

Arto Reiman, Elina Parviainen, Theresa Lauraéus, Esa-Pekka Takala  
& Jari Kaivo-oja

## ERGO 2030 – tiekartta ihmisen huomioimiseen suunniteltaessa ja sovellettaessa uutta teknologiaa teollisuudessa

**Arto Reiman**, TkT, dosentti  
Tuotantotalous, Oulun yliopisto

**Elina Parviainen**, prosessikonsultti  
Human Process Consulting Oy

**Theresa Lauraéus**, KTT, erikoistutkija  
Tieto- ja palvelutalouden laitos, Aalto Yliopiston Kauppakorkeakoulu  
Tulevaisuuden tutkimuskeskus, Turun kauppakorkeakoulu, Turun yliopisto

**Esa-Pekka Takala**, LKT, dosentti, ylilääkäri (emeritus)  
Helsinki

**Jari Kaivo-oja**, HTT, YTM, tutkimusjohtaja, dosentti  
Tulevaisuuden tutkimuskeskus, Turun kauppakorkeakoulu, Turun yliopisto

*Hanketta on rahoittanut Anita ja Olavi Seppäsen muistosäätiö.*

Copyright © 2021 kirjoittajat & Tulevaisuuden tutkimuskeskus, Turun yliopisto

ISBN 978-952-249-560-0

ISSN 1797-1322



**TULEVAISUUDEN TUTKIMUSKESKUS**

Turun kauppakorkeakoulu  
20014 Turun yliopisto

Rehtorinpellonkatu 3, 20500 Turku  
Korkeavuorenkatu 25 A 2, 00130 Helsinki  
Åkerlundinkatu 2, 33100 Tampere

[tutu-info@utu.fi](mailto:tutu-info@utu.fi)

[utu.fi/tutu](https://utu.fi/tutu)

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	4
JOHDANTO.....	5
HFE TYÖHYVINVOINNIN JA TUOTTAVUUDEN TEKIJÄNÄ.....	8
TEOLLISUUS 4.0 JA SEN EDELLYTTÄMÄT DYNAAMISET KYVYKKYYDET .....	10
ERGO 2030 -HANKE .....	22
ERGO 2030 -TIEKARTAN LÄHTÖKOHTIA JA PERUSKÄSITTEITÄ.....	24
ERGO 2030 -TIEKARTTA.....	30
ERGO 2030 -TIEKARTTA VAIHEITTAIN .....	34
JOHTOPÄÄTÖKSET .....	52
LÄHTEITÄ.....	53

# TIIVISTELMÄ

ERGO 2030 -hankkeen tavoitteena oli tutkia, miten ihminen otetaan huomioon valmistavan teollisuuden yrityksissä suunniteltaessa ja sovellettaessa uutta teknologiaa, kuten esimerkiksi robotisaatiota, automaatiota, keinoälyn sovellutuksia sekä uusia digitaalisia alustoja. Ihmistä näiden tuotantoprosessien osana tutkitaan hankkeessa ergonomian viitekehyksessä. ERGO 2030 -hankkeessa ergonomiaa tarkastellaan kokonaisvaltaisesti huomioiden niin ihmisten kyvykkyudet teknologioiden käyttäjinä kuin myös organisaatioiden kyvykkyudet etsiä, valita, suunnitella, ottaa käyttöön sekä käyttää erilaisia teknologioita tuotantoprosesseissaan. Tällainen kokonaisvaltainen tarkastelu haastaa perinteistä suomalaista ergonomia-ajattelua. Tämän vuoksi käytämme tässä hankeraportissa ergonomian osalta kansainvälisesti laajasti käytettyä käsitettä Human Factors and Ergonomics, eli HFE.

Hankkeen keskeisenä tuloksena esittelemme vaiheittaisen tiekartan, joka auttaa suomalaisia valmistavan teollisuuden yrityksiä huomioimaan entistä syvällisemmin HFE:ta osana niitä kehitysprosesseja, joilla pyritään vastaamaan nopeasti teknologisoituvan maailman haasteisiin. Erityinen mielenkiintomme on Teollisuus 4.0 -ilmiössä sekä sen mukanaan tuomissa haasteissa suomalaiselle teollisuudelle. Tiekartasamme hyödynnämme yhdysvaltalaisen professori David J. Teecen liiketoiminnan kehittämisen perusmallia ja täydennämme sitä ohjeilla ja ehdotuksilla, kuinka HFE saadaan integroitua yrityksen uusiin teknologioihin liittyviin uudistusprosesseihin.

Hankkeemme myötä osoittautui, että Teollisuus 4.0 -vaatimusten ja HFE:n yhdistäminen on haasteellista valmistavassa teollisuudessa Suomessa. Hankkeessa haastateltiin asiantuntijoita viidestätoista yrityksestä. Yritykset olivat kokoluokaltaan erilaisia suomalaisia uutta teknologiaa soveltavia valmistavan teollisuuden yrityksiä. Hankkeessa selvitettiin yritysten toimintamalleja laadullisesti haastatteluin ja kyselyin sekä arvioimalla kohdeyrityksistä saatavia ja julkisesti tarjolla olevia kuvauksia tuotannosta sekä tuotantoprosesseista. Haastattelut tähtäsivät ihmisten ja teknologioiden vuorovaikutusten holistiseen ymmärrykseen ja niissä selvitettiin David J. Teecen esittämien liiketoiminnan kehitysvaiheiden mukaisesti toimintatapoja ja kyvykkyksiä tunnistaa (sensing), valita ja suunnitella omaan käyttöön (seizing) sekä ottaa käyttöön ja käyttää (shifting) uusia teknologioita, jotka ovat sovellettavissa valmistavassa teollisuudessa.

Raportin aluksi kerrotaan hankkeen taustoista ja tavoitteista. Seuraavaksi raportissa esitellään teoreettisia lähtökohtia HFE:n ja Teollisuus 4.0 -ilmiön kehityksen osalta. Teoreettisen viitekehityksen kautta tuodaan esille, kuinka yrityksissä tarvitaan dynaamisia kyvykkyksiä liittyen niin liiketoimintaosaamiseen, teknologiaosaamiseen kuin myös ihmisten sosiaaliseen vuorovaikutukseen sekä organisaatiokulttuuriin. Tutkimuksemme mukaan kehittämistoiminnassa on tärkeää ottaa huomioon muutostilassa olevat järjestelmät ja niiden eri osajärjestelmien nopea muutos, jolloin ennakoitavuus ja systeemisten riskien hallinta nousevat merkittävään rooliin. Tutkimuksessa selvitettiin, millaista osaamista käytettiin uutta teknologiaa etsittäessä, hankittaessa ja sovellettaessa omaan käyttöön. Tutkimuksessa luotiin teollisen ergonomiakehittämisen tiekartta siitä, kuinka edesautetaan HFE:n käyttöä osana uuden teknologian tehokasta käyttöönottoa suomalaisissa valmistavan teollisuuden yrityksissä – erityisesti Teollisuus 4.0 -kehitysvaiheessa. Vaiheittaisen tiekartta -mallin avulla valmistavassa teollisuudessa voidaan edistää uuden teknologian käyttöönottoa ja välttää erityisesti ihmisen toimintaan liittyviä virheitä. Tuloksia voidaan hyödyntää sekä Suomessa että kansainvälisesti uutta teknologiaa hyödyntävissä yrityksissä, ammatillisessa koulutuksessa ja alan tutkijaryhmissä.

## JOHDANTO

Murroksessa olevat uudet teknologiat muuttavat ihmisten elämäntapaa ja työtä sekä yritysten toimintaa vaikuttaen lopulta myös kansantalouteemme ja maailmantalouteen (Bower & Christensen 1995; Kaivo-oja & Lauraéus; 2018; Lansity & Lakhani 2020). Teknologiamurros, jota elämme parhaillaan, on siten samalla myös ajattelutapojen murrosta (Kaivo-oja & Lauraéus 2017; Dufva 2018; Lansity & Lakhani 2020). Teknologiamurros ei rajoitu vain teknologioiden tuomien uusien mahdollisuuksien etsimiseen tai tuottavuuden kehittämiseen, vaan siihen sisältyy myös ihmisten käyttäytymiseen vaikuttavia muutostekijöitä (Kaivo-oja & Lauraéus 2019). Teknologiamurroksen edetessä tarvitsemme tietoa siitä, millaisia muutoksia ja mahdollisuuksia edessämme on. Lisäksi tarvitsemme selkeitä visioita siitä, millaisen tulevaisuuden haluamme ja millaisilla keinoilla se on mahdollista saavuttaa (Kaivo-oja & Lauraéus 2017; Dufva 2018; Kaivo-oja & Lauraéus 2019).

Uudet innovatiiviset ideat ja niitä toteuttavat teknologiat luovat kasvua ja hyvinvointia (Kaivo-oja & Lauraéus 2017; Kaivo-oja ym. 2020; Lauraéus ym. 2021). Nyt nähtävillä oleva teknologiamurros liittyy siihen, että olemme siirtymässä ja osin siirtyneet muun maailman mukana laajalla rintamalla niin sanottuun Teollisuus 4.0 -vaiheeseen. Käsitteenä Teollisuus 4.0 viittaa uusimpaan teollisen vallankumouksen vaiheeseen, joka keskittyy voimakkaasti teknologioiden yhdistettävyyteen, automaatioon, koneoppimiseen ja reaaliaikaiseen dataan. Teollisuus 4.0 on selvästi teollisen kehityksen murrosvaihe. Murrosvaiheessa yhdistyy fyysinen tuotanto ja toiminnot älykkääseen digitaalitekniikkaan, koneoppimiseen ja massadataan tuottaakseen holistisen ja paremmin yhdistetyn tuotannollisen ekosysteemin yrityksille, jotka keskittyvät valmistukseen ja koko toimitusketjun hallintaan. Jokainen tänä päivänä toimiva yritys ja organisaatio on erilainen ja ne kaikki kohtaavat yhteisen Teollisuus 4.0 haasteen – tarpeen muodostaa yhteyksiä ja käyttää reaaliaikaista näkyvyyttä prosessien, kumppanien, tuotteiden ja ihmisten välillä. Tässä yhteydessä yritykselle on tärkeää koota ”palapeli”, jossa osasina ovat: (1) Data, (2) tuotantoprosessi, (3) teknologiat, (4) organisaation eri toiminnot, (5) ihmisten dynaamiset kyvykkyydet ja (6) johtamisjärjestelmät (Kaivo-oja ym. 2017, Mikalef ym. 2019, Knudsen & Kaivo-oja 2021).

Tulevaisuuden kannalta on tärkeää huomioida, etteivät digitaaliseen teknologiakehitykseen liittyvät muutokset tule suinkaan pysähtymään tähän, vaan jo nyt eri tahojen toimesta on esitetty alustavia tulkin-toja Teollisuus 5.0 ja myös Teollisuus 6.0–8.0 -vaiheista. Esimerkiksi Euroopan Unioni (2021) käsittelee Teollisuus 5.0 -ilmiötä kehityssuuntana, jossa Teollisuus 4.0 -ilmiö täydentyy kestäväen kehityksen paremmalla huomioimisella. Teollisuus 5.0 myös korostaa ihmisten roolia teollisessa tuotannossa aiempaa syvällisemmin. Näin näemme, että tämä ERGO 2030 -raporttimme sekä siihen sisältyvä ERGO-tietokartta osaltaan avaavat suomalaiselle teollisuudelle näkymiä myös Teollisuus 5.0 -kontekstissa.

Suomalaisen valmistavan teollisuuden elinehto on pysyä mukana teknologian kehityksessä. Uudet teknologiat edellyttävät ihmisiltä ja yrityksiltä uudenlaista, ja osin erilaistakin osaamista (European Commission, 2020a). Kansainväliset laajat selvitykset osoittavat selvästi kuinka haasteellista HFE-tiedon ja -osaamisen hyödyntäminen on uusien teknologioiden osalta. Esimerkiksi Neumann ym. (2021) tuovat esille, kuinka kypsytöntä on HFE-tutkimuksen taso Teollisuus 4.0 -tutkimuskirjallisuudessa. Sony ja Naik (2020) nostavat esille huolensa riittämättömästä sosioteknisestä ymmärryksestä uusia teknologioita hyödynnettäessä. Badri ym. (2018) ja Reiman ym. (2021) nostavat esille haasteita, joita puutteellinen HFE-ymmärrys voi tuoda, kun hyödynnetään uusia teknologioita. ERGO 2030 -hankkeen tavoitteena oli tutkia

HFE-osaamista ja osaamisen kehittämisen tarpeita yrityksissä, jotka hyödyntävät erityisesti digitalisaatioon liittyvä korkean teknologian sovelluksia, kuten robotisaatiota, automaatiota, keinoälyn sovellutuksia, uusia digitaalisia alustoja, sekä muita ns. Teollisuus 4.0 -käsitteen piiriin kuuluvia teknologioita.

ERGO 2030-hankkeessa etsittiin uudenlaista toimintamallia edistämään ja varmistamaan yritysten tuottavuuden parantamiseen tähtäävien uusien teknologioiden valintaan ja käyttöön liittyvää osaamista samalla huomioiden ihmisten edellytykset ja mahdolliset rajoitukset valmistusprosessien kokonaisuudessa. Tässä raportissa kuvatulla kokonaisvaltaisella lähestymistavalla voidaan vaikuttaa paitsi tuotannon sujuvuuteen myös terveyteen ja turvallisuuteen vaikuttaviin tekijöihin työssä. Tällainen tarkastelu edellyttää teknisten näkökulmien huomioimisen lisäksi sitä, että teknologioita suunniteltaessa, valittaessa ja käytettäessä kiinnitetään entistä paremmin huomioita myös ihmisiin osana työjärjestelmiä.

Perinteisesti ihmisen ja teknologian vuorovaikutusta on jäsennetty ja kehitetty ergonomia-viitekehyyksen alla (esim. Karvowski 2012; Dul ym. 2012). Suomessa käsitys ergonomiasta näyttää kuitenkin varsin suppealta, rajoittuen lähinnä korjaavaan ja reagoivaan toimintaan liittyen työntekijän fyysiseen kuormitukseen ja työasentoihin. Tässä raportissa avaamme ja laajennamme ergonomian käsitystä suomalaisille lukijoille. Siksi käytämme raportissa ergonomiasta kansainvälisesti yleisesti käytettyä lyhennettä HFE. HFE tarjoaa nykyaikaisen käsityksen ergonomiasta, jonka tavoitteena on optimoida erilaisten ihmisistä ja teknologioista muodostuvien työjärjestelmien toimivuutta ja suorituskykyä sekä samanaikaisesti parantaa myös järjestelmään kytkeytyvien ihmisten hyvinvointia (Dul ym. 2012; International Ergonomics Association, 2021). HFE tarjoaa siis tietoa ja työkaluja, joiden avulla voidaan vaikuttaa sekä hyvinvointiin että tuottavuuteen. Systeminen HFE-lähestymistapamme auttaa ymmärtämään ja jäsentämään tätä monimutkaista ihmisten ja järjestelmien vuorovaikutusten kokonaisuutta ja sen kehittämistä systeemitekniikan (engl. Systems engineering) näkökulmasta (esim. Ahram & Karvowski 2013; Gorod ym. 2008; INCOSE 2015). Systeemitekniikan kautta tarkastellen tuomme esille, kuinka myös HFE:ta tulee käsitellä prosessimaisesti, mahdollistaen siten prosessimaisen kehittämisotteen lähtien vaatimuskartoituksesta, rajapinta- ja sidosryhmäanalyysiin, tavoitelähtöiseen sekä iteratiivisesti etenevään ja huolellisesti dokumentoituun suunnittelu- ja toteutusprosessiin kattaen järjestelmän koko elinkaaren.

