



SYSTEEMIAJATTELU TIETO- JA VIESTINTÄTEKNIIKAN KESTÄVYYSMUUTOKSESSA

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Ympäristötekniikan kandidaatintyö

2023

Emilia Kejonen

Tarkastaja: Professori, KTT Lassi Linnanen

Ohjaaja: Nuorempi tutkija Miika Marttila

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Ympäristötekniikka

Emilia Kejonen

Systemiajattelu tieto- ja viestintätekniikan kestävyysmuutoksessa

Ympäristötekniikan kandidaatintyö

2023

47 sivua, 9 kuvaa

Tarkastaja: Professori, KTT, Lassi Linnanen

Ohjaaja: Nuorempi tutkija Miika Marttila

Avainsanat: ICT, kestävyysmuutos, Systemidynamiikka, Systemiajattelu, Digitalisaatio

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on tutkia systeemisyiden tarjoamia näkökulmia tieto- ja viestintätekniikan, eli ICT-alan kestävyysshaasteiden tunnistamiseen ja ratkaisutapojen löytämiseen. Työssä tarkastellaan systeemisyiden käsitteitä ja kestävyysmuutoksen teoriaa. Tuloksia esitellään vuorovaikutuskaavion avulla. ICT-alan kestävyysshaasteet ovat systemiajattelun näkökulmasta tarkasteltuna moniulotteisia ja kompleksisia. Merkittäviä haasteita tuottavat laitteiston valmistamiseen ja käyttöön liittyvä energiankulutus, sekä kestävämmät tuotanto- ja kulutusmallit. Teknologisen kehityksen nopeus, tietoturvan ja yksityisyydensuojan asettamat vaatimukset, sekä digitalisaation aiheuttama työmarkkinoiden muutos ovat luoneet monimutkaisia haasteita. Ratkaisut edellyttävät systeemien ja niiden välisten vuorovaikutusten ymmärtämistä.

Systeminen ajattelu mahdollistaa eri osa-alueiden välisten poikkitieteellisten riippuvuussuhteiden jäsentyneen tarkastelun. Tämän vuoksi se voi auttaa kysymään oikeita kysymyksiä ja hahmottamaan haasteiden taustalla olevat monimutkaiset vuorovaikutussuhteet. Datan tarjoamien hyödyntämismahdollisuuksien laajempi jalostaminen inhimilliseksi osaamiseksi osoittautui yhdeksi merkittäväksi seikaksi kestävyysshaasteiden ratkaisemisessa. Toimien testaaminen ja kehittäminen, sekä ratkaisujen simulointi mahdollistaa toimivien toimintatapojen tunnistamisen. Rajallisten resurssien kohdentaminen ja yhteistyön kehittäminen mahdollistaa järjestelmän muokkauksen ennakoivaksi ja resilientiksi. Tämän seurauksena sen kyky sopeutua ympäröiviin muutoksiin helpottuu.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Environmental Technology

Emilia Kejonen

Systems thinking in sustainability change of Information and Communication Technology

Bachelor's thesis

2023

47 pages, 9 figures

Examiners: Professor Lassi Linnanen and Junior Researcher Miika Marttila

Keywords: ICT, Sustainability change, System dynamics, Systems thinking, Digitalization

The aim of this bachelor's thesis is to investigate the perspectives provided by systems thinking for identifying sustainability challenges in the ICT sector and finding solutions. The thesis examines the concepts of systemic thinking and sustainability change theory. Results are presented using a causal loop diagram. From a systems thinking perspective, sustainability challenges in the ICT sector are multidimensional and complex. Significant challenges are generated by energy consumption related to hardware manufacturing and use, as well as unsustainable production models. The rapid pace of technological development, the demands posed by security and privacy, and the changes in the job market brought about by digitization have created complex challenges that require an understanding of systems and their interactions.

Systems thinking enables a structured examination of cross-disciplinary interdependencies between different areas. As a result, it can help ask the right questions and grasp the complex interactions underlying the challenges. The broader utilization and processing of data to human expertise has proved to be one significant factor in solving sustainability changes. Testing and developing actions, as well as simulating solutions, allow for the identification of functional modes of operation. Focusing on limited resources and developing cooperation allows for the development of a proactive and resilient system, making it easier to adapt to surrounding change.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

1. JOHDANTO	5
2. SYSTEEMISYYS	7
2.1. Systemiajattelu	7
2.2. Systemiäly	8
2.3. Systemidynamiikka	9
2.4. Takaisinkytketyt systeemit.....	9
2.5. Viive, varannot ja virtaukset	11
2.6. Vuorovaikutuskaavio	12
3. KESTÄVYYSMUUTOS	13
3.1. Yritysvastuu	14
4. ICT-ALAN KESTÄVYYSHAASTEET.....	17
4.1. Digitalisaatio, työllisyys ja osaaminen.....	17
4.2. Tietoturva ja yksityisyys	18
4.3. Teknologisen kehityksen nopeus	19
4.4. Tuotanto- ja kulutusmallit.....	20
4.5. Energiankulutus.....	21
5. SYSTEEMISYYDEN HYÖDYNTÄMINEN ICT-ALALLA.....	22
5.1. Tiedon analysointi.....	22
5.2. Ratkaisujen simulointi.....	25
5.3. Resurssien tehokas käyttö	29
5.4. Yhteistyön kehittäminen	33
5.5. Vaikutusten seuraaminen	37
6. JOHTOPÄÄTÖKSET	39
7. YHTEENVETO	41
LÄHTEET	42

1. JOHDANTO

Kestävyys ja ilmastonäkökulma ovat nousseet tärkeiksi arvoiksi tieto- ja viestintäteknikan alalla. Yhtenä merkittävänä syynä tälle on alan koko ajan kasvava hiilijalanjälki ja lisääntynyt yhteiskuntavastuu. Tieto- ja viestintäteknikka eli ICT (Information and Communication Technology) tarkoittaa kaikkea tietokoneiden ja digitaalisen tietoliikenteen laitteita ja niiden avulla tehtävää tietojen tuottamista, muokkausta, tallennusta ja jakoa (Rennie & Law 2019, 211). Ala on muokannut muutamassa vuosikymmenessä yhteiskuntamme rakenteet täysin uudellaisiksi. Sen sovelluksia käytetään kaikilla yhteiskunnan osa-alueilla, kuten liiketoiminnassa ja terveydenhuollossa. (Zuppo 2012, 14.) Alan yhteiskuntavastuu on kasvanut toimintojen muuttuessa yhä enemmän riippuvaisiksi ohjelmistojen käytöstä. Tämän vuoksi yksittäinen alan yritys ei voi kehittää toimintaansa ottamatta huomioon toimintaympäristöään. Toimintojen kehittäminen vaatii kokonaisuuksien ja siihen kuuluvien riippuvuuksien hahmottamista.

Yhteiskunnan toimintaa voidaan kehittää vastuullisesti kestävyysmuutoksen avulla. Siinä yhteiskuntaa hallitsevat toimintatavat ja toimialat korvataan uusilla kokonaisvaltaisesti kestävämmillä innovaatioilla. Hitaasti tapahtuvat muutokset ovat sosio-tekniisiä. Niihin kuuluvat muutokset kulttuurissa, liiketoimintamalleissa, kulutuskäyttäytymisessä ja tekniikassa. (Markard et al. 2012.) Uusiin toimintamalleihin siirtyminen edellyttää vanhoista rakenteista luopumista. Sen onnistumiseksi vanhat toimintatavat on korvattava monilla eri aloilla. (Berninger et al. 2017, 13–15.) Muutos vaatii systeemistä ajattelua, jonka taustalla on kattava keskinäisriippuvuuksien ymmärtäminen. Goodlandin (2002) mukaan kestävä kehitys voidaan jakaa ekologiseen, taloudelliseen, sosiaaliseen ja inhimilliseen ulottuvuuteen. Näkökulmia voidaan soveltaa myös kestävyysmuutosta tutkittaessa.

Systemiäly eli SI (eng. *Systems Intelligence*) on älykästä toimintaa, joka havainnoi monimutkaisia järjestelmiä vuorovaikutuksellisten takaisinkytkentöjen avulla. Sen tarkoituksena on huomioida systeemien polkuriippuvuudet ja etsiä rakentavia toimintatapoja systeemin sisältä käsin. Käsitteen alkuperä pohjautuu ajatukseen yhdistää insinööriajattelu luovaan ja

tarkoituksenmukaiseen ongelmanratkaisuun. Systeemiälykäs henkilö hahmottaa itsensä osana kokonaisuutta. Tämä mahdollistaa älykkään kokonaisuuksien hallinnan ja asioiden tarkastelun useasta eri näkökulmasta. Organisaatioon tämä voi tuoda lisäarvoa esimerkiksi tuottavuuden, inhimillisyyden tai sujuvuuden keinoin. (Saarinen & Hämäläinen 2004, 7–8.) Kestävyyssuutoksen tavoin systeemiäly pohjautuu vuorovaikutussuhteiden ja takaisinkytkentöjen hahmottamiseen.

Systeemiälyä on tutkittu useissa eri konteksteissa. Sen on todettu olevan hyödyllinen esimerkiksi johtamisessa (Hämäläinen & Saarinen 2007), opetuksessa (Sajaniemi et al. 2004) ja tietämyksenhallinnassa (Sasaki 2017). Tutkielman tavoitteena on selvittää, kuinka systeemisyyttä voidaan hyödyntää tieto- ja viestintäteknologian kestävyysaasteiden tunnistamisessa ja ratkaisemisessa. Tutkimuksen keskeiset kysymykset ovat seuraavat:

1. Millaisia kestävyysaasteita tieto- ja viestintäteknikan alalla on systeemiajattelun viitekehyksen kautta tarkasteltuna?
2. Kuinka systeemisyyttä voidaan hyödyntää tieto- ja viestintäteknikan kestävyysaasteiden tunnistamisessa?

Työn tutkimusmenetelmänä käytetään kirjallisuuskatsausta. Kirjallisuuskatsauksessa käsitellään systeemisyyttä, sekä tieto- ja viestintäteknikan kestävyysaasteita. Kestävyysaasteita tarkastellaan sosiaalisen, ekologisen ja taloudellisen kestävyuden näkökulmasta. Kirjallisten lähteiden pohjalta esitellään ja arvioidaan systeemiälykkäitä keinoja, joiden avulla kestävyysaasteita voidaan ratkaista. Tuloksien läpikäynnissä hyödynnetään systeemidynaamista mallinnusta. Pohdinnan yhteydessä käydään läpi tutkimuksen mahdolliset rajoitteet sekä pohditaan, miten tuloksia voisi hyödyntää ICT-alan kehitystyössä.

2. SYSTEEMISYYS

Systeemillä tarkoitetaan järjestelmää, joka koostuu toistensa kanssa vuorovaikutuksessa toimivista osista. Toimiakseen tarkoituksenmukaisesti, sen jokaisen osan tulee toimia tarkoituksenmukaisesti. Systeemit pyrkivät vastustamaan muutosta pysymällä tasapainotilassa takaisinkytkentöjen avulla. Takaisinkytkentä eli palaute kerää informaatiota systeemin toiminnasta ja systeemi reagoi sen mukaisesti tapahtuviin muutoksiin. (Flood & Carson 1993, 3–8).

Tämä luku keskittyy systeemisyyden, sitä koskevan käsitteistön ja työkalujen esittelyyn. Alaluvussa 2.1 tutustutaan systeemiajatteluun, alaluvussa 2.2 systeemiälyyn ja sen taustoihin ja alaluvussa 2.3 selvitetään systeemidynamiikan käsitteistöä ja käyttökohteita. Alaluku 2.4 keskittyy takaisinkytkettyihin systeemeihin ja alaluvussa 2.5 käsitellään varastoja, viiveitä ja virtauksia, jotka ovat keskeisiä takaisinkytkettyjen systeemien toiminnan ymmärtämisessä.

2.1. Systeemiajattelu

Systeemiajattelu on keino hahmottaa monimutkaisia systeemejä tutkimalla niiden osien välisiä vuorovaikutuksia ja vaikuttaa niiden toimintaan. Sen työkaluna voidaan käyttää systeemidynamiikkaa. Tieteenalan merkittävänä kehittäjänä pidetään Peter Sengeä, joka esitteli teoksessaan *The Fifth Dicycle* (1990) systeemiajattelun tuomia mahdollisuuksia oppivassa organisaatiossa ja sen toiminnan kokonaisvaltaisessa tarkastelussa. Laajojen ja monimutkaisten kokonaisuuksien ymmärtäminen vaatii tapahtumien ja päätösten taustalla vaikuttavien toistuvien rakenteiden näkemisen. Systeemiajattelun mukaan näitä rakenteita muuttamalla kyetään kehittämään myös organisaatiossa tapahtuvia prosesseja ja tapahtumia. (Senge 1990.)

Systeemiajattelulle on ominaista, ettei ongelmaa pilkota erillisiin osiin. Tämä johtuu siitä, että monimutkaisten ongelmien syyt ovat usein kompleksisia, eikä yksittäistä juurisyytä ole. Sen sijaan ongelmat ovat syntyneet systeemien yhteisvaikutusten ja taustalla vaikuttavien rakenteiden seurauksena. Monimutkaisen ongelman ratkaisemisessa yksittäisen tekijän optimointi ei riitä, vaan ongelmaa tulee lähestyä kokonaisvaltaisen tarkastelun kautta. Kehityskohdetta pyritään ymmärtämään sen muodostamien keskinäisriippuvuuksien kontekstissa. Esimerkiksi internetissä olevan varaupalvelun toimivuutta kehittäessä on syytä pyrkiä ymmärtämään se osana koko terveydenhuoltojärjestelmää.

2.2. Systeemiäly

Systeemiäly on Saarisen ja Hämäräisen luoma, insinööriajattelun ja inhimillisen herkkyyden yhdistävä käsite. Sillä tarkoitetaan kykyä toimia älykkäästi aktiivisena osana systeemejä. Systeemiälykäs henkilö ymmärtää itsensä aktiivisena osana systeemiä ja osaa toimia hyvin tuloksin monimutkaisissa systeemirakenteissa. Toiminnassa on keskeistä, että henkilö ymmärtää olevansa aktiivinen osa kokonaisuutta, johon voi sekä vaikuttaa että tulla vaikutteiseksi. (Saarinen & Hämäläinen 2004, 1–3.) Kokonaisuus voi olla esimerkiksi työpaikka tai koulu.

