. Liu, C. Tian, G. Yan, and D. Wang, "An overview of current status of cold chain in China," *International Journal of Refrigeration*, vol. 88, pp. 483–495, 2018, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2018.02.024.
- [142] O. I. Aruoma, "The impact of food regulation on the food supply chain," *Toxicology*, 2006, doi: 10.1016/j.tox.2005.12.024.
- [143] T. Bosona and G. Gebresenbet, "Food traceability as an integral part of logistics management in food and agricultural supply chain." 2013. doi: 10.1016/j.foodcont.2013.02.004.
- [144] M. Vanderroost, P. Ragaert, F. Devlieghere, and B. De Meulenaer, "Intelligent food packaging: The next generation." 2014. doi: 10.1016/j.tifs.2014.06.009.
- [145] R. Akkerman, P. Farahani, and M. Grunow, "Quality, safety and sustainability in food distribution: A review of quantitative operations management approaches and challenges," *OR Spectrum*, 2010, doi: 10.1007/s00291-010-0223-2.
- [146] M. Soysal, J. M. Bloemhof-Ruwaard, and J. G. A. J. Van Der Vorst, "Modelling food logistics networks with emission considerations: The case of an international beef supply chain," *International Journal of Production Economics*, vol. 152, pp. 57–70, 2014, doi: 10.1016/j.ijpe.2013.12.012.
- [147] P. Beske-Janssen, M. P. Johnson, and S. Schaltegger, "20 years of performance measurement in sustainable supply chain management – what has been achieved?" 2015. doi: 10.1108/SCM-06-2015-0216.
- [148] M. Z. Hauschild, R. K. Rosenbaum, and S. I. Olsen, Eds., *Life Cycle Assessment: Theory and Practice*. Cham: Springer International Publishing, 2018. doi: 10.1007/978-3-319-56475-3.
- [149] R. Kaipia, I. Dukovska-Popovska, and L. Loikkanen, "Creating sustainable fresh food supply chains through waste reduction," *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 2013, doi: 10.1108/IJPDLM-11-2011-0200.
- [150] R. Manzini and R. Accorsi, "The new conceptual framework for food supply chain assessment," *Journal of Food Engineering*, vol. 115, no. 2, pp. 251–263, 2013, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2012.10.026.
- [151] M. Fritz and G. Schiefer, "Food chain management for sustainable food system development: A European research Agenda," *Agribusiness*, 2008, doi: 10.1002/agr.20172.
- [152] M. Bourlakis, G. Maglaras, D. Gallear, and C. Fotopoulos, "Examining sustainability performance in the supply chain: The case of the Greek dairy sector," *Industrial Marketing Management*, 2014, doi: 10.1016/j.indmarman.2013.08.002.
- [153] D. Kumar and Z. Rahman, "Sustainability adoption through buyer supplier relationship across supply chain: A literature review and conceptual framework," *International Strategic Management Review*, 2015, doi: 10.1016/j.ism.2015.04.002.
- [154] T. M. Stevens, N. Aarts, C. J. A. M. Termeer, and A. Dewulf, "Social media as a new playing field for the governance of agro-food sustainability." 2016. doi: 10.1016/j.cosust.2015.11.010.
- [155] S. K. Mangla, S. Luthra, N. Rich, D. Kumar, N. P. Rana, and Y. K. Dwivedi, "Enablers to implement sustainable initiatives in agri-food supply chains," *International Journal of Production Economics*, vol. 203, no. April 2017, pp. 379–393, 2018, doi: 10.1016/j.ijpe.2018.07.012.
- [156] H. Xiaohong Chen, *Approaches to Quantitative Research: A Guide for Dissertation Students : A Guide for Dissertation Students*. Accessed: Jan. 06, 2024. [Online]. Available: <https://web-p-ebshost-com.resursi.rtu.lv/ehost/ebookviewer/ebook/ZTAwMHh3d19fMTAwOTk2M19fQU41?sid=bd3085f2-f73c-4d16-b894-ccf7b684eafe@redis&vid=0&format=EB&rid=1>.

- [157] "SPIRIT 2013 explanation and elaboration: guidance for protocols of clinical trials | The BMJ." Accessed: Jan. 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.bmj.com/content/346/bmj.e7586>.
- [158] Institute of Medicine (US) Committee on Standards for Systematic Reviews of Comparative Effectiveness Research, *Finding What Works in Health Care: Standards for Systematic Reviews*. Washington (DC): National Academies Press (US), 2011. Accessed: Jan. 11, 2024. [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK209518/>.
