

Käytettävyyden attribuutit ja mittarit
ohjausjärjestelmien suunnittelussa -
SCADA-järjestelmän käytettävyys
metsäteollisuudessa

TURUN YLIOPISTO
Tietotekniikan laitos
TkK-tutkielma
Tieto- ja viestintäteknikka
Helmikuu 2024
Eino Haikonen

TURUN YLIOPISTO
Tietotekniikan laitos

EINO HAIKONEN: Käytettävyyden attribuutit ja mittarit ohjausjärjestelmien suunnittelussa - SCADA-järjestelmän käytettävyyden metsäteollisuudessa

TkK-tutkielma, 28 s.

Tieto- ja viestintäteknikka

Helmikuu 2024

Käytettävyys viittaa tietotekniikassa jonkin sovelluksen tai järjestelmän helppokäyttöisyyteen. Käyttäjäkokemus kuvaa puolestaan sovelluksen tai järjestelmän käyttöön kohdistuvia ja liittyviä tunteita. Yhdessä käytettävyys ja käyttäjäkokemus liittyvät ihmisten ja tietokoneiden väliseen vuorovaikutukseen ja helppokäyttöisten käyttöliittymien suunnitteluun. Hyvä käytettävyys on tyypillisesti haastavampi saavuttaa kompleksisten järjestelmien kohdalla. Tällaisia järjestelmiä ovat esimerkiksi nykyaikaiset teollisuudessa käytettävät ohjausjärjestelmät.

Tässä tutkielmassa tarkastellaan kirjallisuuskatsauksena järjestelmien käytettävyyden merkitystä tulevaisuuden teollisessa tuotannossa ja etsitään hyviä lähtökohtia järjestelmien suunnittelulle ja kehitykselle käytettävyyden kannalta. Tutkielmassa esitetään katsaus käytettävyyttä ja käyttäjäkokemusta tutkivaan tutkimusalaan sekä muodostetaan teoreettinen viitekehys käytettävyydestä kokoamalla yhteen tutkimusalalla käytettyjä käytettävyyden attribuutteja ja mittareita.

Tutkielman yhteydessä on toteutettu myös empiirinen tapaustutkimus, jossa on tutkittu teollisessa tuotantolaitoksessa käytössä olevan SCADA-ohjausjärjestelmän käytettävyyttä ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Tutkimuksessa on tunnistettu järjestelmää käyttävien operaattorien käyttökokemusten perusteella, missä SCADA:n käytettävyydessä on onnistuttu ja mitkä ovat sen kehittämiskohtia. SCADA:n käytettävyyden tapaustutkimuksen toteutuksessa on hyödynnetty tutkielmassa tunnistettuja käytettävyyden attribuutteja ja mittareita. Tapaustutkimus tarjoaa samalla tutkielman teoreettista osuutta ja aihealuetta tukevan syventävän näkökulman ohjausjärjestelmien käytettävyyteen nykyaikaisessa teollisuudessa.

Asiasanat: käytettävyys, käyttäjäkokemus, UX

Sisällys

1 Johdanto	1
2 Käytettävyys	4
2.1 Teolliset vallankumoukset	4
2.2 HCI ja HMI	5
2.3 UI ja UX	6
2.4 Pohdintaa: Käytettävyys tulevaisuuden teollisuudessa	8
3 Käyttäjakeskeinen suunnittelu	10
3.1 HCD ja UCD	10
3.2 Käytettävyyden attribuutit ja mittarit	11
3.3 Pohdintaa: Käytettävyyden huomioiminen järjestelmien suunnittelussa	14
4 Tapaustutkimus SCADA:n käytettävyydestä	16
4.1 Tutkimuksen tausta	16
4.2 Tutkimuksen toteutus	17
4.3 Tutkimuksen tulokset	18
4.4 Tutkimuksen pohdintaa ja johtopäätökset	24
5 Yhteenveto	27
Lähdeluettelo	29

Kuvat

2.1	HTI, HMI ja HCI [6]	6
4.1	Kyselytutkimuksen tulokset 1/2	19
4.2	Kyselytutkimuksen tulokset 2/2	19
4.3	Tulkinta häiriötilanteista heijastuvasta kumulatiivisesta vaikutuksesta	25

Taulukot

3.1 Käytettävyyden attribuutit ja mittarit	13
4.1 Yhteenveto operaattorien kommentteista	20
4.2 SCADA:n käytettävyyden tutkimustulokset	22

1 Johdanto

1980-luvulla alkaneen digitalisaation myötä tietotekniikkaan perustuvasta teknologiasta on tullut viimeisten vuosikymmenten aikana keskeinen osa modernia yhteiskuntaa ja sen kehitystä. Vastaavasti tietotekniikan sekä teknologian osaamisesta on tullut tärkeä kansalaistaito, jota ihmiset tarvitsevat yhä useammin työssään ja osana jokapäiväistä arkielämää. Tietotekniikan käytön ja sen osaamisen edellytyksien lisääntyessä huomionarvoiseksi näkökulmaksi on muodostunut myös se, miten erilaiset tietotekniset laitteet, sovellukset ja järjestelmät suunnitellaan, jotta ne palvelisivat mahdollisimman hyvin niiden loppukäyttäjänä olevaa ihmistä. Tällaisessa kontekstissa puhutaan käytettävyydestä (engl. usability) ja käyttäjäkokemuksesta (engl. user experience, UX), jotka liittyvät ihmisen ja tietokoneiden välistä vuorovaikutusta tutkivaan tutkimusalaan [1].

Käytettävyys kuvaa erilaisia laitteen sovelluksen tai järjestelmän toiminnan käytännöllisiä ja tarkoituksenmukaisia piirteitä, esimerkiksi että järjestelmä olisi mahdollisimman helppokäyttöinen. Käyttäjäkokemus on puolestaan laajempi kokonaisvaltainen kokemus, joka pitää sisällään kaikki ne tekijät, jotka käyttäjällä liittyvät ja vaikuttavat järjestelmän käytöstä muodostuvaan kokemukseen.[1]

Käytettävyystä ja käyttäjäkokemuksesta puhutaan usein kuluttajamarkkinoille suunnattujen tuotteiden (B2C) kontekstissa. Samaan aikaan kuitenkin myös työtehtävät ja työympäristöt ovat muuttuneet yhä vahvemmin teknologiaan nojauviksi.[2] Tämä on havaittavissa esimerkiksi teollisuudessa, jossa teollista kehitystä

eteenpäin ajava voima on ollut teknologinen kehitys ja uuden teknologian käyttöönotto teollisessa tuotannossa [3].

Tämän tutkielman tarkoituksena on tutkia järjestelmien käytettävyyden ja käyttäjäkokemuksen merkitystä teollisessa tuotannossa sekä niiden asemaa tulevaisuuden teollisuudessa. Tutkielman näkökulmiksi on rajattu käytettävyyttä kuvaavien attribuuttien ja mittarien tunnistaminen tietoteknisten järjestelmien toimintaa kuvaavina ominaisuuksina sekä miten käytettävyys voidaan huomioida järjestelmien suunnittelussa. Tämä osa tutkielmasta on toteutettu tieteellisiin julkaisuihin perustuvana kirjallisuuskatsauksena.

Tutkimustuloksena tunnistettuja käytettävyyden attribuutteja ja mittareita on käytetty tämän jälkeen pohjana tapaustutkimuksessa, jossa tutkitaan teollisessa tuotantolaitoksessa käytössä olevan SCADA-ohjausjärjestelmän käytettävyyttä. Tämä tapaustutkimus on toteutettu kyselytutkimuksena osana tätä kandidaatintutkielmaa ja se on tehty yhteistyössä Yritys X:n kanssa. Tapaustutkimuksen tavoitteena on saada yleiskuva kyseisen SCADA-järjestelmän käytettävyydestä ja pyrkiä tunnistamaan siihen vaikuttavia tekijöitä. Näistä lähtökohdista tutkimuskysymyksiksi (TK) muodostuivat seuraavat:

TK1. Mikä on järjestelmien käytettävyyden merkitys tulevaisuuden teollisuudessa?

TK2. Miten huomioida käytettävyys järjestelmien suunnittelussa?

TK3. Miten SCADA-järjestelmän käytettävyyden toteuttaminen on onnistunut käyttäjäkokemusten perusteella ja millaisia havaintoja tämän perusteella voidaan tehdä?

Tutkielman kirjallisuuskatsauksen tiedonhakuprosessissa käytettyjä tietokantoja ovat olleet Web of Science, IEEE Xplorer, Google Scholar ja Turun yliopiston kirjaston

Volter. Tiedonhakuprosessia ei pystynyt suorittamaan tehokkaasti yhdellä strukturoidulla hakulausekkeella, vaan eri aihealueille piti suorittaa useita hakuprosesseja ja koota yhteen eri hakulauseilla löytyneitä aineistoja. Tietokantojen lisäksi lähteinä on käytetty kansainvälisten organisaatioiden, kuten EU:n, IEEE:n ja ISO:n, julkaisemia dokumentteja sekä tutkielman aiheisiin liittyviä oppikirjoja. Kaikkien aineistojen valinnassa on arvioitu niiden luotettavuutta joko julkaisijan perusteella tai arvioimalla niiden vaikuttavuuskertoimia (JIF ja JCI) Journal Citations Reports -tietokannassa.

