

Ohjelmistoalan vaikutusmahdollisuudet kestävässä kehityksessä

Tieto- ja viestintäteknikka
Tietotekniikan laitos, Teknillinen tiedekunta
Kandidaatintyö

Laatija:
Mikko Perkiö

Toukokuu 2024

Turun yliopiston laatu järjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu
Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Kandidaatin tutkielma
Tietotekniikan laitos, Teknillinen tiedekunta
Turun yliopisto

Tutkinto-ohjelma: Tieto- ja viestintäteknikka

Tekijä: Mikko Perkkiö

Otsikko: Ohjelmistoalan mahdollisuudet kestävässä kehityksessä

Sivumäärä: 20 sivua

Päivämäärä: Toukokuu 2024

Ohjelmistoalalla on keskeinen rooli vihreässä siirtymässä ja kestäväen kehityksen eteenpäin viemisessä. Tässä kandidaatin tutkielmassa tarkastellaan ohjelmistojen roolia YK:n kestäväen kehityksen tavoitteen numero 9, joka käsittelee teollisuutta, innovaatioita ja infrastruktuureita, saavuttamisessa logistiikan näkökulmasta. Tutkielmassa kestävä kehitys nähdään rakentuvan neljästä pilarista; sosiaalisen-, taloudellisen-, ympäristö- ja teknologisen vastuun kautta, joissa teknologialla on keskeinen rooli.

Tutkimuskysymykset olivat: Kuinka ohjelmistokehityksen avulla voidaan edistää kestäväen kehityksen tavoitteen numero 9 saavuttamista ja kuinka ohjelmistokehitys auttaa logistiikan osalta yrityksen kestäväen kehityksen tavoitteiden saavuttamisessa. Tutkimuksessa käytettiin kolmea esimerkkitapausta, jotka kuvastavat ohjelmistojen vaikutusta teollisuuteen, innovaatioihin ja infrastruktuureihin.

Ensimmäisessä esimerkissä osoitettiin, että ohjelmistojen avulla lentoreittejä voidaan optimoida niin, että sumupilvien syntyminen vähenee, joka vähentää lentämisen ilmastovaikutuksia. Toisessa esimerkissä Lontoon bussiliikenteen ohjelmallinen hallinta paransi liikenteen sujuvuutta ja vähensi yksityisautoilua, jolla on vaikutusta ilmanlaatuun ja vähentää kaupungin päästöjä. Kolmannessa esimerkissä robottiohjatun logistiikkakeskuksen ohjelmistovirheiden korjaaminen parantaisi toimitusketjun logistiikan tehokkuutta ja vähentäisi sen ympäristövaikutuksia.

Ohjelmistokehityksellä on merkittävä rooli kestäväen kehityksen edistämisessä, erityisesti teollisuuden, innovaatioiden ja infrastruktuurien osalta. Tutkimus vahvistaa sen, että teknologia ja erityisesti ohjelmistotekniikka ovat keskeisiä kestäväen kehityksen saavuttamisessa. Tulevaisuudessa olisi hyödyllistä tutkia ohjelmistokehityksen laajempaa merkitystä kestävyuden mittaamisessa ja kehittää standardoituja mittaristoja ohjelmistoliiketoiminnan kestävyuden arvioimiseksi.

Asiasanat: Kestäväen kehityksen tavoitteet, neljä pilaria, vipuvaikutuskohdat, ympäristötuoteseloste

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
1.1	Tutkimuskysymykset	1
1.2	Menetelmät ja tiedonhaku	2
1.3	Tutkielman rakenne	4
2	Kestävän kehityksen standardi käsitteistöä	6
2.1	Kestävä kehitys	6
2.2	Ohjelmointi osana kestäväää kehitystä	8
3	Ohjelmointiesimerkkejä kestävän kehityksen edistämiseksi	11
3.1	Hiilijalanjäljen vähentäminen lentotoiminnassa	11
3.2	Lontoon Bussiliikenne	12
3.3	Teollisuusyrityksen logistiikkakeskus	14
4	Yhteenveto	17
	Lähteet	21

1 Johdanto

Ympäristön tilan heikkenemisellä on haitallisia vaikutuksia ihmisten terveyteen, luonnon monimuotoisuuteen, otsonikerrokseen, ilmanlaatuun ja luonnonvaroihin. Hiilidioksidipäästöt kasvavat jatkuvasti, mikä aiheuttaa suurimman osan ilmaston lämpenemisestä ja ilmastonmuutoksesta. On osoitettu, että hiilidioksidipäästöt ovat suoraan yhteydessä talouskasvuun. (Rahman 2020.) Valmistavaa teollisuutta on pidetty pääasiallisena syynä ympäristön tilan heikkenemiseen (Despeisse 2012), mutta valmistavalle teollisuudelle on tarjottu vähän järjestelmiä tai malleja ratkaisuksi päästöjen vähentämiseksi.

Tämän tutkielman tarkoituksena on selvittää ohjelmistokehityksen mahdollisuuksia edistää kestävän kehityksen tavoitteen 9 saavuttamista. Tavoite 9 käsittelee kestävää teollisuutta, innovaatioita ja infrastruktuureita. Aiheen tarkentamiseksi tutkielma syvennyy nimenomaan logistiikan osa-alueeseen teollisuudessa ja liikkumisessa. Toisin sanoen, se keskittyy selvittämään, kuinka ohjelmistokehitys auttaa logistiikan ja kuljetuksen osalta yhteiskuntaa kestävän kehityksen tavoitteen 9 saavuttamisessa.

1.1 Tutkimuskysymykset

Aihe on ajankohtainen, sillä ohjelmistot ovat yhteiskunnassamme keskeinen muutosvoima. Siksi ohjelmistoalan ammattilaisten on otettava järjestelmänäkökulma ja tunnistettava vaikutusmahdollisuudet ja ohjelmistojen roolit vihreässä siirtymässä. (Penzstadler et al. 2018)

Työssä on kaksi tutkimuskysymystä:

1. Kuinka ohjelmistokehityksen avulla edistetään kestävän kehityksen tavoitteineen 9 saavuttamista?
2. Kuinka ohjelmistokehitys auttaa logistiikan osalta yrityksen kestävän kehityksen tavoitteiden saavuttamisessa?

Aihe on mielenkiintoinen, koska se perehtyy siihen, millä tavalla ohjelmistoalan ammattilaisena on mahdollista vaikuttaa kestävään kehitykseen, yrityksille ja yhteiskunnan eri osa-alueille valmistettavien ohjelmistojen avulla. Kyseessä ei ole vain yksittäiset teot tai ratkaisut yksittäisiin ongelmiin. Kyse on muutosvoimasta, jonka avulla on mahdollista saada aikaan käänteentekeviä muutoksia vihreässä siirtymässä koko yhteiskunnan tasolla. Tämä työ

esittelee kolme eri esimerkkiä logistiikan ja kuljetuksen alalta, jotka valaisevat kukin omalta osaltaan, millä tavalla ohjelmalliset ratkaisut voisivat edesauttaa sekä yksittäisiä yrityksiä, kaupunkeja ja koko yhteiskuntaa kestävä kehityksen tavoitteen 9 saavuttamisessa. Esimerkkien valossa käy selväksi se asia, ettei ohjelmalliset ratkaisut tunne rajoja, mikäli prosessia kyetään näkemään useasta eri näkökulmasta ja uskalletaan katsoa laajojen kokonaisuuksien toimintaa.