Kun HFE-toimenpiteiden vaikuttavuutta seurataan ja arvioidaan, tulee ottaa huomioon mahdollisten vaikutusten laaja-alaisuus. Varsinkin kun tarkastellaan vaikuttavuutta hyvinvoinnin näkökulmasta, rajoittuu tarkastelu usein suppeasti saavutettuihin tai saavutettaviin säästöihin, jotka voivat realisoitua nopeasti tai pidemmällä aikavälillä niin yksilön kuin myös yrityksen ja yhteiskunnankin tasoilla. Yksilön tasolla huono työhyvinvointi voi aiheuttaa suoria kustannuksia esimerkiksi lisääntyneeseen terveydenhuoltoon ja menettelyihin tuloihin liittyen. Kustannukset voivat olla myös epäsuoria ja koostua vaikeammin arvioitavista asioista kuten heikentyneen terveyden ja hyvinvoinnin myötä johtuvista työuralla etenemisen vaikeuksista, epävarmuudesta omasta työpaikasta sekä monenlaisista eteen tulevista erilaisista järjestelyistä ja niiden kustannuksista. Yritystasolla kustannuksia voidaan tarkastella esimerkiksi henkilötuottavuuden heikkenemisen, sairauspoissaolojen määrän, työntekijävaihtuvuuden, tuotantomenetysten, laatuhäiriöiden sekä mahdollisten korvauskustannusten kasvun myötä. Laskentatavasta riippumatta kustannukset ovat sekä Suomessa että Euroopan Unionissa miljarditasoilla (ks. Aura & Ahonen 2016; Euroopan Työterveys- ja työturvallisuusvirasto 2018; 2019; 2020; Hassard ym. 2017; Terveystalo 2019) eikä työhyvinvoinnin ja tuottavuuden kehittämiseen liittyvää potentiaalia ymmärretä edelleenkaan riittävästi.

Tämä raportti esittelee tiekarttana, miten HFE-osaamista ja -tietoa voidaan hyödyntää uuden teknologian valinnan, suunnittelun, käyttöönoton ja käytön eri vaiheissa mahdollistaen näin työhyvinvoinnin ja tuottavuuden huomioimisen yrityksen toimintoja kehitettäessä niin olemassa olevaa kehitettäessä kuin myös suunniteltaessa uusia tuotantoprosesseja. Raportin aluksi esitellään hankkeen taustaa ja teoreettisia

lähtökohtia: HFE:sta työhyvinvoinnin ja tuottavuuden tekijänä sekä tuodaan esille Teollisuus 4.0 kehitykseen ja johtamiseen liittyviä tekijöitä. Kirjallisuuteen perustuvan raporttiosuuden jälkeen kuvataan ERGO 2030 -hankkeen toteutus sekä tiekartan ymmärtämiseen liittyviä HFE-käsitteitä. Raportin lopuksi esitellään ERGO 2030 -tiekartta vaiheineen. Tiekarttaa hyödyntämällä suomalaiset valmistavan teollisuuden yritykset voivat paremmin ottaa huomioon HFE-asiat valitessaan, suunnitellessaan sekä käyttäessään uusia teknologioita valmistusprosesseissaan.

# HFE TYÖHYVINVOINNIN JA TUOTTAVUUDEN TEKIJÄNÄ

*Arto Reiman*

Suomalainen HFE-keskustelu on ollut monin tavoin pysähtynyttä viime vuosikymmeninä, eikä suomalaisessa työelämässä ole kyetty täysimääräisesti hyödyntämään HFE-tietoa ja -osaamista työpaikkojen kehittämässä (Reiman & Suokko 2020). Pääsääntöisesti HFE ymmärretään suomalaisilla työpaikoilla joko kognitiivisen tai erityisesti fyysisen ergonomian kehittämisenä, ja sen keskeisinä toimijoina ovat työterveyspalveluja tuottavat tahot. Työterveyshuoltojen tuottamien ergonomiapalveluiden keskiössä on yksilön terveyden ja hyvinvoinnin kehittäminen, ei niinkään työprosessien, työjärjestelmien, työympäristöjen ja työn organisoinnin sekä tuottavuuden kehittäminen. Näin työpaikoilla ei synny, eikä niille kerry tietoa, jota voitaisiin hyödyntää työhyvinvoinnin ja tuottavuuden synergisessä kehittämisessä, eli HFE-kehittämistoiminnassa.

Työhyvinvointia tulisi tarkastella kokonaisvaltaisena ilmiönä, jonka kautta voidaan vaikuttaa myös tuottavuuteen niin yksilön, yrityksen kuin yhteiskunnankin tasoilla (Schulte & Vainio 2010). Tämä tuottavuuskeskustelu on kuitenkin usein hyvin rajoittunutta ja keskittyy pääasiassa tuomaan esille millaisia kustannuksia huonosta työhyvinvoinnista koituu eri tahoille. Työhyvinvointiin liittyviin kustannuksiin viitattaessa käytetään usein yhtenä keskeisenä lähteenä sosiaali- ja terveysministeriön *Menetetyn työpanoksen kustannus* -laskelmia vuodelta 2012 (Rissanen & Kaseva 2014). Laskelmien mukaan vuonna 2012 Suomessa menetettiin lähes 25 miljardia euroa sairauspoissaoloihin, vajaatehoisena työskentelyyn (presenteeismiin), työtapaturmiin ja ammattitauteihin, työkyvyttömyyteen sekä työikäisen väestön terveydenhuoltomeneihin. Rissanen ja Kasevan (2014) laskentaperiaatteita varovaisesti hyödyntäen sekä vastaavia tietolähteitä soveltaen ja tietoa päivittäen voidaan arvioida kustannusten suuruusluokan pysyneen samansuuntaisena. On kuitenkin hyvä huomioida, että nämä laskelmat eivät ainakaan suoraan ota kantaa tuottavuuden kehittämiseen ja sitä kautta saavutettaviin taloudellisiin hyötyihin, vaan tarkastelu rajoittuu pelkästään jo menetettyyn työpanokseen sekä sille laskettuun hintalappuun.

Rissanen ja Kasevan (2014) laskelmien perusteella voidaan laskennallisesti johtaa myös arvioita siitä, millaisia menetetyt työpanoksen kustannuksia kohdentuu teollisuuteen. Tilastokeskuksen toimialaluokkaan ”teollisuus” kuuluu myös valmistava teollisuus, jolle ei ole erillistä luokitusta. Teollisuus-toimialaluokkaan kuuluvat yritykset työllistivät vuonna 2019 Suomessa 299 000 henkilöä (Tilastokeskus 2021a) kun työllisiä kaikkiaan oli 2 566 000 henkilöä (Tilastokeskus 2021b). Teollisuuden työntekijöiden osuus Suomen työllisistä oli näin 11,7 %. Laskennallisesti työntekijämäärään suhteutettuna olisivat edellä esitetyt menetetyt työpanoksen kustannukset olleet suomalaiselle teollisuudelle vuonna 2019 noin 2,85 miljardia euroa. On toki huomioitava, että toimialojen välillä voi olla merkittäviäkin eroja työntekijärakenteen sekä mahdollisten työhyvinvointiin liittyvien tekijöiden osalta. Tämän vuoksi tähän laskennalliseen arvioon tulee suhtautua varovaisesti.

Tässä raportissa sekä Rissanen ja Kasevan (2014) laskelmissa kuvataan millainen säästöpotentiaali voisi liittyä työhyvinvoinnin kehittämiseen Suomessa. Laskelmien lähtöoletuksena on, että työhyvinvointia kehittämällä voidaan vaikuttaa sairauspoissaolojen, tapaturmien ja ammattitautien vähenemiseen sekä pienentää kustannuksia, jotka liittyvät työkyvyttömyyteen, ennenaikaiseen eläköitymiseen sekä yksilön työskentelytehoon (presenteeismi). HFE-näkökulmasta tämä tarkastelu on kuitenkin suppeaa ja jättää



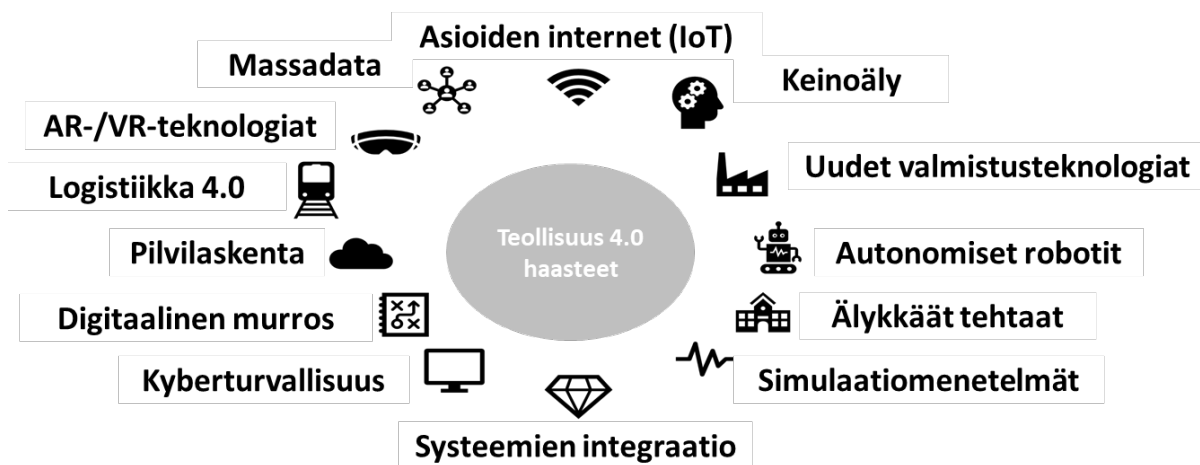
huomioimatta HFE:n peruslähtökohdat työhyvinvoinnin ja tuottavuuden samanaikaisesta ja synergisestä optimoinnista. Näin laskelmissa ei huomioida sitä, miten työhyvinvointia ja järjestelmän suorituskykyä optimoiden voidaan vaikuttaa esimerkiksi työn sujuvuuteen, laatuun ja henkilötuottavuuteen. Tällaista taloudellista tarkastelua on hankala tehdä valtakunnan tasolla, koska työpaikat ovat hyvin erilaisia. Kansainvälistenkin vertailujen tekeminen on haastavaa erilaisten maakohtaisten käytäntöjen vuoksi (Berlin & Adams 2017). HFE-asiantuntijat myös tyypillisesti tyytyvät tarkastelemaan hyötyjä pääasiassa yksilön terveyden ja hyvinvoinnin näkökulmasta, eikä ergonomieilla ole perinteisesti juurikaan ajateltu olevan osaamista laajentaa tarkasteluun liiketoiminnan ja talouden näkökulmiin (Dul & Neumann 2009; Dul 2018).

HFE-kirjallisuudesta löytyy tapaustutkimuksia, joissa HFE-hyötyjä on tuotu esille myös määrällisillä mittareilla. Esimerkiksi Gogginsin ym. (2008) ja McGowanin (2019) katsauksissa tuodaan esille, kuinka HFE-projektit pääsääntöisesti ovat hyödyllisiä eri mittareilla tarkastellen. Pääasiallisesti hyödyt tulevat esille juuri työhyvinvoinnin kehittymisenä ja erilaisten haittakustannusten, kuten tuki- ja liikuntaelinten sairauksien vähenemisen myötä (Goggins ym. 2008; Teufer ym. 2019). Valmistavan teollisuuden kontekstissa esimerkiksi Ruotsissa on tehty Volvon tehtailla tutkimus, jonka mukaan fyysisesti kuormittavampien tehtävien osalta laatuhäiriöiden riski oli 3,5-kertainen verrattuna vähemmän kuormittaviin tehtäviin. Näiden fyysisesti kuormittavampien tehtävien laatuhäiriöiden hallinnasta koitui 8,5-kertaiset kustannukset verrattuna vähemmän kuormittavien tehtävien laatuhäiriöiden hallintaan (Falck ym. 2010). Toisessa Volvon tehtailla tehdyssä tutkimuksessa todettiin ergonomisia puutteita parantavien korjaavien toimenpiteiden kustannusten olevan lähes kymmenkertaisia verrattuna kustannuksiin, jotka ovat syntyneet, kun HFE-tietoa on hyödynnetty jo varhaisessa suunnitteluvaiheessa (Falck ym. 2014). Kolmannessa Volvon tuotantoon kohdistuneessa tutkimuksessa Neumann ym. (2009) tuovat esille, että HFE-toimien pysyvä juurruttaminen saattaa viedä vuosia ja edellyttää jatkuvaa sisäistä tukea toimenpiteille. Suomessa Reiman ja Suokko (2020) ja Suokko ja Reiman (2021) ovat tarkastelleet HFE-kehittämiseen liittyviä kustannuksia ja kehittämisellä saatuja säästöjä eräässä pienessä valmistavan teollisuuden yrityksessä. Heidän laskelmiensa mukaan noin 50 000 euron investoinneilla on saavutettu noin 200 000 euron kustannussäästöt sekä parannettu kokonaistuottavuutta viidellä prosentilla. Edellä kuvatut esimerkit kuvaavat kuinka HFE-osaamisen avulla on onnistuttu yrityksessä saavuttamaan merkittävää taloudellista hyötyä. Toisaalta on huomioitava, etteivät kaikki HFE-projektit onnistu eri syistä johtuen. HFE-toiminnan kokonaisvaikutusten arvioinnin tulisi sisältää myös taloudellinen ulottuvuus ja HFE:ta tulisi tarkastella entistä rohkeammin investointina, jonka onnistumista myös seurataan erilaisilla indikaattoreilla. Esimerkiksi Berlin ja Adams (2017) ovat koonneet yhteen erilaisia laskukaavioita sekä laskennan työvälineitä, joita voidaan soveltaa vaikutusten arvioinnissa.

# TEOLLISUUS 4.0 JA SEN EDELLYTTÄMÄT DYNAAMISET KYVYKKYYDET

*Jari Kaivo-oja ja Theresa Lauraéus*

Teollisuus 4.0 on jatkumoa aiemmille teollisuuden suurille kehityshyppäyksille lähtien 1800-luvun höyrykoneista (Teollisuus 1.0), 1900-luvun alun sähkön käyttöön ja liukuhinnateollisuuteen (Teollisuus 2.0) sekä 1900-luvun jälkipuoliskoon ja automaation ja tietotekniikan kehityksen (Teollisuus 3.0). Teollisuus 4.0 -kehittymiseen liittyy teknisiä, taloudellisia ja yhteiskunnallisia vaikutuksia automaation, sopeutumisen ja teollisen valmistuksen osalta Suomessa (Lauraéus, ym. 2021). Teollisuus 4.0 -murrokseen kytkeytyy useita teknologian alueita (Kuva 1).



**Kuva 1.** Teollisuus 4.0 -muutostrendit ja -haasteet (Lauraéus ym. 2021).

Kuvasta 1 näemme, että useat tekijät luonnehtivat kokonaisuudessa Teollisuus 4.0 -kehitystä. Voimme todeta, että emme voi kovin helposti ennakoita tämän kehityksen tarkempaa lopputulemaa. Voimme silti esittää karkean tulevaisuuskuvan tulevan kehityksen suunnasta ja laajemmasta visiosta, jota kohti olemme etenemässä. Esittelemme alla lyhyesti näistä keskeisimmiksi katsoviamme käsitteitä ja teknologioita.

