

Communicating with Purpose

To cite this article: Hyypä, J. & Havinen, L. (2023). Suunnitteluohjeen kehittäminen kognitiivisen ergonomian huomioimiseen käytettävyyden parantamisessa. In: E. Lillqvist, M. Eronen-Valli, V. Manninen, N. Nissilä & E. Salmela (Eds.). *Communicating with Purpose*. Vaasa: VAKKI Publications 15. 107–127. ISBN 978-952-69732-2-7

Suunnitteluohjeen kehittäminen kognitiivisen ergonomian huomioimiseen käytettävyyden parantamisessa

Joni Hyypä^{a,b} & Laura Havinen^a

^a Vaasan yliopisto

^b Danfoss

Today, it is almost impossible to avoid interaction with IT-related tools. Therefore, when designing systems, it is important to consider people's cognitive abilities and limitations to avoid production errors and excessive burden on people. In cognitive ergonomics, the interaction between humans and technology is studied and designed especially from the viewpoint of human cognitive processes. Cognitive ergonomics aims to shorten task times, reduce mistakes made by people, shorten learning times, and improve people's satisfaction with the systems. Cognitive ergonomics can be considered as an important scientific basis for user interface design. In this study, the aim is to find out how the system's usability can be affected by improving cognitive ergonomics. The study was conducted using the design science research approach in the context of the technology industry. The human-centered design viewpoint of technology is increasingly important in the industry context as the number of IT-related tools grows. In the study, the usability of the target company's SAP ME system was improved with a focus on the aspects of cognitive ergonomics. As a manifestation of the research's aim, an IT artifact, i.e., design instructions for improving usability from the viewpoint of cognitive ergonomics, was created.

Avainsanat: kognitiivinen ergonomia, käytettävyys, käyttöliittymä, käyttöliittymäsuunnittelu, tuotanto

1 Johdanto

Kognitiivisesti ihmisiä kuormittavilla työolosuhteilla sekä työvälineillä voi olla merkittävä vaikutus työn tuottavuuteen ja työntekijöiden suorituskykyyn (Elfering, Grebner & Ebener 2015: 142–143; Sanil, Nair & Ramanathan 2013: 52; Wu, Zhu, Cao & Li 2016: 171; Biondi, Cacanindin, Douglas & Cort 2021: 819; Wollter Bergman, Berlin, Babapour Chafi, Falck & Örtengren 2021: 21). Huomioimalla kognitiivinen ergonomia työolosuhteiden suunnittelussa voidaan vaikuttaa myönteisesti työntekijöiden tyytyväisyyteen sekä tehokkuuteen (Berlin, Bergman, Chafi, Falck & Örtengren 2021: 379–380). Kognitiivisessa ergonomiassa tarkastellaan ihmisten ja teknologisten järjestelmien vuorovaikutusta huomioiden erityisesti ihmisen tiedonkäsittelyyn ja ajatteluun liittyvät prosessit, kuten havainnointi, oppiminen ja muisti (International Ergonomics Association n.d., Launis & Lehtelä 2011: 28; de Haan & Dittmar 2016; van der Veer 2008: 2614).

Jatkuva tietomäärän kasvaminen asettaa kognitiiviselle ergonomialle uudenlaisia vaatimuksia toimivan ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutuksen varmistamiseen (Kalakoski, Henelius, Oikarinen, Ukkonen & Puolamäki 2019: 1044–1046). Tässä tutkimuksessa tarkastellaan, mitä käyttöliittymäsuunnittelussa tulee ottaa huomioon kognitiivisen ergonomian kannalta, sekä miten järjestelmät ja ohjelmistot saadaan vastaamaan ihmisten kognitiivisia ominaisuuksia. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten kognitiivista ergonomiaa parantamalla voidaan vaikuttaa järjestelmän käytettävyyteen. Käytävyydellä viitataan järjestelmän opittavuuteen, tehokkuuteen, muistettavuuteen, virheettömyyteen sekä miellyttävyyteen (Nielsen 1993: 26). Tutkimus toteutetaan kehittämällä teknologioteollisuuden alan yrityksen tuotantolinjoilla käytössä olevan järjestelmän käyttöliittymää. Teollisuuden toimialan tarkastelu on tärkeää, sillä vastatakseen tulevaisuuden haasteisiin teollisuuden toimialan tulee kiinnittää enemmän huomioita työntekijöiden käytössä olevan teknologian ihmislähtöisyyteen (European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Breque, De Nul & Petridis 2021: 14–15). Lisäksi lisääntynyt ja kehittynyt tietotekniikan käyttö vaatii tuotantolinjojen suunnittelussa aiempaa enemmän kognitiivisen ergonomian huomiointia (Wollter Bergman ym. 2021: 21).

Tutkimus on luonteeltaan suunnittelutieteellinen tutkimus. Suunnittelutieteellisessä tutkimuksessa luodaan IT-artefakteja, jotka tuottavat teknologian avulla ratkaisun johonkin liiketoiminnan kannalta relevanttiin ongelmaan (Hevner, March, Park & Ram 2004: 82–84; Peffers, Tuunanen, Rothenberger & Chatterjee 2007: 49). IT-artefaktin kehitysprosessin aikana on tavoitteena kerryttää tietoa ja ymmärrystä ongelmasta sekä sen ratkaisusta (Hevner & Chatterjee 2010: 5). Tämän tutkimuksen tulos tarjoaa organi-

saatioille keinon huomioida kognitiivinen ergonomia järjestelmien käytettävyyden kehittämisesä. Tässä tutkimuksessa luotava IT-artefakti eli tutkimuksen tulos on kognitiivisen ergonomian huomioiva suunnitteluohje.

Kognitiivista ergonomiaa on tutkittu tuotannon kontekstissa aiemmin erityisesti tuotantolinjojen työntekijöihin kohdistuvan kognitiivisen kuorman mittaamisen näkökulmasta (Lagomarsino, Lorenzini, De Momi & Ajoudani 2022; Thorvald, Lindblom & Andreasson 2019; Morton, Zheleva, Van Acker, Durnez, Vanneste, Larmusearu, De Bruyne, Raes, Cornillie, Saldien, De Marez & Bombeke 2022; Bommer & Fendley 2016). Nämä tutkimukset eivät kuitenkaan tarjoa keinoja siihen, miten kognitiivinen ergonomia voidaan huomioida tuotantolinjoihin liittyvässä suunnittelussa (Thorvald ym. 2019: 264). Tämän tutkimuksen tuloksena syntyvä suunnitteluohje vastaa tähän tarpeeseen. Kognitiivisen ergonomian huomioivista suunnitteluohjeista on aiempia myönteisiä kokemuksia tuotannon kontekstissa. Gualtieri, Fraboni, De Marchi ja Rauch (2022: 13) kehittivät kognitiivisen ergonomian huomioivan ohjeistuksen tuotantolinjoille ihmisen ja robotin vuorovaikutuksen suunnitteluun, mikä paransi työntekijöiden kokemusta ja tuottavuutta.

Artikkeli rakentuu seuraavasti. Artikkelin toisessa luvussa on kuvattu kognitiivisen ergonomian roolia käyttöliittymäsuunnittelussa. Kolmannessa luvussa esitellään tutkimuksen aineisto sekä kuvataan tutkimuksessa käytetty suunnittelutieteellinen tutkimusmenetelmä. Artikkelin neljännessä luvussa käsitellään tutkimuksen toteutusta, johon sisältyy ongelman määrittäminen ja suunnittelutyön tavoitteiden asettaminen sekä suunnitteluohjeen toteutus ja demonstrointi. Lopuksi esitellään työn tuloksena syntynyt suunnitteluohje sekä tutkimuksen johtopäätökset ja pohdinta.

2 Kognitiivinen ergonomia käyttöliittymäsuunnittelussa

International Ergonomics Association (n.d.) määrittelee ergonomian tieteenalana sekä ammattikuntana, joka keskittyy tarkastelemaan ja kehittämään ihmisten sekä järjestelmän muiden osien välistä vuorovaikutusta optimoiden ihmisten hyvinvointia ja järjestelmän suorituskykyä. Kognitiivinen ergonomia on ergonomian osa, joka tarkastelee ihmisten kognitiivisia prosesseja tässä vuorovaikutuksessa (International Ergonomics Association n.d.). Näitä kognitiivisia prosesseja ovat muun muassa havaitseminen, tarkkaavuus, muisti ja ajattelu. Kognitiivisessa ergonomiassa hyödynnetään ihmistieteiden teorioita, menetelmiä ja työkaluja niiden ongelmien ratkaisuun, joita ihmiset kohtaavat ollessaan vuorovaikutuksessa tietojenkäsittelyyn liittyvien artefaktien kanssa (van der Veer 2008: 2614).

Kognitiivista ergonomiaa voidaan pitää tärkeänä tieteellisenä perustana käyttöliittymäsuunnittelulle (van der Veer 2008: 2627). Kognitiivinen ergonomia ja käytettävyystudki- mus linkittyvät vahvasti toisiinsa ja joissain yhteyksissä käsitteitä käytetään miltei yhtäpitävästi (van der Veer 2008: 2615). Käytettävyydellä tarkoitetaan ISO 9241-11 (2018) standardin mukaan sitä, mikä on se vaikuttavuuden, tehokkuuden ja tyytyväisyyden taso, jolla tietyt käyttäjät pystyvät käyttämään järjestelmää saavuttaakseen tiettyjä tavoitteita tietyssä käyttötilanteessa. Nielsen (1993: 26) on määritellyt käytettävyyden laatutekijöiksi järjestelmän helpon opittavuuden, järjestelmän käytön tehokkuuden, käytön helpon muistettavuuden, käyttötilanteessa ilmentyvän virheettömyyden sekä järjestelmän käytön miellyttävyyden. Tässä tutkimuksessa käytettävyys mielletään lopputuloksena ja kognitiivinen ergonomia näkökulmana siihen, miten parempaan käytettävyyteen päästään. Kognitiivisen ergonomian huomioiminen vaikuttaa siis niihin keinoihin, joilla käytettävyyttä tavoitellaan (Cañas 2008: 2631).

