

OKOLJSKA PRESOJA Z LCA

MATJAŽ DENAC

Univerza v Mariboru, Ekonomsko-poslovna fakulteta, Maribor, Slovenija
matjaz.denac@um.si

Vsako dejavnost je mogoče povezati z vplivi na okolje. Za načrtovanje učinkovitih ukrepov zmanjševanja vplivov na okolje pa je potrebno le-te predhodno ovrednotiti. Presoja okoljskih vplivov (LCA) je do danes edina standardizirana in najbolj celovita metoda za presojo vplivov na okolje. Slovenska podjetja metode LCA ne uporabljajo v takem obsegu kot njihovi tekmeci v tujini, zato tudi ne morejo izkoristiti prednosti, ki jih LCA ponuja. LCA analiza je delo za inženirje in ga lahko izvajajo le usposobljeni strokovnjaki s širokim poznavanjem materialov, tehnologij, energetike, z ustrezno programsko opremo in dostopom do baz podatkov. Kljub temu pa LCA analize ni mogoče izvesti brez podatkov naročnika in komunikacije namena uporabe rezultatov. Tako je namen tega gradiva razumevanje, kaj LCA sploh je, kako naj se LCA projekt zastavi, da lahko izvajalci pripravijo ustrezno ponudbo za izvedbo storitve presoje vplivov na okolje z metodo LCA in kasneje presojo tudi izvedejo. V izogib napačnim pričakovanjem potencialnih naročnikov bodo prikazani nekateri primeri rezultatov izvedenih LCA študij. Bralec bo tako spoznal, katere podatke in v kakšni obliki mora naročnik pripraviti, in kako bodo le-ti uporabljeni. Podane vsebine bodo koristne za vse, ki se bodo srečevali s potrebo po vrednotenju vplivov na okolje in dokazovanjem okoljsko odgovornega delovanja.

DOI

[https://doi.org/
10.18690/um.fl.4.2025.4](https://doi.org/10.18690/um.fl.4.2025.4)

ISBN

978-961-299-012-1

Ključne besede:

presoja vplivov na okolje,
LCA,
okoljski življenjski cikel,
okoljski podatki,
okoljski kazalniki



Univerzitetna založba
Univerze v Mariboru

DOI
[https://doi.org/
10.18690/um.fl.4.2025.4](https://doi.org/10.18690/um.fl.4.2025.4)

ISBN
978-961-299-012-1

Keywords:
environmental impact
assessment,
LCA,
Environmental Life Cycle,
environmental data,
environmental indicators

ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT WITH LCA

MATJAŽ DENAC

University of Maribor, Faculty of Economics and Business, Maribor, Slovenia
matjaz.denac@um.si

Every activity can be correlated with environmental impacts. But designing effective measures to reduce them requires an evaluation of the impacts first. To date, life cycle assessment (LCA) is the only standardised and most comprehensive method for assessing environmental impacts. Slovenian companies do not use the LCA method to the same extent as their competitors abroad and therefore cannot take advantage of the benefits that LCA can offer. LCA is a job for engineers and can only be carried out by trained professionals with a broad knowledge of materials, technologies, energy, appropriate software and access to databases. However, an LCA cannot be carried out without the client's input and notification of the intended use of the results. The purpose of this material is therefore to understand what an LCA is, how an LCA project should be designed so that contractors can prepare a suitable tender for the LCA service and then carry out the assessment. In order to avoid misleading expectations of potential clients, some examples of the results of LCA studies will be presented to show the reader will thus learn what data and in what form the client has to provide and how it will be used to create responsible business.



University of Maribor Press

1 Uvod v LCA

Poslovanje podjetij je danes vpeto v globalne povezave. Proizvodni procesi postajajo vse bolj tehnološko raznoliki, dobavne poti pa geografsko močno razvejane, zato želijo podjetja poznati potencialne okoljske vplive pri pridobivanju virov, pri proizvodnji in montaži, uporabi in na koncu pri odstranitvi proizvodov. Taka globalna širitev, skupaj z naraščajočo zavestjo o trajnostnosti in odgovornosti do okoljskih, gospodarskih in družbenih razsežnosti, ki jo spremljajo, je okoljske menedžerje in odločevalce spodbudila, da na proizvode in storitve gledajo širše, celostno, 'od zibelke do groba'. Potreba po orodju, ki uporabnikom pomaga pridobiti podatke in informacije za natančno in dosledno merjenje porabe virov in okoljskih vplivov njihovih dejavnosti, še nikoli ni bila tako pereča. Pomembno je, da so se ljudje pričeli zavedati, da odločitve ne smejo voditi k izboljšanju enega dela industrijskega sistema na škodo drugega. V procesu odločanja je torej ključno prepoznavanje in izogibanje nenamernim posledicam. Iz te potrebe je nastala presoja življenjskega cikla (angl. *Life cycle assessment*, LCA) (Curran, 2012).

Podjetja lahko k uresničevanju okoljskih in trajnostnih ciljev pristopijo na različne načine. Med okoljskimi cilji se v zadnjih letih najpogosteje izpostavljajo: zmanjšanje ogljičnega odtisa in porabe vode, povečanje deleža energije iz obnovljivih virov, vzpostavljanje krožnih tokov in drugi. Cilji so običajno zelo ambiciozni, zato se upravičeno postavlja vprašanje, ali bodo podjetja in nacionalne vlade pri uresničevanju ciljev uspešni (PRE, 2016).

Tudi orodja za podporo poslovnim odločitvam so raznolika. Nekatera orodja, kot npr. koncept 'od zibelke do zibelke' ali krožno gospodarstvo, so uspešna zato, ker ponujajo privlačno zgodbo, ki jo znajo uporabniki enostavno povezati z dogajanjem v podjetjih. Druga orodja, kot npr. analiza okoljskega življenjskega cikla, pa nas lahko prepričajo z velikim številom okoljskih kazalnikov.

Najpogosteje okoljske in trajnostne cilje v podjetjih postavlja vodstvo (npr. glede energije, vode in podnebnih sprememb), za tem pa posamezne poslovne enote in oddelki pričnejo z izvajanjem ukrepov za doseganje teh ciljev v določenem časovnem okvirju. Vendar pa cilji pogosto niso usklajeni z izvedbenimi možnostmi na operativnem nivoju, kjer bi naj to izboljšanje dosegli. Posledično se posamezne poslovne enote lotevajo ukrepov za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov, ne da bi poznale obstoječe stanje glede izpustov, niti ne vedo, kateri ukrepi v njihovem

obratu/enoti lahko največ prispevajo k izboljšavam oz., kje bi bilo primerno prednostno ukrepati in kakšen bo njihov prispevek k doseganju skupnih ciljev. Tak pristop se pogosto izkaže kot neustrezen in ne prinese želenih rezultatov. Uspešna podjetja praviloma najprej pregledajo značilnosti posameznih poslovnih enot ali proizvodov, za katere s pomočjo LCA določijo vrednosti kazalnikov ter prepoznajo kritične točke v poslovnih procesih ali v dobavni verigi. Za tem preverijo, kateri cilji so pomembni za posamezni oddelek, enoto ali proizvod in jih poskušajo uresničiti s pomočjo ukrepov v predhodno prepoznanih kritičnih točkah. Za doseganje ciljev si stalno prizadevajo preko načrtovanja ukrepov za posodobitve in izboljšave, ki jih izvajajo na kritičnih točkah (PRE, 2016).

Kombinirana uporaba LCA in trajnostnega oz. krožnega gospodarstva tako omogoča razvijalcem proizvodov, da dejansko merijo okoljsko uspešnost, primerjajo krožne strategije in zagotovijo pozitivno okoljsko bilanco zaradi novih proizvodov, zasnovanih na krožnih tokovih. Poleg tega LCA zahteva veliko enakih podatkov kot npr. za izračun kazalnika kroženja snovi pri krožnem gospodarstvu. Zato se te meritve dopolnjujejo z razmeroma malo napora. Tudi izračun kazalnika kroženja snovi se lahko izvede na isti programski opremi kot LCA. Pomembno je opozoriti, da se kazalnik kroženja snovi osredotoča na pretok materiala med proizvodnjo in uporabo proizvoda, kar izrecno spodbuja uporabo recikliranih ali ponovno uporabljenih materialov in podaljšanje življenjske dobe proizvoda. Nasprotno pa se LCA osredotoča na določanje okoljskih vplivov na ravni celotnega življenjskega cikla (PRE, 2017). Ker je metoda LCA vse bolj uporabljena v praksi, jo v nadaljevanju nekoliko podrobneje predstavimo.

Uporaba LCA v Sloveniji ni tako razširjena kot v tujini. LCA analiza je delo za inženirje in ga lahko izvajajo le usposobljeni strokovnjaki s širokim poznavanjem materialov, tehnologij, energetike, z ustrezno programsko opremo in dostopom do baz podatkov. Kljub temu pa LCA analize ni mogoče izvesti brez podatkov naročnika in komunikacije namena uporabe rezultatov. Tako je namen tega gradiva izboljšati razumevanje, kaj LCA sploh je, kako naj se LCA projekt zastavi, da lahko izvajalci pripravijo ustrezno ponudbo za izvedbo storitve presoje vplivov na okolje z metodo LCA in kasneje presojo tudi izvedejo. V izogib napačnim pričakovanjem potencialnih naročnikov so prikazani nekateri primeri rezultatov izvedenih LCA študij. Bralec bo tako spoznal, katere podatke in v kakšni obliki jih mora naročnik pripraviti in kako bodo le-ti uporabljeni. Podane vsebine bodo koristne za vse, ki se

bodo srečevali s potrebo po vrednotenju vplivov na okolje in dokazovanjem okoljsko odgovornega delovanja.

2 Razumevanje in uporabnost rezultatov LCA analize

2.1 Splošno o metodi LCA

Za izvajanje učinkovite okoljske politike vsako podjetje (ne glede na dejavnost) potrebuje relevantne okoljske podatke. S podatki, ki jih podjetja pridobijo npr. za vzpostavitev sistema ravnanja z okoljem (ISO 14001, EMAS), si je težko pomagati pri celovitem razvoju okolju primernejših proizvodov in storitev ter razumevanju vplivov vzdolž dobavnih verig. V tem primeru samo podatki o vrednostih emisij iz tehnoloških procesov ali rabi energije med uporabo proizvodov niso dovolj, da bi proizvode lahko dejansko okoljsko optimizirali. V ta namen se danes zahtevajo in uporabljajo drugi, dodatni podatki, pridobljeni na osnovi drugih metodologij. Pričakujemo lahko, da bodo zahteve po verodostojnih in vse bolj celovitih okoljskih podatkih za proizvode in storitve v prihodnje vse večje (na področju komuniciranja, ISO standardov, razvoju proizvodov idr.).