- [159] H. Buxel, G. Esenduran, and S. Griffin, "Strategic sustainability: Creating business value with life cycle analysis," *Business Horizons*, vol. 58, no. 1, pp. 109–122, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.bushor.2014.09.004.
- [160] G. Rebitzer, T. Ekvall, R. Frischknecht, D. Hunkeler, and G. Norris, "Life cycle assessment part 1: framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications." Accessed: Dec. 26, 2023. [Online]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15051246/>.
- [161] I. Bartolozzi, F. Rizzi, and M. Frey, "Are district heating systems and renewable energy sources always an environmental win-win solution? A life cycle assessment case study in Tuscany, Italy." 2017. doi: 10.1016/j.rser.2017.05.231.
- [162] O. Jolliet *et al.*, "IMPACT 2002+: A new life cycle impact assessment methodology." 2003. doi: 10.1007/BF02978505.
- [163] S. Humbert, A. D. Schryver, X. Bengoa, M. Margni, and O. Jolliet, "IMPACT 2002 + : User guide," vol. 21, p. 42, 2002.
- [164] S. Hellweg, E. Benetto, M. A. J. Huijbregts, F. Veronesi, and R. Wood, "Life-cycle assessment to guide solutions for the triple planetary crisis," *Nat Rev Earth Environ*, vol. 4, no. 7, Art. no. 7, Jul. 2023, doi: 10.1038/s43017-023-00449-2.
- [165] A. Arias, G. Feijoo, and M. T. Moreira, "New Environmental Approach Based on a Combination of Planetary Boundaries and Life Cycle Assessment in the Wood-Based Bioadhesive Market," *ACS Sustainable Chem. Eng.*, vol. 10, no. 34, pp. 11257–11272, Aug. 2022, doi: 10.1021/acssuschemeng.2c03058.
- [166] Samuel B. Perez-Vega, "Food processing and value generation align with nutrition and current environmental planetary boundaries," *Sustainable Production and Consumption*, vol. 33, pp. 964–977, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.spc.2022.08.022.
- [167] European Commission. Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability., *Evaluation of weighting methods for measuring the EU-27 overall environmental impact*. LU: Publications Office, 2011. Accessed: Jan. 02, 2024. [Online]. Available: <https://data.europa.eu/doi/10.2788/88465>.
- [168] X. Bai *et al.*, "Translating Earth system boundaries for cities and businesses," *Nat Sustain*, Jan. 2024, doi: 10.1038/s41893-023-01255-w.
- [169] V. Martinez-Sanchez, M. A. Kromann, and T. F. Astrup, "Life cycle costing of waste management systems: Overview, calculation principles and case studies," *Waste Management*, vol. 36, pp. 343–355, Feb. 2015, doi: 10.1016/j.wasman.2014.10.033.
- [170] A. Ciroth, G. Huppes, W. Klopffer, I. Rudenauer, B. Steen, and T. Swarr, "Environmental life cycle costing," in *SETAC*, D. Hunkeler, K. Lichtenvort, and G. Rebitzer, Eds., New York, 2008.
- [171] A. Ciroth, J. Hildenbrand, and B. Steen, "Life Cycle Costing," in *Sustainability Assessment of Renewables-Based Products*, 1st ed., J. Dewulf, S. De Meester, and R. A. F. Alvarenga, Eds., Wiley, 2015, pp. 215–228. doi: 10.1002/9781118933916.ch14.
- [172] R. Heijungs, E. Settanni, and J. Guinée, "Toward a computational structure for life cycle sustainability analysis: unifying LCA and LCC," *Int J Life Cycle Assess*, vol. 18, no. 9, pp. 1722–1733, Nov. 2013, doi: 10.1007/s11367-012-0461-4.
- [173] International Standard Organization, *ISO 14040 International Standard Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework*, 2006. Accessed: Jan. 06, 2024. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/37456.html>.
- [174] International Standard Organization, *ISO 14044. Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*, 2006.
- [175] T. E. Swarr *et al.*, "Environmental life-cycle costing: a code of practice," *Int J Life Cycle Assess*, vol. 16, no. 5, pp. 389–391, Jun. 2011, doi: 10.1007/s11367-011-0287-5.
- [176] F. De Menna, J. Dietershagen, Marion Loubiere, M. Loubiere, Matteo Vittuari, and M. Vittuari, "Life cycle costing of food waste: A review of methodological approaches," *Waste Management*, vol. 73, pp. 1–13, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.wasman.2017.12.032.