Cañasin (2008: 2633) mukaan ihmisen kognitiivisten toimintojen ja käyttöliittymän toimintojen välillä vallitsee keskinäisen riippuvuuden toimintaperiaate (eng. *The Principle of Mutual Dependency*). Keskinäisen riippuvuuden toimintaperiaatteen mukaan, kun ihminen pyrkii suorittamaan jonkin tehtävän järjestelmän kanssa, tähän vuorovaikutukseen liittyvät ihmisen kognitiiviset toiminnot riippuvat järjestelmän käyttöliittymän toiminnoista. Jos käyttöliittymää muokataan, se edellyttää ihmiseltä kognitiivisten toimintojen mukauttamista. Periaatteen mukaan optimaalisimmassa tilanteessa käyttöliittymän toimintojen tulisi olla sovitettu ihmisen kognitiivisiin toimintoihin.

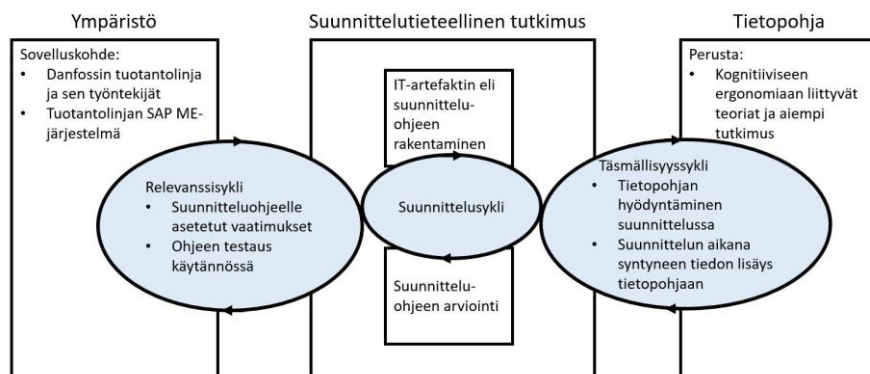
Cañasin, Salmerón ja Fajardon (2004: 16) mukaan edellä mainittu riippuvuus tulisi ottaa huomioon käyttöliittymien suunnitteluprosessin aikana kartoittamalla käyttöliittymän toiminnot ja niihin liittyvät ihmisen kognitiiviset toiminnot. Kartoitus helpottaa riippuvuuden huomioimisen tilanteissa, joissa käyttöliittymää muutetaan, sekä paljastaa mahdolliset kognitiivisten toimintojen rajoitteet. Tässä tutkimuksessa kartoitusta hyödynnetään käyttöliittymän ensimmäisessä kehitysvaiheessa, kuten on kuvattu luvussa 4.

3 Aineisto ja menetelmä

Tutkimuksen aineisto rakentuu käytettävyyskyselyn vastauksista, heuristisen arvioinnin tuloksista sekä käytettävyystestauksen tuloksista. Tutkimus on toteutettu suunnittelu- tieteellisenä tutkimuksena. Suunnittelutieteellisessä tutkimuksessa vastataan tutkimus- kysymykseen sekä ratkaistaan organisaatioiden kohtaamia ongelmia IT-artefaktin luo- misen ja arvioimisen avulla, ja samalla tuotetaan tieteellistä tietoa (Hevner & Chatterjee 2010: 5; Hevner ym. 2004: 77). Marchin ja Smithin (1995: 256–258) mukaan IT-artefaktit ovat ihmisen luomia, usein sosioteknisiä tuotoksia, kuten jonkin asian käsitteellistäviä rakenteita, rakenteiden välisiä suhteita kuvaavia malleja, jonkin tehtävän toteuttamista

kuvaavia menetelmiä tai edellä mainittujen asioiden toteutuksia. Tämän tutkimuksen IT-artefakti on kognitiivisen ergonomian huomioiva suunnitteluohje, jota käytetään tukena kohdeyrityksen järjestelmän käytettävyyden parantamisessa.

Tutkimus toteutuu vuorovaikutuksessa tutkimuksen ympäristön kanssa sekä tutkimuksen tietopohjan kanssa (Hevner ym. 2004: 80, ks. kuvio 1). Suunnittelutieteelliselle tutkimukselle tyypillisesti tutkimus muodostuu kolmesta kehysten välillä toimivasta syklistä, jotka ovat relevanssisykli, suunnittelusykli sekä täsmällisyysykli (Hevner 2007: 88).



Kuvio 1. Suunnittelutieteellisen tutkimuksen tutkimuskehykset tässä tutkimuksessa (mukaiillen Hevner 2007: 88; Hevner ym. 2004: 80).

Tutkimuksen ympäristönä eli sovelluskohteena toimii elektroniikkavalmistaja Danfossin kaksi tuotantolinjaa. Tutkimuksessa kehitetään tuotantolinjoilla käytössä olevan SAP Manufacturing Execution (SAP ME) -järjestelmän käyttöliittymää. SAP ME -järjestelmä on tuotantoon tai valmistukseen käytettävä järjestelmä, joka on usein liitettyä toiminnanohjausjärjestelmään. SAP ME -järjestelmä keskittyy tuotannossa tapahtuvien toimintojen hallintaan, kuten laitteiden aikataulutukseen, valmistukseen ja valvontaan, laitteiden tilan seuraamiseen, materiaalien toimituksiin sekä kulutukseen ja laitteiden valmistuksen edistymiseen (Mohammed, Ramis Ferrer, Jaroyyi, Negri, Fumagalli, Loboy & Martinez Lastra 2018: 263; SAP n.d.).

Tutkimuksessa ongelman tunnistamiseksi ja suunnitteluohjeen kehitystyön tavoitteiden asettamisen tueksi (Peffer ym. 2007: 52–53) alkuperäiselle SAP ME -järjestelmän käyttöliittymälle toteutettiin System Usability Scale (SUS) -käytettävyydenselvitys. SUS-kysely on laajasti käytetty käytettävyydenselvitys, joka mittaa miten käyttäjät kokevat järjestelmän käytettävyyden (Bangor, Kortum & Miller 2008: 589–590, 593). SUS-kysely sisältää 10 kysymystä. Kysymyksiin vastataan asteikolla 1–5, jossa 1 on täysin eri mieltä ja 5 täysin samaa mieltä (Brooke 2013: 35). SUS-kyselystä saatavaa tulosta voidaan verrata 0–100 asteikon pisteasteikkoon tai Sauron ja Lewisin (2012: 204) luokittelutaulukkoon, jossa SUS-tuloksille annetaan arvosanat.

Kyselyn avulla tunnistettiin alkuperäisen käyttöliittymän keskeisimmät kehityskohteet ja asetettiin tavoitteet suunnitteluohjeen tuella tapahtuvalle käytettävyyden parantamiselle. Kysely sisälsi kymmenen SUS-vakiokysymyksen lisäksi kahdeksan itse tehtyä kysymystä, jotka käsittelivät kognitiivista ergonomiaa. Näistä seitsemään kysymykseen vastattiin asteikolla 1-5 ja yksi kysymys oli avoimessa muodossa. Kyselyssä oli myös kaksi taustamuuttujaa, jotka olivat ikä ja työkokemus. Kehitystyön onnistumista arvioitiin toteuttamalla kysely uudelleen. Kyselyn tulokset analysoitiin vertaamalla niitä SUS:n vakiokysymysten tulosten osalta edellä mainittuihin vertailuasteikkoihin. Kognitiiviseen ergonomiaan liittyvien kysymysten tuloksia verrattiin keskenään alussa ja lopussa toteutettujen kyselyiden osalta. Avoimen muodon vaihtoehdon vastaukset analysointiin käyttämällä ryhmittelyanalyysiä, jossa muuttujien tai havaintojen luokittelu tapahtuu tulkinan kautta (Metsämuuronen 2005: 812).

Tämän tutkimuksen tietopohjana käytettiin aiempia tutkimuksia, jotka liittyivät kognitiivisen ergonomian soveltamiseen käyttöliittymäsuunnittelussa sekä siihen miten kognitiivisen ergonomian avulla voidaan parantaa järjestelmien käytettävyyttä. Tietopohja vahvistui ja lisääntyi tutkimuksen edetessä käytettävyysskyselyn, heuristisen arvioinnin sekä käytettävyydestauksen avulla saadusta tiedosta.

Suunnittelutieteellisen tutkimuksen suunnittelusykliä toistetaan IT-artefaktin rakentamista ja arvioimista vaatimusten perusteella niin kauan, kunnes tyydyttävä tulos on saatu aikaiseksi (Hevner ym. 2004: 88–90). Tässä tutkimuksessa suunnittelusyklin aikana sekä kehitettiin suunnitteluohjetta että hyödynnettiin sitä käyttöliittymän käytettävyyden kehittämisessä. Suunnitteluohje siis sekä informoi kehitysprosessia että kehittyi sen aikana. Käyttöliittymän suunnitteluprosessissa seurattiin Gouldin ja Lewisin (1985: 300) kolmea suunnitteluperiaatetta, jotka ovat käyttäjiin keskittyminen kehitystyön varhaisessa vaiheessa, käytettävyyden empiirinen mittaaminen sekä iteratiivinen suunnittelu.