SCADA:n käytettävyyteen liittyvän tapaustutkimuksen tiedonhakuprosessi on toteutettu sähköisenä kyselytutkimuksena 14.12.2023 - 11.1.2024 välisenä aikana. Kyselyssä oli 13 väittämää, joiden laatiminen perustui kirjallisuuskatsauksessa tunnistettuihin käytettävyyden attribuutteihin ja mittareihin sekä omakohtaiseen työkokemukseen SCADA-järjestelmän käytöstä Yritys X:ssä. Kyselyyn ovat voineet osallistua vapaaehtoisesti kaikki Yritys X:n tehtaalla työssään SCADA:a käyttävät operaattorit. Yhteensä kyselyllä kerättiin 19 vastausta SCADA:n käytettävyydestä.

Tutkielma alkaa luvussa kaksi pohjustuksella teollisiin vallankumouksiin ja nostamalla esille TK1 perustuen tulevaisuuden teollisuuden näkymiä. Luvussa kaksi perehdytään myös käytettävyyttä ja käyttäjäkokemusta tutkiviin tutkimusaloihin ja avataan aiheisiin liittyvät keskeisimmät käsitteet. Luvussa kolme perehdytään käyttäjäkeskeiseen suunnitteluun ja käytettävyyteen sekä kootaan yhteen TK2 perustuen tutkielmassa tunnistetut käytettävyyden attribuutit ja mittarit. Luku neljä pitää sisällään tapaustutkimuksen SCADA-järjestelmän käytettävyydestä. Tässä luvussa analysoidaan myös kyselytutkimuksen tuloksia ja arvioidaan SCADA:n käytettävyyttä TK3 perustuen. Viidennessä luvussa kootaan lopuksi yhteen tutkielman keskeiset havainnot ja tulokset.

2 Käytettävyys

2.1 Teolliset vallankumoukset

Teolliset vallankumoukset kuvaavat ajanjaksoja, joiden aikana hyödykkeiden tuottamiseen käytetyssä teknologiassa ja tuotantomenetelmissä on tapahtunut merkittävä muutos aiempaan nähden. Teollisille vallankumouksille tyypillisiä piirteitä ovat myös niiden vaikutukset yhteiskuntaan: tuotantomäärien kasvu, talouskasvu ja elintason nouseminen.[3]

Ensimmäisen teollisen vallankumouksen (engl. Industry 1.0) katsotaan alkaneen 1700-luvun jälkipuoliskolla ja tällä hetkellä kehittyneissä teollisuusmaissa voidaan puhua jo meneillä olevasta neljännestä teollisesta vallankumouksesta (engl. Industry 4.0) tai jopa siirtymästä kohti viidettä teollista vallankumousta (engl. Industry 5.0). Ensimmäisen ja toisen teollisen vallankumouksen keskeisiä piirteitä olivat energiantuotannon kehitys, ja sen mahdollistamana tapahtunut siirtymä koneellistettuun tehdastyöhön sekä entistä tehokkaampaan massatuotantoon. 1970-luvulla alkanut kolmas teollinen vallankumous (engl. Industry 3.0), digitaalinen vallankumous, ja sitä seurannut neljäs teollinen vallankumous ovat perustuneet tietotekniikan kehitykseen ja sen synnyttämien teknologioiden käyttöön teollisuudessa.[3]

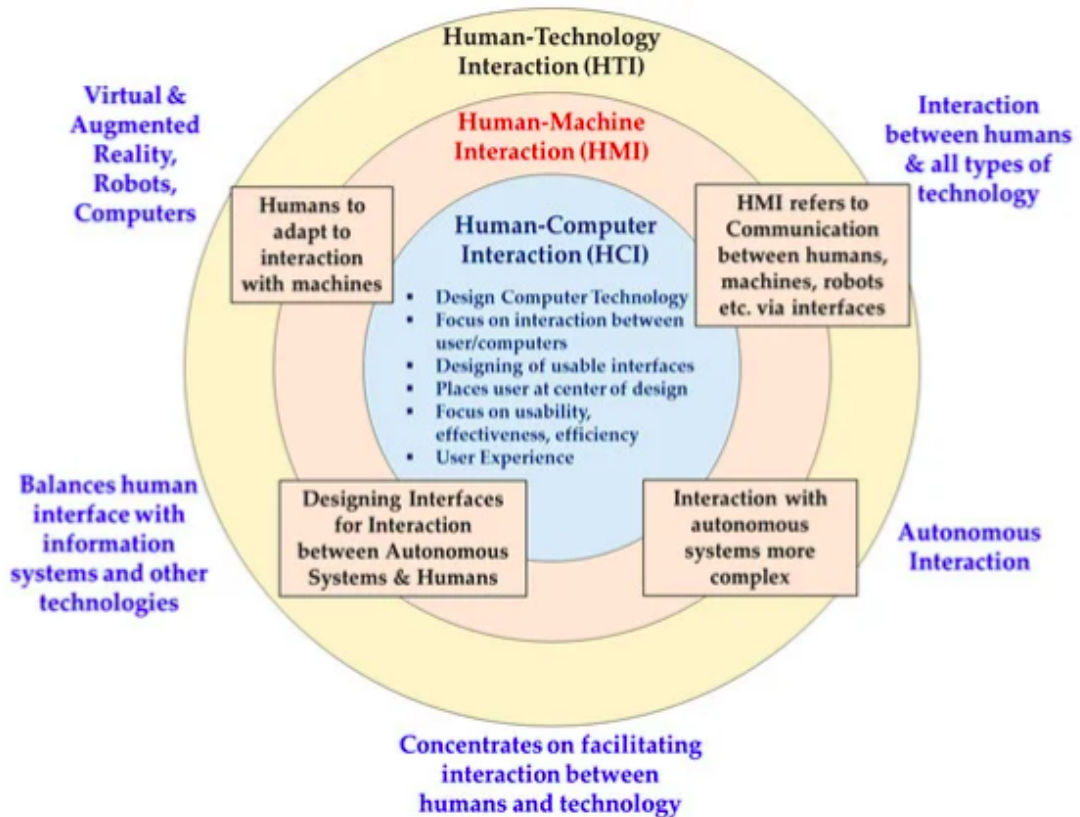
Kolmatta ja neljättä teollista vallankumousta määrittävä suunta on ollut teollisten prosessien automatisoinnissa ja ihmisen aseman vähentämisessä tuotannon prosesseissa [3]. Tämän seurauksena työntekijän asema teollisessa tuotannossa on

muuttunut merkittävästi. Työnkuva on siirtynyt kauemmaksi fyysisestä ja manuaalisesta työstä kohti automatisoitujen tuotantoprosessien valvontaa ja hallintaa.[4] Kasvava tietotyön määrä on lisännyt työstä aiheutuvaa kognitiivista kuormitusta ja samaan aikaan työntekijöiden huomioiminen modernien tehtaiden suunnittelussa on jäänyt pääasiassa uuden teknologian käyttöönoton varjoon.[5]

Viidennessä teollisessa vallankumouksessa painopiste on siirtymässä pitkään jatkuneesta teknologiavetoisesta kehityksestä kohti ihmisen ja koneiden välistä vuorovaikutusta huomioivaa ja painottavaa suuntaa. Industry 5.0 nostaa ihmisen keskeiseen asemaan teollisessa tuotannossa, jossa teknologian tehtävä on tukea ihmisen toimintaa eikä korvata sitä.[3] Teollisessa tuotannossa tapahtunut työn luonteen muuttuminen ja Industry 5.0:n korostama ihmiskeskeinen näkökulma nostavat tulevaisuuden teollisuudessa etualalle siis yhä vahvemmin ihmisten ja koneiden/tietokoneiden välisen vuorovaikutuksen merkityksen.

2.2 HCI ja HMI

HCI (engl. human-computer interaction) ja HMI (engl. human-machine interaction) ovat tutkimusaloja, jotka tutkivat ihmisen ja tietokoneiden (HCI) sekä ihmisen ja koneiden (HMI) välistä vuorovaikutusta ja niiden suunnittelua käyttäjän, käytettävyyden ja käyttökokemuksen näkökulmasta [6][1]. HCI ja HMI liittyvät läheisesti toisiinsa, eikä tämän takia tieteellisissä julkaisuissa näiden termien käyttö ole täysin selvärajaista ja viittausten välillä voi ilmetä päällekkäisyyttä [7]. HMI viittaa kuitenkin laajempaan vuorovaikutukseen ihmisen ja erilaisten laitteiden sekä koneiden välillä, kun HCI viittaa nimenomaisesti ihmisen ja tietokoneiden väliseen vuorovaikutukseen [6]. Näiden tutkimusalojen eroja on kuvattu kuvassa 2.1. Kuvassa esitetty kolmas tutkimusala HTI (engl. human-technology interaction) pitää sisällään kaiken ihmisen ja teknologian väliseen vuorovaikutukseen liittyvän tutkimuksen [6].



Kuva 2.1: HTI, HMI ja HCI [6]

2.3 UI ja UX

HCI:n ja HMI:n keskeisenä tutkimuskohteena ovat käyttöliittymät (engl. user interface, UI) [6]. Käyttöliittymä tarkoittaa sitä järjestelmän osien muodostamaa rajapintaa, joiden kautta käyttäjä on vuorovaikutuksessa järjestelmän kanssa ja voi käyttää sitä tavoitteidensa saavuttamiseksi. Henkilökohtaisen tietokoneen (PC) kohdalla käyttöliittymän muodostavat esimerkiksi tyypillisesti tietokoneen näyttö, näppäimistö ja hiiri.[8] Erilaisia käyttöliittymiä on olemassa kuitenkin useita, esimerkiksi komentorivi (engl. command-line interface, CLI), graafinen käyttöliittymä (engl. graphical user interface, GUI), kosketusnäytöt, virtuaalitodellisuus (engl. virtual reality, VR), lisätty todellisuus (engl. augmented reality, AR) ja luonnollisen kielen tunnistus (engl. natural language processing, NLP) [6]. Käyttöliittymiin voidaan viitata

myös termeillä HCI (engl. human-computer interface) ja HMI (engl. human-machine interface).