Systeemiäly ja sen tutkimus pohjautuu operaatiotutkimukseen ja systeemiajatteluun. Keskeinen ero on kuitenkin näkökulmassa. Systeemiajattelu on systeemejä ja niiden vuorovaikutussuhteita tutkivaa, ulkoa päin tehtävää tarkastelua. Systeemiälyssä tarkastelu tehdään aktiivisesti ja kokonaisuuden sisältä. Toimija pyrkii etsimään kehittäviä ja rakentavia toimintatapoja havainnoimalla käyttäytymistä ja systeemiä aktiivisesti. Systeemiä tarkastellessa ja siinä toimiessa on tärkeää perehtyä taustalla oleviin rakenteisiin, erityisesti ihmisten ajatusmalleihin. Lisäksi tulee havainnoida vipupisteiksi kutsuttuja tilanteita, joissa älykäs toiminta voi tuottaa rakentavampia tuloksia. Ajattelun ja toiminnan konkreettinen muuttaminen voi johtaa positiivisiin muutoksiin myös pienten tekojen kautta. (Hämäläinen et al. 2014, 1).

2.3. Systeemidynamiikka

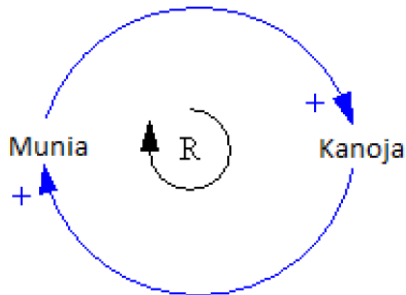
Systeemidynamiikan juuret ulottuvat 1950-luvun lopun Yhdysvaltoihin, jossa Jay W. Forrester yhdisti säätö- ja systeemiteoriaa operaatiotutkimukseen tarkoituksenaan simuloida teollisuustuotantoa. Operaatiotutkimus, eli matemaattisten mallien hyödyntäminen päätöksenteossa keskittyi aikaisemmin avoimen silmukan oletukseen, jossa ohjaustoiminto ei ole riippuvainen prosessin lähdöstä. Oletus yksinkertaistaa systeemin kuvaamista, mutta lisää samalla analyysin epätarkkuutta ja mahdollistaa sen hyödyntämisen vain yksinkertaisissa lineaarisissa järjestelmissä. Tämä johtuu siitä, että reaali maailman prosesseissa ympäristön vaikutusta ei voi jättää huomioimatta. (Forrester 1968, 398)

Systeemidynamiikka mahdollistaa kompleksisten järjestelmien kuvaamisen takaisinkytkentöjen ja epälinearisuuksien avulla. Se kuvaa systeemin osien välisiä vuorovaikutuksia niiden käytössä ja ajan kuluessa. Epälineaariseen dynamiikkaan ja takaisinkytkentöihin perustuva menetelmä pohjautuu vahvasti myös viiveiden tutkimiseen. Systeemidynamiikan on todettu toimivan myös rakenteellisessa systeemitarkastelussa ilman laskennallista simulointia (Senge 1990.) Päätöksenteossa sen hyödyntäminen muutoksen onnistumiseksi edellyttää kuitenkin laajaa ja kokonaisvaltaista ymmärrystä. Muutokset epäonnistuvat, mikäli niitä lähdetään toteuttamaan ilman riittävää systeemin ja sen vuorovaikutussuhteiden ymmärrystä.

2.4. Takaisinkytketyt systeemit

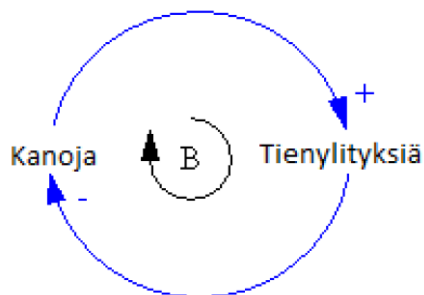
Takaisinkytkentä on yksi systeemidynamiikan keskeisistä käsitteistä. John D. Sterman määrittelee keskenään vuorovaikutuksessa olevia elementtejä takaisinkytketyn systeemin joukoksi. Yhden elementin muutos vaikuttaa muihin elementteihin niin, että muutokset vaikuttavat takaisinkytkettyinä muiden elementtien toimintaan. Tämän vuoksi takaisinkytkennät voivat vaikuttaa systeemin kompleksisuuteen enemmän kuin järjestelmän osien aiheuttama mutkikkuus. (Sterman 2000, 12.)

Takaisinkytkennät voidaan jakaa positiivisiin, itseään vahvistaviin silmukoihin, sekä negatiivisiin eli itseään tasapainottaviin silmukoihin. Kuvan 1 kaltaiset positiiviset silmukat merkitään kausaalidiagrammissa vahvistavaa tarkoittavalla R-kirjaimella (eng. *Reinforcing*) tai positiivisella (+) -merkillä. (Sterman 2000, 12–14.)



Kuva 1. Positiivinen takaisinkytketty silmukka. (Sterman 2000, 13)

Käytännössä mikään toiminto tai tekijä ei voi kasvaa loputtomiin systeemissä. Kuvassa 2 on esitelty negatiivinen takaisinkytketty silmukka. Rajoittavina tekijöinä toimivat B-kirjaimella tai negatiivisella (-) -merkillä merkittäviä negatiivisia silmukoita, jotka tasapainottavat systeemin toimintaa. Negatiiviset silmukat vastustavat ja toimivat muutosta vastaan. (Sterman 2000, 12–14.)



Kuva 2. Negatiivinen takaisinkytketty silmukka. (Sterman 2000, 13)

Takaisinkytkentöjen havaitseminen ja mallintaminen vaatii laaja-alaista systeemin ymmärtämistä. Systeemidynaamiset mallit koostuvat helposti jopa tuhansista positiivisista ja negatiivisista takaisinkytkennöistä, jotka vaikuttavat toisiinsa. Vaikka konsepti on yksinkertainen, monimutkaisten keskinäisriippuvuuksien tunnistaminen vaatii monisilmukkaisten järjestelmien laaja-alaista simulointia ja analyysiä. Takaisinkytkennät voivat luoda systeemiin

häiriötä ja niiden merkitys voi muuttua ajan myötä. Tämän vuoksi on tärkeää, että järjestelmää kehitetään ja muokataan. (Serman 2000, 14–23.)

2.5. Viive, varannot ja virtaukset

Viiveet ovat keskeinen osa dynaamisia järjestelmiä. Ne aiheuttavat systeemiin hitautta ja voivat vaikuttaa järjestelmän käyttäytymiseen ja kehittymiseen. Viiveet voivat myös vaikuttaa järjestelmän tasapainoon hidastamalla järjestelmän vastetta niin, että muutokset vaikuttavat vasta myöhemmin. Systeemidynaamisissa mallissa viiveet merkitään kahdella poikki- viivalla. (Serman 2000, 150–151.)

Tyypillisiä viivetyyppejä ovat materiaali- ja informaatioviive. Muiden viivetyyppien tavoin ne vaativat aina jonkin varaston. Materiaaliviive syntyy, kun prosessin sisäänmenon ja ulostulon virtausnopeuksien välillä on ero. Tämän seurauksena materiaalia varastoituu fyysiseen varastoon. Informaatioviive aiheutuu puolestaan ihmisten käsityksistä ja uskomuksista. Mentaalisista malleista tyypillisesti johtuvan virheen havaitseminen ja uuteen tietoon päivittäminen vie aikaa. Tämä luo systeemiin viivettä. (Serman 2000, 411–426.) Esimerkkinä informaatioviiveestä voidaan pitää tilannetta, jossa tietojärjestelmän suunnittelija ei ole huomannut asiakkaan toivetta jostain tuotteen ominaisuudesta ja asiakaspalaute saadaan vasta projektin loppuvaiheessa. Tällöin esimerkiksi halutun ominaisuuden lisääminen tuotteeseen voi olla mahdotonta, eikä tuote täytä asiakkaan vaatimuksia.

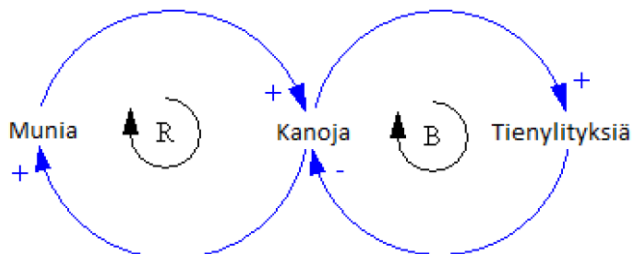
Varastot kerryttävät systeemiin arvoa. Ne kuvaavat systeemin tilaa ja luovat informaatiota, johon päätöksenteko ja toimenpiteet perustuvat. Kuvassa 3 on esitetty varaston ja siihen kohdistuvan virtauksen yleinen kausaalidiagrammiesitys. Varastoon kohdistuu virtauksia, jotka muuttavat sen arvoa. Varasto voi olla esimerkiksi työntekijöiden määrä yrityksessä. Esimerkiksi investoinnit voivat muuttaa varaston arvoa uusien rekrytointien ja uuden osaamisen saamisen myötä. (Serman 2000, 192–195.)



Kuva 3. Varaston ja virtauksen yleinen rakenne. (Sterman 2000, 193)

2.6. Vuorovaikutuskaavio

Vuorovaikutuskaavio (eng. *causal loop diagram*, CLD) on yksi systeemidynamiikan graafisista työkaluista. Sen avulla voidaan havainnollistaa systeemin ja sen takaisinkytkentöjen toimintaa. Tämä mahdollistaa kriittisemmän systeemin tarkastelun ja se voi helpottaa ongelmien aiheuttajien etsintää. Kuvassa 4 on esitetty vuorovaikutuskaavio. Muuttujien välistä kausaalisuutta merkitään vuorovaikutuskaaviossa tyypillisesti positiivisin (+) ja negatiivisin (-) merkein kuvatuilla nuolilla. Positiivinen silmukka vahvistaa muuttujan toimintaa ja negatiivinen tasapainottaa sitä. Nuolien merkit kuvaavat systeemin rakennetta, mutta eivät sen dynaamista käyttäytymistä. (Sterman 2000, 137–139.)



Kuva 4. Vuorovaikutuskaavio. (Sterman 2000, 14)

Vuorovaikutuskaavioita käytetään laajasti akateemisessa työssä. Tämä johtuu siitä, että malli toimii hyvin erilaisten dynaamisten suhteiden ja vuorovaikutusten kuvaamisessa. CLD:n suunnittelun säännöt ovat yksinkertaiset, mutta selkeän kaavion suunnittelu vaatii huolellisuutta ja aikaa. (Sterman 2000, 137–139.) Tässä työssä ei käytetä vuorovaikutuskaaviota tulosten havainnollistamisessa.

3. KESTÄVYYSMUUTOS

Ympäristöhaasteiden kuten ilmastonmuutoksen ja biodiversiteetin vähenemisen ratkaisemiseksi edellytetään kestävyysmuutosta. Kestävyysmuutoksessa yhteiskuntaa hallitsevat toimintatavat ja toimialat korvataan uusilla, ympäristön kannalta kestäväillä innovaatioilla. Tämä tapahtuu esimerkiksi siirtymällä uusiin ja kestävämpiin energia- ja liikennejärjestelmiin. Muutokset eivät tapahdu nopeasti, tai erillisesti uuden teknologian kehittymisen taustalla. (Berninger et al. 2017, 13–15.) Sen sijaan ne ovat sosio-teknisiä ja niihin kuuluvat muutokset kulttuurissa, liiketoimintamalleissa, kulutuskäyttäytymisessä, sekä politiikassa (Markard et al. 2012). Uusiin toimintamalleihin siirtyminen edellyttää vanhojen rakenteiden murtamista. Sen onnistumiseksi vanhat toimintatavat on korvattava laajasti monilla eri aloilla. (Berninger et al. 2017, 13–15.)

Kestävyys voidaan jakaa ekologiseen, taloudelliseen, sekä sosiaaliseen ja kulttuurilliseen kestävyYTEEN. Kolme ulottuvuutta on esitetty kuvassa 5. Ekologisen kestävyYDEN edellytyksenä on biologisen monimuotoisuuden säilyttäminen ja ekosysteemien toiminnan säilyttäminen. Ihmisen toiminnan tulee sopeutua ympäristön kantokykyyn. Tämän toteutumiseksi haittojen ja riskien arviointi ja ehkäisy on tärkeää. Kansainvälisen yhteistyön harjoittaminen on keskeisessä asemassa ekologiseen kestävyYTEEN pyrittäessä. Taloudellinen kestävyys tarkoittaa kestävään ja tasapainoiseen talouspolitiikkaan siirtymistä. Se vaatii pitkällä tähtäimellä ekologisen kestävyYDEN tavoittelua. Tasapainoisuutta voidaan tavoitella esimerkiksi energiatehokkuuden parantamisen avulla. Sosiaalisessa ja kulttuurillisessa kestävyYDESSÄ keskitytään yhdenvertaisuuden, perusoikeuksien ja vaikuttamismahdollisuuksien kaltaisten hyvinvoinnin edellytysten toteutumisen mahdollistamiseen. Hyvinvoinnin kehityksen tulee olla kestäväällä pohjalla ja sen tulee siirtyä sukupolvelta toiselle. KestävyYSHAASTEITA ovat esimerkiksi sukupuolten välinen epätasa-arvo, köyhyys, terveydenhuolto ja koulutus. Näiden toteutumisella on suuri merkitys taloudellisen ja ekologisen kestävyYDEN toteutumiseen. Sosiaalisen kestävyYDEN haasteiden ratkaiseminen vaatii toimenpiteitä sekä valtioilta, että kansainvälisiltä yhteisöiltä. (Ympäristöministeriö 2017.)



Kuva 5. Kestävyyden kolme ulottuvuutta. (Laininen et al. 2005, 20)

3.1. Yritysvastuu

Jaetun arvon malli on Michael E. Porterin ja Mark R. Kramerin vuonna 2011 kehittämä malli. Sen mukaan yritykset voivat tuoda lisäarvoa asiakkaille ja ympäröivälle yhteisölle, sekä sidosryhmille korvaamalla lyhytnäköisen voiton tavoittelun pitkäaikaisen yhteisen arvon tavoitteluun. Yhteisen arvon tavoittelun tasoihin kuuluvat markkinoiden ja tuotteiden uudelleen arvioiminen ja tunnistaminen, arvoketjujen tuottavuuden määrittely ja tunnistaminen, sekä paikallisten klustereiden mahdollistaminen. Klusteriajattelussa tehostetaan innovaatioita ja kasvua vahvistamalla paikallisyhteisön osaamista. Arvoketjun tuottavuuden tunnistamisessa yritys voi esimerkiksi hakea kustannus- ja ympäristötehokkuutta kiinnittämällä huomiota siihen, että arvoa tuotetaan ketjun kaikille osapuolille. Paikallisyhteisöjen huomiointi vaatii uudelleen ajattelua ja vallitsevien toimintatapojen kyseenalaistamista. Yhdessä tekeminen ja yhteiskunnallisten asioiden kattava huomioiminen mahdollistaa vastuullisemmat innovaatiot. Näiden myötä yritys voi saavuttaa pitkän aikavälin hyötyjä esimerkiksi asiakastyytyväisyyden kautta. (Koipijärvi & Kuvaja, 2020, 43,44.)

