



Karelia-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikka

Litiumakun sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointi (S-LCA)

Henri Helenius

Opinnäytetyö, maaliskuu 2024

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Maaliskuu 2024
Energia- ja ympäristötekniikan
koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä
Henri Helenius

Nimeke
Litiumakun sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointi (S-LCA)

Toimeksiantaja
Karelia-ammattikorkeakoulu, Kommunikoiva Energia -hanke

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä mallinnettiin sähköautoiluun soveltuvan litiumakun sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointi. Elinkaariarvioinnissa käytettiin siihen soveltuvaa elinkaarimallin-
nusohjelmistoa SimaPro 9 ja siihen liitettävää SHDB v5.0 -tietokantaa. Tarkasteltavan
litiumakun elinkaari alkaa siihen tarvittavien materiaalien tai komponenttien valmistami-
sesta ja päättyy yhteen valmistuneeseen litiumakkuun Kiinassa.

Sosiaalinen elinkaariarviointi mukaillee ISO standardeja 14040 ja 14044 ja litiumakun
valmistuskustannusten mallintaminen yhdysvaltalaisen Argonnen kansallisen yliopiston
mallinnustapaa. Elinkaariarvioinnin tulokset esitetään sosiaalisena jalanjälkenä, josta il-
menevät litiumakun valmistamisesta aiheutuvat sosiaaliset riskit. Keskeisimmät sosiaali-
set riskit yhden litiumakun valmistamisesta ovat ammattiperäisyyteen liittyvät terveys-
uhat ja myrkylliset aineet sekä sosiaaliset etuudet. Nämä sosiaaliset riskit kohdentuvat
suoraan työntekijöihin ja ne esitetään karakterisoiduin ja normalisoiduin tuloksin, jotka
puolestaan kuvaavat määrällisesti potentiaalisia sosiaalisia vaikutuksia.

Opinnäytetyönä toteutettu sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointi on pilottimainen ja
pyrkii antamaan suuntaviivoja erityisesti elinkaariarvioinnissa käytettyjen menetelmällis-
ten valintojen osalta. Lähitulevaisuudessa lisääntyvän kestävyysraportoinnin tarpeen
myötä sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointi on yritysten yksi mahdollinen työkalu
vastaamaan sosiaalisen näkökulman tarpeisiin kestävyysraportoinnissa.

Kieli
suomi

Sivuja 78

Asiasanat
elinkaariarviointi, elinkaari, ISO-standardit, sosiaalinen kestävyys



THESIS
March 2024
Degree Programme in Energy and Environmental Engineering

Tikkarinne 9
FI 80200 JOENSUU
FINLAND
Tel. +350 13 260 600

Author
Henri Helenius

Title
Social Life Cycle Assessment of a Lithium Battery (S-LCA)

Commissioned by
Karelia University of Applied Sciences, Communicative Energy -project

Abstract

The aim of this thesis was to model social life cycle assessment of an electric vehicle lithium battery with SimaPro 9 and integrable Social Hotspots Database version 5.0. The scope of the life cycle begins from producing materials and components of the lithium battery and ends to one assembled lithium battery in China.

The theoretical background of the study is based on ISO Standards 14040 and 14044 and lithium battery modelling was made by Argonne National Laboratory. This study shows the results as social footprint which provides data about the social risks of lithium battery production. It was found that social benefits and occupational toxics and hazards were the most highlighted social risks during the life cycle of lithium battery in China. These results were provided also as characterised and normalised results which indicate potential social impacts targeting mainly to workers as stakeholders.

The important feature of this whole study is that it provides guidelines as pilot thesis work considering social life cycle assessment and its methodical selections, for example Social Hotspots Database version 5.0. Social life cycle assessment can also support sustainability reporting and its social field in the near future.

Language
Finnish

Pages 78

Keywords
life cycle analysis, product life cycle, ISO standards, social sustainability

Sisältö

1	Johdanto	6
2	Yrityksen yhteiskunta- ja ympäristövastuun osat	7
2.1	Yrityksen ympäristövastuu	7
2.2	Yrityksen sosiaalinen vastuu.....	8
3	Elinkaariarviointi (LCA)	9
3.1	Keskeiset käsitteet.....	9
3.2	Periaatteet	14
3.3	Elinkaariarvioinnin vaiheet	15
3.3.1	Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely	15
3.3.2	Inventaarioanalyysi (LCI).....	19
3.3.3	Vaikutusarviointi.....	21
3.3.4	Vaikutusarvioinnin pakolliset osat ja niihin liittyvien valintojen luonteenpiirteitä	21
3.3.5	Luokittelu	22
3.3.6	Karakterisointi	22
3.3.7	Vaikutusarvioinnin vapaaehtoisten osien valintojen pääpiirteitä ja ominaisuuksia	23
3.3.8	Normalisointi	23
3.3.9	Ryhmittely	24
3.3.10	Painotus.....	24
3.3.11	Vaikutusarvioinnin lähtötiedon laadun lisäanalyysi	24
3.4	Tulosten tulkinta.....	25
3.4.1	Inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin merkittävien asioiden tunnistamien	25
3.4.2	Arviointi	26
3.4.3	Johtopäätökset, rajoitukset ja suositukset	27
4	Sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointi (S-LCA).....	28
4.1	Taustaa.....	28
4.2	Määritelmä	29
4.3	Sosiaalisten vaikutusten kohdentuminen eri sidosryhmiin	30
4.4	Vaikutusluokat (riskikategoriat).....	33
4.4.1	Soveltamisalan mukaiset vaikutusarvioinnin lähestymistavat vaikutusluokille.....	34
4.5	Social Hotspots -tietokanta (SHDB).....	35
4.5.1	Social Hotspots- tietokanta ja elinkaariarviointisovellus SimaPro	36
5	Opinnäytetyön tutkimustehtävä ja tavoite	38
6	Opinnäytetyön menetelmälliset valinnat.....	39
6.1	ISO 14040 ja ISO 14044.....	39
6.2	BatPac v5.0	39
6.3	SimaPro 9:n ja SHDB v5.0:n käyttäminen	42
6.3.1	SHDB v5.0 ja GTAP-sektorit.....	43
6.3.2	Rahavirtojen deflaatio	46
6.3.3	SHDB v5.0 -tietokannan vaikutusarviointimenetelmät (SHI1 & SHI2).....	47
6.3.4	Sosiaaliset vaikutusluokat, alavaikutusluokat ja indikaattorit	47
7	Sosiaalisten vaikutusten elinkaariarvioinnin (S-LCA) tulokset mukailen ISO 14040 ja ISO 14044 -standardeja	48
7.1	Tavoitteet ja soveltamisala.....	48

7.1.1	Toiminnallinen yksikkö ja vertailuvirta	49
7.1.2	Tuotejärjestelmä	49
7.1.3	Vaikutusarviointimenetelmä	51
7.1.4	Sidosryhmät ja niihin kohdentuvat sosiaaliset alavaikutusluokat	51
7.1.5	Olettamukset.....	52
7.2	Inventaarioanalyysi S-LCI	53
7.3	Vaikutusarviointi S-LCIA	56
7.4	Litiumakun sosiaalinen jalanjälki.....	62
7.4.1	Alavaikutusluokkien karakterisoidut tulokset.....	65
7.4.2	Litiumakun vaihtoehtoinen sosiaalinen jalanjälki.....	67
7.5	Sosiaalisen jalanjäljen tulkinta ja johtopäätökset	69
7.5.1	Vaihtoehtoisen sosiaalisen jalanjäljen tulkinta ja johtopäätökset	71
8	Luotettavuus ja eettisyys.....	72
9	Pohdinta.....	73
9.1	Toteutuksen arviointi.....	73
9.2	Hyödynnettävyys.....	74
	Lähteet.....	77

1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheeksi valikoitui sen ajankohtaisuuden ja mielenkiinnon vuoksi sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointi (S-LCA) ja sen mallintaminen käyttäen erilaisia menetelmällisiä valintoja. Vastaavanlaisia sosiaalisten vaikutusten elinkaarimallinnusopinnäytetöitä ja -julkaisuja on niukasti saatavilla. Lisäksi S-LCA:n toteuttaminen siihen soveltuvalla elinkaarimallinnusohjelmalla sekä siihen liitettävällä tietokannalla on tätä opinnäytetyötä tehdessä Karelia-ammattikorkeakoulussa varsin uusi mallinnustapa. S-LCA kuitenkin muistuttaa joiltakin osin enemmän tunnetumpaa ympäristöpainotteista elinkaariarviointia (LCA) ja sen mallinnustapaa, koska S-LCA pyrkii myös mukailemaan ympäristöpainotteisen elinkaariarvioinnin standardeja ISO 14040 ja ISO 14044.

Tämän opinnäytetyön S-LCA:ssa tarkasteltava tuote on sähköautoiluun soveltuva litiumakku, josta pyritään mallintamaan kyseisen akun valmistamisesta aiheutuvia mahdollisia sosiaalisia vaikutuksia soveltamisalan mukaisen elinkaa- ren aikana. Litiumakun elinkaari voidaan ajatella alkavan siihen käytettävien raaka-aineiden alkuperän selvittämisestä ja päättyen yhden akun kokoamiseen.

Opinnäytetyö toteutetaan osana Karelia-ammattikorkeakoulun hanketta Kommunikoiva energia, jossa ei tarkastella minkään tietyn yrityksen toimitusketjua tai toimintatapoja. Näin ollen opinnäytetyö pyrkii ainoastaan mallintamaan opinnäytetyön mukaisen litiumakun potentiaalisia sosiaalisia vaikutuksia, joita mahdollisesti yrityksen valmistamana tai hankkimana akku voisi aiheuttaa elinkaa- rensa aikana. Lisäksi tässä opinnäytetyössä halutaan tuoda esille S-LCA:n toteutusta varten elinkaarimallinnusohjelman käyttö sekä siihen liitettävän tietokannan käyttäminen. S-LCA ja siinä käytettävät menetelmälliset valinnat voisivat edistää yrityksen sosiaalisen vastuualueen kehittämistä.

2 Yrityksen yhteiskunta- ja ympäristövastuun osat

Yrityksillä on vahva vaikutus sitä ympäröivään yhteiskuntaan. Yritys tarjoaa liiketoiminnallaan perustavanlaatuisia ominaisuuksia yhteiskunnalle, kuten tuotteiden valmistamista sekä tarjoamista, jotka puolestaan luovat esimerkiksi työpaikkoja. Työpaikkojen luominen, tuotteiden valmistus sekä tarjoaminen esimerkiksi vaikuttavat yksittäisiin ihmisiin, ihmisryhmiin ja ympäristöön sekä itsensä yrityksen kestävyteen. Yrityksen toiminnasta johtuvat vaikutukset näkyvät ympäristössä esimerkiksi savukaasupäästöinä, ihmisten taloudellisessa hyvinvoinnissa kuten palkassa. Vastuullinen yritys pyrkii ottamaan kaikki nämä näkökohdat huomioon.

Yritysten tai organisaatioiden vastuullinen toiminta heijastuu ympäröivään yhteiskuntaan monella osa-alueella. Tämä vastuullinen toiminta voidaan jakaa niin sanottuihin yrityksen yhteiskuntavastuun osa-alueisiin, jotka ovat yrityksen ympäristövastuu ts. ekologinen vastuu, taloudellinen vastuu ja sosiaalinen vastuu. Taloudellinen vastuu on yrityksen suuruudesta riippumatta kannattavuuden ja kestävän yritystoiminnan lähtökohta. Yrityksen ympäristövastuu ja sosiaalinen vastuu ovat kaksi muuta yhtä tärkeää vastuualuetta taloudellisen vastuun tapaan. Nämä kaksi osa-aluetta taloudellisen vastuun lisäksi ovat liiketoiminnassa entisestään merkittäviä ja kilpailuvaltillisia osa-alueita, jotka käsitellään tässä tietoperustassa hieman tarkemmin. (Suomen Yrittäjät 2023.)

2.1 Yrityksen ympäristövastuu

Ekologinen ts. yrityksen ympäristövastuu tarkoittaa ympäristöasioiden vastuullista hoitamista yrityksessä tai organisaatiossa. Ympäristöllistä osa-aluetta yritys tai organisaatio pyrkii usein edistämään siten, että yritys olisi menetelmillään ja valinnoillaan mahdollisimman kestävä ympäristönkin kannalta. Ympäristön kestävyttä parantavat useat valinnat ja yrityksen käyttäytymistavat esimerkiksi pyritään valitsemaan raaka-aineet ja tuotantomenetelmät siten, että ne olisivat mahdollisimman vähäpäästöisiä jotakin tuotetta valmistaessa. (Suomen Yrittäjät 2023.)

Ympäristövastuuta edistäviä asioita voivat olla vapaaehtoisia ja standardeihin mukautuvia ympäristöohjelmia sekä ympäristöraportointia monessa muodossa ja yrityksen kokoluokka huomioiden. Muutamia esimerkkejä ympäristövastuuta edistäväistä asioista:

- standardin ISO 14001 mukaisesti (esimerkiksi vapaaehtoinen EMAS-järjestelmä)
- asianmukaiset ympäristöraportoinnit ja -ilmoitukset ympäristöjärjestelmän tuella
- menetelmät ympäristövaikutusten laajaan selvittämiseen (ISO 14044 mukainen elinkaariarviointimallinnus, LCA).

2.2 Yrityksen sosiaalinen vastuu

Yrityksen sosiaalinen vastuu tarkoittaa ihmisten hyvinvoinnin ylläpitämistä ja kehittämistä. Yleisellä tasolla sosiaalista vastuuta määrää ja säätelee lainsäädännön useat osat yrityksen suuruudesta riippuen. Ympäristövastuun hoitamisen ja piirteiden tapaan, sosiaalisen vastuun hoitaminen ja kehittäminen on merkittävä, kehittyvä ja kilpailuvalttia lisäävä osa-alue. Yritykset joutunevat miettimään, että minkälaisia työkaluja mahdollisesti tarvitaan, jotta ihmisten hyvinvointia voidaan ylläpitää ja kehittää. (Suomen Yrittäjät 2023.)

Yrityksillä on usein laajat ja myös laajenevat toimitusketjut sekä suurilla yrityksillä useimmiten ne ovat myös globaaleja. Sosiaalinen vastuu yrityksellä voi korostua näin lähimpien sidosryhmien lisäksi ehkä odottamattomastikin hyvin kaukaiseenkin sidosryhmään ja toimijaan yrityksen toiminnan sijainnista huolimatta. Monimutkainen yrityksen toimitusketju näin ollen on hyvin vaikea hahmottaa ilman yrityksen sosiaaliseen vastuuseen suunnattuja edistäviä työkaluja, kuten ympäristövastuussakin. Työkaluja sosiaalisen vastuun kehittämiseen ja edistämiseen voivat olla esimerkiksi:

- sosiaalista järjestelmää tukeva vastuujärjestelmä SA8000, joka suunnattu yritysten tehtaiden tarkasteluun. SA8000 on sertifioitava järjestelmä yritykselle
- 5.1.2023 voimaan tullut CSRD-direktiivi, jota tulee suurten ja siihen velvoitettujen pk-yritysten noudattaa vuodesta 2024 alkaen (European Commission 2023)

- ISO 14040 ja ISO 14044 standardeja mukaileva sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointi (S-LCA).

3 Elinkaariarviointi (LCA)

Elinkaariarvioinnin (LCA) periaatteet ja pääpiirteet sekä elinkaariarvioinnin toteutuksen vaatimukset perustuvat ISO 14040 ja ISO 14044 -standardeihin. ISO 14040 -standardi kuvailee elinkaariarvioinnin periaatteet ja pääpiirteet, kun taas ISO 14044 täydentää ISO 14040 -standardissa esitetyt periaatteet ja pääpiirteet muun muassa vähimmäisvaatimuksineen. Vaikka standardeissa määritellyn elinkaariarvioinnin menetelmät ovat kehitetty työkaluna arvioimaan ja ymmärtämään ympäristöasioita ja vaikutuksia paremmin, ovat tämän elinkaariarvioinnin periaatteet sovellettavissa myös sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointiin.

3.1 Keskeiset käsitteet

Tässä luvussa esitellään keskeisimmät käsitteet, jotka on määritelty ja käytetty standardeissa ISO 14040 ja ISO 14044 (SFS-EN ISO 14040, 12–21; SFS-EN ISO 14044, 9–14). Sosiaalisen näkökulman käsitteet ovat Life Cycle Initiativen Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations-dokumentissa tai mukailevat niitä (Life Cycle Initiative & Social Life Cycle Alliance 2020, 130–136).

Arvoketju

Tuotteen tai organisaation kaikki prosessin vaiheet raaka-aineen jalostamisesta aina tuotteen valmistumiseen asti

Elinkaari

Tavaran tai palvelun vaiheet alkaen raaka-aineen hankinnasta, tuottamisesta tai tuotteen suunnittelusta loppusijoitukseen kuten jätteenkäsittelylaitokselle.

Elinkaariarviointi (LCA)

Koostaa ja arvioi tavaran tai palvelun elinkaaren aikaisten syöttöjen, tuotosten ja potentiaalisten ympäristövaikutuksia.

Inventaarioanalyysi (LCI)

Elinkaariarvioinnin vaihe, jossa tuotteen tai palvelun elinkaarivaiheista kerätyt tiedot esitetään määrällisinä.

Inventaarioanalyysin tulos (LCI-tulos)

Vaikutusarvioinnin lähtökohta, ja jossa luetellaan järjestelmän rajat ylittävät virrat.

Järjestelmän rajat

Kriteerit, joilla voidaan määrittellä tuotejärjestelmän yksikköprosessit.

Materialiteetti (periaate S-LCA:ssa)

Kokoa sosiaalisen aineiston, joka sisältää saatavilla olevan informaation, kerätyn tiedon, vaikutuksen ja sidosryhmän, joka on vuorovaikutuksessa S-LCA:n tulosten tulkinnassa.

Olennaisuusarviointi (materialiteetin arviointi)

Arviointiprosessin tapa S-LCA:ssa, jossa tunnistetaan olennaisia asioita, esimerkiksi sidosryhmien valinta ja niiden vaikutusluokat sekä yrityksen toimintamalleja.

Perusvirta

Tarkasteltavaan järjestelmään tuleva tai järjestelmästä poistuva materiaali tai energia, joita ihminen ei ole käsitellyt tai jalostanut.

Prosessi

Toimintaketju, joka muuttaa panokset tai toisin sanoen syötteet tuotoksiksi.

Referenssiasteikko (Reference scale)

Vaikutusarviointivaiheen menetelmä S-LCA:ssa, joka arvioi organisaation sosiaalista suorituskykyä sen toimintojen perusteella tuotejärjestelmässä.

Sidosryhmä

Yksittäinen henkilö tai ryhmä, johon elinkaariarvioinnin tulokset vaikuttavat tai koskevat.

Sosiaalinen jalanjälki

S-LCA:n lopputulos eli kaiken kaikkiaan tulokset vaikutusluokkien tai alavaikutusluokkien mukaan tai yksittäisen vaikutusluokan tai alavaikutusluokan mukaan.

Sosiaalinen riski

Haitallisen sosiaalisen vaikutuksen mahdollisuus, joka voidaan myös arvottaa sosiaalisen riskitason mukaan.

Sosiaalinen riskipiste (social hotspot)

Sosiaalisen vaikutuksen tai riskin todennäköinen ilmeneminen aktiviteettina, sijaintina tai molempina tuotteen elinkaaren vaiheiden aikana.

Sosiaaliset kädenjäljet

Yrityksen toimenpiteitä, joilla on saatu sosiaalista jalanjälkeä pienemmäksi.

Sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointi (S-LCA)

Sosiaalisten vaikutusten elinkaariarvioinnissa koostetaan ja arvioidaan sosiaalisia vaikutuksia tavaran tai palvelun elinkaaren vaiheiden aikana.

Sosioekonomiset vaikutukset

Voivat olla potentiaalisia tai suoranaisia yhteiskunnallistaloudellisia vaikutuksia mallintaessa sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviota.

Syöte

Yksikköprosessiin tuleva energia-, tuote- tai materiaalivirta.

Toiminnallinen yksikkö

Vertailuyksikkö, johon kerätyt inventaariotiedot suhteutetaan. Esimerkiksi yksi kilo valmistettua suklaamassaa.

Tulosten tulkinta

Elinkaariarvioinnin viimeinen vaihe, jossa tehdään johtopäätökset ja suositukset.

Tuotantoketju

Laaja tuotteen tuottajien ketju, joka kuvaa ennen tuotteen päätymistä kuluttajalle.

Tuote

Tavara tai palvelu, esimerkiksi auton osa (tavara) tai autonosan asentaminen (palvelu). Palvelu voi olla aineellista tai aineetonta (mukailee ISO 9000-sarjan standardia).

Tuotejärjestelmä

Kuvaa tavaran tai palvelun elinkaarta yksikköprosessien avulla, jotka kuvaavat samalla tavaran tai palvelun toimintaa tai toimintoja.

Tuotevirta

Toisesta tuotejärjestelmästä tulevat tuotteet tai tuotteet, jotka lähtevät toiseen tuotejärjestelmään.

Tuotos

Yksikköprosessista poistuva tuote-, materiaali, tai energiavirta.

Vaikutusarviointi (LCIA)

Elinkaariarvioinnin vaihe, jossa tuotejärjestelmän potentiaalisten ympäristövaikutusten tai sosiaalisten vaikutusten merkittävyyttä ja laajuutta voidaan arvioida.

Vaikutusarviointiprofiili, LCIA-profiili

Kokoelma vaikutusluokkien indikaattorituloksia.

Vaikutusluokan loppupiste

Ympäristö- tai sosiaalisten ilmiöiden vaikutustaso. Ympäristössä esimerkiksi metsät ja sosiaalisena ilmiönä ihmisen hyvinvointi.

Vaikutusluokka

Ympäristö- tai sosiaalista ilmiötä kuvaava luokka, johon inventaarioanalyysistä saadut tiedot voidaan sijoittaa.

Vaikutuspolku (Impact Pathway)

Vaikutusarviointivaiheen menetelmä S-LCA:ssa, joka on periaatteiltaan samankaltainen kuin standardoitu vaikutusarviointivaihe (LCIA).