1.2 Menetelmät ja tiedonhaku

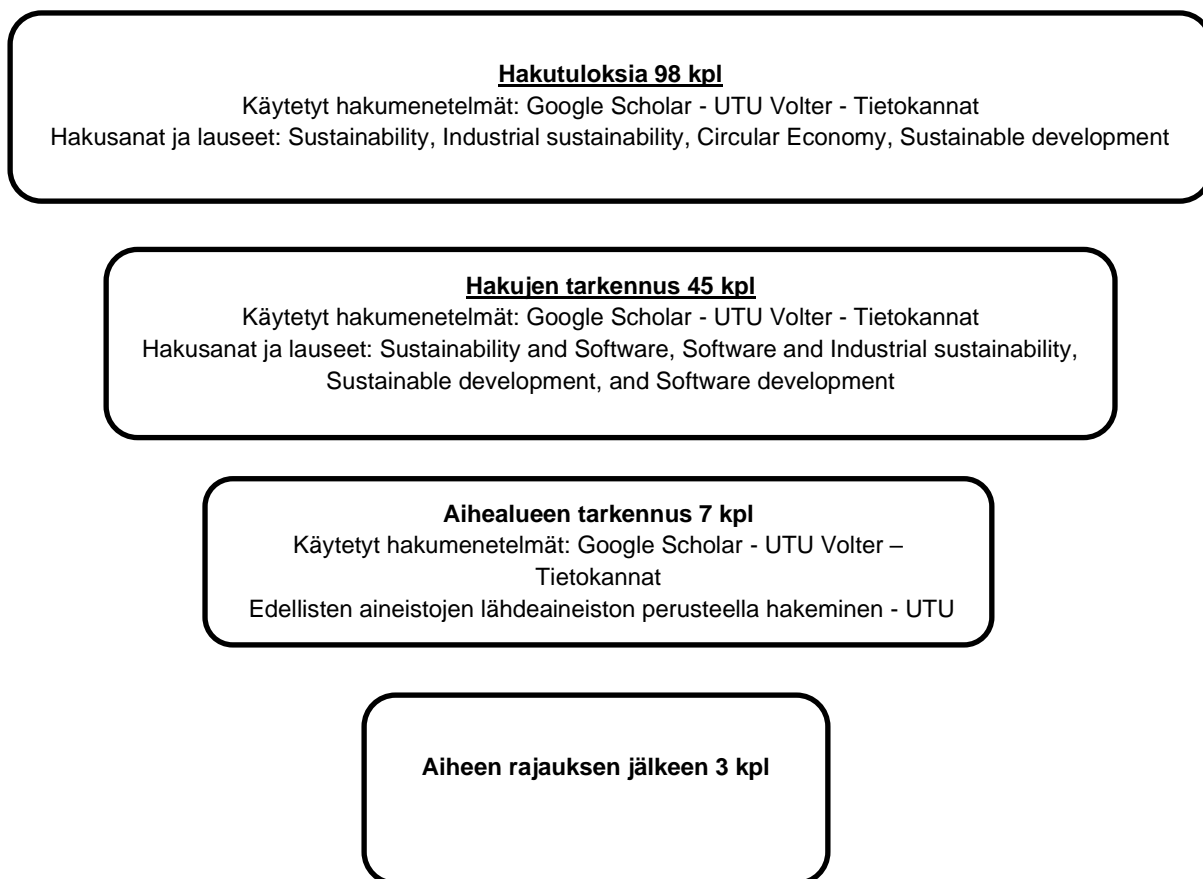
Aineiston hakua tehtiin aluksi Google Scholarilla, jossa keskityttiin hakemaan kestävään kehitykseen liittyviä teemoja. Kestävästä kehityksestä löytyy valtavasti aineistoa, joten hakujen rajauksella oli suuri merkitys. Hakusanat ja niiden yhdistäminen lauseiksi AND ja OR haulilla tuotti erilaisia tuloksia. Tulosten suuren määrän vuoksi aluksi perehdyttiin vain löytyneen aineiston tiivistelmään, jonka perusteella päätettiin, onko tämä aihealueeseen sopivaa teemaa.

Haarukoitaessa tutkielmia ja aineistoihin tutustuesssa, havaittiin että tutkielmat tai artikkelit, jotka vaikuttivat mielenkiintoisilta eivät välttämättä kohdistuneet tämän tutkielman aihealueeseen, mutta saattoivat sisältää sellaista viiteaineistoa, josta päästiin eteenpäin uusien hakuparametrien muodossa. Tästä viiteaineistosta löytyi useita hyviä lähteitä, joilla päästiin uudenlaisten tutkimusten äärelle ja tehtiin myös löytöjä uudempiin tutkimuksiin ja artikkeleihin. Tämä tapahtui kuitenkin vasta aiheen rajautuessa ja hakujen tarkentuessa. Aineisto rajautui suoraviivaisesti kohti tutkimuskysymysten aihepiiriä aineistoa iteroiden. Tutkimuskysymysten rajaus määritteli aiheeseen liittyvät aineiston, tutkimukset sekä artikkelit sekä näihin löytyi yhteensopivat esimerkki tapaukset.

Tutkimukseen haettiin tietoja IEEE, Elsevier, ScienceDirect ja Web of Science tietokannoista, joihin löytyi artikkeli viittaukset Google Scholarista tai materiaalin viiteaineistosta. Hakutuloksista käy ilmi, että kestävästä kehityksestä tehdyt tutkimukset ohjelmistoalalla keskittyvät esimerkiksi sähkön kulutukseen tutkimuksen aikana, eikä ohjelmistoalaa ole juurikaan tutkittu ratkaisevana voimana kestävä kehityksen ongelmiin.

Tutkimusta tehtäessä havaittiin, että tutkimusaiheet ovat pääosin tutkijan tavoitteista riippuvaisia, joten kestävä kehityksen kolmijakoa; sosiaalinen -, taloudellinen - ja ympäristövastuu eivät toteudu kokonaisuutena kaikissa tutkimuksissa. Tämän lisäksi teknologia kestävä kehityksen neljäntenä osa-alueena on jätetty tutkimuskirjallisuudessa

vähälle huomiolle. Kriittisesti arvioiden tutkijan päämäärällä on suuri vaikutus tutkittavaan aihealueeseen ja siihen valittuihin tutkimuksiin ja artikkeleihin. Alla olevassa kuviossa 1 on kuvattu tämän tutkimuksen tiedonhakuprosessia.



Kuvio 1: Hakusanojen visualisointi

Kuvassa 1 on havainnollistettuna haku metodin onnistuminen edellä kuvatuilla hakuparametreilla. Aluksi hakutuloksia syntyi runsaasti hakusyötteen epätarkkuuden vuoksi. Hakulauseen määrittelyn tarkentuessa, päästiin parempiin hakutuloksiin ja oikean suuntaisia artikkeleita ja tutkimuksia alkoi löytyä. Merkittävänä löytönä hakutuloksissa oli oikean tutkimusaineen kaltaisten tutkimusten lähdeluettelo, josta saatiin hakusyötteitä seuraavaan aineisto hakuun. Ensimmäisen suuren hakutulosten läpikäynnin jälkeen saatiin hakutulokset puolitettua. Näiden hakujen perusteella saatiin rajattua hakua ja päästiin jo kohtuulliseen seitsemään hyvään artikkeliin ja tutkimukseen. Aiherajaus määritteli näistä seitsemästä käytettäväksi 3 tutkimusartikkelia.

Esimerkki 3 varten haastateltiin sähköalan tuotteita valmistavan yrityksen työntekijää. Yritys valmistaa sähköalan tuotteita omalla tehtaallaan Kiinassa, Tanskassa ja Norjassa.

Keskusvarasto ja logistiikkakeskus sijaitsee Norjassa, josta tuotteiden tilaaminen ja logistiikka hoidetaan keskitetysti maantie, lentorahti ja laivakuljetuksina. Yrityksellä on vahva brändi identiteetti, joka on rakennettu kestävän kehityksen kolmen pilarin näkökulmasta. Haastattelu suoritettiin yrityksessä paikan päällä sekä puhelinkeskusteluna ja muistiinpanot tehtiin paperille. Haastatteluja ei tallennettu. Esimerkki perustuu yrityksen työntekijän haastatteluun, hänen asiantuntemukseensa ja alan työkokemukseensa.

Hakusanoja ja lauseita:

Sustainability, SDG,

Sustainability Development Goals AND industry

Sustainability and/or Software*

Software* and/or Sustainability *

Sustainability and/or Software development

Software engineering and/or sustainability

Software engineering and/or SDG

1.3 Tutkielman rakenne

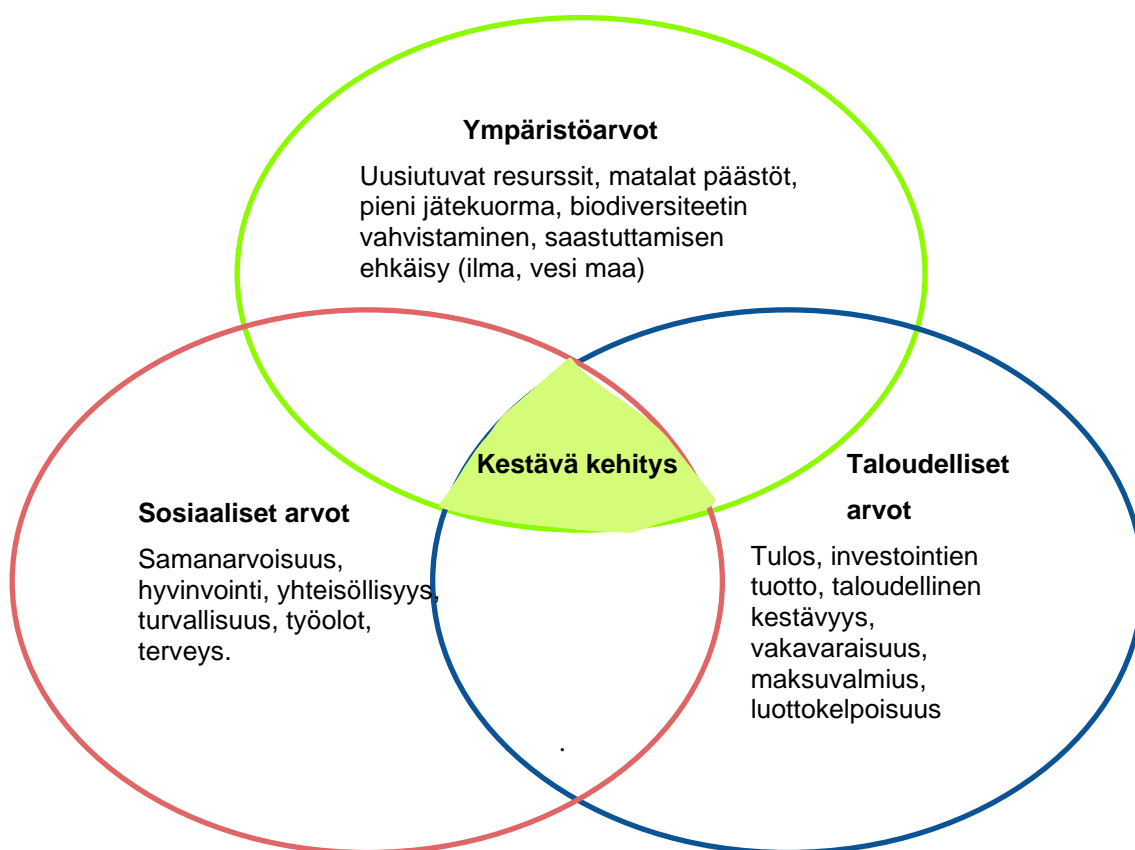
Tutkielman lukuun kaksi on koottu teorioita ja artikkeleita kestävästä kehityksestä, kolmesta pilarista ja teknologia osuudesta kestävässä kehityksessä. Tässä kappaleessa käydään läpi Yhdistyneet kansakunnat (YK) 17 kestävä kehityksen tavoitteita, hiilijalanjäljen muodostumista ja hiilipäästökauppapolitiikkaa. Tähän on koottu selvitykset elinkaariajattelusta ja ympäristötuoteselosteen toteuttamisesta. Lopuksi tässä kootaan yhteen, kuinka ohjelmistoteknologia luo mahdollisuudet kestävä kehityksen ratkaisijana. Tätä varten olen kerätty kolme esimerkkiä, jotka tuovat esiin konkreettiseksi ohjelmistoalan roolia ja vaikutuksia kestävä kehityksen ratkaisijana.