Yritystoiminnassa hyödynnetään sidosryhmääjattelua. Sidosryhmällä tarkoitetaan yksilöä tai ryhmää, joka vaikuttaa yrityksen toimintaan, prosesseihin, tai on sen vaikutuksen alaisena. Näihin kuuluvat esimerkiksi ulkoisiin sidosryhmiin lukeutuvat kansalaisjärjestöt ja sisäisiin sidosryhmiin lukeutuvat omistajat. (Carroll & Näsi 1997, 47–51.) Sidosryhmien näkökulmat kestävyysaasteisiin voivat erota toisistaan. Vaikka odotusten täyttäminen voi olla haasteellista, on sidosryhmistä paljon hyötyä yritykselle. Verkostojen luominen ja uuden tiedon saaminen mahdollistaa yritys vastuun toimien tasapuolisemman toteutumisen. Uusien näkökulmien myötä hankittua tietoa voidaan hyödyntää ja kehittää tehokkaammin. (Juutinen 2016, 33.) Tämä mahdollistaa keskeisten vaikutusten ja mahdollisuuksien paremman ymmärtämisen. Lisäksi yritys kykenee keskittämään resurssinsa tehokkaammin kestävyysaasteiden ratkaisemiseen.

Yritysvastuu on käsitteenä monitulkintainen. Tyypillisesti sillä tarkoitetaan yrityksen velvollisuutta noudattaa vastuuta omista toimistaan ja toteuttaa kestävä kehityksen periaatteita yritystoiminnassaan. Tämä vaatii lainsäädännön vaatimukset ylittäviä toimia, jolloin pystytään vastaamaan sidosryhmien ja markkinoiden kohdistamiin odotuksiin, saavuttaen tai ylläpitäen samalla kilpailukykyä. Yritysten ja organisaatioiden on syytä olla johdonmukaisia vastuullisuustermien käytössä. Tämä selkeyttää viestintää ja mahdollistaa johdon ja muun henkilöstön ymmärryksen taustalla olevista perusteluista. (Juutinen 2016, 25–29.) Yrityksen hallinnon läpinäkyvyydellä on keskeinen rooli osana yritys vastuuprosessia. Se informoi sidosryhmiä vastaten niiden kasvaviin vaatimuksiin yrityksen avoimuuden suhteen. Tämä on osaltaan johtanut yritys vastuuraportoinnin lisääntymiseen. (Siew 2015.)

John Elkingtonin (1994) kehittämä kolmen pilarin malli on perinteinen tapa lähestyä yritys vastuuta. Siinä yrityksen vastuullisuus on jaettu taloudelliseen, sosiaaliseen ja ympäristölliseen ulottuvuuteen. Taloudellinen vastuu pohjautuu yrityksen pyrkimykseen tuottaa voittoa ja olla kannattava, sisällyttäen esimerkiksi kestävää muutosta tukevat liiketoimintamallit. Sosiaaliseen vastuuseen kuuluu mm. ihmisoikeuksien noudattaminen, sekä henkilöstön hyvinvointi. Ympäristövastuun piiriin kuuluu esimerkiksi vastuu toiminnan arvoketjusta ja luonnonvarojen tehokas ja säästävä käyttö. (Koipijärvi & Kuvaja 2020, 22–23.)

Yritysvastuun tarkoitus on vastata yhteiskunnan ja sidosryhmien odotuksiin hyödyntämällä mahdollisuudet liiketoiminnassa, sekä minimoimalla niille mahdollisesti aiheutuvat riskit. (Juutinen 2016, 26)

Kolmen pilarin mallia voidaan laajentaa strategisen vastuullisuuden suuntaan huomioimalla arvoa lisäävät lähestymistavat. Tällöin yritys näkee vastuullisuuden kiinteänä osana yrityksen arvomaailmaa, jossa se tuo suoraa tai epäsuoraa lisäarvoa yritykselle esimerkiksi myynnin kasvun tai asiakasuskollisuuden keinoin. Kilpailuedun ja edelläkävijyyden tavoittelu vaatii kiinteää sidosryhmäyhteistyötä, jossa liiketoiminta ja vastuullisuusammattilaiset toimivat yhdessä. (Koipijärvi & Kuvaja 2020, 25–27.)

Yritysvastuun mittareita tulisi tarkastella riittävän pitkällä aikavälillä ja eteenpäin katsovasti. Monet haasteet vaativat pitkäjänteistä kehitystyötä ja osapuolien sitoutumista asiaan. Tämän vuoksi on tärkeää, että vastuullisuus näkyy kaikessa yrityksen toiminnassa. Mikäli yhdistäviä vastuullisuustavoitteita ei ole, muuttuu haasteiden tarkastelu helposti suppeaksi ja lyhytnäköiseksi. (Koipijärvi & Kuvaja 2020, 26–27.) Yksittäinen vastuullisuusraportti ei tee yrityksestä vastuullista, mikäli muu toiminta aiheuttaa yhteiskunnalle tai sidosryhmille negatiivisia vaikutuksia. (Juutinen 2016, 28)

4. ICT-ALAN KESTÄVYYSHAASTEET

Systeemiajattelun viitekehykseltä tarkasteltuna ICT-alan kestävyysaasteet näyttäytyvät monimutkaisina kokonaisuuksina. Aasteet eivät ole yksinomaan ympäristöä tai yhteisöä kuormittavia. Monimutkaisten keskinäisriippuvuuksien vuoksi ongelmat sisältävät runsaasti erilaisia takaisinkytkentöjä. Monimutkaisten systeemien ja niiden välisten vuorovaikutusten ymmärtäminen edellyttää kokonaisvaltaista lähestymistapaa, joka havainnoi ongelmia monesta eri näkökulmalta. Tämän vuoksi työssä on päädytty esittelemään kestävyysaasteet aihekokonaisuuksittain.

Alaluvussa 4.1 käsitellään digitalisaatiota ja sen tuottamia haasteita, alaluku 4.2 keskittyy tietoturvan ja yksityisyydensuojan haasteisiin, alaluku 4.3 käsittelee teknologisen kehityksen nopeuden aiheuttamia ongelmia ja alaluku 4.4 alan tuotanto- ja kulutusmalleihin liittyviä ongelmia. Alaluvussa 4.5 kerrotaan ICT-alan energiankulutuksen tuomista kestävyysaasteista.

4.1. Digitalisaatio, työllisyys ja osaaminen

ICT-alan digitalisaatio on vaikuttanut merkittävästi työmarkkinoihin. Uudet teknologiat mahdollistavat uusien työpaikkojen syntymisen ja olemassa olevien työtehtävien muuttumisen. Tämä mahdollistaa ammatillisen kehittymisen ja uuden oppimisen. Toisaalta automaation ja muiden teknologioiden seurauksena tapahtuva alojen katoaminen on johtanut työpaikkojen menetyksiin. (Parviainen et al. 2017.) Tapojen ja työskentely-ympäristön muuttuminen luo tarvetta uudentlaiselle osaamiselle. Teknologioiden ja työkalujen nopea kehitys edellyttää tämän vuoksi jatkuvaa koulutuksen ja osaamisen kehittämistä. Työelämän tarpeisiin sopeutuminen on välttämätöntä, jotta voidaan välttyä työvoimapulalta, joka voisi vaikuttaa haitallisesti alojen kehitykseen.

Degrysen (2016) Euroopan ammatillisen yhteisjärjestön (EAY) tutkimusinstituutille tekemässä selvityksessä arvioidaan digitalisaation vaikutuksia työmarkkinoihin. Selvityksen mukaan digitalisaatiossa on vahvuuksien ja mahdollisuuksien lisäksi heikkouksia ja uhkia, jotka voidaan mieltää ICT-alan sosiaalisina kestävyysaasteina. Heikkouksiin kuuluvat esimerkiksi yhteiskunnan polarisoituminen, vaurauden keskittyminen arvoketjussa, yksilön käytöksen ja kulutustottumusten algoritmisointuminen. Selvityksen mukaan digitalisaation heikkoutena on myös investointien keskiloikkaistuminen. Tämän seurauksena yhteiskunnan alempiin tuloluokkiin kuuluvien on vaikeampi hyötyä digitalisaation tarjoamista mahdollisuuksista. (Degryse 2016.)

Digitalisaation haasteisiin kuuluu myös työtehtävien muuttuminen. Uhkana on, että työntekijät eivät sopeudu riittävän nopeasti muutoksiin ja osaamispulan seurauksena taidot ja työn kysyntä eivät kohtaa. Mikäli lisäkoulutusta ei järjestetä, tai se on vaikeasti saatavissa, voi yksilöiden palkkakehitys pysähtyä ja yhteiskunnan epäarvoistuminen kiihtyä. Tällöin työntekijä voi kokea menettävänsä oman ammattitaitonsa ja osaamisensa. Työnjohdon ja valvonnan digitalisoituminen voi johtaa siihen, että luottamus työntekijöiden ja johdon välillä horjuu. Lisääntyneen etätyöskentelyn seurauksena työ ja vapaa-aika voivat sekoittua toisiinsa. Stressin ja loppuun palamisen yleistyessä digitalisaatio tuo työelämään kansanterveydellisiä haasteita. (Degryse 2016.)

4.2. Tietoturva ja yksityisyys

Tietoturva on laaja ja merkittävä sosiaalinen ja taloudellinen kestävyysaaste. Sen kestävyysaasteet liittyvät ICT-alan teknologian käyttöön ja luottamuksellisuuden rakentamiseen ja ylläpitoon. Kolmeen osa-alueeseen jakautuva tietoturva muodostaa perinteisen tietoturvamallin. Malli koostuu luotettavuudesta (eng. *Confidentiality*), tiedon eheydestä (eng. *Integrity*) ja saavutettavuudesta (eng. *Availability*). Tiedon luotettavuudella tarkoitetaan sitä, että vain käyttöoikeudet omistavat henkilöt pääsevät käsittelemään tietoa. Se on erityisen tärkeää, mikäli käsitellään esimerkiksi henkilötietojen kaltaista luottamuksellista tietoa. Luotettavuus hajoaa, mikäli ulkopuolinen taho pääsee tietoihin käsiksi. Tiedon eheydellä tarkoitetaan sitä, että tallennetut tiedot pysyvät muuttumattomina. Vioittuminen voi tapahtua

esimerkiksi tietokoneviruksen tai tallentamisen seurauksena. Saavutettavuus takaa tiedon sujuvan saamisen sitä tarvitseville. Tiedon luotettavuus ja eheys vaikuttavat siihen merkittävästi. Sen haasteisiin kuuluu esimerkiksi käyttäjän tai järjestelmän todentamisen haasteet. (Whitman 2012.) Lisäksi datan hallinta vaikeutuu sen määrän kasvaessa. Tämän vuoksi tiedonkäsittelyn kehittäminen ja pullonkaulojen tunnistaminen antaa yrityksille uudenlaisia haasteita.

Digitalisaation seurauksena yksityishenkilöiden henkilöiden tietoja tallennetaan yhä useammin sähköisesti. Ohjelmistojen haavoittuvuudet ovat yleisiä ja niiden havaitseminen voi olla vaikeaa. Haavoittuvuuksia käytetään usein hyväksi järjestelmiin murtautuessa. Tämä asettaa uudenlaisia haasteita esimerkiksi terveydenhuollon organisaatioille, joissa mahdolliset kyberhyökkäykset voivat vaarantaa käyttäjien turvallisuutta. Tyypillisiä tietojärjestelmiin kohdistuvia kyberuhkia aiheuttavat tietoturvaloukkaukset (eng. *data breach*), tietojenkalastus (eng. *phishing*), kiristyshaittaohjelmat (eng. *ransomware*) sekä verkkohyökkäykset. Tietoturvaongelmat voivat vaikuttaa negatiivisesti ICT-alan kestävyys ja pahimmassa tapauksessa vaarantaa yhteiskunnan toiminnan. (Martin et al. 2017.) Tietoturvakysymys heijastuu myös kuluttajien asenteisiin laitteiden kierrätystä kohtaan. Euroopan komission teettämän kyselytutkimuksen mukaan 55 % suomalaisista on valmis kierrättämään päätelaitteensa, mikäli se ei aiheuta yksityisyyden suojan riskejä. (Euroopan komissio 2020.)

4.3. Teknologisen kehityksen nopeus

ICT-alan teknologinen kehitys on nopeaa ja tuotantocyklit ovat lyhyitä. Tämän seurauksena laitteet vanhenevat nopeasti. Esimerkiksi kuluttajakäyttöisten esineiden internetiä (eng. *Internet of Things*, IoT) -laitteiden suosio on nostanut esiin tuotteiden lyhyen elinkaaren. Langattoman tiedonsiirron teknologioiden kehittyminen on edistänyt esimerkiksi IoT:n kehittymistä ja tuotteiden hintojen alenemista. (Valtionneuvosto 2020.) IoT-laitteiden määrän arvioidaan olevan laskentatavan mukaan noin 10 miljardia. Verkkoon kytkettyjen laitteiden määrän tämänhetkinen vuotuinen kasvuvauhti on 15 %. Laitteiden määrän ennustetaan kasvavan noin 25 miljardiin vuoteen 2025 mennessä. (Ericsson 2019.) Verkkoyhteyttä käyttävien laitteiden ohjelmisto voi vanheta fyysistä osaa nopeammin. Vaikka esimerkiksi

älykellon mekaaniset osat toimisivat ongelmitta, voi tietoturva ja taustalla vaikuttavat verkko-ominaisuudet vanheta. Tämän seurauksena laitteen tietoturvallinen käyttö voi estyä kokonaan. (Valtionneuvosto 2020.) Laitteiden korjaamisen korkeat kustannukset voivat alentaa kuluttajan kiinnostusta laitteiden korjaamiseen. Tämän vuoksi vanhentunut laite vaihdetaan helposti uuteen. Tämä lisää elektronisen jätteen määrää ja vaikuttaa negatiivisesti kestävyYTEEN.

Vaikka digitalisaatio mahdollistaa uusia ilmastoystävällisempiä palveluita, työskentelymahdollisuuksia ja tuotantoa, tuo elektroniikan määrän kasvu ongelmia. Teknologian ja työkalujen nopean kehityksen seurauksena sähkö- ja elektroniikkajätteen, eli SER-materiaalien määrä kasvaa. Globaalin materiaalinkulutuksen arvioidaan kaksinkertaistuvan vuoden 2015 ja 2050 välillä (Euroopan komissio 2019). Elektroniikkajäte on maailman nopeimmin kasvava jätetyyppi. Sen määrä kasvaa 6,5 % vuosivauhtia (Sullivan 2018).