Suunnitteluohjeen ensimmäisen version luomisessa hyödynnettiin aiheeseen liittyvää aiempaa tutkimusta sekä SUS-käytettävyysskyselyn avulla saatua tietoa. Tämän jälkeen ohjetta hyödynnettiin alkuperäisen käyttöliittymän kehittämiseen. Kartoituksen tulosten perusteella käyttöliittymästä kehitettiin ensimmäinen versio. Ensimmäisen version käytettävyyttä arvioitiin heuristisella arvioinnilla. Löydetyille tuloksille tehtiin vakavuusluokittelu suunnitteluohjeen painopisteet huomioiden. Tämän jälkeen kehitetty käyttöliittymä asennettiin toisen kohdelinjan kahdelle erityyppiselle työpisteelle, joissa sille teutettiin käytettävyydestaus. Käytettävyydestaukseen osallistui yksi henkilö, joka oli kohdetuotantolinjojen perehdyttäjä. Lopuksi kehitetty käyttöliittymä oli valmis asennettavaksi jokaiselle kahden kohdetuotantolinjan työpisteelle. Kehitystyön onnistumista arvioitiin toteuttamalla alun kysely uudelleen kolmen viikon käytön jälkeen.

Suunnitteluohjetta hyödynnettiin arviointivaiheissa arvioinnin kohdistamisen tukena. Arviointivaiheiden jälkeen käyttöliittymän käytettävyyttä kehitettiin hyödyntämällä suunnitteluohjetta suunnitteluvalintojen tekemisessä niin, että sen avulla käytettävyyden kehittämiseen tuli mukaan erityisesti kognitiivisen ergonomian näkökulma. Kehitystyön edetessä suunnitteluohjetta verrattiin löytyneisiin käytettävyysoongelmiin ja tarkasteltiin, onko ohjeen sisältö linjassa löytyneiden ongelmien kanssa. Seuraavassa luvussa on kuvattu tarkemmin tutkimuksen toteutus ja tulokset.

4 Tutkimuksen toteutus ja tulokset

Tutkimus toteutettiin seuraten suunnittelutieteellisen tutkimuksen prosessimallia (Peffers ym. 2007: 54). Prosessimallin vaiheita mukailien seuraavaksi kuvataan ongelman määrittäminen ja tavoitteiden asettaminen sekä suunnitteluohjeen luominen ja demonstrointi. Lopuksi esitellään tutkimuksen tuloksena syntynyt suunnitteluohje.

4.1 Ongelman määrittäminen ja tavoitteiden asettaminen

Kuten edellä todettiin, tarkasteltavan järjestelmän käytettävyyden alkutilanteen selvittämiseen käytettiin SUS-käytettävyysselvitystä. Kyselyyn vastasi 16 kohdelinjoihin työntekijää. Taustakysymyksiä osalta iän jätti vastaamatta kaksi ja työkokemuksen yksi vastaajista. Vastaajien iän keskiarvo oli 40,28 vuotta ja heillä oli keskimäärin 10 vuotta työkokemusta. SUS-kyselyn vakiokysymysten tulosten keskiarvo oli 53, minkä perusteella järjestelmän käytettävyys voidaan todeta huonoksi. Tulos vastaa Sauron ja Lewisin (2012: 204) asteikolla kategorian toiseksi huonointa arvosanaa D. Myös Bangor, Kortum ja Miller (2008: 592) toteavat, että alle 70 SUS-tuloksen saaneiden järjestelmien kanssa suositellaan panostamaan tarkempaan valvontaan ja jatkuvaan parantamiseen ja että 50 SUS-tuloksen alittavia tuloksia ei tulisi hyväksyä. Huomioitavaa on, että kyselyn matalin SUS-tulos oli 32,5 ja korkein 80, joten kaikki työntekijät eivät kokeneet nykyisessä järjestelmässä käytettävyyso ongelmia. Suurimmat käytettävyyso ngelmat olivat tulosten mukaan painikkeiden ja tekstien koossa, liiallisen epäoleellisen tiedon näkymisessä, hankaluudessa palata alkuun väärän valinnan jälkeen, järjestelmän hitaudessa sekä virheviestien liiallisessa määrässä.

SUS-kyselyn avulla asetettiin suunnitteluohjeen tuella tapahtuvalle kehitystyölle tavoitteet. SUS-kyselystä vähintään 70 pistettä saaneita järjestelmiä voidaan pitää vähintäänkin kelvollisina ja paremmista järjestelmistä voidaan puhua silloin, kun SUS-tulokset ovat 70–80 välillä (Bangor ym. 2008: 592). Tavoitteeksi asetettiin nostaa suunnitteluohjeen avulla SAP ME -järjestelmän SUS-tuloksen keskiarvo ainakin yli 70 pisteen rajan. Tämä vastaa Sauron ja Lewisin (2012: 204) asteikossa arvosanaa C.

4.2 Suunnitteluohjeen luominen

Suunnitteluohjeen ensimmäinen versio pohjautui kuvion 1 mukaisesti sekä tutkimuksen tietopohjaan että sovelluskohteesta nouseviin vaatimuksiin. Aluksi kartoitettiin aieman käytettävyyteen sekä kognitiiviseen ergonomiaan liittyvän tutkimuksen pohjalta sellaisia käyttöliittymiin liittyviä tekijöitä, jotka tukevat kognitiivista ergonomiaa. Sen jälkeen varmistettiin, että alkukyselyssä esiin nousseet ongelmakohdat olivat mukana teki-
jöissä.

Tämän jälkeen muodostettiin ensimmäinen versio suunnitteluohjeesta. Ohje sisälsi kymmenen kohtaa, jotka käyttöliittymäsuunnittelussa tulisi ottaa huomioon kognitiivisen ergonomian näkökulmasta, jotta saadaan kehitettyä käytettävyydeltään parempi käyttöliittymä. Tämän jälkeen suunnitteluohjetta kehitettiin käyttämällä sitä käyttöliittymän ensimmäisen version kehityksessä. Tämä tehtiin hyödyntämällä keskinäisen riippuvuuden toimintaperiaatteeseen pohjautuvaa kartoitusta, jossa määritellään käyttöliittymän ja ihmisen kognitiiviset toiminnot (Cañas 2008: 2634). Taulukossa 1 on esimerkki kartoituksesta, ja koko kartoitus on kuvattu liitteessä 1.

Käyttöliittymän toiminto	Toimintoon liittyvät kognitiiviset toiminnot	Kehitystoimenpiteet
Tuotteen valitseminen	Havaitseminen, tarkkaavaisuus ja tunnistaminen	Helpotetaan havaitsemista suurentamalla sarjanumeron tekstikenttää, jossa on valkoinen taustaväri, sekä suurennetaan kyseisen tekstikentän lopussa olevaa painiketta, josta aukeaa tuotteen valintaikkuna. Näytetään käyttäjälle vain oleelliset tiedot tuotteen valintaikkunassa.

Taulukko 1. Esimerkki ensimmäisen kehitysvaiheen kartoituksesta.

Aluksi kartoitettiin järjestelmäasiantuntijaa haastatteleamalla käyttöliittymän toiminnot ja tunnistettiin niihin liittyvät ihmisen kognitiiviset toiminnot. Tämän jälkeen muodostettiin suunnitteluohjetta hyödyntäen kehitysehdotukset toiminnoissa alkukyselyn perusteella ilmenneisiin ongelma-kohtiin ja kerättiin lisää tietoa tukemaan suunnitteluohjeen eri kohtia.

Kartoituksen pohjalta luotiin ensimmäinen kehitysversio SAP ME -järjestelmän käyttöliittymästä. Käyttöliittymän eri kehitysversioita on havainnollistettu kuviossa 2. Aiempaa tuotannossa käytettävää SAP ME -järjestelmän käyttöliittymää ei ole suunniteltu käytettäväksi kosketusnäytöiltä, joten järjestelmän tilalle päivitettiin tässä vaiheessa kosketusnäytöille optimoitu Touch POD -käyttöliittymä.

Merkittävimpinä muutoksina ensimmäisessä kehitysversiossa oli se, että tekstien ja painikkeiden kokoa kasvatettiin ja painikkeisiin lisättiin ikonit auttamaan niiden tunnistamista (vrt. kuvio 2:n käyttöliittymäkuvat 1 ja 2). Tämä auttaa ihmistä löytämään elementit nopeammin käyttöliittymästä (Legge, Pelli, Rubin & Schleske 1985: 20–21; Lindberg & Näsänen 2003: 118; Czerwinski, Van Dantzich, Robertson & Hoffman 1999: 7; Preece, Rogers, Sharp, Benyon, Holland & Carey 1994: 89). Ikonien avulla käyttäjän on helpompi havaita, oppia ja ymmärtää käyttöliittymän painikkeiden toiminnot (Preece ym. 1994: 95).

Käyttöliittymästä myös poistettiin sellaiset painikkeet, joita käyttäjä ei tarvitse työssään. Lisäksi sellaiset painikkeet, joita käyttäjä tarvitsee kaikista useimmin, sijoitettiin näkymän yläosaan. Painikkeiden sijainti pyrittiin kuitenkin pitämään mahdollisimman kattavasti samassa paikassa tai vähintäänkin samassa järjestyksessä. Tällä tuettiin käyttäjien spatiaalista muistia, joka auttaa käyttäjiä nopeampaan tietokoneen ja ihmisen väliseen vuorovaikutukseen sekä nopeampaan tiedonhakuun (Scarr, Cockburn & Gutwin 2012: 1, 19, 62).