Vertailuvirta

Määritettävä tuotejärjestelmän prosessien tuotosten määrä, joka toiminnallisen yksikön suorittamiseen vaaditaan.

Välivirta

Tuotejärjestelmässä oleva tuote, - materiaali- tai energiavirta yksikköprosessien välillä.

Yksikköprosessi

Inventaarioanalyysivaiheessa pienin tarkasteltava osa, jonka suhteen syöte- ja tuotostiedot määritellään.

Ympäristömekanismi

Ympäristöinventaariotietojen siirtäminen standardia mukailevaan vaikutusarviointivaiheeseen ja päättyy ympäristövaikutusluokan loppupisteen tunnistamiseen ja sen tuloksiin.

Ympäristörelevanssi

”Laadullinen arvio vaikutusluokan indikaattorituloksen ja vaikutusluokan loppupisteen välisestä yhteydestä, joka voi olla vähäinen, keskitasoinen tai suuri”.

3.2 Periaatteet

Elinkaariarvioinnin periaatteet perustuvat ISO 14040 ja ISO 14044 -standardeihin. Tässä luvussa kuvaillaan ISO 14040:n ja ISO 14044:n keskeisimpiä periaatteita ja niiden merkityksiä yleisellä tasolla. (SFS-EN ISO 14040, 22–29.)

Elinkaariarviointi nimensä mukaisesti ottaa huomioon teknisesti elinkaarinäkökulman. Tuotteen elinkaari voidaan käsittää alkavan raaka-aineen hankinnasta ja päättyvän jätteen loppusijoitukseen. Raaka-aine tässä tapauksessa käsitellään jalostettavana luonnonvarana ja jäte hyödyntämiskelvottomana materiaalina. Elinkaarinäkökulma näin ollen on järjestelmällinen tapa tarkastella tuotteen elinkaarta, josta voidaan tunnistaa ja välttää potentiaalisia ympäristöä kuormittavia vaikutuksia (SFS-EN ISO 14040, 22). Kaiken kaikkiaan elinkaariarviointi on standardien nojalla ympäristöasioihin keskittyvä, mutta niiden periaatteita noudattaen voidaan toteuttaa myös sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointi (Life Cycle Initiative & Social Life Cycle Alliance 2020, 21).

Elinkaariarvioinnissa keskipisteenä toimii toiminnallinen yksikkö, jonka ympärille tietoja aletaan keräämään. Toisin sanoen, toiminnalliseen yksikköön suhteutetaan inventaarioanalyysin syötteet ja tuotokset sekä vaikutusarviointivaiheessa tehtävä vaikutusarviointiprofiili liittyy toiminnalliseen yksikköön. (SFS-EN ISO 14040, 22.)

Elinkaariarvioinnin tekniikkaa kuvaa parhaiten sen iteratiivinen luonne. Elinkaariarvioinnin yksittäiset vaiheet ovat jatkuvassa vuorovaikutuksessa keskenään eli jokainen vaihe hyödyntää toisen vaiheen tuloksia. Iteratiivisuus vaatii johdonmukaisen elinkaariarvioinnin tekemisen kaikkien niiden päävaiheiden välillä. (SFS-EN ISO 14040, 22.)

Läpinäkyvyys on tärkeä periaate koko elinkaariarvioinnin ajan. Elinkaariarviointi on monivaiheinen, joka käsittää monia määrällisiä tuloksia ja jossa kaikkien tulosten esittäminen on oltava selkeää perusteellista ja johdonmukaista. (SFS-EN ISO 14040, 22.)

Ympäristöpainotteisessa elinkaariarvioinnissa pyritään kattavaan sisältöön sen järjestelmän rajan puitteissa. Kattavan sisällön tai toisin sanoen kattavan

inventaarioanalyysin tekemisellä elinkaariarvioinnissa voidaan arvioida ja tunnistaa monia mahdollisia tuloksia ja vaikutuksia sen myöhemmissä vaiheissa. (SFS-EN ISO 14040, 22.)

Elinkaariarviointi on siis kaiken kaikkiaan iteratiivinen, suhteellinen, jonka määrä toiminnallinen yksikkö, ja ympäristöpainotteisessa elinkaariarvioinnissa päätökset tulisi tehdä luonnontieteellisten lähtökohtien perusteella. Luonnontieteellinen lähestymistapa ei ole kuitenkaan aina mahdollinen ja silloin yhteiskuntatieteelliset ja taloustieteelliset työkalut ovat myös mahdollisia. Varovaisesti voi myös tehdä elinkaariarvioinnissa päätöksiä asianmukaisilla arvovalinnoilla ja painotuksilla, jos luonnontieteelliset tai yhteiskunta- ja taloustieteellisetkään lähestymistavat eivät ole mahdollisia. (SFS-EN ISO 14040, 22.)

3.3 Elinkaariarvioinnin vaiheet

Elinkaariarvioinnin vaiheet ja niiden pääpiirteet vaatimuksineen on esitelty ISO 14040 ja ISO 14044 -standardeissa.

Elinkaariarvioinnin vaiheet koostuvat neljästä vaiheesta:

- 1) tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely
- 2) inventaarioanalyysi (LCI)
- 3) vaikutusarviointi (LCIA)
- 4) tulosten tulkinta.

Jos halutaan tehdä niin sanottu elinkaari-inventaarioselvitys, se koostuu samoista vaiheista kuin elinkaariarviointi, mutta siitä jätetään vaikutusarviointi pois. Tämä ei kuitenkaan korvaa standardin mukaista elinkaariarviointia. (SFS-EN ISO 14040, 8.)

3.3.1 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely

Elinkaariarvioinnin ensimmäisessä vaiheessa, tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyssä selvitetään tavoitteet ja soveltamisala selkeästi sekä tavoitteiden tulee olla yhteensopivia soveltamisalan kanssa. Elinkaariarvioinnin iteratiivisen luonteen vuoksi tavoitteet ja soveltamisala saattavat muovautua erilaisiksi elinkaariarvioinnin edetessä.

Elinkaariarvioinnin tavoitteissa tulisi ottaa huomioon neljä asiaa, jotka ovat:

- 1) aiottu käyttötarkoitus
- 2) elinkaariarvioinnin tekemisen syyt
- 3) kohdeyleisö eli kenelle elinkaariarvioinnin tulokset ovat suunnattu
- 4) tulosten mahdollinen käyttäminen julkisissa esitettävissä vertailuväitteissä.

Soveltamisalan määrittely on laajempi kuin tavoitteiden määrittely. Soveltamisalan määrittelyn tulisi ottaa huomioon neljätoista eri näkökohtaa mukaan lukien mahdolliset vapaaehtoiset osat. (SFS-EN ISO 14044,15.)

Soveltamisalan määrittelyn näkökohdat ovat (SFS-EN ISO 14044,15):

- tutkittava tuotejärjestelmä
- tuotejärjestelmän toiminnot
- toiminnallinen yksikkö
- järjestelmän rajat
- allokointimenettelyt
- vaikutusarviointimenetelmät ja -tyypit
- käytettävä tulkintatapa
- tietojen vaatimukset
- olettamukset
- vapaaehtoiset osat sekä arvovalinnat
- rajoitukset
- vaatimukset lähtötiedoille
- mahdollinen kriittisen arvioinnin tyyppi
- raportointitapa.

Seuraavat soveltamisalanmäärittelyn osat tarvitsevat myös tarkemman tarkastelun (Matthews, Hendrickson & Matthews, 2018, 85):

- toiminnallinen yksikkö
- tuotejärjestelmä
- systeemin rajat
- inventaarioanalyysin syötteet ja tuotokset (tarkkaa standardinmukaista määritelmää tälle soveltamisalan sisällölle ei ole)
- vaikutusarvioinnin menetelmät.

Toiminnallinen yksikkö

Toiminnallinen yksikkö on määrällinen suure, jonka tulee vastata jonkin tuotejärjestelmän toiminnan syötteitä ja tuotoksia. Esimerkiksi toiminnallisena yksikkönä voi olla yksi valmistettu teholtaan 170 W aurinkopaneeli. Toimintona tälle aurinkopaneelille on vastaanottaa auringosta säteilyenergiaa ja muuntaa se sovellettavaan käyttöön kuluttajalle. Toiminnallisen yksikön valinnan jälkeen määritellään vertailuvirta eli tuotejärjestelmän kaikkien tuotosten määrä prosesseissa, joka vaaditaan tälle aurinkopaneelin 170 W:een toimintaan.

Tuotejärjestelmä ja järjestelmän rajat

Tuotejärjestelmä koostuu erilaisista prosesseista ja virroista (Matthews ym., 2018, 90). Prosessit voivat olla esimerkiksi raaka-aineen jalostaminen, raaka-aineen kuljettamista ja virrat perusvirtoja ja tuotevirtoja. Järjestelmän rajat määritellään tavoitteiden ja soveltamisalan mukaisesti, joiden mukaan prosessit ja virrat sisällytetään tuotejärjestelmään (Matthews ym. 2018, 90). Järjestelmän rajoja määrittäessä pitää olla huolellinen ja perustella selkeästi niiden poisjättäminen, jotta elinkaariselvityksen tulosten arviointi ja johtopäätökset pysyisivät läpinäkyvinä.

Tuotejärjestelmä ja rajat voidaan kuvata standardin ISO 14040:n mukaisella yksinkertaistetulla esimerkillä (kuvio 1). Yksikköprosessit puolestaan kuvataan standardin mukaisella yksinkertaistetulla prosessikaaviolla (kuvio 2).

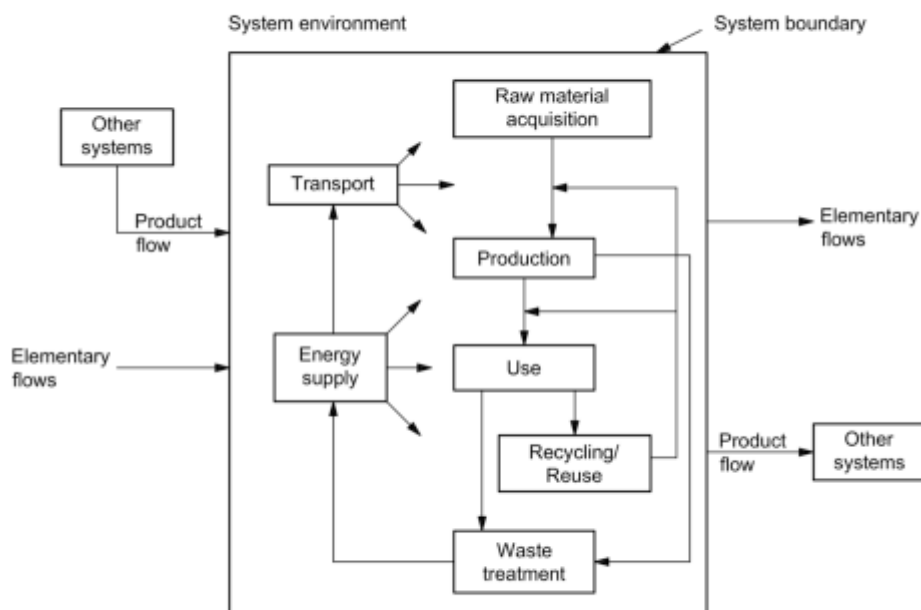


Figure 4-5: ISO 14040 Product System and System Boundary example

Kuvio 1. Tuotejärjestelmä ja systeemin rajauksen esimerkki (SFS-EN ISO 14040,29).

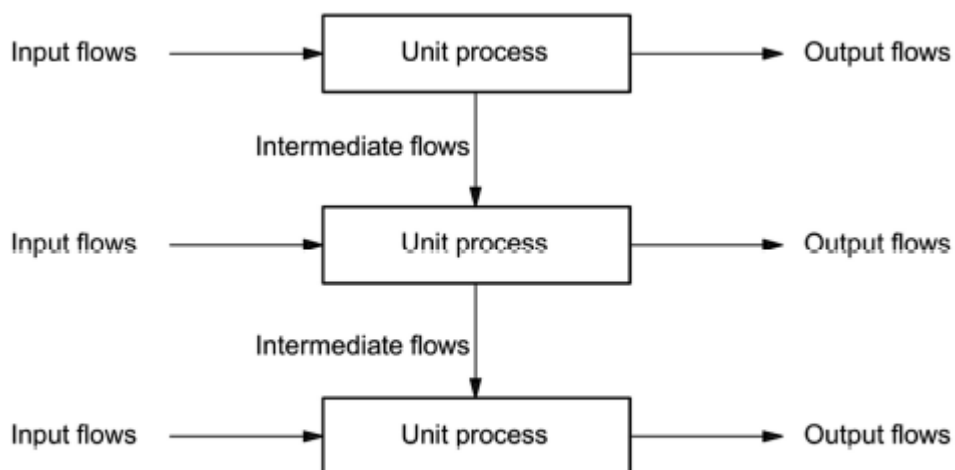


Figure 4-6: Unit Processes (Source: ISO 14040:2006)

Kuvio 2. Yksikköprosessien prosessikaaviot, joita esittävät syötöt (syöttövirrat) ja tuotokset (tuotosvirrat) sekä välivirrat (SFS-EN ISO 14040,29).

Elinkaariarvioinnissa ei ole kuitenkaan tarkoitus ottaa huomioon kaikkia potentiaalisia syötteitä ja tuotoksia, joilla ei oleteta olevan suurta merkitystä

tuotejärjestelmässä. Pois voi jättää myös ne syötteen ja tuotokset, jotka eivät vaikuta tuloksin johtopäätöksiin. (SFS-EN ISO 14040,32.)

Inventaarioanalyysin syötteen ja tuotokset

Inventaarioanalyysin tärkeimmät määrälliset ja laadulliset syötteen sekä tuotokset pitää tunnistaa pääpiirteittäin jo soveltamisalan määrittelyvaiheessa, mutta ISO -standardin mukaista määritelmää ei ole sille, minkälaisia syötteen ja tuotosten tulee tarkalleen olla. (Matthews ym. 2018, 94.)

Kuitenkin laatuvaatimukset tarvittaville lähtötiedoille, joita inventaarioanalyysin tietoihin tarvitaan, tulee määrittää tavoitteiden ja soveltamisalan mukaisesti. Tärkeitä vaatimuksia lähtötiedon valinnalle ovat esimerkiksi tiedon ajankohtaisuus sekä maantieteellinen kattavuus ja teknologiset menetelmät tiedon aikaansaamiseksi. (SFS-EN ISO 14044,18.)

Vaikutusarviointimenetelmät ja vaikutustyyppit

ISO 14040 -standardin pääpiirteiden mukaisesti tulee määrittää elinkaariarvioinnin ensimmäisessä vaiheessa soveltamisalaan sopivat vaikutusarviointimenetelmät ja vaikutustyyppit. Soveltamisalaa määrittäessä tulee myös määrittää vaikutusarviointia varten vaikutusluokat, vaikutusluokkaindikaattorit ja karakterisointimallit, jotka sopivat tavoitteisiin ja soveltamisalaan. (Matthews ym. 2018, 94.)

3.3.2 Inventaarioanalyysi (LCI)

Elinkaariarvioinnin toisessa vaiheessa, inventaarioanalyysin tekemisen aloittaminen perustuu jo soveltamisalanmäärittelyssä tehtyyn inventaarioanalyysin yksikköprosessien syötteen ja tuotosten tunnistamisesta. Inventaarioanalyysin tietoja tulee käsitellä johdonmukaisesti, sopivin menetelmin varmentaa tietojen

kelpoisuus, olivat ne joko suoraan jonkin yrityksen tai sidosryhmän tuotantoketjun osista tai julkaistuista lähteistä. Julkaistuihin lähteisiin tulee viitata. (SFS-EN ISO 14044, 19–22.)

Tietojen kerääminen, esittäminen ja suhteuttaminen inventaarioanalyysissä

Tietojen keruun voi toteuttaa sopivalle tiedonkeruulomakkeelle. Nämä tiedot tulee määrittää selvästi, joista ilmenee käytettyjen syötteiden ja tuotosten yksiköt. Tiedot, jotka tarvitsevat tarkempaa laskemista ja määrittämistä, tulee niiden laskentamenetelmät myös kuvailla. (SFS-EN ISO 14044, 19–20.)

Tietojen keräämisen selkeään ja johdonmukaiseen käsittelyyn ja esittämiseen kannattaa esittää piirtämällä prosessikaaviot, joista ilmenee yksikköprosessit ja niiden syötteet ja tuotokset eli toisin sanoen kerättyjen tietojen suhteuttaminen näihin yksikköprosesseihin ja toiminnalliseen yksikköön. Suhteuttamista varten yksikköprosesseille tarvitaan määriteltävä virta. (SFS-EN ISO 14044, 22.)

Allokointi

Allokoinnissa eli kohdentamisessa tulee valita ja perustella allokointimenetelmät yksikköprosesseille. Allokointi tehdään yksikköprosessin syötteille ja tuotoksille, tunnistaa näistä ”pääsyöte” ja siten ”päätuotos” sekä käyttää tilanteeseen sopivaa allokointimenetelmää, jotta voidaan tunnistaa eniten vaikuttavien syötteiden ja tuotosten ominaisuuksia. Ensisijaisesti allokointimenetelmien valinnat perustuvat esimerkiksi syötteiden ja tuotosten fysikaalisiin ominaisuuksiin, kuten esimerkiksi syötteen massa. (SFS-EN ISO 14044,24.)

Standardi ISO 14044 esittelee kaksi allokointimenetelmää uudelleenkäyttö- ja kierrätystilanteisiin, joissa allokointimenetelmä voi olla suljettu tai avoin tuotejärjestelmien mukaan. Avoimessa allokointimenettelyssä tuotejärjestelmän materiaali kierrätetään toisiin tuotejärjestelmiin, jolloin materiaalissa tapahtuu luontaisia muutoksia. Suljetussa allokointimenetelmässä materiaali kierrätetään

samassa tuotejärjestelmässä, jolloin materiaalisissa ei tapahdu luontaisia muutoksia. (SFS-EN ISO 14044,24.)

3.3.3 Vaikutusarviointi

Elinkaariarvioinnin kolmas vaihe eli vaikutusarviointi yleisesti arvioi ympäristövaikutuksia suhteessa määriteltyyn toiminnalliseen yksikköön. Ympäristövaikutusten arviointia varten, vaikutusarviointivaiheessa tulee standardin ISO 14044 mukaisesti olla kolme pakollista osaa. Vapaaehtoisia osia vaikutusarviointia varten on neljä. (SFS-EN ISO 14044, 25,29.)

Pakolliset osat:

- 1) vaikutusluokkien, vaikutusluokkaindikaattorien ja karakterisointimallien valinta ja tunnistaa samalla vaikutusluokkien loppupiste tai loppupisteet
- 2) luokittelu, eli inventaarioanalyysistä saatujen tulosten sijoittaminen vaikutusluokkiin
- 3) karakterisointi eli vaikutusluokan indikaattoritulosten laskeminen.

Vapaaehtoiset osat:

- 1) normalisointi
- 2) ryhmittely (esimerkiksi tärkeysjärjestykseen asettaminen)
- 3) painotus
- 4) lähtötiedon laadun analysointi.

3.3.4 Vaikutusarvioinnin pakolliset osat ja niihin liittyvien valintojen luonteenpiirteitä

Kun valitaan vaikutusluokat, vaikutusluokkaindikaattorit ja karakterisointimallit, tulee kaikkien valintojen olla yhdenmukaisia määriteltyihin tavoitteisiin ja soveltamisalaan sekä niiden tulisi olla kansainvälisesti hyväksytyjä. Vaikutusarvioinnin vaikutusluokat, vaikutusluokkaindikaattorit ja karakterisointimallit perustuvat ensisijaisesti luonnontieteisiin, empiirisiin havaintoihin sekä ne tulee nimetä ytimekkäästi niiden mukaan. Luokat ja indikaattorit valitaan yleisesti jo olemassa olevien mukaan sekä näiden valintojen tietolähteisiin tulee myös viitata. (SFS-EN ISO 14044,25,27.)

Vaikutusluokan valinnassa tulee tiedustaa sen loppupiste tai -pisteet ja määrittellä tälle loppupisteelle tai -pisteille vaikutusluokkaindikaattori. Valintaan on syytä tunnistaa sitten kaikki sopivat inventaarioanalyysin tulokset ja myöhempiä karakterisointia varten määrittää karakterisointimalli ja -kertoimet. Nämä kaikki valintaan liittyvät periaatteet ja ominaisuudet pyrkivät koostamaan vaikutusluokan ympäristömekanismiin, joka on jokaiselle vaikutusluokalle omanlainen. (SFS-EN ISO 14044, 25–26.)

3.3.5 Luokittelu

Inventaarioanalyysin tulosten sijoittaminen tulee tehdä vaikutusluokan mukaan, jossa tulokset voivat koskea yhtä vaikutusluokkaa tai useampaa (SFS-EN ISO 14044,28.) Eli jollakin inventaarioanalyysin tuloksella, esimerkiksi mangaanilla voi olla vaikutus järviveden fysikaaliskemialliseen ominaisuuteen ja juomaveden pitoisuuteen eli myös ihmisen terveyteen.

3.3.6 Karakterisointi

Määriteltyä karakterisointimallia käyttämällä, karakterisoinnissa lasketaan vaikutusluokan indikaattoritulokset, jotka perustuvat inventaarioanalyysistä saatuihin tuloksiin. Inventaarioanalyysin tulokset tulee olla muunneltuna oikein toiminnallista yksikköä kohden karakterisointikerrointa käyttäen, kun karakterisointi toteutetaan. (SFS-EN ISO 14044,27.)

Karakterisoinnista muodostuvat tulokset voivat olla vaihtelevia malleista ja kertoimista johtuen. Määritellyn karakterisointimallin ominaisuudet voivat myös vaihdella eri vaikutusluokkien välillä. Erityisesti silloin, jos karakterisointimalleissa on käytetty arvovalintoja ja oletuksia. Arvovalinnat ja oletukset tulee tällöin karakterisointimallin ohella myös perustella. (SFS-EN ISO 14044,28.)

Karakterisoinnin tulostietoina muodostuu LCIA -profiili, joka on kokoelma vaikutusarvioinnin eri vaikutusluokkien indikaattorituloksia. LCIA -profiiliin lisäksi voidaan esittää inventaariotuloksia, jotka eivät kuitenkaan ole merkittäviä ja

näin ollen niistä ei ole laskettu vaikutusluokan indikaattorituloksia. Nämä karakterisoinnin tulostiedot voivat toimia osana vaikutusarvioinnin vapaaehtoisia osia. (SFS-EN ISO 14044,29.)