Käyttöliittymien suunnittelun tavoite on kehittää käyttöliittymiä, joiden käytettävyys olisi mahdollisimman hyvä.[8] Kansainvälinen standardisointijärjestö ISO (Industrial Organization for Standardization) määrittelee käsitteen käytettävyys standardissa ISO 9241-11 "Ergonomics of human-system interaction" vapaasti suomennettuna seuraavasti: käytettävyydellä tarkoitetaan sitä, missä määrin tietyt käyttäjät voivat käyttää järjestelmää tiettyjen tavoitteiden saavuttamiseksi vaikuttavuudella, tehokkuudella ja tyytyväisyydellä toimiessaan tietyssä käyttöympäristössä. Vaikuttavuus (engl. effectiveness) tarkoittaa sitä, millä tarkkuudella ja miten täydellisesti käyttäjä pystyy saavuttamaan tavoitteensa käyttäessään järjestelmää. Tehokkuus (engl. efficiency) määritellään vaikuttavuuden suhteena käytettyihin resursseihin, kuten aikaan. Tyytyväisyys (engl. satisfaction) tarkoittaa käyttäjän kokemuksia fyysisiä, kognitiivisia ja emotionaalisia reaktioita, jotka ovat seurausta järjestelmän käytöstä.[9] Käytettävyyden määritelmiin palataan tarkemmin tutkielman luvussa 3.2.

Käytettävyys on osa käyttäjäkokemuksen muodostamaa laajempaa kokonaiskuvaava, joka käyttäjällä liittyy jonkin järjestelmän käyttöön [1]. Edellä mainitussa ISO 9241-11 standardissa käyttäjäkokemus määritellään vapaasti suomennettuna seuraavasti: käyttäjäkokemus on yhdistelmä käyttäjän havaintoja ja reaktioita, jotka johtuvat järjestelmän käytöstä ja/tai odotetusta käytöstä. Niillä tarkoitetaan käytön aikaisia, sitä edeltäviä, tai sitä seuraavia käyttäjän havaintoja ja reaktioita, joita ovat mm. käyttäjän tunteet, asenteet, uskomukset, mieltymykset, käytös, käsitykset ja taidot.[9]

Vaikka käytettävyydellä ja käyttäjäkokemuksella tarkoitetaan eri asioita ne liittyvät vahvasti toisiinsa ja täydentävät toisiaan. Kumpikaan niistä ei pysty määrittelemään yksin kokonaisvaltaisesti, miten jokin järjestelmä täyttää sen käyttöön

liittyvät tarpeet ja odotukset, sekä miten käyttäjä kokee järjestelmän käytön [1]. Tieteellisessä kirjallisuudessa käytettävyyden ja käyttäjäkokemuksen välinen ero sekä näiden termien käyttö ei ole kuitenkaan aina täysin yksiselitteistä, koska niiden välinen suhde on niin läheinen.

2.4 Pohdintaa: Käytettävyys tulevaisuuden teollisuudessa

Teknologian kehitys ja sen luomat mahdollisuudet, mm. tehokas energiantuotanto, moderni tietotekniikka ja prosessien automatisointi, ovat määrittäneet teollisen tuotannon kehityskulun suuntaa. Vaikka ihmiset ovat tänä päivänä tottuneet käyttämään työnteossa tietokoneita ja erilaisia ohjelmistoja, aiheuttaa uusien ja yhä monimutkaisempien järjestelmien oppiminen ja osaaminen haasteita työelämässä. Ideaalissa tilanteessa uuden järjestelmän käyttö pitäisi omaksua aina mahdollisimman nopeasti, mutta riittävän monipuolisesti, jotta järjestelmän käyttö saavuttaisi resurssitehokkaasti siltä odotetun tehokkuuden. Järjestelmän käytön oppimiseen ja osaamiseen sekä varsinaiseen käyttöön liittyvät odotukset kohdistuvat tällöin järjestelmää käyttävään työntekijään. Tämä on täysin looginen ajattelutapa, sillä työntekijän osaaminen on kiistämättä keskeinen tekijä tuotantoprosessin tehokkuudessa, joka heijastuu aina lopulta koko tuotantolaitoksen toimintaan ja liiketoiminnan tuloksellisuuteen. On kuitenkin otettava huomioon, että mikäli järjestelmän käytettävyys on heikolla tasolla, on edellä mainittujen tavoitteiden saavuttaminen lähtökohtaisesti haastavampaa. Tällöin työn tuloksellisuus tai työssä esiin nousevat potentiaaliset ongelmat eivät riipu pelkästään työntekijöiden henkilökohtaisesta osaamisesta.

Järjestelmän koettuun käytettävyyteen liittyen korostuu myös työntekijöille järjestetty perehdytys ja koulutus sekä niiden onnistuminen. Näiden lisäksi käytettävyyteen ja kognitiiviseen kuormitukseen vaikuttavat työntekijöiden yksilölliset piir-

2.4 POHDINTAA: KÄYTETTÄVYYS TULEVAISUUDEN TEOLLISUUDESSA

teet, esimerkiksi työntekijän aiempi tietotekninen osaaminen tai motivaatio kyseistä työtä kohtaan. Koska käytettävyys vaikuttaa kuitenkin aina jossain määrin työn kognitiiviseen kuormitukseen, sillä voidaan todeta olevan vaikutus työntekijän työhyvinvointiin. Työhyvinvoinnin vaikutukset voivat vastaavasti heijastua työyhteisön yleiseen ilmapiiriin ja työntekijöiden vaihtuvuuteen sekä siten koko työyhteisön hyvinvointiin ja työn tuloksellisuuteen.

Industry 5.0 nostaa korostetusti esille teollisen tuotannon kehityksessä ihmis-keskeiset ratkaisut ja niiden suunnittelun. [10]. Tämä voi olla mahdollinen seuraus niistä havaituista haasteista, jotka ovat nousseet esiin ihmisten kyvyssä ymmärtää ja käyttää modernia teknologiaa ja vastaavasti saavuttaa niiltä odotettuja liiketoiminnallisia tuloksia ja etuja. Käytettävyyden ja käyttäjäkokemuksen huomioiminen on siten yhä keskeisempi ja tärkeämpi asia järjestelmien suunnittelussa ja toteutuksissa tulevaisuuden teollisuudessa (TK1).

Tämän havainnon motivoimana käytettävyyden ja käyttäjäkokemuksen ymmärtäminen sekä niihin liittyvien tekijöiden tunnistaminen muodostuu huomionarvoiseksi ja tärkeäksi asiaksi. Tutkielma keskittyy seuraavaksi tieteelliseen kirjallisuuden perustuen näiden tekijöiden tunnistamiseen. Jatkossa tutkimuksen varsinaisena painopisteenä tulee olemaan käytettävyyden tarkempi tutkiminen, mutta jolla voidaan todeta olevan samalla koherentti yhteys käyttäjäkokemuksen tutkimiseen.

3 Käyttäjakeskeinen suunnittelu

3.1 HCD ja UCD

Teollisuudessa tapahtuvalla kehityksellä ja muutoksilla on merkittävä vaikutus HCI ja HMI tutkimusaloihin. Käyttöliittymien suunnittelussa huomion tulisi siirtyä tarkastelemaan kokonaisuudessaan järjestelmän ja sen käyttäjien välistä vuorovaikutusta. Tämä nousee tieteellisessä kirjallisuudessa esille sekä Industry 4.0:n että 5.0:n yhteydessä, vaikka ihmiskeskeinen näkökulma liittyykin ensisijaisesti Industry 5.0 asettamiin tavoitteisiin.[11]

Ohjelmistokehityksessä huomio kiinnittyy usein järjestelmän teknisiin ominaisuuksiin ja yksityiskohtiin, varsinaisten loppukäyttäjien huomioimisen jäädessä toissijaiseen asemaan. Tämän lisäksi ohjelmistokehitystä tekevät ohjelmistokehittäjät voivat heijastaa järjestelmän kehityksessä omia oletuksiaan, mielipiteitään ja preferenssejään kyseisen järjestelmän käyttöön liittyen. Nämä päätökset eivät kuitenkaan välttämättä palvele järjestelmän lopullisen käyttäjän tarpeita ja työnkuvaa tai ota huomioon järjestelmän todellista käyttöympäristöä.[11]

Käytettävyyden toteutukseen liittyviä ongelmia voidaan välttää ottamalla järjestelmän varsinaiset loppukäyttäjät mukaan järjestelmän käyttöliittymän suunnitteluprosessiin [11]. Ihmiskeskeinen suunnittelu (engl. human-centered design, HCD) määritellään ISO 9241-210 standardissa vapaasti suomennettuna seuraavasti: lähestymistapa järjestelmien kehitykseen, jonka tavoitteena on tehdä järjestelmistä

käyttökelpoisia ja hyödyllisiä keskittymällä käyttäjiin, heidän tarpeisiinsa ja vaatimuksiinsa, sekä soveltamalla inhimillisiä tekijöitä/ergonomiaa, käytettävyystietoa ja tekniikoita kehitysprosessissa. Käyttäjakeskeinen suunnittelu (engl. user-centered design, UCD) tarkoittaa lähes samaa asiaa, mutta painottaa vielä tarkemmin järjestelmän käytön kohdistumista tietylle käyttäjäryhmälle. HCD ja UCD voidaan käytännössä kuitenkin mieltää toistensa synonyymeinä.[12]

3.2 Käytettävyyden attribuutit ja mittarit

Ohjelmistotuotannossa käytettävyys on perinteisesti määritelty ja kuvattu attribuuttien, eli erilaisten käytettävyyttä kuvaavien ominaisuuksien kautta. Näistä keskeisimpiä ovat ISO:n ja HCI tutkimusalalla vaikuttaneen Jakob Nielsenin esittämät määritelmät, jotka tulevat usein vastaan aiheeseen liittyvissä tieteellisissä sekä ei-tieteellisissä konteksteissa.