Tutkielman luvussa kolme on yhteenveto, jossa käydään läpi tutkimuskysymykseen löytyneet vastaukset ja analysoidaan niitä. Siinä käydään läpi myös tutkimuskysymykseen liittyvät esimerkit, joiden kautta päästään tutkielman johtopäätöksiin. Lopuksi esitetään näkemyksiä, kuinka tätä aihepiiriä voisi jatkotutkia, kuinka tätä tutkimusta voitaisiin laajentaa, mitä osia-alueita jäi tutkimatta ja kuinka tätä tutkimusta voitaisiin syventää.

2 Kestävän kehityksen standardi käsitteistöä

2.1 Kestävä kehitys

Ahi ja Searcy (2014) toteavat, että kestävyys on monimutkainen ja moniulotteinen kysymys, joka koskee ympäristöä, taloutta ja yhteiskuntaa. Näitä kutsutaan kirjallisuudessa myös kestävä kehityksen pilareiksi tai periaatteiksi. Tällainen kolmiosainen lähestymistapa voi auttaa kestävä kehityksen jalkauttamisessa. Haasteena on se, miten ymmärtää ja hallita monimuotoista dynamiikkaa, joka syntyy vuorovaikutuksessa näiden kolmen pilarin välillä (Penzenstadler et al. 2018).

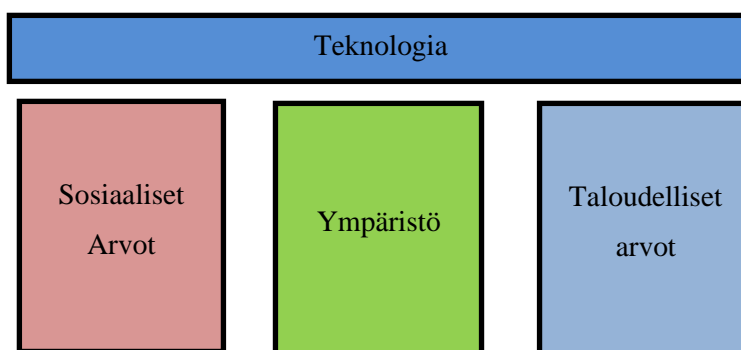


Kuvio 2: Kestävä kehityksen arvot Ahi & Searcy (2014) mukaan

Kuvio 2 esittää kolmen pilarin mallia kestävä kehityksen arvoista: ympäristö, yhteiskunta ja talous. Kuvio osoittaa visuaalisesti, kuinka nämä kolme osa-aluetta ovat kietoutuneena

toisiinsa siten, että jos yhtä attribuuttia muutetaan, sillä on vaikutusta toisiin kestävä kehityksen arvoihin.

Moraga et al. (2019) jakavat kestävyuden neljään osa-alueeseen, jotka ovat ympäristöllinen, taloudellinen, sosiaalinen ja tekninen. Heidän mukaansa tekniset ratkaisut tai teknologia on elementti, jonka avulla materiaalien, tuotteiden ja palveluiden syklit voivat vaikuttaa ympäristöön, talouteen ja sosiaaliseen osa-alueeseen. Ohjelmistotekniikkaa voidaan hyödyntää monimutkaisten, toisistaan riippuvaisten ja maailmanlaajuisesti hajautettujen järjestelmien rakentamisessa edistämään kestävä kehitystä (Penzenstadler et al. 2018). Tässä työssä kestävä kehitys nojaa näihin neljään pilariin, jossa ohjelmointitekniset ratkaisut nähdään kestävä kehityksen keskeisinä muutosvoimina.



Kuvio 3: Kestävä kehityksen arvot Moraga & al. (2019) mukaan

Kuviossa 3 kuvataan, miten teknologia on mahdollistava voima kolmelle muulle elementille kestävä kehityksen edistämiseksi. Teknologia toimii kattavana sateenvarjona yhteiskunnallisten, taloudellisten ja ympäristön edistysaskelten eteenpäin viemisessä.

Yhdistyneet kansakunnat (YK) on käynnistänyt Agenda 2030, jossa esitetään 17 kestävä kehityksen tavoitetta. Nämä periaatteet perustuvat edellä mainittuihin kestävä kehityksen kolmeen pilariin. Nämä 17 kestävä kehityksen tavoitetta antavat yrityksille yleisen suunnan siitä, mihin kestävyuden parantamisessa on pyrittävä. Lukuisat kirjallisuuskatsaukset vahvistavat, että yrityksen strategiaan sisällytetyt kestävä kehityksen tavoitteet korreloivat positiivisesti yrityksen suorituskyvyn kanssa. Tästä huolimatta kestävä kehityksen tavoitteita

ei ole integroitu organisaatioihin. (Hristov 2022.) Tämä työ keskittyy kestävän kehityksen tavoitteeseen numero 9, joka käsittää kestävän teollisuuden, innovaatiot ja infrastruktuurit.

2.2 Ohjelmointi osana kestävästä kehityksestä

Teollisuusyritysten katsotaan olevan vastuussa merkittävästä osasta ilmastokriisiä (Hossain 2022). Kestävä kehitys on keskeinen käsite, joka ottaa huomioon tämänhetkisiä ja tulevaisuuden tarpeita. Valmistavalla teollisuudella on merkittävä rooli vihreässä siirtymässä kohti kestävämpää yhteiskuntaa. Yleisesti ottaen yritykset eivät ole olleet kovin tietoisia niistä järjestelmistä ja malleista, joiden avulla ne voisivat käyttää materiaali-, energia- ja jätevirtojen seurantaan. (Despeisse 2012.) Yrityksen vastuullinen ympäristön ja luonnon huomioonottaminen on tunnistettu keskeiseksi liike-elämän etiikan kysymykseksi, joka on saanut yhä enemmän huomiota sidosryhmien keskuudessa (Hossain 2022).

Hiilipäästökauppapolitiikka (CETP) on markkinapohjainen ympäristöinstrumentti, jonka tavoitteena on vähentää yritysten hiilipäästöjä. Tällä on vaikutusta uusiin vihreisiin investointeihin sekä innovaatioihin. CETP:n tavoitteena on kannustaa yrityksiä saavuttamaan hiilineutraalius. (Wu 2022) On osoitettu, että hiilidioksidipäästöt ovat suoraan yhteydessä talouskasvuun. (Rahman 2020). Myös Payne (2009) korostaa talouskasvun ja sähkönkulutuksen välistä kausaalisuutta molempiin suuntiin. Yleisesti ottaen kausaalisuus havaitaan sähkönkulutuksen ja bruttokansantuotteen (BKT) välillä (Karanfil & Li 2014).

Tekoälyä (AI) voidaan käyttää esimerkiksi tasoittamaan aurinko- ja tuulienergian aiheuttamaa vaihtelua, jolloin yritykset voivat käyttää uusiutuvaa energiaa laitoksissaan. Älykäs energiantoimitus voisi mahdollistaa yleishyödyllisen energian suunnittelun ja valvonnan ja palvelua niin teollista kysyntää, energia kauppaa ja auttaa energiavarkauksien havaitsemisessa. (Ahmad 2021.) Vakkuri et al. (2021) ilmaisevat huolensa siitä, että AI:ta on kehitetty ilman AI etiikkaa. He ehdottavat, että AI etiikkaan tulisi kuulua oikeudenmukaisuus (fairness), läpinäkyvyys (transparency) ja luotettavuus (accountability), joissa kuitenkin ongelmana on se, ettei näitä kolmea asiaa pystytä objektiivisesti mittaamaan.