3.3.7 Vaikutusarvioinnin vapaaehtoisten osien valintojen pääpiirteitä ja ominaisuuksia

Vapaaehtoisten osien käyttö vaikutusarvioinnissa on perusteltua silloin, jos tavoitteiden ja soveltamisala sen sallii sekä jokin vapaaehtoinen osa tai osat tämentävät pakollisia osia. Kaikkien pakollisten osien ja elinkaarivaiheiden tavoin, tulee vapaaehtoisten osien käyttö olla läpinäkyvää ja taata vaikutusarvioinnin pakollisten osien tietojen saatavuus, jotta vapaaehtoisten osien mahdolliset tulokset eivät aiheuttaisi vääränlaista korvaavan tiedon riskiä. Pakollisten osien tulosten saatavuus vapaavalintaisten osien ohella on myös tärkeää silloin, kun elinkaariarviointi on soveltamisalan mukaisesti käytössä sille suunnatussa tahossa. (SFS-EN ISO 14044,29.)

3.3.8 Normalisointi

Normalisointi on hyödyllinen vapaaehtoinen osa silloin, kun tietoa halutaan indikaattoritulosten suhteellisesta merkityksestä johonkin vertailutietoon nähden. Suhteellisen merkityksen tieto voi esimerkiksi helpottaa tulosten tulkintaa tai vapaaehtoista osaa eli ryhmittelyä osaltaan. Suhteellinen merkitys vertailutietoon lasketaan siten, että saatu indikaattoritulos muunnetaan jakamalla se valitulla vertailuarvolla, esimerkiksi alueellisesti lasketut kokonaissyötteen ja -tuotokset. (SFS-EN ISO 14044,29.)

3.3.9 Ryhmittely

Indikaattoritulosten ryhmittely on vapaavalintainen osa, joka perustuu arvovalintoihin. Näin ollen se ei välttämättä perustu täysin tieteelliseen lähestymistapaan ja valinnat ovat subjektiivisia. (SFS-EN ISO 14044,30.)

Ryhmittelyssä järjestetään vaikutusluokat esimerkiksi ominaisuuksien mukaisesti tai vaikutusluokkien järjestäminen tapahtuu tärkeysjärjestyksen mukaisesti sitä parhaiten kuvaavalla sanalla. (SFS-EN ISO 14044,30.)

3.3.10 Painotus

Painottaminen on ryhmittelyn tavoin vapaavalintainen osa, jossa valintoja tehdään päätöksiä valittujen arvojen perusteella. Painottamisessa joko indikaattoritulokset muunnetaan arvovalinnoin tehtyjen painotustekijöiden avulla tai nämä muunnetut indikaattoritulokset yhdistetään yli vaikutusluokkien. Muunneltuina indikaattorituloksina voidaan käyttää myös normalisoituja tuloksia. (SFS-EN ISO 14044,30.)

3.3.11 Vaikutusarvioinnin lähtötiedon laadun lisäanalyysi

Vaikutusarviointiin tarvittavien lähtötietojen lisäanalyysi vaatii lisätietoja ja analyysitekniikoita. Näiden avulla voidaan tunnistaa inventaarioanalyysin merkityksettömät tulokset ja auttamaan vaikutusarvioinnin eri vaiheita. Analyysitekniikat, joita lähtötiedon analysointiin tarvitaan, riippuu elinkaariarvioinnin tavoitteen ja soveltamisalan määrittelystä. (SFS-EN ISO 14044,30–31.) Tällaisia analyysitekniikoita on esitelty kolme:

- 1) painoarvoanalyysi
- 2) epävarmuusanalyysi
- 3) herkkyysanalyysi.

Painoarvoanalyysissa pyritään tilastollisesti tunnistamaan eniten vaikuttaneet tiedot indikaattoritulokseen. Epävarmuusanalyysissa määritetään puolestaan vaikutusarvioinnin luotettavuutta tietojen ja oletusten epävarmuustekijöiden avulla. Herkkyysanalyysissa määritetään käytettyjen menetelmien ja tietojen muutoksien vaikuttavuutta vaikutusarvioinnin tuloksiin. (SFS-EN ISO 14044,31.)

3.4 Tulosten tulkinta

Tulosten tulkinta on elinkaariarvioinnin viimeinen vaihe. Tulosten tulkinta voidaan jakaa kolmeen pääosaan (SFS-EN ISO 14044,33). Pääosat ovat:

- 1) inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin merkittävät asiat ja niiden tunnistaminen
- 2) arviointi
- 3) tulosten johtopäätökset, rajoitukset ja suositukset kohderyhmälle.

Toisin sanoen tulosten tulkintavaihe ottaa huomioon kaikki elinkaariarvioinnin edelliset päävaiheet, ja ne ovat edelleen vuorovaikutuksessa keskenään.

3.4.1 Inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin merkittävien asioiden tunnistamien

Vaadittavia tietoja merkittävien asioiden tunnistamiseen edellisistä elinkaariarvioinnin vaiheista tarvitaan tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelystä, inventaarioanalyysistä ja vaikutusarvioinnin tuloksista, mukaan lukien niiden lähtötiedot, käytetyt menetelmät ja mallit. Merkittävien asioiden perusteellinen tunnistaminen edesauttaa tulosten tulkinnan toista osaa, eli arviointia. Muita tarvittavia tietoja merkittävien asioiden tunnistamiseen ovat mahdolliset käytetyt arvoalinnat elinkaariarvioinnin aikana ja sidosryhmien roolit ja vastuut elinkaariarvioinnin käyttötarkoituksen mukaan. Merkittävien asioiden jaottelu voi soveltamisalan määrittelystä johtuen olla tarkkuudeltaan erilainen. (SFS-EN ISO 14044,33.)

Kun merkittävät asiat ovat inventaarioanalyysistä ja vaikutusarvioinnista löydetty, voidaan inventaarioanalyysin tulokset järjestellä tuotteen elinkaaren

vaiheiden mukaisesti tai prosessiryhmien mukaisesti. Tarkin mahdollinen jaottelu on jaottelu eri yksikköprosessien mukaan. (SFS-EN ISO 14044, 43–44.)

Vaihtoehtoisesti voidaan merkittävät asiat jaotella yrityksen tai organisaation vaikutusmahdollisuuksien mukaisesti, joka ottaa huomioon yrityksen tai organisaation sisäiset vaikutusmahdollisuudet ja ulkopuolisten toimijoiden ja sidosryhmien vaatimukset. (SFS-EN ISO 14044,43–44.)

3.4.2 Arviointi

Arviointi on tulosten tulkinnan toinen osa, jonka päätavoitteena on määrittää elinkaariarvioinnin aikaisten tulosten luotettavuus selkeästi tarkoitetulle kohde-ryhmälle. Näistä elinkaariarvioinnin aikaisista tuloksista merkittävimmät on tunnistettu tulosten tulkinnan ensimmäisessä osassa.

Arviointi tapahtuu käyttäen kolmea tekniikkaa ja soveltaen niitä lopulliseen käytötarkoitukseen. Vapaaehtoisten osien epävarmuusanalyysin ja lähtötietojen laadun analyysin tulosten osalta, voivat täsmentää arviointiosaa seuraavat tekniikat (SFS-EN ISO 14044,34–35):

- 1) täydellisyyden tarkistus
- 2) herkkyystarkistus
- 3) johdonmukaisuuden tarkistus.

Täydellisyyden tarkistuksessa varmistetaan kaikki saatavilla olevat lähtötiedot, jotka ovat tarpeellisia tulosten tulkintaan varten. Mahdolliset puutteet tulee ottaa huomioon tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyssä, inventaarioanalyysin sekä vaikutusarvioinnin vaiheissa sekä tuoda arviointiosassa ilmi. (SFS-EN ISO 14044,34–35.)

Herkkyystarkistus arvioi jo tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyvaihetta sekä lähtötietojen ja elinkaariarviointivaiheissa käytettyjen menetelmien ja laskentatapojen vaikuttavuutta lopputuloksiin ja johtopäätöksiin. Näiden lisäksi herkkyystarkistus voi hyödyntää soveltamisalaan liittyvää kokemuspohjaa ja erilaisia asiantuntija-arvioita. Herkkyystarkistuksen lopputulema antaa tarpeellisuuden

vapaavalintaiselle herkkyysanalyysille, ellei sitä ole jo tehty aiemmin. (SFS-EN ISO 14044,34–35.)

Johdonmukaisessa tarkistuksessa määritellään ja tarkistetaan koko elinkaariarvioinnin vaiheiden aikana tehdyt lähtötietojen, olettamuksien ja menetelmien yhdenmukaisuus tavoitteisiin ja soveltamisalaan nähden. Johdonmukaisuutta kannattaa huomioida esimerkiksi mahdollisissa alueellisten erojen käsittelyssä ja vaikutusarvioinnin eri osien soveltamisissa. (SFS-EN ISO 14044, 34–35.)

3.4.3 Johtopäätökset, rajoitukset ja suositukset

Tulosten tulkinnan viimeisessä osassa tehdään johtopäätökset, tunnistetaan rajoitukset ja annetaan selkeästi suositukset elinkaariarvioinnin aiotulle tilaajalle tai kohderyhmälle. Tulosten tulkinnan johtopäätöksien tulee perustua elinkaariarviointiin ja ilmaista ne muiden tulosten tulkinnan osien avulla. Toisin sanoen, johtopäätöksien tekemiseen aloitetaan tulosten tulkinnan ensimmäisellä osalla eli tunnistamalla merkittävät asiat, toiseksi suoritetaan arviointi siihen liittyvine tekniikoineen, joiden jälkeen tehdään alustavat johtopäätökset. (SFS-EN ISO 14044,35.)

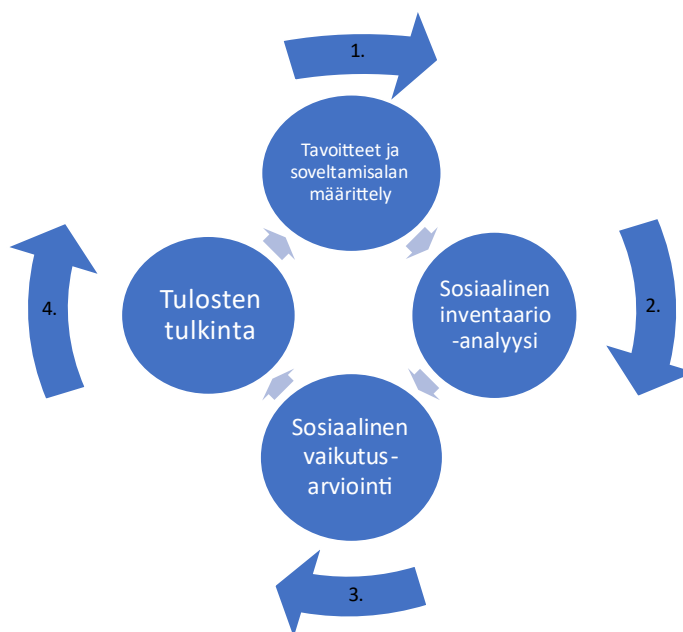
Alustavat johtopäätökset tarkistetaan edelleen arviointiosan tarkistustekniikoiden mukaisesti, joista ilmenee siten myös johtopäätöksien johdonmukaisuus. Johtopäätöksien ollessa johdonmukaisia, ovat ne lopullisia johtopäätöksiä ja ne perustuvat elinkaariarviointiin. Johtopäätöksien johdonmukaisuuden saavuttamiseksi käytetään tarvittaessa tyypillistä iteratiivista luonnetta muiden tulosten tulkinnan osien osalta. Johtopäätöksistä saatavat suositukset aiotulle kohderyhmälle tulisi selittää tavoitteiden ja soveltamisalan mukaan. (SFS-EN ISO 14044,35.)

4 Sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointi (S-LCA)

4.1 Taustaa

Sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointi eli S-LCA (Social Life Cycle Assessment) on jokseenkin uusi ja kehittyvä elinkaariarvioinnin tyyppi. Sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointia koskevaa tietomateriaalia on saatavilla varsin vähän suomeksi julkisesti.

Kattavin ja viimeisin sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointia koskeva julkinen materiaali on vuonna 2020 julkaistu Life Cycle Initiative:n Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations. YK:n ympäristöohjelmayhteisö ja Social Life Cycle Alliance ovat tehneet sen yhteistyönä eri asiantuntijoita hyödyntäen. Lisäksi he ovat julkaisseet sitä täydentävän oppaan vuonna 2021 julkaistun Methodological Sheet for Subcategories in Social Life Cycle Assessment.



Kuvio 3. Sosiaalisten vaikutusten elinkaariarvioinnin päävaiheet ja niiden tyypillinen iteratiivinen luonne (mukaillen Life Cycle Initiative & Social Life Cycle Alliance 2020, 21).

S-LCA hyödyntää jo olemassa olevan standardoidun ympäristövaikutusten elinkaariarvioinnin pääpiirteitä ja periaatteita SFS-EN ISO 14040 ja sitä

täydentävän SFS-EN ISO 14044 -standardien mukaan. Nimensä mukaisesti S-LCA ottaa tuotteen sosiaaliset vaikutukset huomioon sen elinkaaren aikana (kuvio 3) ja vaikuttaa näin erivälillä tavalla valittaviin menetelmiin ja päätöksiin kaikissa S-LCA:n vaiheissa.

SO-LCA (Social Organizational Life Cycle Assessment) on menetelmiltään myös S-LCA:n kaltainen, mutta se keskittyy organisaationäkökulmaan, yksittäisen tuotteen sijaan. Organisaationäkökulmaa ei käsitellä tässä tietoperustassa tarkemmin.

4.2 Määritelmä

Sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointi arvioi jonkin tavaran tai palvelun sosiaalisia vaikutuksia eri sidosryhmiin kohdentuen tarkasteltavan elinkaaren vaiheiden aikana. Esimerkiksi alkaen tavaran raaka-aineen hankinnasta ja päättyen tämän tavaran loppusijoitukseen, esimerkiksi jätteenkäsittelylaitokselle. Arvioitavat sosiaaliset vaikutukset riippuvat soveltamisalasta ja tavoitteista. Arviointi yhdistää sekä laadullista että määrällistä tietoa ja voi olla erikseen laadullista tai määrällistä. (Life Cycle Initiative & Social Life Cycle Alliance 2020, 20.)

Ympäristövaikutusten elinkaariarvioinnin, SFS EN ISO 14040 -standardin tavoin, sosiaalisten vaikutusten elinkaariarvioinnin päävaiheet (kuvio 3) ovat suuntaviivoiltaan samankaltaiset (Life Cycle Initiative & Social Life Cycle Alliance 2020, 21). S-LCA alkaa tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyllä, toisena vaiheena on sosiaalinen inventaarioanalyysi (S-LCI), kolmantena vaiheena sosiaalinen vaikutusarviointi (S-LCIA) ja viimeisenä vaiheena tehdään tulosten tulkinta. Eroavaisuutena näissä vaiheissa verrattuna ympäristöpainotteiseen elinkaariarviointiin ovat siis puhuttaessa inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin tasoista ja mahdollisesti edelleen niissä käytettävissä lähestymistavoissa, menetelmissä ja laskentatavoissa. Ennen kaikkea vaikutukset ja tulokset tulkitaan sosiaalisesta näkökulmasta.

Valmis sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointi auttaa sen tavoitteiden mukaisesti tukemaan esimerkiksi yrityksen sosiaalipolitiikan merkittävyyttä tulevaisuudessa ja auttamaan myös päätöksentekoa koskien niihin sidosryhmiin, joihin

yrittäjien toimintamenetelmät kohdentuvat. (Life Cycle Initiative & Social Life Cycle Alliance 2020, 20.)

4.3 Sosiaalisten vaikutusten kohdentuminen eri sidosryhmiin

Sosiaalisten vaikutusten elinkaariarvioinnin yksi tärkeimmistä luonnehdinnoista on sen sidosryhmäpainotteinen lähestymistapa sidosryhmäluokkien avulla. Sidosryhmäpainotteinen lähestymistapa määrittää jo osaltaan S-LCA:n soveltamisalaa, johon perustuu siten myös tarkasteltavan järjestelmän rajat eli mitä mahdollisia sosiaalisia vaikutuksia arviointiin sisältyy ja mitä jätetään ulkopuolelle. Tärkeimpiä sidosryhmiä voidaan valita olennaisuusarvioinnin avulla. (Life Cycle Initiative & Social Life Cycle Alliance 2020, 50.)

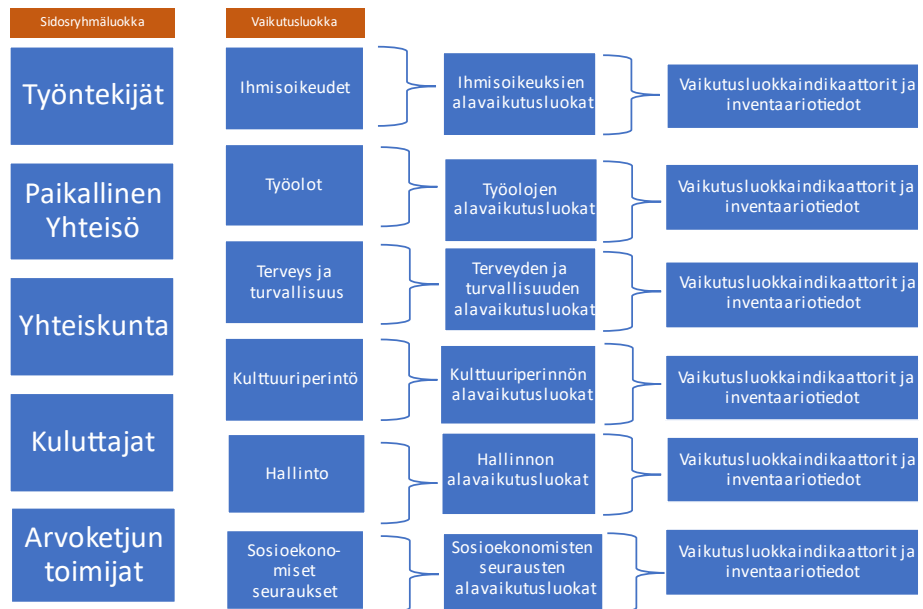
Tarkasteltavat sidosryhmäluokat sosiaalisten vaikutusten elinkaariarvioinnissa ovat:

- 1) työntekijät
- 2) paikallinen yhteisö
- 3) kuluttajat
- 4) yhteiskunta
- 5) arvoketjun toimijat.

Sosiaaliset vaikutukset kohdentuvat sidosryhmiin joko potentiaalisina vaikutuksina tai suoranaisina vaikutuksina. Potentiaaliset vaikutukset toisin sanoen arvioivat sosiaalista riskiä, jossa sidosryhmiin mahdollisesti kohdistuu haitallisia vaikutuksia liiketoiminnan tai organisaation toimintojen seurauksena. Suoranaiset vaikutukset puolestaan kuvaavat ja arvioivat suoraan sidosryhmiltä saatua tietoa, joka vaikuttaa näihin sidosryhmiin. (Life Cycle Initiative & Social Life Cycle Alliance 2020,26.)

Tarkasteltavilla sidosryhmäluokilla ovat omat vaikutusluokkansa alaluokkineen, ja nämä vaikutusluokkien alaluokat ilmaisevat sidosryhmäluokan merkittävimmät sosiaaliset näkökohdat ja ominaisuudet yksityiskohtaisemmin. Kuudentena sidosryhmäluokkana voi olla vielä ”lapset”, jolloin sen alavaikutusluokassa voidaan tarkastella esimerkiksi opetuksen tarjontaa paikallisessa yhteisössä (taulukko 1).

Alavaikutusluokista saadaan suuntaviivoja inventaarioindikaattorien määrittämiseen ja niistä edelleen voidaan tunnistaa tarvittavat inventaariotiedot elinkaarivaiheita varten. Sidosryhmien valitseminen ja vaikutusluokkien järjestely soveltamisalaa määrittäessä edesauttaa S-LCA:n inventaarioanalyysivaihetta (kuvio 4). (Life Cycle Initiative & Social Life Cycle Alliance 2020, 22–23.)



Kuvio 4. Esimerkki sidosryhmäluokkien ja vaikutusluokkien yhteydestä S-LCA:n myöhempisiin vaiheisiin (mukaan Life Cycle Initiative & Social Life Cycle Alliance 2020, 22).

S-LCA:n määriteltävistä sidosryhmäluokista ja sen alavaikutusluokista voidaan huomata myös yhteys YK:n laatimaan kestävän kehityksen tavoitteisiin (kuvio 5). Suurin osa näistä kestävän kehityksen tavoitteista ovat suorassa yhteydessä S-LCA:n alavaikutusluokkiin (taulukko 1).



Kuvio 5. YK:n kestävän kehityksen 17 tavoitetta (United Nations 2020).

Alavaikutusluokkia sidosryhmäluokittain on useita erilaisia, joita eniten on tunnistettavissa sidosryhmäluokissa työntekijät ja paikallinen yhteisö (taulukko 1).

Sidosryhmäluokka	Työntekijät	Paikallinen yhteisö	Arvoketjun toimijat	Yhteiskunta	Kuluttajat	Lapset
Alavaikutusluokat sidosryhmäluokittain	Palkka	Aineellisten materiaaliavarojen saatavuus	Sosiaalisen vastuun esille tuominen	Julkiset velvoitteet kestävyysasioihin	Kuluttajan yksityisyys	Terveysongelmat lapsilla kuluttajina
	Järjestäytyminen	Aineettomien materiaaliavarojen saatavuus	Reilu kilpailu	Tuki ekonomiseen kehittämiseen	Kuluttajan vaikutusmahdollisuudet (esim. palautteen antaminen)	Opetus- ja kasvatustarjonta paikallisessa yhteisössä
	Lapsityövoima	Delokalisaatio ja muuttoliike	Toimittajasuhteet	Korruptio	Tuotteen loppusijoituksen vastuu	Markkinointikäytäntöiden haitallisuus lapsille
	Työaika	Kulttuuriperintö	Immateriaalioikeuksien kunnioittaminen	Aseellisten konfliktien ehkäisy ja lieventäminen	Läpinäkyvyys	
	Pakkotyö	Turvallisuus ja terveellisyys elämässä	Varallisuuden jakauma	Teknologian kehittäminen	Terveys ja turvallisuus	
	Tasapuolisuus/syrjintä	Elinolosuhteiden turvaaminen		Eläinten eettinen kohtelu		
	Terveys ja turvallisuus	Syntyperäisten oikeuksien kunnioittaminen		Köyhyyden lieventäminen		
	Sosiaaliset etuudet ja sosiaaliturva	Yhteisön sitoutuminen				
	Työsuhde	Paikallinen työllistyminen				
	Seksuaalinen häirintä					
Pienviljelijät						

Taulukko 1. Sidosryhmäluokat ja niiden alavaikutusluokkia (mukailten Life Cycle Initiative & Social Life Cycle Alliance 2020, 23).