4.3 Suunnitteluohjeen demonstrointi

Suunnittelutieteellisen tutkimuksen demonstrointivaiheessa on tarkoitus testata uutta tai paranneltua artefaktia käytännössä aiemmin todetun ongelman ratkaisemiseksi (Peffers ym. 2007: 55). Tässä tutkimuksessa demonstroinnin aikana oli tavoitteena saada heuristisen arvioinnin ja käytettävyydestauksen avulla lisää tietoa, jonka avulla voidaan vahvistaa tai kehittää suunnitteluohjetta.

Päivitetylle käyttöliittymälle toteutettiin aluksi testipuolella heuristinen arviointi hyödyntäen Nielsenin (2020) heuristiikkoja. Heuristisen arvioinnin avulla voidaan löytää mahdolliset käytettävyysongelmat (Nielsen 1992: 373). Toisena arvioijana toimi järjestelmäasiantuntija ja toisena arvioijana käytettävyydasiantuntija, joka on myös toinen tutkimuksen tekijöistä. Heuristisessa arvioinnissa löytyi 16 käytettävyysongelmaa. Löydetyt ongelmat koottiin yhdeksi listaksi, jonka jälkeen arvioijat tekivät niille vakavuusluokittelun. Ongelmista korjattiin 11 vakavinta, ja loput viisi ongelmaa todettiin vakavuudeltaan sellaisiksi, että niiden korjaus ei ollut kiireellistä. Suunnitteluohjetta käytettiin sekä ongelmien priorisoinnin että korjausehdotusten luomisen tukena.

Heuristisen arvioinnin avulla löydetyt käytettävyysongelmat vahvistivat erityisesti kolme suunnitteluohjeen kohtaa. Heuristisessa arvioinnissa havaittiin, että käyttöliittymään jäi kaksi haamuikkunaa näkyviin ja virheilmoituksia jäi tulematta, mikä vahvisti suunnitteluohjeen kohtaa ”Ennaltaehkäise virheiden syntymistä sekä panosta selkeisiin

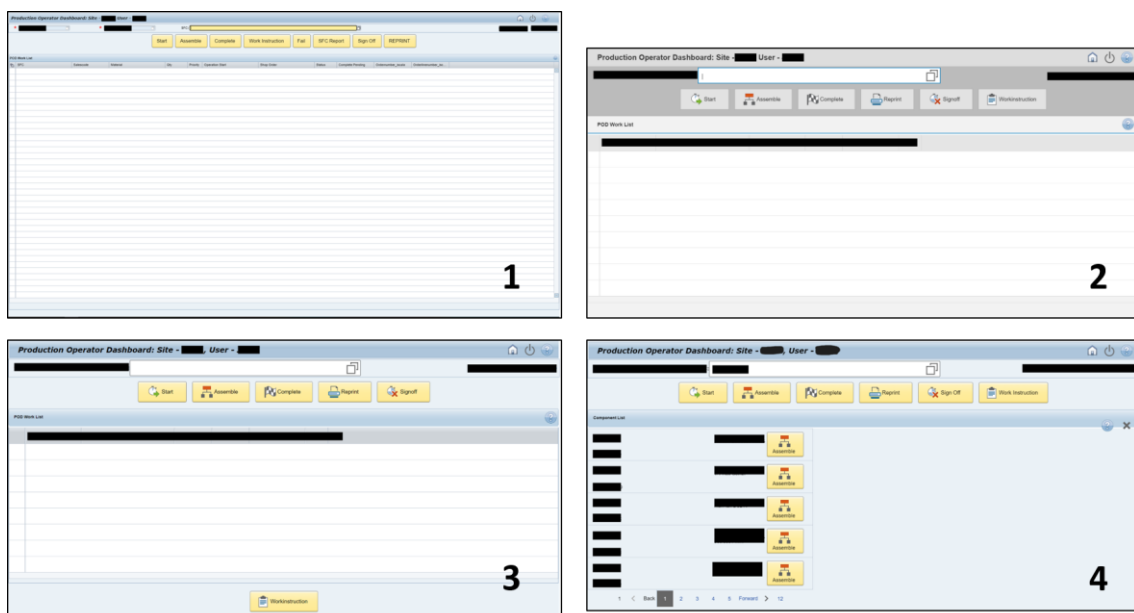
ja hyviin virheilmoituksiin”. Toinen havainto koski sitä, että työhöjeiden avauspainikkeen koettiin olevan liian lähellä työlistalle palauttavaa painiketta, jolloin virhepainallus palauttaisi työn alla olevan laitteen vahingossa työlistalle. Tämä vahvisti kohtaa “Ryhmittele ja järjestele tieto merkityksellisiin osiin”. Heuristisessa arvioinnissa myös havaittiin, että käyttöliittymässä oli liikaa ylimääräistä tietoa näkyvillä, mikä vahvisti kohtaa “Minimoi liiallinen informaatio”.

Heuristisen arvioinnin perusteella löydettyjen käytettävyysohjelmien korjaamisen lisäksi tässä vaiheessa käyttöliittymän kehityksessä hyödynnettiin suunnitteluohjetta käyttöliittymän värimaailman muokkaamiseen. Harmaa värimaailma vaihdettiin alkuperäisen käyttöliittymän sinikeltaiseen värimaailmaan (ks. kuvio 2:n käyttöliittymäkuvat 2 ja 3), sillä alkuperäinen värimaailma koettiin miellyttävämmäksi. Tämä mukailee ohjeiden kohtaa “Huomioi affektiivinen näkökulma”. Väriä valintaa tukee Fagerbergin, Ståhlin ja Höökin (2004: 380) kehittämä väriympyrä, jonka mukaan alkuperäisen käyttöliittymän värimaailma osuu miellyttävien värien puolelle. Haaleaa sinistä pidetään melko neutraalina värinä, mutta kuitenkin miellyttävänä, ja keltainen väri viestii iloisuutta, onnellisuutta ja tyytyväisyyttä (Fagerberg ym. 2004: 380). Muutos liittyy myös kohtaan “Käytä värejä oleellisimpien elementtien kanssa”, sillä haaleankeltaiset painikkeet erottuvat helpommin käyttöliittymästä kuin aiemmat harmaat painikkeet. Van Laar (2001: 132–133) toteaaakin, että oleellisimpien osien vaaleilla ja haaleilla taustaväreillä voidaan nopeuttaa tietojen etsimiseen kuluva aika. Vaikka harmaan käyttöliittymän painikkeet olivat haalean harmaat (ks. kuvio 2:n käyttöliittymäkuvaa 2), ne eivät kuitenkaan erottuneet riittävän hyvin, koska kaikki muu käyttöliittymässä oli myös harmaata.

Heuristisen arvioinnin perusteella tehdyn kehitystyön jälkeen käyttöliittymälle suoritettiin käytettävyystestaus kahdella erityyppisellä tuotantolinjan työpisteellä. Testaukseen osallistui yksi henkilö, joka oli tuotantolinjojen perehdyttäjä. Suunnitteluohje toimi testauksen fasilitoijan tukena niin, että hän varmisti sen avulla, että testauksessa käsiteltiin suunnitteluohjeessa ilmenevät asiat. Testaus toteutettiin iteratiivisen suunnittelun periaatteen mukaan, jolloin käyttöliittymää iteroitiin jokaisen muutoksen tai korjauksen jälkeen niin kauan, kunnes ongelmia ei enää löydy (Gould & Lewis 1985: 300). Siihen tilanteeseen, että käytettävyysohjelmia ei enää löytynyt, tarvittiin kolme iterointia, jonka jälkeen käyttöliittymä oli valmis asennettavaksi jokaiselle kahden kohdetuotantolinjan työpisteelle. Löydetyt käytettävyysohjelmat liittyivät enimmäkseen järjestelmässä näkyvään tietoon: työlistalla oli tarpeettomasti näkyvissä poistetut laitteet ja komponenttilistassa jäljitettävät komponentit sijaitsivat listan eri kohdissa, vaikka niiden kannattaisi näkyä listan alussa. Nämä löydökset vahvistivat suunnitteluohjeen kohtaa “Minimoi liiallinen informaatio” sekä “Ryhmittele ja järjestele tieto merkityksellisiin osiin”.

Suunnitteluohjeen kehittäminen kognitiivisen ergonomian huomioimiseen käytettävyyden parantamisessa

Kuviossa 2 on esitetty käyttöliittymän eri kehitysvaiheet. Alkuperäisestä käyttöliittymästä (1) tehtiin kehitetty versio (2) suunnitteluohjeen ensimmäisen version perusteella. Tämän jälkeen käyttöliittymästä tehtiin kehitetty versio (3) heuristisen arvioinnin tulosten perusteella ja lopullinen versio (4) käytettävyydestä tulosten perusteella. Käyttöliittymäkuvissa 1-3 on kuvattu järjestelmän alkunäkymä ja kuvassa 4 jäljitys näkymä. Jäljitys näkymän avulla käyttäjä voi jäljittää koottavan tuotteen komponentit ja varmistaa että kaikki komponentit ovat laitteessa. Kuten edellä kuvattiin, keskeisiä muutoksia käyttöliittymässä olivat muun muassa painikkeiden koon kasvattaminen ja väri maailman vaihtaminen sekä turhan tiedon poistaminen, kun taas esimerkiksi painikkeiden sijainti pyrittiin pitämään samana.