Teollisuudessa hyväksytystä kestävästä suoritustasosta on erilaisia tulkintoja ja sen määritelmät ovat epämääräisiä (Despeisse 2012). Welo ja Modalvska (2015) totesivat, että perinteinen syy-seuraus-ajatteluun perustuva käsitys kestävästä kehityksestä ei riitä, ja he ehdottivat kattavaa arviointimallia, jossa kaikkia kolmea kestävästä kehityksen pilaria tarkastellaan. He toteavat myös, että ei ole olemassa kestävästä kehityksen arviointimallia, joka

kattaisi erilaiset teemat ja tekniikat sekä olisi tulevaisuuteen suuntautuva. Engert ja Baumgartner (2015) puolestaan väittävät, että kestävyystavoitteet voidaan määrittellä kehittämällä suunnitelmia ja ohjelmia. Niitä voitaisiin mitata yhdessä kestävän toiminnan indikaattoreiden kanssa. Ohjelmistot puolestaan voivat olla kriittinen teknologia, joka mahdollistaa sen, että järjestelmän määrittämiä voidaan muuttaa reaaliaikaisesti, vain asetuksia muuttamalla ja parametrejä valvomalla, (Penzenstadler et al. 2018).

Elinkaariajattelu on osa kiertotalouden luokittelukehystä, joka sisältää esimerkiksi bio- ja muut kuin biomateriaalit sekä tuotteen sisäisen energian talteenoton. Kiertotalous toimii sekä tuotanto- että kulutusketjussa siten, että mitattavat indikaattorit liittyvät tuotteen elinkaariajatteluun. Kiertotalous on otettu keskiöön EU:n kiertotalouden toimintasuunnitelmassa, joka on kategorisoitu tuotantoon, kulutukseen, jätehuoltoon ja uusioraaka-aineiden tuotantoon. (Moraga 2019)

Ympäristötuoteseloste (Environmental Product Declaration, EPD) on tyyppin III ympäristömerkintä, joka perustuu ISO 14025 -standardiin (ISO2006). Se on uusin standardi, jossa kuvataan tuotteen ympäristötehokkuus elinkaaren näkökulmasta tekemällä tuotteesta elinkaariarviointi (LCA). Samalla EPD on merkki valmistajan sitoutumisesta tuotteidensa ja palvelujensa ympäristövaikutusten mittaamiseen ja vähentämiseen. Hyväksytyt riippumaton auktorisoijat todentaa EPD:t ennen kuin ne rekisteröidään ja julkaistaan kansainvälisessä EPD-portaalissa. (The International EPD Systems) EPD on todettu yhdeksi halvimmista menetelmistä kestävän kehityksen edistämiseksi (Gaelzer Timm 2023).

Kestävyysindikaattorit ovat erittäin tärkeitä välineitä yritysten suorituskykyä koskevan tiedon keräämiseksi ja ne tarjoavat tietoa, jota voidaan mitata ja verrata muihin tuotemerkkeihin. Kestävät teollisuusyritykset perustuvat siihen ajatukseen, että teollisuus toimii osana kokonaisuutta, jolla on avoimet yhteydet sosiaalisiin järjestelmiin ja taloudellisiin suhteisiin. Kestävä resurssien käyttö ja sosiaalisten järjestelmien ennakoiva hallinta kustannusten ja riskien vähentämiseksi ovat merkkejä tulevaisuuteen suuntautuneesta yrityksestä. (Husgafvel 2014.)

Penzenstadler et al. (2018) kehittivät teorian, jossa vipuvaikutuskohdat (leverage points, myöhemmin LP) ovat pisteitä, joissa pieni muutos ohjelmistossa voi johtaa merkittäviin koko järjestelmän laajuisiin muutoksiin. Artikkelin ehdottaa, että LP-kohtien avulla ohjelmistosuunnittelijat voivat tarjota näkemyksiä muutosmekanismeista tai eri tavoista löytää vaihtoisia ratkaisuja. LP on analyysityökalu, joka auttaa ammattilaisia tunnistamaan

elementtejä, jotka voivat saada aikaan tehokkaita muutoksia ohjelmistojärjestelmän eri tasoilla. Penzenstadler et al. (2018) esittää LP-ajattelun soveltamiseksi ohjelmistosuunnittelussa kahden kysymyksen mallia. Sosiaalis-tekniset järjestelmät tarkoittavat alun perin järjestelmiä, joihin liittyy monimutkainen vuorovaikutus ihmisten, koneiden ja työjärjestelmän ympäristönäkökohtien välillä (Tieteen termipankki). Kehitettäessä sosiaalisteknisten järjestelmiä on nostettava esiin jatkuvasti kaksi peruskysymystä: ”Rakennammeko oikean järjestelmän?” ja ”Rakennammeko järjestelmän oikein?”. Liiketoiminnassa tulkitaan ensimmäistä kysymystä usein suppeasti sen liiketoimintaongelman yhteydessä, johon ohjelmistojärjestelmän ratkaisulla pyritään. On hyvä kysyä, voidaanko järjestelmää, joka ei tue yhteiskuntamme kestävyyttä, kutsua ”oikeaksi järjestelmäksi”? Ohjelmistosuunnittelijoiden täytyy varmistaa, että ohjelmoijat tuottavat järjestelmän, joka edistää myös kestävyyttä. Yhteistyön tekeminen toimialan asiantuntijoiden kanssa on keskeistä, jotta saadaan toteutettua kohde- ja matalasuhdekaavioita ja pystytään pitämään mielessä eri vipupisteiden tehokkuus vaatimusmäärittelyanalyysin aikana: Mihin kohteisiin ja mataliin tasoihin järjestelmä vaikuttaa (esim. energia, luonnonvarat, tavarantoimitus)? Voidaanko ohjelmistolla vakauttaa niitä (esim. optimoimalla puskureita, lyhentämällä määrien säätämisen viiveitä, tekemällä järjestelmän tilan tunnetuksi tai valvomalla ja säätämällä parametreja)? (Penzenstadler et al., 2018)

3 Ohjelmointiesimerkkejä kestäväen kehityksen edistämiseksi

Seuraavassa on esitetty esimerkkejä kolmelta logistiikan eri osa-alueelta, joissa on esitetty, miten suuri vipuvoima ohjelmistokehityksellä on fyysiseen maailmaamme kestäväen kehityksen harppauksissa. Ohjelmointia voidaan pitää selkärankana, jolla on suuria mahdollisuuksia kestäväen kehityksen eri tavoitteiden saavuttamista. Ensimmäinen esimerkki kuvaa lentoreititykseen liittyvää ohjelmointia, jonka avulla voidaan vaikuttaa voimakkaasti lentokoneiden aiheuttamien supistumisjälkien vähentämiseen ja siten vaikuttaa ilmaston lämpenemiseen. Toinen esimerkki on Lontoon bussiliikenteen ohjauksesta, jossa on otettu huomioon bussien oikea-aikainen liikkuminen ja useat muut tekijät, joiden oletetaan vaikuttavan siihen, valitseeko matkustaja bussin oman auton sijaan. Kolmas esimerkki on norjalaisesta teollisuusyrityksen logistiikkakeskuksesta, jossa on automatisoitu robottiohjattu hyllytys- ja keräilytoiminnot, mutta ohjelmiston epätäydellisyys voi aiheuttaa merkittäviä päästövaikutuksia ja EPD kertymää.

3.1 Hiilijalanjäljen vähentäminen lentotoiminnassa

Pilvettömällä taivaalla lentävien lentokoneiden takana näkyy ajoittain ohuita valkoisilla pilviharsoja (supistumisjälkiä eli sumupilviä) joilla on yllättävän suuri vaikutus ilmastoon. Vuonna 2022 IPCC:n julkaisemassa raportissa todetaan, että supistumisjälkien synnyttämistä pilvistä aiheutuu 35 prosenttia ilmailun vaikutuksesta ilmaston lämpenemiseen, mikä on yli puolet maailman lentopetrolin vaikutuksesta ilmaston lämpenemiseen (Bashmakov et al. 2022). Google Research yhdisti valtavat tietomäärät, jotka oli saatu American Airlinesilta ja Breakthrough Energyltä - kuten satelliittikuvat, sää- ja lentoreittitiedot ja käytti tekoälyä supistumisjälkien ennustekarttojen mallintamiseksi. Näiden koottujen tietomassojen avulla voidaan testata, voivatko lentäjät valita sellaisia lentoreittejä, joilla vältetään ympäristölle haitallisten supistumisjälkien syntyminen.

Valkoiset pilviharsot muodostuvat lentokoneiden lentäessä kosteuskerrosten läpi, ja ne voivat säilyä minutteja tai jopa tunteja cirruspilvinä riippuen ilmakehän olosuhteista. Nämä ylimääräiset pilvet voivat heijastaa auringonvaloa päivällä takaisin avaruuteen, ja ne sitovat suuria määriä lämpöä itseensä, joka poistuisi maapallon ilmakehästä muissa olosuhteissa. Tämä aiheuttaa nettolämpövaikutuksen. Tätä lämpövaikutusta voidaan vähentää välttämällä lentämistä sellaisten alueiden läpi, joissa sumupilviä syntyy. Haasteena on, kuinka löytää lentoreitit, jotka eivät aiheuta sumupilviä.