V ta namen se je po vsem svetu uveljavila analiza okoljskega življenjskega cikla proizvodov. Vendar pri uvajanju tega koncepta potrebujemo orodja, s katerimi lahko kvantitativno določimo takšne celovite vplive. Eno takšnih orodij je metoda LCA, ki je postala eno od najpomembnejših orodij vrednotenja vplivov proizvodov na okolje v svetu. Z metodo LCA ovrednotimo vse vplive na okolje, ki jih v svojem življenjskem ciklu izzove nek proizvod s ciljem, da bi ta proizvod okoljsko optimizirali. Predstavlja zbir vseh vtokov (vstopkov), iztokov (izstopkov) in potencialnih vplivov na okolje določenega proizvodnega sistema v celotnem življenjskem ciklu (ISO, 2006a).

LCA je edina mednarodno standardizirana metoda okoljske presoje (ISO 1997, 1998, 2000a, b). Standard ISO 14040 opredeljuje LCA kot tehniko za ocenjevanje okoljskih vidikov in možnih vplivov, povezanih s proizvodom. Izvedemo jo s pomočjo:

- priprave popisa ustreznih vhodov in izhodov sistema (vtokov in iztokov),
- ocenjevanja možnih vplivov na okolje, povezanih s temi vtoki in iztoki,

- interpretacije rezultatov popisa (inventarizacije) in vplivov na okolje glede na cilje študije.

Cilj LCA je ugotoviti in količinsko opredeliti vse okoljske vplive, povezane s proizvodom. LCA to doseže s pristopom 'od zibelke do groba', pri čemer upošteva vse vplive, povezane s proizvodom v njegovi življenjski dobi ali življenjskem ciklu, t. j. od pridobivanja surovin ('zibelka') preko proizvodnje, uporabe in odstranjevanja ('grob'). Na ta način LCA pokaže tiste vidike proizvoda, ki imajo največji vpliv na okolje. Proizvajalci lahko nato svoja prizadevanja usmerijo v te vidike, da bi zmanjšali vpliv proizvoda na okolje (EEA, 1998).

Okoljski življenjski cikel proizvoda v splošnem obsega naslednje faze: pridobivanje in pripravo surovin, proizvodnjo, distribucijo in transport, porabo ali uporabo ter odstranitev proizvodov. V obravnavanje okoljskega cikla nekega proizvoda je vedno vključeno tudi pridobivanje energije, potrebne za pridobivanje surovin, za njihovo predelavo, proizvodnjo, transport, distribucijo, uporabo itn., ki se prične prav tako s pridobivanjem potrebnih energijskih virov. Zato s pomočjo metode LCA podjetja ne pridobijo le podatkov, kakšni so vplivi v posameznih fazah življenjskih ciklov, ampak tudi podatke o vplivih na okolje, ki se jih z drugimi metodami ne da določiti (Denac, Radonjič, 2023).

V skladu z metodologijo, zapisano v standardu ISO 14040, je metoda LCA sestavljena iz 4 korakov oz. strukturnih elementov: (i) opredelitve cilja in meje, (ii) popisa podatkov (inventarizacije), (iii) ocene vplivov na okolje in (iv) interpretacije rezultatov.

2.2 Uporaba presoje okoljskega življenjskega cikla

V zadnjih desetletjih smo priča pogostejši uporabi LCA za podporo odločanju glede varovanja okolja. Vloženega je bilo veliko napora za vključevanje koncepta življenjskega cikla v družbo in njegovo lažjo uporabo na vseh ravneh – od regulatorne in vladne ravni, preko industrije in proizvodnje, pa vse do državljanov in potrošnikov. K širjenju LCA so pripomogle številne iniciative za podporo in harmonizacijo uporabe tega orodja na globalni ravni (npr. mednarodni standard ISO 14040, globalno partnerstvo, znano kot Life Cycle Initiative (LCI), vzpostavitev Evropske platforme za LCA in druge), temu pa so sledile tudi iniciative za podporo

uporabe LCA na nacionalnem nivoju. V zadnjem času se storitve v zvezi z LCA odražajo preko okoljskih deklaracij proizvodov (angl. *Enironmental Product Declaration*, EPD) in spremljanja obremenitev zaradi izpustov toplogrednih plinov. Univerze, raziskovalne institucije in zasebna podjetja pogosto tesno sodelujejo tudi v okviru komercialnih projektov ali doktorskih nalog za potrebe industrije (Hauschild et al., 2018).

Izjemna priljubljenost koncepta življenjskega cikla je povzročila njegovo uporabo v različnih pristopih presojanja, tudi v tistih, ki so osredotočeni na en sam okoljski vidik. Povečana zaskrbljenost zaradi podnebnih sprememb se odraža tako, da si posamezniki in organizacije močno prizadevajo izmeriti sproščanje in vpliv toplogrednih plinov. Tako se npr. izraz LCA pogosto uporablja tudi pri pisanju o spremljanju emisij ogljika, čeprav rezultati obravnavajo le podnebne spremembe in ne drugih enako ali celo bolj pomembnih vplivov. Natančen pomen metodologije je tako pogosto napačno razumljen, kar ima za posledico, da se ogljični odtis in LCA uporabljata kot sinonima, kar ni pravilno. Z zožitvijo presoje na eno samo okoljsko kategorijo, rezultati ne bodo odražali potrebne širine, ki jo nudi samo LCA (Curran, 2012).

Uporabnost metode LCA za odločevalce na nacionalni ravni

Uporaba LCA in pristopov, zasnovanih na življenjskem ciklu, lahko nudi podporo pri oblikovanju politike, izvajanju politike in predpisov, lahko pa so uporabljeni tudi za vrednotenje politik. Evropska komisija je LCA opredelila za enega izmed referenčnih modelov za presojo vplivov politik v EU v okviru Smernic za boljše predpise (angl. *better regulation guidelines*) (EC, 2015b). To kaže na potencialno povečano rabo LCA za presojo obstoječih političnih okvirjev (npr. presoja ali preverjanje skladnosti) in za presojo bodočih alternativ politike (angl. *future possible policy options*).

Uporabnost metode LCA v podjetništvu in industriji

Uporabo LCA v podjetjih je po namenu mogoče razvrstiti v pet glavnih skupin: (i) podpora odločanju pri razvoju proizvodov in procesov, (ii) za tržne namene (npr. okoljsko označevanje), (iii) razvoj in izbira kazalnikov, ki se uporabljajo pri spremljanju okoljske učinkovitosti proizvodov ali proizvodnih obratov, (iv) izbor dobaviteljev ali podizvajalcev in (v) strateško načrtovanje (Hauschild et al., 2018).

Opažamo, da lahko uporaba LCA znotraj industrije dobro služi več kot enemu namenu in pogosto je mogoče iste rezultate uporabiti za različne namene tudi znotraj podjetja (npr. razvoj proizvoda je pogosto združen s trženjem). Po tem, ko v podjetju pridobijo več izkušenj z uporabo LCA, lahko ena analiza sproži drugo (npr. vpogled v okoljske vplive proizvoda lahko privede do odločitev o izbiri drugih dobaviteljev ali spremembe strategij). Opazimo tudi, da čeprav je bila LCA razvita kot orodje, ki se uporablja na ravni proizvodov, je vse več zanimanja za uporabo LCA na korporativni ravni, da odraža tudi uspešnost podjetja ali posameznih obratov v celotnem življenjskem ciklu. To je še posebej pomembno za velika podjetja (Hauschild et al., 2018). Za več informacij glej vir Bradač Hojnik et al., 2020 (Bradač Hojnik et al., 2020).

Razlogov za izvedbo LCA je več. Ti so lahko naslednji.

- Finančne koristi. LCA preučuje življenjski cikel proizvoda in ugotavlja, kje se pojavljajo glavni vplivi na okolje. Pogosto je te okoljske vplive mogoče zmanjšati s povečanjem učinkovitosti uporabe vhodnih materialov in energije. Povečanje učinkovitosti uporabe virov bo zmanjšalo količino uporabljenih vhodnih tokov in nastalih odpadkov ter s tem zmanjšalo stroške. Stroški pa so povezani tudi z okoljskimi dajatvami zaradi povzročene okoljske škode.
- Načrtovanje proizvodov. LCA se lahko uporablja kot pripomoček pri odločanju o oblikovanju ali preoblikovanju proizvoda ali procesa. LCA se lahko uporablja za primerjavo okoljskih vplivov različnih alternativ pri načrtovanju in za oceno, ali ima katera alternativa potencialno pomembne okoljske prednosti ali slabosti.
- Trženje. Velika podjetja so LCA pogosto uporabljala kot trženjsko orodje. Proizvajalci izrabljajo okoljsko prijaznost svojih proizvodov kot sredstvo za povečanje prodaje. LCA se lahko uporablja kot podlaga za oglaševalske trditve, da ima nek proizvod manjši vpliv na okolje kot drugi podobni proizvodi. Vendar pa je bila uporaba LCA v te namene občasno tudi sporna (EEA, 1998).

V preteklosti je bil pobudnik za izvedbo LCA običajno oddelek trženja, ki je želel predstaviti okoljske koristi proizvodov. Oddelek trženja pa je največkrat ugotovil, da je rezultate LCA zelo težko uporabiti pri marketinškem komuniciranju. Pozneje so vlogo pobudnika prevzeli drugi oddelki, običajno oddelek za raziskave in razvoj ali oddelek za varstvo okolja, kar je privedlo do pogostih zagat pri izvajanju LCA; pomanjkanja jasnega namena in predvidene uporabe LCA. Danes se trajnostno

poslovanje podjetij počasi spreminja iz trenutnih aktivnosti v aktivnosti, ki so integrirane v tekoče poslovanje podjetja, pri čemer se LCA uporablja za spremljanje in merjenje vplivov na okolje. Raziskava Sloan je pokazala, da je že leta 2012 približno 70 % menedžerjev zagotavljalo, da je doseganje trajnostnega poslovanja njihov cilj, ki je redno vključen v vsebine delovnih sestankov v podjetjih. To poročilo kaže, da trajnostnost postaja orodje za ustvarjanje vrednosti in ne orodje za zmanjševanje stroškov. Poudarek se z dejavnosti in strategij zmanjševanja stroškov preusmerja na boljše proizvode z večjimi tržnimi deleži (Goedkoop et al. 2013, 6).