Kansainvälinen standardisointijärjestö ISO on määritellyt käytettävyyden attribuutteja ja mittareita mm. standardiperheissään ISO 9241 "Ergonomics of human-system interaction" ja ISO/IEC 25000 "Systems and software engineering". Luvussa 2.3 esitettiin ISO 9241-11 standardissa esitetty käytettävyyden määritelmä: vaikuttavuus, tehokkuus ja tyytyväisyys. Tätä käytettävyyden määritelmää on myöhemmin laajennettu ISO/IEC 25023 standardissa esitetyillä tietokoneohjelmistojen käytettävyyttä kuvaavilla mittareilla. Näitä ovat järjestelmän soveltuvuuden selkeys (engl. appropriateness recognisability), opittavuus (engl. learnability), helppokäyttöisyys (engl. operability), käyttövirheiden estäminen (engl. user error protection), käyttöliittymän miellyttävyys (engl. user interface aesthetics) ja esteettömyys (engl. accessibility).[13] Näiden attribuuttien ja mittarien kuvaukset on esitetty taulukossa 3.1.

Jakob Nielsenin esittämä käytettävyyden määritelmä muodostuu viidestä käytettävyyden attribuutista: opittavuus, tehokkuus, muistettavuus, virheet ja tyyty-

väisyys. Opittavuus (engl. learnability) tarkoittaa järjestelmän käytön oppimisen helppoutta. Tehokkuus (engl. efficiency) viittaa järjestelmän käytön tehokkuuteen. Muistettavuus (engl. memorability) tarkoittaa järjestelmän käytön helppoutta ja sitä, miten helppo se on muistaa käyttötauon jälkeen. Virheet (engl. errors) tarkoittavat järjestelmän käytössä tapahtuvien virheiden määrää, järjestelmän kykyä toipua virheistä ja sitä, kuinka vakavia virheitä järjestelmää käyttäessä on mahdollista tehdä. Tyytyväisyys (engl. satisfaction) tarkoittaa järjestelmän käytön miellyttävyyttä.[14][15]

Tutkielman luvussa 2.4 järjestelmien käytettävyydellä todettiin olevan keskeinen rooli tulevaisuuden teollisuudessa. Teknologisen kehityksen myötä modernien järjestelmien kompleksisuus teollisuudessa lisääntyy jatkuvasti ja järjestelmät sisältävät yhä enemmän ominaisuuksia, toiminnallisuuksia ja dataa [11]. Vastaavasti järjestelmien kompleksisuuden lisääntyessä niiden koettu käytettävyys heikkenee, joka aiheuttaa haasteita järjestelmien käyttöliittymien toteutuksessa käytettävyyden kannalta.[16][11] Industry 4.0 asettamia odotuksia järjestelmien käyttöliittymille teollisuudessa ovat mm. järjestelmän tilan ajantasainen kuvaus, ajantasainen reagointi järjestelmän tilan muutoksiin sekä järjestelmän tilaan liittyvien selkeiden ja ymmärrettävien ilmoitusten/viestin välittäminen käyttäjälle. Näiden ominaisuuksien tarkoituksena on tukea järjestelmän käyttäjää päätöksenteossa erilaisissa tilanteissa, joissa järjestelmä odottaa käyttäjältä reagointia tai toimenpiteitä.[11]

Käytettävyyteen vaikuttaa myös järjestelmän intuitiivisuus, eli luonnollisuus. Intuitiivisuus perustuu käyttäjän kokemuksiin erilaisten järjestelmien käytöstä. Käyttäjän näkökulmasta intuitiivinen järjestelmä muistuttaa toiminnaltaan jotain toista järjestelmää, josta käyttäjällä on aiemmin kokemusta tai jonka käytön hän osaa. Intuitiivisuus mahdollistaa uusien järjestelmien nopean omaksumisen ja käytön.[15] Tässä luvussa on tunnistettu yhteensä 13 käytettävyyden attribuuttia ja mittaria, jotka on koottu yhteen taulukossa 3.1.

Taulukko 3.1: Käytettävyyden attribuutit ja mittarit

	Attribuutti/mittari	Kuvaus	Lähde
1.	Vaikuttavuus (ISO)	Saavutetut tavoitteet, suoritettavat tehtävät, virheet tehtävien suorituksessa, virheiden intensiteetti	[9],[17]
2.	Tehokkuus (ISO ja Nielsen)	Tehtävään käytetty aika, ajankäytön tehokkuus, tarpeettomat toimet	[14],[15] [9],[17]
3.	Tyytyväisyys (ISO ja Nielsen)	Yleinen tyytyväisyys, tyytyväisyys ominaisuuksiin, ominaisuuksien hyödyntäminen, käyttäjän luottamus, koettu miellyttävyys ja mukavuus	[14],[15] [9],[17]
4.	Opittavuus (ISO ja Nielsen)	Helppous, aika, käyttöohjeiden täydellisyys, syöttökenttien oletusarvot, virheviestien ymmärrettävyys, käyttöliittymän ymmärrettävyys	[14],[15]
5.	Muistettavuus (Nielsen)	Helppokäyttöisyys, muistettavuus käyttötauon jälkeen	[14],[15]
6.	Virheet/käyttövirheiden estäminen (ISO ja Nielsen)	Virheiden määrä, virheistä toipuminen, virheiden vaikutus	[14],[15] [13]
7.	Soveltuvuuden selkeys (ISO)	Soveltuvuus käyttötarkoitukseen	[13]
8.	Helppokäyttöisyys (ISO)	Toiminnan ja ulkoasun johdonmukaisuus, viestien selkeys, toiminnallisuuksien ja käyttöliittymän muokattavuus, valvontakyky, toimintojen peruminen, ymmärrettävä tiedon kategorisointi	[13]
9.	Käyttöliittymän miellyttävyys (ISO)	Esteettinen tyydytys	[13]
10.	Esteettömyys (ISO)	Esteettömyys rajoittuneille käyttäjille, tuetut kielet	[13]
11.	Ajantasaisuus (Industry 4.0 käyttöliittymät)	Prosessin tilan esittäminen ajantasaisesti	[11]
12.	Käyttäjän tukeminen päätöksenteossa (Industry 4.0 käyttöliittymät)	Tarvittavan tiedon välittäminen käyttäjän päätöksenteon tueksi	[11]
13.	Intuitiivisuus	Intuitiivinen käyttöä	[15]

3.3 Pohdintaa: Käytettävyyden huomioiminen järjestelmien suunnittelussa

Tässä luvussa esitetty käytettävyyden attribuuttien ja mittarien taulukko 3.1 on teoreettinen viitekehys ja esitys käytettävyyden käsitteestä. Taulukossa nousevat esille HCI tutkimusalan keskeiset käytettävyyden määritelmät, jonka lisäksi siihen on haettu tämän tutkielman kontekstiin liittyen näkökulmaa järjestelmien käytettävyydestä teollisuudessa. Huomionarvoista taulukossa 3.1 on myös se, että käytettävyyden attribuuttien ja mittarien kuvauksissa esiintyy useita ristiviittauksia. Tämä tarkoittaa sitä, että attribuuteilla ja mittareilla on jossain määrin vaikutuksia toisiinsa, eivätkä ne ole siis täysin yksiselitteisiä tai toisistaan irrallaan olevia ominaisuuksia.

Koska käytettävyys on käsitteellisesti hyvin abstrakti ja laaja aihe, ei taulukkoa 3.1 voi pitää täydellisenä kuvauksena siitä kaikesta, mitä käytettävyys eri konteksteissa voi tarkoittaa. Tästä syystä käytettävyyttä kannattaakin lähestyä ohjelmistokehityksessä ensisijaisesti HCD:n tai UCD:n kautta prosessimaisesta näkökulmasta. Tämä lähestymistapa huomioi paremmin kunkin järjestelmän kehityksessä sen specifin käyttöympäristön ja käyttäjäryhmän omine erityispiirteineen ja tarpeineen sekä niiden asettamat vaatimukset järjestelmän toiminnalle ja käyttöliittymälle (TK2). HCD/UCD prosessia puolestaan tukee ohjelmistokehittäjän hyvä ymmärrys käytettävyyden keskeisistä määritelmistä ja ominaisuuksista, joita on kuvattu taulukossa 3.1.

Käyttäjakeskeinen suunnittelu ja loppukäyttäjien integroiminen ohjelmistokehitysprosessiin on lähtökohtaisesti varmin lähestymistapa huomioida käytettävyys järjestelmien suunnittelussa. Tämä lähestymistapa kulkee käsi kädessä Industry 5.0 korostamien ihmiskeskeisten ratkaisujen kanssa, jonka perusteella HCD:n/UCD:n merkitys ohjelmistotuotannossa tulee todennäköisesti korostumaan tulevaisuudessa

myös teollisuuden järjestelmien kohdalla. Käytännössä HCD/UCD voi tarkoittaa esimerkiksi järjestelmien testausta loppukäyttäjillä ohjelmistokehitysprojektien aikana ja saadun palautteen hyödyntämistä ohjelmistokehitysprosessissa.