Neljänteen teolliseen vallankumoukseen ja Teollisuus 4.0 -ilmiöön liittyy pyrkimys rakentaa älykkäitä tehtaaita (Smart Factory). Älykäs tehdas tarkoittaa tehokasta ja mukautumiskykyistä tuotantoa, joka pyrkii jatkuvasti optimaaliseen lisäarvoon systeemien integraation kautta. Uusia valmistusteknologioita, simulaatiojärjestelmiä ja itseorganisoituvia arvoketjuja voidaan käyttää optimoimiseen erilaisten kriteerien, kuten kustannusten, käytettävyyden tai resurssien kulutuksen perusteella.

Teollisuus 4.0 -ilmiöön liittyy myös pyrkimys digitaaliseen murrokseen ja esineiden internetin (Internet of Things; IoT) sekä tekoälyn hyödyntämiseen. IoT on käyttäjiään palveleva järjestelmä, joka koostuu toisiinsa liittyneistä tietoverkoista ja esineistä. Tekoäly eli keinoäly on tietokone tai tietokoneohjelma, joka kykenee tekemään älykkäinä pidettäviä toimintoja. Eräässä merkityksessä tekoälynä pidetään tietokoneohjelmaa, joka suorittaa yleisesti ihmismäistä ajattelua.

Autonomisilla roboteilla on tärkeä rooli modernissa valmistavassa teollisuudessa sekä älykkäissä tehtaissa. Teollisuus 4.0:n oleellisia osia ovat autonomiset tuotantoprosessit tai tehtävät, joita robotit voivat suorittaa älykkäästi. Robotit voivat toimia rajatuissa tehtävissä tai samassa tilassa ihmisen kanssa. Ihmisen kanssa yhteistyössä toimivia kevyempiä robotteja kutsutaan coboteiksi (Collaborate robots). Keinoälyllä on merkittävä rooli cobottien toiminnassa ihmisten kanssa.

Kyberturvallisuus liittyy tietokoneisiin, tietoliikenteeseen ja tietoverkkoihin. Kyberfyysinen järjestelmä on järjestelmä, joka koostuu fyysisistä alajärjestelmistä yhdessä tietokonelaskennan ja tietoverkkojen kanssa.

Massa-data (Big data) tarkoittaa erittäin suurten, järjestämättömien ja eri muodossa sekä eri lähteistä peräisin olevien tietomassojen keräämistä, säilyttämistä ja analysointia internetiä ja modernia teknologiaa hyödyntämällä. Teollisuus 4.0 vaatii organisaatioilta ja yrityksiltä kykyä käsitellä ja säilöä dataa.

Pilvilaskenta (Cloud Computing) tarkoittaa paikkaa, jossa tätä dataa säilötään ja lasketaan. Digitaalinen tuotanto on konsepti, joka tarkoittaa erilaisten laitteiden ja objektien yhdistämistä samaan pilveen, jossa data on kaikkien yhdistettyjen laitteiden saatavilla ja tieto saadaan nopeasti käyttöön niin tuotantotalolla kuin koko tehdasalueella.

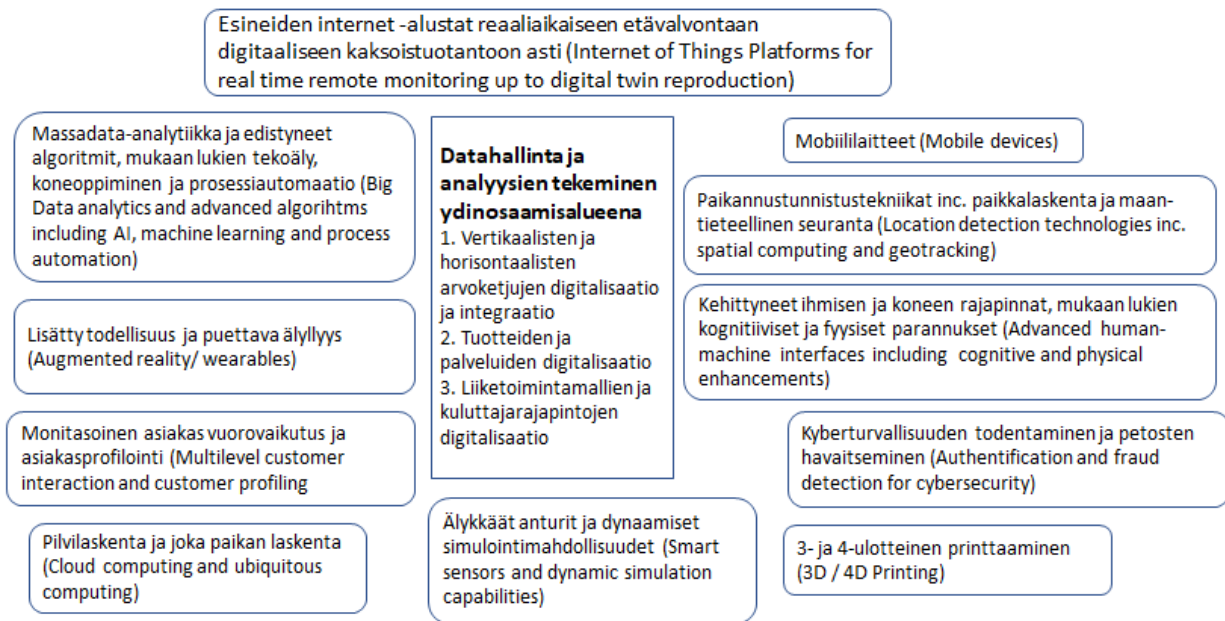
Logistiikka 4.0 tarkoittaa moderneinta logistiikkaa, johon sisältyvät myös verkostoituminen, digitalisointi ja pilvipalvelut. Siten logistiikkaa suorittavien henkilöiden tehtävät liittyvät kuljetuksiin kuten aiemmin, mutta lisäksi logistikkojen tehtävänä on logistiikan koordinoiminen yrityksen ja toimitusketjun koko laajuudelta.

VR eli virtuaalitodellisuus (Virtual reality) on simuloidun maailman kokemista laitteiden avulla, esim. VR-lasit. Täten etänä voidaan jossain määrin ohjata tehdasta. AR:llä (Augmented reality) ja VR:llä eli lisätyllä todellisuudella tarkoitetaan todellisen ympäristön täydentämistä. Reaaliympäristöä lisätään esimerkiksi uusilla koneilla, tehdasprosesseilla, hahmoilla ja näin voidaan simuloida tehtaan toimintaa.

Teknologiset kyvykkyydet on syytä liittää organisaation kokonaisuuteen ja kaikkiin muihin liiketoiminnan edistämiseen liittyviin kyvykkyyksiin (ks. Nieves & Haller 2014, Teece 2018), koska kyvykkyydet viime kädessä tuottavat yritykselle ja muillekin organisaatioille kyvyn toteuttaa omaa perustehtäväänsä ja liiketoimintamallia.

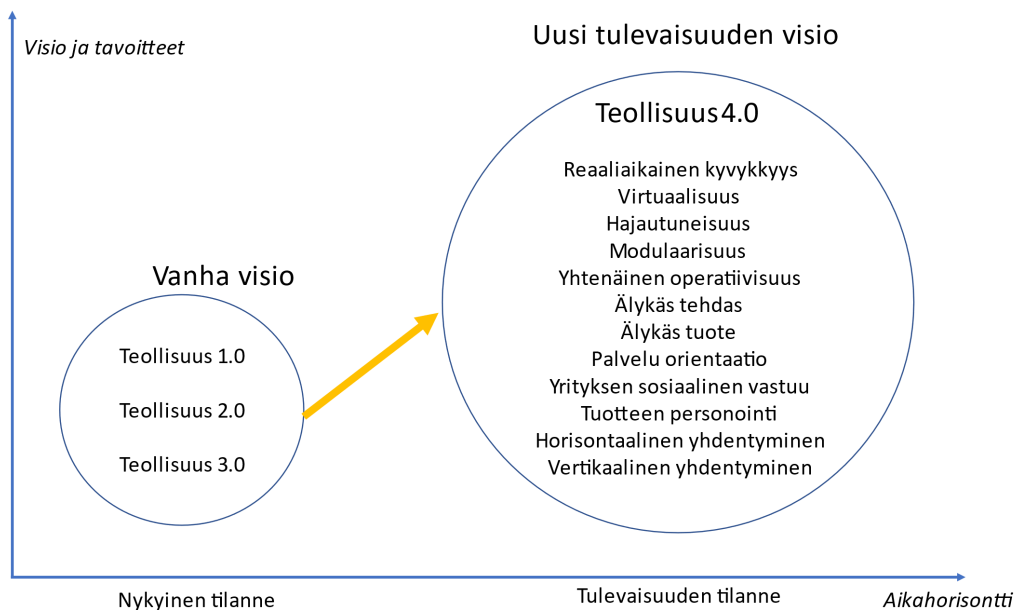
## Teollisuus 4.0 ja tarvittavat teknologiset kyvykkyydet

Teollisuus 4.0 ilmiön hallinta edellyttää erilaisia kyvykkyyksiä niin ihmisiltä kuin myös yrityksiltä. Kuvassa 2 tuodaan esille Euroopan komission virallisen käsityksen mukaisesti Teollisuus 4.0 -kehityksen olennaisia piirteitä sekä niihin kytkeytyviä teknologisia kyvykkyyksiä (European Commission 2020b).



**Kuva 2. Teollisuus 4.0 ja tarvittavat teknologiset kyvykkyydet yrityksen näkökulmasta (European Commission 2020).**

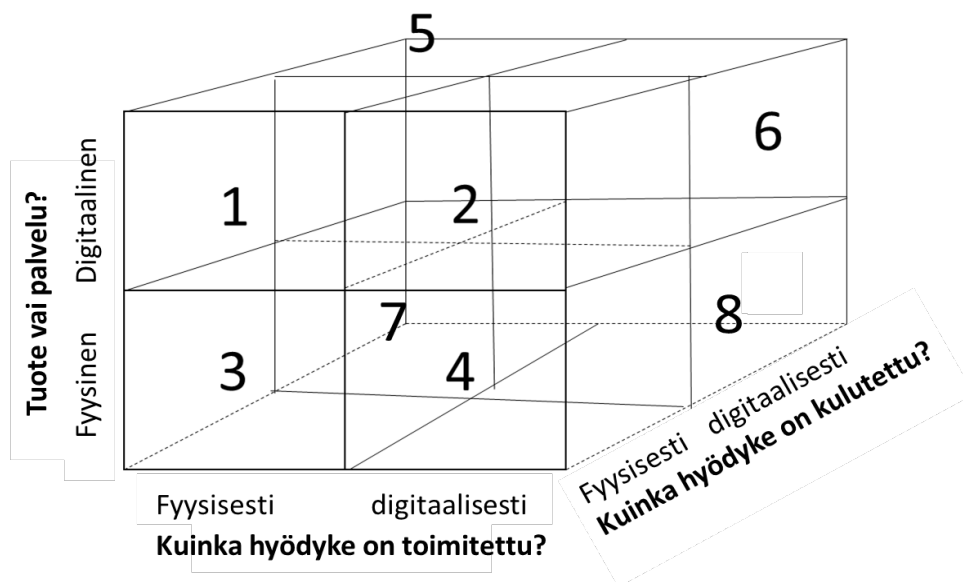
Teollisuus 4.0 -kehityksen pääsuuntia on mahdollista ennakoida karkealla tasolla. Kuva 3 esittää yhteenvetona kehityksen pääsuunnista nyky-ymmärryksen pohjalta (European Commission 2020b). Teollisuus 4.0 -lähestymistavan ”rakennuspalikoista” on tehty lukuisia tutkimuksia ja tulevaisuutta kuvaavia tiekarttoja. Morteza Ghobakhlooni (2018) tutkimuksen perusteella voimme esitellä strategisen etenemissuunnitelman Teollisuus 4.0 -siirtymän osalta. Etenemissuunnitelman voidaan olettaa auttavan nykyisiä toimijoita ymmärtämään sitä, mitä Teollisuus 4.0 -siirtymän toteuttaminen todella edellyttää eri toimijoilta ja mitä teknologisia haasteita mahdollisesti tulevan siirtymäprosessin aikana tullaan kohtaamaan. Etenemissuunnitelma voi palvella valmistavan teollisuuden yrityksiä kehitettäessä yksityiskohtaisempia strategisia etenemissuunnitelmia Teollisuus 1.0., 2.0 ja 3.0 -vaiheista kohti Teollisuus 4.0 -vaihetta (Lauraéus ym. 2021).



**Kuva 3. Vanha ja uusi visio Teollisuus 4.0 -kehityksen osalta (Lauraéus ym. 2021).**

Yhdistyneiden Kansakuntien kehitysohjelman raportissa ”The Future of Knowledge: A Foresight Report” (ks. UNDP 2019) tuodaan esille, että tekoäly, lohkoketun teknologia, kyberturvallisuus ja biotekniikka ovat tiedonhallinnan haastavimmat toimintaa integroivat rajapintateknologiat. Tämä johtopäätös perustui Gartnerin hype-syklien analyysiin. (ks. UNDP 2018, s. 8–13; Kaivo-oja, ym. 2020). Tämän kansainvälisen ennakoititutkimuksen mukaan tekoälyn kehitykseen liittyviä keskeisiä tekniikoita ovat: (1) massadata-teknologia (Big Data), (2) pilvilaskenta (Cloud Computing), (3) sosiaalisen median alustat (Platform technologies) ja (4) avoimen lähdekoodin ohjelmistot ja tiedot (UNDP 2018, s. 10). On selvää, että nämä teknologiakehityksen vahvat voimat vaikuttavat myös valmistavaan teollisuuteen. Teollisuus 4.0 -teknologioista julkaistaan koko ajan uutta tutkimusta ja onkin tärkeää ymmärtää muutoksessa olevia teknologiakehityksen suuntia. Siksi suosittelemme, että yritys päivittää oman teknologiatiekarttansa omista itsekkäistä lähtökohdista käsin tai yhteistyössä muiden verkostoyhteistyökumppaneidensa kanssa.

## Tiekarta-ajattelu

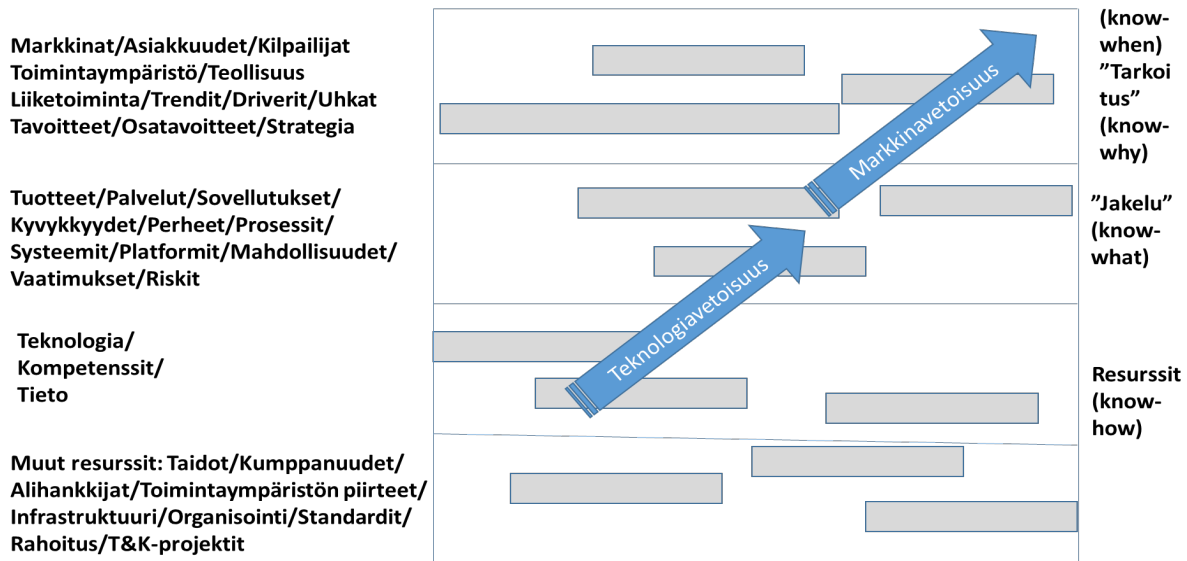


**Kuva 4.** Hyödykkeet ja niiden tuotanto digitalisaatiossa. Digitaalisen kehityksen perusvaihtoehdot (Tiwana 2014, s. 14).