Lentoyhtiö Americanin lentäjistä valittu ryhmä lensi 70 testilentoa kuuden kuukauden aikana ja käytti Googlen tekoälyyn perustuvia ennusteita, joita verrattiin Breakthrough Energyn avoimen lähdekoodin sumupilvimalleihin. Lentäjät välttivät niitä lentokorkeuksia, jotka todennäköisesti aiheuttavat sumupilviä. Testilentojen jälkeen analysoitiin satelliittikuvia ja havaittiin, että lentäjät pystyivät vähentämään sumupilvien muodostumisen määrää 54 prosenttia. Tästä saatiin ensimmäinen osoitus siitä, että kaupallisilla lennoilla voidaan todennettavasti välttää sumupilviä ja siten vähentää niiden ilmastovaikutuksia.

Americanin kanssa tehdyssä testissä toinen merkittävä havainto oli se, että ne lennot, joilla pyrittiin välttämään lentämistä alueilla, joissa sumupilviä muodostuu, kuluttivat 2 % enemmän polttoainetta. Viimeaikaiset tutkimukset osoittavat, että vain pieni osa lennoista tarvitsee uudelleen reitittämistä, jotta suurin osa supistumisjälkien aiheuttamasta lämpenemisestä voidaan välttää. Uudelleen reitityksen kokonaisvaikutus lentoyhtiön polttoaineen kulutukseen on vain 0,3 prosenttia lentoyhtiön kaikista lennoista (Teoh et al. 2022). Tämä viittaa siihen, että nykyisten ennusteiden perusteella, supistumisjälkiä voitaisiin välttää noin 5–25 dollarilla hiilidioksidiekvivalenttitonnilta (CO₂e) mikä tekee siitä kustannustehokkaan toimenpiteen ilmaston lämpenemisen vähentämiseksi.

3.2 Lontoon Bussiliikenne

Ohjelmistot ovat yhteiskunnan keskeinen muutosvoima. Tämän vuoksi ohjelmistoalan ammattilaisten on otettava näkökulma järjestelmien kehittämiseen ja tunnistettava ne avainkohdat, jotta he voivat ymmärtää oman ja ohjelmistojen roolin kestäväan kehityksen tavoitteiden saavuttamisessa. Artikkelissa ongelmana nähdään se, että nykyiset liikennejärjestelmät aiheuttavat kaupungeissa runsaasti kasvihuonekaasupäästöjä ja heikkoa ilmanlaatua, mikä puolestaan aiheuttaa terveysongelmia ja kiristää ympäristön sietokykyä.

Liikenteen operaatioiden tutkijat ovat jo vuosikymmeniä kehittäneet järjestelmiä liikenteen parantamiseksi lineaarisen ohjelmoinnin ja simulointijärjestelmien avulla, ja uudet tietojenkäsittelytieteen lähestymistavat mahdollistavat vision tulevaisuuden älykkäästä liikennejärjestelmästä, joka perustuu tietojärjestelmien tukemaan ihmisten ja tavaroiden liikkumiseen. Lineaarinen ohjelmoinnin ongelma muodostuu lineaarisista ehdoista ja objektifunktiosta. ”Lineaarisen ohjelmoinnin ongelmilla on olemassa yleinen muoto, joka auttaa ongelman käsittelyä eri ratkaisumenetelmillä. Lineaarisessa ohjelmoinnissa pitää ongelmasta rakentaa matemaattinen malli. Tämä malli voidaan rakentaa sarakemenetelmällä. Mallin rakennusprosessi jatkuu järjestelmällisesti, kunnes kaikki ongelman tarpeelliset tiedot

on muutettu sellaiseen muotoon, että ongelmaa voidaan käsitellä lineaarisen ohjelmoinnin työkaluilla” (Seppälä, 2020). Tulevaisuuden näkemys älykkäistä liikennejärjestelmistä tulee kuitenkin olemaan osa ihmisten ja tavaroiden avulla tuettua liikkumista. (Penzenstadler et al. 2018.) Tutkijat pitävät tärkeänä liikennemuodon valintaan johtavien taustatekijöiden selvittämistä.

Tämän esimerkin tarkoituksena oli kuljettaa ihmisiä olemassa olevan infrastruktuurin antamien sääntöjen mukaisesti. Lineaarisen ohjelmoinnin malli mahdollisti syy-seurausketjujen tarkastelun ja sellaisten pisteiden tunnistamisen, joiden kautta haluttuja muutoksia voitiin vahvistaa ja ei toivottuja muutoksia estää. Tämän teorian mukaan linja-autokaluston määrää voidaan muuttaa virtojen avulla, jotka määrittelevät linja-autokaluston muutosnopeuden. Liikennevirran voimakkuuteen taas voidaan vaikuttaa parametrien avulla. Esimerkkinä on käytetty kaupungin panostusta tieverkostoon verrattuna bussiliikenteen parantamiseen. Tieverkoston parantaminen vaikutti negatiivisesti bussiliikenteen liikennevirran voimakkuuteen, kun taas bussiliikenteeseen panostaminen vähensi yksityisautoilua ja paransi bussiliikenteen virtaa. Linja-autokaluston ja virtojen rakenteella on voimakas vaikutus järjestelmän käyttäytymiseen. Jos busseja kulkee tiheään aikataulun mukaan ja niissä on vähän ruuhkaa, yhä useammat ihmiset siirtyvät todennäköisesti käyttämään bussia auton sijaan, mikä lisää bussien kysyntää, tekee niistä ruuhkaisempia ja siten taas vähemmän houkuttelevia. Mitä enemmän ihmisiä siirtyy autoista busseihin, sitä suuremmat tulot saadaan bussiliikenteen hinnoittelusta. Kun tuloja käytetään bussikaluston lisäämiseen ja näin ollen bussien saatavuuden parantamiseen, saadaan vielä useampia ihmisiä siirtymään autoista busseihin ja se edistää muutosta entisestään.

Ohjelmistot voivat olla kriittinen tekijä, jotka tarjoavat uusia toimintatapoja muuttamalla ja valvomalla parametreja, jotta järjestelmän virtauksia voidaan säätää reaaliaikaisesti. Ohjelmistoteknologian soveltamisessa on oltava varovainen, jotta ei menetä jonkin yksittäisen edistysaskeleen vuoksi kokonaiskuvaa asiasta. Palautteen saaminen reaaliaikaisesti on eräs keskeinen huomio. Kun bussi on täynnä, nousee järjestelmässä varoitus ja viesti lähtee automaattisesti varikolle, että lisää busseja pitää lähettää esim. jalkapallopeleiden päättymisen yhteydessä.

3.3 Teollisuusyrityksen logistiikkakeskus

Logistiikkakeskukset ovat yhä enenevässä määrin riippuvaisia onnistuneesta ohjelmoinnista. Tässä esimerkissä katsahdetaan erään norjalaisen teollisuusyrityksen logistiikkakeskuksen toimintaan, jossa on jo usean vuoden ajan käytetty älykästä varastointia. Sillä tarkoitetaan robottiohjattuja varastotoimintoja. Tällä pyritään helpottamaan fyysistä varastotyöntekijöiden työtä ja minimoimaan inhimilliset virheet keräilyssä. Se myös nopeuttaa logistiikkaketjun läpikulkuaikaa. Koska yrityksen tavoitteena on saavuttaa hiilineutraalisuus, robotti käyttää logistiikkakeskuksen katolle asennettujen aurinkopaneelien tuottamaa aurinkosähköä. Tuote lähtee Eteläisestä Norjasta logistiikkakeskuksesta rattaiden päällä vientitullaukseen, josta se jatkaa konttikuljetuksessa Ruotsin halki ja Pohjanlahden yli Suomeen. Tuontitullauksen jälkeen se toimitetaan huolintayhtiön logistiikkakeskuksen kautta tukkuasiakkaalle. Tukusta urakoitsija noutaa tuotteen, jonka se asentaa loppukäyttäjälle.

Robotti pyrkii sijoittamaan eniten tilatut tuotteet helposti saataville paikoille ja vähän tilatut tuotteet korkealle hyllyrivistöjen perälle. Näin tuotteiden poiminta-aikaa voidaan tehostaa. Aina ohjelma ei toimi toivotulla tavalla, vaan robotti siirtää joskus esimerkiksi viereisen lavan ja sijoittaa sen toisen tuotteen kohdalle. Joskus ohjelma antaa tiedon siitä, että on siirtänyt lavat erilaiseen järjestykseen, vaikka niin ei todellisuudessa ole tapahtunut. Ohjelmassa on siis virhe. Ohjelmoinnin näkökulmasta on ensiarvoisen tärkeää, että ohjelmisto hälyttää jokaisesta robotin tekemästä muutoksesta ja että varastotyöntekijälle kerrotaan selkeästi, että hänellä on mahdollisuus tarkistaa kerätyn tuotteen oikeellisuus ja kuitata varastopaikka oikeaksi tai korjata se, mikäli tietyssä sijainnissa on jokin toinen tuote kuin mitä robotin on tarkoitus poimia. Silloin, kun logistiikkakeskuksesta lähtee väärä tuote, se huomataan yleisimmin vasta asennusvaiheessa, jolloin tilauksesta aikaa on kulunut 2–3 viikkoa. Se aiheuttaa ylimääräistä työtä joka portaassa logistiikkaketjun loppupäässä sekä viivästyksiä että lisäkustannuksia. Harvoin väärä tuote lähtee vain yhdelle asiakkaalle, vaan se voi lähteä useaan eri maahan tai joskus jopa kokonaisia lavallisia samaa tuotetta eri asiakkaille.