4 Tapaustutkimus SCADA:n käytettävyydestä

4.1 Tutkimuksen tausta

Tapaustutkimuksen tarkoitus on tutkia metsäteollisuudessa teollisessa tuotantolaitoksessa käytössä olevan SCADA-järjestelmän käytettävyyttä. Tutkimus on toteutettu yhteistyössä yritys X:n kanssa, joka on kiinnostunut SCADA-järjestelmän käytettävyydestä ja sitä käyttäneiden operaattorien käyttökokemuksista. Tutkimuksesta saatuja tuloksia voidaan käyttää SCADA-järjestelmän käytettävyyden arvioinnissa, käytettävyyden kehittämiskohtien havaitsemisessa ja SCADA:n käytettävyyden jatkokehityksessä. Tutkimus nostaa esiin käytettävyyden näkökulmasta tuloksia SCADA-järjestelmäprojektin toteutuksesta ja onnistumisesta, joka voi tarjota hyödyllistä tietoa vastaavien projektien suunnittelussa ja toteutuksessa tulevaisuudessa.

SCADA (engl. supervisory control and data acquisition) on ohjaus-/valvomojärjestelmä, joita käytetään esimerkiksi teollisuudessa. SCADA-järjestelmien keskeisiä ominaisuuksia ovat fyysisten tuotantoprosessien visualisointi järjestelmän kautta, tuotantoprosessiin liittyvän tiedon välittäminen sekä tuotantoprosessiin liittyvien laitteiden etäohjaus. SCADA mahdollistaa siis tuotantoprosessien valvonnan, hallinnan ja ohjaamisen erillään fyysisistä tuotantotiloista.[18] SCADA-järjestelmät ovat ns. kyberfyysisiä järjestelmiä (engl. cyber-physical system, CPS), jotka yhdistävät tieto-

verkon välityksellä tuotantoprosessiin liittyviä fyysisiä laitteita, koneita ja tietoteknisiä järjestelmiä yhtenäiseksi kokonaisuudeksi [4]. Tämä integraatio mahdollistaa reaaliaikaisen tiedon keräämisen tuotantoprosessista, tiedon käsittelyn ja välityksen sekä prosessien hallinnan yhden käyttöliittymän kautta. SCADA mahdollistaa myös täysin automaattisoitujen dynaamisesti tuotantoprosessiin reagoivien ohjaustoimintojen käytön. [6][19] CPS-järjestelmät ovat keskeisiä teknologioita teollisuudessa sekä Industry 4.0 että Industry 5.0 kontekstissa [10][6].

Yritys X:n tuotantolaitoksessa käytössä oleva SCADA-järjestelmä vastaa lähes koko tuotantolaitoksen tuotantoprosessin ohjauksesta. Prosessin ensisijainen valvonta ja hallinta on keskitetty tuotantolaitoksen keskusvalvomoon, mutta useita SCADA-käyttöliittymiä on sijoitettu myös tuotantolaitoksen fyysisiin tuotantotiloihin. SCADA:n käyttöliittymä on perinteinen graafinen käyttöliittymä (GUI), näppäimistö ja hiiri, jonka lisäksi tuotantotiloissa sijaitsevat käyttöliittymät on varustettu kosketusnäytöillä. Yritys X:n tuotantolaitos on jaettu viiteen osastoon, joille jokaiselle on kehitetty tätä osastoa vastaava uniikki SCADA-näkymä/näkymät. Tässä tutkimuksessa osastot on nimetty osastoina 1–5. Osasto 3 koostuu kahdesta sisäisestä osastosta, jotka on nimetty osasto 3.1 ja osasto 3.2.

4.2 Tutkimuksen toteutus

Tapaustutkimuksessa tutkitaan SCADA-järjestelmän käytettävyyttä järjestelmää käyttävien operaattorien käyttökokemusten perusteella. Tutkimusmenetelmäksi on valittu kvantitatiivinen kyselytutkimus, joka on toteutettu sähköisenä Wepropol-kyselynä. Kyselylomake ja ohjeistus kyselyn vastaamiseen on jaettu kaikille yritys X:n operaattoreille yrityksen sisäisiä viestintäkanavia pitkin. Samassa yhteydessä operaattoreille on informoitu, kuka kyselyn on tehnyt, mikä on tutkimuksen tarkoitus ja miksi operaattoreita toivotaan osallistumaan tutkimukseen. Kysely toteutettiin 14.12.2023 - 11.1.2024 välisenä aikana.

Rakenteeltaan kysely koostui 13 väittämästä, jotka on johdettu tutkielmassa tunnistetuista käytettävyyden attribuuteista ja mittareista (taulukko 3.1). Väittämien määrittelyssä hyödynnettiin myös omakohtaista työkokemusta kyseisen SCADA-järjestelmän käytöstä Yritys X:ssä. Kaikki kyselyn väittämät olivat muodoltaan suljettuja kysymyksiä, joiden vastausvaihtoehdot oli määritetty ennalta, käyttäen 7-portaista "kyllä-ei"-Likert-asteikkoa. Väittämät on esitetty seuraavassa alaluvussa kuvissa 4.1 ja 4.2. 7-portaisen Likert-asteikon käyttöön päädyttiin, jotta kyselyn tuloksiin saataisiin enemmän hajontaa ja siten tarkempia tutkimustuloksia. Kaikkiin kyselyn väittämiin vastaaminen on ollut pakollista.

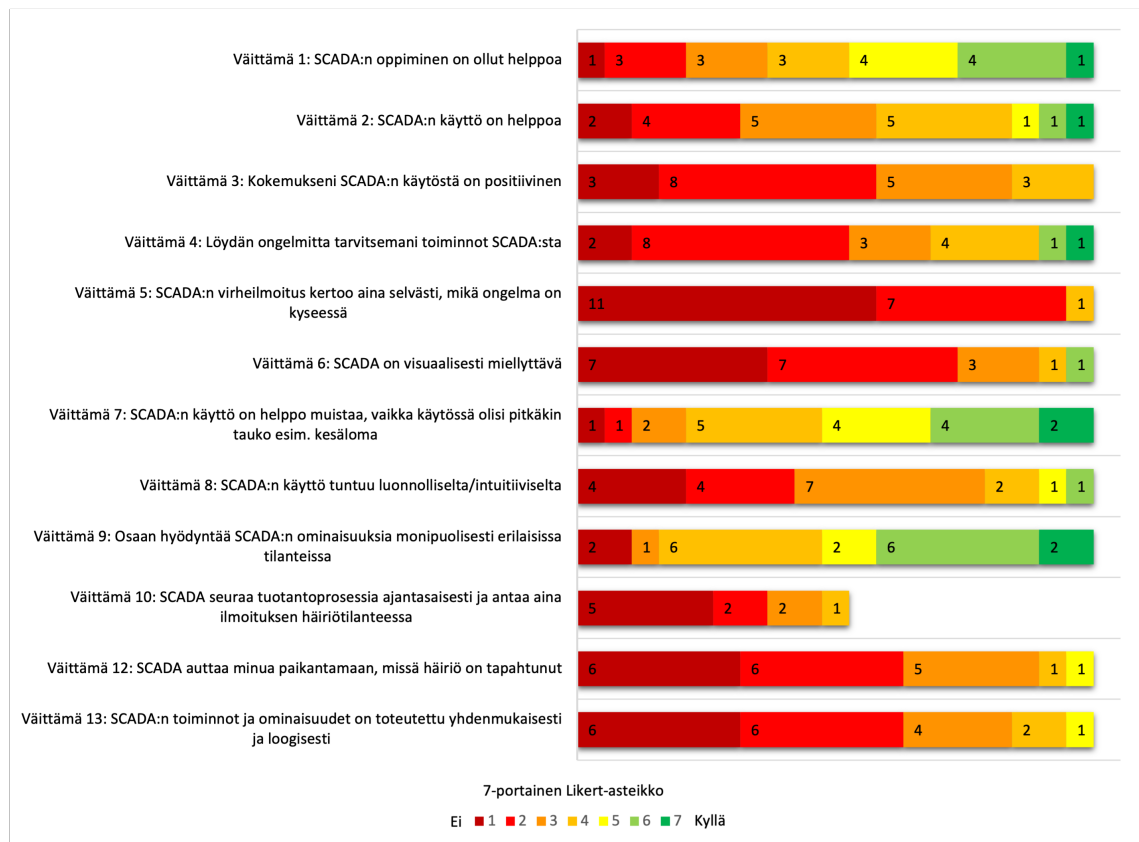
Väittämien lisäksi kyselyn lopussa on ollut avoin kommenttikenttä, jossa vastaaja on voinut halutessaan tarkentaa vastauksiaan tai nostaa esiin muita huomioita SCADA:n käytettävyyteen liittyen. Operaattorien henkilö- ja taustatietojen osalta kysely on toteutettu täysin anonymisti, jotta kynnyks osallistua kyselyyn olisi ollut mahdollisimman pieni. Ainoat kyselyssä operaattoreilta vaaditut taustatiedot ovat olleet vastaajan osasto tuotantolaitoksella ja SCADA-käyttökokemuksen määrä (yli vai alle yksi vuosi).