- [177] G. Huppes, M. Van Rooijen, R. Kleijn, A. De Koning, and L. Van Oers, "Report of a project commissioned by the Ministry of VROM-DGM for the RIVM Expertise Centre LCA," Ministry of VROM-DGM, 2004.
- [178] G. National and H. Pillars, *Biofuels for a more sustainable future*. 2020.
- [179] A. Mazzi, "Introduction. Life cycle thinking," in *Life cycle sustainability assessment for decision-making*, J. Ren and S. Toniolo, Eds., Elsevier Ltd, 2020, pp. 1–4.

- [180] L. C. Dreyer, M. Z. Hauschild, and J. Schierbeck, "A framework for social life cycle impact assessment," *International Journal of Life Cycle Assessment*, 2006, doi: 10.1065/lca2005.08.223.
- [181] A. Lehmann, D. Russi, A. Bala, M. Finkbeiner, and P. Fullana-i-Palmer, "Integration of social aspects in decision support, based on life cycle thinking," *Sustainability*, 2011, doi: 10.3390/su3040562.
- [182] N. Iofrida, A. Strano, G. Gulisano, and A. I. De Luca, "Why social life cycle assessment is struggling in development?," *Int J Life Cycle Assess*, vol. 23, no. 2, pp. 201–203, Feb. 2018, doi: 10.1007/s11367-017-1381-0.
- [183] UNEP Setac Life Cycle Initiative, "Guidelines for social life cycle assessment of products and organizations 2020," *Management*, vol. 15, no. 2, 2020, [Online]. Available: [http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DITx1164xPA-guidelines\\_sLCA.pdf](http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DITx1164xPA-guidelines_sLCA.pdf).
- [184] R. Lin, Y. Man, and J. Ren, "Chapter 8 - Framework of life cycle sustainability assessment," in *Life Cycle Sustainability Assessment for Decision-Making*, J. Ren and S. Toniolo, Eds., Elsevier, 2020, pp. 155–173. doi: 10.1016/B978-0-12-818355-7.00008-7.
- [185] U. Schenker *et al.*, "Handbook for product social impact assessment. 2020," no. November, 2020, doi: 10.13140/RG.2.2.33455.79523.
- [186] International EPD System, *Product Category Rules (PCR) for Social Product Declarations (SPD)*, SPD-PCR 2023:01, Oct. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.datocms-assets.com/37502/1698661714-spd-pcr-2023-01-rolling-stock-v1-0-0.pdf>.
- [187] UNEP, One Planet Network, New Earth, and European Commission, "Shout it out: Communicating products' social impacts a white paper of the one planet network consumer information programme," 2018. [Online]. Available: [http://www.oneplanetnetwork.org/sites/default/files/white\\_paper\\_-\\_communicating\\_products\\_social\\_impacts\\_ci-scp\\_2018.pdf](http://www.oneplanetnetwork.org/sites/default/files/white_paper_-_communicating_products_social_impacts_ci-scp_2018.pdf) [https://www.international-climate-initiative.com/fileadmin/Dokumente/2018/20181023\\_White\\_Paper\\_-\\_Communicating\\_Products\\_Social\\_Impac](https://www.international-climate-initiative.com/fileadmin/Dokumente/2018/20181023_White_Paper_-_Communicating_Products_Social_Impac).
- [188] WBCSD, "Sustainable consumption facts and trends from a business perspective," World Business Council for Sustainable Development, 2008. [Online]. Available: <https://docs.wbcsd.org/2008/11/SustainableConsumptionFactsAndTrends.pdf>.
- [189] K. Rennert *et al.*, "Comprehensive evidence implies a higher social cost of CO<sub>2</sub>," *Nature*, vol. 610, no. 7933, pp. 687–692, Oct. 2022, doi: 10.1038/s41586-022-05224-9.
- [190] S. Zaroni *et al.*, "Improving Cold Chain Energy Efficiency: EU H2020 project for facilitating energy efficiency improvements in SMEs of the food and beverage cold chains," *Refrigeration Science and Technology*, vol. 2020-Augus, pp. 361–369, 2020, doi: 10.18462/iir.iccc.2020.292878.
- [191] "Combining Life Cycle Assessment and Manufacturing System Simulation: Evaluating Dynamic Impacts from Renewable Energy Supply on Product-Specific Environmental Footprints | International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology." Accessed: Dec. 26, 2023. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40684-020-00229-z>.