Uusien tuotteiden lähettäminen lentorahdilla kiireellisinä toimituksina on sekä taloudellisesti kannattamatonta, että ympäristön kannalta negatiivista, sillä se lisää hiilijalanjälkeä. Asiakastyytymättömyys lisääntyy virheen takia. Vaikka ohjelmistot voidaan nähdä keskeisinä muutosvoimina kestävän kehityksen tavoite 9 saavuttamisessa, yksi pieni virhe ohjelmassa

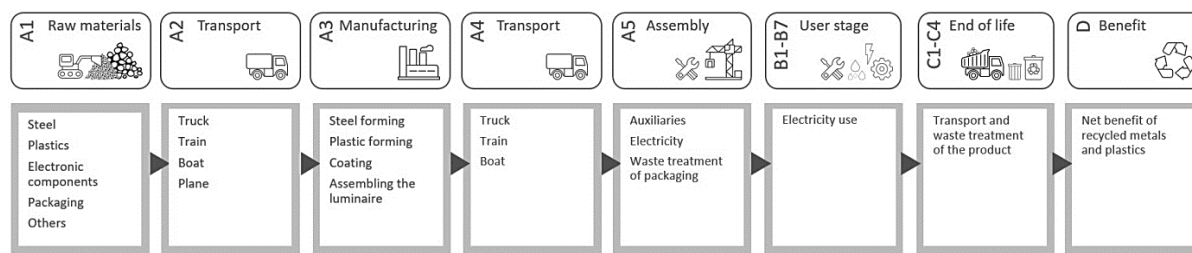
voi aiheuttaa runsaasti ylimääräisiä hiilidioksidipäästöjä ja monenlaisia ongelmia vastoin sosiaalista vastuuta.

Yritys joutuu punnitsemaan, pyytääkö asiakasta palauttamaan väärin toimitettu tuote koko loppupään toimitusketjun läpi vai pyytääkö asiakasta tuhoamaan tuote. Usein tuotteen tuhoaminen on yritykselle taloudellisesti edullisempi ratkaisu. Siinä tapauksessa yritys ei pysty kontrolloimaan, lajitellaanko tuote kierrätykseen materiaalien uusiokäyttöä varten. Jos taas yritys valitsee tuotteen palautuksen, koituu siitä paitsi kustannuksia, myös työtä ja vaivaa jokaisessa portaassa.

On kyseenalaista, lasketaanko toimitusvirheiden aiheuttamia ympäristölle haitallisia vaikutuksia ympäristötuoteselosteeseen (EPD) lainkaan, sillä niihin lasketaan vain teoreettiset keskiarvot. Koska ympäristötuoteselosteessa yritys on sitoutunut ympäristövaikutusten mittaamiseen ja vähentämiseen, sillä tulisi olla näkemys ja selkeät kannanotot siitä, mihin virheellisesti toimitetut tuotteet päätyvät. Jätehuolto on myös yksi kategoria EU:n kiertotalouden toimintasuunnitelmassa.

Parhaimmillaan robottiohjatut varastotoiminnot vähentävät ihmisvoimin tehtävää osittain hyvinkin raskasta työtä, mikä on osa kestävän kehityksen sosiaalista vastuuta. Se myös tehostaa varastotoimintoja, säästää energian kulutusta ja pienentää virhemarginaalia, mitkä tukevat taloudellista kestävyyttä ja pienentää ympäristön kuormitusta. Ohjelmaa luotaessa olisi ensiarvoisen tärkeää varmistaa, että ohjelma havaitsee pienenkin virheen, jonka seurauksena ohjelmisto hälyttää. Näin se antaisi mahdollisuuden korjata tilanteen, ennen kuin laajempia vahinkoja syntyy ja kestävän kehityksen vastaisia seuraamuksia kasvaa. Tämän vuoksi ohjelmakehittäjän tulisi tuntea toimintaympäristö ja hänellä tulisi olla ymmärrystä kokonaisvaltaisesti toimitusketjusta, jotta hän pystyisi kiinnittämään huomiota tärkeisiin yksityiskohtiin ohjelmaa kehittäessään. Tämä on vain yksi esimerkki siitä, miten laajat vipuvaikutukset ohjelmassa olevalla pienellä virheellä voi olla ja millaisia kerrannaisvaikutuksia sillä voi olla.

Alla olevasta kuvio 4:stä käy ilmi EPD arvon kertyminen tuotteen elinkaaren aikana.



Kuvio 4: EPD kertyminen tuotteella sen elinkaaren aikana (sg-as.com)

Kuvio 4 kuvaa tuotteen EPD arvon kertymää sen elinkaaren aikana. Haastattelussa käsitelimme esimerkkirytyksen tapaa tuoda julkiseksi EPD arvon muodostumista arvoketjussa, jota kuvio 4 kuvaa. Raaka-aineiden ja käyttöiän jälkeisen hyödyn tulisi olla kiinteässä yhteydessä toisiinsa. Tavoitteena kiertotalouden kannalta pitäisi olla mahdollisimman korkea hyötysuhde tuotteen elinkaaren jälkeen siten, että materiaalia pystyttäisiin hyödyntämään raaka-aineena uusiin tuotteisiin. Ohjelmistokehityksellä on jokaisessa yllä kuvatussa vaiheessa mahdollisuus vaikuttaa kestävän kehityksen eteenpäinviemiseksi.

4 Yhteenveto

Tämän tutkielman tarkoituksena oli selvittää ohjelmistokehityksen mahdollisuuksia edistää kestävän kehityksen tavoitteen numero 9 saavuttamisessa. Kyseinen tavoite käsittelee kestävää teollisuutta, innovaatioita ja infrastruktuureita. Työssä selvitettiin, kuinka ohjelmistokehitys voi auttaa logistiikan ja kuljetuksen osalta yhteiskuntaa kestävän kehityksen tavoitteen 9 saavuttamisessa ja annettiin kolme eri esimerkkiä. Työssä oli kaksi tutkimuskysymystä:

1. Kuinka ohjelmistokehityksen avulla edistetään kestävän kehityksen tavoitteineen 9 saavuttamista?
2. Kuinka ohjelmistokehitys auttaa logistiikan osalta yrityksen kestävän kehityksen tavoitteiden saavuttamisessa?

Työssä osoitettiin esimerkkien kautta, kuinka ajankohtainen aihe on vihreässä siirtymässä, jonka osaksi YK:n kestävän kehityksen tavoite numero 9 voidaan nähdä. Esimerkit osoittivat, miten merkittävä muutosvoima ja suuret mahdollisuudet ohjelmistoalalla on kestävän kehityksen eteenpäinviemisessä sekä teollisuuden logistiikassa, innovaatioissa, että infrastruktuurien rakentamisessa koko yhteiskunnassa. Tämän vuoksi ohjelmistoalalla on suuri vastuu ja ohjelmistoalan ammattilaisena valtavat koko yhteiskuntaa koskevat vaikutusmahdollisuudet vihreän siirtymän edistämiseksi.

Kestävää kehitystä on totuttu kuvaamaan kolmijaotteluun perustuen; sosiaaliset eli yhteiskunnalliset arvot, taloudelliset arvot ja ympäristölliset arvot (Ahi & Searcy 2014). Tässä työssä nähtiin kestävä kehitys Moraga et al. (2019) mallin mukaan, jossa teknologia on kantava voima kestävässä kehityksessä. Teknologia mahdollistaa sosiaalisten-, taloudellisten- ja ympäristöllisten arvojen toteutumisen. Tätä pyrittiin kuvaamaan kuviolla 3.

YK:n 17 kestävän kehityksen tavoitteesta numero 9 oli tämän työn keskiössä, sillä se koskettaa teollisuutta, innovaatioita ja infrastruktuureita. Kestävän kehityksen tavoitteet kokonaisuutena antavat kattavan kuvan siitä, miten laajasti kestävä kehitys koskee kaikkea ihmisen toimintaa yksittäisenä ihmisenä ja osana yhteiskuntaa. Tässä työssä ei ollut mahdollista perehtyä tähän kokonaisuuteen, vaan tavoitteista valittiin yksi, joka on kirjoittajan mielenkiinnon ytimessä. Tähän liittyviä instrumentteja esiteltiin lyhyesti, kuten esimerkiksi CEPT, joka on hiilipäästökauppapolitiikan markkinapohjainen ympäristöinstrumentti. EPD

(Environmental Product Declaration) on puolestaan ympäristötuoteseloste, joka perustuu ISO 14025 -standardiin. Teoriaosuudessa todettiin myös, että kestävyuden mittaaminen on toistaisesti hyvin epäselvää ja hajanaista, mikä käy ilmi myös esimerkeissä. EPD antaa melko kattavan kuvan kestävyysindikaattoreista ja yritysten sitoutumisesta kestäväan kehitykseen. Nämä ovat tärkeitä työkaluja vihreässä siirtymässä, mutta ohjelmistoalalla on ymmärrettävää se, että ohjelmistokehityksen avulla yksittäiset ohjelmistot voivat tehdä suuria muutoksia kokonaisissa järjestelmissä maailmanlaajuisesti, jotka sekä vievät yhteiskuntaa eteenpäin vihreässä siirtymässä, mutta myös tuovat taloudellisia, sosiaalisia ja ennen kaikkea ympäristön kannalta suuria edistysaskelia. Yhtenä esimerkkinä tästä on Penzenstadler et al. (2018) kehittämä teoria vipuvaikutuskohdista ohjelmakehityksessä.