4.4. Tuotanto- ja kulutusmallit

ICT-alan tuotanto- ja kulutusmallit ovat riippuvaisia monimutkaisista globaaleista toimitusketjuista. Laitteiden valmistus vaatii energiaa ja materiaaleja, joista osa on harvinaisiksi luokiteltuja metalleja. Raaka-aineiden louhinta voi aiheuttaa ympäristöongelmia, kuten vesistöjen ja maaperän saastumista. Tämän lisäksi se voi vaikuttaa alueiden yhteisöjen terveyteen negatiivisesti. Muita merkittäviä elinkaaren aikaisia ympäristöongelmia ovat esimerkiksi datakeskusten käytöstä aiheutuva melu, raaka-aineiden kuljetuksesta aiheutuva liikenne, raskasmetallien ja muiden vaarallisten jätteiden joutuminen luontoon, sekä louhinnasta aiheutuva maaperän eroosio. (Valtionneuvosto 2020.)

Laitteiden tuotanto ja erityisesti raaka-aineiden louhinta on energia- ja vesi-intensiivistä. Elektroniikkateollisuus käyttää merkittäviä määriä jalometalleja esimerkiksi johtavuuden ja sähkökemiallisten ominaisuuksien vuoksi (Caymil et al. 2015). Metallien louhinta aiheuttaa kuitenkin paljon ympäristövaikutuksia ja raaka-aineiden rajallisuus voi aiheuttaa konflikteja. Esimerkiksi kriittisiin raaka-aineisiin liittyy suuri hankintariski. Rajallisen saatavuuden vuoksi kriittiset raaka-aineet muodostuvat arvoketjussa ongelmaksi. Aineiden

kierrättäminen voi säästää neitseellisiä raaka-aineita. Kierrätyksen haasteena on kuitenkin sen energiaintensiivisyys. ICT-laitteiden tuotantoon liittyy myös vastuullisuusriskejä. Akkuminaalina käytettävää kobolttia käytetään litiumioniakuissa, joita on lähes kaikessa elektroniikassa. Sen tuotantoon liitetään vahvasti lapsityövoiman, korruption, konfliktien ja vaarallisten työskentelyolojen kaltaisia riskejä. (Valtionneuvosto 2020.)

4.5. Energiankulutus

Arjessa aineettomaksi mielletävät digitaaliset palvelut aiheuttavat sähkön ja materiaalien kulutusta. Digitaaliset palvelut edellyttävät ICT-infrastruktuuria, jonka rakentaminen ja käyttö kuormittaa ympäristöä. Vaikka laitteiden tekninen energiatehokkuus on parantunut, on laitteiden määrän kasvu johtanut alan sähkönkulutuksen kasvuun. Ongelman taustalla on osittain heijastevaikutus (eng. *reboud effect*), jossa energiatehokkuuden lisääminen ei todellisuudessa vähennä energian kokonaiskulutusta. Datan siirtäminen, prosessoiminen ja säilyttäminen on kasvanut voimakkaasti, ja se vaatii palvelintehoa sekä sähköenergiaa. Samaan aikaan ICT-sektorin toimijat ja palveluiden tuottajat ottavat uusia laitteita käyttöön. (Valtionneuvosto 2020, 21–22)

Vaikka ICT mahdollistaa tehokkaamman tuotannon, on mahdollista, että siihen siirtyminen voi tehdä prosesseista energiaintensiivisempiä (Lange et al. 2020). Tieto- ja viestintäteknologia-alan aiheuttamasta sähkönkulutuksesta on rajauksista ja lähtöolettamuksista riippuen saatavilla poikkeavia tuloksia. Joidenkin raporttien mukaan sähkönkulutusta syntyy erityisesti datakeskuksissa ja verkoissa päätelaitteiden osuuden ollessa vähäisempää (Morley et al. 2018). Rajauksen ollessa erilainen kuluttajalaitteiden rooli voi korostua, jolloin sähkönkulutus näkyy tuloksissa suhteellisesti merkittävämpänä kuluttajalaitteiden osalta (Malmödin & Lunden 2018). Osuuden on arvioitu olevan noin 7 % maailman sähkönkulutuksesta (Euroopan komissio 2022). Energiankulutuksen vähentäminen vaatii kokonaisvaltaista lähestymistapaa. Tämä edellyttää, että energiankulutusta tarkastellaan sekä laitteiden valmistuksessa että niiden käytössä.

5. SYSTEEMISYYDEN HYÖDYNTÄMINEN ICT-ALALLA

Tämä kappale esittelee systeemiajattelun tarjoamia keinoja ICT-alan kestävyysaasteiden ratkaisemiseksi. Alaluvussa 5.1 esitellään tiedon ja datan hyödyntämiseen liittyviä keinoja kestävyysaasteiden ratkaisuisissa, alaluvussa 5.2 kerrotaan systeemidynaamisen simuloinnin mahdollisuuksista ja alaluvussa 5.3 resurssien tehokkaan käytön tärkeydestä. Yhteistyön merkitystä kestävyysaasteiden ratkaisemisen kannalta käsitellään alaluvussa 5.4. Alaluvussa 5.5 kerrotaan vaikutusten seuraamisen tärkeydestä.

5.1. Tiedon analysointi

Systeemiälykäs ajattelu keskittyy eri osa-alueiden välisiin poikkitieteellisiin riippuvuussuhteisiin. Tämän vuoksi se voi auttaa kysymään oikeita kysymyksiä ja hahmottamaan haasteiden taustalla olevat monimutkaiset vuorovaikutussuhteet. Tiedon kattavalla analysoinnilla voidaan tämän vuoksi saavuttaa hyötyjä myös kestävä kehityksen kontekstissa. (Abson et al. 2017, 31) Tiedonkulku ja sen tehokas analysointi on tässä hyvä vipupiste. Järjestelmän huono toiminta voi johtua esimerkiksi puuttuvasta, virheellisestä, tai viiveellä tulevasta informaatiosta. Ajantasaisen tiedon saaminen auttaa koko systeemiä havaitsemaan itsensä ja toimiensa vaikutukset. (Meadows 2008, 156–159.) Tämän seurauksena takaisinkytkentöjen ja niiden vaikutusten tunnistaminen helpottuu.

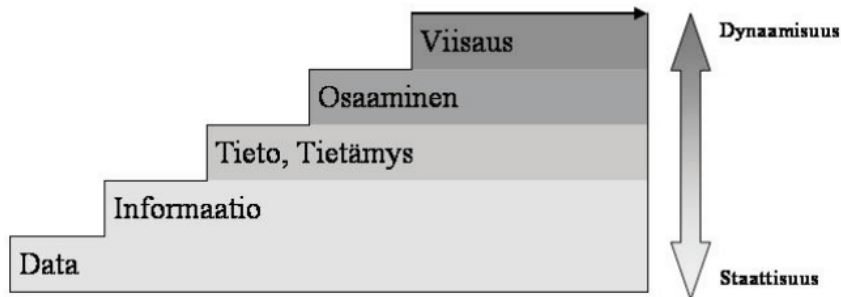
ICT-alalla kestävyysaasteisiin liittyvän tiedon hyödyntämisen puute vaikeuttaa resurssien kulutuksen hahmottamista. Yritysten tulisi seurata kulutusta ja suoritustehokkuutta tarkemmin. Esimerkiksi sosiaalisen kestävyuden mittareiden ja tiedon analysoinnin avulla voidaan asettaa konkreettisempia tavoitteita. Tämä mahdollistaa toimenpiteiden realistisen määrittelyn. (World Economic Forum 2018, 21.) Ajantasaisen tiedon avulla voidaan kehittää kestävämpiä ratkaisuja, joilla voidaan vaikuttaa energiatehokkuuden ja päästöjen vähentämisen kaltaisiin positiivisiin takaisinkytkentöihin. Negatiivisten takaisinkytkentöjen

muodostumiseen voidaan vaikuttaa ennaltaehkäisevästi. Tämän seurauksena voidaan vähentää niiden haitallisia vaikutuksia esimerkiksi ICT-infrastruktuurin kestävyys.

Robinsonin (2022) mukaan tiedon läpinäkyvyydellä voidaan vaikuttaa kuluttajien ja sijoittajien päätöksiin (Robinson 2022, 49). Keskeisenä haasteena tässä on datan hyödyntämisen puute. Pelkkä tiedon kerääminen ja tiedostaminen ei riitä kestävyysaasteiden ymmärtämiseen ja ilman sitä tieto ei realisoitu konkreettiseksi muutoksiksi. Tietojohtaminen (eng. *knowledge management*) voidaan kuvata prosessina, jossa tietoa luodaan, hankitaan, varastoidaan, jaetaan ja sovelletaan vuorovaikutuksen avulla. Luotettavan tiedon aikaansaamiseksi vaaditaan tiedon laatuun, yhtenäisyyteen, käyttöön ja toimintaprosesseihin liittyvää kehitystyötä. (THL 2011, 10.)

Tiedon analysoinnin avulla voidaan tunnistaa esimerkiksi kuluttajakäyttäytymisen muutoksia ja siihen vaikuttavia takaisinkytkentöjä. Suosittujen laitemallien ja toimintojen tunnistaminen auttaa ymmärtämään, mitkä ominaisuudet ovat kuluttajalle tärkeitä. Tämä voi auttaa niiden kestävyyskehittämisessä esimerkiksi materiaalivalintojen ja paremman energiatehokkuuden keinoin. Tiedon analysoinnin avulla voidaan selvittää, miten erilaiset käyttöjärjestelmät ja sovellukset vaikuttavat laitteiden käyttöikäen ja energiankulutukseen. Kestävä tuotesuunnittelu voi luoda positiivisia takaisinkytkentöjä esimerkiksi jätemäärän pienentämisen seurauksena pienenevien ympäristövaikutusten seurauksena. Ympäristöystävällisemmät tuotteet voivat parantaa yrityksen mainetta ja brändiä. Tämä voi houkuttaa uusia asiakkaita ja sijoittajia, jonka seurauksena systeemiin muodostuu positiivisen takaisinkytkentä. Yrityksen maineen paraneminen houkuttelee lisää uusia sijoittajia ja kuluttajia, mikä voi edistää uusien teknologioiden kehittämistä.

Kuva 6 esittelee tiedonmuodostumisen prosessin. Mitä ylempänä portaikossa ollaan, sitä enemmän tietoon liittyy inhimillistä toimintaa ja sitä vähemmän siitä voidaan tuottaa teknisesti irrallista materiaalia. Tiedonmuokkauksessa raakadata jalostetaan portaikon askelmien myötä staattisesta objektista dynaamiseksi prosessiksi. (THL 2011, 10.)



Kuva 6. Tiedonmuokkauksen hierarkia (THL 2011)

Stenvallin ja Syväjärven (2006) mukaan viestinnän ja tietojohdamisen näkökulmasta informaatio-ohjausta tulisi kehittää dialogisempaan ja sopimuksellisempaan suuntaan (Stenvall & Syväjärvi 2006). Tiedon laaja-alaisella analysoinnilla voidaan tunnistaa yhteyksiä ja kokonaisuuksia eri toimijoiden välillä (THL 2011, 10). Se voi auttaa tunnistamaan hitaat ja monimutkaiset prosessit, jotka luovat systeemiin viivettä. Tieto- ja viestintäteknikan alalla viivettä aiheuttavat esimerkiksi ohjelmistojen ja laitteiden kehittäminen, sekä niiden testaus ja hyväksyminen. Toimintaa hidastavat prosessit voivat liittyä myös päätöksentekoon tai lainsäädäntöön. Ne hidastavat kestävämpien ratkaisujen tai niiden edellyttämien toimien käyttöönottoa. Viiveiden tunnistamisen avulla voidaan kehittää ratkaisuja, jotka ottavat huomioon useiden eri toimijoiden vaikutukset.

Tiedon parempi analysointi voi mahdollistaa sähkö- ja tietovirtojen kaltaisten virtausten paremman hallinnan. Virtaukset vaikuttavat ICT-alan energiatehokkuuteen esimerkiksi infrastruktuurin korkean sähkönkulutuksen kautta. Tietovirtoja muodostuu esimerkiksi datan tallennusvarastojen lisääntymisen myötä. Virtaukset lisäävät energiankulutusta ja vaikuttavat hiilidioksidipäästöjen lisääntymiseen. Tämä kiihdyttää ilmastonmuutosta ja vaikuttaa haitallisesti ympäristöön ja ihmisten terveyteen. Suurimpien energiankuluttajien ja haittojen tunnistaminen voi auttaa kehittämään energiatehokkaampia ratkaisuja. Tämän myötä voidaan vähentää energian kulutusta ja kasvattaa uusiutuvan energian käyttöä.

Tieto- ja viestintäteknikkaan liittyy varastoja, kuten tiedon varastoinnin edellyttämiä datakeskuksia ja elektronisten laitteiden varastoja. Varastot voivat aiheuttaa ympäristöhaittoja. Esimerkiksi elektroniset laitteet sisältävät elohopean ja lyijyn kaltaisia myrkyllisiä aineita. Mikäli haitallisia aineita ei hävitetä asianmukaisesti, ne voivat levitä ympäristöön. Lisäksi tiedon tallennukseen käytettävät datakeskukset kuluttavat suuren määrän energiaa. Tiedon laajempi hyödyntäminen voi auttaa elektronisten laitteiden varastojen ja datakeskusten ympäristöhaittojen tunnistamisessa. Kestävyyshaasteiden tunnistamisen avulla voidaan kehittää tehokkaampia ja ympäristöä vähemmän kuormittavia kierrätysjärjestelmiä, vähentää varastojen määrää, sekä parantaa energiatehokkuutta.

Tiedon laadullisiin vaatimuksiin tulee kiinnittää huomiota. Hyvä informaatio on ajantasaista ja luotettavaa. Tämän vuoksi on tärkeää pohtia datan käyttökohteita ja sitä, millä tavoin informaatiota hyödynnetään ja tulkitaan. (THL 2011, 10.) Luotettavan ja eettisesti hankitun tiedon avulla voidaan ennustaa teknologian kehityksen vaikutuksia ja mallintaa erilaisia tulevaisuuden skenaarioita liiketoimintaprosesseista. Se mahdollistaa myös systeemin kestävyteen liittyvien haavoittuvuuksien tunnistamisen. Tämä voi auttaa kehittämään kestävämpiä ratkaisuja niiden selvittämiseksi.