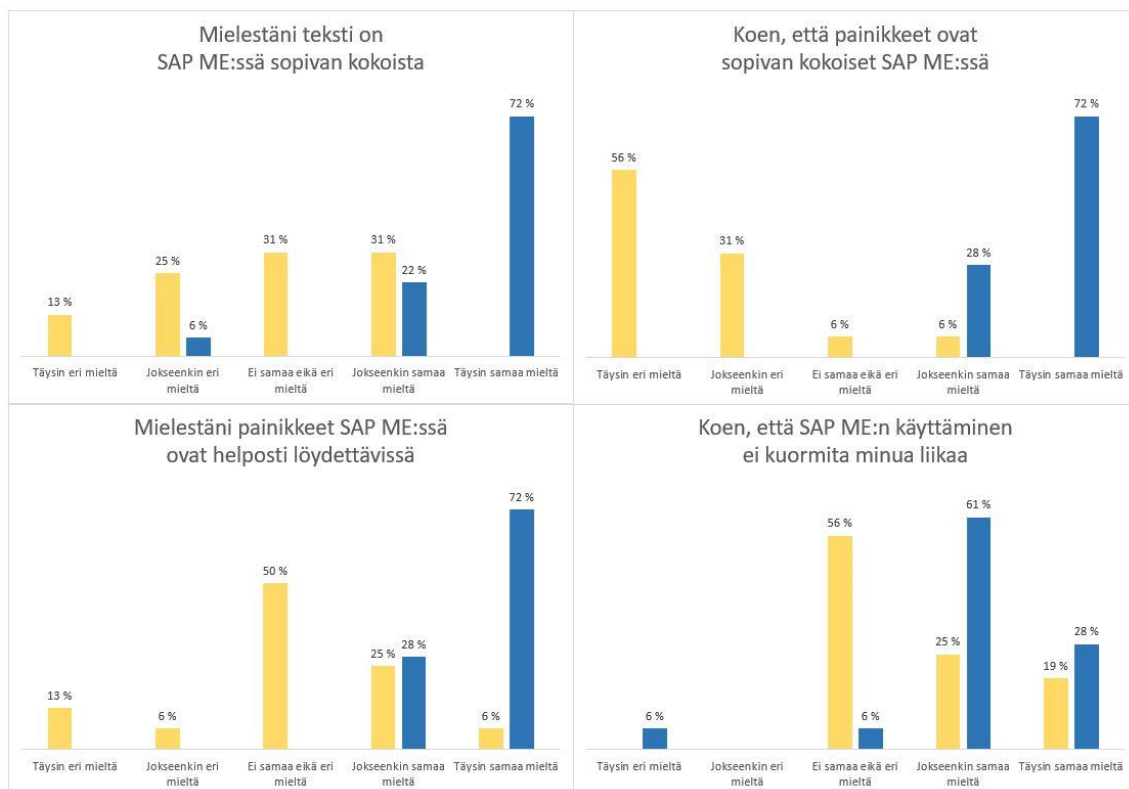
Kuvio 2. Käyttöliittymä eri kehitysvaiheissa.

Päivitetty SAP ME -järjestelmän käyttöliittymä oli kohdelinjoilla käytössä kolme viikkoa, jonka jälkeen kehitystyön alussa toteutettu kysely toteutettiin uudestaan. Kyselyä ei toteutettu heti käyttöönoton jälkeen, sillä Sauron (2011: 96) sekä McLellanin, Muddimerin ja Peresin (2011: 62) mukaan SUS-kyselyn tuloksissa voi olla 6-16 prosentin ero pitkään käytössä olleiden sovellusten eduksi, kun verrataan tuloksia pitkään sovellusta käyttäneiden ja ensi kertaa käyttävien välillä. Kyselyn toteuttaminen heti käyttöönoton jälkeen voisi siis heikentää tulosten vertailukelpoisuutta, koska tässä tutkimuksessa ensimmäinen käytettävyydskysely toteutettiin käyttäjille, jotka olivat käyttäneet SAP ME -järjestelmää pidemmän ajan.

Toiseen kyselyyn vastasi 18 työntekijää eli kaksi enemmän kuin ensimmäiseen kyselyyn. Päivitetyn SAP ME -järjestelmän käyttöliittymä sai SUS-tulosten keskiarvoksi 75,56 pistettä, heikoimman tuloksen ollessa 57,50 pistettä ja parhaan 97,50 pistettä. Päivitetty

käyttöliittymä sai siis 22,56 pistettä paremman tuloksen kuin alkuperäinen käyttöliittymä.

Kyselyssä iän ja työkokemuksen jättivät vastaamatta kolme vastaajaa. Iän vastanneiden keskiarvoikä oli 37,33 vuotta ja vastaajien työkokemusvuosien keskiarvo oli 8,46 vuotta. Parhaimmaksi käytettävyyden kokivat alle 30-vuotiaat vastaajat, kun taas heikoimmaksi käytettävyyden kokivat ne vastaajat, jotka eivät ilmoittaneet ikäänsä. Tuloksista ilmeni, että käytettävyys koettiin huonommaksi vastaajan iän kasvaessa molemmissa kyselyissä. Vastaavasti molemmissa kyselyissä työkokemuksen kasvaessa käytettävyys koettiin huonommaksi. Työkokemuksen osalta järjestelmän käytettävyyden kokivat huonommaksi ne vastaajat, jotka eivät kertoneet työkokemustaan, ja parhaimmaksi alle 5 vuotta työskennelleet.



Kuvio 3. Ensimmäisen (keltainen, n=16) ja toisen (sininen, n=18) kyselyn omien vaihtoehtojen vertailu.

Kyselyn kognitiiviseen ergonomiaan liittyvien kysymysten tuloksissa näkyi kehitystyössä tapahtuneen selkeää parannusta erityisesti painikkeiden ja tekstin koon sopivuudessa sekä painikkeiden löydettävyydessä (ks. kuvio 3). Painikkeiden sopiva koko nousi esiin myös avoimien kysymysten vastauksissa (n=6). Tulosten perusteella järjestelmän kuormittavuuden koettiin vähentyneen ja avoimien kysymysten vastauksissa järjestelmä ko-

ettiin nyt helppokäyttöisemmäksi (n=3). Myös virheviestien määrän vähentymisen ja järjestelmän etusivulle palaamisen koettiin hieman parantuneen, samoin kuin epäoleellisen tiedon vähentymisen.

Kehitetyn käyttöliittymän käytettävyysoongelmat painottuivat jäljitys näkymään. Vastajat kommentoivat sen osalta, että ongelmina olivat tiedon virheellinen järjestys (n=6), mahdollisuus tehdä virheellisiä toimintoja (n=3) ja tarve painaa tarpeettomasti käyttöliittymän painikkeita (n=1).

Käytettävyysskyselyiden tulosten perusteella SUS-tulosta saatiin parannettua arvostusta D (SUS-tuloksen keskiarvo 53), arvostaksi B (SUS-tuloksen keskiarvo 75,56), joka viittaa parantuneeseen SAP ME -järjestelmän käytettävyyteen. Suurin kehitys tapahtui siinä, että käyttäjät eivät enää kokeneet SAP ME -järjestelmän käyttöä liian kuormittavaksi eivätkä painikkeiden olevan liian pieniä ja liian vaikeasti löydettävissä. Myöskään tekstin ei koettu olevan enää liian pientä.

4.4 Tutkimuksen tuloksena syntynyt suunnitteluohje

Tutkimuksen tuloksena syntyi kymmenkohtainen suunnitteluohje, jonka avulla voidaan huomioida kognitiivinen ergonomia käyttöliittymän käytettävyyden kehittämisessä. Seuraavassa on kuvattu ohjeen sisältö tarkemmin. Jokaisen kohdan osalta on myös kuvattu tutkimuksen tietopohjasta nouseva perustelu, kuten on esitetty Gregorin, Krusen ja Seidelin (2020) suunnitteluohjeen rakennetta kuvaavassa mallissa.

1. Minimoi liiallinen informaatio. Poistetaan käyttöliittymästä merkityksetön ja harvoin käytettävä tieto, sillä liiallinen informaatio lisää kognitiivista työmäärää, joka vaikuttaa negatiivisesti käyttäjien tehokkuuteen. Näkyvissä tulisi olla vain tehtävän kannalta oleelliset tiedot, koska tiedon määrän kasvu vaikuttaa negatiivisesti käyttäjän kykyyn toimia järjestelmän avulla (Kalakoski ym. 2019: 1044).

2. Ryhmittele ja järjestele tieto merkityksellisiin osiin. Yhteenkuuluvat kohteet tulee asetella lähelle toisiaan. Hahmolakien läheisyyden lain mukaan kohteet, jotka ovat lähellä toisiaan, mielletään yhteenkuuluviksi (Wagemans, Elder, Kubovy, Palmer, Peterson, Singh & von der Heydt 2012: 1180). Tämä auttaa ohjaamaan käyttäjän oikean tiedon luokse ja helpottaa havaitsemista (Preece ym. 1994).

3. Lisää painikkeisiin ikonit. Luodaan toisistaan erottuvat ikonit vastaamaan kunkin painikkeen toimintoa. Ikonien tulisi muistuttaa niitä toimintoja, mitä painikkeilla voidaan toteuttaa, koska ikonien tuttuus ei pelkästään vaikuta tiedonhaun helppouteen, vaan myös näihin tietoihin liittyvien myöhempien käsittelytoimintojen helppouteen (Shen, Xue & Wang 2018: 13–14; Shen, Zhang, Xiao, Li & Liang 2020: 1–18). Ikonit auttavat

käyttäjää havaitsemaan, oppimaan ja ymmärtämään käyttöliittymän painikkeiden toiminnot paremmin. Ikonien lisääminen käyttöliittymiin vähentää käyttöliittymien monimutkaisuutta, mutta jos ikoneita on lisätty liikaa ja jos ne ovat liian samankaltaisia, voi ikonien erottaminen toisistaan olla haasteellista (Preece ym. 1994: 95).

4. Kasvata tekstien ja painikkeiden kokoa. Riittävän kokoisilla painikkeilla, kuvilla ja tekstillä voidaan parantaa ihmisen luku- ja havaintonopeutta, jotta hän löytää elementit nopeammin käyttöliittymästä (Legge ym. 1985: 20–21; Lindberg & Näsänen 2003: 118).