Številna velika podjetja zdaj ne skrbijo le za svojo okoljsko ustreznost, temveč tudi za ustreznost dobaviteljev in prodajalcev v celotni dobavni verigi. Z drugimi besedami, skrbijo za okoljsko uspešnost vseh podjetij, ki so vključena v celoten življenjski cikel njihovih proizvodov. S spodbujanjem podjetij, naj izboljšajo svoje okoljsko delovanje, lahko velika podjetja zmanjšajo okoljske vplive svojih proizvodov v celotnem življenjskem ciklu (EEA, 1998). To pomeni, da bodo morali dobavitelji velikega podjetja dokazati ustrezno okoljsko ravnanje in svojim strankam zagotoviti informacije, ki jim bodo omogočile izvedbo LCA za njihove proizvode. Zmožnost dokazovanja ustreznega okoljskega ravnanja in zagotavljanja ustreznih informacij za LCA bo podjetje nedvomno postavila v dober položaj za nadaljnje sodelovanje z obstoječimi strankami, medtem ko bi lahko stranke, če tega podjetje ne bi storilo, zamenjale dobavitelja (EEA, 1998).

2.3 Nekatere značilnosti trenutne metodologije LCA

Temeljna značilnost LCA je upoštevanje okoljskih vplivov, ki nastanejo v celotnem življenjskem ciklu proizvoda, od pridobivanja surovin, proizvodnje, uporabe in odstranjevanja. Upoštevanje celotnega življenjskega cikla pri posameznih okoljskih vprašanjih pa je mogoče izvesti na različne načine. Ta problematika je bila glavna gonilna sila vseh metodoloških razprav v zadnjih desetletjih (Werner 2005, 29).

Metode za okoljsko presojo v okviru LCA se nenehno razvijajo, zato so rezultati LCA za podporo odločanju lahko veljavni le omejen čas, dokler se ne razvijejo novi modeli izračunavanja vplivov na okolje ali objavijo posodobitve uporabljenih baz podatkov. Zaradi navedenega bi bilo potrebno presoje vplivov na okolje izvajati kontinuirano.

Glavne značilnosti LCA v primerjavi z drugimi orodji odločanja, so naslednje:

- LCA je orodje za modeliranje okoljskih vidikov poslovanja.
- LCA se uporablja kot orodje v postopku podpore odločanju, sama pa ne obsega celotnega postopka odločanja.
- LCA je zasnovana za podporo odločanju na mikroravni, pri čemer so predmet analize proizvodi, vključno s storitvami in procesi oz. proizvodnimi obrati.
- LCA ocenjuje spremembe zaradi posameznih človekovih dejavnosti ali povprečnih človekovih dejavnosti in ne more opisati stanja okolja ali družbenih odzivov na okoljske obremenitve.
- LCA ocenjuje posege v okolje in povzročeno škodo tako, da predpostavlja/upošteva enake (globalne) podatke s povprečnimi meteorološkimi in okoljskimi pogoji.
- LCA temelji na spremljanju vhodnih in izhodnih tokov.
- LCA v fazi modeliranja in v fazi ocene vplivov na okolje odraža le trenutno časovno komponento, zato je potrebna kontinuirana izvedba analiz s posodabljanjem podatkov v matematičnih modelih (Werner 2005, 31).

Kot je bilo že navedeno, je LCA edina mednarodno standardizirana metoda za presojo vplivov na okolje. Prve LCA študije so bile opravljene že v sedemdesetih in osemdesetih letih prejšnjega stoletja. Zgodovinski razvoj LCA je povzet v (Klöpper 2006) s posebnim poudarkom na vlogi SETAC (angl. *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) v tem procesu. Mednarodni standardi so bili v letu 2006 nekoliko spremenjeni in posodobljeni (ISO 2006a, b; Finkbeiner et al., 2006). Spremenjeni standardi so nadomestili staro serijo, ki se je uporabljala pred oktobrom 2006. Po drugi strani pa je LCA aktivno raziskovalno področje, na katerem je mogoče pričakovati nadaljnji metodološki razvoj. Vodilna standarda za LCA sta ISO 14040 in ISO 14044. ISO 14040 obravnava načela in okvir za LCA (angl. *Principles and Framework*), ISO 14044 pa določa zahteve in smernice za izvedbo študije LCA (angl. *Requirements and Guidelines*) (Goedkoop et al. 2013, 7). Poleg standardov je pri izvedbi LCA analiz potrebno upoštevati še usmeritve iz ILCD (angl. *International Reference Life Cycle Data System*) priročnikov. Standardi ISO so opredeljeni precej ohlapno, zato je težko oceniti, ali je bila LCA študija izvedena v skladu s standardom. V nasprotju s standardom ISO 14001, za LCA ni mogoče pridobiti uradne akreditacije, ki bi potrjevala, da je bila študija LCA, metodologija LCA ali uporaba programske opreme za LCA, izvedena v skladu s standardom ISO (Goedkoop et al. 2013, 7).

Standard ISO 14044 na primer ne dovoljuje tehtanja/uteženja med okoljskimi kategorijami, če bodo rezultati namenjeni za javne primerjave med proizvodi. Vendar pa je tehtanje izrecno dovoljeno za druge aplikacije, zato nekateri programi, kot je npr. SimaPro, podpirajo tehtanje oz. uteženje rezultatov. To pomeni, da je odgovornost izvajalca LCA študije, da tehtanje uporabi na ustrezen način. Podobne primere bi lahko navedli pri pravilih za alokacijo okoljskih vplivov, mej sistema itd. (Goedkoop et al. 2013, 7). Najpomembnejša posledica prizadevanja za upoštevanje standarda ISO je potreba po skrbnem dokumentiranju cilja in področja uporabe ter vprašanj razlage. Izvajalec lahko izvede LCA študijo na več različnih načinov, če le skrbno dokumentira, kaj je počel. Druga posledica upoštevanja standardov pa je, da boste morda potrebovali še validacijo oz. strokovni pregled izvedene LCA študije na strani neodvisnih strokovnjakov (Goedkoop et al. 2013, 7).

Od izvajalca LCA študije je odvisno, ali bo v dogovoru z naročnikom te standarde upošteval ali (namerno) odstopal od njih. V primeru odstopanja pa bo težje prepričati druge deležnike o zanesljivosti rezultatov (Goedkoop et al. 2013, 7).

Poleg pristopa LCA, ki analizira več okoljskih kategorij, so bili v zadnjem času razviti tudi pristopi, ki se omejujejo le na eno okoljsko kategorijo. Tak primer je izračunavanje ogljičnega odtisa in vodnega odtisa. Tudi ti pristopi upoštevajo perspektivo življenjskega cikla, vendar se osredotočajo le na eno kategorijo vpliva in ne pokažejo celotne slike. Kot odziv na potrebe družbe po preglednosti emisij toplogrednih plinov, povezanih s proizvodi, je bilo razvitih, ali se še razvija več metod/standardov za ugotavljanje ogljičnega odtisa (Goedkoop et al. 2013, 7).

2.4 Smernice za LCA na evropski ravni

Na evropski ravni mednarodni referenčni sistem podatkov o življenjskem ciklu (ILCD) zagotavlja skupno podlago za dosledne, zanesljive in kakovostno zagotovljene podatke in študije o življenjskem ciklu. Takšni podatki in študije podpirajo skladne instrumente trajnostne potrošnje in proizvodnje, kot so: okoljsko označevanje, okoljsko primerna zasnova (ekodizajn), ugotavljanje ogljičnega odtisa in zelena javna naročila. Leta 2010 je bil objavljen priročnik ILCD. Ta priročnik temelji na standardih ISO 14040 in ISO 14044, vendar vsebuje veliko podrobnejše tehnične smernice. Priročnik ILCD obsega več kot 400 strani, medtem ko imata ISO 14040 in ISO 14044 skupaj približno 60 strani. Priročnik ILCD vsebuje podrobne opise in zahteve, da bi se na tak način zmanjšala prožnost izbire ter podprla skladnost

in zagotavljanje kakovosti rezultatov LCA. Sicer pa je objavljenih več ILCD priročnikov, ki podrobno obravnavajo posamezne korake izvedbe LCA študij.

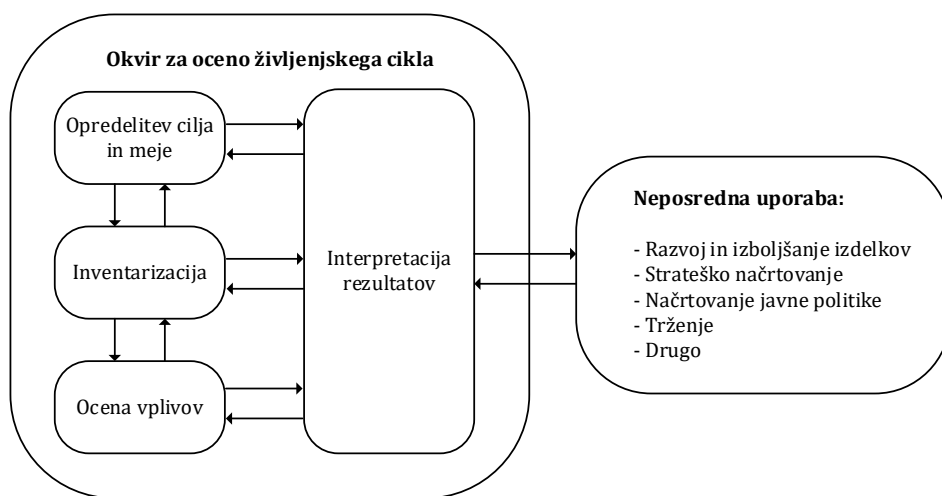
V obdobju od junija 2011 do februarja 2012 sta GD (angl. *Directorate-general*) za okolje in JRC-IES (angl. *Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability*) razvila in preizkusila usklajeno metodologijo za izračun okoljskega odtisa proizvodov in organizacij, tako imenovani Osnutek metode okoljskega odtisa proizvoda (angl. *Product Environmental Footprint*, PEF) in Osnutek metode okoljskega odtisa organizacije (angl. *Organization Environmental Footprint*, OEF). Ti dve metodi sta temeljili na standardih ISO 14040 in ISO 14044 in priročniku ILCD, vendar sta strožji in bolj jedrnat. Vzporedno se razvijajo Pravila o kategorijah okoljskega odtisa proizvodov (angl. *Product Environmental Footprint Category Rules*, PEFCR) in Pravila o kategorijah okoljskega odtisa organizacij (angl. *Organization Environmental Footprint Category Rules*, OEFCR). PEFCR/OEFCR temeljijo na standardu ISO 14025 za okoljsko označevanje proizvodov in dopolnjujejo splošna metodološka navodila za okoljski odtis z dodatnimi specifikacijami na ravni proizvoda. PEFCR/OEFCR bodo povečala ponovljivost in doslednost študij okoljskega odtisa. Sčasoma lahko ti dve metodi postaneta del prihodnjih evropskih politik o trajnostni potrošnji in proizvodnji (EC 2021, 18). Na tak način se bo za vse deležnike močno povečala potreba po znanju s področja LCA.

