

Forbruk av vassressursar og andre vassrelaterte indikatorar i miljø-livsløpvurderingar (LCA)

Av Fredrik Moltu Johnsen og Hans Jakob Walnum

Fredrik Moltu Johnsen (Ph.D) er seniorforskar ved Vestlandsforskning.

Hans Jakob Walnum (Ph.D) er seniorforskar ved Vestlandsforskning.

Summary

Water use and other water-related indicators in environmental life cycle assessment (LCA). Life cycle assessment (LCA) and Environmental product declaration (EPD) studies can be used to evaluate the environmental effects of any product and may include water-related impact indicators. The indicator water use concerns the effect on water as a resource, whereas indicators such as acidification, eutrophication and ecotoxicity can be related to impacts on aquatic environments. This paper particularly concerns the indicator for water use/water scarcity in LCA/EPD, and to which extent this indicator may be employed as input to further analyses, e.g., with regard to effects on local water availability. It is explained how generic product LCA/EPD results for water use could become inaccurate or ambiguous. Indicators that describe environmental impacts on water may be useful, but in order to avoid overly superficial interpretation and utilisation, they should be combined with in-depth knowledge about how the numbers were calculated.

Samandrag

Livsløpvurderingar (LCA) og miljøproduktdeklarasjonar (EPD) kan nyttast til å døma om eit produkt sin miljøverknad på ei rekkje vassrelaterte indikatorar. Av desse indikatorane

handlar vassbruk om verknad på vatn som ressurs, medan indikatorar som forsureing, eutrofiering og økotoksisitet heng saman med effektar på miljøet i vatnet. Denne artikkelen tek særleg føre seg indikatoren for vassbruk/vassmangel i LCA/EPD, og i kva grad han kan nyttast som innsatsfaktor til vidare analysar på til dømes lokalt vassstilgjenge. Det vert konkludert med at generisk produkt-LCA/EPD av fleire årsaker kan gje resultat for vassbruk som er unøyaktige eller vanskelege å tolka. Indikatorar kan vera nyttige til å beskriva ulike former for miljøpåverknad på vatn, men bør kombinerast med kjennskap til korleis tala er rekna ut for at dei ikkje skal bli forstått og handsama for overflatisk.

Innleiing

Vi vil i denne artikkelen sjå nærare på indikatoren for forbruk av vatn som ressurs i miljøproduktdeklarasjonar (EPD) og elles i livsløpvurderingar (LCA). I tillegg vil ein god del andre indikatorar i LCA og EPD ha vassfagleg relevans, mellom anna forsureing og eutrofiering. Vi vil òg kort kommentera desse indikatorane.

Livsløpvurdering er ein metode som for tida er mykje i bruk til miljøvurdering av produkt, eller av øvrige prosessar og tenester. Ein har no nytta LCA som eit hjelpemiddel til miljø-

vurderingar i over tre tiår, og saman med generell livsløptankegang har dette vorte stadig meir integrert i miljøforskning og utvikling av miljøretta lovverk over heile verda, kanskje særleg i EU/EØS-området (Sala et al. 2021). Det finst mange årsaker til dette, der dei generelle trendane mot globalisering, stordata, computermodellering og minimering av boss og utslepp har vore viktige. Generelt er grensesnittet mellom teknosfære og miljø svært omfangsrikt, og ein har gjerne tenkt at det er betre å ta med fleire heller enn færre element i miljøvern og miljøkonsekvensstudiar.

LCA-metoden er standardisert av ISO 14040 og ISO 14044 (Standard Norge 2006a; Standard Norge 2006b), og er kjend for å kunna rekna med utslepp og anna miljøpåverking over heile livsløpet til produktet, til dømes frå råvareuttak til avhending («vogge til grav»), eller frå råvareuttak til fabrikkport («vogge til port»). Utanføre det særskilte teknologiske kjernesystemet ein ser på, nyttast svært omfattande utsleppsdata-baser, som Ecoinvent-databasen (Wernet et al. 2016), til modellering av det ein kallar «bakgrunnssystemet». I LCA er det vanleg å gje resultat for miljøpåverkinga per livsløpfas, noko som likevel ikkje seier alt om kor påverkinga faktisk hender.