5.2. Ratkaisujen simulointi

Kerätyn datan avulla yrityksen eri toimintoja voidaan seurata ja mallintaa optimaalisten toimintatapojen löytämiseksi. Systeemidynaamista mallintamista hyödyntämällä voidaan välttää kalliita ja paljon aikaa vieviä virheitä prosessien ja tuotteiden kehityksen aikana. Systeemin muutos voidaan nähdä kompleksisena kokonaisuutena, joka koostuu varantojen, virtojen, takaisinkytkentöjen ja viiveiden vuorovaikutuksesta. Emergentin ja vaikeasti ennustettavan luonteensa lisäksi ne ovat myös sopeutuvia ja ajan kanssa kehittyviä. Monet äkillisiltä vaikuttavat ulkoisvaikutukset voivat kuitenkin olla eksogeenisesti sokeita. Tämä tarkoittaa sitä, että niiden ymmärtäminen on helpompaa sisäsyntyisten, eli endogeenisten muutosten avulla. (Raworth 2017, 141.) Orit Gal (2012) tiivistää kompleksisuusteorian opetuksen siihen, että suuret tapahtumat ilmentävät pinnallisten suuntausten kypsymistä ja lähentymistä. Ne heijastelevat tapahtumista, joita on jo tapahtunut systeemin sisällä. (Gal 2012)

Toimien testaaminen pienen mittakaavan projekteissa mahdollistaa mallien ja toimintatapojen kokeilut. Huonosti toimivat mallit voidaan keskeyttää ja toimivien toimintaa laajentaa muille sektoreille. Tällainen suunnittelu on kestävyysaasteiden näkökulmasta katsoen ratkaisevaa. Keskinäisriippuvuuksien havaitseminen on systeemidynaamisessa mallinnuksessa vaikeaa ja suuren mittakaavan haasteissa vähäpätöiseltä vaikuttavat tekijät voivat vaikuttaa ratkaisevasti järjestelmän toimivuuteen. On tärkeä luoda järjestelmä, joka voi kehittyä ja sopeutua muutoksiin nopeasti, koska ei ole täyttä varmuutta mikä systeemi toimii. (Raworth 2017, 157.)

ICT-alan systeemidynaamisessa mallintamisessa kokonaisuudet voidaan pilkkoa pienemmiksi osakokonaisuuksiksi. Osien välisiä vuorovaikutuksia voidaan simuloida usein eri keinoin. (Sterman 2000, 12.) Esimerkiksi ICT-järjestelmän energiankulutuksen muutosta ja ympäristövaikutuksia voidaan simuloida mallilla, jonka avulla voidaan kehittää strategioita energiankulutuksen vähentämiseksi ja uusiutuvan energiankäytön lisäämiseksi. Simuloinnin avulla voidaan esimerkiksi selvittää, kuinka eri sidosryhmien päätökset vaikuttavat systeemin toimintaan ja kestävyysaasteisiin. Lainsäädännön muutokset voivat vaikuttaa merkittävästi yritysten investointipäätöksiin. Muuttuvat toimintatavat voivat vaikuttaa energiankulutukseen ja sen kautta hiilidioksidipäästöihin. Mallintaminen mahdollistaa päätösten vaikutusten tarkastelun pitkällä aikavälillä. Mitä tarkemmaksi malli suunnitellaan, sitä kauemmin sen simuloiminen vie aikaa. Toisaalta tulosten luotettavuus paranee, kun malliin vaikuttavat keskinäisriippuvuudet, varannot ja virtaukset on huomioitu kattavasti.

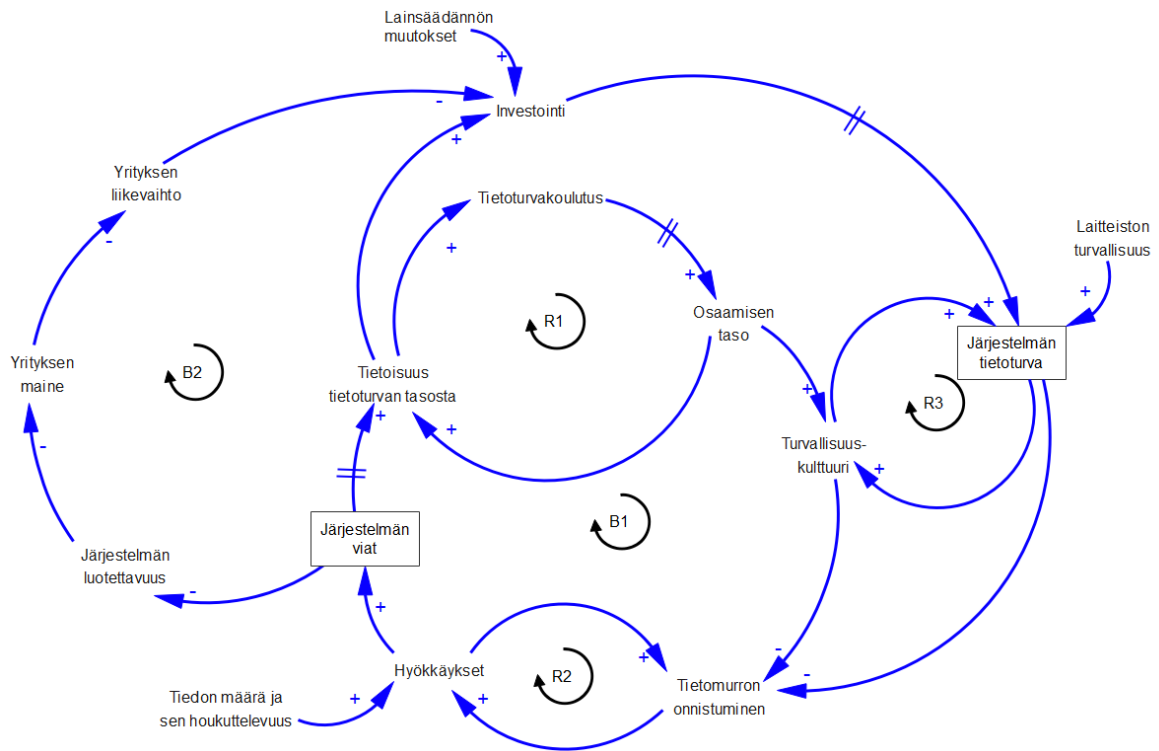
Systeemidynamiikan menetelmiä voidaan soveltaa myös tietoturvasuhteiden kehittämisessä. Huolellisesti toteutettujen mallinnusten avulla voidaan tunnistaa, miten erilaiset menetelmät vaikuttavat järjestelmän turvallisuuteen ja kestävyysaasteisiin pitkällä aikavälillä. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi järjestelmän eri osa-alueiden, niiden välisten vuorovaikutussuhteiden ja tietoturvan hallintamenetelmien mallintamisella. Tämän avulla yritykset voivat kehittää tehokkaampia ja kestävämpiä tietoturvastrategioita. Positiivisina takaisinkytkentöinä systeemissä voi toimia ohjelmiston haavoittuvuuksien löytyminen. Negatiivinen takaisinkytkentä voi muodostua, mikäli tietoturvan hallinta on riittämätöntä tai päivityksiä ei

tehdä riittävin väliajoin. Tämän seurauksena järjestelmän haavoittuvuus kasvaa, jonka myötä sen tietoturva heikkenee. Haavoittuvuuksien korjaaminen ja hallintamenetelmien päivittäminen vie aikaa ja luo systeemiin viivettä. Prosessin virtauksena voivat toimia esimerkiksi toimenpiteet, jotka pyrkivät parantamaan tietoturvaa. Virtaus voi olla myös uusi tietoturvavahka, joka heikentää systeemin tietoturvasuutta.

Tietoturvan kehittämisprosessissa varastoina voidaan ajatella esimerkiksi järjestelmän tietoturvaa, sekä sen vikoja. Niiden havaitseminen vie tyypillisesti aikaa, eli luo systeemiin viivettä. Mikäli haavoittuvuus jää huomaamatta on vaarana, että järjestelmän tietoturva vaarantuu. Tämän seurauksena käyttäjät voivat lopettaa järjestelmän käytön, mikä voi johtaa yrityksen maineen heikkenemiseen ja taloudellisiin menetyksiin. Pienentyneiden tulojen seurauksena yritys voi vähentää tietoturvan kehittämiseen ja ylläpitoon liittyviä investointeja. Tämän seurauksena tietoturva voi heikentyä entisestään, jolloin riski uusille hyökkäyksille kasvaa.

Tietoturvan kehittämisen yksinkertaistettu malli on esitetty kuvassa 7 vuorovaikutuskaavion avulla. Nuoliin merkityt kaksi poikkiviivaa kuvaavat viivettä. Positiivinen silmulla R1 kuvaa, kuinka johdon tietoisuus järjestelmän toiminnan tasosta vaikuttaa osaamiseen. Vikojen havaitseminen vie aikaa ja luo systeemiin viivettä. Tietoturvan toteutumiseksi yrityksen on tärkeää olla suunnitelmallinen, jotta uhkiin voidaan varautua. Tämän vuoksi turvallisuuden tulee toteutua myös hallinnollisella tasolla koulutuksen ja tietoturvasuutta kehittävää kulttuuria edistämällä. Tietämys tietoturvan riittämättömästä tasosta voi saada johdon reagoimaan tietoturvakoulutuksen keinoin. Koulutus lisää työntekijöiden osaamistasoa viiveellä, joka on kuvattu kahdella poikkiviivalla. Tietoteknisen osaamisen lisääntyminen esimerkiksi muutosten vaikutuksiin reagoimisen, riskien arvioinnin, sekä vaatimusten määrittelyn avulla parantaa yrityksen turvallisuuskulttuuria ja vahvistavat silmukassa R3 järjestelmän tietoturvaa. Tasapainottava silmukka B1 kuvaa turvallisuuskulttuurin ja järjestelmän vikojen välistä yhteyttä. Tietomurtojen onnistumisen ja hyökkäysten positiiviseen silmukkaan R2 vaikuttaa tiedon määrä ja sen houkuttelevuus. Lisääntynyt hyökkäysten määrä voi lisätä systeemiin varastoituvien vikojen määrää. Viat heikentävät järjestelmän luotettavuutta vähentäen tasapainottavan silmukan B2 kautta yrityksen liikevaihtoa ja sen myötä mahdollisia

investointeja. Tietoturvaan lisäävät investoinnit voivat lisääntyä kiristyvän lainsäädännön ja johdon tietoisuuden myötä. Investoinnit vaikuttavat systeemin toimintaan viiveellä ja vahvistavat laitteiston turvallisuuden tavoin varastona toimivaa systeemin tietoturva.



Kuva 7. Tietoturvaprosessin kehittämiseen vaikuttavia tekijöitä vuorovaikutuskaaviolla esitettynä.

Systeemidynaaminen mallinnus kykenee selkeyttämään monimutkaisia vuorovaikutussuhteita, jotka ovat vaikeasti havaittavissa. Kokonaisuuden hahmottamisen avulla voidaan löytää ja kehittää uusia kestäviä ratkaisuja. Rao ja Nayak (2014) mukaan yritysten tulisi esimerkiksi luoda kattava varmuuskopiointisuunnitelma. Suunnitelma auttaa yritystä valitsemaan tarpeisiinsa sopivimman varmuuskopiointimenetelmän. Käytössä oleviin järjestelmiin ja mahdollisiin investointeihin perustuva suunnitelma auttaa yritystä määrittelemään tietojen kriittisyyden eli sen, mitä tietoa yritys hyväksyy menettävänsä. Varmuuskopioitavia tietoja voivat olla esimerkiksi tietokannat, dokumentit ja käyttäjäprofiilit. (Rao & Nayak 2014.)

5.3. Resurssien tehokas käyttö

Systeemiajattelulla voidaan tehostaa ICT-alan resurssien tehokasta käyttöä. Rajallisten resurssien, kuten raaka-aineiden, veden ja energian käytön vähentäminen edellyttää kestävämpiin tuotantomalleihin siirtymistä. Esimerkiksi järjestelmien kehittämisen avulla laitteet voivat kuluttaa vähemmän energiaa, mikä johtaa vähemmän ympäristöä kuormittavaan toimintaan.

Systeemidynaamisesti ajateltuna, energiankulutus vaikuttaa ICT-infrastruktuurin eri osiin, kuten palvelinkeskuksiin, verkkolaitteisiin ja käyttöliittymiin. Energiankulutuksen vähentäminen voi vaikuttaa kaikkiin näihin osiin ja voi vaikuttaa myös tietoliikenteen saatavuuteen ja toimivuuteen. ICT-laitteiden energiankulutus johtaa kasvihuonekaasupäästöihin, jotka puolestaan vaikuttavat ilmastonmuutokseen. Ilmastonmuutoksella on kuitenkin myös vaikutuksia ICT-infrastruktuuriin, kuten sään ääri-ilmiöihin, jotka voivat häiritä tietoliikennettä ja aiheuttaa laitteiden vaurioita.

Datakeskusten näkökulmasta ympäristövaikutusten hallinta painottuu uusiutuvaan energiaan siirtymiseen ja hukkalämmön hyödyntämiseen. Hukkalämmön hyödyntäminen luo systeemiin takaisinkytkennän, jossa sähkönkulutus vähenee. Tämän seurauksena datakeskusten hiilijalanjälki ja ympäristövaikutukset pienenevät. Toimiva datakeskus tuottaa suuren määrän hukkalämpöä poistoilmaan tai jäähdytysnesteeseen. Valtionneuvoston (2020) mukaan datakeskusten hukkalämpöä voidaan hyödyntää kaukolämmitysverkossa, mikäli datakeskus sijaitsee riittävän lähellä kaukolämpöverkkoa. Laskelmien mukaan yhden datakeskuksen hukkalämmön hyödyntämisellä voidaan vähentää kaukolämmön tuotannon hiilidioksidipäästöjä 1300–1500 tonnia vuodessa. Kaukolämmön hyödyntäminen asettaa vaatimuksia myös hukkalämmön keräämiselle, mikä voi olla haasteena lämpiminä vuodenaikoina. (Valtionneuvosto 2020, 48–49.) Kesällä lämmityksen tarve on pienempi. Hukkalämmön riittämätön hyödyntäminen voi johtaa negatiiviseen takaisinkytkentään, jossa jäähdytysjärjestelmän toiminta heikkenee. Tämän voi nostaa datakeskuksen energiankulutusta.