Ensimmäisessä esimerkissä todettiin lentokoneiden aiheuttavan valkoisia pilviharsoja niiden lentäessä kosteuskerrosten läpi. Nämä lentokoneiden aiheuttamat pilvet sitovat suuria määriä lämpöä itseensä ja ne voivat heijastaa auringonvaloa takaisin avaruuteen. Nettolämpövaikutus syntyy, kun näihin sumupilviin sitoutunut lämpö ei poistu maapallon ilmakehästä niin kuin normaaleissa olosuhteissa tapahtuisi. Tätä voidaan kuitenkin välttää lentoreittien valinnalla siten, että vältetään lentämistä alueilla, joissa sumupilviä syntyy. Haasteena on nähty lentoreittien löytyminen, joissa sumupilviä ei synny. Esimerkissä todettiin, että yhdistämällä tietomassoja, voitiin teknisesti reitittää lennot uudelleen, joita testattiin testilennoilla. Testilentojen satelliittikuvien analysoinnissa paljastui, että 54 prosenttia sumupilvien määrästä pystyttiin vähentämään valitsemalla ohjelmallisesti määritellyt uudet reitit. Lentoyhtiön polttoaineen kulutukseen uudelleen reitityksellä on vain 0,3 prosentin kokonaisvaikutus lentoyhtiön kaikista lennoista (Teoh et al. 2022). Esimerkki tukee tutkielman tavoitetta osoittaa ohjelmistokehityksen mahdollisuuksia edistää kestäväan kehityksen tavoitetta uusien innovaatioiden kehittämisessä.

Toinen esimerkki käsitteli Lontoon bussiliikenteen resurssien seuraamista ja lisäresurssien ohjaamista ohjelmallisesti. Yksi tavoitteista oli selvittää liikennemuodon valintaan johtavia taustatekijöitä. Keskeisenä muutosvoimana ohjelmistot nähtiin ruuhkaantuneen liikenteen, yksityisautoilusta bussiliikenteeseen siirtymisen ja liikenteen sujuvuuden ratkaisijana. Suuret liikennemäärät suurkaupungissa aiheuttavat heikkoa ilmanlaatua, terveysongelmia ja kasvihuonekaasupäästöjä. Esimerkissä nousi esille, kuinka tärkeää on se, että ohjelmistokehittäjän on tunnistettava kehitettävän järjestelmän avainkohdat ja niiden vaikutus kestäväan kehityksen tavoitteiden saavuttamisessa.

Lineaarinen ohjelmointi ja stimulaatiojärjestelmät ovat jo vuosia olleet tutkijoiden käytössä parempien liikennejärjestelyiden kehittämiseksi. Ohjelmistoja pidetään kriittisenä tekijänä, joka mahdollistaa uusia toimintatapoja, valvomalla ja muuttamalla parametreja, jotka mahdollistavat järjestelmän reaaliaikaisen virtausten säätelyn. Ohjelmistokehityksen soveltamisessa täytyy kuitenkin olla varovainen, jotta yksittäisen edistysaskeleen vuoksi ei menetetä kokonaiskuvaa. Tässäkin todettiin, että ohjelmiston antaman reaaliaikaisen palautteen saaminen on eräs keskeinen tekijä, joka tutkimuksessa huomioitiin. Menetelmällä on saatu hyviä tuloksia kuten tässäkin esimerkissä kävi toteen. Tulevaisuudessa älykkäät liikennejärjestelmät tulevat olemaan yhä enemmän ohjelmistojen tukemaa toimintaa, olipa kyse ihmisistä tai tavaroista. (Penzenstadler et al. 2018.) Tämä esimerkki tukee tutkielman tavoitetta osoittaa ohjelmistokehityksen mahdollisuuksia edistää kestävä kehityksen tavoitetta infrastruktuureiden kehittämisessä.

Kolmas esimerkki osoitti, kuinka valtava logistiikkakeskus voi parhaimmillaan toimia robottiohjatusti, mutta ohjelmaan hiipineen pienen virheen vuoksi aiheuttaa suuria vahinkoja monessa loppupään toimitusketjun vaiheessa ja ennen kaikkea kääntää taloudellisesti kannattavan ja ympäristöä säästävän ja sosiaalisesti työtä keventävän varastonhallinnan päinvastaiseksi. Tällöin virheen seuraukset aiheuttavat paljon lisätyötä koko loppupään toimitusketjussa, lisäävät hiilidioksidipäästöjä ja materiaalihukkaa.

Jotta ohjelmallisesta ratkaisusta robotin toiminnasta saataisiin paras mahdollinen hyöty irti, tulisi ohjelmankehittäjän tuntea toimintaympäristö, johon robotti sijoitetaan. Mikäli ohjelmankehittäjällä on syvällistä ymmärrystä koko toimitusketjusta, hän pystyy paremmin kiinnittämään huomiota tärkeisiin pieniin yksityiskohtiin unohtamatta kokonaisuutta. Virheiden hälytysten avulla hän pystyy myös etsimään toimitusketjun alkupäästä mahdollisia syitä tai selityksiä sille, mistä virhe johtui. Virheen toistumisen välttämiseksi syy kannattaisi selvittää ja virhe korjata ohjelmaan, jotta vältytään virheen toistolta. Tämä esimerkki tukee tutkielman tavoitetta osoittaa ohjelmistokehityksen mahdollisuuksia edistää kestävä kehityksen tavoitetta teollisuudessa.

Tutkimuskysymyksenä oli, kuinka ohjelmistokehityksen avulla voidaan edesauttaa kestävä kehityksen tavoite numero 9 saavuttamisessa ja tämä oli rajattu vielä logistiikkaa ja kuljetusta koskevaksi. Teoriassa todettiin, että teknologialla on suuri merkitys kestävä kehityksen tavoitteiden saavuttamisessa. Kestävä kehityksen tavoitteen 9 saavuttamiseksi, teknologia on keskeinen käsite, joka ottaa huomioon nykyisiä ja tulevia tarpeita. Kestävää kehitystä täytyy

jatkossa käsitellä kolmena pilarina, jossa sateenvarjon muodostaa teknologia. Teknologian tärkeimpänä elementtinä kestävän kehityksen saavuttamisessa voidaan pitää ohjelmistotekniikkaa. Ohjelmointitekniset ratkaisut ovat se keskeinen kestävän kehityksen voimavipu, jolla kestävyystavoitteita voidaan määrittellä kehittämällä ohjelmistoja. Ohjelmistot ovat myös se kriittinen teknologia, joka mahdollistaa reaaliaikaisen seurannan ja valvonnan useissa teknologissa innovaatioissa. Tämä puolestaan edesauttaa kestävän kehityksen tavoitteessa rakentaa kestävästä infrastruktuuria sekä edistää kestävästä teollisuutta ja innovaatioita, joka on kestävän kehityksen 9 tavoite.

Tätä tutkimusta voitaisiin laajentaa niin, että otetaan huomioon kestävän kehityksen tavoitteen 12 varmistaa kulutus- ja tuotantotapojen kestävyys. Ohjelmistokehityksen merkitystä maapallon kestävyteen tutkitaan paljon. Sen laajempaa merkitystä ohjelmistokehitykseen, vaikutuksista ohjelmistosuunnitteluun ja laajemman ymmärryksen saamiseen liiketoiminnan huomioon ottamisessa olisi syytä tutkia. Ohjelmistoliiketoiminnan kestävyden mittaaminen on toistaiseksi hyvin epäselvää ja hajanaista. Kannattaisi tutkia voisiko tähän kehittää EPD:tä vastaavan mittariston kartoittamaan ohjelmistoliiketoiminnan kestävyyttä.