Ofte, særleg for byggevarer, vert no ein LCA-studie presentert på ei formell form kalla miljøproduktdeklarasjon (engelsk: Environmental product declaration, EPD). EPD er altså ein LCA framstilt i eit førehandsdefinert format. Utvikling av deklarasjonane er standardisert av EN 15804, der det for tida er overgang til ny versjon (+A2:2019) med ein del endringar (Norsk Standard 2019).

EPD-studiar har med ein indikator for vassbruken til produktet, gjerne forkorta W i EPD-dokumenta. Med det sterkt aukande talet på EPD-ar som publiserast for tida, er det tenkjeleg at denne indikatoren kan bli nytta som eit svært pragmatisk grunnlag for vidare analysar av ulikt omfang, basert på ein filosofi om at eit omtrentleg tal er betre enn å ikkje vita noko. Til dømes kan ein sjå for seg at W-resultat kan bli nytta for å estimere påverknad på drikkevasskapasitet og

kloakk, det vere seg lokalt, kommunalt, regionalt, nasjonalt eller globalt. For å unngå overtolkingar og feil er det i slike tilfelle ein fordel å ha så djup og nyansert kunnskap som mogeleg om tala ein nyttar.

I tillegg til EPD er det for tida sterk vekst når det gjeld publikasjon av såkalla opne miljødata, som gjerne er tufta på LCA. I Noreg har ein databasen NorEnviro, som skal vera «et slags nasjonalbibliotek for LCA-data» (NorEnviro 2021), og vassrelaterte massestraumar inngår i desse datasetta.

Globalt er det stor interesse for indikatoren for vassbruk, då 2,3 millionar menneske i 2021 budde i område med vassmangel eller «water stress» som definert av FN (UN Water 2021). Vassstilgjenge- og kloakkproblematikken og problem rundt miljø i ferskvatn er oppsummert av FNs berekraftsmål nummer 6. Det er for tida eit sterkt fokus på berekraftsmåla både direkte og indirekte, frå alle aktørar medrekna næringslivet.

I Noreg er direkte vassmangel ikkje vanleg, men klimaendringar gjer at det blir meir aktuelt, mellom anna uttrykt i samband med tørkesommaren 2018. Vassforsyning og vassbruk er kontinuerleg eit relevant problem i lokal planlegging. Den nye, svært kostbare reservevassforsyninga til Oslo har i det siste vore eit mykje omtala døme på dette. Det har dessutan historisk vore store konflikter rundt vasskraftutbygging, og miljøproblem kring forsuring, eutrofiering, forgifting og forsøpling av vassdrag, fjord og hav har tidvis fått rikeleg nasjonal merksemd. I tillegg ligg nordmenn i forbrukstoppen av vasskrevande produkt som elektronikk og klede (Madaka et al. 2020; Kumar et al. 2019). Det grøne skiftet er òg vassintensivt, mellom anna i produksjon av solceller (Andersen et al. 2014).

Ulike tal som kan gje informasjon om innverknad på vatn og vassmiljø er dermed også i ein norsk kontekst svært relevant for til dømes forbrukarar, konsulentar, forskarar, arealplanleggjarar og strategiutformarar. Vassrelaterte analysar på bakgrunn av EPD og øvrige LCA-resultat kan dermed ta mange former.

Forbruk av vatn i LCA- og EPD-studier

Forbruk av vatn, gitt til dømes produksjon av ei viss mengd produkt, kan i utgangspunktet modellerast på ulikt vis i LCA. Ein har ikkje har vore konsekvent over tid på metodikk for såkalla karakterisering av vassbruken i LCA. Når ein les gjennom ein LCA-rapport, må ein difor vera nøye med å sjå kva metode som er brukt for dette.