5. Huomioi tuttuus ikoneissa, sanoissa ja elementeissä. Ikonit sekä toimintojen ja painikkeiden nimet tulee valita niiden merkityksellisyyden, tuttuuden ja mielenpainuvuuden perusteella. Pyritään saamaan järjestelmä mahdollisimman hyvin vastaamaan tosi maailmaa ja vältetään ammattisanastoa. Tuttujen ja helposti kuviteltavien sanojen on todettu olevan niitä, jotka ihmisen on kaikista helpointa muistaa (Preece ym. 1994: 108; Shen ym. 2018: 13–14).

6. Tue käyttäjän spatiaalista muistia. Muutetaan painikkeiden, tekstien tai elementtien paikkaa vain silloin, kun siihen on erittäin hyvä syy. Pyritään pitämään painikkeiden järjestys samanlaisena, vaikka painikkeiden paikka käyttöliittymässä vaihtuisikin. Käyttäjän spatiaalisen muistin huomioiminen auttaa käyttäjiä nopeampaan tietokoneen ja ihmisen väliseen vuorovaikutukseen ja nopeampaan tiedonhakuun (Scarr ym. 2012: 62).

7. Ennaltaehkäise virheiden syntymistä sekä panosta selkeisiin ja hyviin virheilmoituksiin. Testataan käyttöliittymää tarpeeksi ennen käyttöönottoa. Pidetään virheilmoitukset selkeinä ja vältetään käyttäjälle viestimisessä virhekoodeja. On tärkeää pitää ohjeet ja virheilmoitukset ytimekkäinä ja listata niihin vain ohjelman kannalta konkreettisemat vaiheet (Shneiderman 1982: 610–611).

8. Pidä järjestelmän tila selkeänä ja anna mahdollisuus helppoihin poistumisteihin. Käyttäjän muistikuormaa tulee helpottaa kumoamisvaihtoehdoilla, jotta käyttäjä pystyy helposti palaamaan alkuun väärin valintojen jälkeen. Tehdyn toiminnon jälkeen käyttäjälle tulee antaa asianmukainen palaute kohtuullisen ajan kuluessa (Molich & Nielsen 1990: 339).

9. Huomioi affektiivinen näkökulma. Kognitiivisen ja affektiivisen näkökulman huomioiminen yhdessä tukee parempaa käytettävyyttä (Prastawa, Ciptomulyono, Laksono-Singgih & Hartono 2019: 525). Affektiivinen näkökulma liittyy ihmiseen tunnetilaan vaikuttaviin asioihin, kuten värien ja kuvien käyttöön (Prastawa ym. 2019: 508; 514). Esimerkiksi käyttöliittymässä kannattaa suosia miellyttäviä värejä, jotka stimuloivat käyttäjää sopivasti. Tällaisia värejä ovat muun muassa vihreä, keltainen, vaaleansininen ja oranssi (Fagerberg ym. 2004: 380).

10. Käytä värejä oleellisimpien elementtien kanssa. Käytetään värejä jäsentelemään tietoja käyttöliittymässä ottamalla käyttöön yksi väri kerrallaan ja lisäämällä värejä tarvittaessa. Värien käytössä on hyvä pysyä maltillisena ja olla käyttämättä teksteissä, suurilla alueilla ja taustoissa liian kylläisiä värejä, kuten punaista ja syvän sinistä (Schwier & Misanchuk 1995: 2; Preece ym. 1994: 89), sillä tämä voi tehdä käyttöliittymästä liian räikeän, vaikeasti tulkittavan ja hämmentävän (Preece ym. 1994: 89). Vaaleilla ja haa-leilla taustaväreillä voidaan nopeuttaa tietojen etsimiseen kuluva-aikaa (Van Laar 2001: 131–132).

5 Johtopäätökset ja pohdinta

Tässä artikkelissa tarkasteltiin kognitiivisen ergonomian vaikutusta käytettävyyden parantamiseen. Tutkimuksessa kehitettiin teknologiateollisuuden yrityksen SAP ME -järjestelmän käytettävyyttä. Tutkimuksen tuloksena syntyi IT-artefakti eli suunnitteluohje siitä, minkälaisia kognitiivisen ergonomian tekijöitä tulisi ottaa huomioon käyttöliittymän suunnittelussa. Tutkimuksen demonstraatiovaiheessa myös osoitettiin, miten suunnitteluohjeen avulla voidaan helpottaa kognitiivisen ergonomian huomioimista käyttöliittymäsuunnittelussa. Suunnitteluohje luotiin aiemman kognitiiviseen ergonomiaan ja käytettävyyteen liittyvän tutkimuksen pohjalta, ja sitä kehitettiin ja arvioitiin suunnittelutieteellisen tutkimusprosessin mukaisesti syklisesti sovelluskohteesta saadun tiedon perusteella.

Tutkimuksessa havaittiin, että suunnitteluohje tuki sitä, että kognitiivisen ergonomian tekijät huomioitiin käytettävyyssarviointien toteutuksessa sekä käytettävyysongelmien priorisoinnissa ja korjaustoimenpiteissä. Huomioimalla kognitiivinen ergonomia käyttöliittymäsuunnittelussa käyttöliittymän toiminnot saatiin paremmin vastaamaan ihmisten kognitiivisia toimintoja (vrt. Cañas ym. 2004). Tutkimuksen aikana kehitetyn käyttöliittymän käytettävyys parani asetettujen tavoitteiden mukaisesti, mikä todennettiin käytettävyysselvitysten avulla.

Käytettävyyden kehittämiseen on olemassa useita ohjeistuksia, kuten Nielsenin (2020) kymmenen käytettävyyshuristiikkaa, Shneidermanin kahdeksan kultaista sääntöä (Shneiderman, Plaisant, Cohen, Jacobs & Elmquist 2018: 95–97) ja useita kymmeniä kontekstikohtaisia huristiikkalistoja (Quiñones & Rusu 2017: 93). Aiemmissä tutkimuksissa on myös kehitetty onnistuneesti prosesseja tuotantoon liittyvien järjestelmien käytettävyyden kehittämiseen (Stockinger, Stuke & Subtil 2020). Tämä tutkimus täydentää aiempaa tutkimusta tukemalla kognitiivisen ergonomian huomioimista käytettävyyden kehittämisessä. Suunnitteluohjetta voidaan hyödyntää aiempien käytettävyysohjeiden rinnalla sekä tunnettujen käytettävyyden kehittämismenetelmien ohella, kuten tutkimuk-

sen demonstraatiovaiheessa on osoitettu. Ohje on erityisen hyödyllinen sellaisissa konteksteissa, joissa kognitiivisella ergonomialla on merkittävä vaikutus, kuten tämän tutkimuksen sovellusalueella tuotannossa (Biondi ym. 2021, Wollter Bergman ym. 2021).

Yleiset suunnitteluohjeet saattavat vaikuttaa epätasaisesti (ks. esim. Cronholm 2009). Tutkimuksen tuloksena syntyvä suunnitteluohje ei määrittele yksiselitteisesti, miten kognitiivinen ergonomia tulisi huomioida, vaan ohjeiden käyttäjän tulee soveltaa niitä kontekstin mukaisesti. Esimerkiksi tekstin ja painikkeiden koon osalta ei ole mahdollista antaa tarkkoja määreitä, sillä niihin vaikuttavat muun muassa näytön koko sekä käyttäjryhmän ominaisuudet. Vastaavasti elementtien tuttuuden tai turhan tiedon tarkka määrittely jää ohjeiden soveltajan päätettäväksi sovelluskohteen tuntemisen perusteella. Tämä johtaa muun muassa siihen, että arviointia ei ole mahdollista automatisoida. Toinen tyypillinen haaste suunnitteluohjeille on niiden yleispätevyyden osoittaminen (Gregor ym. 2020: 1632). Tutkimuksen rajoitteena voidaan pitää tulosten yleistettävyyden osalta sitä, että tutkimus toteutettiin tuotannon kontekstissa tarkastellen yhden järjestelmän käyttöliittymän kehitystä. Ohjeen sovellettavuutta muihin konteksteihin ja muun tyyppisiin järjestelmiin tukee kuitenkin se, että ohjeen kohdat on perusteltu sovelluskohteesta nousseiden huomioiden lisäksi myös aiemman tutkimuksen pohjalta (vrt. Gregor ym. 2020: 1634).

Tämä tutkimus tuottaa uutta sovelluskelpoista suunnittelutietoa suunnitteluohjeen ja sen soveltamisen kuvauksen muodossa. Suunnittelutieto on hyödyllistä esimerkiksi tutkimuksen sovellusalueella tuotannossa, jossa kognitiivisen ergonomian tarve on tunnistettu keskeiseksi (mm. Bommer & Fendley 2016; Biondi ym. 2021; Morton ym. 2022; Wollter Bergman ym. 2021). Suunnitteluohje tarjoaa yhden keinon vähentää aiemmissa tutkimuksissa sovellusalueella todettua kognitiivista kuormitusta. Tutkimuksen tuloksena syntyi myös kehitetty versio SAP ME -järjestelmän käyttöliittymästä. Tutkimuksen kontribuutiot ovat tyypillisiä suunnittelutieteelliselle tutkimukselle (Gregor 2002: 20; Gregor & Hevner 2013: 342).