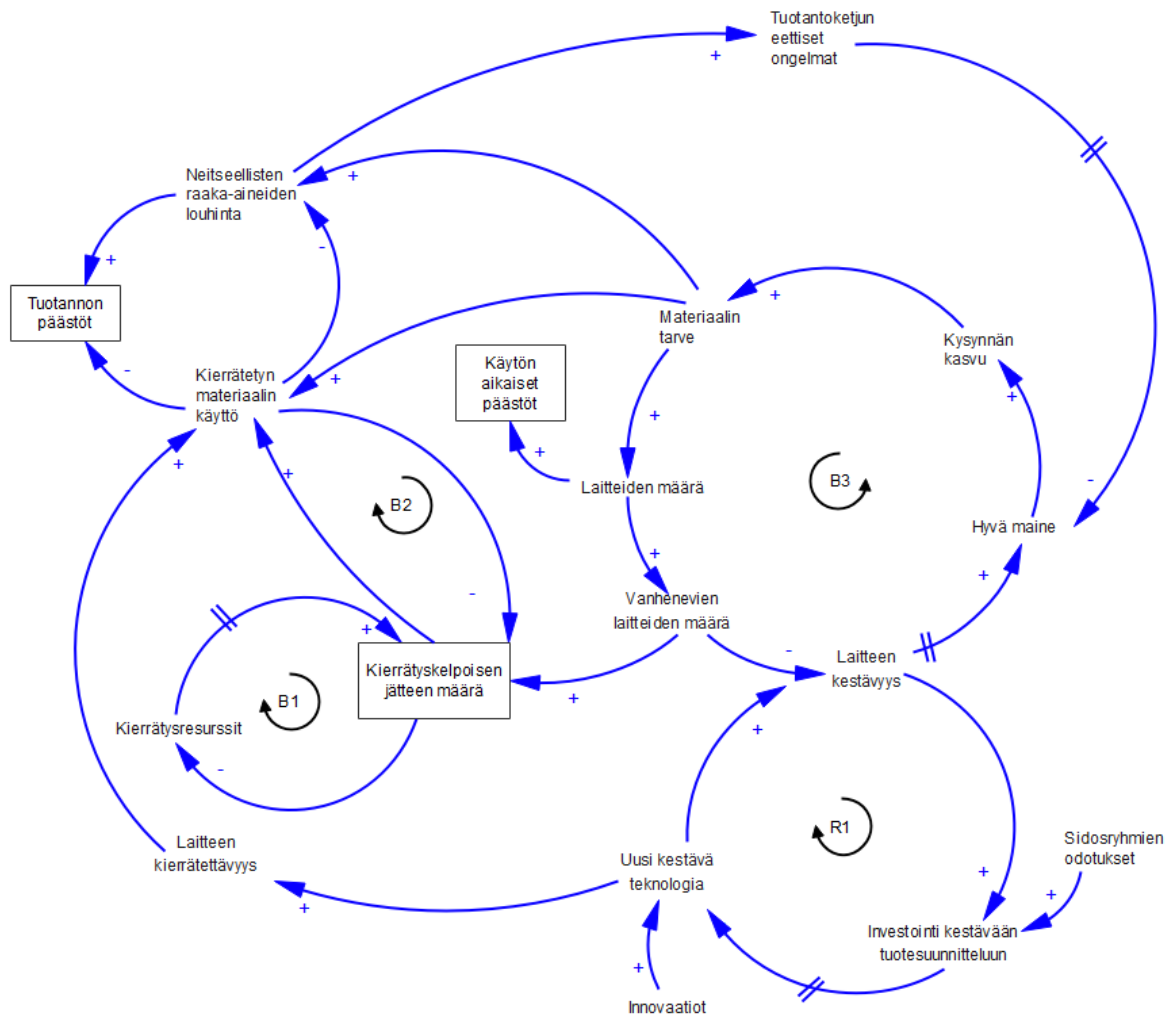
Datakeskusten hukkalämmön hyödyntämistä kehittämällä voidaan vähentää tarvetta lämmitysenergian tuottamiselle. Tämän myötä voidaan vähentää lämmöntuotannosta aiheutuvia päästöjä. Uusien datakeskusten suunnittelussa tarkemmin huomioitu mitoitus ja palvelinkapasiteetin optimointi voivat vähentää sähkönkulutusta. Energiatehokkuuden paraneminen luo takaisinkytkennän, jonka seurauksena käyttökustannukset ja ympäristövaikutukset pienenevät. Uusiutuvaan energiaan siirtyminen ohjaa datakeskuksen energian virtausta positiiviseen, vähemmän ympäristöä kuormittavaan suuntaan. Energiatehokkuuden parantaminen ja laitteiden vaihtaminen vie aikaa ja luo systeemiin viivettä. Pidemmällä aikavälillä kehitystyö ehkäisee haitallisten takaisinkytkentöjen muodostumista. Heikko energiaterhokkuus aiheuttaa yritykselle ylimääräisiä kustannuksia. Vanhojen ja uusiutumaton energiaa runsaasti kuluttavien laitteiden käyttö voi johtaa yrityksen maineen heikkenemiseen. Tämä voi vaikuttaa yrityksen taloudelliseen tulokseen.

Laitteiden lyhyt elinkaari on yksi ICT-alan keskeisiä ongelmia. Fyysisen osan toimivuuden lisäksi laitteessa toimivan ohjelmiston ajan tasalla pysyminen on edellytys laitteen turvalliseen käytölle. Resurssitehokkuutta voidaan kehittää laitteiden ja niissä käytettävien ohjelmistojen elinkaaren pidentämällä. Elinkaaren pidentyminen muodostaa negatiivisen takaisinkytkennän, jossa vanhenevien laitteiden ja niitä säilyttävien varastojen määrä vähenee. Lyhyellä aikavälillä pidentynyt käyttöikä voi luoda tuotetta valmistavalle yritykselle taloudellisia haasteita. Systeemiin voi muodostua negatiivinen takaisinkytkentä, jossa laitteiden kysynnän väheneminen heikentää yrityksen lyhyen aikavälin tuottavuutta. Kestävämpiin ja pitkäikäisempiin tuotteisiin siirtyminen tuo yritykselle myös lisäarvoa. Kuluttajan näkökulmasta kestävä laite voidaan nähdä luotettavana hankintana. Tämän seurauksena systeemiin voi muodostua positiivinen takaisinkytkentä, jossa tuotteen luotettavuuden seurauksena asiakastyytyväisyys lisääntyy. Yritykselle tämä voi tuoda lisäarvoa asiakasuskollisuuden ja maineen parantumisen keinoin.

Kestävän tuotesuunnittelun mahdollisuuksia ja haasteita esitellään yksinkertaistetussa muodossa kuvassa 8 vuorovaikutuskaavion avulla. Positiivinen silmukka R1 kuvaa, kuinka investointi kestäväan tuotesuunnitteluun mahdollistaa uusien teknologioiden syntymisen ja laitteen kestävyden parantumisen. Kestävä teknologia parantaa materiaalin

kierrätettävyyttä, jolloin kierrätetyn materiaalin käyttö kasvaa. Tämä vähentää neitseellisten raaka-aineiden louhintaa ja sen seurauksena syntyviä päästöjä. Kierrätetyn materiaalin käsittely tuottaa päästöjä, mutta niiden määrä on kierrätetyn materiaalin päästöjä vähäisempää. Neitseellisten raaka-aineiden käyttö lisää tuotantoketjun eettisiä ongelmia huonontaen viiveellä yrityksen mainetta. Kierrätetyn materiaalin käyttö vähentää kierrätyskelpoisen jätteen määrän varastoa. Tasapainottava silmukka B1 kuvaa, kuinka kierrätysresurssit vähenevät jätteen määrän kasvamisen seurauksena. Silmukassa B2 kierrätyskelpoisen jätteen määrä vähenee kierrätetyn materiaalin käytön seurauksena. Tämä vähentää uuden materiaalin tarvetta.

Kuvan 8 tasapainottava silmukka B3 kuvaa kestävän tuotesuunnittelun heijastevaikutuksen tuomia haasteita. Vaikka suunnitellun laitteen kierrätettävyys on parantunut, on tuotteen määrän kasvu johtanut tuotannon ja käytön aikaisten päästöjen kasvuun. Laitteen kestävyyskehittyminen parantaa yrityksen mainetta ja johtaa kysynnän kasvuun. Tämän seurauksena materiaalin tarve ja laitteiden määrä kasvaa. Tuotannon päästöjä voidaan vähentää kierrätysmateriaalin käytön seurauksena. Vanhenevien laitteiden kaikki osat eivät ole kierrätyskelpoisia. Laitteen tuotanto on edelleen riippuvainen neitseellisten raaka-aineiden louhinnasta. Kierrätettävyyden ja kierrätysmateriaalien hyödyntämisestä huolimatta päästöt kasvavat, mikäli laitteiden kokonaismäärää ei vähennetä.



Kuva 8. Kestävän tuotesuunnittelun haasteet ja mahdollisuudet vuorovaikutuskaaviolla esitettynä.

Kestävempien materiaalivalintojen ja energiatehokkaampien laitteiden kehittämisen lisäksi tuotesuunnittelussa tulisi huomioida nykyistä tarkemmin raaka-aineiden rajallisuus. Kierrätysmateriaalien käytön lisäksi tuotesuunnittelussa voidaan esimerkiksi kiinnittää tarkemmin huomiota uusien teknologioiden käyttöönottamisen menetelmiin. Tuotteita voidaan kehittää joustavammiksi suunnittelemalla niiden osista päivitys- ja vaihtokelpoisia, eli modulaarisia. Euroopan komission (2023) mukaan modulaariselle suunnittelulle ominainen tuotteiden osien vaihtamisen ja päivittäminen on potentiaalinen tapa pidentää tuotteiden käyttöikä. Käyttäjäkeskeistä korjaamista tukevien tuotteiden ja liiketoimintamallien kehittäminen edellyttää peruskorjausta vaativien teknisten vikojen ja muuttuvien suuntausten tunnistamista. (Euroopan komissio 2023.) Modulaarinen tuotesuunnittelu muodostaa positiivisen takaisin-kytkennän, jossa suunniteltavat laitteet ovat kuluttajalle korjausystävällisempiä, kuin

yleisesti käytössä olevat laitteet. Standardoidut osat tekevät esimerkiksi puhelimen huollosta helppoa ja halvempaa. Perinteisesti valmistetun puhelimen korjaus on usein kannattamatonta. Uuden puhelimen ostamisen sijaan modulaarisen tuotteen omistava kuluttaja voi ostaa uuden kameralinssin vioittuneen tilalle. Tämä pidentää puhelimen elinkaarta ja luo takaisin-kytkennän, jossa rajallisten resurssien, esimerkiksi harvinaisten akkumineraalien kulutus vähenee. Rajallisten resurssien käytön vähentäminen pienentää esimerkiksi louhinnasta ja kokonaan uuden tuotteen valmistuksesta aiheutuvia ympäristövaikutuksia.

5.4. Yhteistyön kehittäminen

Mukautuvuus eli järjestelmän resilienssi on tarkoittaa järjestelmän kykyä sopeutua, uusiutua ja kehittyä ympäröiviin muutoksiin. Tämä voi tapahtua esimerkiksi kulttuurien moninaisuuden ja innovoinnin vaalimisen keinoin. (Meadows 2008, 156–159.) Mukautuminen voi tarkoittaa organisaatiossa esimerkiksi päätösvallan jakamista ja suurempaa panostusta oppimiseen ja kokeiluihin (Birney 2021, 758). Kehitys vaatii monipuolista osaamista ja sidosryhmien välistä yhteistyötä monien eri toimialojen välillä.

Sidosryhmäyhteistyöllä on suuri merkitys kestävyysmuutoksessa. Verkostojen luominen esimerkiksi asiakkaiden, kansalaisjärjestöjen, henkilöstön ja viranomaisten kanssa vie aikaa. Se edellyttää useiden eri näkökantojen tutkimista ja huomioimista. Uusien näkökulmien myötä hankittua tietoa voidaan kuitenkin hyödyntää ja kehittää tehokkaammin, jolloin yrityksen on helpompi noudattaa yritys vastuun periaatteita. (Juutinen 2016, 33.) Esimerkiksi digitaalisen kuilun syiden selvittämisen avulla voidaan kehittää kestävämpiä ja kaikille tasapuolisesti käyttöystävällisempiä ohjelmistoja. Näin voidaan kehittää esimerkiksi digitaalisten palveluiden tasa-arvoisempaa saatavuutta kaikille.

Työmarkkinoiden muutoksien syitä ja vaatimuksia analysoimalla voidaan löytää ratkaisuja työelämän asettamille muutoshasteille. Esimerkiksi yliopistojen kanssa toteutettavan koulutusyhteistyön avulla voidaan sopeuttaa työntekijät digitalisaation seurauksena tapahtuneisiin työmarkkinoiden muutoksiin. Täydennyskoulutukset voivat mahdollistaa työntekijöiden

käytännön taitojen ajan tasalla pitämisen. Digitaalisen opetuksen ja tietoturvan perusteiden osaamisesta on hyötyä yritykselle myös tietoturvallisista syistä. Tutkimusyhteistyö voi tuoda uutta tietoa yritykselle. Tämä voi auttaa yritystä kehittämään toimintaansa tehokkaampaan ja kestävämpään suuntaan.

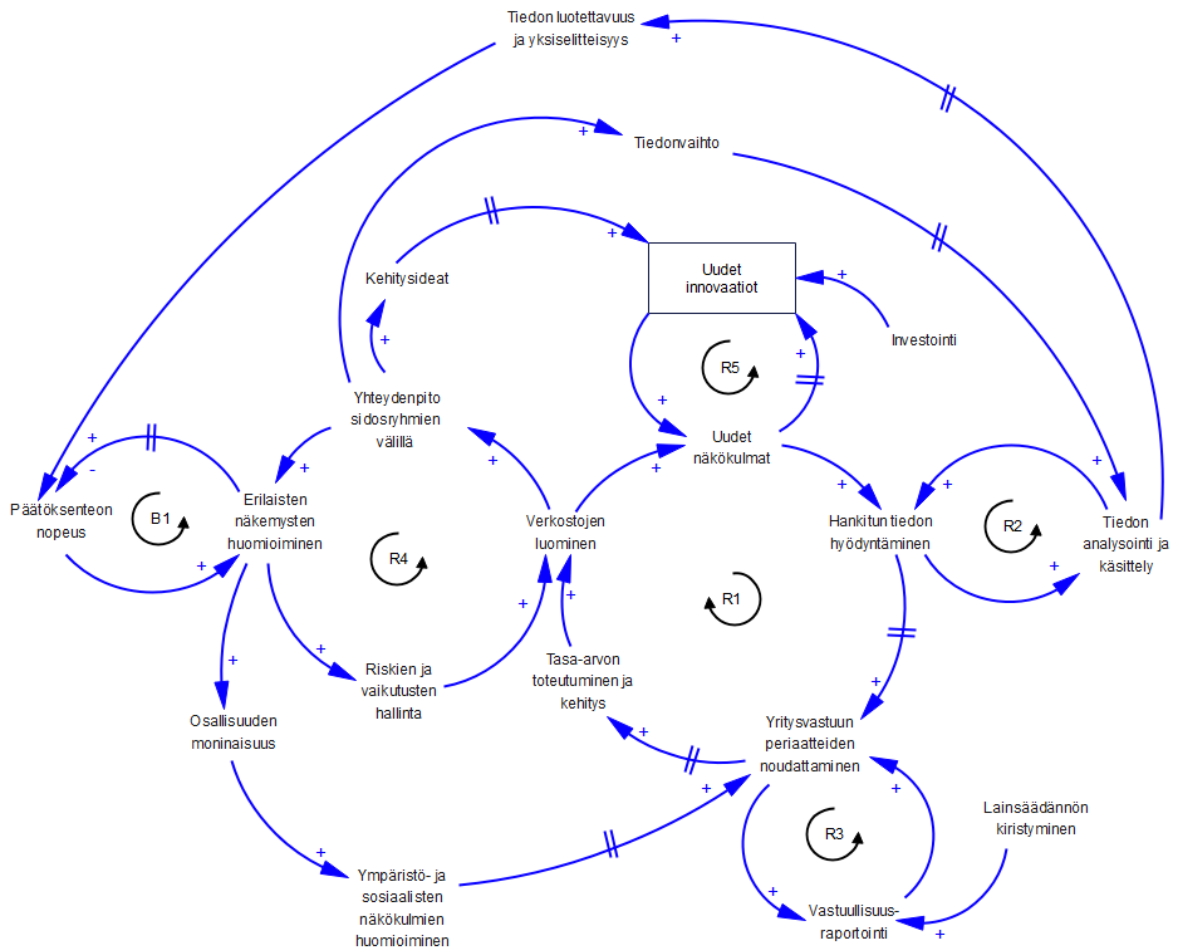
Systeemidynamiikan avulla voidaan mallintaa ICT-alan eri toimijoiden kuten valmistajien, kuluttajien ja palveluntarjoajien välisiä vuorovaikutuksia, sekä niiden vaikutuksia kestävyys-teen. Tästä voi olla hyötyä erityisesti hankintaketjujen vastuullisuuden kehittämisessä. Hankintaketjut ovat usein pitkiä ja kansainvälisiä. Vastuullisuuden näkökulmasta on tärkeää, että ketjun kaikki toimijat jakavat samat näkemykset tuotteiden laatu-, ympäristö-, ja vastuullisuuskriteereistä. (Koipijärvi & Kuvaja 2020, 179.) Erilaiset intressit ja näkökulmat voivat luoda systeemiin viivettä hidastamalla yhteistyön ja päätösten syntymistä. Lisäksi tiedonkulun hitaus ja kommunikaation puute voivat lisätä systeemiin viivettä.