Ein variant er å telja eit absolutt, faktisk bruk av ferskvatn i LCA-resultata, ei tilnærming som vart introdusert i metoden ReCiPe 2008 (Goedkoop et al. 2013). Men ein har kome fram til at det eigentlege miljøproblemet knytta til forbruk av vatn heng saman med mangel på vatn. I nyare LCA-studier nyttar ein difor gjerne ein metode kalla Available WATER REMaining, AWARE (Boulay et al. 2018), som skal vera grunnlag for ein korrigert karakterisering av forbruk av vatn i nyare EPD-ar. Forbruk av sjøvatn og utslepp av vatn til hav er her ikkje talt med. Generelt skal i alle høve EPD-ar basert på EN 15804+A2:2019 nytta AWARE, jamfør Annex C i denne standarden.

AWARE er ein indikator som difor korrigerer LCA-resultatet for bruk av ferskvatn etter mangel («scarcity») på vatn. Vassbruk i et tørrare land gjev difor eit høgare LCA-resultat, endå om det absolutte forbruket av vatn er det same. Ein rapporterer altså ikkje absolutt vassbruk, men vassbruk korrigert for vassstilgjenge.

Tabell 1 syner AWARE-karakteriseringsfaktorar for utvalde land, kjelda her er metoden «EN 15804+A2 v.1.01» i den mykje brukte LCA-softwarepakka Simapro.

Metodisk skal faktorane i tabellen multipliserast med den absolutte vassbruken, for å gje det endelege LCA-resultatet for det som gjerne framleis kallast vassbruk, men som i realiteten er ein abstrakt storleik som på ein gong opp-

summerer både absolutt vassbruk og nasjonal vassmangel. Som ein ser er det svært store variasjonar mellom ulike land, og Noreg reknast her som eit av dei minst tørre landa i verda. Ein kan notera seg at:

- Det er viktig å ikkje forveksla AWARE-indikatoren med absolutt vassbruk.
- Graden av tilgjenge på vatn varierar ein del i Norge, slik at ein nasjonal faktor kan bli for grovkorna for somme formål.
- Dei opphavelge faktorane i AWARE skil per no mellom det som kallast «agri» og «non-agri» vassbruk, og skilnaden mellom dei er monaleg – men dette er i skrivande stund ikkje implementert i Simapro, og vert dermed neppe med i LCA-/EPD-reknestykke med det fyrste.

Hoekstra (2016) kjem med ein del meir detaljert kritikk av tilnærminga til AWARE. Eit interessant punkt han peiker på er at det er vrient å forstå kva eininga for vassbruk eigentleg kommuniserer. Her er heller ikkje LCA-verda heilt samkøyrde. EN 15804+A2:2019 kallar eininga «m3 world eq. deprived», som samsvarar med AWARE-dokumentasjonen til Boulay et al. (2018). Men softwarepakka Simapro kallar i skrivande stund eininga for «m3 depriv», noko som lett kan forplanta seg vidare til LCA- og EPD-rapportar og ikkje gjera rett tolking enklare. Det blir neppe mindre forvirrande av at miljøeffekt-kategorien for vassbruk berre kallast «Water use» i EN 15804+A2:2019, medan *eininga* altså presiserer dette vidare til «m3 world eq. deprived».

Kva som elles ligg i ein «world equivalent» kan ein gjerne forstå ut frå sunn fornuft, men denne eininga er diverre ikkje godt teknisk skildra i dokumentasjonen til AWARE (Boulay et al. 2018). AWARE-metoden vert altså uansett vurdert å likevel til å ha så store føremoner at

Tabell 1. AWARE-karakteriseringsfaktorar for utvalde land. Lav faktor = godt tilgjenge på vatn, 1 = gjennomsnittet for verda

Land	Noreg	Sverige	Tyskland	India	Canada	Kina
AWARE-faktor	0,634	4,41	1,36	29,4	7,4	42,4

han reknast som eigna for LCA og EPD. Særleg for modellering av produkt som klede og elektronikk, der monaleg vassbruk bakover i leverandørkjeden kan finna stad i område med kritisk vassmangel, vil AWARE kunne vera eit godt hjelpemiddel for å estimera reell miljøeffekt.