Alavaikutusluokista huomataan myös (taulukko 1), että eri sidosryhmiin koskee samankaltaiselta vaikuttava alavaikutusluokka. Esimerkiksi työntekijäsidosryhmässä on alavaikutusluokkana terveys ja turvallisuus, kun taas esimerkiksi se

löytyy myös kuluttajasidosryhmästä. Kerättävät inventaariotiedot näille voivat olla kuitenkin erilaisia.

4.4 Vaikutusluokat (riskikategoriat)

Sosiaalisen elinkaariarvioinnin vaikutusluokat, joita tarkastellaan, sisältävät perustavanlaatuisia sosiaalisia ominaisuuksia kullekin sidosryhmäluokalle. Sidosryhmäluokille tunnistettavat vaikutusluokat ovat (Life Cycle Initiative & Social Life Cycle Alliance 2020, 22):

- 1) ihmisoikeudet
- 2) työolot (työoikeudet ja rehellinen työ)
- 3) kulttuuriperintö (yhteisön infrastruktuuri)
- 4) terveys ja turvallisuus
- 5) hallinto
- 6) sosioekonomiset seuraukset.

Vaikutusluokat sisältävät monia alavaikutusluokkia sidosryhmäluokittain ja niistä voidaan käyttää myös nimitystä riskikategoriat.

Vaikutusluokkana ”työolot”

Sidosryhmäluokkaa työntekijät kuvaa vaikutusluokka työolot, joka käsittää työoikeuksia ja kelpollisen työn ominaisuuksia. Vaikutusarvioinnin tulosten laske-
mistavasta riippuen, voidaan tarkastella tuloksia vaikutusluokan tai alavaikutus-
luokkien mukaan.

Vaikutusluokkaan työolot liittyy useimmiten sosiaalisia ongelmia koskien palk-
kaa tai työaika, jotka ovat samalla myös alavaikutusluokkia sidosryhmälle
työntekijät. Esimerkiksi työaika on laissa säännelty toimialan mukaan ja se voi
olla täysi- tai osa-aikaista. Työtuntien tehokkuus ja ylityötuntien kompensointi
rahallisesti tai vapaa-ajalla ovatkin esimerkkejä inventaarioindikaattoreista vai-
kutuservioinnissa. (Life Cycle Initiative & Social Life Cycle Alliance 2021, 27.)

Vaikutusluokkana ihmisoikeudet

Ihmisoikeudet vaikutusluokkana sosiaalisia vaikutuksia arvioidessa on moniulotteinen. Ihmisoikeuksia tarkentavan YK:n TSS-sopimuksen (taloudellisten, sosiaalisten ja sivistyksellisten oikeuksien sopimus) mukaisesti ihmisoikeudet voidaan luokitella taloudellisiin, sosiaalisiin ja sivistyksellisiin oikeuksiin (Suomen YK-Liitto 2023). Ihmisoikeudet käsittävät näin ollen alavaikutusluokkia (taulukko 1), joita voivat olla esimerkiksi:

- sosiaaliset etuudet ja sosiaaliturva
- elinolosuhteiden turvaaminen
- opetus- ja kasvatustarjonta paikallisessa yhteisössä.

Alavaikutusluokkien nimet voivat vaihdella eri tietolähteiden mukaan. Nimitykset alavaikutusluokista voivat olla Life Cycle Initiativen tai Social Hotspots Database -tietokannan mukaiset.

4.4.1 Soveltamisalan mukaiset vaikutusarvioinnin lähestymistavat vaikutusluokille

Valittuja vaikutusluokkia tai alavaikutusluokkia sidosryhmäluokittain S-LCA:ssa voidaan käsitellä vaikutusarviointivaiheessa kahdella eri menetelmällä elinkaariarvioinnin käyttötarkoituksen mukaan: joko niin sanotulla referenssiasteikolla (Reference Scale Approach) tai vaikutuspolkumenetelmällä (Impact Pathway Approach). Menetelmän valinta on tärkeää S-LCA:n tavoitteiden ja soveltamisalan määrittämävaiheessa jo siksi, koska sen perusteella kerätään inventaariotiedot oikein ja oikeista tietolähteistä. Tietolähteet voivat olla peräisin esimerkiksi tietokannoista kuten SHDB -tietokannasta, yritysten kolmannen osapuolen tekemistä raporteista, haastatteluista ja kyselyitä suoraan sidosryhmiltä. (Life Cycle Initiative & Social Life Cycle Alliance 2020, 27 – 29.)

Referenssiasteikkoa varten tiedot kerätään yrityksen tai organisaation toimintatavoista sosiaalista suorituskykyä tai sosiaalisen riskin tunnistamista varten eikä näiden kerättyjen tietojen perusteella käytännössä mitata sosiaalisten vaikutusten pitkäaikaisia vaikutuksia. Toisin sanoen, kerätyt tiedot edesauttavat

ymmärtämään potentiaalisten sosiaalisten vaikutusten merkittävyyttä referenssiasteikko-menetelmää käyttäen, jonkin yrityksen tai organisaation aktiviteetin suhteen tuotejärjestelmässä. (Life Cycle Initiative & Social Life Cycle Alliance 2020, 27–28.)

Vaikutuspolkumenetelmä muistuttaa ympäristöpainotteisen elinkaariarvioinnin vaikutusarvioinnin pääpiirrettä ja siinä arvioidaan potentiaalisia tai suoranaisia sosiaalisia vaikutuksia. Vaikutuspolkumenetelmässä tunnistetaan loppupiste-vaikutukset eli siinä arvioidaan yrityksen tai organisaation toimintoja inventaariotietojen perusteella mahdollisia lyhyt- tai pitkäaikaisia sosiaalisia vaikutuksia yhteensopivan sosiaalisen vaikutusluokkaindikaattorin avulla jonkin vaikutusluokan suhteen. (Life Cycle Initiative & Social Life Cycle Alliance, 2020, 28.)

Tyypillisesti vaikutuspolkumenetelmän mukaan, inventaariotiedot vaikuttavat suoraan vaikutusluokan indikaattoritulosten laskentaan eli vaikutuspolkumenetelmä sisältää myös karakterisoinnin. Nämä kaikki edellä mainitut vaikutuspolkumenetelmän osat muodostavat vaikutusluokan sosiaalisen mekanismin, joka on jokaiselle vaikutusluokalle omanlaisensa (vrt. ympäristömekanismi). (Life Cycle Initiative & Social Life Cycle Alliance, 2020, 28.)

4.5 Social Hotspots -tietokanta (SHDB)

Social Hotspots -tietokanta (Social Hotspots Database, SHDB) on eri toimijoille kestävästä kehitystä arvioiva konsultointifirma NewEarth B:n kehittämä. Lisensoitu SHDB -tietokanta, joka mahdollistaa sopivan elinkaariarviointiohjelmiston kanssa (esimerkiksi SimaPro) tunnistamaan ja laskemaan sosiaalisen elinkaariarvioinnin tyypillisiä piirteitä ja tuloksia (SHDB 2023a). Kaiken kaikkiaan SHDB tietokanta perustuu kolmeen komponenttiin:

- 1) globaali input-output -mallinnus (GTAP) toimitusketjun kartoittamiseen maantieteellisin sijaintein ja sektoreittain
- 2) työtuntimallinnus ja tiedot maasektoreittain työllisyyden taloudellisesta näkökulmasta
- 3) tiedot sosiaalisiin riskeihin ja niiden mahdollisuuksiin useista eri lähteistä, esimerkiksi WHO. (SHDB 2023b).

Social Hotspots -tietokanta (SHDB v5.0) tarjoaa toisin sanoen inventaariotietoja sosiaalisista riskeistä ja niiden mahdollisuuksista maasektoreittain ja taloussektoreittain. Tietokanta sisältää näihin liittyen kuusi vaikutusluokkaa, 30 alavaikutusluokkaa, 160 indikaattoria ja 244 maata (SHDB 2023b).

Globaali input-output -mallinnus (GTAP) muodostaa informaation toimitusketjun rakenteesta ja maakohtaisista sijainneista sektoreittain. Mallinnus käsittää 140 aluetta tai maata ja 57 sektoria (SHDB 2023b).

Social Hotspots -tietokannan tärkeimmät ominaisuudet S-LCA:n toteutuksessa:

- tunnistamaan mahdolliset riski-informaatiot tarkasteltavan tuotteen globaalin toimitusketjun aikana (Simapro 2023.)
- saatavan riski-informaation sovellettavuus sidosryhmäluokkiin ja vaikutusluokkiin
- S-LCA:n tulosten laskeminen riski-informaation avulla, eli sosiaalisen jalanjäljen laskeminen elinkaariarviointisovelluksen avulla.

4.5.1 Social Hotspots- tietokanta ja elinkaariarviointisovellus SimaPro

Social Hotspots- tietokantaa käytetään yhdessä elinkaariarviointiohjelmiston kanssa. Ennen kuin sosiaalisia vaikutuksia aletaan arvioimaan tai selvittämään, tulee toiminnallisen yksikön olla määriteltynä tavoitteiden ja soveltamisalan mukaisesti. Tämän jälkeen voidaan määrittää ja luokitella oikeanlaiset inventaariotiedot kyseiseen tietokantaan perustuen.

Seuraavassa esimerkissä on mukailtu NewEarth B:n & Pré Sustainability:n yhteistyönä pidettyä webinaaria aiheenaan Social Hotspots -tietokanta SimaPro:ssa (Simapro 2019). Tämä mukailtu esimerkki ei kuvaa suoraan todellista sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointia.

Esimerkiksi jos toiminnallinen yksikkö on 1 miljoona kiloa valmistettuja viinikumi-karamelleja tietyssä ajassa ja tavoitteena halutaan selvittää yrityksen ihmisoikeuksien hallinnointia (Human Rights Due Diligence), tulee toiminnalliselle yksikölle olla laskettuna myös mahdollisimman tarkka rahallinen arvo tai vastaavaanlainen vertausvirta. Sosiaaliset vaikutukset tunnistetaan viinikumien karamellien

ainesosien raaka-aineen hankinnasta tuotantovaiheeseen saakka, joka vastaa soveltamisalaa. (SimaPro 2019.)

Osana kerättyjä inventaariotietoja, näille viinikumikaramelleille tunnistetaan niiden ainesosat sekä niiden osuudet koko toiminnallisesta yksiköstä massan mukaan ja samalla näiden ainesosien alkuperät. Kerättyjen ainesosien ja niiden alkuperään liittyen voidaan määrittää käytettävän tietokannan lähteiden mukaan niiden rahavirrat, joista yhteensä tulisi koostua 1 miljoonan kilon viinikumikaramellien rahallinen arvo, eli toisin sanoen näiden ainesosien rahavirrat. (Simapro 2019.)

Kerätyt inventaariotiedot ainesosista syötetään niiden rahavirtojen mukaan elinkaariarviointisovellukseen Yhdysvaltain dollareissa vuoden 2011 valuuttakurssin mukaan, joiden perusteella määräytyy elinkaariarviointisovelluksessa tuotejärjestelmän tiedot (Simapro 2019). Vaikutusarviointi taas elinkaariarviointisovelluksessa tapahtuu valitsemalla vaikutusarviointimenetelmä, joka määrittää miten vaikutusarvioinnin tulokset esitetään. Social Hotspots -tietokanta (SHDB) ja elinkaariarviointisovellus yhdessä voi antaa tuloksia seuraavanlaisesti (Simapro 2019):

- 1) sosiaalinen jalanjälki
- 2) sosiaaliset riskipisteet
- 3) sosiaalisen jalanjäljen vertailu tuotteen toiminnallisen yksikön ainesosien mukaan.

Sosiaalinen jalanjälki

Sosiaalinen jalanjälki ilmaisee S-LCA:n tulokset vaikutusluokittain tai alavaikutusluokittain koottuna tai yksittäisen vaikutusluokan tai alavaikutusluokan mukaan. Kaikissa näissä tapauksissa vaikutusluokat tai alavaikutusluokat on painotettu tasavertaisesti. (Simapro 2019.)

Oletetaan, että vaikutusluokkien tulosten yksikkönä on johdettu mrheq (medium risk hours equivalent) eli keskimääräiset riskituntiekvivalentit. Tämä yksikkö

mittaa ja vertailee kunkin vaikutusluokan tuloksia ja vaikutusluokkia keskenään koko toimitusketjussa (Life Cycle Initiative & Social Life Cycle Alliance 2021.) Mitä suurempi mrheq on, sitä suurempi sosiaalinen jalanjälki on kyseisessä vaikutusluokassa tai alavaikutusluokassa ja siten koskien myös tarkasteltavaa sidosryhmää.

Esimerkiksi voidaan huomata, että koko toimitusketjussa viinikumikaramellin ainesosan A:n raaka-aineen sadonkorjuulla sidosryhmäluokissa työntekijät (viljelijät) ja paikallisissa yhteisöissä on eniten negatiivisia sosiaalisia vaikutuksia ihmisoikeuksiin ja työoloihin. (Simapro 2019.)

Sosiaalinen jalanjälki voidaan laskea myös toiminnallisen yksikön ainesosien mukaan. Ainesosien mukaan laskettava sosiaalisen jalanjälki määräytyy sen mukaan, minkä viinikumikaramellin ainesosan rahavirta aiheuttaa eniten sosiaalista vaikutusta kussakin vaikutusluokassa. (SimaPro 2019.)

Sosiaaliset riskipisteet

Sosiaaliset riskipisteet tuloksina osoittavat vaikutusarvioinnin tulosten perusteella ne aktiviteetit ja sijainnit koottuna, jotka mahdollisesti vaikuttavat eniten sosiaaliseen jalanjälkeen. Esimerkiksi ”viinikumikaramellin ainesosa A:n tarvittavan raaka-aineen sadonkorjuu maassa X vaikuttaa kaiken kaikkiaan eniten tarkasteltavissa kuudessa vaikutusluokissa”. Toinen huomio voi olla, että ”kaiken kaikkiaan toiseksi eniten vaikuttaa vaikutusluokkien tuloksiin viinikumikaramellin ainesosa B:n raaka-aineen hankkiminen maassa Y.” (SimaPro 2019.)

5 Opinnäytetyön tutkimustehtävä ja tavoite

Opinnäytetyön tutkimustehtävänä on tunnistaa sähköautoiluun soveltuvan litiumakun valmistuksen elinkaaren aikaisia sosiaalisia riskipisteitä ja potentiaalisia sosiaalisia vaikutuksia alkaen litiumakun materiaalien ja komponenttien

valmistamisesta ja päättyen litiumakun kokoamiseen, josta valmistuu yksi litiumakku. Tunnistettavien ja laskettavien potentiaalisten sosiaalisten vaikutusten lisäksi niitä tarkastellaan myös kohdentuvissa sidosryhmissä ja lopputulos esitetään niin sanottuna sosiaalisena jalanjälkenä.

Tutkimustehtävän toteutuksen ja lopputuloksen kannalta yksi merkittävä osa opinnäytetyössä on menetelmällisen työkalujen käyttäminen eli elinkaarimallinussovelluksen ja siihen integroitavan tietokannan kokeilu, joiden avulla voidaan lopulta laskea litiumakun potentiaalisia sosiaalisia vaikutuksia. Keskeisimpänä tavoitteena näin ollen on toteuttaa asianmukainen ja pilottimainen sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointi eli S-LCA ja ymmärtää litiumakun globaaleja kestävyysvaikutuksia.

6 Opinnäytetyön menetelmälliset valinnat

6.1 ISO 14040 ja ISO 14044

Kokonaisuudessaan opinnäytetyö pyrkii noudattamaan ja soveltamaan ISO 14040 ja ISO 14044 -standardien mukaista elinkaariarviointianalyysia (LCA), joka tarkastelee tutkimustehtävän mukaisesti potentiaalisia sosiaalisia vaikutuksia tarkasteltavan litiumakun elinkaaren aikana. Sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointianalyysin vaiheet tarvitsevat sen soveltamisalasta riippuen ISO-standardien mukaisten elinkaariarvioinnin rinnalle myös muita menetelmällisiä valintoja, jotta esimerkiksi inventaarioanalyysi voidaan toteuttaa asianmukaisella tavalla.

6.2 BatPac v5.0

BatPac v5.0 on yhdysvaltalaisen Argonnen kansallisen laboratorion kehittämä laskentamenetelmä, jolla voidaan mallintaa täyssähköautoiluun soveltuvan litiumakun fyysikaalinen ja kemiallinen rakenne sekä arvioida litiumakun kustannusrakenteen muodostumista.

Argonnen kansallinen laboratorio on mallintanut BatPac v5.0 -laskentamenetelmän Microsoft Excel -taulukoon. (Knehr, Kubal, Nelson & Ahmed, 2022, xvi.)

Opinnäytetyön tutkimustehtävän ja tavoitteiden kannalta tärkein tieto on BatPac v5.0 -laskentamenetelmän avulla mallinnettu ja arvioitu litiumakun kustannusrakenne. Kustannusrakenne on osa sosiaalisten vaikutusten elinkaarimallinnuksen inventaarioanalyysivaihetta eli toisin sanoen BatPac v5.0 -laskentamenetelmän litiumakun materiaali- ja tuotantokustannukset ovat apuna määrittämään rahavirtoja sektoreittain jaettavaan tuotejärjestelmään.

BatPac v5.0 -laskentamenetelmän Microsoft Excel -taulukosta hyödynnetyt fysikaaliset ja kemialliset oletusarvot (taulukko 2) sekä litiumakusta muodostuvat kustannusrakenteen oletusarvot (taulukko 3 ja taulukko 4) käytetään tässä opinnäytetyön tutkimustehtävän oletusarvoina litiumakulle. BatPac v5.0 -laskentamenetelmä mahdollistaa muuttamaan fysikaalisia, kemiallisia ja taloudellisia oletusarvoja, mutta opinnäytetyössä tarkastellaan vain yhdenkokoista akkua (taulukko 2).

Käyttötarkoitus	Sähköautoilu (EV)
Akuston kemia	NMC811-G, eli $\text{Li}(\text{Ni}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1})\text{O}_2$ (litium-nikkeli-mangaani-koboltti-oksidi), jossa negatiivisena elektrodiparina grafiitti)
Akuston kokonaisenergiakapasiteetti, josta käytössä (kWh)	100, 85
Massa (kg)	491
Oletettu litiumakkujen valmistusmäärä (kpl/vuosi)	500000
Oletetun akkutehtaan koko (GWh)	50

Taulukko 2. Tarkasteltavan litiumakun keskeisimmät fysikaaliset ja käytettävän akkukemian oletusarvot (mukaillen Knehr ym. 2022).

Litiumakun valmistamisen kustannusrakenteen suurin kokonaiskustannuserä dollareissa ovat akuston materiaalien ja ostotuotteiden kokonaiskustannukset. Materiaaleista suurimman kustannustekijän muodostaa litiumakun katodiaktiivimateriaalin kustannukset eli positiivisesti varautuneen katodielektrodin materiaali. (Knehr ym. 2022.)

Taulukko 3:ssa on esitetty litiumakun materiaalien ja ostotuotteiden kustannukset.

Materiaali	Kustannukset (\$)
Positiivinen aktiivimateriaali	4927
Negatiivinen aktiivimateriaali	872
Lisäainehiili	21
Sitoja-aineet	64
Liuottimet	129
Positiivinen virrankeräin	45
Negatiivinen virrankeräin	289
Separattorit	340
Elektrolyytti	271
Lisäaineet	-
Kennoston ostotuotteet	224
Moduulin ostotuotteet	759
Paketin ostotuotteet	438
Akuston hallinnointijärjestelmä	356
Materiaali- ja ostotuotteiden kokonaiskustannukset	8735

Taulukko 3. Litiumakun materiaali- ja ostotuotteiden kustannukset dollareissa vuoden 2022 heinäkuun valuuttakurssin mukaan (mukaillen Knehr ym. 2022).

Muut kustannustekijät BatPac v5.0:n mukaan koostuvat erilaisista välillistä ja välittömistä kokonaiskustannuksista ja lisäksi muun muassa energian kokonaiskustannuksista ja akuston poistokustannuksista (taulukko 4). Vaihtoehtoisesti välilliset ja välittömät kustannukset voidaan esittää kokoamiskustannuksien mukaan tehtaalla (taulukko 12). Tällöin muun muassa materiaalikustannukset (taulukko 10) ovat hieman erilaiset BatPac v5.0:n mukaan mutta litiumakun kokonaiskustannus pysyy samanlaisena.

Materiaali	Kustannukset (\$)
Välittömät työvoimakustannukset	171
Energian kokonaiskustannukset	146
Välilliset kokonaiskustannukset	241
Poistokustannukset	633
Yleis-, myynti-, ja ylläpitokustannukset	168
Tutkimus- ja kehittämiskustannukset	222
Rahoituskustannukset	79
Yksikkötuotto	526
Takuu litiumioniakustolle	612
Välittömien ja välillisten kustannusten kokonaiskustannukset	2798
Kaikki kustannukset yhteensä (materiaali- ja ostotuotteet ja muut kustannukset yhteensä)	11 533

Taulukko 4. Litiumakun muut kustannustekijät ja kaikki kustannukset yhteensä dollareissa vuoden 2022 heinäkuun valuuttakurssin mukaan (mukaillen Knehr ym. 2022).