3 Metodološka struktura LCA

Metodološko strukturo LCA opredeljujejo okoljski standardi serije ISO 14040. Standard ISO/SIST EN ISO 14040 opredeljuje LCA kot "zbiranje in vrednotenje vhodnih in izhodnih podatkov ter možnih vplivov proizvodnega sistema na okolje v njegovem življenjskem ciklu" (ISO 14040, poglavje 3.9). V uvodu standarda ISO 14040 (ISO, 2006a) je navedeno, da "LCA obravnava okoljske vidike in potencialne vplive (npr. porabo virov in okoljske posledice izpustov) v celotnem življenjskem ciklu proizvoda; od pridobivanja materiala do proizvodnje, uporabe in odstranjevanja (t. j. od zibelke do groba)" (Klöpffer in Renner, 2008). Presoje vplivov na okolje je seveda mogoče izvesti tudi v drugačnih mejah: (i) 'od zibelke do vrat' (od pridobivanja virov do konca proizvodnega procesa določenega proizvoda), (ii) 'od vrat do vrat' (samo proizvodni proces določenega proizvoda), (iii) 'od zibelke do zibelke' (od pridobivanja virov do ponovne uporabe proizvoda oz. njegovih sestavnih delov).

Metodologija LCA je dokaj kompleksna in zahteva poglobljeno znanje izvajalca, zato na tem mestu ne bo podrobneje pojasnjena. Kot je razvidno iz Slike 1, se analiza LCA izvede v štirih korakih: (i) opredelitev cilja in meje, (ii) inventarizacija, (iii) ocena vplivov in (iv) interpretacija rezultatov.

Opredelitev cilja in meje. V prvem koraku LCA študije postavimo začetni okvir za izvedbo raziskave. Pri tem mora biti jasno navedeno, komu bodo rezultati LCA študije namenjeni in zakaj bodo rezultati uporabljeni. Natančno je potrebno opredeliti predmet raziskave in določiti funkcijsko enoto ter referenčni tok. Ob upoštevanju okoljskega življenjskega cikla definiramo še meje sistema, opredelimo način alokacije okoljskih vplivov, nabor okoljskih kategorij in s tem računske metode, zahteve glede podatkov; vrsto kritičnega pregleda in obliko poročila (Werner, 2005).



Slika 4.1: Metodološka struktura LCA

Vir: (ISO, 2006a).

Inventarizacija (analiza popisa življenjskega cikla) vključuje zbiranje podatkov in postopke preračunavanja za količinsko ovrednotenje posegov v okolje, ki nastanejo v okoljskem življenjskem ciklu proizvoda. Ti vtoki in iztoki morajo vključevati porabo virov in izpuste v zrak, vodo in tla, ki jih je mogoče povezati s preučevanim sistemom. Zbirka vseh posegov v okolje v njegovem življenjskem ciklu se imenuje tudi Popis življenjskega cikla (angl. *Life Cycle Inventory*, LCI) (Werner, 2005). Analiza inventarizacije je precej zapleten in poglobljen proces, pri čemer zberemo podatke o

uporabljenih materialih in energiji, kar predstavlja najzahtevnejši in najbolj zamuden korak celotne analize LCA. Analizo inventarizacije običajno opravijo svetovalci ali več notranjih delovnih skupin z znanjem in izkušnjami o vsaki fazi življenjskega cikla. Če so potrebne informacije v različnih oblikah oz. bazah podatkov že na voljo v podjetju, jih je mogoče združiti/sestaviti in na tak način zaključiti analizo inventarizacije (IMA, 1996). Del inventarizacijskih podatkov se vedno pridobi tudi od poslovnih partnerjev, ki so vključeni v dobavno verigo.

LCA študije pa ni mogoče izvesti brez uporabe specializiranih baz podatkov. Pri tem je treba izpostaviti bazo Ecoinvent, ki predstavlja najbolj celovito, najobsežnejšo in verjetno tudi najbolj uporabljeno podatkovno bazo na svetu. Trenutno je v bazo vključenih že več kot 4.000 produktov in 19.000 procesov, ki so na voljo za tri različne sistemske modele, podatki v bazi pa se dopolnjujejo in posodablja vsaj enkrat letno (PRe, 2023). Zaradi izredno velike dinamike razpoložljivosti in veljavnosti podatkov, bi se moral naročnik pred vsako analizo LCA prepričati, katere podatkovne baze bodo uporabljene za izračune (Hauschild et al., 2018).

Ocena vplivov v življenjskem ciklu proizvoda (angl. *Life Cycle Impact Assessment*, LCIA) ovrednoti vtoke in iztoke snovi glede na njihove vplive na okolje. Pri ocenjevanju se izvede več korakov: klasifikacija (razvrščanje inventarizacijskih podatkov v kategorije vplivov), karakterizacija (uteženje klasificiranih inventarizacijskih podatkov znotraj posameznih kategorij vpliva) in vrednotenje (združevanje okoljskih kategorij z normalizacijo in seštevanjem) (Werner, 2005). Pri oceni vplivov na okolje je ključna izbira računske metode in obravnavanih kategorij učinkov, ki se določijo glede na opredelitev cilja in obsega raziskave. Pri tem je potrebno upoštevati tudi želeno raven integracije rezultatov (katere rezultate prikazati in kako razčlenjeno). Obstaja več kot 40 različnih kvalitativnih metod za izvajanje LCA. Zdi se, da je koncept ekoindikatorja najuspešnejši pri praktični uporabi LCIA, saj dodatno omogoča primerjavo vplivov na okolje med različnimi okoljskimi kategorijami (Zbicinski et al., 2006). Metoda je bila večkrat nadgrajena in je trenutno kot metoda ReCiPe 2016 najbolj razširjena za vrednotenje okoljskih vplivov na globalnem nivoju. Rezultate okoljske presoje podaja v obliki 18 kazalnikov okoljskih kategorij (midpoint pristop) in 3 kazalnikov povzročene okoljske škode (endpoint pristop) (PRe, 2020).

Mednarodna standarda ISO 14040 in ISO 14044 (ISO, 2006a; ISO 2016b) ločujeta korake znotraj LCIA na obvezne in neobvezne. Obvezni koraki so:

- izbor okoljskih kategorij, njihovih kazalnikov in karakterizacijskih modelov (pri modeliranju izvajalec analize LCA to izvede z izborom ene izmed že obstoječih LCIA metod).
- Klasifikacija; povezovanje inventarizacijskih podatkov z okoljskimi kategorijami na osnovi znanih potencialnih učinkov.
- Karakterizacija; izračun vrednosti okoljskih kazalnikov s preračunavanjem prispevkov inventarizacijskih tokov k posameznim okoljskim kategorijam.

Rezultati karakterizacije nam ne dajo informacije o medsebojnih relativnih vplivih okoljskih kategorij. Prav tako ne dajejo informacije o tem, katera okoljska kategorija ima večji vpliv v primerjavi z vsemi okoljskimi vplivi na določenem geografskem področju.

Neobvezni koraki LCIA glede na zahteve standardov ISO 14040 in ISO 14044 pa so:

- normalizacija; izražanje LCIA rezultatov glede na podatke referenčnega sistema. Z normalizacijo lahko ocenimo, kakšen je prispevek določene okoljske kategorije k celotnemu vplivu na nekem geografskem področju oz., kakšen je prispevek glede na delež, ki ga prispeva prebivalec določene regije. Normalizacija je lahko koristen korak pri analizi LCA, če želimo primerjavo vplivov na okolje v različnih geografskih področjih.
- Uteženje; določitev prioritet ali uteži posameznim okoljskim kategorijam.
- Združevanje; združevanje različnih kazalnikov okoljskih učinkov v skupine okoljskih škod.

Poudariti je treba, da standard ISO 14044 v zvezi z uteženjem vplivov na okolje pravi: "Weighting (uteženje) shall not be used in LCA studies intended to be used in comparative assertions intended to be disclosed to the public" (ISO, 2006b). Opisano ovrednotenje vplivov na okolje LCIA je specifično za metodo LCA in zahteva res dobro poznavanje modelov ter razlik med vsemi obstoječimi metodologijami LCIA (Hauschild in soavtorji, 2018).

Interpretacija rezultatov, pri čemer se pojasnijo ugotovitve iz analize inventarizacije in ocene vplivov na okolje. Zapišejo se tudi ugotovitve raziskave in priporočila glede na cilj in obseg študije.

Analize LCA lahko vključujejo tudi različne poenostavitve, predpostavke in vrednostne ocene procesov, zato lahko analize LCA dajejo različne rezultate, čeprav je videti, da obravnavajo isti proizvod. Razlike lahko nastanejo zaradi več dejavnikov: različno postavljenih ciljev, uporabe različnih funkcijskih enot, različno postavljene meje preučevanega sistema in uporabljene različne predpostavke pri modeliranju podatkov. Ključno je, da se obseg poenostavitev minimalizira, in da je v fazi poročanja natančno navedeno, katere predpostavke in vrednosti so bile uporabljene. Bralec študije bo tako lahko presodil in se odločil o sprejemljivosti poenostavitev ter rezultate študije sprejel ali jih kot neustrezne v celoti zavrnil (Curran, 2015).

4 Študijski primeri

Kot primer ustreznega definiranja problema in podajanja podatkov, potrebnih za izvedbo LCA študije, navajamo prispevek avtorjev Ardente et al. (Ardente et al., 2006). V prispevku so prikazani rezultati poenostavljene LCA študije pridelave grozdja in procesov predelave v ustekleničena vina vrhunske kakovosti v južni Italiji. Rezultati študije so bili uporabljeni kot podpora odločanju v okviru sistema upravljanja z okoljem (angl. *Environmental Management System*, EMS) in za pridobitev okoljskih oznak tipa III (EPD). V študiji so bili izvedeni naslednji koraki:

- analiza podjetja in definiranje funkcijske enote;
- izvedba LCA študije proizvoda, ki je vključevala: (i) opis in analizo proizvodnih procesov, (ii) analizo vhodnih in izhodnih tokov, (iii) izdelavo ekoprofila za funkcijsko enoto in (iv) podrobno analizo okoljskih vplivov;
- priprava načrta okoljskih izboljšav (angl. *Environmental improvement program*).

Analiza podjetja in izbor funkcijske enote

Preučevani proizvod je ustekleničeno rdeče vino, proizvedeno v podjetju na Siciliji. Proizvodnja rdečega vina predstavlja glavno dejavnost podjetja in zagotavlja 95 % prihodkov. Na trgu ponujajo šest vrst visoko kakovostnega in vrhunskega vina. Podjetje na 138 ha obdelovalnih površin samostojno pridelava 77 % grozdja,

potrebnega za predelavo, medtem ko preostalih 23 % grozdja, ki je pridelano na 43 ha obdelovalnih površin, odkupi od okoliških pridelovalcev. Povprečna oddaljenost lastnih vinogradov od mesta predelave znaša 2,1 km, medtem ko velikost predelovalnega obrata znaša 0,25 km². Podjetje bi lahko opredelili kot tipično italijansko manjšo vinsko klet z letno proizvodnjo 950 m³ vina. Kot funkcijska enota je bila izbrana steklenica rdečega vina s prostornino 0,75 litra.