- [192] Y.-J. Chang, S. Neugebauer, A. Lehmann, R. Scheumann, and M. Finkbeiner, "Life Cycle Sustainability Assessment Approaches for Manufacturing," in *Sustainable Manufacturing: Challenges, Solutions and Implementation Perspectives*, R. Stark, G. Seliger, and J. Bonvoisin, Eds., in Sustainable Production, Life Cycle Engineering and Management. , Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 221–237. doi: 10.1007/978-3-319-48514-0\_14.
- [193] P. Ranjan, R. Agrawal, and J. K. Jain, "Life Cycle Assessment in Sustainable Manufacturing: A Review and Further Direction," in *Operations Management and Systems Engineering*, A. Sachdeva, P. Kumar, O. P. Yadav, R. K. Garg, and A. Gupta, Eds., in Lecture Notes on Multidisciplinary Industrial Engineering. Singapore: Springer, 2021, pp. 191–203. doi: 10.1007/978-981-15-6017-0\_12.
- [194] "Life cycle assessment (LCA) applied to the process industry: a review | The International Journal of Life Cycle Assessment." Accessed: Dec. 26, 2023. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-012-0432-9>.
- [195] M. R. Sabour, H. Zarrabi, and M. Hajbabaie, "A systematic analysis of research trends on the utilization of life cycle assessment in pharmaceutical applications," *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 20, no. 10, pp. 10921–10942, Oct. 2023, doi: 10.1007/s13762-023-05103-4.
- [196] A. Fnais *et al.*, "The application of life cycle assessment in buildings: challenges, and directions for future research," *Int J Life Cycle Assess*, vol. 27, no. 5, pp. 627–654, May 2022, doi: 10.1007/s11367-022-02058-5.
- [197] A. Zakerhosseini, M. A. Abdoli, S. M. Molayzahedi, and F. K. Salmi, "Life cycle assessment of construction and demolition waste management: a case study of Mashhad, Iran," *Environ Dev Sustain*, Aug. 2023, doi: 10.1007/s10668-023-03703-1.
- [198] B. Bayram and K. Greiff, "Life cycle assessment on construction and demolition waste recycling: a systematic review analyzing three important quality aspects," *Int J Life Cycle Assess*, vol. 28, no. 8, pp. 967–989, Aug. 2023, doi: 10.1007/s11367-023-02145-1.

- [199] J. G. Backes and M. Traverso, "Social Life Cycle Assessment in the Construction Industry: Systematic Literature Review and Identification of Relevant Social Indicators for Carbon Reinforced Concrete," *Environ Dev Sustain*, Mar. 2023, doi: 10.1007/s10668-023-03005-6.
- [200] M. Kucukvar and O. Tatari, "Towards a triple bottom-line sustainability assessment of the U.S. construction industry," *Int J Life Cycle Assess*, vol. 18, no. 5, pp. 958–972, Jun. 2013, doi: 10.1007/s11367-013-0545-9.
- [201] Ana T. Amorim-Maia *et al.*, "Intersectional climate justice: A conceptual pathway for bridging adaptation planning, transformative action, and social equity," *urban climate*, vol. 41, pp. 101053–101053, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.uclim.2021.101053.
- [202] Jan Wilkens, Jan Wilkens, Alvine R C Datchoua-Tirvaudey, and Alvine R C Datchoua-Tirvaudey, "Researching climate justice: a decolonial approach to global climate governance," *International Affairs*, vol. 98, no. 1, pp. 125–143, Jan. 2022, doi: 10.1093/ia/iab209.
- [203] J. Vogel and J. Hickel, "Is green growth happening? An empirical analysis of achieved versus Paris-compliant CO<sub>2</sub>–GDP decoupling in high-income countries," *The Lancet Planetary Health*, vol. 7, no. 9, pp. e759–e769, Sep. 2023, doi: 10.1016/S2542-5196(23)00174-2.
- [204] Prisca Ugomma Uwaoma, Emmanuel Osamuyimen Eboigbe, Simon Kaggwa, Deborah Idowu Akinwolemiwa, and Stephen Osawaru Eloghosa, "Ecological economics in the age of 4ir: spotlight on sustainability initiatives in the global south," *International journal of advanced economics*, 2023, doi: 10.51594/ijae.v5i9.647.
- [205] G. Enjolras, Magali Aubert, and M. Aubert, "Short food supply chains and the issue of sustainability: a case study of French fruit producers," Jan. 2018.