6.3 SimaPro 9:n ja SHDB v5.0:n käyttäminen

SimaPro 9 on ISO 14040 ja ISO 14044 -standardeja noudattava elinkaarimallin-
 usohjelmisto, jolla voidaan mallintaa tarkasteltavan litiumakun potentiaaliset
 sosiaaliset vaikutukset ja tunnistaa sosiaaliset riskipisteet yhdessä SHDB v5.0 -
 tietokantaa käyttäen. SHDB v5.0 -tietokannan käyttöönotto SimaPro 9:n versi-
 ossa mahdollistaa tekemään standardeja mukailevan sosiaalisen vaikutusarvi-
 oinnin litiumakulle vaikutus- tai alavaikutusluokittain silloin kun soveltamisalan
 mukainen ja riittävä inventaarioanalyysi on tehty.

Sosiaalisen vaikutusarvioinnin tekeminen SimaPro 9 -ohjelmistolla yhdessä
 SHDB v5.0 -tietokantaa käyttäen, kerättävän inventaarion tulee täyttää neljä
 vaatimusta:

- 1) tunnistaa materiaalit, joilla tarkasteltava tuote voidaan tuottaa tai tunnis-
 taa organisaation hankinnat

- 2) materiaalien tai ostotuotteiden tunnistaminen ja jakaminen sektoreittain GTAP:n 57 sektorin mukaan
- 3) tuotteiden, raaka-aineiden, materiaalien tai hankintojen maantieteellinen alkuperä ja,
- 4) materiaallinen tai hankintojen kustannukset eli rahavirrat. (Bennema, Norris, Norris Benoit, 2022,26.)

Inventaariovaatimuksia varten litiumioniakun valmistamiseen liittyvät materiaalit ja niiden kustannusrakenne on tunnistettu BatPac v.5.0:n avulla, mutta raaka-aineiden maantieteellisiä alkuperiä ei BatPac v.5.0:n avulla voida kartoittaa vaan apuna tulee käyttää jotakin muuta ajankohtaista lähdettä tai tehdä oletuksia. Esimerkkinä maantieteellisiin kartoittamisiin voisi olla Yhdysvaltain geologian tutkimuskeskuksen (USGS) vuosittain julkaistava raportti mineraaliraaka-aineiden kaivannaisista ja niiden tilastoista (U.S. Department of the Interior & U.S. Geological Survey 2023).

6.3.1 SHDB v5.0 ja GTAP-sektorit

Tutkimustehtävän kannalta tärkeimmät SHDB -tietokannan käyttämät GTAP -lyhenteet ovat esitettyinä taulukko 5:ssä, jossa on suomennettu alkuperäiset GTAP-sektoriselitteet (Global Trade Analysis Project 2019). Lisäksi näiden GTAP -sektoreiden tunnistamisessa opinnäytetyön tutkimustehtävää varten on käytetty apuna tieteellisen artikkelin mukaista sektoreihin jaottelua (Thies, Kieckhäfer, Spengler, Sodhi, 2019, 295).

GTAP- numero	Koodi	Kuvaus (alkuperäinen)	Kuvaus (suom.)
18	omn	“Other Mining: mining of metal ores, uranium, gems, other mining and quarrying”	Muu kaivostoiminta: Malmimetallien louhiminen, uraani, timantit tai muunlainen kaivostoiminta ja louhinta
33	crp	“Chemical Rubber Products: basic chemicals, other chemical products,	Kemialliset luonnokumituotteet: peruskemikaalit, muut kemialliset tuotteet,

		rubber and plastics products”	kumi- ja muovituotteet
34	nmm	Non-Metallic Minerals: cement, plaster, lime, gravel, concrete	Ei-metalliset mineraalit: sementti, kipsi, kalkki, sora, betoni
36	nfm	“Non-Ferrous Metals: production and casting of copper, aluminium, zinc, lead, gold, and silver”	Raudattomat metallit: kuparin tuotanto ja kuparin, alumiinin, sinkin, lyijyn, kullan ja hopean valaminen
37	fmp	“Fabricated Metal Products: Sheet metal products, but not machinery and equipment”	Kootut metallituotteet: metallilevytuotteet, mutta ei koneita tai laitteistoja
40	ele	“Electronic Equipment: office, accounting and computing machinery, radio, television and communication equipment and apparatus	Sähkölaitteisto: toimisto, kirjanpito ja tietojenkäsittely koneet, radio, televisio ja viestintälaitteistot ja -välineet
41	ome	“Other Machinery & Equipment: electrical machinery and apparatus n.e.c., medical, precision and optical instruments, watches and clocks”	Muu koneisto ja välineistö: elektroniset koneet- ja välineet, kuten lääketieteelliset, täsmä- ja optiset instrumentit, kellot

Taulukko 5. SHDB v5.0 tietokannan käyttämät GTAP -sektorit ja tutkimustehtävän kannalta oleellimmat (mukailen Global Trade Analysis Project 2019).

Litiumakun kustannusrakenteen osat materiaalitietoineen tulee jaotella GTAP:n mukaisiin sektoreihin (taulukko 5) ja esittää rahavirrat, toisin sanoen BatPac v5.0:n avulla saatavat kustannustiedot näiden sektoreiden mukaisesti sosiaalista vaikutusarviointia tehdessä SimaPro 9:llä. SHDB v.5.0:n käyttämien GTAP-sektoreiden tunnistamisen apuna ja materiaalien sektorien jaottelussa on käytetty tieteellistä artikkelia (Thies, ym., 2019, 295).

Ensimmäiseksi on esitetty litiumakun raaka-aineet (taulukko 6). Taulukko 6:n mukaisia raaka-aineita ei käsitellä sellaisinaan inventaariotietoina SimaPro 9:ssä. Raaka-aineiden valmistuskustannukset oletetaan sisältyvän komponenttien tai materiaalien valmistamiskustannuksiin.

Raaka-aineen valmistaminen	GTAP -sektorin lyhenne SHDB -tietokantaa käytettäessä
Kuparin valmistaminen	NFM
Grafiitin valmistaminen	OMN
Polyetyleenin valmistaminen	CRP
Litiumkarbonaatin valmistaminen	OMN
Nikkelisulfaatin valmistaminen	OMN
Kobolttisulfaatin valmistaminen	OMN
Mangaanisulfaatin valmistaminen	OMN
Alumiinin valmistaminen	NFM
Piin valmistaminen	OMN

Taulukko 6. GTAP:n mukaiset sektorit litiumakun raaka-aineiden valmistusvaiheessa (mukaillen Thies, ym. 2019,295).

Toiseksi on jaoteltu litiumakun komponenttien tai materiaalien valmistamiset GTAP:n mukaisiin sektoreihin (taulukko 7). BatPac v5.0:n avulla tunnistetun kustannusrakenteen mukaan, komponenteista suurin kustannustekijä on katodiaktiivimateriaali.

Komponenttien/materiaalien valmistaminen	GTAP -sektorin lyhenne SHDB -tietokantaa käytettäessä
Katodiaktiivimateriaalin valmistaminen	NMM
Katodin virrankeräimen valmistaminen	NFM
Anodiaktiivimateriaalin valmistaminen	NMM

Anodin virrankeräimen valmistaminen	NFM
Separattorin valmistaminen	CRP
Elektrolyytin valmistaminen	CRP
Kennostokotelon valmistaminen	FMP

Taulukko 7. GTAP:n mukaiset sektorit litiumionipaketin komponenttien valmistusvaiheessa (mukaillen Thies ym. 2019,295).

Kolmantena ja viimeisenä on esitetty litiumakkuun liittyvät kokoamisprosessit (taulukko 8). Akun hallintajärjestelmä on erillinen litiumakun komponentti.

Kokoamisprosessi/valmistaminen	GTAP -sektorin lyhenne SHDB -tietokantaa käytettäessä
Kennoston kokoaminen	OME
Akkupaketin kokoaminen	OME
Akkupaketin kotelon valmistaminen	FMP
Akun hallintajärjestelmä (BMS)	ELE

Taulukko 8. GTAP:n mukaiset akkupaketin ja kennoston valmistamisen sektorit (mukaillen Thies ym.2019,295).

6.3.2 Rahavirtojen deflaatio

SimaPro 9:ssä käytettävät rahavirrat eli taloudelliset input -tiedot sektoreittain yhdessä SHDB v5.0 -tietokannan kanssa, tulee muuntaa deflaatiotyökalulla Yhdysvaltain dollarin vuoden 2011 valuuttakurssin mukaiseksi.

Tämä valuuttakurssin muunnos toteutetaan Areppim -nimisen verkkosivuston bruttokansantuotteeseen perustuvan deflaatiotyökalun avulla (Areppim,2023). Esimerkiksi positiivisen aktiivimateriaalin (NMC) kustannus vuonna 2022 (4927 \$) deflatoituna vuoden 2011 Yhdysvaltain dollarin valuuttakurssin mukaiseksi on 3801,59 \$.

6.3.3 SHDB v5.0 -tietokannan vaikutusarviointimenetelmät (SHI1 & SHI2)

SHDB v5.0 -tietokanta tarjoaa käytettäväksi valmiiksi kaksi vaikutusarviointimenetelmää SimaPro 9:ssä, jotka ovat SHI 1 ja SHI 2 (Social Hotspot Index 1 ja 2). Käytettäessä SimaPro 9:n kanssa, SHI 1 painottaa vaikutusluokat tasavertaisesti ja SHI 2 alavaikutusluokat tasavertaisesti. Toisin sanoen, vaikutusarviointimenetelmän valinta perustuu tulosten esittämistapaan. Vaikutusarviointimenetelmiä voi myös tarvittaessa muunnella karakterisointikertoimen osalta siten, että esimerkiksi matalan riskitason maakohtaisia sektoreita ei oteta huomioon ollenkaan. (Bennema, Norris, Norris Benoit, 2022, 24.)

Vaikutusarviointimenetelmän SHI 1:n tai SHI 2:n valinnan yhteydessä voidaan myös valita, käytetäänkö normalisoitua dataa. SHI 1:ssä karakterisoitu tulos ilmoittaa huomioon sosiaaliset vaikutukset yksikössä mrheq (keskimääräinen riskituntiekvivalentti) viiden vaikutusluokan mukaan ja SHI 2:ssa puolestaan 30 alavaikutusluokan mukaan ilmoittaen normalisoidun datan henkeä kohti vuodessa. Tämä normalisoitu data perustuu asukasta kohden (per capita) vuosittaisen tuotannon mukaan yhteensä kaikissa SHDB v5.0 -tietokannan 57 sektorissa ja 140 maassa ja alueessa. (Bennema ym. 2022, 25.)

6.3.4 Sosiaaliset vaikutusluokat, alavaikutusluokat ja indikaattorit

SimaPro 9:ssä esitetään vaikutusarvioinnin tulokset vaikutusluokittain tai alavaikutusluokittain, joten vaikutusluokat ja alavaikutusluokat tulee olla valittuna, ja joista halutaan tutkia mahdollisia sosiaalisia vaikutuksia kohdentuviin sidosryhmiin. Kuudesta sosiaalisesta vaikutusluokasta eli riskikategoriasta on valittu neljä riskikategoriaa arvovalintaisesti tutkimustehtävän kannalta, jotka ovat SHDB v5.0 -tietokannan mukaiset (Bennema ym. 2022, 16–22):

- 1) työolot (labor rights and decent Work)
- 2) terveys ja turvallisuus (health and safety)
- 3) yhteiskunta (society)
- 4) hallinto (governance).

Kolmestakymmenestä alavaikutusluokasta on valittu puolestaan kahdeksan arvovalintaisesti tutkimustehtävän kannalta tärkeimmät SHDB v5.0 -tietokantaa hyödyntäen (Bennema ym. 2022, 16–22). Valitut vaikutusluokkia täsmentävät alavaikutusluokat alustavasti ovat:

- 1) palkan arviointi (wage assessment)
- 2) työntekijöiden köyhyys (workers in poverty)
- 3) lapsityövoima (child labor)
- 4) ammattiperäiset sairaudet, uhat ja vaarat (occupational toxics & hazards)
- 5) loukkaantumiset ja kuolemantapaukset (injuries & fatalities)
- 6) korkean konfliktin alueet (high conflict zones)
- 7) köyhyys ja epätasa-arvo (poverty & inequality)
- 8) korruptio (corruption).

Jokainen sosiaalinen alavaikutusluokka perustuu useisiin sosiaalisiin indikaattoreihin, jotka kuvaavat alavaikutusluokan mahdollisia sosiaalisia riskejä ja niiden ominaisuuksia. Esimerkiksi lapsityövoima alavaikutusluokkana käsittää seitsemän sitä kuvaavaa indikaattoria (Bennema ym. 2022, 17). SHDB v5.0 -tietokannan mukaisesti ne ovat:

1. miessukupuolisen lapsityön riski maassa (UNICEF)
2. naisukupuolisen lapsityön riski maassa (UNICEF)
3. lapsityön kokonaisriski maassa (UNICEF)
4. lapsuuden poisjäännin riski (Pelastakaa Lapset)
5. lasten oikeuksiin liittyvä riski työpaikalla (index)
6. lapsityön riski maittain yhteensä
7. lapsityön riski maasektoreittain yhteensä.

7 Sosiaalisten vaikutusten elinkaariarvioinnin (S-LCA) tulokset mukailten ISO 14040 ja ISO 14044 -standardeja

7.1 Tavoitteet ja soveltamisala

S-LCA:n keskeisimmät tavoitteet on esitetty luvussa 5 Opinnäytetyön tutkimustehtävä ja tavoitteet. Soveltamisalaan kuuluvat menetelmälliset valinnat on esitetty luvussa 6 Opinnäytetyön menetelmälliset valinnat.

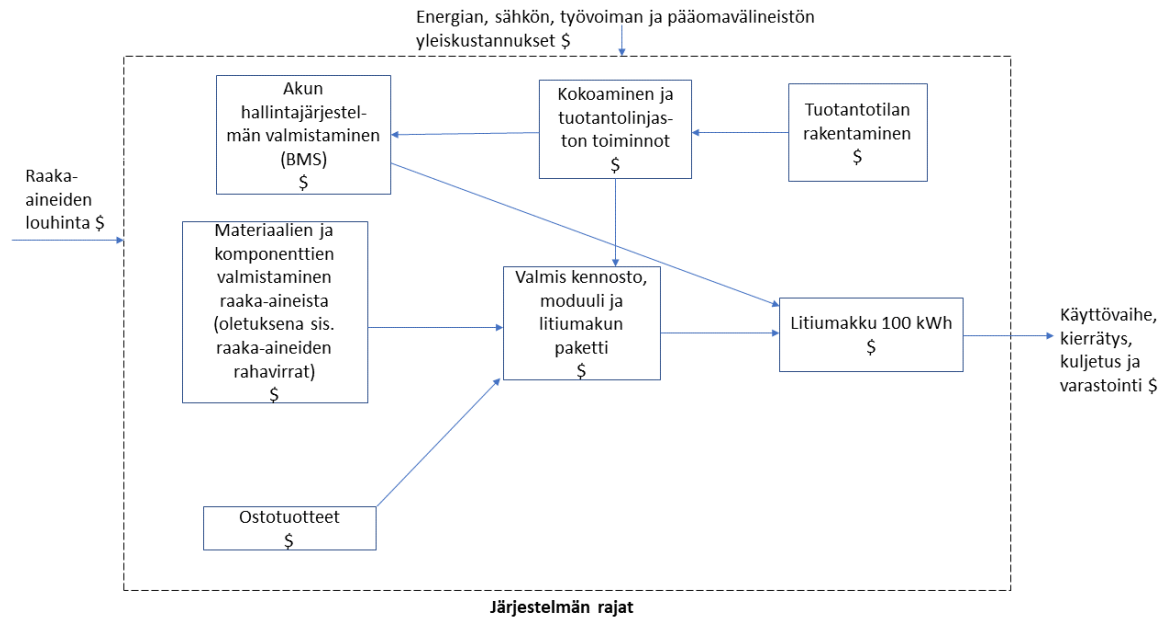
7.1.1 Toiminnallinen yksikkö ja vertailuvirta

Toiminnallinen yksikkö litiumakku kokonaisenergiakapasiteetiltaan 100 kWh on kuvailtu tarkemmin luvussa 6.2 (taulukko 2). Vertailuvirran määrittämisessä voitaisiin käyttää apuna BatPac v5.0:n mukaisia kustannustietoja, jolloin kustannustietoissa eriteltäisiin välittömiä ja välillisiä kustannuksia muun muassa myynti, ylläpito ja koulutus- ja tutkimuskustannuksia (taulukko 4). Erittely jätetään kuitenkin tämän opinnäytetyön tutkimustehtävän ja tavoitteen ulkopuolelle ja kustannukset esitetään niiden sijaan tuotantolinjaston ja kokoamiskustannusten mukaan (taulukko 12). Materiaali- ja ostotuotteiden kustannuksissa käytetään BatPac v5.0:n mukaan kerrointa 1,07, kun välittömät ja välilliset kustannukset (taulukko 4) jätetään erittelyn ulkopuolelle (Knehr, ym. 2022, 122).

7.1.2 Tuotejärjestelmä

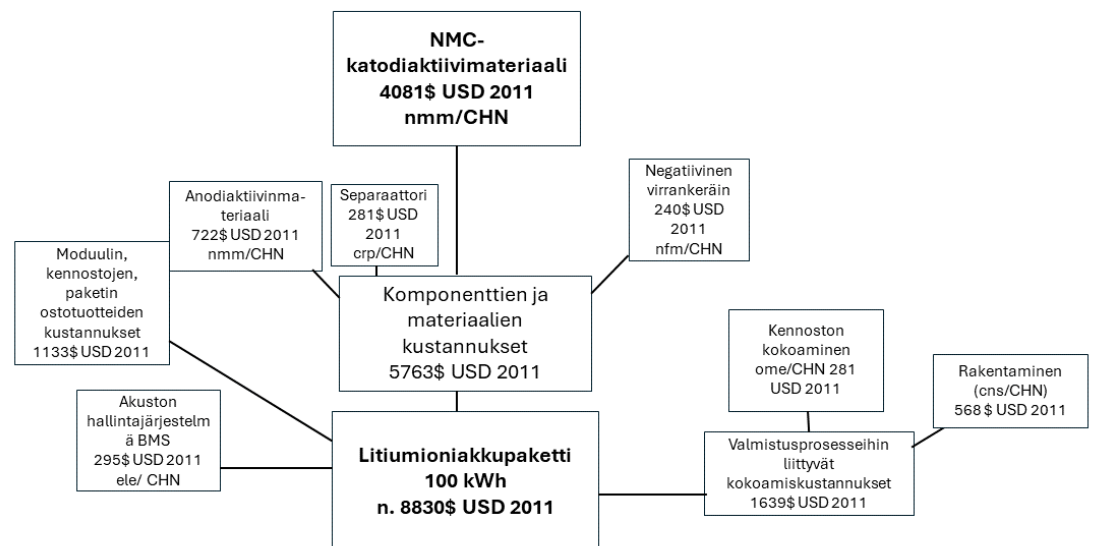
Tuotejärjestelmäkuviassa (kuvio 6) on kuvattu yksinkertaistetusti litiumakun keskeisimmät prosessit ja järjestelmän rajat. Prosesseja kuvataan \$-merkillä, koska litiumakun materiaalitietoja ja siihen liittyviä prosesseja käsitellään taloudellisin rahavirroin (kuvio 6).

Alkuperäisen tutkimustehtävän suunnitelmasta poiketen, raaka-aineiden louhintavaihe ja niistä valmistettavien kemiallisten raaka-aineiden (taulukko 6) inventaariotiedot on jätetty järjestelmän rajojen ulkopuolelle (kuvio 6) niiden tarkkojen tietolähteiden puutteiden vuoksi. Järjestelmän rajojen ulkopuolelle on jätetty myös käyttövaiheeseen, kierrätykseen, kuljetukseen ja varastointiin liittyvät taloudelliset rahavirrat yksinkertaistamisen vuoksi.



Kuvio 6. Litiumakun tuotejärjestelmä, josta ilmenee niiden pääprosessit pelkistettynä.

Litiumakun keskeisimmät kustannustekijät esitetään kuviona (kuvio 7). Kyseisessä kuviossa ei siten esitetä kaikkia mahdollisia kustannustekijöitä ja GTAP:n mukaisia sektoreita. Kuvioista ilmenee (kuvio 7) litiumakun kokonaiskustannuksista suurin tekijä eli katodiaktiivimateriaalin valmistaminen.



Kuvio 7. Litiumakun (litiumioniakkupaketin) keskeisimmät kustannustekijät ja GTAP -sektorit esitettynä.

Litiumakun keskeisimmät kustannustekijät (kuvio 7) esitetään Yhdysvaltain dollarin vuoden 2011 valuuttakurssin mukaan. Tarkemmat litiumakun kustannustekijät selviävät inventaarioanalyysivaiheessa.

7.1.3 Vaikutusarviointimenetelmä

Vaikutusarviointilaskenta litiumakulle on suoritettu Social Hotspot 2022 Subcategory Method w Norm / global per capita annual -metodilla. Toisin sanoen tämä vaikutusarviointimetodi huomioi kaikki 30 alavaikutusluokkaa ja sen normalisoitu data perustuu kokonaisvuosituotantoon henkilöä kohden kaikissa 57 sektoreissa ja 140 maassa sekä alueissa, jotka on sisällytetty SHDB -tietokantaan (Bennema ym. 2022, 25). Vaikutusarviointilaskentaa tarkastellaan SimaPro 9:n vaikutusarviointituloksista, joka ilmoittaa normalisoidut ja karakterisoidut tulokset alavaikutusluokittain.

7.1.4 Sidosryhmät ja niihin kohdentuvat sosiaaliset alavaikutusluokat

Valitut sosiaaliset alavaikutusluokat on lueteltu luvussa 6.3.4, josta on jätetty pois toteutusvaiheessa yhteiskuntasidosryhmää koskeva alavaikutusluokka köyhyys ja epätasa-arvo. Elinkaariarvioinnissa tarkastellaan pääasiassa vaikutusarviointilaskennassa työntekijöiden olosuhteita ja kahta yhteiskuntasidosryhmään koskevaa alavaikutusluokkaa (taulukko 9). Tarkasteluun on sisällytetty alavaikutusluokka korkean konfliktin alueet, joka koskee yhteiskuntasidosryhmää.