Izvedba LCA študije proizvoda

Pri LCA živilskih proizvodov se srečujemo z nekaterimi specifičnimi težavami. Več kot očitno je, da je proizvodnja kmetijskih proizvodov zelo odvisna od vremenskih pogojev, zato se nekateri okoljski vplivi z leti občutno spreminjajo. Pričujoča študija se nanaša na letnik 2003, ki predstavlja povprečno letno proizvodnjo. Podobno kot večina kmetijskih dejavnosti tudi vinarstvo obremenjuje okolje z uporabo pesticidov in umetnih gnojil, vendar v zvezi s temi proizvodi ni dovolj okoljskih informacij (Weidema and others, 1995). Nadalje proizvodnja vina zahteva več faz obdelave, ki se lahko med proizvajalci razlikujejo glede na pričakovano kakovost vina. Iz tega izhaja, da rezultati LCA za različne vinske kleti na splošno niso primerljivi. LCA študija je bila izvedena skladno z zahtevami mednarodnega standarda ISO 14040. V življenjski cikel so bile vključene naslednje faze: pridelava grozdja in transport do obrata za predelavo, proizvodnja vina in hramba, ustekleničenje in embaliranje ter prevoz končnih proizvodov. Vplive zaradi odlaganja odpadkov so zanemarili.

Pri analizi procesov so se omejili na vhodne in izhodne tokove materialov in energije. Inventarizacijski podatki so bili pridobljeni z neposrednimi meritvami. Posredne obremenitve okolja, povezane s proizvodnjo materialov, pridobivanjem energentov ter transportom surovin in končnih proizvodov, pa so bile ocenjene. Materiali, vključeni v analizo, so organska in umetna gnojila, žveplo in fitofarmacevtska sredstva, natrijev karbonat, perlit in materiali za stekleničenje. Uporabljeni viri energije so goriva za pogon kmetijskih strojev, električna energija, porabljena pri procesih v vinogradništvu, tekoči naftni plin, ki se uporablja za proizvodnjo pare in tople vode ter za ogrevanje stavb ter dizelsko gorivo, ki se uporablja za transport. Zbrani podatki so bili smiselno razvrščeni v posamezne skupine.

(i) Opis in analiza proizvodnega procesa. Pridelava vina je sestavljena iz dveh glavnih faz: kmetijske (pridelava grozdja) in industrijske (predelava grozdja v vino). Procesi so podrobno predstavljeni v prispevku avtorjev in jih na tem mestu ponovno ne

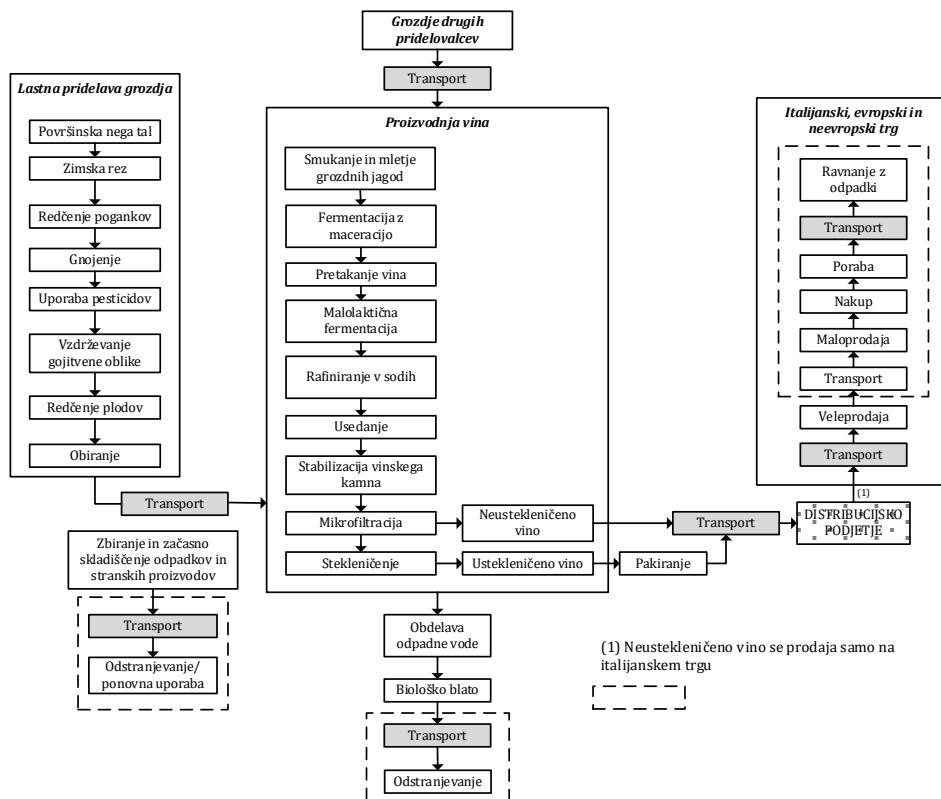
navajamo. Preučevani sistem je potrebno predstaviti tudi grafično in na njem označiti meje sistema oz. faze, ki v LCA niso bile vključene. Meje sistema za preučevani primer prikazuje Slika 2.

(ii) Analiza vhodnih in izhodnih tokov. Naslednji korak LCA študije je pridobivanje vhodnih in izhodnih podatkov, ki se nanašajo na porabo surovin, materialov, virov energije, emisij in odpadkov. Najtežje je oceniti masne tokove, ki so povezani s proizvodnjo surovin in povzročajo posredne vplive na okolje (Ardente in drugi, 2005a, 2005b).

Visoka natančnost študije zahteva veliko število podatkov, kar podaljšuje čas izvedbe in s tem povečuje stroške. Zato nekateri avtorji predlagajo poenostavitev LCA, da bi pomagali majhnim organizacijam, ki pogosto nimajo ustreznih virov in kompetenc (Luciani in drugi, 2003). Vendar pa ni enostavno navesti, kaj naj "poenostavljena" LCA vključuje. Glavna poenostavitev je lahko povezana s pravili izločitve, ki dopuščajo manjšo natančnost pri definiciji sistemskih meja in kakovosti podatkov (t. j. izključitev materialov, katerih količine so nižje od določenega deleža skupnih uporabljenih mas ali uporaba podatkov, ki niso popolnoma reprezentativni ali posodobljeni). O vseh teh "poenostavitvah" je potreben dogovor med naročnikom in izvajalcem študije.

Tabela 1 prikazuje vhodne in izhodne masne tokove v glavnih fazah procesov, Tabela 2 pa prikazuje energijske tokove. Vse količine v Tabeli 2 je treba obravnavati kot primarne, opredeljene kot: "energija, utelešena v naravnih virih (npr. premog, surova nafta, sončna svetloba, uran), ki ni bila podvržena nobeni antropogeni pretvorbi ali transformaciji" (Boustead, 2001). Sekundarne vire je mogoče pretvoriti v primarne količine s posebnimi konverzijskimi faktorji.

(iii) Ekoprofil za funkcijsko enoto. V naslednjem koraku je potrebno preračunati porabo materialov, energije in emisij na funkcijsko enoto. Analiza je vključevala vrednotenje neposrednih vplivov (tistih, ki so neposredno povezani z dejavnostmi organizacije, t. j. emisije toplarn ali kmetijskih strojev) in posrednih (t. j. vplivov, ki so vključeni v vhodne materiale). Preračune na funkcijsko enoto lahko izvede naročnik ali izvajalec študije po dogovoru. Več informacij o študiji in rezultatih je na voljo v Ardente et al. (Ardente et al., 2006).



Slika 4.2: Shema življenjskega cikla ustekleničenega vina

Vir: Prirčeno po (Ardente et al., 2006)

Tabela 1: Analiza vhodnih in izhodnih tokov za vino letnik 2003

Glavni vhodni tokovi		Glavni izhodni tokovi	
Surovine		Proizvodi	
Grozdje	1.269.400 kg	Ustekleničeno vino	377.000
Kmetijski proizvodi		Neustekleničeno vino	575.050
Kompost	181.339 kg	Stranski produkti	
Kalijev sulfat	54.402 kg	Jagodni olupki	230.782
Urea	36.268 kg	Grozni pecliji	57.123 kg
Gnojilo (na osnovi)	36.268 kg	Usedlina	29.445 kg
Žveplo	23.175 kg	Kmetijski odpadki	
Gnojilo (na osnovi)	15.232 kg	Odpadna olja	400 kg
Pesticidi	3.919 kg	Embalaža za kemikalije	260 kg
Dodatki		Drugo	234 kg
Perlit	1.269 kg	Procesni odpadki	
Kalijev metabisulfit	222 kg	Plastika	10.000 kg
Albumin	286 kg	Karton	5.000 kg
Kvas	97 kg	Steklo	3.765 kg
Stekleničenje in pakiranje		Blato in mulji	864 kg

Glavni vhodni tokovi		Glavni izhodni tokovi	
Steklo	262.750 kg	Posebni odpadki (olja, embalaža,	844 kg
Karton	19.167 kg	Mešani odpadki	118 kg
Lesena embalaža	6.730 kg	Odpadne vode	
Zamaški	2.257 kg	Odpadne vode	1.728 m ³
Etikete	903 kg		
Palete	900 kg		
Poraba vode			
Namakanje	98.104 m ³		
Poraba v procesih	2.160 m ³		
Skupaj	100.264 m ³		
Drugo			
Soda	2.500 kg		
Čistila	377 kg		
Perocetna kislina	20 kg		
Laboratorijske	8 kg		

Vir: Prirejeno po (Ardente et al., 2006)

(iv) Podrobna analiza okoljskih vplivov. Kot je bilo že omenjeno, bi se morala organizacija v okviru EMS osredotočiti na vplive, ki štejejo za pomembnejše, da lahko vzpostavi učinkovit program izboljšav. V zvezi s študijo primera proizvodnje in pakiranja vina so bili podrobno analizirani trije kazalniki: poraba energije, emisije ogljikovega dioksida in poraba vode.