Yhteistyön kehittämisen mukanaan tuomia hyötyjä kuvataan yksinkertaistetussa vuorovaikutuskaaviossa kuvassa 9. Positiivinen silmukka R1 osoittaa, kuinka verkostoitumisen mukanaan tuomat uudet näkökulmat lisäävät hankitun tiedon hyödyntämistä. Tiedon hyödyntämiskelpoiseksi saaminen vaatii yritykseltä tiedon jäsentelyä ja analysointia. Tämä lisää tiedon luotettavuutta ja yksiselitteisyyttä viiveellä. Yksiselitteiseen muotoon saatu tieto on helposti ymmärrettävässä muodossa. Tämä voi nopeuttaa päätöksentekoa. Positiivinen takaisinkytkentä R2 parantaa hankitun tiedon hyödyntämismahdollisuuksia. Konkreettinen tietämys parantaa viiveellä yritysvastuun periaatteiden noudattamista. Positiivinen silmukka R3 kuvaa, kuinka vastuullisuusraportointi parantaa yritysvastuun periaatteiden noudattamista. Lainsäädännön yritysvastuuta koskevat velvoitteet lisäävät vastuullisuusraportoinnin tarvetta. Tämä lisää yrityksen pyrkimystä muuttaa toimintaansa vastuullisempaan suuntaan, jolloin tasa-arvon toteutuminen ja kehitys lisääntyy.

Verkostojen luominen voi parantaa yrityksen riskien vaikutusten hallintaa. Kuvan 9 positiivisessa silmukassa R4 yhteydenpito sidosryhmien kanssa lisää erilaisten näkemysten huomioimista. Resilienssi parantaa yrityksen kykyä varautua ja sopeutua tapahtuviin muutoksiin. Erilaisten näkökulmien ja intressien huomioiminen hidastaa päätöksentekoa

tasapainottavassa silmukassa B1. Monipuolinen sidosryhmäyhteistyö lisää osallisuuden moninaisuutta. Tämä edellyttää pitkäjänteistä yhteistyötä eri toimijoiden kanssa. Heikkisen (2005) mukaan yrityksen tulisi pyrkiä heterogeenisuuden vaalimiseen. Ainutlaatuisuuden piirteisiin kuuluvat esimerkiksi ikä, sukupuoli, osaaminen ja koulutus. Yksilöiden kokemusten tunnistaminen ja arvostaminen mahdollistaa syrjivien käytäntöjen havaitsemisen ja purkamisen. (Heikkinen 2005, 8). Yrityksen näkökulmasta moninaisuus parantaa sosiaalisen ja ekologisen kestävyys huomioon ottamista päätöksenteossa. Tämä parantaa yritysvastuun periaatteiden noudattamista.

Kuvan 9 positiivinen silmukka R5 kuvaa, kuinka verkostojen luomisen aikaansaamat uudet näkökulmat voivat mahdollistaa ajan kuluessa uusien innovaatioiden syntyminen. Sidosryhmien kanssa jaettu tieto tuo yritykselle uusia kehitysideoita. Investointien tavoin ne parantavat edellytyksiä uusien ideoiden syntymiselle.



Kuva 9. Verkostoituminen yritysvastuun kehittämisessä vuorovaikutuskaaviolla esitettyinä.

Ongelmien tunnistaminen on merkittävässä roolissa yhteistyön kehittämisessä. Loppukäyttäjää lähinnä olevan yrityksen on varmistettava kommunikaation avulla, että asetettu vaatimustaso sisäistetään ja toteutuu koko tuotantoketjussa. Tämä voi auttaa löytämään keinoja yhteistyön tehostamiseksi ja kestävien ratkaisujen kehittämiseksi. (Koipijärvi & Kuvaja 2020, 179.) Esimerkiksi hankintaketjun eettisyyteen ja toimivuuteen on kiinnitettävä huomiota. Yritysten ja sidosryhmien välisen yhteistyön ja tuotantoketjujen läpinäkyvyyden avulla hankintaketjua voidaan kehittää vastuullisemmaksi. Materiaalien eettistä hankintaa voidaan kehittää esimerkiksi harvinaisten akkuminaerialien louhinnan eettisyyden varmistamisella kattavien selvitysten avulla. Niiden avulla voidaan varmistaa, että ihmisoikeudet toteutuvat tuotteen valmistuksen jokaisessa vaiheessa.

Vastuullisuusarvioinnissa on tärkeää, että arvioiva osapuoli on neutraali ja paikalliset olosuhteet tunteva. Neuvoa antavana osapuolena voi toimia kansainvälisissä hankkeissa esimerkiksi YK:n alaiset organisaatiot, kuten UNDP. Merkitys kasvaa erityisesti silloin, kun puhutaan korkean riskin valtioista. Sosiaaliset näkökulmat linkittyvät voimakkaasti ympäristöarvioinnin kanssa yhteen. Maariskien ennakoiva kartoitus ja riskiarviointi ovat ongelmien kartoituksessa toimivia ratkaisuita. (Koipijärvi & Kuvaja 2020, 95–99.) Laadukas ja läpinäkyvä vastuullisuusraportointi varmistaa esimerkiksi sen, että elektroniikan kierrätysprosessit toteutetaan sekä ympäristön että yhteisön kannalta kestävästi ja turvallisesti.

5.5. Vaikutusten seuraaminen

ICT-alan tuomien hyötyjen ja haasteiden tarkka mittaaminen on vaikeaa. Alan rajat ylittävä luonne, kuten se, että käyttämämme data käsitellään usein maan rajojen ulkopuolella vaikeuttaa tarkkojen selvitysten toteutusta. Tietojen keruuta ja sen menetelmiä tulisi kehittää, jotta alan ympäristövaikutuksia koskevien tietojen kattavuutta, vertailukelpoisuutta ja saatavuutta voitaisiin muuttaa ymmärrettävämmäksi ja vertailukelpoisemmaksi. (Valtionneuvosto 2020, 143). Toimintojen seuraaminen ja päivittäminen mahdollistaa järjestelmän pysymisen ajan tasalla. Tällä on suuri merkitys esimerkiksi tietoturvasprosessien kehittämisessä. Monipuoliset testausmenetelmät ja työkalut helpottavat uhkatekijöiden tunnistamista.

Vaikutusten seuraaminen voi auttaa työmarkkinoiden muutoksen aiheuttamien osaamisen ylläpidon ja kehittämisen haasteissa. Työntekijöiden ammatillista kehitystä olisi tärkeä tukea ja työtehtävien tulisi vastata osaamista. Esimerkiksi uusien teknologioiden käyttöönottoon vaadittavaa saamistasoa voidaan seurata erilaisten kohdennettujen testien avulla. Osaamisen selvittämisen avulla voidaan tunnistaa henkilöstön vahvuudet, sekä puutteelliset ja kehittämistä vaativat osaamisalueet. Systemiajattelun näkökulmasta tämä voi tarkoittaa uuden teknologian käyttöönottoa rajoittavien varastojen ja virtausten tunnistamista. Mikäli riittämätön koulutustaso vaikeuttaa uuden teknologian käyttöönottoa tietyllä alueella tai yrityksessä, on lisäkoulutukseen ja siihen vaadittaviin resursseihin panostettava. Organisaatio voi järjestää esimerkiksi lisäkoulutusta eri opetusalojen välisen sidosryhmäyhteistyön avulla. Yliopistojen ja yritysten välinen kommunikaatio mahdollistaa työelämän tarpeiden ja haasteiden

selkeämmän kartoituksen. Tämän avulla koulutusta voidaan kehittää vastaamaan paremmin työelämän asettamia vaatimuksia ja tarpeita opetussisällön kehittämisen ja sisäänottomäärien muuttamisen keinoin. Kehitystyön avulla työmarkkinoille saadaan työvoimaa, jolla on työelämän tarpeisiin vastaavaa koulutusta. Uudet työntekijät voivat tuoda yritykseen uutta osaamista ja innovaatioita. Tietoteknisen osaamisen kehittäminen varmistaa, että työntekijät voivat hyödyntää uusia teknologioita työssään tehokkaasti. Pitkän aikavälin vaikutusten seuraaminen varmistaa, että tietotekninen osaaminen kehittyy kestävästi. Tämän myötä voidaan vahvistaa digitalisaation positiivisia vaikutuksia lisääviä takaisinkytkentöjä.

Vaikutusten seuraaminen mahdollistaa odottamattomien keskinäisriippuvuuksien havaitsemisen. Testaamista voidaan hyödyntää kokonaisvaltaisesti työympäristöä tarkasteltaessa. Sen avulla voidaan tunnistaa työhyvinvoinnin haasteita esimerkiksi työstressiä, työilmapiiriä ja henkilökohtaista kuormitusta mittaamalla. Työntekijöiden hyvinvointi vaikuttaa osaamistason ohella merkittävästi työn tuottavuuteen ja sen myötä koko järjestelmän toimintaan. Ongelmiin puuttamalla esimerkiksi oikein kohdennettujen resurssien ja tuen avulla voidaan kehittää työntekijöiden hyvinvointia. Säännöllisen testaamisen avulla ongelmien havaitsemiseen kuluva aika voi lyhentyä. Tämän seurauksena niiden korjaukseen voidaan ryhtyä mahdollisimman aikaisin, jolloin ongelman systeemiin aiheuttama viive pienenee.

Systeemidynaamisen järjestelmän osien välisten vuorovaikutuksien seuraaminen pitkällä aikavälillä soveltuu hyvin kestävyysmuutoksen kaltaisen pitkän aikavälin tavoitteisiin pyrkivän systeemin optimointiin. Epälineaarisen dynamiikan viiveiden havainnointi vie aikaa. Lisäksi ympäristössä ja systeemissä tapahtuvat muutokset vaikuttavat systeemin toimintaan muuttaen sen tasapainoa. Aktiivisen raportoinnin ja systemaattisen kehittämisen avulla voidaan kuitenkin arvioida ja kehittää systeemin tehokkuutta pitkällä aikavälillä. Näin voidaan varmistaa, että ratkaisut ovat kestäviä.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

ICT-alan nopea kehitys on tuonut mahdollisuuksia ja haasteita kestävän kehityksen edistämiseen. Uudet teknologiat ovat nopeuttaneet prosesseja ja helpottaneet tiedonsiirtoa. Alan nopea kehitys on kuitenkin aiheuttanut haasteita tietoturvan ja yksityisyydensuojan asettamien vaatimusten, sekä työmarkkinoiden muutosten myötä. Ratkaisut edellyttävät systeemien ja niiden välisten vuorovaikutusten laaja-alaista ymmärtämistä. Systeemiajattelu ja -analyysi voivat olla tehokkaita menetelmiä ICT-alan kestävyyshaasteiden ratkaisemiseksi. Systeemidynamiikka on erityisen hyödyllistä vuorovaikutussuhteiden hahmottamisessa. Se voi auttaa tunnistamaan systeemin vipupisteitä, sekä auttaa kehittämään niihin kestäviä ratkaisuja. Yritykselle tämä voi tuottaa lisäarvoa esimerkiksi kestävämpien liiketoimintamallien avulla.

Systeemiajattelu keskittyy eri osa-alueiden poikkitieteellisten riippuvuuksien tunnistamiseen. Se mahdollistaa oikeiden kysymysten esittämisen ja auttaa ymmärtämään haasteiden taustalla olevat kompleksiset vuorovaikutussuhteet. Kattavalla tiedon analysoinnilla voi olla hyötyä myös kestävän kehityksen kannalta. Järjestelmien heikko suorituskyky johtuu usein puuttuvista, virheellisistä, tai viivästyneistä tiedoista. Ajantasainen tiedon saaminen auttaa koko järjestelmää havaitsemaan paremmin itsensä ja toimiensa vaikutukset. Konkreettiseksi tietämykseksi jalostetun tiedon avulla voidaan ennustaa esimerkiksi teknologian kehityksen vaikutuksia ja mallintaa erilaisia tulevaisuuden skenaarioita liiketoimintaprosesseista.

Toimien testaaminen ja erilaisten ratkaisuvaihtoehtojen simulointi pienimuotoisissa projekteissa mahdollistaa mallien ja toimintatapojen kokeilun. Huonosti toimivat mallit voidaan keskeyttää ja tehokasta toimintaa laajentaa muille sektoreille. Tällainen suunnittelu on ratkaisevan tärkeää kestävyyshaasteissa. Systeemisessä mallintamisessa takaisinkytkentöjen ja polkuriippuvuuksien hahmottaminen voi olla vaikeaa. Suurissa haasteissa merkityksettömältä vaikuttavalla tekijällä voi olla keskeinen merkitys järjestelmän toimivuuteen ja suorituskykyyn. Tämän vuoksi on tärkeää luoda järjestelmä, joka voi kehittyä ja mukautua muutoksiin nopeasti.