Sidosryhmäluokka	Alavaikutusluokka
	palkan arviointi
	työntekijät ja köyhyys
	lapsityövoima

työntekijät	pakkotyövoima
	sosiaaliset etuudet (esim. sairausloma- raha)
	ammattiperäiset myrkylliset aineet ja ter- veysuhat
	loukkaantumiset ja kuolemantapaukset
yhteiskunta	korkean konfliktin alueet
	korruptio

Taulukko 9. Sidosryhmät ja niihin kohdistuvat alavaikutusluokat (mukaillen Ben-
nema ym. 2022, 17–20).

Kaiken kaikkiaan elinkaariaviointiin on otettu huomioon kaksi sidosryhmäluok-
kaa ja yhdeksän alavaikutusluokkaa. Yhtensä keskeisimpänä sidosryhmäluok-
kana huomioidaan työntekijät ja niihin kohdentuvat sosiaaliset riskit eli alavaiku-
tusluokat sosiaaliset etuudet ja ammattiperäiset myrkylliset aineet ja terveyst-
uhat.

7.1.5 Olettamukset

Saksalaisen kansainvälisen tutkimusinstituution Fraunhofer ISI:n tutkijan blogin
mukaan NMC- katodiaktiivimateriaalin tuotannon osuutta johtaa Kiina yli 60 pro-
sentin tuotanto-osuudella (Inclán 2023.) Tätä tietoa on hyödynnetty katodiaktiivi-
materiaalin alkuperää määrittäessä toteutusvaiheessa, joka lienee samalla ajal-
lisesti tuorein ja ilmaiseksi saatavilla oleva materiaalin alkuperätutkimus.

NMC -katodiaktiivimateriaali on koko litiumakun suurin kustannustekijä, muiden
kustannustekijöiden jakautuessa pienempiin osiin. Suuren kustannustekijän
vuoksi, kaikki materiaalikustannukset sekä valmistamisprossien ja ostotuottei-
den hankinnan oletetaan tapahtuvan myös Kiinassa vaikutusarviointin tekemi-
sen ja esittämisen yksinkertaistamisen vuoksi. Toisin sanoen kaikki tarkastelta-
vat GTAP -sektorit SHDB v5.0 -tietokantaa käyttäen on oletettu kiinalaisiksi.

Vaihtoehtoinen vaikutusarviointilaskenta samalla vaikutusarviointimenetelmällä toteutetaan ja esitetään olettamalla samat GTAP -sektorit saksalaisiksi.

Litiumakun kustannustiedoista ei ole jätetty pois mitään lukuun ottamatta pientä kustannustietoa. Tarkastelusta on jätetty pois varastointikustannustieto yhtä litiumakkua kohden sen kustannusmäärän vähäisyyden vuoksi ja olettaen sen merkittävyys vaikutusarvioinnissa mahdollisesti omana sektorinaan vähäiseksi.

7.2 Inventaarioanalyysi S-LCI

Inventaarioanalyysiin kuuluva tiedonkeruuvaihe ja inventaariotietojen päävaatimukset ovat osa tämän opinnäytetyön menetelmällisiä valintoja. Yhden litiumakun valmistukseen liittyvät inventaariotiedot on esitetty materiaalien (taulukko 10), ostotuotteiden (taulukko 11) ja valmistukseen liittyvien kokoonpanojen (taulukko 12) kustannustietojen mukaan. Vaikutusarviointilaskentavaiheessa kustannusmäärät on syötetty yhden dollarin tarkkuudella vuoden 2011 Yhdysvaltain dollarin valuuttakurssin mukaan.

Litiumakun valmistustaso	Materiaali tai komponentti	Kustannus (USD 2011) \$	Alkuperä	SHDB v5.0 - mukainen GTAP-sektori
	Positiivinen aktiivimateriaali NMC	4081,14	Kiina	(nmm)/ CHN S
	Negatiivinen aktiivimateriaali	721,93	Kiina	(nmm)/ CHN S
	Sidoshiili	17,06	Kiina	(nmm)/ CHN S
	Sitoja-aine	53,51	Kiina	(crp)/ CHN S
	Liuottimet	106,24	Kiina	(crp)/

1 kpl:n litiumakkuun tarvittava materiaalin tai komponentin valmistus				CHN S
	Positiivinen virrankeräin	37,22	Kiina	(nfm)/ CHN S
	Negatiivinen virrankeräin	239,61	Kiina	(nfm)/ CHN S
	Separaattori	281,48	Kiina	(crp)/ CHN S
	Elektrolyytti	224,88	Kiina	(crp)/ CHN S
	Lisäaineet	-	Kiina	-
	Materiaalit/komponentit yhteensä	5763,07	Kiina	-

Taulukko 10. Materiaalien ja komponenttien inventaariotiedot (mukaillen Knehr ym. 2022).

Ostotuotteiden inventaariotiedot (taulukko 11) on esitetty kennosto-, moduuli- ja pakettitasolla. Ostotuotteet tulevat oletetun litiumakun valmistustehtaan ulkopuolelta, mutta ostotuotteet jakautuvat samankaltaisiin sektoreihin.

Litiumakun valmistustaso	Ostotuotteet	Kustannus (USD 2011) \$	Alkuperä	SHDB v5.0:n mukainen GTAP -sektori
1 kpl:n litiumakkuun tarvittavat ostotuotteet kennostoon	Positiiviset terminaalit	32,57	Kiina	(nfm)/CHN S
	Negatiiviset terminaalit	65,91	Kiina	(nfm)/CHN S
	Kotelot	86,85	Kiina	(crp)/CHN S
	Yhteensä	185,33	Kiina	-
1 kpl:n litiumakkuun tarvittavat ostotuotteet moduuliin	Alumiininen lämmönjohdin	69,79	Kiina	(nfm)/CHN S
	Moduulin hallintajärjestelmä	399,95	Kiina	(ele)/CHN S
	Kennostoliittimet	68,24	Kiina	(nfm)/CHN S
	Liitinpaneeli	14,73	Kiina	(crp)/CHN S

	Moduuliterminaalit	13,18	Kiina	(nfm)/CHN S
	Moduulin suoja	55,83	Kiina	(fmp)/CHN S
	Kaasun ulosvienti	8,53	Kiina	(crp)/CHN S
	Yhteensä	630,25	Kiina	-
1 kpl:n litiumakkuun tarvittavat ostotuotteet pakettiin	Riviräkkimateriaalit	51,95	Kiina	(nfm)/CHN S
	Elastomeeripadit	2,33	Kiina	(crp)/CHN S
	Moduulikiinnittimet ja signaalijohdotus	16,28	Kiina	(nfm)/CHN S
	Kokoojakisko paketeille	7,75	Kiina	(nfm)/CHN S
	Viilennyspaneelit	41,87	Kiina	(fmp)/CHN S
	Jäähdytyskammiot	6,98	Kiina	(fmp)/CHN S
	Pakettiterminaalit ja tiivisteet	4,65	Kiina	(nfm)/CHN S
	Paketin alumiinikerros	89,18	Kiina	(nfm)/CHN S
	Paketin eristys	13,96	Kiina	(crp)/CHN S
	Peruslämpöjärjestelmä	65,91	Kiina	(ele)/CHN S
	Lämmitysjärjestelmä	16,28	Kiina	(ele)/CHN S
	Yhteensä	317,14	Kiina	-
		Kaikki ostotuotteet yhteensä	1132,72	Kiina

Taulukko 11. Ostotuotteiden inventaaritiedot (mukaillen Knehr ym. 2022).

Litiumakun valmistuskokoonpano- ja linjastokustannukset (taulukko 12) on esitetty viimeisenä vaiheena ennen täysin valmista litiumakkua. Tähän taulukkoon on sisällytetty oletetun tehtaan rakentamiskustannukset yhtä litiumakkua kohden.

Litiumakun valmistustaso	Kokoaminen/prosessi	Kustannus(USD 2011) \$	Alkuperä	SHDB v5.0:n mukainen sektori
1 kpl:n litiumakkuun valmistuskoonpanot/ linjastot	Elektrodien prosessointi	293,89	Kiina	(ome)/CHN S
	Kennoston kokoaminen	281,48	Kiina	(ome)/CHN S
	Testaaminen, tiivistäminen	384,62	Kiina	(ome)/CHN S
	Moduulin kokoaminen	58	Kiina	(ome)/CHN S
	Paketin kokoaminen	52,73	Kiina	(ome)/CHN S
	Rakentaminen	568,40	Kiina	(cns)/CHN S
	Valmistuskoonpanot/ linjasto Yhteensä	1639,12	Kiina	-
1 kpl:n litiumakkuun tarvittava akunhallintajärjestelmä (BMS)	Elektroniikkakomponentin valmistaminen	294,67	Kiina	(ele)/CHN S
	Kaikki toiminnot/prosessit yhteensä	8829,58	Kiina	-

Taulukko 12. Valmistuskoonpanojen/-linjastojen inventaariotiedot, akun hallintajärjestelmä ja koko litiumakun rahallinen arvo yhteensä (mukaillen Knehr ym. 2022).

7.3 Vaikutusarviointi S-LCIA

Toteutusvaiheessa vaikutusluokkien ja niitä täsmentävät alavaikutusluokat on täydennetty niitä kuvaavilla indikaattoreilla lyhennekoodeineen (taulukko 13). Vaikutusarvioinnissa valitut alavaikutusluokat kuvaavat eniten työoloja ja näin

ollen työoloihin liittyviä indikaattoreita on eniten suhteessa muihin alavaikutusluokkiin.

Alavaikutusluokkatarkastelusta jätettiin toteutusvaiheessa arvovalintaisesti pois köyhyys ja epätasa-arvo. Sen sijaan litiumakun testivaikutusarviointilaskentaa tehdessä huomattiin olevan potentiaalinen sosiaalinen riski alavaikutusluokassa sosiaaliset etuudet, joten se valittiin yhdeksi tarkasteltavaksi alavaikutusluokaksi.

Vaikutusarviointilaskenta on suoritettu SimaPro 9:llä, jossa inventaariotiedot on sijoitettu SHDB v5.0:n sektoreiden mukaisesti ja käyttäen laskentametodina Social Hotspot 2022 Subcategory Method w Norm / global per capita annual, joka ilmoittaa normalisoidut tulokset pistearvoyksikkönä (pt) ja karakterisoidut vaikutusarvioinnin tulokset yksikössä mrheq. Laskentavaihe on suoritettu käyttäen SimaPro 9:n systeemiprosessi-vaihtoehtoa.

Valittu vaikutusarviointimetodi noudattaa SHDB v5.0:n mukaisia riskitasokertoimia (taulukko 13). Riskitason kertoimia alavaikutusluokittain ei ole kuitenkaan kartoitettu erikseen Kiinassa, koska SHDB v5.0 -tietokantaa käytettäessä SimaPro 9:ssä vaikutusarviointilaskennan oletetaan sisältävän riittävän riski-informaation tarkasteltavissa alavaikutusluokissa, kun litiumakun kustannustiedot tunnetaan sektoreittain.

Vaikutusarviointimenetelmä: Social Hotspot 2022 Subcategory Method w Norm / global per capita annual”		
Riskitasokertoimet (Mrh) vaikutusarviointilaskennassa eli karakterisointikertoimet (SHDB v5.0) erittäin matala riski = 0.1 = keskitason riski= 1, korkea riski = 5, erittäin korkea riski = 10 Karakterisoitujen tulosten yksikkö: mrheq		
Vaikutusluokka (SHDB v5.0)	Alavaikutusluokka (SHDB v5.0)	Indikaattorit (SHDB v5.0)
1 Työolot	1.A Palkan arviointi	1A.b Sektorin keskimääräinen palkka alle vähimmäispalkan 1A.c Sektorin keskimääräinen palkka alle perustason 1A.d Sektorin keskimääräinen palkka alle maan minimipalkan

		1.A.z Riski palkan ollessa alle perustasojen maan kokonaissektorissa
	1.C Työntekijät ja köyhyys	1C.z. Työllistetty väestö prosentteina, jotka elää alle kansainvälisen köyhyysrajan (1.9 USD)
	1.D Lapsityö	1.D.a Riski poikien lapsityövoimasta maassa (UNICEF) 1.D.b Riski tyttöjen lapsityövoimasta maassa (UNICEF) 1.D.c Riski kokonaislapsityövoimasta maassa (UNICEF) 1.D.f Riski lapsuusajan menettämisestä (Pelastakaa Lapset) 1.D.g Riski koskien lapsien oikeuksia työpaikalla (indeksi) 1.D.h Kokonaismaakohtainen lapsityövoiman riski 1.D.z Kokonaismaakohtaisen sektorin riski lapsityövoimalle
	1.E Pakkotyö	1.E.a Ihmiskauppariski (DoL) 1.E.b Pakkotyön riski ts. moderni orjuus (globaali orjuuden indeksi,) 1.E.c Kokonaismaakohtainen riski pakkotyölle 1.E.z Kokonaismaakohtainen riski sektoreittain pakkotyölle
		1.I.a Vuosilomamaksujen saatavuus työntekijöille

	1.I Sosiaaliset etuudet	1.I.b-d Sairaslomarahaa ja sen aloitus sekä kesto 1.I f-g Muut vapaapäivätyypit (esimerkiksi lapsivapaa ja koulutus) 1.I.h-i Äitiysloma (maksu ja kesto) 1.I j-k Isyysloma (maksu ja kesto) 1.I. h-k Vanhempainvapaa (maksu ja kesto) 1.I.o Sosiaalisten avustusohjelmien saatavuus suhteutettuna väestöön 1.I.z Sosiaalisten etuuksien kokonaisriski
--	-------------------------	---

Taulukko 13. Työolojen valitut alavaikutusluokat ja indikaattorit (mukailien Ben-nema ym. 2022,17–18).

Alkuperäisten alavaikutusluokkavalintojen lisäksi huomattiin litiumakun testivaikutusarviointilaskentaa tehdessä, että ammattiperäisten kroonisten sairauksien riski eli alavaikutusluokkana ilmaistuna myrkyllisten aineiden ja terveysuhkien riski on sosiaalinen riski Kiinassa. Alavaikutusluokat koskien työntekijöiden terveyttä ja turvallisuutta ja niitä kuvaavat indikaattorit (taulukko 14) on valittu yhdeksi keskeisimmäksi valinnaksi.

Vaikutusluokka (SHDB v5.0)	Alavaikutusluokka (SHDB v5.0)	Indikaattorit (SHDB v5.0)
	2.A. Ammattiperäiset myrkylliset aineet ja terveysuhat	2.A.e Ammattiperäinen melu-aiheinen riski 2.A.l-m Ammattiperäinen syöpäriski 2.A.n Ammattiperäinen astmariski 2.A.o Ammattiperäinen COPD-riski eli keuhkoah- taumataudin riski

2. Terveys ja turvallisuus		2.A.p-q-s Ammattiperäinen keuhkokuumeriski 2.A.t-v Ammattiperäinen tarttuvan sairauden riski 2.A.z Kokonaisriski ammattiperäisille myrkyllisille aineille ja terveysuhille
	2.B. Loukkaantumiset ja kuolemantapaukset	2.B.e Ammattiperäisen liikenneonnettomuusriski 2.B.f Ammattiperäisen myrkytyksestä aiheutuva loukkaantumisen riski 2.B.g Ammattiperäisen puutoamisloukkaantumisen riski 2.B.h Ammattiperäiset palamis-/lämpöloukkaantumiset 2.B.i Ammattiperäinen hukkumiset 2.B.j Ammattiperäisestä aiheutuvat puristusloukkaantumiset 2.B.z Kokonaisammattiperäiset tahattomat loukkaantumiseriskit

Taulukko 14. Terveys ja turvallisuus- vaikutusluokan alavaikutusluokat ja indikaattorit (mukaanlennettuna Bennema ym. 2022,18–19).

Yhteiskunta-vaikutusluokkaan kuuluva alavaikutusluokka korkean konfliktin alueet (taulukko 15) on sisällytetty vaikutusarviointiin kokeiluna, koska osa litiumakkuun tarvittavien materiaalien raaka-aineista tarvitaan muun muassa kobolttia ja sen oletetaan todellisuudessa tulevan Kongon Demokraattisesta tasavallasta (Thies ym., 2019,295). Alavaikutusluokkavalinnassa on huomioitu, että Kongon demokraattinen tasavalta on konfliktialue (Global Conflict Tracker 2023). Tässä opinnäytetyössä kuitenkin raaka-aineiden kuten kobolttin louhinta ja sen kustannukset oletetaan sisältyvän materiaalien kustannuksiin. Näin ollen vaikutusarvioinnin alkuperämaana materiaalien osalta oletetaan olevan Kiina soveltamisalan mukaisesti.

Vaikutusluokka (SHDB v5.0)	Alavaikutusluokka (SHDB v5.0)	Indikaattori (SHDB v5.0)
3. Yhteiskunta	3.C. Korkean konfliktin alueet	3.C.a Korkea konflikti (Heidelberg Instituutti) 3.C.b Valtion haurausindeksi (Center for Systematic Peace) 3.C.d Ihmiset alttiina uhkille (Minority Rights Group) 3.C.f Globaalin Rauhan Indeksiksi 3.C.z Kokonaisriski korkealle konfliktille

Taulukko 15. Yhteiskunta-vaikutusluokan valittu alavaikutusluokka ja sen indikaattorit (mukaillen Bennema ym. 2022,19).

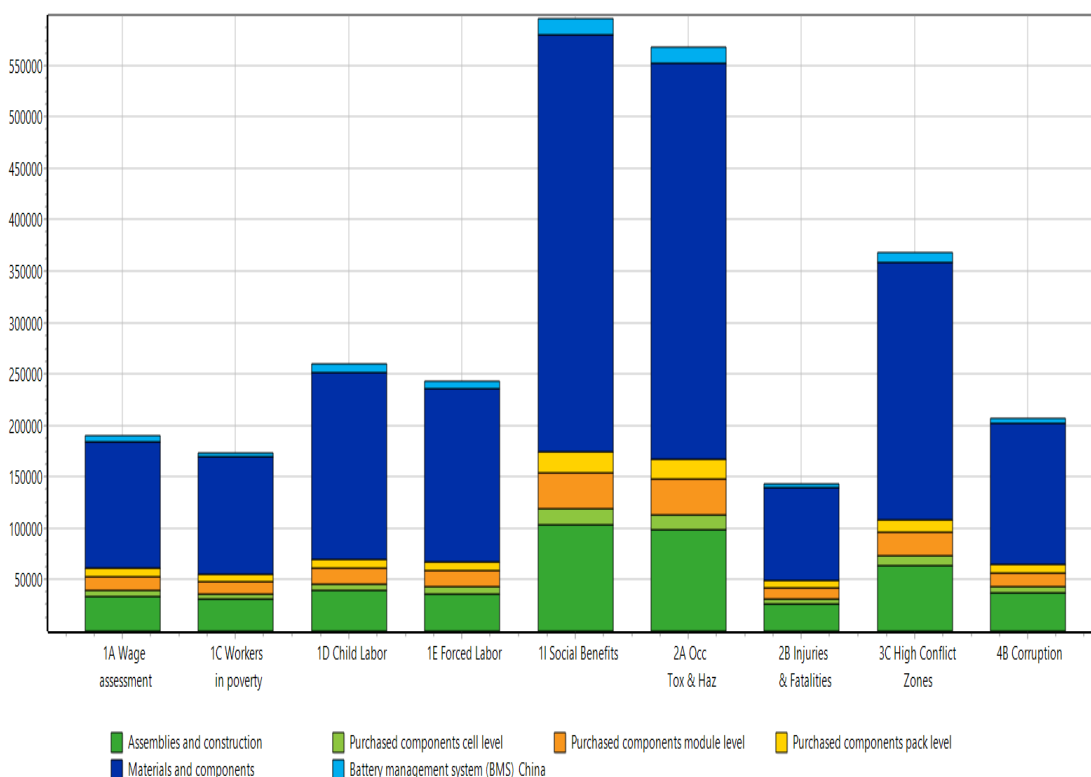
Neljännän vaikutusluokan ”hallinto” alavaikutusluokka korruptio (taulukko 16) on valittu vaikutusarviointiin kokeiltavaksi ja suurusluokkaa vertailemaan muiden alavaikutusluokkien kesken.

Vaikutusluokka (SHDB v5.0)	Alavaikutusluokka (SHDB v5.0)	Indikaattori (SHDB v5.0)
4.Hallinto	4.B. Korruptio	4.B.a Maailman hallinnon korruption indikaattori (Maailman Pankki) 4.B.b Korruptio (Kilpailukyvyyn raportointi WEF) 4.B.c Korruption havaitsemisen indeksi (CPI) (Transparency International) 4.B.d CPI:n 3-vuotinen trendi 2017-2020 (Transparency International) 4.B.z Kokonaisriski korruptiolle

Taulukko 16. Hallinto-vaikutusluokan valittu alavaikutusluokan ”4.B korruptio” indikaattorit esitettynä (mukaillen Bennema ym. 2022,20–21).

7.4 Litiumakun sosiaalinen jalanjälki

SimaPro 9:llä tehdyn vaikutusarvioinnin alavaikutusluokkien tulokset esitetään valitun laskentametodin mukaisesti ensimmäiseksi normalisoiduin tuloksin (kuvio 8), joiden päätarkoitus on olla vertailukelpoinen alavaikutusluokkien kesken. Toisin sanoen kyseinen kuvio esittää litiumakun niitä tasoja pisteytettynä (pt), joissa potentiaaliset sosiaaliset vaikutukset ovat suurimmillaan tarkasteltavissa alavaikutusluokissa (taulukko 17). Huomataan, että selvästi suurin osa litiumakun potentiaalista sosiaalista vaikutuksista muodostuu materiaalien ja komponenttien valmistuksesta (sininen palkki) Kiinassa.