Tabela 2: Skupna porabljena energija (v GJ)

Dizelsko gorivo	
Kmetijski stroji	2.870
Prevozi	66
Prevoz vhodnih snovi	346
Prevoz proizvodov in stranskih	1.013
Skupaj	4.295
Električna energija	
Kmetijstvo (namakanje)	84
Procesi	5.814
Stekleničenje	275
Skupaj	6.173
Utekočinjen naftni plin (UNP)	
Proizvodnja tople vode	121
Proizvodnja pare	33
Ogrevanje obrata	88
Skupaj	242

Vir: Prirejeno po (Ardente et al., 2006)

Sicer pa so kazalniki vplivov na okolje določeni z izborom računske metode, ki jo opredelita naročnik in izvajalec študije. V Tabelah 3 (a) – 3 (c) navajamo primere okoljskih kategorij, ki so vključene v računske metode Eco-indicator 99, ReCiPe

Tabela 3: Okoljske kategorije, obravnavane v okviru različnih metod za presojo LCA: (a) Eco-indicator 99, (b) ReCiPe 2008, (c) ReCiPe 2016

(a) Eco-indicator 99		(b) ReCiPe Midpoint		(c) ReCiPe 2016 Midpoint	
Okoljske kategorije	Merske enote	Okoljske kategorije	Merske enote	Okoljske kategorije	Merske enote
Rakotvorne snovi	DALY	Podnebne spremembe	kg CO2 eq	Globalno segrevanje	kg CO2 eq
Respiratorne organske snovi	DALY	Tanjšanje stratosferske ozonske plasti	kg CFC-11 eq	Tanjšanje stratosferske ozonske plasti	kg CFC11 eq
Respiratorne anorganske snovi	DALY	Zakisljevanje tal/kopnega	kg SO2 eq	Ionizirajoče sevanje	kBq Co-60 eq
Podnebne spremembe	DALY	Evtrofikacija sladkih voda	kg P eq	Nastajanje prizemnega ozona - vpliv na človekovo zdravje	kg NOx eq
Sevanje	DALY	Evtrofikacija morja	kg N eq	Nastajanje drobnih trdnih delcev	kg PM2.5 eq
Ozonska plast	DALY	Toksičnost za človeka	kg 1,4-DB eq	Nastajanje prizemnega ozona - vpliv na kopenske ekosisteme	kg NOx eq
Ekotoksičnost	PAF*m2yr	Nastajanje fotokemičnih oksidantov	kg NMVOC	Zakisljevanje tal/kopnega	kg SO2 eq
Zakisljevanje/Evtrofikacij a	PDF*m2yr	Nastajanje drobnih trdnih delcev	kg PM10 eq	Evtrofikacija sladkih voda	kg P eq
Raba zemljišč	PDF*m2yr	Kopenska ekotoksičnost	kg 1,4-DB eq	Evtrofikacija morja	kg N eq
Minerali	MJ surplus	Ekotoksičnost sladkih voda	kg 1,4-DB eq	Kopenska ekotoksičnost	kg 1,4-DCB
Fosilna goriva	MJ surplus	Ekotoksičnost morja	kg 1,4-DB eq	Ekotoksičnost sladkih voda	kg 1,4-DCB
11 okoljskih kategorij		Ionizirajoče sevanje	kBq U235 eq	Ekotoksičnost morja	kg 1,4-DCB
		Raba kmetijskih zemljišč	m2a	Toksičnost za človeka zaradi rakotvornih snovi	kg 1,4-DCB
		Raba urbanih zemljišč	m2a	Toksičnost za človeka zaradi nerakotvornih snovi	kg 1,4-DCB
		Spreminjanje naravnega okolja	m2	Raba zemljišč	m2a crop eq
		Pomanjkanje pitne vode	m3	Redkost mineralnih virov	kg Cu eq
		Izčrpavanje mineralnih virov	kg Fe eq	Redkost fosilnih surovinskih virov	kg oil eq
		Izčrpavanje fosilnih goriv	kg oil eq	Poraba vode	m3
		18 okoljskih kategorij		18 okoljskih kategorij	

Vir: (PRe, 2020)

2008 in ReCiPe 2016. Rezultati izračunov okoljske presoje se medsebojno razlikujejo tako po številu okoljskih kategorij, njihovi definiciji in merskih enotah, kakor tudi po končnem rezultatu. Več o tem lahko zainteresiran bralec prebere v pohaščenem priločniku (Denac, Radonjič, 2022).

V naslednjem študijskem primeru bomo predstavili razliko v prikazih rezultatov LCA študije, kadar so le-ti podani samo v obliki, ki jo zahteva mednarodni standard ISO 14040 oz. v drugih oblikah, ki jih omogoča profesionalna programska oprema. Navedeni prikazi temeljijo na uporabi programske opreme SimaPro Analyst 9.3.0.2. Različne oblike prikaza rezultatov zahtevajo različne postavitve modelov okoljskega življenjskega cikla, zato morajo biti dogovorjene že v fazi zasnove projektne naloge. Za take razgovore je potrebno naročnikovo predhodno poznavanje koncepta LCA.

V okviru presoje okoljske ustreznosti rešitev s področja elektro-mobilnosti sta primerjani dve različni izvedbi vozil – vozilo z električnim pogonom v kombinaciji z motorjem z notranjim izgorevanjem in vozilo z notranjim izgorevanjem s konvencionalnim mehanskim menjalnikom (Dobnik, 2023).

Opredelitev cilja in meje. Cilj naloge je izvesti LCA študijo kot podporo pridobljenim rezultatom iz simulacije pogonskih sklopov. Rezultati LCA študije dajejo boljši vpogled o vplivih na okolje, če sta upoštevani tudi uporaba surovin in poraba goriva posameznega sklopa. V strukturo LCA študije so vneseni predvideni podatki o elementih, iz katerih je sestavljen bodisi mehanski menjalnik bodisi električni pogon tovrnega vozila. Prav tako bo upoštevana poraba goriva, ki je pridobljena na podlagi predhodne simulacije. LCA študija zajema celoten življenjski cikel v mejah od zibelke (pridobivanje surovin) do groba (reciklaža oz. uničenje delov).

Analiza inventarizacije. Ker v tej fazi analize še ni točnih podatkov o elementih posamičnega pogona, kot so mase komponent in materiali, iz katerih so izdelani, bomo predpostavili enako porazdelitev mase komponent in materialov, kot so najpogostejše uporabljeni za proizvodnjo takih delov (Tabela 4 in 5). Za osnovno porazdelitev mase posameznih komponent je uporabljen 3D model primerljivega menjalnika GAZ A32R22-1700010. Na koncu je bila vsakemu pogonu dodana pripadajoča poraba goriva ob upoštevanju pričakovane življenjske dobe (10 let) in prevožene razdalje (1.000.000 km) s povprečno hitrostjo 90 km/h, ki znaša 313.800 litrov oz. 265.161 kg dizelskega goriva (D-2) za konvencionalni mehanski pogon in 213.900 litrov oz. 180.745 kg D-2 za električni pogon. Teža menjalnika Eaton Fuller

T-955ALL, ki je izbran za simulacijo vožnje, znaša 293 kg. Za analizo električnega pogona je uporabljen konkurenčni elektro motor ZF CeTrax, katerega teža znaša 285 kg. Predpostavljeno je tudi, da je to skupna masa generatorja in elektro motorja, saj sta slednja po karakteristikah enaka in vsak posebej doprineseta k polovici skupne mase.

Tabela 4: Porazdelitev teže posameznih komponent mehanskega menjalnika

Komponenta ročnega menjalnika	Material komponente	Delež skupne mase (%)	Masa (kg)
Ohišje	Siva litina (EN-GJL-350)	50	146,5
Zobniki, Osi, Ležaji	Jeklo SCr420	30	87,9
Nenosilni deli	Aluminij Si11Cu2	10	29,3
Nenosilni deli	Bron CuSn12	10	29,3

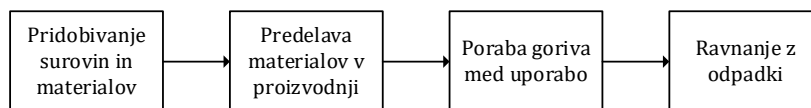
Vir: (Dobnik, 2023)

Tabela 5: Porazdelitev teže posameznih komponent elektro motorja

Komponenta Elektro motorja	Material komponente	Delež skupne mase (%)	Masa (kg)
Ohišje	Aluminij Si11Cu2	39	111,15
Navitje statorja	Baker Cu	10	28,5
Jedro rotorja in statorja	Jeklo S235 JR	43	122,55
Magneti	Neodim NdFeB	8	22,8

Vir: (Dobnik, 2023)

V študiji so bili uporabljeni podatki o materialih in obdelovalnih postopkih iz knjižnice Ecoinvent 3.6. in so podrobneje opisani v magistrski nalogi. Za modeliranje ravnanja z odpadki so bili uporabljeni povprečni podatki za Francijo. Model okoljskega življenjskega cikla je prikazan na Sliki 3.



Slika 3: Model okoljskega življenjskega cikla mehanskega menjalnika

Vir: (Dobnik, 2023)

Presoja vplivov na okolje. Modeliranje okoljskega življenjskega cikla je bilo izvedeno na programski opremi SimaPro Analyst 9.3.0.2 z metodo ReCiPe 2016 (H). Z midpoint pristopom so bile pridobljene vrednosti za 18 kazalnikov okoljskih

vplivov, ki so v okviru karakterizacije obvezen del poročila o LCA študiji. Z endpoint pristopom so bile pridobljene vrednosti za 22 okoljskih kazalnikov, vrednosti pa so bile agregirane v tri skupine povzročene škode (zdravje, ekosistem, viri). Z uporabo uteženja so bili izračunani skupni okoljski vplivi in izraženi v ekotočkah, ki omogočajo primerjavo okoljskih vplivov med različnimi okoljskimi kategorijami. Izdelana je bila tudi procesna shema s prikazom najvplivnejših procesov. Tak prikaz rezultatov po standardu ISO 14040 ni obvezen, ponuja pa ključne informacije za okoljsko optimizacijo procesov in proizvodov. V nadaljevanju navajamo le del rezultatov za konvencionalni pogon z mehanskim menjalnikom, pri čemer bodo označeni prikazi, ki so obvezni po standardu ISO 14040 in tisti, ki presegajo zahteve standarda. Rezultati so prikazani za demonstracijo in posebej ne bodo podrobno komentirani. Rezultati bodo prikazani v izvorni obliki, kot jo podaja programska oprema SimaPro Analyst 9.3.0.2, ker bodo tudi rezultati v poročilih realnih LCA analiz podani na enak način.