Kor nøyaktig er vassbruken som deklarerast i LCA-studier og EPD-ar?

Bruk av omgrep og einingar

LCA-resultat for tørkekorrigert vassbruk omtalast gjerne lite presist. Som nemnd har resultatet i EN 15804+A2:2019 eininga «m³ world eq. deprived» og blir der – trass i at det ikkje er ei heilt nøyaktig omtale – kalla «Water use». I norske EPD-dokument ser ein gjerne formuleringa «Use of net fresh water» ved bruk av EN 15804+A1:2013 – dette kan anten visa til AWARE eller absolutt vassbruk – eller «Water deprivation potential» ved bruk av EN 15804+A2:2019. I Product Environmental Footprint (PEF)-systemet kallast derimot AWARE-indikatoren «Water scarcity» (Fazio et al. 2018). Eininga kan òg bli formulert på ulike vis. Det er difor viktig å vera merksam når ein skal tolka desse formuleringane.

Ein er altså ikkje alltid fokusert på presis bruk av ord og omgrep i LCA. Termen «Water use» er ikkje ein nøyaktig omtale av absolutt vassbruk korrigert for vassmangel etter AWARE-metoden, men er likevel mykje brukt ved presentasjon av LCA-/EPD-resultat. Når metodane som nyttast samstundes er vanskelege å få detaljert innsikt i, blir det fare for feiltolking av resultatane.

Geografisk representativitet

Ved utvikling av LCA-studier er det slik at ein er meir nøyaktig på det ein tenkjer er viktig for utrekna miljøeffekt. Vassbruk reknast gjerne som langt mindre viktig enn til dømes utslepp av klimagassar. Ofte kan dette til dømes føra til at utviklaren ikkje er merksam på at geografisk representativitet for vassbruk må vera korrekt. Dette er særleg kritisk då Ecoinvent-databasen,

som nyttast svært mykje til LCA og EPD, ikkje har nokon spesifikk databaseprosess for norsk springvatn. Det kan slik verta ein del jobb for å få dette perfekt modellert, noko som i somme tilfelle kan verta nedprioritert grunna andre element i vurderinga som ser viktigare ut. Unøyaktig modellering av vassrelaterte indikatorar kan slik oppstå som følge av meir eller mindre rasjonell prioritering av tid og ressursar, og ikkje berre av feil eller mangel på kompetanse.

Når ein ser dette i samband med at det er så stor skilnad mellom karakterisering i ulike land som det ein ser i tabell 1, er det risiko for tidvis låg presisjon i resultatane. Dette kan elles òg verta tilfelle for andre vassrelaterte indikatorar, som i EPD-systemet nyleg òg har fått regionaliserte karakteriseringsmetodar, som forsuring og eutrofiering. Over tid kan ein sjå for seg at koplinga mellom dette nye systemet og modelleringspraksis i LCA vil verta fanga betre opp, men per i dag er det alltid ein risiko for at manglande geografisk representativitet i teknologimodellen spelar mykje inn på resultatane.

Modellering av avløpsvatn

I tillegg kjem det at det kan vera enkelt å modellera kor mykje vatn ein nyttar, men mindre enkelt å estimera kor mykje vatn som ein slepp ut att til miljøet. Differansen mellom dei to kan dessutan bli svært lav i relasjon til dei absolutte inndata-tala. Dette subtile poenget vil gjerne slå sterkt ut i usikkerheitsmodellering med Monte Carlo-analysar, som kan gje AWARE-indikatoren høgare relativ usikkerheit enn andre miljøindikatorar.