- [206] S. Lehmann, "Growing Biodiverse Urban Futures: Renaturalization and Rewilding as Strategies to Strengthen Urban Resilience," *Sustainability*, vol. 13, no. 5, p. 2932, 2021, doi: 10.3390/su13052932.
- [207] A. Perino *et al.*, "Rewilding complex ecosystems.," *Science*, vol. 364, no. 6438, Apr. 2019, doi: 10.1126/science.aav5570.
- [208] J. Konietzko, "Moving Beyond Carbon Tunnel Vision With A Sustainability Data Strategy," Forbes. Accessed: Jan. 01, 2024. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/cognizant/2022/04/07/moving-beyond-carbon-tunnel-vision-with-a-sustainability-data-strategy/>.
- [209] C. Benoit-Norris, "The methodological sheets for sub-categories in social life cycle assessment (S-LCA)," *Pre publication- Version. The Methodological Sheets for Subcategories in Social Life Cycle Assessment (S-LCA)*, 2018, doi: 10.1007/978-1-4419-8825-6.
- [210] "Systematic literature review on the application of life cycle sustainability assessment in the energy sector | Environment, Development and Sustainability." Accessed: Dec. 26, 2023. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-021-01559-x>.
- [211] "Bringing nutrition and life cycle assessment together (nutritional LCA): opportunities and risks | The International Journal of Life Cycle Assessment." Accessed: Dec. 26, 2023. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-021-01982-2>.
- [212] "Life Cycle Assessment for the Agri-Food Sector | SpringerLink." Accessed: Dec. 26, 2023. [Online]. Available: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-6116-2\\_5](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-6116-2_5).
- [213] "Life cycle-based dashboard for circular agri-food sector | The International Journal of Life Cycle Assessment." Accessed: Dec. 26, 2023. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-022-02118-w>.
- [214] T. Nemecek, N. Jungbluth, L. M. i Canals, and R. Schenck, "Environmental impacts of food consumption and nutrition: where are we and what is next?," *Int J Life Cycle Assess*, vol. 21, no. 5, pp. 607–620, May 2016, doi: 10.1007/s11367-016-1071-3.
- [215] F. Diaz *et al.*, "The ICCEE Toolbox. A Holistic Instrument Supporting Energy Efficiency of Cold Food and Beverage Supply Chains," *Environmental and Climate Technologies*, vol. 26, no. 1, pp. 428–440, Jan. 2022, doi: 10.2478/rtuct-2022-0033.
- [216] Statista, "Energy mix in Italy 2018." 2021. Accessed: Mar. 17, 2021. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/873552/energy-mix-in-italy/>.
- [217] European Commission, "Facts and figures on the Common Fisheries Policy – Basic statistical data – 2016 Edition," in *Office of the european union*, 2016.
- [218] L. Proskina, I. Pilvere, A. Nipers, and M. Silovs, "Characteristics of the fishing industry in Latvia," *19th International Scientific Conference "Economic Science for Rural Development 2018". Bioeconomy. Finance and Taxes. Home Economics. New Dimensions in the Development of Society*, vol. 49, no. 49, pp. 56–64, 2018, doi: 10.22616/esrd.2018.118.
- [219] I. Biuksane and I. Judrupa, "Evaluation of the competitiveness of fisheries sector cluster," in *Research for rural development*, vol. 2, 2016, pp. 238–245.

- [220] Central Statistical Bureau of Latvia, "Fish catch." 2017. Accessed: Feb. 09, 2021. [Online]. Available: [http://data1.csb.gov.lv/pxweb/en/lauks/lauks\\_zvejn\\_ikgad/?rxid=d8284c56-0641-451c-8b70-b6297b58f464&tablelist=true](http://data1.csb.gov.lv/pxweb/en/lauks/lauks_zvejn_ikgad/?rxid=d8284c56-0641-451c-8b70-b6297b58f464&tablelist=true).
- [221] I. C. Claussen, E. Indergård, and M. Grinde, "Comparative Life Cycle Assessment (LCA) of production and transport of chilled versus superchilled haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) fillets from Norway to France," *Procedia Food Science*, vol. 1, no. 2211, pp. 1091–1098, 2011, doi: 10.1016/j.profoo.2011.09.163.
- [222] H. M. Hoang, T. Brown, E. Indergard, D. Leducq, and G. Alvarez, "Life cycle assessment of salmon cold chains: Comparison between chilling and superchilling technologies," *Journal of Cleaner Production*, 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.03.049.