Kuva 4 tiivistää digitaalisen murroksen ja muutoksen suunnan yrityksille. Kuvassa on esitetty kahdeksan keskeistä vaihtoehtoista skenaariota. Kolme keskeistä muutosta digitalisaation etenemisen myötä ovat: (1) Onko tuote fyysinen tuote vai digitaalinen tuote, (2) toimitetaanko tuote asiakkaille fyysisesti vai digitaalisesti ja (3) kulutetaanko tuote fyysisesti vai digitaalisesti? Nämä kolme toimenpidettä on hyvä suunnitella huolella uudistettaessa valmistavan teollisuuden tuotantoprosesseja ja hyödynnettäessä digitalisaatiota. Hyödyke sisältää sekä tuotteen että palvelun. Kuva 4 tiivistää käsityksen resursseista (miten tuotteet/hyödykkeet tehdään?), jakelusta (miten tuotteet/hyödykkeet tarjotaan asiakkaille?) ja sitten miksi toimitaan markkinoilla (liiketoimintallit ja niiden mukaiset asiakaslupaukset).

Yleinen tapa toteuttaa teknologiaennakointia on laatia tiekarttoja teknologisen kehityksen osalta. Teknologiatiekarttojen yhteydessä pyritään luomaan kokonaiskuva tulevaisuuden teknologiakehityksestä ja siitä, miten tämä ennakoitu teknologiakehitys näkyy markkinoilla ja asiakasryhmissä. Kuva 5 kuvaa sitä,

miten organisaatio voi laatia itselle yleistetyn teknologiatiekartan oman liiketoimintansa suunnittelua ajatellen.



**Kuva 5.** Yleistetyn teknologiatiekartan arkkitehtuuri (de Almeida ym. 2015, Phaal ym. 2003).

Kuva 5 kertoo selkeästi siitä, että teknologian hyödyntäminen organisaatiossa ("know-what") perustuu aina materiaalisiin ja immateriaalisiin resursseihin ("know-how") ja erityisesti kyvykkyyksiin ottaa teknologioita haltuun. Tuotteiden ja palveluiden osalta korostuu ymmärrys markkinoista ("know-when" ja "know-why"). Kuvassa 6 on esitetty yleinen kuva siitä, miten organisaatio voi kuvata omaa teknologiatiekartaansa.

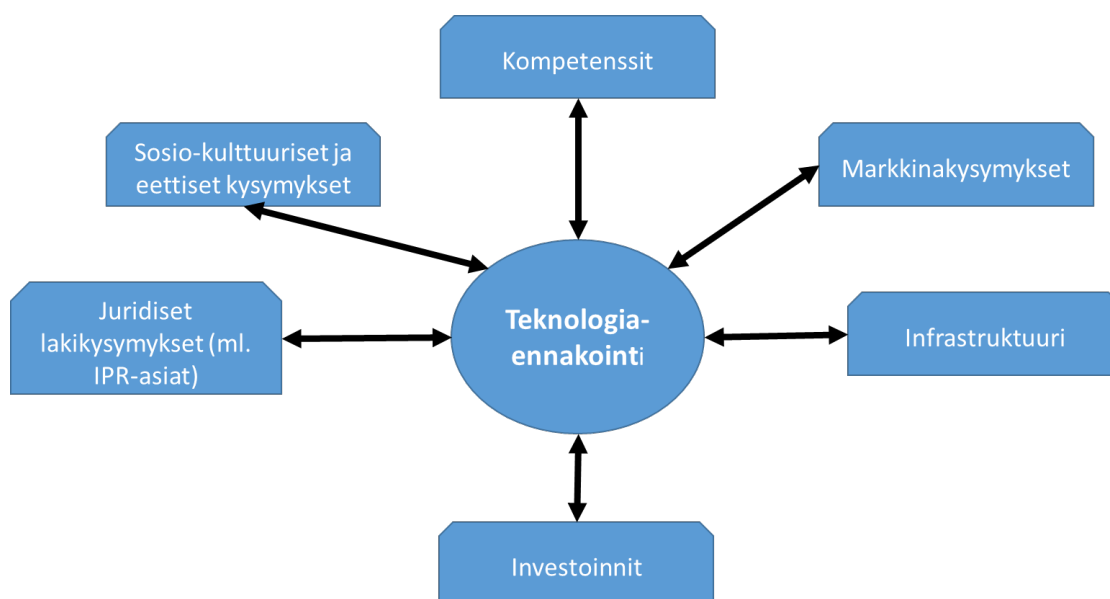
		Teknologiatiekartta				
		Vuodet	2021-2023	2024-2026	2027-2030 Loppuarvioinnit	2031-2033
<b>Markkinat</b>	Kaupallistaminen			T1a	T1b	T1c, T1d
<b>Kehitystyö</b>	Tuotanto		T1a	T1b	T1c	T1d
<b>Kehitystyö</b>	Innovaatiot valmistavassa tuotannossa		T1a	T1b	T1c	T1d
<b>Tiede ja teknologia</b>	Teknologia- ja tuotekehitysprosessi		T1a	T1b	T1c	T1d

**Kuva 6.** Teknologiatiekartta ja tuotteiden suunnitelmallinen eteneminen markkinoille organisaatiossa (vrt. esim. de Almeida, de Moraes & de Melo 2015). T1a-T1d tarkoittavat teknologia-aihiota. T1a voi olla jokin Teollisuus 4.0 teknologioista, kuten keinoäly, T1b voi olla pilvilaskenta, T1c voi olla robotiikan tai cobotiikan

käyttöönotto jossain tuotannon vaiheessa, T1d voi olla laajamittainen sensoriteknologioiden käyttöönotto. T1a-T1n ovat teknologioita, joita tuodaan mukaan teollisuusprosessiin tai sen osaan vaiheittain ajan kuluessa. Kuvassa 6 Laatikat tarkoittavat teknologioita ja vinoneliöt tarkoittavat päätöksentekotilanteita tiekartan toteutuksessa.

Kuvan 6 osalta on tärkeää ymmärtää, että Teollisuus 4.0 -murroksessa teknologioiden käyttöä tulee integroida suhteessa koko tarjontaketjuun alkaen tieteellisestä tutkimuksesta ja teknologisista innovaatioista aina kehitystyöhön ja markkinoiden eri rajapintoihin saakka. Näin yrityksille koituu lukuisia tehokkuus- ja tuottavuusetuja.

Organisaatiolle on tärkeää, että sen teknologiaennakointiprosessi on kommunikatiivinen ja sellainen, että olennainen tieto välittyy organisaation sisällä tehokkaasti. Kuvassa 7 on esitetty havaintokuva siitä, miten teknologiaennakoinnin tuloksia kannattaa hyödyntää kokonaisvaltaisessa liiketoiminnan kehittämisessä. Tämä toimintamalli helpottaa myös HFE:n ja henkilöstöhallinnon johtamista organisaatiossa.



**Kuva 7.** Teknologiaennakointiin vaikuttavat asiat ja joihin teknologiaennakoinnin tuloksiin tulisi vaikuttaa.

Teknologiaennakointi ei ole siis pelkästään teknologisen kehityksen tarkastelua. Se liittyy moniin keskeisiin organisaation toimintoihin ja toimijoihin. Yleensä kannattaa pyrkiä jakamaan teknologiaennakoinnin tuloksia laajasti eri tahoille organisaatiossa, erityisesti myös HFE:stä vastaaville asiantuntijoille. Näin toimien panostukset teknologiaennakointiin tuottavat suurimman kokonaishyödyn organisaatiolle. Erityisen tärkeää on luonnollisesti pitää huolta siitä, että markkinoilla toimivat organisaation edustajat saavat tietoa omaan tuotantoonsa liittyvistä uusista teknologioista ja teknologian kautta tulevista mahdollisista tuotteista ja palveluista markkinoille. Samoin on tärkeää välittää tietoa ja informaatiota markkinoilla teknologioiden kehittäjille. Tämän vuoksi kuvassa 7 nuolet on merkitty kaksisuuntaisiksi. Näin palautevirta kulkee liiketoimintaa harjoittavassa organisaatiossa kumpaankin suuntaan, mielellään reaaliaikaisesti. Kommunikaation ja jaetun ymmärtämyksen merkitystä ei voi koskaan liikaa painottaa. Ideaalitapauksessa voidaan pyrkiä Nonaka-Takeuchi -mallin mukaiseen moniulotteiseen tiedonhallintaan (Nonaka & Takeuchi 1995), jossa T&K-toiminta, tuotanto ja markkinointi toimivat mahdollisimman integroidusti. Tietoa täytyy tämän mallin mukaan toimiessa yhdistellä, sisäistää, sosiaalistaa ja ulkoistaa. Tämä edellyttää ns. hiljaisen tiedon ja eksplisiittisen tiedon ammattimaista käsittelyä organisaatiossa (Nonaka & Takeuchi 1995, s. 71, s. 78)

Tässä raportissa emme mene teknologiakehityksen yksityiskohtaisiin selvityksiin. Jokaisen valmistavan teollisuuden yrityksen kannattaa tehdä oman toimialan päivitetty teknologiatiekartta itselleen edellä esitetyn perusmallin pohjalta. Jäljempänä esiteltävän Tiekartan tarkoitus on tässä tutkimuksessa ohjata yrityksiä muokkaamaan omaa toimintaansa siten, että erilaisten muutosten yhteydessä huomioitaisiin ihmisen osana koko järjestelmän toimivuutta ja suorituskykyä – siis HFE tuotannon suunnittelussa ja toiminnassa. Vaikka lähtökohtana on ollut uuden Teollisuus 4.0 -teknologian kehitys, uskomme toimintamallin auttavan myös muutoksissa, joissa käytetään “vanhoja” teknologioita.

## Dynaamiset kyvykkyydet, liiketoimintamallit ja strategia

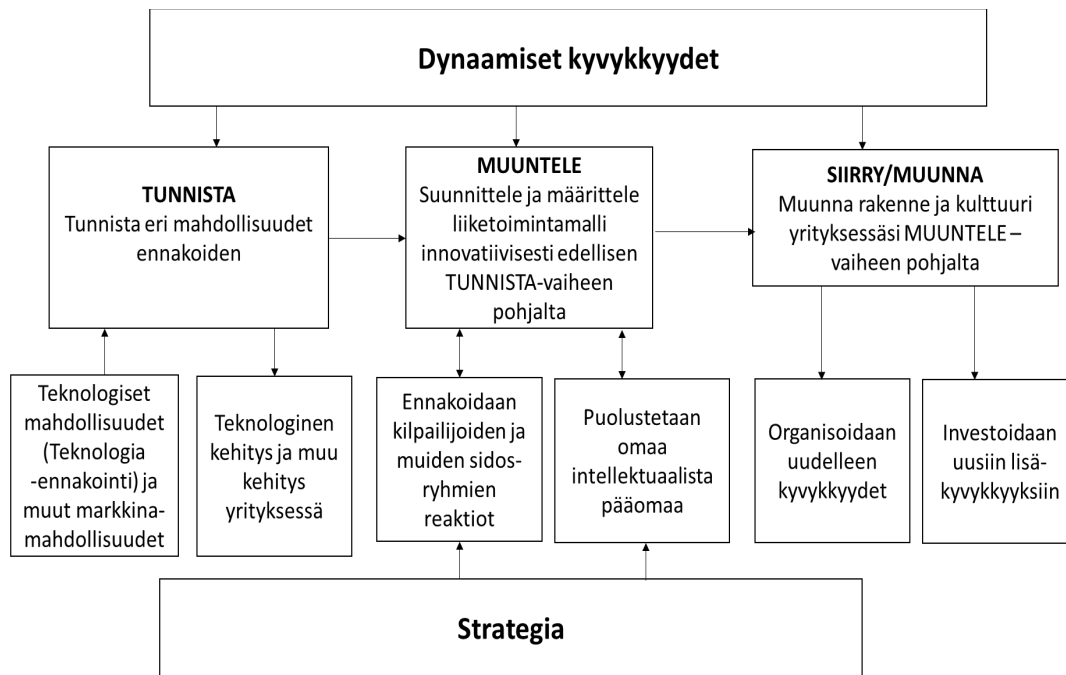
Uusien teknologioiden kehitys liittyy yrityksen liiketoimintamallin kehittämiseen joko suoraan tai epäsuoraan. Teknologia vaikuttaa siihen, mitä asiakkaalle voidaan tuottaa ja tarjota. Teknologia liittyy myös siihen, kuinka tulovirtaa luodaan ja kuinka arvolupaus luodaan. Keskeistä on tietysti aina määritellä huolella se, kuka kykenee nämä asiat orkestroimaan luotettavasti ja uskottavasti. Periaatteessa teknologinen kehitys on asteittain lisännyt erilaisten tuotteiden ja palveluiden tarjontaa ja tarjoamaa. Teknologinen kehitys on myös mahdollistanut mm. digitalisaation myötä uusia tapoja luoda arvoa ja kehittää uusia liiketoiminta- ja tulomalleja. Samoin teknologinen kehitys on mahdollistanut uusia tapoja organisoida arverkkoja. Esimerkiksi voimakkaasti yleistyneet uudet alustatalouden mallit nojaavat innovatiiviselle uusien digitaalisten teknologioiden hyödyntämiselle, ohjelmistoille ja algoritmeille (Chouddary 2015). Tyypillinen tapa kehittää liiketoimintamallia on ollut tehdä yritykselle ns. business model canvas, johon tiivistetään yhteen näkymään keskeiset asiat yrityksen toimintojen ja sen avaintuotteiden ja -palveluiden suunnittelusta mukaan lukien sen rahavirrat ja kanavat, sekä yhteistyökumppanit (ks. Osterwalder 2004; Osterwalder & Pigneur 2010).

Liiketoimintamallit ja erityisesti niiden käytännön toteutus perustuu yrityksissä dynaamisten kyvykkyyksien hyödyntämiselle (Teece 2007). Liiketoimintamallit, dynaamiset kyvykkyydet ja strategia liittyvät aina toisiinsa (Teece 2018). Kuvassa 8 on esitetty vaihekuva dynaamisista kyvykkyyksistä, liiketoimintamalleista ja strategiasta. Raportissa ja tiekartassa käytämme Teecen vaiheiden termejä englanniksi: Tunnista – Sensing, Muuntele – Seizing ja Siirry/muunna – Shifting.