Rebound-effektar

I seinare år har det vore auka interesse for å sjå på systemiske effektar og marknadseffektar for miljøpåverknad, også i LCA-studier gjennom såkalla rebound-effektar eller tilbakeslagseffektar, som tek føre seg korleis effektivisering kan påverka auke i etterspørsel og produksjon (Vivanco et. al og Walnum et. al 2014). Desse effektane er studerte for vassbruk der eit par studiar for vatningsteknikkar for jordbruket peiker på at dei systemiske effektane som følge

av forbetra vatningsteknikkar kan utlikna og faktisk føre til auka vassforbruk (Freire-González 2019; Sears et al. 2018). Det er viktig å vere klar over desse effektane, men vere varsam med å generalisere desse studiane til andre kontekstar (Berbel et al. (2015).

Andre resultatindikatorar

For eutrofiering og forsuring er praksis med landspesifikk karakterisering i LCA noko som er kome inn dei siste åra, særleg etter at Europakommisjonen tilrådde slike metodar for framtidige «Environmental Footprint»-studier (Fazio et al. 2018). Her vart ein metode for regionalisering basert på «accumulated exceedance»-prinsippet vald (Seppälä et al. 2006; Posch et al. 2008). Tabell 2 syner korleis utvalde land er karakterisert når det gjeld desse indikatorane; faktorsettet er igjen frå EN 15804+A2 v.1.01 i Simapro. Andre sett av faktorar nyttast riktignok òg, særleg i eldre LCA-studier. Ein kan leggja merke til at CO₂ ikkje er med i denne metoden for forsuring, og effekten på havforsuring frå CO₂ må dermed heller tolkast indirekte frå klimafotavtrykket til kvar studie.

Inntil vidare er automatisk utregning med desse faktorane, gitt ein oppdatert og heilt riktig teknologimodell i LCA, berre tilgjengeleg for europeiske land, og ikkje alle indikatorane som er relevante for vatn har slik regional faktor, mellom dei ferskvasseutrofiering og økotoksitet i ferskvatn; då nyttast generisk faktor i staden. For at automatikken i LCA-utrekningane skal fungera saman med dei nasjonale fakto-

rane, må datasetta som er brukt innehalde konkret modellering med landspesifikke substansar, noko ein som eit utgangspunkt ikkje har garanti for.

Det er viktig for rett tolking å leggja merke til at eutrofiering som følge av ulike fosforutslepp i dette systemet er kalla ferskvasseutrofiering, medan eutrofiering som følge av ulike nitrogenutslepp er kalla eutrofiering av jord og hav. Denne namngjevinga er diverre unøyaktig, og ei grannsam tolking kan difor heller leggja vekt på kva substansar som inngår ved vurdering av indikatorane enn på namnet.

Økotoksisitet i ferskvatn er i Europakommisjonen sin tilrådde metode berekna ut frå USEtox-modellen (Rosenbaum et al. 2008). Her bør ein vera merksam på at det er ei ekstrem uvisse i faktorane til USEtox, noko som ikkje vert fanga opp av metodane til Fazio et al. (2018), og heller ikkje i LCA-studiar der uvissevurderingar med Monte Carlo-analysar vert nytta (Heijungs og Lenzen 2014). Uvisse, eller meir presist perspektivanalyse, ved toksisitetvurderingar i LCA kan inkluderast ved bruk av metoden ReCiPe 2016 (Huijbregts et al. 2016), men dette ser ein diverre sjeldan utnytta. Resultat for toksisitet kan difor lett tolkast å vera meir presise enn dei er. Hauge (2011) knytta ein slik overdriven presisjon i modelleringsresultat til omgrepet post-normal vitskap, som i sin tur opnar for vitskapsteoretisk kritikk av LCA og liknande metoder (Lazarevich et al. 2012).

Tabell 2. Karakteriseringsfaktorer i EN 15804+A2 v.1.01 i Simapro, for eutrofiering og forsuring. Faktorar for utslepp av ammonium, nitrat, nitritt, fosforsyre, møk, gjødsel og ssvoveltrioksid er utelatne av plasshensyn.