Lähteet

- Ahi, P., & Searcy, C. (2015). Assessing sustainability in the supply chain: A triple bottom line approach. *Applied Mathematical Modelling*, 39(10–11), 2882–2896. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2014.10.055>
- Ahmad, T., Zhang, D., Huang, C., Zhang, H., Dai, N., Song, Y., & Chen, H. (2021). Artificial intelligence in sustainable energy industry: Status Quo, challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125834. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125834>
- Beal, B. (2014). *Corporate Social Responsibility: Definition, Core Issues, and Recent Developments*. SAGE Publications, Inc. <https://doi.org/10.4135/9781483388014>
- Bui, T. X. (Toim.). (2023). *56th Hawaii International Conference on System Sciences (HICCS), Hyatt Regency Maui, January 3-6, 2023*. University of Hawaii at Manoa.
- Calza, F., Sorrentino, A., & Tutore, I. (2023). Combining corporate environmental sustainability and customer experience management to build an integrated model for decision-making. *Management Decision*, 61(13), 54–84. <https://doi.org/10.1108/MD-05-2022-0613>
- Cordova, M. F., & Celone, A. (2019). SDGs and Innovation in the Business Context Literature Review. *Sustainability*, 11(24), 7043. <https://doi.org/10.3390/su11247043>
- Corona, B., Shen, L., Reike, D., Rosales Carreón, J., & Worrell, E. (2019). Towards sustainable development through the circular economy—A review and critical assessment on current circularity metrics. *Resources, Conservation and Recycling*, 151, 104498. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104498>
- Despeisse, M., Ball, P. D., Evans, S., & Levers, A. (2012). Industrial ecology at factory level – a conceptual model. *Journal of Cleaner Production*, 31, 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.02.027>
- Du, S., Swaen, V., Lindgreen, A., & Sen, S. (2013). The Roles of Leadership Styles in Corporate Social Responsibility. *Journal of Business Ethics*, 114(1), 155–169. <https://doi.org/10.1007/s10551-012-1333-3>

- Engert, S., & Baumgartner, R. J. (2016). Corporate sustainability strategy – bridging the gap between formulation and implementation. *Journal of Cleaner Production*, 113, 822–834.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.094>
- Evangelista, P., Santoro, L., & Thomas, A. (2018). Environmental Sustainability in Third-Party Logistics Service Providers: A Systematic Literature Review from 2000–2016. *Sustainability*, 10(5), 1627.
<https://doi.org/10.3390/su10051627>
- Google AI is helping airlines mitigate the climate impact of contrails.* (ei pvm.). Noudettu 27. syyskuuta 2023, osoitteesta <https://blog.google/technology/ai/ai-airlines-contrails-climate-change/>
- Google AI-based prediction study with American Airlines shows 54% reduction in aircraft contrails – GreenAir News.* (ei pvm.). Noudettu 27. syyskuuta 2023, osoitteesta <https://www.greenairnews.com/?p=4800>
- Hossain, A., Saadi, S., & Amin, A. S. (2023). Does CEO Risk-Aversion Affect Carbon Emission? *Journal of Business Ethics*, 182(4), 1171–1198. <https://doi.org/10.1007/s10551-021-05031-8>
- Hristov, I., Appolloni, A., & Chirico, A. (2022). The adoption of the key performance indicators to integrate sustainability in the business strategy: A novel five-dimensional framework. *Business Strategy and the Environment*, 31(7), 3216–3230. <https://doi.org/10.1002/bse.3072>
- Hur, W.-M., Kim, H., & Woo, J. (2014). How CSR Leads to Corporate Brand Equity: Mediating Mechanisms of Corporate Brand Credibility and Reputation. *Journal of Business Ethics*, 125(1), 75–86. <https://doi.org/10.1007/s10551-013-1910-0>
- Husgafvel, R., Pajunen, N., Virtanen, K., Paavola, I.-L., Päällysaho, M., Inkinen, V., Heiskanen, K., Dahl, O., & Ekroos, A. (2015). Social sustainability performance indicators – experiences from process industry. *International Journal of Sustainable Engineering*, 8(1), 14–25.
<https://doi.org/10.1080/19397038.2014.898711>
- Intergovernmental Panel On Climate Change (Ipcc), Bashmakov, I., Nilsson, L., Acquaye, A., Bataille, C., Cullen, J., de la Rue du Can, S., Fishedick, M., Geng, Y., & Tanaka, K. (Toim.). (2023). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Chapter 11. Teoksessa

Climate Change 2022—Mitigation of Climate Change (1. p., ss. 1049–1160). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157926.012>

Johnson, B., & Smith, J. (2021). Towards Ethical Data-Driven Software: Filling the Gaps in Ethics Research & Practice. *2021 IEEE/ACM 2nd International Workshop on Ethics in Software Engineering Research and Practice (SEthics)*, 18–25. <https://doi.org/10.1109/SEthics52569.2021.00011>

Juutinen, S. (ed.) (2016) *Strategisen yritysvastuun käsikirja*. Talentum Pro, Helsinki. (ei pvm.).

Karanfil, F. – Li, Y. (2014) *Electricity consumption and economic growth: Exploring panel-specific differences*. *Energy Policy*, Vol. 82 (1), 264–277. (ei pvm.).
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142151400665X>

Kumar, V., & Christodoulopoulou, A. (2014). Sustainability and branding: An integrated perspective. *Industrial Marketing Management*, 43(1), 6–15. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2013.06.008>

Lehtimäki, H., Aarikka-Stenroos, L., Jokinen, A., & Jokinen, P. (Toim.). (2024). *The Routledge handbook of catalysts for a sustainable circular economy*. Routledge.

McWilliams, A., & Siegel, D. (2001). Corporate Social Responsibility: A Theory of the Firm Perspective. *The Academy of Management Review*, 26(1), 117. <https://doi.org/10.2307/259398>

Moldavska, A., & Welo, T. (2015). Development of Manufacturing Sustainability Assessment Using Systems Thinking. *Sustainability*, 8(1), 5. <https://doi.org/10.3390/su8010005>

Moraga, G., Huysveld, S., Mathieux, F., Blengini, G. A., Alaerts, L., Van Acker, K., De Meester, S., & Dewulf, J. (2019). Circular economy indicators: What do they measure? *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 452–461. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.045>

Ostela, T. (2022) *Sustainable value creation through circular economy. Multiple case study of Finnish multinational corporations*. Master's thesis in international business. University of Turku. (ei pvm.).

Patuelli, A., Carungu, J., & Lattanzi, N. (2022). Drivers and nuances of sustainable development goals: Transcending corporate social responsibility in family firms. *Journal of Cleaner Production*, 373, 133723. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133723>

Payne, J. E. (2010). A survey of the electricity consumption-growth literature. *Applied Energy*, 87(3), 723–731. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.06.034>

- Penzenstadler, B., Duboc, L., Venters, C. C., Betz, S., Seyff, N., Wnuk, K., Chitchyan, R., Easterbrook, S. M., & Becker, C. (ei pvm.). *Software Engineering for Sustainability*.
- Penzenstadler, B., Duboc, L., Venters, C. C., Betz, S., Seyff, N., Wnuk, K., Chitchyan, R., Easterbrook, S. M., & Becker, C. (2018). Software Engineering for Sustainability: Find the Leverage Points! *IEEE Software*, 35(4), 22–33. <https://doi.org/10.1109/MS.2018.110154908>
- Rahman, M. M. (2020). Environmental degradation: The role of electricity consumption, economic growth and globalisation. *Journal of Environmental Management*, 253, 109742. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109742>
- Santos, V. R., Vitorino, T. F., Dias, Á. L., Martinho, D., & Sousa, B. B. (2021). Developing a Commercial Ethics Framework for Analysing Marketing Campaigns: *International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology*, 13(1), 1–16. <https://doi.org/10.4018/IJSSMET.290336>
- Seppälä, L. (2020). Pro Gradu, *Lineaarinen ohjelmointi ja sen opetus toisen asteen oppilaitoksissa*. Viitattu 10. toukokuuta 2024. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/8313b67c-607b-4ea9-acec-a4722390cab4/content>.
- Sosio-tekniinen järjestelmä – Tieteen termipankki*. (ei pvm.). Noudettu 10. toukokuuta 2024, osoitteesta https://tieteentermipankki.fi/wiki/Nimitys:sosio-tekniinen_j%C3%A4rjestelm%C3%A4
- Take Action for the Sustainable Development Goals—United Nations Sustainable Development*. (ei pvm.). Noudettu 4. lokakuuta 2023, osoitteesta <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>
- Teoh, R., Schumann, U., Gryspeerdt, E., Shapiro, M., Molloy, J., Koudis, G., Voigt, C., & Stettler, M. E. J. (2022). Aviation contrail climate effects in the North Atlantic from 2016 to 2021. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22(16), 10919–10935. <https://doi.org/10.5194/acp-22-10919-2022>
- Timm, J. F. G., Maciel, V. G., & Passuello, A. (2023). Green public procurement model for environmental assessment of constructive systems. *International Journal of Construction Management*, 23(4), 718–728. <https://doi.org/10.1080/15623599.2021.1920162>
- Usman, M., Jahanger, A., Makhdam, M. S. A., Balsalobre-Lorente, D., & Bashir, A. (2022). How do financial development, energy consumption, natural resources, and globalization affect Arctic

countries' economic growth and environmental quality? An advanced panel data simulation. *Energy*, 241, 122515. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122515>

Vakkuri, V., & Kemell, K.-K. (ei pvm.). *AI Ethics in Industry: A Research Framework*.

Vesal, M., Siahtiri, V., & O'Cass, A. (2021). Strengthening B2B brands by signalling environmental sustainability and managing customer relationships. *Industrial Marketing Management*, 92, 321–331. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2020.02.024>

Villiers, C. (2019). Global Supply Chains and Sustainability: The Role of Disclosure and Due Diligence Regulation. Teoksessa B. Sjäfjell & C. M. Bruner (Toim.), *The Cambridge Handbook of Corporate Law, Corporate Governance and Sustainability* (1. p., ss. 551–565). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108658386.046>

Wu, S., Qu, Y., Huang, H., & Xia, Y. (2023). Correction to: Carbon emission trading policy and corporate green innovation: internal incentives or external influences. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(20), 59078–59078. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27037-7>

Yoon, Y., Gürhan-Canli, Z., & Schwarz, N. (2006). The Effect of Corporate Social Responsibility (CSR) Activities on Companies With Bad Reputations. *Journal of Consumer Psychology*, 16(4), 377–390. https://doi.org/10.1207/s15327663jcp1604_9