Tabela 6: Rezultati LCA karakterizacije za življenjski cikel pogona s konvencionalnim menjalnikom. Presoja, izvedena po ReCiPe 2016 Midpoint (H) (obvezen korak po ISO 14040)

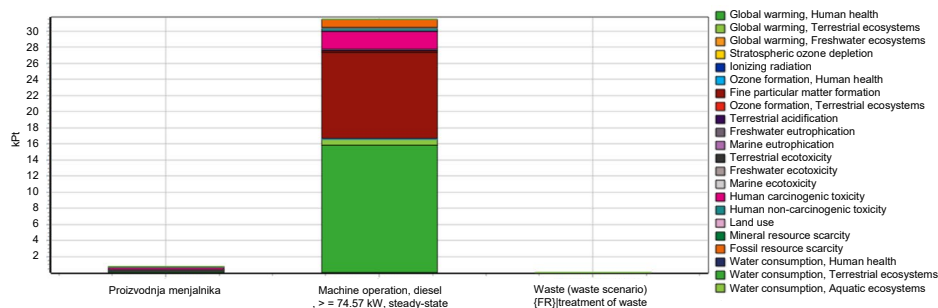
Se	Impact category /	Unit	Total	Proizvodnja menjalnika	Machine operation, diesel, >= 74,57 kW,	Waste (waste scenario) (FR)
✓	Global warming	kg CO ₂ eq	1,03E6	9,57E3	1,02E6	32,4
✓	Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0,372	0,00318	0,368	3,2E-5
✓	Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	5,79E3	720	5,07E3	0,116
✓	Ozone formation, Human health	kg NO _x eq	5,38E3	23,5	5,35E3	0,0368
✓	Fine particulate matter formation	kg PM _{2.5} eq	1,04E3	22,9	1,02E3	0,00816
✓	Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NO _x eq	5,59E3	25,1	5,56E3	0,0376
✓	Terrestrial acidification	kg SO ₂ eq	2,57E3	39,4	2,53E3	0,0199
✓	Freshwater eutrophication	kg P eq	40,6	5,39	35,2	0,00598
✓	Marine eutrophication	kg N eq	23,3	0,752	22,5	0,000728
✓	Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,31E6	1,66E5	1,15E6	20
✓	Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	6,42E3	1,58E3	4,76E3	75,3
✓	Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	9,65E3	2,06E3	7,5E3	91,9
✓	Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	4,42E4	4,53E3	3,97E4	4,24
✓	Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	1,42E5	2,56E4	1,16E5	337
✓	Land use	m ² a crop eq	7,25E3	231	7,02E3	0,0423
✓	Mineral resource scarcity	kg Cu eq	2,02E3	364	1,65E3	0,02
✓	Fossil resource scarcity	kg oil eq	3,36E5	2,45E3	3,33E5	1,15
✓	Water consumption	m ³	1,15E3	57,1	1,1E3	0,0981

Vir: (SimaPro)

Pri karakterizaciji so rezultati LCA študije podani preko kazalnikov vplivov na okolje, ki so odvisni od uporabljene metode. Kot je razvidno iz Tabele 6, metoda ReCiPe 2016 podaja rezultate presoje s kazalniki 18 okoljskih kategorij. Rezultati znotraj posameznih okoljskih kategorij so izraženi z ekvivalentnimi količinami izbranih referenčnih snovi, kar pa še ne pomeni, da so izbrane referenčne snovi tudi najvplivnejše znotraj posamezne okoljske kategorije. Rezultate je mogoče obravnavati agregirano ali razčlenjeno, glede na potrebe analize (najvplivnejši

procesih, uporabljeni materiali, faze življenjskega cikla). Na podlagi rezultatov karakterizacije še ni mogoče oceniti, katera okoljska kategorija je najbolj obremenilna. Rezultati karakterizacije so po ISO 14040 obvezen element v vsakem poročilu o okoljski presoji z LCA.

Za okoljsko optimizacijo proizvodov je zato potrebno uporabiti še druga orodja in oblike prikaza rezultatov, ki jih ISO 14040 ne zahteva. Primer take podrobnejše analize sta normalizacija in uteženje rezultatov, s katerima pridobimo rezultate o povzročeni škodi. Rezultati so podani v ekotočkah (Pt), ki jih je mogoče medsebojno seštevati. Na Sliki 4.4 in Tabeli 7 so grafično in tabelarično prikazani rezultati uteženja, razčlenjeni po posameznih fazah življenjskega cikla: proizvodnja, uporaba in ravnanje z odpadki. Višji stolpci na Sliki 4 oz. višje vrednosti v Tabeli 7 prikazujejo višje vplive na okolje, prispevki posameznih okoljskih kategorij na Sliki 4 pa so razvidni iz priložene legende.



Slika 4.4: Rezultati LCA single score za življenjski cikel pogona s konvencionalnim menjalnikom. Presoja, izvedena po ReCiPe 2016 Endpoint (H), rezultati izraženi z ekotočkami (Pt). (neobvezen korak po ISO 14040)

Vir: (SimaPro)

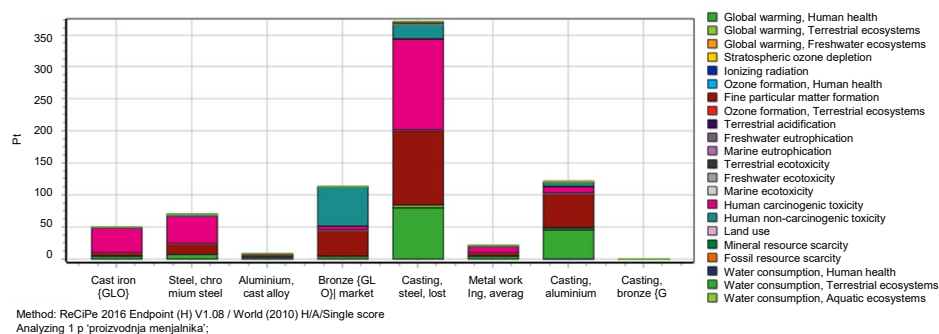
Tako kot pri karakterizaciji, je tudi rezultate o povzročeni škodi (normalizirani in uteženi rezultati) mogoče podajati agregirano ali razčlenjeno na različne načine, v odvisnosti od namena uporabe rezultatov LCA študije. Na Sliki 5 so prikazani prispevki posameznih procesov pri proizvodnji konvencionalnega menjalnika. Višji stolpci nakazujejo višje prispevke okoljskih obremenitev, prispevki posameznih okoljskih kategorij pa so razvidni iz priložene legende. Tak prikaz rezultatov omogoča ekodizajniranje proizvodov, česar drugi prikazi ne omogočajo, zato je ustrezna zasnova LCA študije ključnega pomena za uporabnost rezultatov študije.

Podajanje rezultatov na način, kot so prikazani na Sliki 5, ni obvezen korak po standardu ISO 14040.

Tabela 7: Rezultati LCA uteženja za življenjski cikel pogona s konvencionalnim menjalnikom. Presoja, izvedena po ReCiPe 2016 Endpoint (H), rezultati izraženi z ekotočkami (Pt). (neobvezen korak po ISO 14040)

Se	Impact category /	Unit	Total	Proizvodnja menjalnika	Machine operation,	Waste (waste scenario) (FR)
	Total	kPt	32,2	0,756	31,5	0,00215
☒	Global warming, Human health	kPt	16	0,148	15,8	0,000501
☒	Global warming, Terrestrial ecosystems	kPt	0,782	0,00725	0,775	2,45E-5
☒	Global warming, Freshwater ecosystems	kPt	2,14E-5	1,98E-7	2,12E-5	6,7E-10
☒	Stratospheric ozone depletion	kPt	0,00329	2,82E-5	0,00326	2,83E-7
☒	Ionizing radiation	kPt	0,00082	0,000102	0,000718	1,64E-8
☒	Ozone formation, Human health	kPt	0,0816	0,000357	0,0813	5,58E-7
☒	Fine particulate matter formation	kPt	11	0,24	10,7	8,56E-5
☒	Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kPt	0,195	0,000875	0,194	1,31E-6
☒	Terrestrial acidification	kPt	0,147	0,00226	0,145	1,14E-6
☒	Freshwater eutrophication	kPt	0,00735	0,000975	0,00638	1,08E-6
☒	Marine eutrophication	kPt	1,07E-5	3,45E-7	1,04E-5	3,35E-10
☒	Terrestrial ecotoxicity	kPt	0,00404	0,000514	0,00353	6,18E-8
☒	Freshwater ecotoxicity	kPt	0,0012	0,000296	0,000894	1,41E-5
☒	Marine ecotoxicity	kPt	0,000274	5,86E-5	0,000213	2,61E-6
☒	Human carcinogenic toxicity	kPt	2,45	0,251	2,2	0,000235
☒	Human non-carcinogenic toxicity	kPt	0,54	0,0975	0,442	0,00128
☒	Land use	kPt	0,0174	0,000555	0,0168	1,02E-7
☒	Mineral resource scarcity	kPt	0,00333	0,000601	0,00273	3,29E-8
☒	Fossil resource scarcity	kPt	1,05	0,00418	1,04	2,96E-6
☒	Water consumption, Human health	kPt	0,0144	0,000786	0,0136	8,3E-7
☒	Water consumption, Terrestrial ecosystem	kPt	0,00265	0,000111	0,00254	1,18E-7
☒	Water consumption, Aquatic ecosystems	kPt	4,51E-7	2,15E-8	4,3E-7	8,86E-12

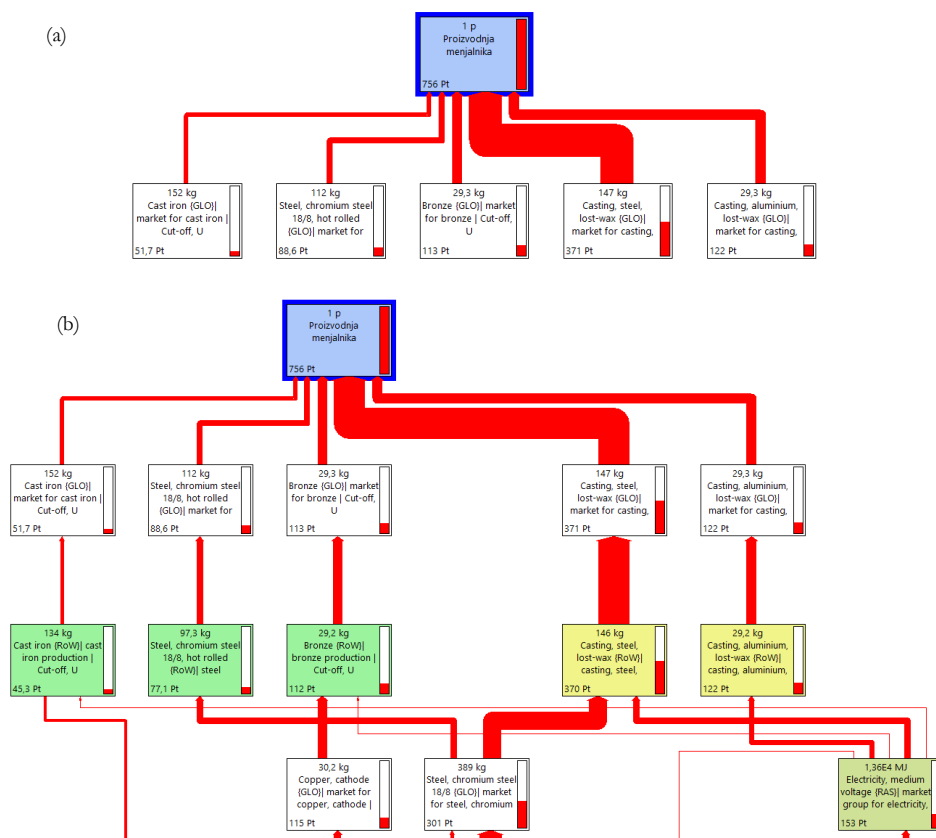
Vir: (SimaPro)