4.3 Tutkimuksen tulokset

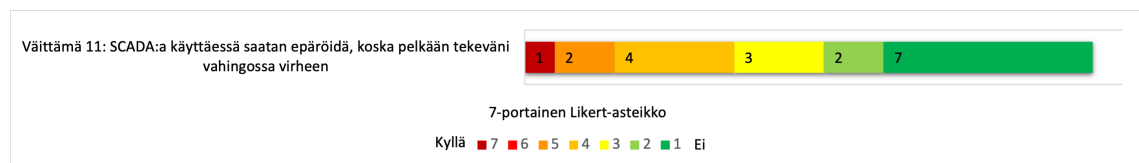
Kaiken kaikkiaan kyselyllä kerättiin yhteensä 19 vastausta SCADA:n käytettävyydestä. Suurin osa vastanneista operaattoreista oli kirjoittanut myös avoimeen kommenttikenttään omista käyttökokemuksistaan ja nostanut esille erilaisia käytettävyyteen liittyviä havaintoja. Kyselyn saatiin vastauksia tuotantolaitoksen kaikilta osastoilta seuraavalla jakaumalla: osasto 1: 1 vastaus, osasto 2: 3 vastausta, osasto 3.1: 3 vastausta, osasto 3.2: 3 vastausta, osasto 4: 6 vastausta, osasto 5: 3 vastausta.

Kyselyn väittämien vastausten tulokset on esitetty kootusti kuvissa 4.1 ja 4.2. Kyselytuloksissa väittämän 10 kohdalla kaikki vastaukset eivät ole tallentuneet Webropol-sovellukseen, ja niitä on tästä syystä muista kysymyksistä poiketen vain kymmenen

kappaletta. Kyselyssä Likert-asteikon numero 1 on tarkoittanut vastaajan olleen eri mieltä väittämän kanssa ja numero 7 vastaajan olleen samaa mieltä väittämän kanssa. Väittämän 11 kohdalla Likert-asteikko on ollut käänteinen ja tästä syystä se on esitetty erillään muista väittämistä. Kuvissa on käytetty väriskaalana siirtymää punaisesta vihreään, joka kuvaa visuaalisesti käyttökokemuksia kielteisestä (punainen) myönteiseen (vihreä).



Kuva 4.1: Kyselytutkimuksen tulokset 1/2



Kuva 4.2: Kyselytutkimuksen tulokset 2/2

Kyselyn avoimessa kommenttikentässä esitettyjä operaattorien mielipiteitä, käyttökokemuksia ja käytettävyyden havaintoja saatiin kyselyn yhteydessä yhteensä 14 kappaletta. Operaattorien kommentit on referoitu alkuperäisten kommenttien pohjalta ja esitetty kootusti taulukossa 4.1.

Taulukko 4.1: Yhteenveto operaattorien kommenteista

	Operaattorien esittämiä käytettävyyden havaintoja
1.	Hitaus, tökkiminen, navigointi on välillä sekavaa ja vaikeaa
2.	SCADA:ssa on myös paljon hyvää
3.	Käyttöliitymän hitaus häiriötilanteissa esim. sivulta toiselle siirtyessä, SCADA:n käyttöön tottuu järjestelmää käyttäessä, häiriöiden syyt on helppo löytää
4.	Käyttäminen vaatii ulkoa opettelemista, uutta asiaa etsiessä tietoa ei ole saatavilla ja pitää tukeutua muihin operaattoreihin
5.	Vaatii vielä kehittämistä
6.	Järjestelmä on sekava
7.	Hidas, epälooginen, tuotantolinjat on hahmoteltu huonosti
8.	Vaatii vielä kehittämistä
9.	Järjestelmä on sekava, tietojen löytäminen on hankalaa, informaatiota ei ole tarpeeksi, useat painikkeet eivät toimi tai puuttuvat kokonaan, sivulta toiselle siirtyminen on hidasta
10.	Operaattoreita ei ole kuultu tarpeeksi eikä pyydettyjä muutoksia ole toteutettu, häiriö paikat eivät näy tarpeeksi selvästi ja tarkasti
11.	Visuaalinen ilme huono, navigointi toteutettu huonosti, hälytysten indikointi toteutettu huonosti, osa painikkeista puuttuu, osa painikkeista ei toimi
12.	Tietojen ja toimintojen hakeminen vaatii liikaa siirtymistä sivulta toiselle
13.	Hälytykset kohdennettu heikosti, hälytykset voivat näkyä vain tietyillä sivuilla, hälytysten indikointi päänäkymässä tulisi olla parempi, kaikkiin tietoihin ei pääse käsiksi, SCADA-toteutuksissa on eroja näkymien ja toiminnallisuuden suhteen
14.	Operaattoreita ei ole kuultu tarpeeksi eikä pyydettyjä muutoksia ole toteutettu, häiriö paikat eivät näy tarpeeksi selvästi ja tarkasti

Kyselyyn vastanneilla operaattoreilla 93,8% SCADA:n käyttökokemusta oli enemmän kuin yksi vuosi. Näin merkittävästi painottuneen hajonnan takia arviointia käyttökokemuksen määrän ja käytettävyyden välillä ei ole voinut tehdä luotettavasti. Sen perusteella voidaan kuitenkin myös todeta, että kyselyn tulosten luotettavuuteen ei vaikuta tämän perusteella vastanneiden operaattorien käyttökokemuksen määrä. Toinen kyselytulosten aiheuttama rajoite liittyi liian pieneen osastokohtaiseen vastaajamäärään, jonka takia tuotantolaitoksen eri osastojen välistä käytettävyyden vertailua ei ole voinut suorittaa mielekkäästi ja luotettavasti. Näistä lähtökohdista SCADA:n käytettävyyttä on analysoitu kokonaisvaltaisesti toteutuksena järjestelmätasolla. Tätä lähestymiskulmaa tukivat myös operaattorien kommentit, jotka sisälsivät vastanneen operaattorin osastosta riippumatta paljon samoja käyttökokemuksia ja käytettävyyden havaintoja.

SCADA:n käytettävyyttä on tarkasteltu jakamalla kyselyn väittämät keskiarvojen (ka.) perusteella kahteen ryhmään: saavutettuihin käytettävyyden ominaisuuksiin (ka. > 4) ja kehittämiskohtiin (ka. < 4). Raja-arvona on käytetty Likert-asteikon neutraalia mielipidettä kuvaavaa keskiarvoa neljä. Väittämän 11 kohdalla keskiarvo on laskettu käänteisesti, koska väittämän kysymyksenasettelussa on käytetty muihin väittämiin nähden käänteistä Likert-asteikkoa. Väittämien jaottelu on esitetty taulukossa 4.2. Samassa taulukossa esitetään myös mihin käytettävyyden attribuuttiin tai mittariin (taulukko 3.1) väittämällä on viitattu sekä mitkä operaattorien esittämät kommentit (taulukko 4.1) liittyvät ja viittaavat selvästi kyseiseen väittämään.

Taulukon 4.2 keskiarvojen perusteella on nähtävissä, että keskiarvojen hajonta on painottunut selvästi neutraalin keskiarvon alapuolelle, joka viittaa lähtökohtaisesti siihen, että SCADA:n käytettävyydessä on vielä kehitettävää. Tämä havainto käy ilmi myös operaattorien esittämissä kommentteissa taulukossa 4.1. Vaikka keskiarvot ovatkin painottuneet yleisesti ottaen neutraalin keskiarvon alapuolelle, on monien kyselyn väittämien vastauksissa laajaa hajontaa kummankin ääripään vä-

Taulukko 4.2: SCADA:n käytettävyyden tutkimustulokset

	ka. 1-7	Väittäjä (kuva 4.1 ja 4.2)	Tutkittu käytettävyyden attri- buutti/mittari (taulukko 3.1)	Operaattorien havainnot (taulukko 4.1)
Saavutettu käytettävyys	5.21	Väittäjä 11	Virheet/käyttövirheiden estäminen (attribuutti 6)	-
	4.68	Väittäjä 9	Vaikuttavuus (attribuutti 1)	-
	4.58	Väittäjä 7	Muistettavuus (attribuutti 5)	-
	4.16	Väittäjä 1	Opittavuus (attribuutti 4)	-
Kehittämiskohteet	3.32	Väittäjä 2	Helppokäyttöisyys (attribuutti 8)	1, 3, 6, 7, 9, 11, 13
	2.94	Väittäjä 4	Tehokkuus (attribuutti 2)	1, 4, 9, 11, 12
	2.74	Väittäjä 8	Intuiivisuus (attribuutti 13)	4
	2.42	Väittäjä 3	Tyytyväisyys (attribuutti 3)	2, 9, 11, 13
	2.26	Väittäjä 13	Helppokäyttöisyys (attribuutti 8)	6, 7, 9, 13
	2.21	Väittäjä 12	Käyttäjän tukeminen päätöksenteossa (attribuutti 12)	3, 10, 11, 13, 14
	2.11	Väittäjä 6	Käyttöliittymän miellyttävyys (attribuutti 9)	11
	1.9	Väittäjä 10	Ajantasaisuus (attribuutti 11)	3, 10, 11, 13, 14
	1.53	Väittäjä 5	Käyttäjän tukeminen päätöksenteossa (attribuutti 12)	3, 10, 11, 13, 14

lillä (kuva 4.1 ja kuva 4.2). Tämä havainnollistaa käyttökokemuksissa korostuvaa subjektiivisuutta erityisesti näihin väittämiin liittyvien aihealueiden kohdalla.