Miljøeffektkategori	Generisk region	Noreg	Tyskland	Italia
Terrestrisk eutrofiering [mol N ekv / kg]	13,47 (NH3 til luft)	1,189 (NH3 til luft)	12,691 (NH3 til luft)	8,363 (NH3 til luft)
	4,26 (NO2 til luft)	0,674 (NO2 til luft)	2,882 (NO2 til luft)	1,48 (NO2 til luft)
Ferskvasseutrofiering [kg P ekv / kg]	0,33 (P04 til vatn)	-	-	-
	0,16 (P04 til jord)			
Marin eutrofiering [kg N ekv / kg]	0,092 (NH3 til luft)	0,092 (NH3 til luft)	0,092 (NH3 til luft)	0,092 (NH3 til luft)
	0,824 (NH3 til vatn)			
Forsuring [mol H+ ekv / kg]	3,02 (NH3 til luft)	11,491 (NH3 til luft)	4 (NH3 til luft)	0,12 (NH3 til luft)
	0,74 (NO2 til luft)	1,107 (NO2 til luft)	0,849 (NO2 til luft)	0,065 (NO2 til luft)

Konklusjon

LCA- og EPD-resultat inneheldt data om påverknad på vatn som kan koma til god nytte i ulike samanhengar, særleg når ingen informasjon er tilgjengeleg i andre kilder. Skal ein nytte vassbruk som rapportert i LCA-/EPD-studier, lyt ein vera merksam på om studien har eit særleg fokus på vatn, til dømes ved at vassbruk er einaste eller ein av få utvalde indikatorar i LCA-studien, som i reine vassfotavtrykkstudiar etter ISO 14046. Ein bør vidare leggja til grunn at kjernesystemet er meir nøyaktig modellert enn bakgrunnssystemet. Mangelen på presisjon i LCA og EPD skuldast ikkje nødvendigvis metodisk slurv i LCA/EPD, men at metoden etter ISO 14044 skal vera ei «vurdering» som reknar ut «potensielle» utslepp. Ein bør generelt ta høgde for at LCA og dermed òg EPD ikkje har finkorna oppløysing og difor ikkje i utgangspunktet er meint å nyttast til å stø avgjerder i eit heilt lokalt perspektiv (Hauschild 2006).

Det beste om ein treng å stø seg på heilt presis informasjon er gjerne å sjølv gjera ein lokal studie, slik at ein har god kontroll både på omfang og metode. Grovkorna tal er stundom ein god peikepinn – men ikkje alltid.

Litteratur

- Andersen, O., Gilpin, G., Andrae, A. S. (2014). Cradle-to-gate life cycle assessment of the dry etching step in the manufacturing of photovoltaic cells. *AIMS Energy* 2(4): 410-423. <https://doi.org/10.3934/energy.2014.4.410>
- Berbel, J., Gutiérrez-Martín, C., Rodríguez-Díaz, J. A., Camacho, E., Montesinos, P. (2015) Literature Review on Rebound Effect of Water Saving Measures and Analysis of a Spanish Case Study. *Water Resources Management* 29: 663-678. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0839-0>
- Boulay, A.-M., et al. (2018) 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* 23: 368-378. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1333-8>
- Fazio, S., Castellani, V., Sala, S., Schau, E. M., Secchi, M., Zampori, L., Diaconu, E. (2018) Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment method. *New models and differences with ILCD*. Tilgjengeleg frå: https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/supporting_Information_final.pdf den 26. oktober 2021
- Freire-González, J. (2019) Does Water Efficiency Reduce Water Consumption? The Economy-Wide Water Rebound Effect. *Water Resources Management* 33: 2191-2202. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02249-0>
- Goedkoop, M., et al. (2013) ReCiPe 2008. First edition (version 1.08). Report I: Characterisation. https://www.researchgate.net/publication/302559709_ReCi-PE_2008_A_life_cycle_impact_assessment_method_which_comprises_harmonised_category_indicators_at_the_midpoint_and_the_endpoint_level
- Hauschild, M. (2006) Spatial Differentiation in Life Cycle Impact Assessment: A decade of method development to increase the environmental realism of LCIA. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 11: 11-13. <https://doi.org/10.1065/lca2006.04.005>
- Heijungs, R., Lenzen, M. (2014) Error propagation methods for LCA—a comparison. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 19: 1445-1461. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0751-0>
- Hoekstra, A. Y. (2016) A critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA. *Ecological Indicators* 66: 564-573. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.026>
- ISO (2014) ISO 14046:2014. Environmental management – Water footprint – Principles, requirements and guidelines.
- Kumar, P. S., Pavithra, K. G. (2019) Water and textiles. In *Water in Textiles and Fashion* (pp. 21-40). Woodhead Publishing
- Lazarevich, D., Buclet, N., Brandt, N. (2012) The application of life cycle thinking in the context of European waste policy. *Journal of Cleaner Production* 29-30: 199-207. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.01.030>
- Madaka, H., Babbitt, C. W., Ryen, E. G. (2022) Opportunities for reducing the supply chain water footprint of metals used in consumer electronics. *Resources, Conservation and Recycling* 176: 105926. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105926>
- NorEnviro (2021) Idégrunnlag. Tilgjengeleg frå: <https://norenviro.no/konsept/> den 26. oktober 2021
- Posch, M., Seppälä, J., Hettelingh, J.-P., Johansson, M., Margni, M., Jolliet, O. (2008) The role of atmospheric