Slika 5: Rezultati LCA single score za proces proizvodnje pogona s konvencionalnim menjalnikom. Presoja, izvedena po ReCiPe 2016 Endpoint (H), rezultati izraženi z ekotočkami (Pt). (neobvezen korak po ISO 14040)

Vir: (SimaPro)

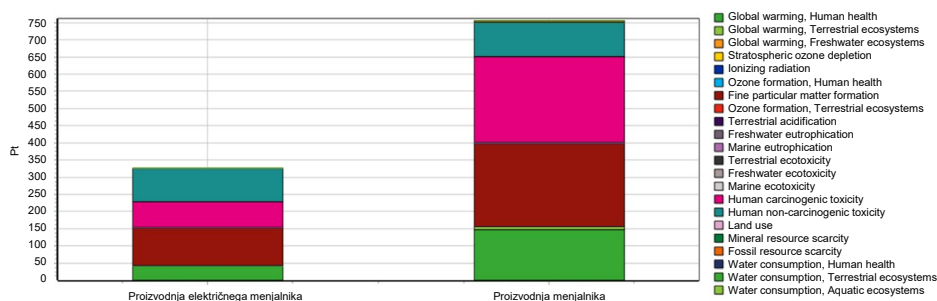
Podatke o povzročni škodi je mogoče prikazati tudi s Sankey-evimi diagrami. Pri tem gre za vizualizacijo okoljskih obremenitev, pri čemer debelejša puščica predstavlja okoljsko bolj obremenilne faze/procese, obseg prikazanih procesov pa je mogoče prilagajati. Tudi tak prikaz (Slika 6) je po ISO 14040 neobvezen, zato se redkeje pojavi v poročilu o LCA študiji. Na Sliki 6a je prikazan Sankey-ev diagram za primer procesa proizvodnje pogona s konvencionalnim menjalnikom, ki podobno kot Slika 5 izpostavi najvplivnejše procese med proizvodnjo, medtem ko Sankey-ev diagram na Sliki 6b dodatno pojasni tudi od kod tak rezultat izvira, kar je ključno pri okoljski optimizaciji procesov in proizvodov.



Slika 6: Rezultati LCA single score za proces proizvodnje pogona s konvencionalnim menjalnikom: Prikaz najvplivnejših procesov (Slika 6a), Bolj razčlenjen prikaz vplivov posameznih procesov (Slika 6b). Presoja, izvedena po ReCiPe 2016 Endpoint (H), rezultati izraženi z ekotočkami (Pt). Debelejša puščica predstavlja okoljsko bolj obremenilne faze/procese. (neobvezen korak po ISO 14040)

Vir: (SimaPro)

Če rezultatov karakterizacije v LCA študijah ni mogoče medsebojno primerjati, pa so primerjave mogoče na nivoju povzročene škode, v kolikor so bili rezultati okoljske presoje pridobljeni z uporabo enake metodologije. Na Sliki 7 so podani rezultati primerjalne analize za proces proizvodnje elektro pogona in pogona s konvencionalnim menjalnikom, pri čemer višine stolpcov predstavljajo skupne okoljske obremenitve pri proizvodnji posamezne alternative. Iz Slike 7 je razvidno, da proizvodnja elektro pogona povzroči za polovico manjše okoljske obremenitve kot proizvodnja pogona s konvencionalnim menjalnikom. To pa še ne pomeni, da so nižje tudi okoljske obremenitve elektro pogona v celotnem življenjskem ciklu, kar bi bilo potrebno preveriti z izračunom. Tudi tak prikaz je neobvezen korak po standardu ISO 14040.



Slika 7: Rezultati primerjalne LCA analize single score za proces proizvodnje elektro pogona in pogona s konvencionalnim menjalnikom. Presoja, izvedena po ReCiPe 2016 Endpoint (H), rezultati izraženi z ekotočkami (Pt). (neobvezen korak po ISO 14040)

Vir: (SimaPro)

Literatura in viri

- Ardente, F., G. Beccali, M. Cellura, and V. Lo Brano. 2005a. Life cycle assessment of a solar thermal collector: Sensitivity analysis, energy and environmental balances. *Renewable Energy* 30:109–130.
- Ardente, F., G. Beccali, M. Cellura, and V. Lo Brano. 2005b. Life cycle assessment of a solar thermal collector. *Renewable Energy* 30:1031–1054.
- Ardente F., Beccali G., Cellura M., Marvuglia A. (2006). POEMS: A Case Study of an Italian Wine-Producing Firm, *Environmental Management* Vol. 38, No. 3, pp. 350–364, DOI: 10.1007/s00267-005-0103-8
- Boustead Consulting Ltd. 2001. Environmental database, ver. 4.4. Boustead Consulting, Ltd., Black Cottage, West Sussex, UK.
- Bradač Hojnik, B., Primec, A., Denac, M., Močnik, D. (2020) Slovenska podjetja in izzivi transformiranja poslovanja. Rebernik M-, Širec K. (ur.), Slovenski podjetniški observatorij 2019, Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba, 2020.
- Curran, M. A. (Ed.) (2012). *Life Cycle Assessment Handbook. A Guide for Environmentally Sustainable Products*, Wiley Scrivener Publishing.

- Denac, M., Radonjič, G. (2022) Primerjalna analiza metod za ocenjevanje vplivov pohištenih izdelkov na okolje. V: Volfand J. (ur.) Izzivi in rešitve za ponovni vzpon pohištenne industrije, Zelena Slovenija, str. 90-93.
- Denac, M., Radonjič, G., (2023) LCA analiza varnostnega sefa Starprim: poročilo o raziskavi. Pripravljeno za podjetje Primat tovarna kovinske opreme d.d., Maribor, Univerza v Mariboru, Ekonomsko poslovna fakulteta.
- Dobnik, L. (2023). Simulacija vozila z električnim pogonom v kombinaciji z motorjem z notranjim zgorevanjem, Magistrsko delo-gospodarsko inženirstvo, Univerza v Mariboru
- EC. (2015b). Better Regulation Guidelines. Commission staff working document, COM(2015) 215 final; SWD(2015) 111 final. Pridobljeno s http://ec.europa.eu/smart-regulation/guidelines/docs/swd_br_guidelines_en.pdf
- EC. (2021). *Recommendation on the use of Environmental Footprint Methods, Annex 1 to 2* (Recommendation No. C(2021) 9332 final. *Official Journal of the European Union*. Pridobljeno s https://environment.ec.europa.eu/publications/recommendation-use-environmental-footprint-methods_en
- EEA (1998): Environmental Management Tools for SMEs: A Handbook. Starkey, R. (ed.). European Environment Agency.
- Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R.B.H., Christiansen, K. & Klüppel, H.J. (2006): The new international standards for life-cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. *International Journal of LCA*, 11(2), 80–85.
- Goedkoop M., Oele M., Leijting J., Ponsioen T. & Meijer E. (2013): Introduction to LCA with SimaPro. PRé, www.pre-sustainability.com (Accessed: August 2016).
- Hauschild, M.Z., Rosenbaum, R.K., Olsen, S.I. (2018). Life Cycle Assessment. Theory and Practice. Springer International Publishing.
- IMA - Institute of Management Accountants (1996): Institute of Management Accountants: Statements on Management Accounting: Tools and Techniques of Environmental Accounting for Business Decisions, http://www.imanet.org/docs/default-source/thought_leadership/external_reporting_systems/tools_and_techniques_of_environmental_accounting_for_business_decisions.pdf?sfvrsn=2 (Accessed: 17.07.2016).
- ISO (1997): Environmental management—Life-cycle assessment: Principles and framework. Geneva: International organisation for standardisation.
- ISO (1998): Environmental management—Life-cycle assessment: Goal and scope definition and inventory analysis. Geneva: International organisation for standardisation.
- ISO (2000a): Environmental management—Life-cycle assessment: Life-cycle impact assessment. Geneva: International organisation for standardisation.
- ISO (2000b): Environmental management—Life-cycle assessment: Interpretation. Geneva: International organisation for standardisation.
- ISO (2006a): Environmental management—Life-cycle assessment: Principles and framework. Geneva: International organisation for standardisation.
- ISO (2006b): Environmental management—Life cycle assessment: Requirements and guidelines. Geneva: International organisation for standardisation.
- Klöppfer, W. (2006): The role of SETAC in the development of LCA. *International Journal of LCA*, 11(1), 116–122.
- Klöppfer, W., Renner, I. (2008): “Life-Cycle Based Sustainability Assessment of Products”, in: Schaltegger, S. et al. (eds.): Environmental Management Accounting for Cleaner Production. Springer Science + Business Media B.V., 91-102.
- Luciani, R., L. Andriola, and S. Sibilio. 2003. I sistemi di gestione ambientale orientati al prodotto: POEMS, un nuovo strumento (in Italian). *Ambiente* 8:789–796.
- PRé. (2016). 2020 – the year of the perfectly sustainable world? Pridobljeno s <https://www.pre-sustainability.com/news/2020-the-year-of-the-perfectly-sustainable-world/>
- PRé. (2017). Why circular economy business models need LCA – Part 1. Pridobljeno s <https://www.presustainability.com/news/why-circular-economy-business-models-need-lca/>

- PRé Consultants. (2020). SimaPro Database Manuel. Methods Library. Dostopno: <https://simapro.com/wp-content/uploads/2020/10/DatabaseManualMethods.pdf> (6.10.2022).
- PRé (2023). Environmental Footprint database 3.1 in SimaPro, webinar, 20.6.2023
- SimaPro (verzija 9.3.0.2) programska oprema SimaPro Analyst (2023), Amersfoort, The Netherlands . PRe Sustainability B.V.
- Weidema, B. P., R. Pedersen, and T. S. Drivsholm. 1995. Life cycle screening of food products: Two examples and some methodological proposals. Danish Academy of Technical Sciences, Lyngby, Denmark.
- Werner, F., (2005): "LCA as a Method and its Modelling Characteristics ". in: Tukker, A. (ed.) Ambiguities in Decision-oriented Life Cycle Inventories. Springer, 27-39.
- Zbicinski, I., Stavenuiter, J., Kozłowska, B. & van de Coevering, H.P.M. (2006): Product Design and Life Cycle Assessment. The Baltic University Press.