Suunnitteluohjeen jatkokehityksessä kannattaisi verrata kahta kehitysprosessia, jossa toisessa hyödynnettäisiin suunnitteluohjetta ja toisessa ei, ja näin tarkastella tarkemmin suunnitteluohjeen vaikutusta suunnittelutyöhön (vrt. Gualtieri ym. 2022). Koska kognitiivisen ergonomian on huomattu vaikuttavan tuotantolinjojen tehokkuuteen (mm. Biondi ym. 2021: 818), jatkotutkimuksessa voisi myös tarkastella ohjeen hyödyntämisen vaikutusta tuotantolinjojen tehokkuuteen, jota voisi arvioida mittaamalla tuotantolinjojen tehokkuutta yksilö- ja linjatasolla ennen ja jälkeen kehitystyön. Kognitiivisen ergonomian näkökulmasta tarkastelu kannattaisi suunnata esimerkiksi työntekijöiden tekemien virheiden määrän tarkasteluun tai tehtäväaikojen kestoon. Lopuksi, kuten edellä

tuotiin esille, tässä tutkimuksessa suunnitteluohjetta sovellettiin tuotannon kontekstissa, joten jatkotutkimuksessa olisi hyvä tarkastella suunnitteluohjeen soveltuvuutta käytettävyyden kehittämisen tukemiseen toisenlaisissa käyttökonteksteissa ja erityyppisten järjestelmien käyttöliittymien osalta.

Lähteet

- Bangor, A., Kortum, P. T. & Miller, J. T. (2008). An Empirical Evaluation of the System Usability Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 24(6), 574–594. <https://doi.org/10.1080/10447310802205776>
- Berlin, C., Bergman, M.W., Chafi, M.B., Falck, A.-C. & Örtengren, R. (2021). A Systemic Overview of Factors Affecting the Cognitive Performance of Industrial Manual Assembly Workers. *Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021)*, 371–381. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74608-7_47.
- Biondi, F.N., Cacanindin, A., Douglas, C. & Cort, J., (2021). Overloaded and at Work: Investigating the Effect of Cognitive Workload on Assembly Task Performance. *Human Factors* 63, 813–820. <https://doi.org/10.1177/0018720820929928>.
- Bommer, S.C. & Fendley, M. (2018). A Theoretical Framework for Evaluating Mental Workload Resources in Human Systems Design for Manufacturing Operations. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 63, 7–17. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2016.10.007>.
- Brooke, J. (2013). SUS: A retrospective. *Journal of Usability Studies*, 8(2), 29–40.
- Cañas, J. (2008). Cognitive Ergonomics in Interface Development Evaluation. *Journal of Universal Computer Science*, 14(16), 2630–2649. <https://doi.org/10.3217/jucs-014-16-2630>.
- Cañas, J.J., Salmerón, L. & Fajardo, I. (2004). Toward the Analysis of the Interaction in the Joint Cognitive System. Teoksessa: Pirhonen, A., Saariluoma, P., Isomäki, H., Roast, C. (Toim.), *Future Interaction Design*. Springer-Verlag, London, 85–104. https://doi.org/10.1007/1-84628-089-3_6.
- Cronholm, S. (2009). The Usability of Usability Guidelines: A Proposal for Meta-Guidelines. *Proceedings of the Australasian Computer-Human Interaction Conference (OZCHI)*, 233–240. <https://doi.org/10.1145/1738826.1738864>.
- Czerwinski, M., Van Dantzich, M., Robertson, G. & Hoffman, H. (1999). The Contribution of Thumbnail Image, Mouse-Over Text and Spatial Location Memory to Web Page Retrieval in 3D. *INTERACT*, 163–170.
- de Haan, G. & Dittmar, A. (2016). The Role of Cognitive Ergonomics in Interaction Design, Addressing Advances in HCI. *Proceedings of the European Conference on Cognitive Ergonomics, ECCE '16*. <https://doi.org/10.1145/2970930.2979718>.
- Elfering, A., Grebner, S. & Ebener, C. (2015). Workflow Interruptions, Cognitive Failure and Near-accidents in Health Care. *Psychology, Health & Medicine*, 20(2), 139–147. <https://doi.org/10.1080/13548506.2014.913796>.
- European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Breque, M., De Nul, L. & Petridis, A. (2021). Industry 5.0 – Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry. Publications Office of the European Union. Saatavilla: <https://data.europa.eu/doi/10.2777/308407>. (lainattu 13.5.2023).
- Fagerberg, P., Ståhl, A. & Höök, K. (2004). eMoto: Emotionally engaging interaction. *Personal and Ubiquitous Computing*, 8(5), 377–381. <https://doi.org/10.1007/s00779-004-0301-z>.
- Gould, J. & Lewis, C. (1985). Designing for usability: Key principles and what designers think. *Communications of the ACM*, 28(3), 300–311. <https://doi.org/10.1145/800045.801579>.
- Gregor, S. (2002). Design Theory in Information Systems. *Australasian Journal of Information Systems*, 10. <https://doi.org/10.3127/ajis.v10i1.439>.
- Gregor, S. & Hevner, A. R. (2013). Positioning and Presenting Design Science Research for Maximum Impact. *MIS Quarterly*, 37(2), 337–355. <https://doi.org/10.25300/MISQ/2013/37.2.01>.
- Gregor, S., Kruse, L.C. & Seidel, S. (2020). Research Perspectives: The Anatomy of a Design Principle. *Journal of the Association for Information Systems*, 21, 1622–1652. <https://doi.org/10.17705/1jais.00649>.

- Gualtieri, L., Fraboni, F., De Marchi, M. & Rauch, E. (2022). Development and Evaluation of Design Guidelines for Cognitive Ergonomics in Human-Robot Collaborative Assembly Systems. *Applied Ergonomics*, 104, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103807>.
- Hevner, A. R. (2007). A Three Cycle View of Design Science Research. *Scandinavian Journal of Information Systems*, 19(2), 87–92.
- Hevner, A. & Chatterjee, S. (2010). *Design Research in Information Systems. Theory and Practice*. Integrated Series in Information Systems. Springer US, Boston, MA. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5653-8>.
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J. & Ram, S. (2004). Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly*, 28(1), 75–105. <https://doi.org/10.2307/25148625>.
- International Ergonomics Association (n.d.). What is Ergonomics (HFE)? Saatavilla: <https://iea.cc/what-is-ergonomics/>. (lainattu 11.5.2023).
- ISO (2018). Ergonomics of human-system interaction—Part 11: Usability: Definitions and concepts. ISO 9241-11:2018(en). <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-11:ed-2:v1:en>.
- Kalakoski, V., Henelius, A., Oikarinen, E., Ukkonen, A. & Puolamäki, K. (2019). Cognitive ergonomics for data analysis. Experimental study of cognitive limitations in a data-based judgement task. *Behaviour & information technology*, 38(10), 1038-1047. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2019.1657181>.
- Lagomarsino, M., Lorenzini, M., De Momi, E. & Ajoudani, A. (2022). An Online Framework for Cognitive Load Assessment in Industrial Tasks. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 78. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2022.102380>.
- Launis, M. & Lehtelä, J. (2011). Ergonomian periaatteet ja käyttöalueet. Teoksessa: Launis, M. & Lehtelä, J. (Toim.) *Ergonomia*. 17–37. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-261-059-1>. (lainattu 13.5.2023).
- Legge G.E., Pelli D.G., Rubin G.S. & Schleske M.M. (1985). Psychophysics of Reading - I. Normal vision. *Vision Research*, 25, 239–252. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(85\)90117-8](https://doi.org/10.1016/0042-6989(85)90117-8).
- Lindberg, T. & Näsänen, R. (2003). The Effect of Icon Spacing and Size on the Speed of Icon Processing in the Human Visual System. *Displays*, 24(3), s. 111–120. [https://doi.org/10.1016/S0141-9382\(03\)00035-0](https://doi.org/10.1016/S0141-9382(03)00035-0).
- March, S. T. & Smith, G. F. (1995). Design and natural science research on information technology. *Decision Support Systems*, 15(4), 251–266. [https://doi.org/10.1016/0167-9236\(94\)00041-2](https://doi.org/10.1016/0167-9236(94)00041-2).
- McLellan, S., Muddimer, A. & Peres, C. (2011). The Effect of Experience on System Usability Scale Ratings. *Journal of Usability Studies*, 7(2), 56–67.
- Metsämuuronen, J. (2005). *Tutkimuksen tekemisen perusteet ihmistieteissä*. 3. painos. Helsinki: International Methelp.
- Mohammed, W. M., Ramis Ferrer, B., Iarovyi, S., Negri, E., Fumagalli, L., Lobov, A. & Martinez Lastra, J. L. (2018). Generic Platform for Manufacturing Execution System Functions in Knowledge-Driven Manufacturing Systems. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 31(3), 262–274. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2017.1407874>.
- Molich, R. & Nielsen, J. (1990). Improving a Human-Computer Dialogue. *Communications of the ACM*, 33(3), 338–348. <https://doi.org/10.1145/77481.77486>.
- Morton, J., Zheleva, A., Van Acker, B.B., Durnez, W., Vanneste, P., Larmuseau, C., De Bruyne, J., Raes, A., Cornillie, F., Saldien, J., De Marez, L. & Bombeke, K. (2022). Danger, high voltage! Using EEG and EOG measurements for cognitive overload detection in a simulated industrial context. *Applied Ergonomics*, 102. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103763>.
- Nielsen, J. (1992). Finding usability problems through heuristic evaluation. *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 92)*, 373–380. <https://doi.org/10.1145/142750.142834>.
- Nielsen, J. (1993). *Usability engineering*. San Francisco (CA): Academic Press.
- Nielsen, J. (2020). 10 Usability Heuristics for User Interface Design. Saatavilla: <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>. (lainattu 20.9.2023).
- Peffer, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M.A. & Chatterjee, S. (2007). A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of Management Information Systems*, 24, 45–77. <https://doi.org/10.2753/MIS0742-122240302>.