Teknologiaennakointi liittyy liiketoiminnan osalta uusien mahdollisuuksien tunnistamisen vaiheeseen. Yrityksessä tarvitaan dynaamisia kyvykkyyksiä, jotta se voi toteuttaa valitsemaansa liiketoimintamallia. Nyt käsillä olevat tutkimus pyrkii tukemaan yrityksiä ja muita yhteiskunnan organisaatioita tunnistamaan teknologian tuottamia mahdollisuuksia ja siten edistämään uusien liiketoimintamallien kehittelyä. Kuvan 8 vaihekuva voi auttaa yrityksiä ja muita liiketoimintoja kehittäviä tahoja toteuttamaan uusia liiketoimintoja vaiheittaisesti ja systemaattisesti. Haasteena on tietysti HFE-osaamisen ja -tiedon hyödyntäminen ja huomiointi kaikissa näissä kolmessa eri vaiheessa: Tunnista – Sensing, Muuntele – Seizing ja Siirry/muunna – Shifting.

Ongelmana on usein se, että uudistusta ja kehitystä johdetaan teknologia edellä, eikä ole integroitu tai mietitty ihmisen työvaiheita prosesseissa riittävästi. Tämä ERGO 2030 -tutkimus tarjoaa yleispätevän ratkaisun sen osalta, miten ennakoiva HFE-suunnittelu voidaan nähdä olennaisena osana yllä esitettyä vaiheittaista prosessia.





**Kuva 8.** Dynaamiset kyvykkyydet, liiketoimintamallit ja strategia (muokattu Teece'n (2018) pohjalta).

## Dynaamisen kyvykkyyden eri osa-alueet

Kyvykkyydet kuvaavat asioita ja toimintoja, joiden pohjalta yrityksessä siirrytään kohti tavoiteltua tilaa.



**Kuva 9.** Dynaamisen kyvykkyyden eri osa-alueet (Lin ym. 2016).

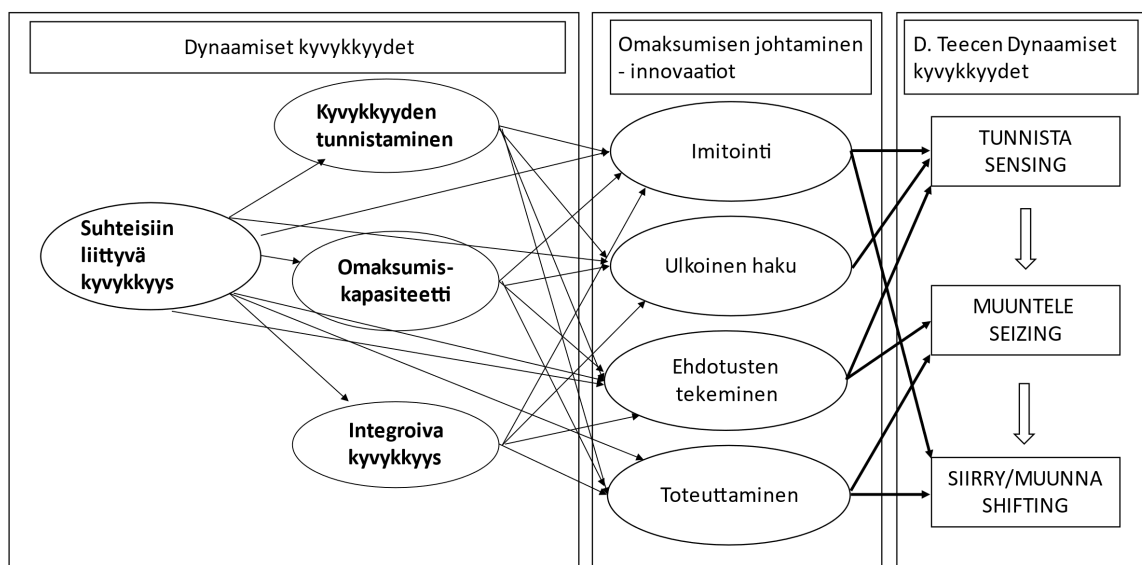
Uuden teknologian ymmärrettäväksi tekemisen (Sensemaking) vaatimat kyvykkyydet ovat kyvykkyyden tunnistaminen ja omaksumiskapasiteetti. Ymmärryksen toteuttaminen (Sensegiving) vaatii suhteisiin liittyvää kyvykkyyttä sekä integroivaa kyvykkyyttä. Esimerkiksi henkilöstöhallinnon rekrytointeja ja muita kehittämistoimenpiteitä on äärimmäisen haasteellista toteuttaa organisaatiossa, jos ymmärrettäväksi tekeminen, kyvykkyyksien tunnistaminen, omaksumiskapasiteetti tai integroiva kyvykkyys (ml. kommunikaatio

ja koordinaatio) ovat epäselviä asioita organisaatiossa. Tarvittavat kyvykkyydet on tässä tiekartassa luokiteltu rakenteellisiin, analyttisiin sekä muutoksen toteuttamiseen ja hallintaa liittyviin kyvykkyyksiin. Walter Pesenti (2016) mukailleen David J. Teeceen (2018) ajatuksia on esittänyt määrittelyn kestävästä liiketoiminnallisesta menestyksestä:

**Operationaalinen erinomaisuus + Dynaamiset kyvykkyydet  
= Kestävä liiketoiminnallinen menestys**

Valmistavassa teollisuudessa on selvää, että yrityksen on pyrittävä operationaaliseen erinomaisuuteen ja dynaamisten kyvykkyyksien jatkuvaan kehitykseen. Apple-yhtymän legendaarinen johtaja Steve Jobs (2021) korosti ns. ”Thinkers – Doers” -ajattelua dynaamisten kyvykkyyksien kehittämisen yhteydessä. Tämän ajattelun perusidea on se, että yritys tarvitsee sekä ajattelijoita että tekijöitä. Jos yrityksessä ei ole riittävästi jompaa kumpaa kyvykkyyttä, yrityksen kehitys ei ole hyvä ja sen liiketoimintamalli ei ole niin hyvä kuin sen kilpailijoiden liiketoimintamallit. Dynaamisten kyvykkyyksien kehittämisen yhteydessä toinen yleinen ajattelumalli on ollut asiaosaamisen ja asiakasosaamisen merkityksen korostaminen. Asiaosaaminen liittyy suoraan operationaaliseen erinomaisuuteen. Asiakasosaaminen taas liittyy ymmärrykseen asiakkaiden tarpeista ja liiketoimintamallin toimivuuteen.

Dynaamisia kyvykkyyksiä erittelemällä voimme esittää seuraavan yleispätevän mallin, joka on myös kytkettävissä Teeceen vaihemalliin. Omaksumisen johtamisessa imitointi ja ulkoinen haku liittyvät sensing -vaiheen tiedon etsintään, jossa huomioidaan mitä halutaan shifting vaiheessa toteuttaa. Ehdotusten tekeminen liittyy aina sensing- ja seizing- vaiheisiin, eli tunnistamisen ja muuntelemisen vaiheisiin Toteuttaminen liittyy taasen voimakkaammin shifting -vaiheeseen eli siirtymisen ja muuntamisen vaiheeseen. Tämä ajattelumalli auttaa yrityksiä suunnittelemaan omaa toimintaansa tehokkaammaksi ja tuottavamaksi.



**Kuva 10.** Dynaamisten kyvykkyyksien hallinta ja sen liittäminen Teeceen (2007; 2018) malliin.

Kuva 10 on tärkeä työväline muutosten hallinnan kannalta organisaatioissa, koska se kytkee dynaamisten kyvykkyyksien hallinnan David J. Teeceen (2007; 2018) vaihemalliin.

## Liiketoimintamalli ja strategia

Kuvassa 11 esitämme lyhyen ja mahdollisimman selkeän kuvauksen liiketoimintamallin roolista, kun uusia teknologioita otetaan käyttöön valmistavassa teollisuudessa. Kun teknologioita ja Teollisuus 4.0 -muutoksia toteutetaan käytännössä, se yleensä vaikuttaa yrityksen liiketoimintamalliin.

### KUMPPANIT

Ketkä ovat tärkeimmät toimittajamme ja alihankkijat  
Ketkä ovat keskeiset kumppanimme?  
Mitä resursseja saamme kumppaneiltamme?  
Mitä ydintoimintoja kumppanimme hoitavat?

### RESURSSIT

Mitä resursseja arvolutuksemme vaatii?  
Mitä jakelukanavamme vaativat?  
Mitä asiakassuhteiden asianmukainen hoitaminen edellyttää yritykseltämme?  
Mitä ansaintamallimme edellyttää ja vaatii?



### RESURSSILUOKAT

Fyysiset materiaalit  
Taloudelliset resurssit  
Henkilöstöt osaaminen ja dynaamiset kyvykkyydet  
IPR -oikeudet  
Henkinen pääoma (Intellectual capital)



### KULURAKENNE

Mitä ovat merkittävimmät kuluerämmme?  
Mitkä resurssit ovat kalleimpia?  
Mitkä yrityksen ydinprosessit ovat kalleimpia?

### MIHIN LIIKETOIMINTAMALLIMME TOIMIVUUS PERUSTUU?

Hintajohtajuus  
Laatu  
Erottautuminen kaikesta muusta

### ARVOLUPAUS

Mitä arvoa tuotamme asiakkaillemme?  
Mitä asiakkaan ongelmia lupaamme ratkaista?  
Millaisia asiakkaiden tarpeita lupaamme tyydyttää?  
Millaisia tuote- ja palvelukokonaisuuksia lupaamme tarjota eri asiakasryhmille?



### ARVOLUPAUKSEN ERI PIIRTEITÄ

Suorituskyky  
Uutuusarvo  
Kustannussäästö  
Ongelman ratkaisu  
Brändiarvo  
Design ja tyylikkyys  
Mukailtavuus  
Riskien hallinta  
Saavutettavuus  
Mukavuus  
Käytettävvyys



### JAKELUKANAVAT

Miten arvolutaus toimitetaan asiakkaalle?  
Miten jakelukanavat muuttuvat asiakassuhteen eri vaiheissa?

### KANAVAN VAIHEET

TUNNETTUUS: Miten asiakas tulee tietoiseksi yrityksestämme?  
HANKINTA: Miten asiakas ostaa yritykseltä eri tuotteita ja palveluita?  
TOIMITUS: Miten toimitamme asiakkaillemme arvolutuksemme?  
ARVIOINTI: Miten asiakkaamme voivat arvioida asiakaslupaustamme?

### YDINTOIMINNOT

Mitä ydintoimintoja arvolutuksemme edellyttää?  
Mitä asiakkaan ongelmia yrityksessä ratkaisemme?  
Millaisia asiakkaiden tarpeita tyydytämme yritystoiminnalla?  
Millaisia erilaisia tuote- ja palveluyhdistelmiä yrityksemme tarjoaa asiakkaille?



### TULOVIRRAT

Mitä asiakkaamme ovat valmiita maksamaan?  
Mistä asiakkaat maksavat nykytilanteessa?  
Miten asiakkaat nyt maksavat?  
Miten asiakkaat halusivat maksaa? Miten tulevaisuudessa?  
Mikä on tulovirran tyyppi?  
Mikä hinnoittelumalli?  
Mikä on eri tulovirtojen osuus kokonaistulovirrasta?



### TULOTYYPIT

Myynti  
Käyttö  
Tilaus  
Vuokraus  
Leasing  
Lisensointi  
Välityspalkkio  
Mainostulot  
Bonusjärjestelmät

### ASIAKASSUHDE

Millaista asiakassuhdetta asiakkaat odottavat meiltä?  
Millaisia ovat nykyiset asiakassuhteemme?  
Mikä on liiketoimintamallimme nykyinen ja tuleva asiakassuhde?  
Miten ennakoimme asiakassuhteiden kehityksen (määrä, pysyvyys jne.)?  
Mitä asiakassuhteiden ylläpitäminen vaatii nyt ja jatkossa?

### ASIAKASRYHMÄT

Kenelle tuotamme arvoa?  
Keitä ovat tärkeimmät asiakkaamme (avainasiakkaat)?

### LUOKITTELUT

Massamarkkinat  
Niche-markkinat  
Segmentointi  
Laajentaminen  
Moninaiset alustat  
Eri alustatalouden mallit ja vaihtoehdot  
Massadatan jakamismallit asiakassuhteiden osalta



### ESIMERKKEJÄ ASIASKASUHTEEN OSALTA

Henkilökohtainen palvelu  
Itsepalvelu  
Räätälöity palvelu  
Automaattinen palvelu  
Yhteisöt  
Yhteistoiminta  
Osallistuminen  
Jakelukanava-asiakassuhde-arvonluontimalliyhdistelmät



**Kuva 11. Liiketoimintamallin laatiminen. SC5 Business Model Canvas päivitettyä. (ks. Osterwalder & Pigneur 2010).**

Taulukko yhden liiketoimintamallin laadintakehikkoa kannattaa hyödyntää yrityksessä, kun isoja teknologisia muutoksia tehdään valmistavassa teollisuudessa. Käytännössä se voidaan tehdä alla olevan taulukon 1 pohjalta. Taulukko toimii tarkastuslistana nykyisen liiketoimintamallin ja uuden murroksen kautta syntyvän liiketoimintamallin tarkastelun osalta.

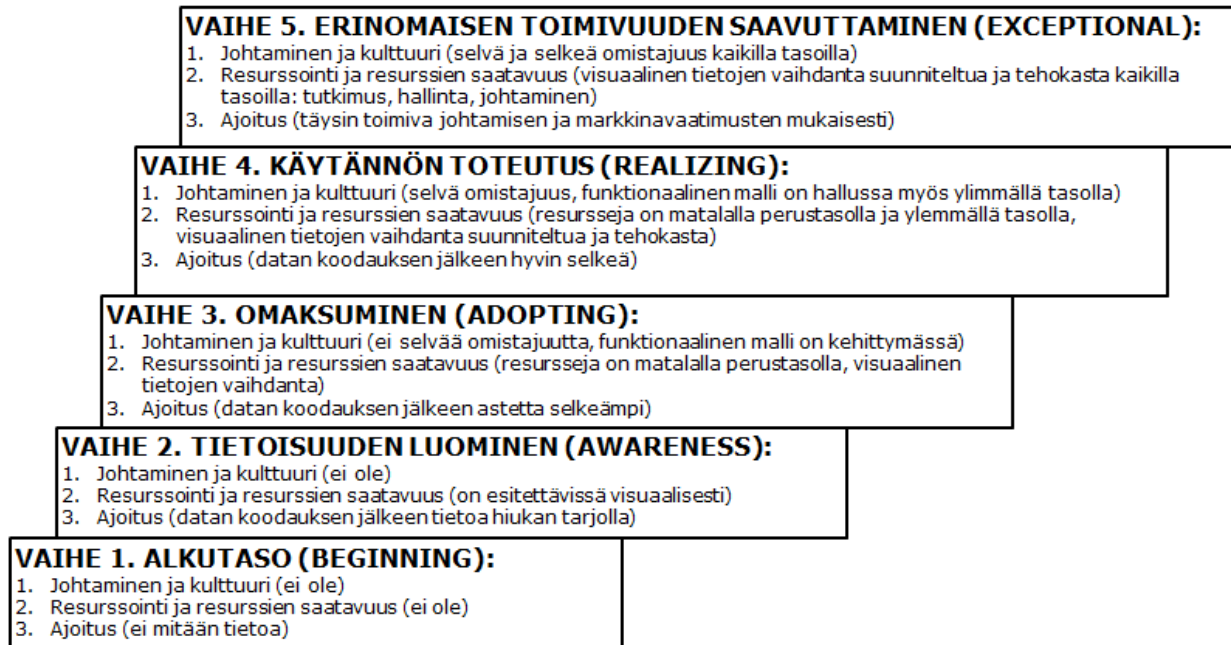
*Taulukko 1. Liiketoimintamallin perusrunko yrityksille täytettäväksi*