Method: Social Hotspot 2022 Subcategory Method w Norm / global per capita annual / Normalization
Analyzing 1 p Battery pack 100kWh NMC;

Kuvio 8. SimaPro 9:ssä suoritetun vaikutusarviointi ja litiumakun alavaikutusluokkien potentiaalisten sosiaalisten vaikutusten vertailu normalisoiduin tuloksin. Palkkien värit: sininen= materiaalien ja komponenttien valmistustaso, vihreä= kokoonpano-/linjastokustannukset, vaalean vihreä= kennoston ostotuotteet,

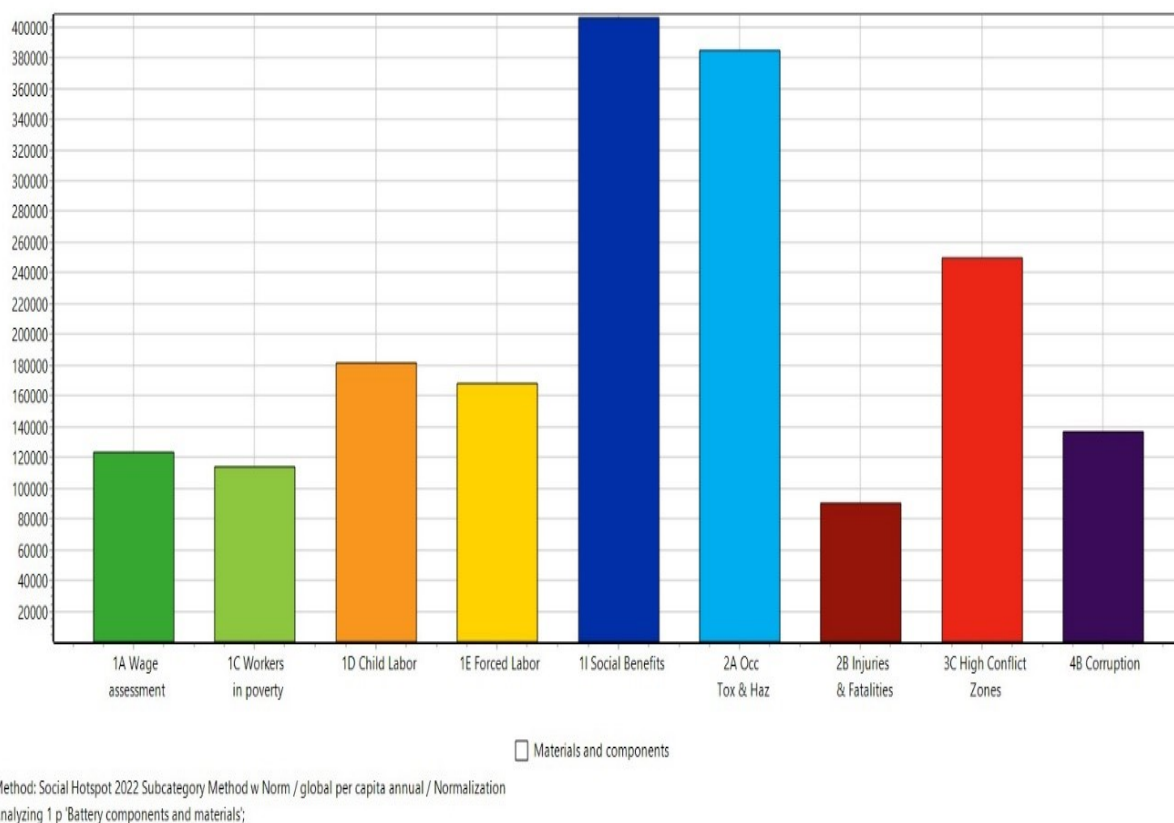
oranssi= moduulin ostotuotteet, keltainen= akun kotelon ostotuotteet, vaaleansininen= akun hallintajärjestelmä

Eniten materiaalien ja komponenttien valmistuksesta sosiaaliset vaikutukset kohdentuvat alavaikutusluokkiin 1.I sosiaaliset etuudet ja 2.A ammattiperäiset myrkyllisyydet ja terveysuhat (kuvio 8 ja kuvio 9) ja näin ollen työntekijät-sidosryhmään.

Alavaikutusluokka	Normalisoitu tulos (pt)
1.A Palkan arviointi	189878
1.C Työntekijät köyhyydessä	173676
1.D Lapsityö	259214
1.E Pakkotyö	242940
1.I Sosiaaliset etuudet	595311
2.A Ammattiperäiset myrkyt ja terveysuhat	567126
2.B Loukkaantumiset ja kuolintapaukset	143453
3.C Korkean konfliktin alueet	367823
4.B Korruptio	207299

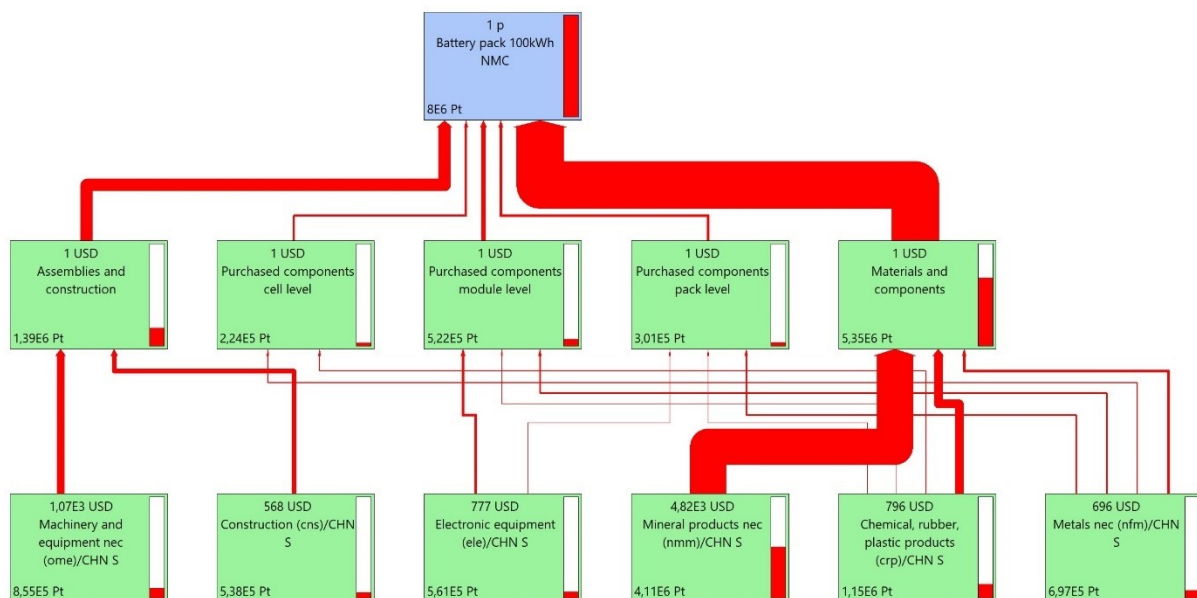
Taulukko 17. SimaPro 9:n mukaiset vaikutusarviointilaskennan normalisoidut tulokset

Materiaalien ja komponenttien valmistustaso havainnollisestaan myös erillisenä tuloskaaviona (kuvio 9), josta ilmenee valitut alavaikutusluokat ja niiden suuruudet. Sininen palkki kuvaa alavaikutusluokkaa 1.I sosiaaliset etuudet ja vaaleansininen 2.A ammattiperäisiä myrkyllisiä aineita ja terveysuhkia.



Kuvio 9. SimaPro 9:n mukainen materiaalien ja komponenttien vaikutusarviointi sekä alavaikutusluokkien vertailu normalisoiduin tuloksin.

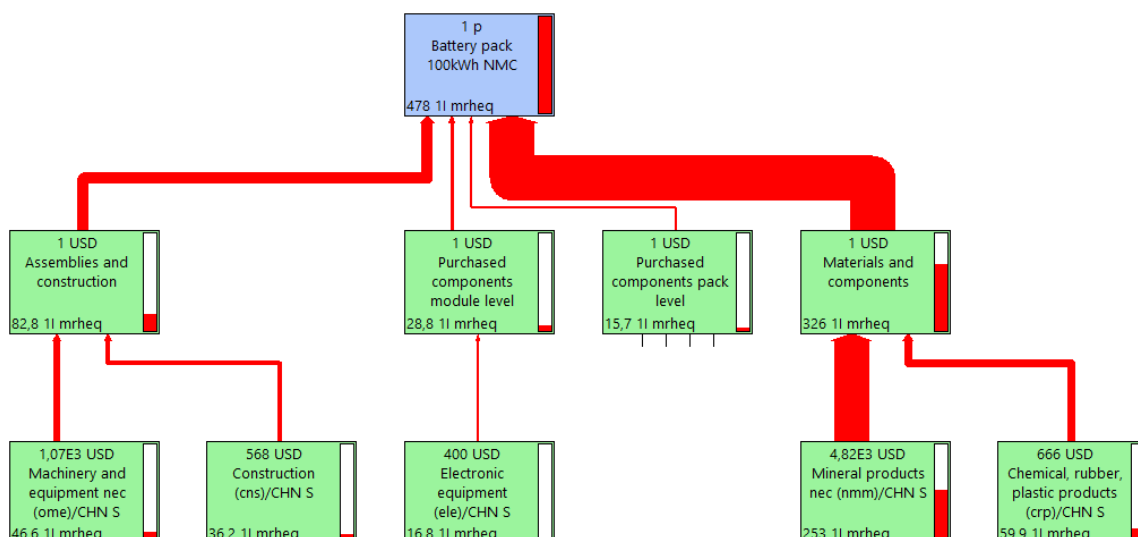
Kuvio 8:n mukainen pisteytys normalisoiduin tuloksin ja sen jakautumista sektoreittain yhtä litiumakkua kohden havainnollistetaan SimaPro 9:ssä tehdyn vaikutusarviointilaskennan sankey -kaaviossa (kuvio 10). Kyseisestä kaaviosta huomataan materiaali- ja komponenttitasosta aiheutuvat potentiaaliset sosiaaliset vaikutukset, jotka aiheutuvat mineraalien sektorista Kiinassa. Tähän sektoriin luokituu litiumakun suurin kustannustekijä eli NMC -katodiaktiivimateriaali.



Kuvio 10. SimaPro 9:n mukainen sankey -kaavio ja litiumakun sektorikohtaiset kustannustiedot ja niiden pisteytetyt osuudet vaikutusarvioinnissa normalisoiduin tuloksin

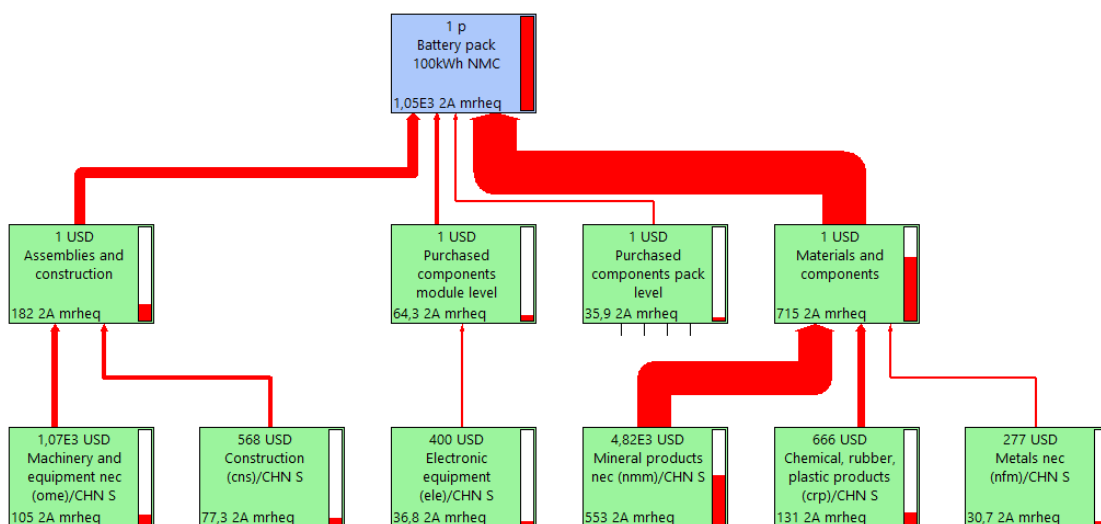
7.4.1 Alavaikutusluokkien karakterisoidut tulokset

Vaikutusarviointiin valitut alavaikutusluokat esitetään valitun metodin mukaisesti myös karakterisoiduin tuloksin. Vaikutusarviointilaskennasta huomattavat potentiaaliset sosiaaliset riskit 1.I sosiaaliset edut ja 2.A ammattiperäiset myrkylliset aineet ja terveysuhat esitetään SimaPro 9:n mukaisilla sankey-kaavioilla (kuvio 11 ja 12). Potentiaaliset sosiaaliset vaikutukset tuloksina on ilmaistu keskimääräisin riskituntiekvivalentein (mrheq) sektorikohtaisesti (taulukko 18).



Kuvio 11. SimaPro 9:n mukainen sankey -kaavio, josta ilmenee alavaikutusluokan 1.I sosiaaliset etuudet karakterisoitu tulos. Osa sektoritietoista on jäänyt piiloon oletuksena SimaPro 9:n laskentavaiheessa

Suurin vaikutusarvioinnin karakterisoitu tulos huomataan olevan alavaikutusluokassa 2.A ammattiperäiset myrkyllisyydet ja terveysuhat (kuvio 12) eli yli 1000 mrheq.



Kuvio 12. SimaPro 9:n mukainen sankey-kaavio, josta ilmenee alavaikutusluokan 2.A ammattiperäiset myrkylliset aineet ja terveysuhat karakterisoitu tulos yksikössä mrheq sektoreittain esitettynä. Osa litiumakun rahavirroista on SimaPro 9:n oletuksena piilotettu.

Alavaikutusluokkien karakterisoidut tulokset ilmenevät myös taulukosta, johon on koottu myös muiden valittujen alavaikutusluokkien keskimääräiset riskituntiekvivalentit (taulukko 18). Huomataan, että karakterisoituna alavaikutusluokka 1.I sosiaaliset etuudet ei ole enää määrällisesti 2.A. ammattiperäisten myrkyllisten aineiden ja terveysuhkien rinnalla suurin potentiaalinen sosiaalinen vaikutus kohdentuen työntekijät-sidosryhmään.

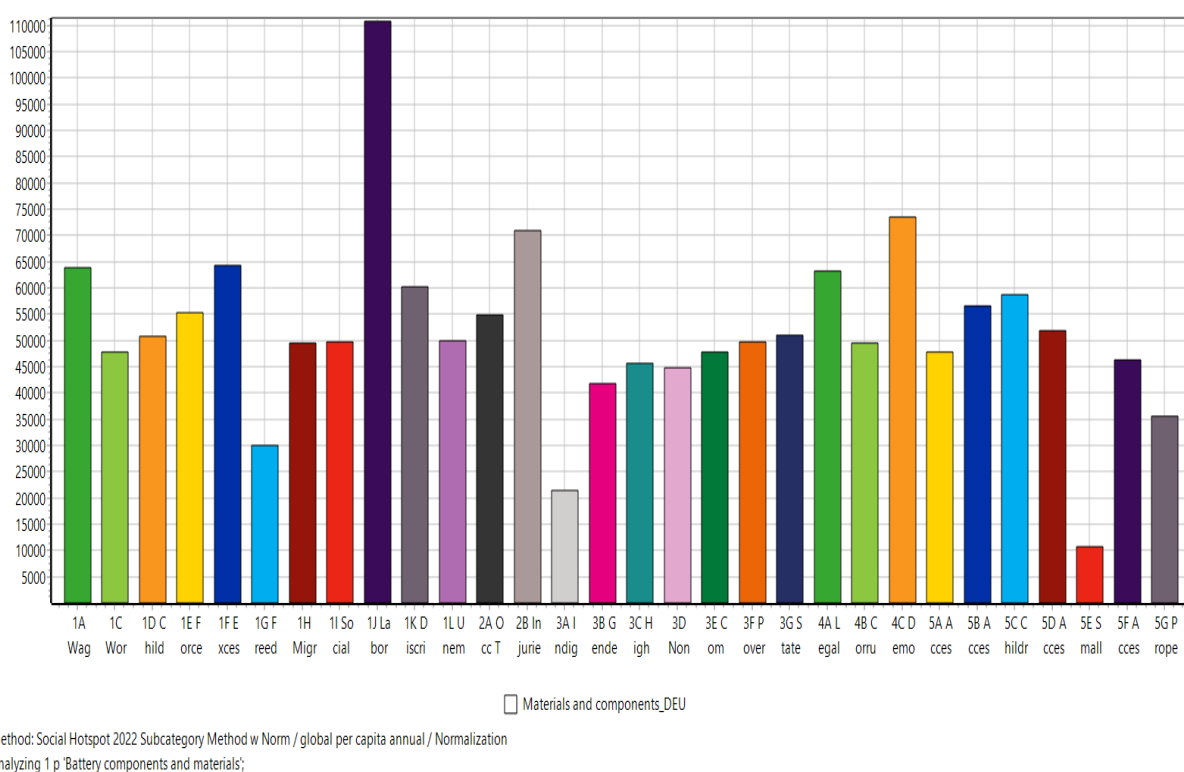
Alavaikutusluokka	Karakterisoidut keskimääräiset riskituntiekvivalentit yhteensä (mrheq)
1.A palkan arviointi	477
1.C työntekijät köyhyydessä	279
1.D lapsityö	384
1.E pakkotyö	603
1.I sosiaaliset etuudet	478
2.A ammattiperäiset myrkylliset aineet ja terveysuhat	1052
2.B loukkaantumiset ja kuolintapaukset	426
3.C korkean konfliktin alueet	569
4.B korruptio	197

Taulukko 18. SimaPro 9:llä suoritettujen vaikutusarviointilaskennan alavaikutusluokkien karakterisoidut tulokset eli keskimääräiset riskituntiekvivalentit koottuna.

7.4.2 Litiumakun vaihtoehtoinen sosiaalinen jalanjälki

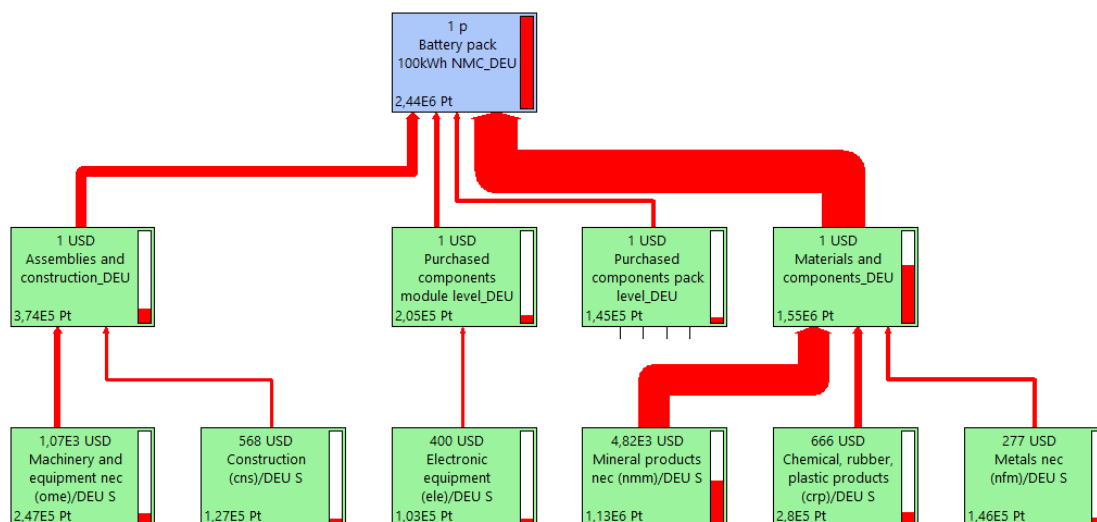
Sosiaalisten vaikutusten elinkaariarvioinnin soveltamisalan mukainen oletamus, että litiumakun valmistaminen toteutetaan täysin Kiinassa, on pääasiallinen tarkastelun kohde. Vaikutusarviointilaskenta kokeiltiin kuitenkin vaihtoehtoisesti materiaali- ja komponenttitasolla myös, että jos niiden valmistus oletettaisiin tapahtuvan täysin Saksassa. Inventaariotietoihin ei muutettu mitään muuta kuin oletettujen, litiumakun valmistamiseen liittyvien kustannustietojen alkuperä.

Materiaali- ja komponenttitason vaikutusarviointilaskenta ja sen normalisoidut tulokset esitetään kokonaisuudessaan, josta ilmenee kaikki sosiaaliset alavaikutusluokat (kuvio 13). Huomataan, että piste-arvoiltaan suurimmat alavaikutusluokat ovat tässä opinnäytetyössä arvovalintojen ja testivaikutusarviointivalintojen ulkopuolella. Suurimmat pisteytysarvoiltaan olevat alavaikutusluokat ovat 1.J työlait ja sopimukset ja 4.C demokratia ja sananvapaus.



Kuvio 13. SimaPro 9:n mukaiset litiumakun vaikutusarvioinnin oletetut normalisoidut tulokset (Pt) materiaali- ja komponenttitasolla Saksassa

Saksassa oletetun litiumakun valmistaminen ja niiden jakautumista sektoreihin kokonaisuudessaan esitetään myös sankey-kaaviolla, josta ilmenee kaikki tunnistetut litiumakkuun tarvittavat sektorit (kuvio 14).



Kuvio 14. SimaPro 9:n mukainen sankey-kaavio, joka kuvaa Saksassa valmistetun litiumakun sektoreita ja kokonaispistearvoja normalisoiduin tuloksin. Sankey-kaaviossa on piilossa litiumakun kennostoon tarvittavien ostotuotteiden rahavirta.

Kuviosta (kuvio 14) ilmenee samankaltaisesti sektoreihin jakautuminen, kuin Kiinassakin oletetun litiumakun valmistamista esittävästä sankey-kaaviosta (kuvio 9).

7.5 Sosiaalisen jalanjäljen tulkinta ja johtopäätökset

Vaikutusarviointilaskennan normalisoitujen tuloksien mukaan valituista alavaikutusluokista 1.I sosiaaliset etuudet ja 2.A ammattiperäiset myrkylliset aineet ja terveysuhat ovat Kiinassa suurimpia sosiaalisia riskikategorioita työntekijöihin kohdentuen. Näihin alavaikutusluokkiin on tutkittu muutamia taustalähteitä tukemaan ja selittämään osaltaan potentiaalisia sosiaalisia vaikutuksia.