- [223] E. S. Hognes, U. Winther, H. Ellingsen, F. Ziegler, A. Emanuelsson, and V. Sund, "Carbon footprint and energy use of Norwegian fisheries and seafood products," *Sustainable Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources*, pp. 1031–1036, 2011, doi: 10.1201/b11810-152.
- [224] D. Coley, M. Winter, and M. Howard, "Section 4 food distribution and consumption," in *Sustainable food processing*, John Wiley & Sons, Incorporated, 2013.
- [225] L. Matuko, "LIFE CYCLE ASSESSMENT OF COLD SUPPLY CHAINS: A CASE STUDY OF A LATVIAN EGG PRODUCER," Riga Technical University, Riga, Latvia, 2023.
- [226] EPD International, *Product Category Rules BIRDS' EGGS IN SHELL, FRESH*, 2011:15. [Online]. Available: <https://environdec.com/pcr-library/with-documents>.
- [227] UNFCC, "Nuevo mondoñedo landfill gas recovery, flaring and energy production and transformation for leachate evaporation." 2017. Accessed: Nov. 09, 2021. [Online]. Available: <https://cdm.unfccc.int/Projects/DB/ICONTEC1462894251.71/view>.
- [228] J. Yliopisto, "Evaluation of potential technologies and operational scales reflecting market needs for low-cost gas upgrading systems. VALORGAS: Valorisation of food waste to biogas," 2013.
- [229] E. Ryckebosch, M. Drouillon, and H. Vervaeren, "Techniques for transformation of biogas to biomethane," *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, no. 5, pp. 1633–1645, 2011, doi: 10.1016/j.biombioe.2011.02.033.
- [230] F. Bauer, C. Hulteberg, T. Persson, and D. Tamm, "Biogas upgrading – Review of commercial technologies," 2013.
- [231] W. Stumm and J. J. Morgan, *Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters*, 3rd Editio. New York: Wiley, 1996.
- [232] S. S. J. Hullu, J. Maassen, "Comparing different biogas upgrading techniques," 2008.
- [233] A. Bejan, "Economies of scale," in *Freedom and evolution: Hierarchy in nature, society and science*, Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 13–20, doi: 10.1007/978-3-030-34009-4\_2.
- [234] M. A. Ruiz Restrepo, "Bioenergía, una alternativa energética sustentable para Colombia. Aplicación del Concepto Integrado de Sostenibilidad (ICoS)," 2019, Accessed: Jan. 11, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76373>.
- [235] Simapro manual PRE Consultants, "Introduction to LCA with SimaPro 7," *PRé Consultants, the Netherlands. Version*, no. October, pp. 1–88, 2008.
- [236] G. Wernet, C. Bauer, B. Steubing, J. Reinhard, E. Moreno-Ruiz, and B. Weidema, "The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology," *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 21, no. 9, pp. 1218–1230, 2016, doi: 10.1007/s11367-016-1087-8.
- [237] IPCC, "Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change," IPCC, Cambridge, 2013. [Online]. Available: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.
- [238] "A framework for energy use indicators and their reporting in life cycle assessment – Arvidsson – 2016 – Integrated Environmental Assessment and Management - Wiley Online Library." Accessed: Jan. 06, 2024. [Online]. Available: <https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ieam.1735>.
- [239] M. A. J. Huijbregts *et al.*, "Is Cumulative Fossil Energy Demand a Useful Indicator for the Environmental Performance of Products?," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 40, no. 3, pp. 641–648, Feb. 2006, doi: 10.1021/es051689g.
- [240] A. M. Boulay *et al.*, "The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE)," *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 23, no. 2, 2017, doi: 10.1007/s11367-017-1333-8.





**Fabian Andres Diaz Sanchez** ir dzimis Kolumbijā un ieguvis ķīmijas inženiera grādu Amerikas Universitātē Kolumbijā. Pēc 10 gadu darba ķīmijas, naftas un gāzes nozarē viņš pārcēlās uz Latviju, kur ieguva vides zinātņu maģistra grādu ar izcilības sertifikātu Rīgas Tehniskajā universitātē (2019), specializējoties dzīves cikla novērtējumā. Pēc tam viņš bija pētnieks RTU, apvienojot savu darbu ar studijām doktorantūrā. Pašlaik viņš strādā pie dzīves cikla ilgtspējības novērtējuma dažādās rūpniecības nozarēs un dzīves cikla novērtējuma mērogojamības un automatizācijas būvniecībā jomā, ieviešot vides produktu deklarācijas, digitālās ekspluatācijas īpašību deklarācijas un digitālās produktu pases.