Väittämät 11, 9, 7 ja 1 ovat ylittäneet neutraalin keskiarvon ja sen perusteella niiden kuvaamia SCADA:n käytettävyyden ominaisuuksia voidaan pitää toimivina ja onnistuneina. Näiden väittämien perusteella SCADA on onnistuttu toteuttamaan virhesietoisesti siten, että inhimillisten käyttövirheiden tekeminen tai niiden

vaikutukset eivät vaikuta negatiivisesti järjestelmän käytettävyyteen (väittäjä 11). Operaattorit kokevat myös, että he pystyvät hyödyntämään SCADA:a monipuolisesti työssään vaihtelevissa käyttötilanteissa (väittäjä 9). Näiden lisäksi SCADA:n käytettävyyteen ei väittäjien perusteella vaikuta negatiivisesti järjestelmän muistettavuus (väittäjä 7) ja järjestelmän opettelua (väittäjä 1) ei ole koettu liian haastavana. Operaattorien esittämässä kommentissa ei nouse esiin näitä tuloksia vastustavia mielipiteitä.

Väittämät 2, 4, 8, 3, 13, 12, 6, 10 ja 5 ovat jääneet neutraalin keskiarvon alapuolelle. Näiden väittäjien kuvaamien käytettävyyden ominaisuuksien perusteella SCADA:n käytettävyyden kehittämiskohdat liittyvät järjestelmän virheilmoituksiin ja niiden laatuun (väittäjä 5), häiriöiden indikointiin (väittäjä 10), SCADA:n visuaaliseen toteutukseen ja sen miellyttävyyteen (väittäjä 6), häiriöiden paikantamiseen (väittäjä 12), järjestelmän loogisuuteen ja ymmärrettävyyteen (väittäjä 13), negatiiviseen käyttökokemukseen (väittäjä 3), intuitiivisuuteen (väittäjä 8), järjestelmän sisäiseen navigointiin ja tiedon/toimintojen löydettävyyteen (väittäjä 4) sekä järjestelmän käytön haastavuuteen (väittäjä 2). Näihin väittäjiin selvästi liittyviä ja viittaavia seikkoja nousee esiin myös operaattorien kommentissa taulukon 4.2 esittämällä tavalla. Operaattorien esittämässä kommentissa esiin nouseva uusi käytettävyyden havainto on SCADA:n hitaus (operaattorien havainnot 1, 3, 7, 9, 12). Erityinen tutkimustuloksissa esiin nouseva huomio on se, että SCADA:n käytettävyyden keskeisimmät kehittämiskohdat liittyvät järjestelmän toimintaan häiriötilanteissa (väittämät 5, 10 ja 12).

SCADA:n käytettävyyden tutkimuksen tavoite ja näkökulma on ollut käytettävyyteen liittyvän tiedon tuottaminen SCADA:n jatkokehityksen ja vastaavien ohjausjärjestelmien kehitysprojektien kannalta. Yritys X:n halu tutkia SCADA:n käytettävyyttä heijastaa yrityksen kiinnostusta huomioida ja kehittää käytettävyyttä ohjausjärjestelmien toteutuksissa. Tutkimustuloksista koottu taulukko 4.2 antaa sel-

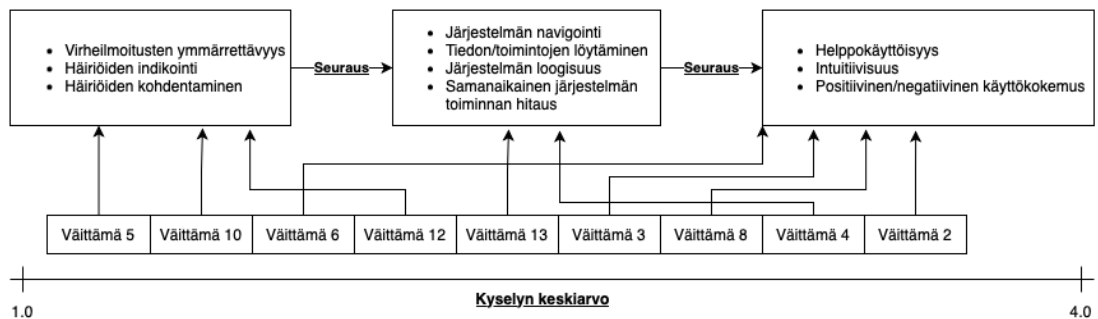
keän ja helppotulkintaisen kokonaiskuvan SCADA:n käytettävyyden onnistumisista ja kehittämiskohteista, joita tukevat operaattorien taulukossa 4.1 esittämät käytettävyyden havainnot (TK3). Tutkimuksessa tunnistettujen käytettävyyden kehittämiskohteiden kohdalla on tässä kohtaa kuitenkin myös muistutettava se, että SCADA on käytössä oleva valmis ohjausjärjestelmä, jonka toimintaan liittyvät tavoitteet on saavutettu. Luvussa 4.4 jatketaan vielä SCADA:n käytettävyyden tutkimustulosten havainnointia ja analysointia syvemmälle oman työkokemuksen kautta kertyneen tiedon perusteella ja yhdistetään tutkimuksen havaintoja tutkielmassa käsiteltyjen aiheiden kontekstiin.

4.4 Tutkimuksen pohdintaa ja johtopäätökset

Tutkimustuloksien perusteella voidaan havaita, että SCADA:n käytettävyyden keskeisimmät kehittämiskohdat liittyvät tuotantolaitoksen osastosta riippumatta tuotantoprosessien häiriötilanteisiin. Häiriötilanteet tarkoittavat tyypillisesti tilanteita, joissa ohjausjärjestelmä reagoi automaattisesti prosessin tilaan ja pysäyttää tuotantoprosessin. Tällöin ohjausjärjestelmä edellyttää operaattorilta myös päätöksenteoa, tai toimenpidettä, ennen prosessin jatkamista. Tämä voi tarkoittaa käytännössä esimerkiksi prosessinohjausta SCADA:n kautta tai fyysistä työtä kentällä tuotantolinjalla. Häiriötilanteet johtuvat automaattisessa tuotantoprosessissa tapahtuneista poikkeamista ja niiden kohdalla operaattorin tehtävä on saattaa tuotantoprosessi normaaliin tilaansa ja uudestaan päälle mahdollisimman nopeasti. Häiriötilanteen kohdalla operaattorin toimintaan kohdistuu siis sekä ongelmanratkaisu- että aikapainetta, joilla on luonnollisesti vaikutus koettuun käytettävyyteen näissä tilanteissa. On otettava huomioon, että häiriötilanteisiin liittyvät tutkimustulokset eivät siten myöskään kerro järjestelmän käytettävyydestä koko käytön aikana, vaan pelkästään häiriötilanteiden yhteydessä.

Häiriötilanteisiin selvästi liittyviä SCADA:n käytettävyyden kehittämiskohtia

ovat virheilmoitukset, häiriöiden indikointi, häiriöiden kohdentaminen, järjestelmän navigointi, tiedon/toimintojen löytäminen ja järjestelmän nopeus (väittämät 5, 10 ja 12 sekä operaattorien havainnot 1, 3, 7, 9, 10, 11, 12, 13 ja 14). Häiriötilanteiden kohdalla voidaan todeta myös se, että edellä mainituista kehittämiskohdist virheilmoitukset, häiriöiden indikointi ja häiriöiden kohdentaminen aiheuttavat lähtökohtaisia käytettävyyden haasteita häiriötilanteissa ja vastaavasti järjestelmän navigointi, tiedon/toimintojen löytäminen ja järjestelmän nopeus ovat niistä seuraavia käytettävyyden haasteita häiriötilanteissa. Niiden välillä vaikuttaa siis looginen syy-seuraussuhde. Vastaavasti voidaan tulkita, että syy-seuraussuhde tuskin rajoittuu vain tähän, vaan sillä voi olla kumulatiivinen vaikutus moniin muihinkin käytettävyyteen liittyviin käyttökokemuksiin, esimerkiksi miten loogisena, positiivisena, intuitiivisena ja helppona järjestelmän käyttö lopulta koetaan (väittämät 13, 3, 8, 4 ja 2). Tällaista häiriötilanteista heijastuvaa kumulatiivista vaikutusta on havainnollistettu kuvassa 4.3. Tähän tulkintaan liittyvä mielenkiintoinen havainto on myös se, että taulukon 4.2 keskiarvojakauma tukee melko tarkasti esitetyn kumulatiivisen vaikutuksen kehittymistä. Kaiken kaikkiaan tämä voisi viitata siihen, että SCADA:n käytettävyyden keskeisinä kehittämiskohtina tunnistetut häiriötilanteisiin liittyvät tekijät voivat olla ns. juurisyytä, jotka heijastuvat kumulatiivisesti muihinkin järjestelmän käytettävyyteen liittyviin käyttökokemuksiin.



Kuva 4.3: Tulkinta häiriötilanteista heijastuvasta kumulatiivisesta vaikutuksesta

SCADA:n käytettävyyden tutkimustulokset nostavat esiin käytettävyyden toteu-

tuksen liittyvää haastavuutta. Vaikka järjestelmälle asetetut tavoitteet on saavutettu ja järjestelmä on otettu onnistuneesti käyttöön, voi varsinaisten loppukäyttäjien kokemus järjestelmän käytettävyydestä ja ns. valmiusasteesta olla tästä huolimatta erilainen. Nämä havainnot kytkeytyvät täysin tutkielman aiempiin havaintoihin, jotka korostavat käytettävyyden merkitystä tulevaisuuden teollisuudessa ja HCD/UCD perustuvan ohjelmistokehityksen merkitystä.