	Liiketoimintamalli nyt	Liiketoimintamalli tulevaisuudessa
Kumppanit		
Resurssit		
Resurssiluokat		
Kulurakenne		
Ydintoiminnot		
Tulovirrat		
Tulotyytit		
Hinnoittelumalli		
Arvolupaus		
Arvolupauksen piirteet		
Jakelukanavat		
Kanavan vaiheet (Tunnettuus-Hankinta-Toimitus-Arviointi)		
Asiakassuhde		
Asiakasryhmät		
Asiakkaan palvelumalli(t)		

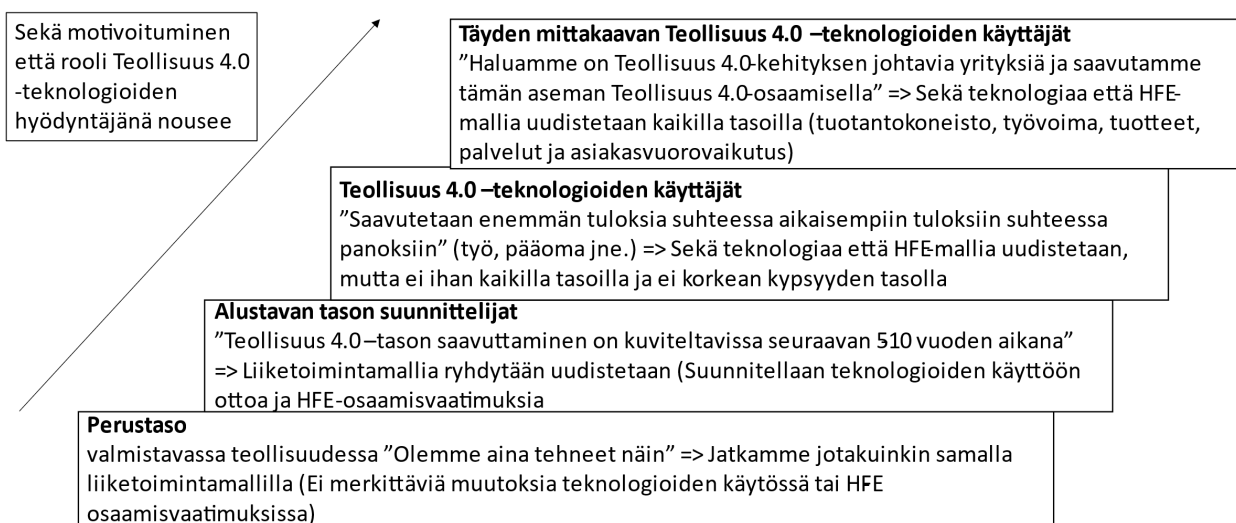
## Johtamisen maturiteettimalli

Esitämme kuvassa 12 johtamisen maturiteettimallin, joka voi olla hyvä lähtökohta kehittää yrityksen sisäistä johtamista. Tämä malli liittyy erinomaisuuden tason saavuttamiseen operationaalisessa toiminnassa.

Kun vielä tarkastelemme Teollisuus 4.0 -osaamien kehittämistä voimme esittää saksalaisen mallin Teollisuus 4.0-kehittämisen osalta (Müller ym. 2018). Myös valmistavassa teollisuudessa yritykset ovat eri vaiheessa suhteessa Teollisuus 4.0 -haasteisiin (Kuva 13).



Kuva 12. Johtamisen kyvykkyyden vaiheet (UX kypsyyssmalli, Fraser & Plewes 2015).



Kuva 13. Saksalainen kypsyyssmalli uudistettuna Teollisuus 4.0 -kehityksen ja HFE:n osalta (muokattu Müller ym. 2018 pohjalta).

Kuvassa 13 esitettyyn kypsyyssmalliin olemme lisänneet Teollisuus 4.0:n lisäksi HFE:n kypsyyssmalli tasot. Kypsyyssmallia käytettäessä on ensin tarkasteltava nykytilaa organisaation rakenteissa, toimintatavoissa, resursseissa ja järjestelmissä. Kypsyyssmallissa teknologiset ja HFE -kyvykkyydet ovat osa yrityksen pääomaa ja resursseja. Myös pienet yritykset pystyvät kilpailemaan erityisesti kyvykkyyksien avulla. Mitä selkeämmin yrityksessä on tietoa sen kyvykkyyksistä, sen paremmin niitä pystytään hyödyntämään siirryttäessä kypsyyssmallissa seuraavalle tasolle. Joidenkin kyvykkyyksien kohdalla joudutaan päättämään, miten tarvittava seuraavan tason uusi resurssi varmistetaan ja hankitaan, jos sitä ei ole omassa organisaatiossa.

# ERGO 2030 -HANKE

**Arto Reiman, Elina Parviainen, Theresa Lauraéus, Esa-Pekka Takala ja Jari Kaivo-oja**

Tässä raportissa esitettävä tiekartta perustuu Anita ja Olavi Seppäsen muistosäätiön rahoittamaan hankkeeseen "ERGO 2030 – Edelläkävijäanalyysi ja tiekartta ergonomiakyvyyksien hallintaan valmistavassa teollisuudessa Suomessa" (Takala ym. 2021). Tiekartta on syntynyt induktiivisen tutkimusprosessin myötä, jossa tutkimuksen myötä kertyneitä havaintoja on iteratiivisesti tuotu mukaan tiekartan kehittämisprosessiin koko hankkeen ajan eri materiaaleja sekä taustakirjallisuutta hyödyntäen. Tiekarttaa rakennettaessa on hyödynnetty tärkeiksi koettuja klassikkoteorioita lähtien Taylorin (1911) tieteellisen liikkeenjohtamisen teorioista työntutkimuksen perusteisiin (Kanawaty 1992) ja päätyen lopulta hankkeessa keskeisesti esitettyihin teorioihin HFE:stä työhyvinvoinnin ja tuottavuuden mahdollistajana (Dul ym. 2012; Thatcher ym. 2018) sekä kyvykkyyksistä, joita tarvitaan kehittämisprosessien mahdollistamiseksi (Teece 2007; 2018). Kehitysprosessin aikana HFE-ajattelua on käsitelty erityisesti suunnittelutieteellisenä kokonaisuutena. Näin kehitysprosessi on saanut vaikutteita erityisesti tuotantotalouden (Salvendy 2001; Sakamoto 2010) ja systeemitekniikan näkökulmista (INCOSE 2015) sekä alan keskeisistä kansainvälisistä standardeista (ISO6385 2016; ISO27500 2016; ISO/DIS27501 2017; ISO45001 2018).

Hankkeessa tunnistettiin suomalaisia valmistavan teollisuuden yrityksiä, joiden tiedettiin soveltavan uusia teknologioita tuotannossaan. Näistä haastateltiin tuotannon prosesseja tuntevia henkilöitä viidessätoista yrityksessä. Yritysten koko vaihteli. Henkilöstömäärältään pieniä yrityksiä oli neljä, keskisuuria neljä sekä isoja seitsemän. Yritysten tuotteet käsittivät kappaletavaraa, koneita ja laitteita, ajoneuvoja, elintarvikkeita sekä lääkkeitä. Yritysten välillä oli runsaasti vaihtelua Teollisuus 4.0 kehityksen toteutuksessa. Yrityksille tehtiin ennen haastattelua esikysely, jossa selvitettiin yrityksissä käytettäviä teknologioita. Noin 1–2 tuntia kestäneet strukturoidut haastattelut toteutettiin korona-epidemiasta johtuen verkon välityksellä vuoden 2020 jälkipuoliskolla. Kuhunkin haastatteluun osallistui 2–5 tutkijaa, joista yksi haastatteli ja muut kirjasivat havaintoja. Haastattelut analysoitiin laadullisen aineiston hyvän tieteellisen käytännön mukaisesti.

Seuraavassa tutkimuksen keskeisiä löydöksiä, joiden lisäksi itse tiekarttaan on sisällytetty yksityiskohtaisempia havaintoja.

- Teknologialtaan edistyneimmissä yrityksissä oli selkeät dokumentoidut prosessit tuotannolle ja kehitystoiminnoille. Uudistukset toteutettiin projekteina. Yritysten strategiat määrittivät uudistusten suuntia, joskin myös korjaavalle tai jatkuvalla parantamiselle oli omia prosesseja.
- Suunnittelussa ja varsinkin niiden toteuttamisessa korostettiin sitä, että prosessiin tulisi ottaa mukaan myös niitä työntekijöitä, jotka tulevat toteuttamaan uudistuksen kohteena olevia töitä.
- Isoissa yrityksissä on usein omaa tietämystä ja osaamista uudistuksen yksityiskohtien ja toteutuksen suunnitteluun. Keskisuurissa ja pienissä yrityksissä todettiin tärkeäksi verkostoituminen sellaisten toimijoiden kanssa, jotka pystyvät auttamaan teknisen osaamisen kysymyksissä. Tällöin maantieteellinen läheisyys sekä yhteinen kieli auttavat myös äkillisissä ongelmatilanteissa.
- Muutosten vaikutuksen arviointi rajoittui usein aivan muutoskohdan lähellä oleviin kohtiin prosessissa. Koko prosessiin liittyviä vaikutuksia arvioitiin tai simuloitiin harvoin. Yksi syy on se, että

vaikka uudet teknologiat antavat mahdollisuuden kerätä hyvin monenlaista tietoa prosessista, kokonaisia prosesseja integroivia tietojärjestelmiä on vähän.

- HFE ymmärretään yleensä hyvin suppeasti fyysiseen kuormitukseen ja työasentoihin liittyvänä reagoivana ja korjaavana ergonomiatoimintana. Teknisen koulutuksen saaneilla suunnittelijoilla näytti olevan vain harvoin riittävää tietoa ihmisen toiminnasta ja HFE-tietoutta hankitaan yleensä työterveyshuolloista. Työterveyshuollot kuitenkin osaavat arvioida vain yksittäiseen työpisteeseen liittyviä ergonomiaongelmia, eikä niillä ole riittävää ymmärrystä ja osaamista arvioida työprosesseja kokonaisuutena tässä raportissa kuvatussa HFE-kontekstissa. HFE-asiantuntijuutta ei mainittu osana projektien suunnittelu- ja toteutusvaiheita.
- Uudistumisiin liittyvät päätökset tehdään yleensä taloudellisen tuottavuuden perusteella. Tuottavuuden laskelmista puuttuu yleensä inhimilliseen toimintaan liittyvät laskelmat, koska tämän alueen arvottaminen on yrityksille vierasta ja koska selkeitä malleja ja toimintatapoja liittämään HFE-tietoa ja teoria ihmisten toiminnan kuvaamiseksi ja analysoimiseksi suunnitteluvaiheessa ei juurikaan ole olemassa. Huomio pitäisi kiinnittää teknologioiden, järjestelmien ja prosessien mitoittamiseen huomiota ottaen HFE ja ihmisen kyvykkyys.

# ERGO 2030 -TIEKARTAN LÄHTÖKOHTIA JA PERUSKÄSITTEITÄ

*Esa-Pekka Takala ja Elina Parviainen*

Seuraavassa esitetään muutamia oppikirjatason peruskäsitteitä (Takala & Lehtelä 2015; Kanawaty 1992; Saslwendy 2001; Sakamoto 2010; INCOSE 2015), jotka auttavat ymmärtämään myöhemmin esiteltävää tiekarttaa.

## *Systemiajattelu*

Tiekartassa on keskeistä systemiajattelun näkökulma. Valmistusprosessi voidaan ymmärtää ydinprosessiksi, johon liittyy erilaisia tukiprosesseja (mm. kunnossapito, siivous, ym.). Valmistusprosessit ovat myös yhteydessä yrityksen muihin toimintaympäristöihin (talous, henkilöstö, osto, myynti, markkinointi jne.), sekä asiakkaisiin ja yhteiskuntaan liittyviin rajapintoihin (esim. asiakkaan esittämät spesifikaatiot tuotteille, tuotannon raaka-aineiden ja osien saatavuus, taloudelliset suhdanteet ja lainsäädäntö).

Systemiajattelun mukaan toisistaan riippuvien prosessien systeemissä muutos missä tahansa koko systeemin osassa voi aiheuttaa muutoksia myös muihin systeemin osa-alueisiin. Valmistukseen liittyviä prosesseja pyritään optimoimaan erilaisten asioiden suhteen. On mahdollista, että puutteellisen tiedon myötä osaoptimoidaan jotakin tiettyä osa-aluetta ja aiheutetaan näin suorita tai epäsuoria ongelmia jonnekin muualle.

## *Tiedolla johtaminen*

Systeemin hallinta edellyttää selkeästi jäsennettyä ja loogista tietoa systeemin eri osista ja tasoista, joihin uudistukset ja muutokset voivat vaikuttaa. Uusi teknologia mahdollistaa suurten datamäärien keräämistä prosesseista ja koko systeemistä. Jotta tätä dataa voitaisiin hyödyntää systeemin hallinnassa, se tulee muuttaa päätöksenteossa tarvittavaan muotoon. Lisäksi tarvitaan selkeät päätöksenteon säännöt ja prosessit, joiden toimivuutta voidaan tarkastella myöhemmin päätösten vaikutuksia arvioitaessa. Uusi teknologia antaa runsaasti mahdollisuuksia suurten datamassojen keräämiseen sekä analysointiin ja päätöksentekoon (mm. keinoäly, virtuaaliset simulaatiot, jne.). Ne eivät kuitenkaan anna HFE:hen tarvittavaa tietoa työstä, työympäristöstä ja työn organisoinnin vaikutuksesta kuormitukseen, vaan nämä on edelleen tutkittava ja mitattava olemassa olevin keinoin.

Tiedolla johtamiseen liittyy myös suunnittelu. Muutoksia suunniteltaessa tuotetun tiedon laatu ja käytettävyys on suorassa suhteessa muutoksen onnistumiseen. Mitattavan tiedon tuottaminen, käyttö ja dokumentointi sovitulla ja perustellulla tavalla kartuttaa yrityksen osaamispääomaa oppivan organisaation periaatteiden mukaisesti.

## *Työntutkimus*

Työntutkimus on yleinen termi tekniikoille, joita käytetään ihmisten työmenetelmien tutkimiseen ja mittaamiseen. Työntutkimus on työprosessien ja järjestelmien kehitystyökalu, jolla tuotetaan järjestelmällisesti



kirjattua faktaa kaikista niistä tekijöistä työssä ja työympäristössä, jotka vaikuttavat työn sujuvuuteen, terveyteen ja turvallisuuteen.

Suoritusastoa kuvataan suorituksen määrällä tietyssä ajassa. Mitattaessa aikaa ihmisen suorittamasta työstä, työntutkimuksen tulee aina olla toteutettuna ennen aikamittausta. Tämä siksi, että kyetään vertaamaan yhden työntekijän suoritusastoa työlle asetettujen tavoitteiden mukaiseen ”normaali”-joutuisuuteen.

Työntutkimuksen perusteella voidaan määrittää optimaalisin työmenetelmä ja perustella se niin johdolle kuin työntekijöille. Työntutkimuksella työmenetelmien vakioiminen eliminoi sen, että työntekijä ei aiheuta itselleen ylikuormitusta mahdollisen virheellisen menetelmän vuoksi, eikä työhön käytetty aika vaihtelee merkittävästi työntekijöiden välillä.