Alavaikutusluokka 1.I sosiaaliset etuudet sisältää sosiaalisia indikaattoreita koskien muun muassa maksetun vuosiloman määrää ja eri elämäntilanteiden mukaisia lomia ja niiden kestoja (taulukko 13). Kiinan työlainsäädäntö vaihtelee provinseittain, mutta Kiinan työlainsäädäntö käsittää ainakin vuosiloman virkavuosien mukaan, erilaisia lapsivapaita ja sairasloman tiettyine ehtoineen (China Briefing 2024). Sosiaalisten etuuksien esimerkitapaukset kuten vuosiloma virka-ajan mukaan, äitiysloma, vanhempainvapaa ja sairasloma Kiinassa ja niiden yleiset tiedot esitetään taulukossa (taulukko 19).

Sosiaalinen etu	Arvioitu rahallinen määrä tai kesto
Vuosiloman määrä työntekijöille	Virka-ajan mukaan maksettavat vuosilomapäivät 1 vuosi = ei vuosilomaa 1-10 vuotta = 5 päivää 10-20 vuotta = 10 päivää Yli 20 vuotta = 15 päivää
Sairasloma	Yleisesti työnantajan päätettävissä maksettavat sairauslomapäivät
Raskausloma ja sen seuraaminen	Yleisesti alkaen 12. raskausviikolta
Äitiysloma ja äitiysloman avustus	Kaksiosainen työnlainsäädäntöön koskien: perusäitiysloman kesto 98 päivää. Yleisesti avustus määräytyy laskentakaa- van mukaan, jossa otetaan huomioon yrityksen keskimääräinen palkka viimeisen vuoden ajalta, ja äitiyslomapäivät
Isyysloma	Mahdollista saada laillisesti aviossa ollessa, mutta ei yhtenäistä isyyslomalainsäädäntöä
Vanhempainvapaa	Rahallinen avustus mahdollinen. Paikallisten viranomaisten hallinnoima ja alueellinen vaihtelevuus

Taulukko 19. Kiinan työnlainsäädännön mukaisia sosiaalisia etuuksia (mukaillen China Briefing 2024).

Kiinan työnlainsäädännön mukaisia sosiaalisia etuuksia (taulukko 19) tarkastellessa huomataan, että joissakin etuuksissa työnantajilla ja paikallisilla viranomaisilla on itsenäisiä määräämisoikeuksia antamaan sosiaalisia etuuksia työntekijöille. Näin ollen vaikutusarvioinnin mukainen tulos käyttäen SHDB v5.0 -tietokantaa, joka koskee alavaikutusluokkaa Kiinassa 1.1 sosiaaliset etuudet, liittyy Kiinan työlainsäädännön epäyhtenäisyyksiin ja viranomaisten itsenäisiin asemiin.

Alavaikutusluokka 2.A ammattiperäiset myrkylliset aineet ja terveysuhat Kiinassa on vaikutusarviointilaskennan mukaan toinen ja merkittävä sosiaalinen riski, joka kohdentuu työntekijät -sidosryhmään. Tämän alavaikutusluokan sosiaaliset indikaattorit kuvaavat kroonisia ja vakavia ammattiperäisiä sairauksien riskejä kuten esimerkiksi astmaa, keuhkokuumetta ja keuhkohtaumatautia (taulukko 14). Näitä keuhkoperäisiä sairauksia aiheuttava yksi pöly on SHDB v5.0:n tietolähteiden mukaan keuhkokarsinogeeni silika eli piioksidi, ja sillä on yhteys keuhkosyöpäkuolemiin. (Bennema ym. 2022,79.)

Frontiers in Public health -tieteellisen artikkelin mukaan pölykeuhkosairaudet on Kiinassa vaarallisin ammattiperäinen sairaus. Tieteellisessä artikkelissa on tutkittu kyselyn avulla tapauskohtaisia pölykeuhkosairastumisia ja siinä on saatu kyselyn avulla Kiinassa eri alueilta yhteensä 1134 työntekijältä vastauksia, jotka ovat sairastuneet pölykeuhkosairauksiin työskennellessään kaivoksilla tai valmistustehtailla. Tutkimuksen mukaan pölykeuhkosairauksista yleisin on silikoosi, johon on sairastunut 997 työntekijää. (Hu, Wu & Qiao 2023.)

Litiumakkuun tarvittavien raaka-aineiden todellisia louhinnan sijainteja ja määriä ei soveltamisalan mukaisesti ole kuitenkaan kartoitettu, mutta tarkasteltavan alavaikutusluokan osalta vaikutusarviointituloksissa käy huomionarvoisesti ilmi että 2.A ammattiperäiset myrkylliset aineet ja terveysuhat on yksi suurimmista sosiaalisista riskeistä Kiinassa. Keuhkoperäisiä sairauksia kuvaavilla sosiaalisilla indikaattoreilla (taulukko 14) lienee siten yhteys ainakin tieteellisen artikkelin mukaiseen silikoosiin.

7.5.1 Vaihtoehtoisen sosiaalisen jalanjäljen tulkinta ja johtopäätökset

Vaihtoehtoisesti litiumakun valmistamisen alkuperämaana tarkasteltava Saksa on valittu arvovalintaisesti ja hieman taustalähteitä tutkimilla vertaamaan Kiinaa. Saksalaisen kansainvälisen tutkimusinstituution tutkija Fraunhofer ISI:n esittää väitteen blogissaan vedoten Euroopan tiedotuksiin sekä dataan BEMA2020-tutkimusprojektista liittyen NMC- katodituotannosta, että vuoteen mennessä 2030 NMC-katodin tuotanto voisi olla Euroopassa suurempaa kuin Kiinassa (Inclán 2023).

Saksassa oletetun litiumakun valmistamisen vaikutusarvioinnin tuloksista käy ilmi erilaisten alavaikutusluokkien kohdentuminen työntekijät- ja hallintosidosryhmiin verraten Kiinan vaikutusarvioinnin tuloksiin. 1.J. työlait ja sopimukset - alavaikutusluokan sosiaaliset indikaattorit ottavat huomioon esimerkiksi maa- ja sektorikohtaisesti työlakien määrää, minimipalkan viimeisintä vuotta, jolloin se on määritetty ja ILO -sopimusten ratifiointia. Alavaikutusluokka 4.C. demokratia ja sananvapaus nousee esiin vaikutusarvioinnin tuloksena toisena riskikategoriana. Tätä alavaikutusluokkaa kuvaavat sosiaaliset indikaattorit kuten esimerkiksi demokratian indeksi (EIU) ja sananvapauden järjestön eli Freedom House -mukainen mittari. (Bennema ym. 2022, 18,21.) Kuitenkaan Saksan ollessa oletettuna alkuperämaana litiumakkuun tarvittavien materiaalien ja komponenttien valmistamisessa, Kiinan mukaisia tarkasteltavia alavaikutusluokkia ei tarkastella enempää soveltamisalan mukaisesti.

8 Luotettavuus ja eettisyys

Opinnäytetyössä käytettävät menetelmälliset valinnat sisältävät luottamuksellisia tiedonantoja. BatPac v5.0:n käyttöön on saatu lupa käyttää opinnäytetyön tekemiseen, joka sisältää kyseiseen laskentamenetelmään excel -tiedoston ja manuaalin.

SHDB v5.0- tietokannan käyttäminen sisältää myös luottamuksellisia dokumentteja, joita on hyödynnetty ja käytetty lähteinä tässä opinnäytetyössä. Tietokannan käyttäminen on yhdistetty elinkaariarviointiohjelmisto SimaPro 9:n, jonka mukaan tuloksia esitetään ISO 14040 ja ISO 14044 -standardeja mukaillen. Opinnäytetyössä esiintyy samankaltaisuutta johtuen aiemmin julkaistusta tieteellisestä artikkelista (Thies, ym. 2019). Tätä tieteellistä artikkelia on hyödynnetty myös tietolähteenä opinnäytetyön aloitusvaiheessa.

9 Pohdinta

9.1 Toteutuksen arviointi

Sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointi (S-LCA) ja siihen liittyvän tutkimustiedon saatavuus ja julkisuus erityisesti suomenkielisistä lähteistä on hyvin vähäistä. Lisäksi tässä opinnäytetyössä käytettävän tietokannan SHDB v5.0 -tietokannan käytön kokemuksia uusine ja käytettävine vaikutusarviointimenetelmineen yhdessä SimaPro 9:n elinkaarimallinnussovelluksen kanssa ei ole julkisesti tai ilmaiseksi saatavilla opinnäytetyötasolla.

Opinnäytetyön osa tavoitteesta, eli toteuttaa asianmukainen sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointi käyttäen SHDB v5.0 -tietokantaa, on samalla myös koetilulunteinen. Tämä tarkoittaa erityisesti vaikutusarviointivaiheessa sitä, että kerättyjen inventaariotietojen olettamuksien, muutamien lähdetutkimusten ja testivaikutusarviointilaskentojen perusteella keskeisimmät potentiaaliset sosiaaliset vaikutukset ja riskipisteet tarkasteltavissa sidosryhmissä on otettu tarkempaan tarkasteluun ainoastaan Kiinassa.

Menetelmällisien valintojen käyttö opinnäytetyön toteuttamiseen noudattavat ISO 14040- ja 14044 -standardien mukaisia vaatimuksia, mutta myös SHDB v5.0 -tietokannan käyttämiseen tarvittavia vaatimuksia. Tietojen vaatimuksia ottaessa huomioon, on opinnäytetyössä tehty arvovalintaisia valintoja koskien sidosryhmiä ja niihin kohdistuvia sosiaalisia vaikutuksia sekä myös olettamuksia materiaalien tai komponenttien alkuperämaista. Systemin rajojen ulkopuolelle on jätetty puolestaan raaka-aineiden louhinnan ja hankinnan prosessit, koska näiden prosessien todelliset ja alkuperäiset sijainnit sekä määrät ovat monimutkaisia. Tämä päätös tehtiin opinnäytetyön suunnitelmavaiheen jälkeen, ja on poikkeava muutos soveltamisalaan siltä osin. Raaka-aineisiin liittyvät kustannukset oletetaan puolestaan sisältyvän litiumakun materiaalien ja komponenttien kustannuksiin käyttäen BatPac v5.0:n mukaisia kustannusrakennetietoja.

Tässä opinnäytetyössä käytetyt inventaariotiedot vaatimuksineen ja olettamuksineen ja arvovalintoineen mahdollistavat esittämään erityisesti tehdyn

vaikutusarviointivaiheen litiumakulle jokseenkin suoraviivaisesti. Lähtökohtaisesti jos sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointi tehtäisiin todelliselle globaalille ja suuren toimitusketjun omaavalle yritykselle minkälaisesta tuotteesta tahansa, tarkkojen inventaariotietojen hankkimiseen tulisi varata ajallisia ja taloudellisia resursseja mahdollisesti runsaasti. Tämä tarkoittaisi esimerkiksi elinkaariarvioinnille luonteenomaista pyrkimystä tunnistamaan ensimmäiseksi kaikki keskeisimmät sidosryhmät suoraan yrityksen toimintaan perustuen, ja sen jälkeen saada mahdollisesti sidosryhmälähtöistä tietoa ja lopulta tunnistaa niihin kohdistuvat keskeisimmät vaikutusluokat tai alavaikutusluokat tuotejärjestelmän rajojen puitteissa.

Vaikutusarviointivaiheen tulosten jälkeen, niistä tunnistettujen keskeisimpien alavaikutusluokkien eli toisin sanoen riskikategorioiden tunnistamisen tueksi on etsitty tulosten tulkintavaiheessa muutama verkkolähde. Verkkolähteet pyrkivät selittämään osaltaan blogin, verkkoartikkelin tai tieteellisen artikkelin muodossa erityisesti vaikutusarvioinnin tuloksia alavaikutusluokissa ”sosiaaliset etuudet” ja ”ammattiperäiset myrkyllisyydet ja terveysuhat.” Nämä alavaikutusluokkia tukevat verkkolähteet ovat julkisesti ja ilmaiseksi saatavilla sekä niiden ajallinen kattavuus on noin 1–3 vuotta.

Vaihtoehtoinen vaikutusarviointilaskenta litiumakulle tehtiin myös siten, että inventaariotietojen alkuperämaaksi muutettiin kokeilemalla ja olettamalla Saksa. Tällöin huomattiin vaikutusarvioinnin tuloksista, että työlakeihin ja demokratiaan liittyvät sosiaaliset alavaikutusluokat nousevat merkittävimpinä riskikategorioina esiin. Nämä alavaikutusluokat ovat tämän elinkaariarvioinnin tarkasteltavien valintojen ulkopuolella, mutta mielenkiintoista on huomata ja verrata alavaikutusluokkia Kiinan ja Saksan välillä käytetyillä ja saatavilla olevilla inventaariotiedoilla.

9.2 Hyödynnettävyys

Opinnäytetyön hyödynnettävyys ilmenee pilottimaisesti antamalla suuntaviivoja sosiaalisten vaikutusten elinkaariarvioinnin pääperiaatteille. SHDB v5.0-tietokannan käyttäminen SimaPro 9:n elinkaariohjelmiston kanssa antaa

mahdollisuuksia toteuttaa sosiaalisten vaikutusten elinkaariarvioinnin vaikutusarviointivaiheen sujuvasti.

SHDB v5.0 -tietokannan hyödyntäminen SimaPro 9 -ohjelmistossa toimii käytettävyydeltään muiden ympäristöaiheisten tietokantojen tavoin, mutta kerättyjen inventaariotietojen avulla sosiaalisen vaikutusarvioinnin tekeminen ja valitun vaikutusarviointimetodin avulla tulosten tulkinta ja niiden esittäminen on vailla vertailupohjaa. Näin ollen tulosten oikeellisuutta tai täsmällisyyttä pitää pohtia kriittisesti. Tarkempien inventaariotietojen avulla kuten esimerkiksi todellisesti kartoitettujen materiaalien alkuperillä ja vaikutusarviointimetodin valinnalla tulokset ovat todennäköisesti erilaisia, mutta SHDB v5.0 -tietokannan tietovaatimukset ja tulosten esittämistavat SimaPro 9:llä eivät muutu.

Vaikka tässä opinnäytetyössä tuodaan tarkemmin ja yksityiskohtaisemmin esille vaikutusarviointivaiheen jälkeen verkkolähteiden tuella vain kaksi alavaikutusluokkaa, todellisuudessa potentiaalisten sosiaalisten vaikutusten tunnistaminen kohdentuvissa sidosryhmissä ja muidenkin riskikategorioiden tunnistaminen on tärkeää todellisen yrityksen intressien mukaan. Esimerkiksi jos todellinen yritys haluaa selvittää tai pitää mahdollisena tuotteensa valmistuksesta aiheutuvia potentiaalisia sosiaalisia vaikutuksia tunnistetuissa kohdentuvissa sidosryhmissä ja tarkastella riskikategorioita kuten lapsityövoimaa, työntekijöiden köyhyyttä ja työnlainsäädäntöä, ovat tässä opinnäytetyössä käytetyt SimaPro 9 ja SHDB -tietokanta siihen täsmällinen vaihtoehto.

Sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointia voidaan pitää erittäin tärkeänä ja kestäväen kehityksen raportoinnin osana yrityksille jo lähitulevaisuudessa.

5.1.2023 tuli voimaan niin sanottu CSRD -direktiivi suurille ja tietyille pk-yrityksille eli toisin sanoen kestäväen kehityksen raportoinnin direktiivi, joka velvoittaa yrityksiä ottamaan huomioon CSRD -direktiivin säädökset vuodesta 2024 alkaen ja raportoimaan niistä vuodesta 2025 alkaen. CSRD -direktiiviin sisältyvät muun muassa laajemmin yhdessä ympäristölliset ja sosiaaliset näkökohdat yrityshallinnollisten asioiden lisäksi (European Commission 2023). Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2022/ 2464 eli CSRD-direktiivissä sanotaan sosiaalisesta näkökulmasta muun muassa seuraavanlaisesti:

- Tietoisuus riskeistä ja mahdollisuuksista, joita yrityksille ja sijoituksille aiheutuu muista ympäristökysymyksistä, kuten luontokadosta, sekä

terveyskysymyksistä ja sosiaalisista kysymyksistä, myös lapsi- ja pakotyöstä, on niin ikään lisääntymässä. - - (EU 2022/2464).

Uusimman Euroopan Unionin tiedotuksen mukaan, joulukuussa 2023 Euroopan komissio ilmoitti EFRAG:n kehittämistä (European Financial Reporting Advisory Group) Euroopan kestävyysraportoinnin standardeista eli ESRS:n sisällöstä, joka koskee CSRD -direktiivin mukaisia yrityksiä. ESRS sisältää kaiken kaikkiaan 12 standardia. Näistä standardeista kaksi kuvaa raportoinnin sisältöä ja perusvaatimuksia eli standardit ESRS 1 ja ESRS 2. Sosiaalista näkökulmaa kuvaavat puolestaan neljä standardia eli ESRS S1, ESRS S2, ESRS S3 ja ESRS S4. ESRS S1 käsittelee yrityksen omaa työvoimaa, ESRS S2 työntekijöitä yrityksen arvoketjussa, ESRS S3 yrityksen toimintaan liittyvät yhteisöt ja ESRS S4 yrityksen näkökulmaa kuluttajia ja tuotteen loppukäyttäjiä kohtaan. (EU 2023/2772.)

ESRS:n mukaiset sosiaalisen näkökulman standardit vaativat käsittelyyn samankaltaisia sosiaalisia vaikutuksia huomioon kuin mitä sosiaalisten vaikutusten elinkaariarvioinnissakin. Vaatimusstandardin ESRS 2:n mukaisesti esitetynä, standardeissa ESRS S1 ja ESRS S2 esiintyy työolosuhteisiin liittyviä sosiaalisia vaikutuksia kuten terveys ja turvallisuus, työaika ja lapsityö. (EFRAG 2023.) Sosiaalisten vaikutusten elinkaariarviointi ja siihen soveltuvat menetelmälliset valinnat lienevät siten mitä mahdollisin ja sopiva työkalu vastaamaan CSRD -direktiivin mukaisen sosiaalisen näkökulman ja osa-alueen kysymyksiin.

Lähteet

- Areppim: information, pure and simple. 2023. Convert Current to Real US Dollars. https://stats.areppim.com/calc/calc_usdlrxdeflator.php. 3.10.2023.
- Bennema M., Norris G. & Benoit Norris C., 2022. The Social Hotspots Database™ Supporting documentation Confidential Update 2022 (V5). Maine: NewEarth B.
- China Briefing. 2024. Annual Leave and Public Holidays in China. <https://www.china-briefing.com/doing-business-guide/china/human-resources-and-payroll/china-public-holidays-2021>. 07.02.2024
- EFRAG. 2023. "Educational session on draft ESRS S2, S3 & S4." Youtube-video <https://www.youtube.com/watch?v=ioOP89WGeV0&t=739s> 15.2.2024
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2022/2464.
Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2023/2772.
- European Commission. 2023. Corporate sustainability reporting. <https://urly.fi/3elo>. 2.10.2023.
- Global Conflict Tracker. 2023. Conflict in the Democratic Republic of Congo. <https://www.cfr.org/global-conflict-tracker/conflict/violence-democratic-republic-congo>. 2.2.2024
- Global Trade Analysis Project. 2019. GTAO Data Bases: 57 Detailed Sectoral List. <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/contribute/detailedsector57.asp>. 30.09.2023.
- Hu W., Wu W. & Qiao Q. 2023. Occupational survey-based evidence of health status and welfare problems of workers with pneumoconiosis in China. Volume 11 -2023. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1142161>. 9.2.2024
- Inclán, I. 2023. Analysis of global battery production: production locations and quantities of cells with LFP and NMC/NCA cathode material. 12.6.2023. Blogi. <https://www.isi.fraunhofer.de/en/blog/themen/batterie-update/globale-batterieproduktion-analyse-standorte-mengen-zellen-lfp-nmc-nca-kathoden.html>. 1.2.2024
- Knehr K., Kubal J. Nelson P. & Ahmed S. 2022. Battery Performance and Cost Modeling for Electric-Drive Vehicles: A Manual for BatPaC v5.0, ANL/CSE-22/1, July 2022, doi: 10.2172/1877590.
- Life Cycle Initiative & Social Life Cycle Alliance 2020. Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations. 15.4.2023.
- Life Cycle Initiative & Social Life Cycle Alliance 2021. Methodological Sheet for Subcategories in Social Life Cycle Assessment (S-LCA) 2021. 30.4.2023.
- Matthews H., Hendrickson Chris T. & Matthews D. 2018. Life Cycle Assessment: Quantitative Approaches for Decisions That Matter. Carnegie Mellon University. <https://app.boxcn.net/s/5mnzyq1y3gcyjrveubf4/folder/2746878222>. 13.4.2023.
- SFS-EN ISO 14040. 2006. Ympäristöasioiden Hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja Pääpiirteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

- SFS-EN ISO 14044:2006+A1:2018. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS.
- SimaPro. 2023. Social hotspots database. <https://simapro.com/products/social-hotspots-database/>. 19.4.2023.
- SimaPro. 2019. "Webinar | Updated Social Hotspots Databases in Simapro." Youtube-video <https://www.youtube.com/watch?v=TL90pspN5dl>. 30.4.2023.
- Social Hotspots Database. 2023a. SHDB Licences, <http://www.socialhotspot.org/purchase-shdb-licences.html>, 19.4.2023.
- Social Hotspots Database. 2023b. Themes and data. <http://www.socialhotspot.org/for-more-information.html> 30.4.2023.
- Suomen YK-liitto. 2023. TSS-Sopimus. <https://www.ykliitto.fi/yk-teemat/ihmisoikeudet/tss-sopimus> 8.05.2023.
- Suomen yrittäjät. 2023. Yritysvastuu. <https://www.yrittajat.fi/tietopankki/liiketoiminta/yritysvastuu>. 12.4.2023.
- Thies, C., Kieckhäfer, K., Spengler, T. & Sodhi M., 2019, Assessment of social sustainability hotspots in the supply chain of lithium-ion batteries, *Procedia CIRP* Volume 80, 292-297. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.009>. 23.8.2023.
- United Nations.2020. SDG POSTER AND INDIVIDUAL GOALS FOR WEB AND PRINT. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/news/communications-material/>. 19.4.2023.
- U.S. Department of the Interior & U.S. Geological Survey. 2023. Mineral Commodity Summaries 2023. <https://pubs.usgs.gov/publication/mcs2023>. 3.10.2023.