Systeemidynamiikan hyödyntäminen voi tehostaa ICT-alan resurssien käyttöä. Esimerkiksi järjestelmiä kehittämällä laitteet voivat kuluttaa vähemmän energiaa. Tämä voi johtaa ympäristöä vähemmän kuluttaviin toimintatapoihin. Tietoturvan saavuttamiseksi yritysten tulee varautua systemaattisesti mahdollisiin uhkiin. Sopeutuminen ja ennakointi voi tarkoittaa päätösvallan jakamista ja lisääntynyttä oppimiseen, sekä kokeiluun panostamista organisaation sisällä. Kehittäminen vaatii monipuolista osaamista ja yhteistyötä eri toimijoiden välillä. Sidosryhmäyhteistyö mahdollistaa asiakkaiden, kansalaisjärjestöjen, henkilökunnan ja viranomaisten kanssa verkostoitumisen. Uudet näkökulmat voivat auttaa systeemiä kehittämään tehokkaammaksi. Tämä helpottaa yrityshaasteiden periaatteiden toteutumista.

Kandidaatintyö keskittyy tieto- ja viestintätekniikan kestävyysaasteiden ja systeemiälykkäiden ratkaisujen tunnistamiseen. Kestävyysaasteisiin tutustutaan kirjallisuuskatsauksen ja avulla. Ongelmien taustalla vaikuttavia keskinäisriippuvuuksia tunnistetaan systeemisessä tarkastelun avulla. Kestävyysaasteiden ratkaisuun esitellään ja arvioidaan systeemiälykkäitä menetelmiä. Systeemisessä ajattelussa tarkan mallintamisen avulla voidaan tarkentaa ja helpottaa riippuvuussuhteiden hahmottamista. Tämän vuoksi tuloksia voidaan parantaa laajentamalla vuorovaikutuskaaviossa huomioitavia muuttujia. Tämä mahdollistaa päätösten vaikutusten tarkastelun pitkällä aikavälillä. Lisäksi keskinäisriippuvuuksien ja virheiden tunnistaminen helpottuu. Tarkan mallin suunnittelu vie runsaasti aikaa ja vaatii systeemin laajaa sekä kokonaisvaltaista ymmärrystä. Tulosten luotettavuus kuitenkin paranee, kun malliin vaikuttavat keskinäisriippuvuudet, varannot ja virtaukset on huomioitu kattavasti. Tämä mahdollistaa tulosten tarkkuuden kehittämisen ja ratkaisuehdotusten konkreettisemmän hyödyntämisen.

7. YHTEENVETO

Systeemiajattelu on toimiva työkalu kestävyysaasteiden tunnistamisessa. Se mahdollistaa järjestelmien takaisinkytkentöjen havainnoinnin ja mallintamisen. Systeemisyys auttaa hahmottamaan systeemit ja niiden sisäiset vuorovaikutussuhteet laajempina kokonaisuuksina. Tämä voi helpottaa toimintojen optimointia, jolloin voidaan saavuttaa hyötyjä esimerkiksi mukautuvamman organisaation ja pienemmän energiankulutuksen keinoin. Systeemidynamiikka auttaa tunnistamaan systeemien kestävyysaasteita. Huolellisesti mallinnettuna se auttaa kehittämään pitkän aikavälin mukautumiskykyisiä strategioita ja uusia strategioita kestävyysaasteiden hallitsemiseksi.

Systeemidynamiikan ratkaisut ovat erityisen tärkeitä kestävä kehityksen edistämiseksi. Kestävyysaasteet ovat usein kompleksisia ja mallintaminen voi tämän vuoksi auttaa vaikutusten ymmärtämisessä ja kestävämpien ratkaisujen luomisessa. Esimerkiksi energiasektorin systeemidynamiikka mallit voivat auttaa arvioimaan eri energiantuotantomuotojen vaikutuksia ilmastomuutokseen ja energiankulutukseen. Mallien avulla voidaan myös arvioida erilaisten energiapolitiittisten päätösten vaikutuksia tulevaisuudessa.

Systeemidynamiikkaa voidaan soveltaa ympäristövaikutusten arvioinnissa ja kestävä liiketoiminnan edistämiseksi. Mallintaminen voi auttaa arvioimaan erilaisten tuotantoprosessien ja tuotteiden elinkaaren aiheuttamia vaikutuksia ympäristölle ja ihmisille. Kestävä liiketoiminnan edistämiseksi systeemidynamiikka mallit voivat auttaa kehittämään strategioita, jotka ottavat nykyistä laajemmin huomioon ympäristönäkökulmat ja sosiaalisen kestävyys. Innovaatiot edellyttävät oikeanlaisia olosuhteita ja esimerkiksi lakien ja säädösten avulla voidaan vahvistaa uusien mahdollisuuksien syntymistä.

LÄHTEET

Abson, D.J., Fischer, J., Leventon, J., Newig, J., Schomerus, T., Vilsmaier, U., Wehrden, H. von., Abernethy, P., Ives, C.D., Jager, N.W. & Lang, D.J. 2017. Leverage points for sustainability transformation. *Ambio* 46:30–39. [Viitattu 15.4.2023] Saatavissa: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5226895/>

Berninger, Kati et al. 2017. Suomi seuraaville sukupolville: Taloudellisten murrosten käsi- kirja. Into Kustannus Oy, Helsinki. 243 s. ISBN 978-952-264-756-6

Birney, A. 2021. How do we know where there is potential to intervene and leverage impact in a changing system? The practitioner’s perspective. *Sustainability Science* (2021) 16:749–765. [Viitattu 15.4.2023], Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s11625-021-00956-5>

Carroll, A. B. & Näsi, J. 1997. Understanding Stakeholder Thinking: Theme from a Finnish conference. *Business Ethics*, Vol. 6 (1), 47-51. [Viitattu 13.4.2023] Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.1111/1467-8608.00047>

Cayumil R., Khanna, R., Mukherjee, P., S., Sahajwalla, V. 2015. Concentration of precious metals during their recovery from electronic waste. *Waste Management*. [Viitattu 13.4.2023] Saatavissa: <https://doi-org.ezproxy.cc.lut.fi/10.1016/j.wasman.2015.12.004>

Degryse, C. 2016. Digitalisation of the Economy and its Impact on Labour Markets. February 10. 2016, ETUI Research Paper - Working Paper 2016.02. Saatavissa: <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2730550>

Euroopan komissio. 2019. European Union Reflection Paper - Towards a Sustainable Europe by 2030. [Viitattu 10.4.2023] ISBN: 978-92-79-98963-6. Saatavissa: https://commission.europa.eu/system/files/2019-02/rp_sustainable_europe_30-01_en_web.pdf

Euroopan komissio. 2020. Attitudes towards the impact of digitalisation on daily lives. Special Eurobarometer 503. [Viitattu 13.4.2023] Saatavissa: <https://europa.eu/eurobarometer/surveys/detail/2228>

Euroopan komissio. 2022. European Commission Questions and Answers: EU action plan on digitalising the energy system. Strasbourg. [Viitattu 17.4.2023] Saatavissa: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_22_6229

Euroopan komissio. 2023. Sustainable smartphones? Modular design promotes do-it-yourself repair to extend device life. Ympäristöasioiden pääosasto (toim.), The University of the West of England. Bristol. [Viitattu 3.5.2023] Saatavissa: https://environment.ec.europa.eu/news/sustainable-smartphones-modular-design-promotes-do-it-yourself-repair-extend-device-life-2023-02-15_fi?etrans=fi

Flood, R., L., & Carson, E., R. 1993. *Dealing with Complexity An Introduction to the Theory and Application of Systems Science*. 2nd. New York. NY: Springer US: Imprint: Springer. 280 s. ISBN: 1-4757-2235-4

Forrester, J., W. 1968. *Industrial Dynamics--After the First Decade*. Management science, 1968, Vol.14 (7) 398-415. Hanover, MD., etc: INFORMS. EISSN: 1526-5501 [Viitattu 17.4.2023], Saatavissa: <https://doi.org/10.1287/MNSC.14.7.398>

Goodland, R. 2002. Sustainability: Human, Social, Economic and Environmental. In T. Munn (toim.), *Encyclopedia of Global Environmental Change* 488-489. Hoboken, NJ: Wiley

Heikkinen, M. 2005. Monimuotoisuus organisaatiossa- Monimuotoisuustutkimuksen pääpiirteitä ja kehityslinjoja. *Hallinnon tutkimus* volume 1: s.3-13. [Viitattu 17.5.2023], Saatavissa: <https://journal.fi/hallinnontutkimus/article/download/101536/59037>

Hämäläinen, R.P. & Saarinen, E. 2007. Systems intelligent leadership. Systems intelligence in leadership and everyday life, Teknillinen korkeakoulu, Espoo s. 3-38. ISBN: 978-951-22-88-37-3

Hämäläinen, R.P., Jones, R. & Saarinen, E. 2014. Being Better Better- Living with Systems Intelligence, Aalto University Publication Series. Aalto ARTS Books, Helsinki, Crossover 4/2014. ISBN: 978-952-60-5946-4

Juutinen, S. 2016. Strategisen yritysvastuun käsikirja. Helsinki, Talentum Pro. 261 s. Alma Talent, ISBN: 978-952-14-2756-5

Laininen, E., Leinonen, E., Manninen, L., Ranta, U., Tenhunen, R., Vennervirta, P. 2005. Kestävä kehitys ammatillisissa oppilaitoksissa. Suomen ympäristöopisto Sykli. Saatavissa: <http://www03.edu.fi/aineistot/keke/>

Lange, S., Pohl, J., Santarius, T. 2020. Digitalization and energy consumption. Does ICT reduce energy demand? *Ecological Economics* 176 106760. [Viitattu 17.3.2023], Saatavissa: <https://doi-org.ezproxy.cc.lut.fi/10.1016/j.ecolecon.2020.106760>

Malmodin, J., & Lunden D. 2018. The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and E&M Sectors 2010–2015. Solna, Telia Company AB, Sustainability. Ericsson Research. [Viitattu 17.3.2023], Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.3390/su10093027>

Markard, J., Raven, R., Truffer., B. 2012. Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 12.2.2023] Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2012.02.013>

Martin G, Martin P, Hankin C, Darzi A, Kinross J. 2017. Cybersecurity, and healthcare: how safe are we? *BMJ*. 2017, [Viitattu 12.4.2023], Saatavissa: <https://doi.org/10.1136/bmj.j3179>

Meadows, D., H. 2008. Thinking in Systems A Primer. *Sustainability Institute*, 218 s. Diana Wright (toim.) ISBN: 978-1-84407-726-7

Morley, J., Widdicks, K., Hazas, M. 2018. Digitalisation, energy, and data demand: The impact of Internet traffic on overall and peak electricity consumption. *Energy Research & Social Science* 38. [Viitattu 12.4.2023], Saatavissa: <https://doi-org.ezproxy.cc.lut.fi/10.1016/j.erss.2018.01.018>

Parviainen, P, Federley, M., Grenman, K. & Seisto, A. 2017. Osaaminen ja työllisyys digimurroksessa. *Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja*, Vol. 24/2017, Prime Minister's Office Finland, Helsinki. 24 s. [Viitattu 3.4.2023] Saatavissa: <https://tietokayttoon.fi/julkaisu?pubid=17806>

Rao, U., H. & Nayak, U. 2014. Data Backups and Cloud Computing. The InfoSec Handbook. 392 s. Berkeley, CA: Apress ISBN: 978-1-4302-6382-1

Raworth, K. 2017. Donitsi-taloustiede- Seitsemän tapaa ajatella kuin 2000-luvun taloustieteilijä. suom. Pietiläinen, 353 s. J. Terra Cognita, ISBN 978-952-5697-91-9

Rennie, R. & Law, J. (toim.). 2019. A dictionary of Physics. 8. painos. Oxford University Press ISBN-13: 9780198821472

Sajaniemi, N., Lindh., R., Sinkkonen, H. & Kontu, E. 2004. Accelerated Learning, Teaching and Systems Intelligence. In: Raimo P. Hämäläinen and Esa Saarinen (toim.). 2004. *Systems Intelligence – Discovering a Hidden Competence in Human Action and Organizational Life*, Helsinki University of Technology: Systems Analysis Laboratory Research Reports, A88, s. 273-280. October 2004. ISBN: 951-22-7168-0

Sasaki, Y. 2014. Systems Intelligence in Knowledge Management Implementation: A

Momentum of the SECI Model. Proceedings of the 15th International Symposium on Knowledge and Systems Science. s. 69-74. [Viitattu 3.4.2023], Saatavissa: <https://dspace.jaist.ac.jp/dspace/handle/10119/12378>

Senge, P. 1990. *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*, Doubleday/Currency, New York, NY. [Viitattu 3.4.2023], Saatavissa: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hrm.3930290308>

Stenvall, J., & Syväjärvi, A. 2006. Onks tietoo? Valtion informaatio-ohjaus kuntien hyvinvointitehtävissä. Valtionvarainministeriö, tutkimukset ja selvitykset 3/2006. Helsinki, ISBN: 951-804-581-X

Sterman, D., J. 2000. *Business Dynamics- Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill Education. 1st. 982 s. ISBN 0-07-231135-5

Sullivan, M. 2018. *Printed Electronics: Global Markets to 2022*. BCC Research LLC.

THL. 2011. Informaatio-ohjaus kuntien tukena: Hyvinvoinnin ja terveyden edistämässä. Tukia, H. & Wilskman, K. (toim.), 18 s. [Viitattu 14.4.2023] Saatavissa: <https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/79988/b4c22684-b85f-4be0-bc6c-991ca4ed337f.pdf?sequence=1>

Valtionneuvosto. 2020. ICT-ala, ilmasto ja ympäristö ICT-alan ilmasto- ja ympäristöstrategiaa valmisteleavan työryhmän väliraportti. 147 s. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2020:9. ISBN: 978-952-243-601-6

Whitman M. 2012. Mattord HJ. *Principles of information security*. 4th ed. 617 s. Boston, MA: Course Technology; 2012. ISBN: 978-1-111-13821-9

World Economic Forum. 2018. *Circular Economy in Cities Evolving the model for a*

sustainable urban future. White paper. 29s. [Viitattu 14.4.2023], Saatavissa: <https://www.weforum.org/whitepapers/circular-economy-in-cities-evolving-the-model-for-a-sustainable-urban-future/>

Ympäristöministeriö 2017. Mitä on kestävä kehitys? [Viitattu 30.5.2023], Saatavissa: <https://ym.fi/mita-on-kestava-kehitys>

Zuppo, C., M. 2012. Defining ICT in a boundaryless world: the development of a working hierarchy. *International Journal of Managing Technology (IJMIT)*, vol. 4. No. 3. [Viitattu 15.4.2023], Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.5121/ijmit.2012.4302>