Työntutkimuksen hyöty on siinä, että se on tutkimusmenetelmiensä vuoksi systemaattinen, tuottaen kirjattun kuvauksen ja mittaustiedot tiedot työstä ja työympäristöstä. Systemaattisesti tuotettu tieto auttaa kehitystyössä ja päätösten teossa ja luo näin organisaatioon yhteisen kielen ja läpinäkyvyyden työstä ja sen organisoinnissa huomioitavista tekijöistä.

Työntutkimusta voidaan käyttää minkä tahansa työn tutkimiseen ja kehittämiseen aina tehdastyöstä toimihenkilöiden tehtäviin. Se on maailmanlaajuisesti käytetty tutkimusmenetelmä ja siten eduksi tehtäessä yhteistyötä toimittajien ja valmistajien kanssa niin kotimaassa kuin ulkomailla.

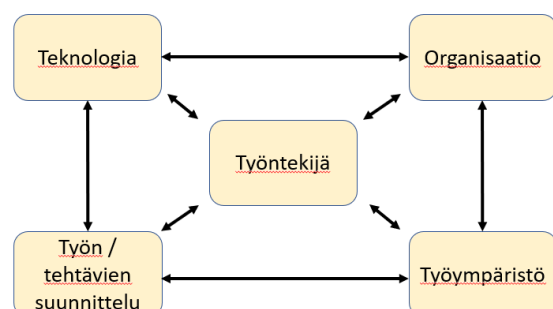
## HFE tieteenalana

Systeemiajattelun mukaisesti työntekijä on osa koko järjestelmää ja kansainvälisesti hyväksytyyn käsityksen mukaan HFE soveltaa teoreettisia periaatteita, tietoja ja menetelmiä ihmisen hyvinvoinnin ja toimintajärjestelmän kokonaissuorituskyvyn optimoimiseksi. Ergonomia (tai erityisesti USA:ssa käytetty käsite ”Human Factors”) on siis ihmisen ominaisuuksien (kykyjen ja rajoitteiden) tunnistamista ja huomioimista systeemin kaikissa rajapinnoissa, joissa ihminen ja systeemi ovat vuorovaikutuksessa. Ergonomialtaan hyvin toteutuvassa työssä ihminen pystyy parhaimpaansa ja tuottavuus paranee. Samalla vähenevät inhimilliset virheet, haitallinen kuormitus, sairauspoissaolot ja tapaturmat, jotka osaltaan heikentävät tuottavuutta.

Ergonomian kenttää on jaoteltu fyysiseen, kognitiiviseen ja organisatoriseen ergonomiaan sen mukaan, mitä tieteen alaa on painotettu. Systeemiajattelun mukaan näitä kaikkia tulee huomioida yhdessä toimintajärjestelmän suorituskyvyn optimoinnissa. Toimintajärjestelmän kokonaissuorituskyvyn vaikuttavat myös asiat, joista on huolehtinut perinteinen työsuojelu, sekä usein HR-toiminnalle vastuutetut työpsykologian kenttään luetut työilmapiiriin liittyvät asiat (mm. johtaminen ja inhimillisen kanssakäymisen pelisäännöt).

## Ihminen työjärjestelmien rajapinnoissa

Käytännössä ihmisen (työntekijän) ja työn välisiin rajapintoihin vaikuttavia tekijöitä voidaan tarkastella osana järjestelmää, jossa ovat mukana työn tekemisen menetelmät ja välineet (teknologia), työympäristö ja töiden organisointi, sekä työn ja tehtävien suunnittelu.

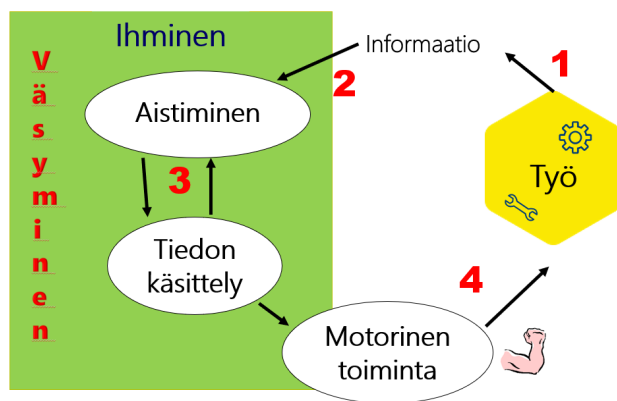


**Kuva 14.** Ihminen työjärjestelmän rajapinnoissa.

Missä tahansa näissä työjärjestelmän osissa tapahtuva muutos voi vaikuttaa työjärjestelmän muihin osiin joko positiivisesti tai negatiivisesti. Siten ergonomiassa ei ole ns. patenttiratkaisuja, vaan toimintajärjestelmän suorituskyvyn optimoinnissa tulee tarkastella näitä kaikkia järjestelmän osa-alueita samanaikaisesti yhdessä. Tuotantoprosessin jossakin vaiheessa todettu haitallinen tilanne voi olla seurausta prosessin aiemmista vaiheista – jopa sellaisista, joissa erityisesti uusinta teknologiaa käytettäessä ole lainkaan ihmistä työntekijänä. Toisaalta työjärjestelmän muutos yhdessä tuotantoprosessin kohdassa vaikuttaa todennäköisesti myös sitä seuraaviin prosessin osiin. Siten työjärjestelmän (ja HFE-toiminnan) optimoinnin edellytys on prosessien analysointi, joka taas edellyttää prosessien pilkkomista mahdollisiin alaprosesseihin, niiden tutkimista ja mahdollisesti mittaamista, sekä dokumentointia.

### *Ihmisen ja työtehtävän rajapinta*

Ihmisen psyko-fysiologisten ominaisuuksien perusteella ihmisen ja työn välistä suhdetta voidaan hahmottaa kuvan 15 avulla.



**Kuva 15.** Ihmisen ja työtehtävän rajapinta.

Ihminen tarvitsee tietoa työnsä kohteesta ja saa sitä aistiensa avulla (informaation havaitseminen ja aistiminen). Havaitun ja tunnistetun informaation perusteella tietoa käsitellään aivoissa ja siitä tehdään päätelmiä (tiedon käsittely), joiden perusteella ihminen muokkaa työn kohdetta. Kaikki työtä muokkaava toiminta tapahtuu motorisena toimintana eli lihasten avulla: Isoja lihaksia käytetään kehon osien liikkeisiin ja asennon säilyttämiseen, pieniä lihaksia kevyisiin hienomotorisiin tehtäviin ja jopa huomaamattomiin liikkeisiin, kuten katseen kohdistamiseen esimerkiksi lukiessa tai tietokoneella tehtävässä työssä.

- Nämä prosessit ovat yleensä tiedostamattomia ja perustuvat henkilön aiempiin kokemuksiin ja kognitiivisiin tietovarastoihin.
- Jos ja kun todetaan työtä haittaavia kohtia näissä eri kohdissa, tulisi nuo tiedostamattomat tehdä näkyviksi, jolloin niihin pystytään vaikuttamaan ja kehittämään työn sujuvuutta.

## HFE-analyysi

HFE-analyysin tulee tässä ihmisen ja työn välittömässä rajapinnassa tarkistaa seuraavia kohteita

1. Työstä saatava informaatio: Tarjoaako työn kohde selviä merkkejä (signaaleja) silloin, kun ihmisen tulisi toimia?
  - Signaalit voivat perustua eri aisteihin; yleensä näkö-, kuulo- ja tuntoaistiin, joskus myös muihin (esim. hajuaistimus kemikaalien havaitsemisessa tai tasapainoaisesti liikkeessä tai ajoneuvojen kuljettamisessa epätasaisella alustalla).
  - Signaalien tulee olla niin voimakkaita, että tärkeät signaalit selvästi erottuvat aisteihin jatkuvasti tulevista muista signaaleista ja hälystä (oltava riittävän suuri kontrasti muuhun informaatioon).
2. Vaikka työn kannalta tärkeät signaalit olisivatkin riittävän selkeitä, saattaa ympäristö vaikeuttaa niiden havaitsemista.
  - Esimerkiksi näkemistä vaikeuttavat riittämätön valaistus tai häikäisy, kuulemista vaikeuttava melu ja kuulosuojaimet, kosketustuntoa heikentävät käsineet tai aistimista rajoittavat muut henkilökohtaiset suojaimet.
  - Myös työntekijän henkilökohtaiset aistimiseen liittyvät ominaisuudet saattavat heikentää tärkeiden signaalien havaitsemista. Toisaalta esimerkiksi lievästi heikentynyt näkö tai kuulo ovat niin yleisiä, että näihin liittyvät ongelmat ovat merkkejä siitä, että työ sinänsä ei tarjoa riittävän selviä signaaleja.
3. Informaation käsittely tapahtuu aivoissa. Käsittelyn edellytys on riittävä tieto ja ymmärrys siitä, miten erilaisia signaaleja ja informaatiota tulee tulkita eli tehtävään tarvitaan osaamista.
  - Havaitseminen ja aistiminen riippuu myös osaamisesta eli millaista tietoa työn kohteesta tulee pystyä havaitsemaan. Kokenut asiantuntija havaitsee yhdellä silmäyksellä tärkeitä asioita kuvasta, josta kokematon ei havaitse mitään erityistä.
  - Havaittavien symbolien tulee olla mahdollisimman helposti ymmärrettäviä. Ymmärrettävyyteen vaikuttaa työntekijän koulutuksen ja osaamisen lisäksi myös työntekijän kulttuurinen tausta. Muulla kuin työntekijän äidinkielellä ilmaistu tieto voidaan tulkita väärin. Samoin tietyn alan ammattisanasto voi johtaa väärinymmärryksiin. Myös kuvallisten symbolien tulkinta voi olla erilaista eri kulttuureissa ja johtaa väärin tulkintoihin erityisesti stressaavissa tilanteissa (esim. liikennemerkkien värit ja sisältö vaikeuttaa ajamista maassa, jonka merkit poikkeavat totutusta).
  - Selkeään informaation esittämiseen tähtäävät ergonomiset ratkaisut auttavat myös parhaita asiantuntijoita ja kokeneita työntekijöitä ja keventävät heidän kognitiivista kuormitustaan eli lisäävät heidän kyvykkyyttään.
  - Yksi rajoittava tekijä tiedon käsittelyssä on ihmisen lyhytkestoinen työmuisti, joka pystyy käsittelemään vain 3–7 asiaa yhtä aikaa. Siksi tiedon visuaalisessa esittämisessä ei pitäisi

olla tätä enempää asioita ja jos asioita on enemmän, ne pitää ryhmitellä tämän suuruiseksi kokonaisuuksiksi käyttäen erilaisia otsakkeita, alaotsakkeita, ala-alaotsakkeita jne.

4. Aivoissa tehdään tulkinta informaatiosta ja päätös sitä seuraavista toimista.

- Olisi tärkeää, että päätöksentekoon liittyvät säännöt olisivat mahdollisimman selkeitä. Selkeitä prosesseja voidaan sitten myös kehittää ja automatisoida.
- Päätöksentekoa vaikeuttaa, jos samankaltaisissa tilanteissa joudutaan tekemään erilaisia päätöksiä. Pahimmillaan seurauksena voi olla virheellinen päätös ja häiriö työssä tai jopa onnettomuus. Näin voi käydä, jos prosessissa esimerkiksi eri valmistajien laitteet tuottavat toisistaan poikkeavia signaaleja ja toimivat erilaisilla logiikoilla.

5. Päätöksenteon seurauksena ihminen reagoi työn kohteeseen lihasten toiminnan välityksellä.

- Tiedostamaton tai tietoinen päätös voi olla joko toimia jollain vaadittavalla tavalla tai sitten jäädä odottamaan seuraavia työstä saatavia signaaleja.
- Vaikeudet informaation havaitsemisessa saattavat johtaa tarpeettoman suureen fyysiseen lihastyöhön. Työntekijä voi joutua omaksumaan hankalia ja fyysisesti kuormittavia työasentoja siksi, ettei hän esimerkiksi pysty näkemään tai tunnistamaan niitä asioita, mitä työstä pitäisi havaita. Suojakäsineet heikentävät sormien tuntoa ja siten tarvitaan suurempaa puristusvoimaa kuin ilman käsineitä, jne.

## *Väsyminen ja elpyminen*

Biologisena olentona ihminen väsyä ja väsymisestä palautuminen edellyttää riittävän pitkiä taukoja niin lihasten kuin aivojen kuormituksessa. Fyysisesti raskaassa työssä väsymisen merkit ovat selvät ja pakottavat ihmisen pitämään taukoja. Kevyessä työssä fysiologisen väsymisen merkit ovat heikompia ja jäävät helposti huomaamatta. Kuitenkin vaikkapa pelkkä etusormen pitäminen hiiren näppäimellä valmiusasennossa johtaa kyynärvarren lihasten väsymistä kuvaaviin fysiologisiin muutoksiin jo kymmenessä minuutissa. Samoin intensiivistä visuaalista havainnointia edellyttävässä tarkastustyössä havainnointikyky heikenee muutamassa kymmenessä minuutissa.

- Mitä raskaampi työ, sen nopeammin ihminen väsyä. Karkeasti voidaan arvioida, että väsymistä alkaa tapahtua viimeistään neljästä kuuteen tunnin työsuorituksen jälkeen myös fyysisesti kevyessä työssä ja yli pitkien työrupeamien viimeiset tunnit tehdään heikommalla työteholla, vaikkei henkilö itse sitä edes havaitsi.
- Väsyminen johtaa helposti virhesuoritukseen erityisesti kiireisessä tai muuten stressaavassa tilanteessa. Pahimmillaan virheet voivat näkyä tuotannon häiriönä tai laadun heikkenemisenä ja jopa tapaturmina.
- Yksitoikkoinen työ johtaa helpommin väsymiseen kuin vaihteleva työ
- Työn fyysinen keventyminen johtaa elimistön sopeutumiseen niin, että keho pitemmän päälle heikenee eikä ehkä siedäkään äkillisiä fyysisiä ponnistuksia yhtä hyvin kuin aiemmin. Äkillinen suuri kuormitus voi sitten johtaa äkillisiin venähdyksiin ja kipeytymiseen.

- Väsymistä voidaan ehkäistä riittävällä tauotuksella. Ongelma on se, että ei voida antaa tutkimustietoon perustuvaa tarkkaa suositusta siitä, miten pitkän työsuorituksen jälkeen pitäisi pitää tauko ja kuinka pitkiä työsuoritusten ja taukojen tulisi olla.
- Kun väsymistä tai haitallista kuormittumista on vaikea osoittaa tarkoilla mittauksilla, tulee ihmisten kokema väsymys ottaa tarkasteluun ja mahdollisten ergonomisten uudistustarpeiden kohteeksi. Tilannetta helpottavia ja järjestelmän toimintaa parantavia ratkaisuja löytyy todennäköisesti parhaiten, kun analysoidaan paitsi työntekijän välittömään lähiympäristöön liittyvät toiminnot (teknologia, työvälineet ja menetelmät, töiden järjestelyt ja organisointi, työympäristö) sekä näiden liittyminen koko työprosessiin mitoittaessa työmäärää ja organisoitaessa työtä koko työvuoron ajalle työn tekemiselle käytettävässä ajassa.

# ERGO 2030 -TIEKARTTA

*Elina Parviainen, Esa-Pekka Takala, Jari Kaivo-oja, Theresa Lauraéus ja Arto Reiman*

## Ohjeistus tiekartan käyttöön

Tämä tiekartta antaa yleispäteviä suuntaviivoja toiminnalle, kun suunnitellaan ja toteutetaan tuotannon uudistuksia ja muutoksia valmistavan teollisuuden yrityksessä. Tiekartan avulla voidaan tarkastella organisaation nykyisiä rakenteita ja toimintatapoja ja luoda niistä entistä parempia.