Suunnitteluohjeen kehittäminen kognitiivisen ergonomian huomioimiseen käytettävyyden parantamisessa

- Prastawa, H., Ciptomulyono, U., Laksono-Singgih, M. & Hartono, M. (2019). The Effect of Cognitive and Affective Aspects on Usability. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 20(4), 507–531. <https://doi.org/10.1080/1463922X.2018.1547458>.
- Preece, J., Rogers, Y., Sharp, H., Benyon, D., Holland, S. & Carey, T. (1994). *Human-Computer Interaction*. Wokingham: Addison-Wesley.
- Quiñones, D. & Rusu, C. (2017). How to Develop Usability Heuristics: A Systematic Literature Review. *Computer Standards & Interfaces*, 53, 89–122. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2017.03.009>
- Sanil, S., Nair, V. & Ramanathan, H. (2013). Cognitive Ergonomics and Employee Well-being in Financial Companies. *Journal of Strategic Human Resource Management*, 2(3), 48–55.
- SAP (n.d.). SAP Manufacturing Execution. Saatavilla: <https://www.sap.com/products/execution-mes.html?btp=4ad5dee8-c491-4fea-8edf-2edc0b021444>. (lainattu 14.5.2023).
- Sauro, J. (2011). *A Practical Guide to the System Usability Scale (SUS): Background, Benchmarks & Best Practices*. Denver, CO: Measuring Usability LLC.
- Sauro, J. & Lewis, J. R. (2012). *Quantifying the User Experience: Practical Statistics for User Research*. Waltham: Morgan Kaufmann.
- Scarr, J., Cockburn, A. & Gutwin, C. (2012). Supporting and Exploiting Spatial Memory in User Interfaces. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, 6(1), s. 1–84. <https://doi.org/10.1561/11000000046>.
- Schwier, R. A. & Misanchuk, E. R. (1995). The Art and Science of Color in Multimedia Screen Design, Part 1: Art, Opinion, and Tradition. *Annual Conference of the Association for Educational Communications and Technology*.
- Shen, Z., Xue, C., & Wang, H. (2018). Effects of Users' Familiarity with the Objects Depicted in Icons on the Cognitive Performance of Icon Identification. *i-Perception*, 9(3), 1–17. <https://doi.org/10.1177/2041669518780807>.
- Shen, Z., Zhang, L., Xiao, X., Li, R. & Liang, R. (2020). Icon Familiarity Affects the Performance of Complex Cognitive Tasks. *i-Perception*, 11(2). <https://doi.org/10.1177/2041669520910167>.
- Shneiderman, B. (1982). Designing Computer System Messages. *Communications of the ACM*, 25, 610–611. <https://doi.org/10.1145/358628.358639>.
- Shneiderman, B., Plaisant, C., Cohen, M., Jacobs, S. & Elmqvist, N. (2018). *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. 6. painos. Boston: Pearson.
- Stockinger, C., Stuke, F. & Subtil, I. (2021). User-Centered Development of a Worker Guidance System for a Flexible Production Line. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 31(5), 532–545. <https://doi.org/10.1002/hfm.20901>.
- Thorvald, P., Lindblom, J. & Andreasson, R. (2019). On the Development of a Method for Cognitive Load Assessment in Manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 59, 252–266. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.04.012>.
- Wagemans, J., Elder, J.H., Kubovy, M., Palmer, S.E., Peterson, M.A., Singh, M., von der Heydt, R. (2012). A Century of Gestalt Psychology in Visual Perception: I. Perceptual Grouping and Figure–Ground Organization. *Psychological Bulletin* 138, 1172–1217. <https://doi.org/10.1037/a0029333>.
- Van Laar, D. (2001). Psychological and Cartographic Principles for the Production of Visual Layering Effects in Computer Displays. *Displays*, 22(4), 125–135. [https://doi.org/10.1016/S0141-9382\(01\)00059-2](https://doi.org/10.1016/S0141-9382(01)00059-2).
- van der Veer, G. (2008). Cognitive Ergonomics in Interface Design - Discussion of a Moving Science. *Journal of Universal Computer Science*, 14(16), 2614–2629. <https://doi.org/10.3217/jucs-014-16-2614>.
- Wollter Bergman, M., Berlin, C., Babapour Chafi, M., Falck, A.-C. & Örtengren, R. (2021). Cognitive Ergonomics of Assembly Work from a Job Demands–Resources Perspective: Three Qualitative Case Studies. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18, 12282. <https://doi.org/10.3390/ijerph182312282>.
- Wu, L., Zhu, Z., Cao, H. & Li, B. (2016). Influence of Information Overload on Operator's User Experience of Human–Machine Interface in LED Manufacturing Systems. *Cognition, Technology & Work*, 18(1), 161–173. <https://doi.org/10.1007/s10111-015-0352-0>.

Liite 1. Kartoitus käyttöliittymän toiminnoista, niitä vastaavista ihmisen kognitiivisista toiminnoista sekä kehitystoimenpiteistä.

Käyttöliittymän toiminnot	Toimintoon liittyvät kognitiiviset toiminnot	Ihmisen kognitiiviset toiminnot ja niiden huomioiminen
Tuotteen valitseminen	Havaitseminen, tarkkaavaisuus ja tunnistaminen	Helpotetaan havaitsemista suurentamalla sarjanumeron tekstikenttää, jossa on valkoinen taustaväri, sekä suurennetaan kyseisen tekstikentän lopussa olevaa painiketta, josta aukeaa tuotteen valintaikkuna. Näytetään käyttäjälle vain oleellimmat tiedot tuotteen valintaikkunassa.
Valmistuksen aloittaminen painamalla start-painiketta	Muisti, havaitseminen, tunnistaminen ja kieli	Lisätään start-painikkeeseen sen toimintoa vastaava ikoni ja suurennetaan painiketta ja tekstiä. Tällä parannetaan käyttäjän havaintonopeutta. Tuetaan käyttäjän muistia valitsemalla ikonit tuttuuden mukaan ja pyritään olla muuttamatta painikkeen sijaintia vanhasta sijainnista. Käytetään painikkeessa samaa nimeä kuin aiemmassa versiossa.
Työohjeiden avaaminen	Muisti, havaitseminen, tunnistaminen ja kieli	Lisätään workinstruction-painikkeeseen sen toimintoa vastaava ikoni ja suurennetaan painiketta ja tekstiä. Tällä parannetaan käyttäjän havaintonopeutta. Tuetaan käyttäjän muistia valitsemalla ikonit tuttuuden mukaan ja pyritään olla muuttamatta painikkeen sijaintia vanhasta sijainnista. Avataan työohjeet omaan ikkunaan, jotta käyttäjä saa sen tarvittaessa piiloon. Tällä saadaan tarvittaessa turhaa tietoa pois näytöltä. Käytetään painikkeessa samaa nimeä kuin aiemmassa versiossa.
Komponenttilistan avaaminen	Muisti, havaitseminen, tunnistaminen ja kieli	Lisätään assemble-painikkeeseen sen toimintoa vastaava ikoni ja suurennetaan painiketta ja tekstiä. Tällä parannetaan käyttäjän havaintonopeutta. Tuetaan käyttäjän muistia valitsemalla ikonit tuttuuden mukaan ja pyritään olla muuttamatta painikkeen sijaintia vanhasta sijainnista. Käytetään painikkeessa samaa nimeä kuin aiemmassa versiossa.
Komponenttien jäljittäminen	Tarkkaavaisuus, kieli, muisti ja ajattelu	Avataan komponentti-ikkunan viereen jäljitysikkuna. Käyttäjä tarvitsee tietoa molemmista ikkunoista, joten käyttäjän ei tarvitse muistaa, mitä tietoa toisessa näkymässä oli näkyvissä. Annetaan käyttäjälle hallinta valita listalta haluamansa komponentti jäljitettäväksi.
Sign off -toiminto eli laitteen palauttaminen työlistalle	Muisti, havaitseminen, tunnistaminen ja kieli	Lisätään sign off -painikkeeseen sen toimintoa vastaava ikoni ja suurennetaan painiketta ja tekstiä. Tällä parannetaan käyttäjän havaintonopeutta. Tuetaan käyttäjän muistia valitsemalla ikonit tuttuuden mukaan ja pyritään olla muuttamatta painikkeen sijaintia vanhasta sijainnista. Käytetään painikkeessa samaa nimeä kuin aiemmassa versiossa.

Suunnitteluohjeen kehittäminen kognitiivisen ergonomian huomioimiseen käytettävyyden parantamisessa

Reprint -toiminto eli uudelleen tulostaminen	Muisti, havaitseminen, tunnistaminen ja kieli	Lisätään reprint-painikkeeseen sen toimintoa vastaava ikoni ja suurennetaan painiketta ja tekstiä. Tällä parannetaan käyttäjän havaintonopeutta. Tuetaan käyttäjän muistia valitsemalla ikonit tuttuuden mukaan ja pyritään olla muuttamatta painikkeen sijaintia vanhasta sijainnista. Avataan reprintin näkymä popup-ikkunaan keskelle näyttöä. Käytetään painikkeessa samaa nimeä kuin aiemmassa versiossa.
Laitteen merkitseminen valmiiksi	Muisti, havaitseminen, tunnistaminen ja kieli	Lisätään complete-painikkeeseen sen toimintoa vastaava ikoni ja suurennetaan painiketta ja tekstiä. Tällä parannetaan käyttäjän havaintonopeutta. Tuetaan käyttäjän muistia valitsemalla ikonit tuttuuden mukaan ja pyritään olla muuttamatta painikkeen sijaintia vanhasta sijainnista. Käytetään painikkeessa samaa nimeä kuin aiemmassa versiossa.