- dispersion models and ecosystem sensitivity in the determination of characterisation factors for acidifying and eutrophying emissions in LCIA. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 13: 477. <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0025-9>
- Rosenbaum, R. K., Bachmann, T. M., Gold, L. S., Huijbregts, M. A. J., Jolliet, O., Juraske, R., Köhler, A., Larsen, H. F., MacLeod, M., Margni, M., McKone, T. E., Payet, J., Schuhmacher, M., van de Meent, D., Hauschild, M. Z. (2008) USEtox - The UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in Life Cycle Impact Assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 13(7): 532-546. <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0038-4>
- Sala, S., Amadei, A. M., Beylot, A., Ardenne, F. (2021) The evolution of life cycle assessment in European policies over three decades. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01893-2>
- Sears, L., Caparelli, J., Lee, C., Pan, D., Strandberg, G., Vuu, L., Lawell, C.-Y. C. L. (2018) Jevons' paradox and efficient irrigation technology. *Sustainability* 10(5): 1590. <https://doi.org/10.3390/su10051590>
- Seppälä, J., Posch, M., Johansson, M., Hettelingh, J.-P. (2006) Country-dependent Characterisation Factors for Acidification and Terrestrial Eutrophication Based on Accumulated Exceedance as an Impact Category Indicator. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 11: 403-416. <https://doi.org/10.1065/lca2005.06.215>
- Standard Norge (2006a) NS-EN ISO 14040:2006. Miljøstyring. Livsløpsvurdering. Prinsipper og rammeverk
- Standard Norge (2006b) NS-EN ISO 14044:2006. Miljøstyring. Livsløpsvurdering. Krav og retningslinjer
- Standard Norge (2019) NS-EN 15804:2012+A2:2019. Bærekraftige byggverk. Miljødeklarasjoner. Grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer
- UN Water (2021) Summary Progress Update 2021: SDG 6 — water and sanitation for all. July 2021. Tilgjengeleg frå: <https://www.unwater.org/publications/summary-progress-update-2021-sdg-6-water-and-sanitation-for-all/> den 26. oktober 2021
- Vivanco, D. F., Kemp, R., & van der Voet, E. (2016). How to deal with the rebound effect? A policy-oriented approach. *Energy Policy* 94: 114-125. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.03.054>
- Walnum, H. J., Aall, C., Løkke, S. (2014) Can rebound effects explain why sustainable mobility has not been achieved? *Sustainability* 6(12): 9510-9537. <https://doi.org/10.3390/su6129510>
- Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., Weidema, B. (2016) The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 21: 1218-1230. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1087-8>