Vaikka SCADA:n käytettävyyden tutkimuksessa hyödynnetyt käytettävyyden attribuutit ja mittarit kuvaavat yleisellä tasolla hyvin käytettävyyden eri piirteitä, korostuu tutkimuksessa ensisijaisesti järjestelmän käyttöympäristön ja työnkuvan ymmärtämisen merkitys käytettävyyshavaintojen tekemisessä ja tunnistamisessa. Tämä sama havainto on todettu myös käytettävyyden ja ohjelmistokehityksen välisessä suhteessa luvussa 3.3. Nämä tulokset osoittavat hyvin loogisesti, että riittävä käyttökontekstin ymmärtäminen on käytettävyyden kohdalla keskiössä oikeiden havaintojen ja päätelmien tekemisessä, tilanteesta riippumatta.

Tutkimustulosten pohjalta tunnistettu kumulatiivinen vaikutus on myös mielenkiintoinen näkökulma käytettävyyden analysoinnille. Tämä näkökulma ei poissulje käytettävyyden attribuuttien ja mittarien hyödyntämistä tutkimuksessa, mutta se siirtää tutkimustulosten tarkastelun käytettävyyden attribuuttien ja mittarien tulkinnasta syy-seuraussuhteiden ja juurisyiden tulkintaan. Tällainen lähestymistapa on lähtökohtaisesti myös hyvin käytännönläheinen, mikä soveltuu tutkielmassa korostettuihin HCD:n ja UCD:n periaatteisiin.

5 Yhteenveto

Tässä tutkielmassa on tutkittu käytettävyyden merkitystä tulevaisuuden teollisuudessa (TK1) ja miten käytettävyys voidaan huomioida järjestelmien suunnittelussa (TK2). Tutkielmassa kerättyä teoreettista tutkimustietoa on hyödynnetty aiheeseen liittyvässä tapaustutkimuksessa, jossa on tutkittu ja analysoitu teollisessa tuotantolaitoksessa käytössä olevan SCADA-järjestelmän käytettävyyttä (TK3). Tapaustutkimuksen kautta on muodostettu samalla konkreettisempi käsitys käytettävyyden merkityksestä tulevaisuuden teollisuudessa ja se on tarjonnut uusia täydentäviä näkökulmia tässä tutkielmassa muodostettuun käytettävyyden teoreettiseen viitekehykseen.

Käytettävyys tulee olemaan yhä keskeisempi tekijä tulevaisuuden teollisuudessa. Industry 5.0 kuvaama siirtymä tulevaisuuden teollisessa tuotannossa nostaa korostetusti etualalle ihmisen ja ihmiskeskeiset ratkaisut. Tehokas, toimiva ja kestävä ihmisen ja tietokoneiden/koneiden välinen vuorovaikutus vaatii onnistuneiden käyttöliittymien toteuttamista, jonka saavuttaminen edellyttää käytettävyyden ja käyttäjäkokemuksen huomioimista järjestelmien kehityksessä.

HCD/UCD on ohjelmistokehityksen menetelmä, joka pyrkii ottamaan huomioon järjestelmää käyttävän ihmisen ja sen toimintaympäristön. Tämä on lähtökohtaisesti varmin lähestymistapa huomioida käytettävyys järjestelmien suunnittelussa ja onnistuneiden käyttöliittymien toteutuksessa. Ohjelmistokehittäjien kyky ymmärtää käyttäjiä ja kehittää innovatiivisia käyttäjäystävällisiä ratkaisuja modernien

kompleksisten järjestelmien toteutuksessa tulee olemaan yhä tärkeämpi taito tulevaisuudessa. Käytettävyyttä kuvaavat attribuutit ja mittarit antavat hyvän yleisen ymmärryksen kehitystyön tavoitteista, mutta itsessään ne eivät riitä huomioimaan kunkin järjestelmän spesifiä käyttäjäryhmää ja käyttöympäristöä.

Tapaustutkimuksessa tutkitun SCADA-ohjausjärjestelmän käytettävyydessä on operaattorien käyttökokemusten perusteella tunnistettu sekä onnistumisia että kehittämiskohtia. SCADA:n keskeiset onnistumiset liittyvät järjestelmän virhesietoisuuteen, operaattorien osaamiseen hyödyntää SCADA:n ominaisuuksia sekä järjestelmän muistettavuuteen ja opittavuuteen. SCADA:n keskeiset kehittämiskohdat liittyvät tuotantoprosessin häiriötilanteisiin ja SCADA:n kykyyn tarjota niissä riittävää tukea operaattoreille. Häiriötilanteiden tunnistaminen käytettävyyden keskeiseksi kehittämiskohdaksi on tärkeä havainto, joka auttaa suuntaamaan huomion tämän osa-alueen kehittämiseen. Tutkimustuloksissa nousee myös esiin hyvin konkreettisia esimerkkejä näistä kehittämiskohdista ja siten mahdollisia jatkokehityksen tai jatkotutkimuksen aiheita. SCADA:n käytettävyyteen liittyvää jatkokehitystä tai jatkotutkimusta voisi lähteä toteuttamaan tämän tutkielman yhteydessä kerätyn tutkimustiedon pohjalta HCD/UCD metodein yhteistyössä operaattorien ja ohjelmistokehittäjien kanssa. Tämän tutkimuksen suunta tulisi olemaan käytännönläheisempi ja se kohdistuisi konkreettisten käytettävyyttä kehittävien ohjelmistoteknisten ratkaisujen etsimiseen ja tunnistamiseen.

Lähdeluettelo

- [1] H. M. Hassan ja G. H. Galal-Edeen, "From usability to user experience", vol. 2018-January, 2017. DOI: 10.1109/ICIIBMS.2017.8279761.
- [2] P. Savioja, M. Liinasuo ja H. Koskinen, "User experience: does it matter in complex systems?", *Cognition, Technology and Work*, vol. 16, 4 2014, ISSN: 14355566. DOI: 10.1007/s10111-013-0271-x.
- [3] A. Mathur, A. Dabas ja N. Sharma, "Evolution From Industry 1.0 to Industry 5.0", 2022. DOI: 10.1109/ICAC3N56670.2022.10074274.
- [4] E. Hozdić ja I. Makovec, "Evolution of the Human Role in Manufacturing Systems: On the Route from Digitalization and Cybernation to Cognitization", *Applied System Innovation*, vol. 6, 2 2023, ISSN: 25715577. DOI: 10.3390/asi6020049.
- [5] R. K. Khamaisi, A. Brunzini, F. Grandi, M. Peruzzini ja M. Pellicciari, "UX assessment strategy to identify potential stressful conditions for workers", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 78, 2022, ISSN: 07365845. DOI: 10.1016/j.rcim.2022.102403.
- [6] D. Mourtzis, J. Angelopoulos ja N. Panopoulos, "The Future of the Human–Machine Interface (HMI) in Society 5.0", *Future Internet*, vol. 15, 5 2023, ISSN: 19995903. DOI: 10.3390/fi15050162.

-
- [7] M. D. Gregorio, G. Nota, M. Romano, M. Sebillo ja G. Vitiello, "Designing usable interfaces for the Industry 4.0", 2020. DOI: 10.1145/3399715.3399861.
- [8] D. Stone, C. Jarrett, M. Woodroffe ja S. Minocha, *User Interface Design and Evaluation*. 2014.
- [9] ISO, "Ergonomics of human-system interaction — Part 11: Usability: Definitions and concepts", International Organization for Standardization, Standard ISO 9241-11:2018, 2018.
- [10] "Enabling Technologies for Industry 5.0", European Commission, tekninen raportti, 2020. DOI: 10.2777/082634.
- [11] T. Pfeiffer, J. Hellmers, E. M. Schön ja J. Thomaschewski, "Empowering User Interfaces for Industrie 4.0", *Proceedings of the IEEE*, vol. 104, 5 2016, ISSN: 15582256. DOI: 10.1109/JPROC.2015.2508640.
- [12] ISO, "Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centered design for interactive systems", International Organization for Standardization, Standard ISO 9241-210:2019, 2019.
- [13] S. Karnouskos, R. Sinha, P. Leitão, L. Ribeiro ja T. I. Strasser, "The applicability of ISO/IEC 25023 measures to the integration of agents and automation systems", 2018. DOI: 10.1109/IECON.2018.8592777.
- [14] J. Nielsen, "Usability metrics: Tracking interface improvements", *IEEE Software*, vol. 13, 6 1996, ISSN: 07407459. DOI: 10.1109/ms.1996.8740869.
- [15] T. Suojanen, K. Koskinen ja T. Tuominen, "User-centered translation", teoksessa 2014. DOI: 10.4324/9781315753508.
- [16] C. A. Sikora ja R. Swan, "Perceived usability and system complexity", 1998. DOI: 10.1109/APCHI.1998.704157.

-
- [17] N. Bevan, J. Carter, J. Earthy, T. Geis ja S. Harker, "New ISO standards for usability, usability reports and usability measures", vol. 9731, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-39510-4_25.
- [18] S. K. Saurav, P. B. Sudhakar, K. J. Mohan, R. S. Kumar ja S. B. Bapu, "SCADA WebView: A State-of-the-Art Enterprise Transmission SCADA Engine", 2021. DOI: 10.1109/INDICON52576.2021.9691604.
- [19] F. Tao, Q. Qi, L. Wang ja A. Y. Nee, "Digital Twins and Cyber-Physical Systems toward Smart Manufacturing and Industry 4.0: Correlation and Comparison", *Engineering*, vol. 5, 4 2019, ISSN: 20958099. DOI: 10.1016/j.eng.2019.01.014.