Tavoitteena on tuottavuuden parantaminen ja koko toimintajärjestelmän tehokkuuden optimointi siten, että samalla huomioidaan ihmisten hyvinvointi (Human Factors /Ergonomics, HFE). Siten tarvittava HFE-asiiantuntijuus ja osaaminen sekä HFE-tiedot ovat kiinteä osa uudistusten suunnittelussa ja toteutuksessa.

Kun tiekarttaa sovelletaan omaan käyttöön, paneudutaan seuraavanlaisiin asioihin:

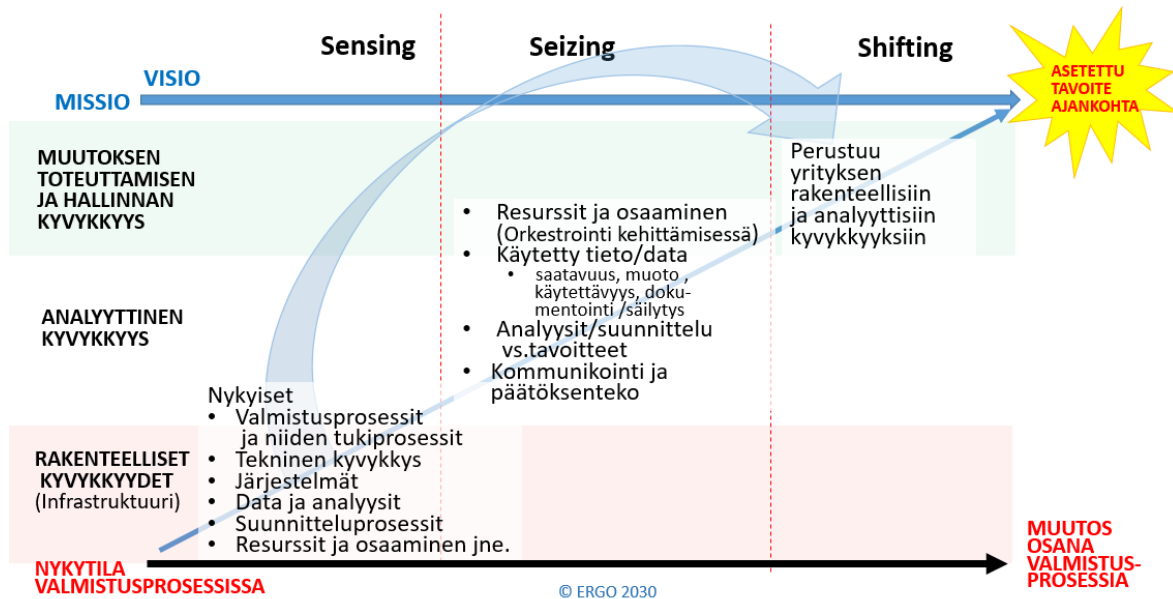
- Oman organisaation nykyiset rakenteet ja toimintatavat. Miten tällä hetkellä suunnitellaan, analysoidaan, tuotetaan ja käytetään tietoa ja dataa, kun tehdään muutoksia sekä hankitaan ja kehitetään uusia teknologioita, järjestelmiä, tuotteita ja tuotannon toimintatapoja?
- Mitä tietoa yrityksessä on dokumentoituna tuotannosta ja etenkin työstä, työympäristöstä ja työn organisoinnista?
- Miten tarvittavaa tietoa ja dataa on tuotettu? Missä muodossa se on? Mikä on tiedon ja datan käytettävyys?
- Mistä tiedot ovat löydettävissä ja kuka niitä käyttää? Miten, mihin ja kenen käyttöön?
- Mitä on nykyinen HFE tieto ja data? Mikä on sen käytettävyys tuotannon muutosten ja uudistusten suunniteltaessa?

## Uusien teknologioiden ja järjestelmien toteuttaminen ja käyttöönotto

Yrityksen missio ja visio määrittävät tavoitetilan, johon pyritään. Muutokseen tarvitaan erilaisia kyvykkyyksiä toteutuksen eri vaiheissa (kts. kuva 16). Tiekartta huomioi uudistumisessa kolme keskeistä vaihetta, jotka luovat pohjan yrityksen toiminnalliselle ja rakenteelliselle kyvykkyydelle: 1) **Uusien teknologioiden ja toimintamallien etsintä (Sensing)**, 2) **niiden muovaaminen omaan käyttöön (Seizing)**, ja 3) **niiden toteuttaminen käytäntöön (Shifting)**.

Organisaation rakenteiden, toimintatapojen ja järjestelmien tutkiminen ja nykytilan tunnistaminen luovat pohjan toiminnan kehittämiseksi. Ilman nykytilan tuntemusta jää toimintaan harmaita aukkoja, jotka kustautuvat tuotannossa laadun, määrän, terveyden, työn tuottavuuden ongelmina ja sitä kautta koko liiketoiminnan kilpailukyvykkyydessä. Muutosten tietojen ja datan dokumentaation jatkuvan päivittämisen myötä valmius ketterään uudistumiseen tulee mukaan prosesseihin.

## Yrityksen uuden teknologian/järjestelmän toteuttaminen ja käyttöönotto



**Kuva 16.** Kyvykkyyksiä, joita tarvitaan uudistusten eri vaiheissa HFE:n toteuttamisen mahdollistajina.

## Vuokaavion selityksiä

Tiekartta kuvataan käyttäen yleisiä vuokaavioiden symboleja. Kartta etenee kolmen päävaiheen kautta, joista tässä dokumentissa käytetään englanninkielisiä nimiä Sensing, Seizing ja Shifting.

Kussakin vaiheessa korostetaan niin kehitys-/uudistusprosessin toteutuksessa muodostettavien työryhmien muodostamista (orkestrointia) ja työryhmien tehtäväkenttään kuuluvien selvitysten, analyysien, sekä niiden toteutuksessa tarvittavan informaation ja datan hankkimista ja tuottamista päätösten teon pohjaksi. Tiekartta korostaa HFE:n huomioimista. Sivun oikeassa reunassa ikoni HFE kertoo, että **HFE** aktiviteetit liittyvät erityisesti HFE:n toteuttamiseen.

Aluksi esitetään kokonaiskuva tiekartan päävaiheista (Sensing, Seizing ja Shifting) ja niiden osa-vaiheista.

Vaiheita selvitetään yksityiskohtaisemmin tekstissä. Punaisella kehyksellä rajattu vuokaavion osa kertoo, mitä vaihetta käsitellään tarkemmin. Esimerkki:

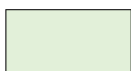


Kuhunkin selittävään osioon on listattu asioita ja aktiviteetteja, jotka tulisi selvittää ja sopia yrityksessä.

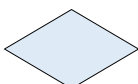
## Tiekartassa käytetyt vuokaavion symbolit



**Dokumentti:** Näissä vaiheissa kuvataan, millaisia asioita dokumentoidaan prosessin eri vaiheissa kommunikoinnin, analysoinnin, suunnittelun ja päätöksen teon pohjaksi/välineiksi. Ainoastaan dokumentoitu faktatieto ja data auttavat tiedolla johtamisessa ja päätöksenteossa.



**Prosessi:** Näissä vaiheissa kerrotaan, mikä vaihe ja mikä tarkoitus eitettyllä prosessilla on tiekartan kokonaisuudessa.



**Valinta:** Näissä vaiheissa kuvataan, mistä päätetään ja mihin päätökset perustuvat. Päätöksentekovaiheet ovat valintoja, joiden taustalla olevilla tiedoilla ja datalla on suuri vaikutus prosessin suunnalle ja etenemiselle.



**Tiedot:** Tiedot kohdassa korostetaan, mistä tiedotetaan organisaatiossa. Tiedot kohdan tieto poikkeaa dokumentaation tiedosta siinä mielessä, että dokumentaation tieto ja data voi muuttua tiekartan prosessin edetessä ja systeemin osien kehittyessä. HUOM! Tämän vuoksi versioiden numerointi, päiväykset ja projektin vaiheen nimi ovat tärkeitä, jotta asiat ymmärretään oikein.



**Ennalta määrätty käsittely:** Tämän symbolin kohdalla korostetaan ennakoivan suunnittelun osa-alueita, jossa projektissa toimivat henkilöt sopivat, missä vaiheessa ja miten sovitaan yhteen suunniteltavan systeemin valmisteilla olevia eri osia.

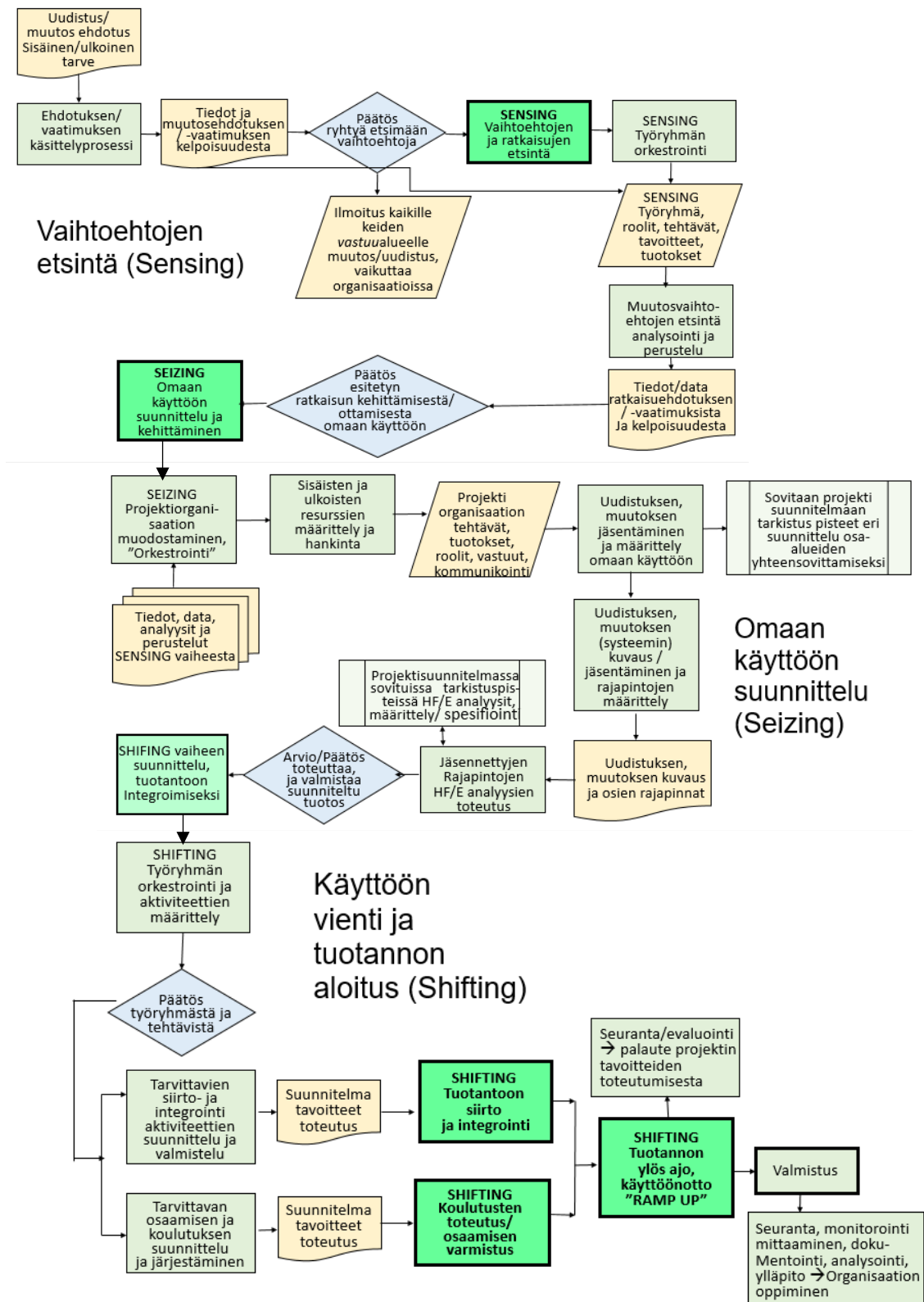
***Vuokaavion läpikäynti yrityksessä vastaa kysymykseen ”Kuinka me toimimme?”  
”Mitä ovat meidän nykyiset kyvykkyytemme ja mitä meidän tulee kehittää?”***

Tiekarttaa voi soveltaa niin nykyisen tuotannon osa-alueen tai kokonaisuuden uusimisessa /muuttamisessa kuin täysin uuden tuotannon suunnittelussa.

**HUOM!** Tiekartan perusajatuksena on, että toimintatapojen kehittämällä tähdätään selkeään taloudelliseen, teknologiseen ja/tai henkilöstöön liittyvään muutostarpeen toteutukseen; siis muutoksiin, joiden toteuttaminen vaatii selvitystyötä, analysointia, suunnittelua, määrittelyä sekä eritasoisten ja -luonteisten päätösten tekemistä. Tiekartan toimintamallia ei tule sekoittaa ns. jatkuvan parannuksen toimintatapaan, joka on pienimuotoisten muutoksien kokeilua ja toteutusta (esim. Lean Kaizen, jatkuvan parannuksen ja hukkan poisto tuotannossa). Tosin sama systematiikka ja vastaavat kokonaisuudet tulisi huomioida pienisäkin kokeiluissa ja muutoksissa, sillä osakokonaisuuksien rajapintojen tulee sopia yhteen niin teknisesti kuin toiminnallisesti koko systeemin (prosessin) kanssa edistämällä suorituskykyä - HFE mukaan luettuna.



# Kokonaiskuva tiekartan vaiheista

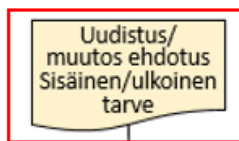


# ERGO 2030 -TIEKARTTA VAIHEITTAIN

## Tarve muutokselle ja uudistukselle

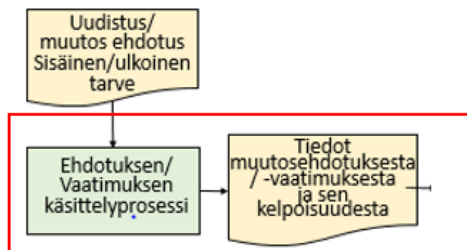
Tunnistusvaihe (Sensing) alkaa jostakin aloitteesta, ideasta tai tarpeesta. Tunnistusvaihe prosessina onnistuu sitä paremmin mitä huolellisemmin ja systemaattisemmin ehdotus tai jopa vaatimus on esitetty ja käsitelty. Riippumatta muutoksen mahdollisesta kiireellisyydestä ja vaikuttavuudesta, on lopputulos ja tulos sitä parempi, mitä kokonaisvaltaisemmin (useammasta näkökulmasta) muutostarve on käsitelty.

### Muutoksen tarpeen laukaiseva tekijä



Muutosvaatimus/-ehdotus voi olla sisäinen tai ulkoinen. Etenemisen jatkoon kannalta on usein merkityksellistä, keneltä se tulee, missä muodossa, mitä tietoa sisältäen ja kenelle se toimitetaan yrityksessä. Joudutaan päättämään, mitä ovat ehdotuksen tärkeys, merkitys, kiireellisyys ja kriittisyys yrityksen toiminnalle.

### Muutos tarpeen käsittely ja siitä syntyvät tiedot



Aloitteen/ehdotuksen esikäsittelyprosessi voi olla myös osa Sensing-vaiheen (ratkaisujen etsintä) prosessia riippuen organisaatioista ja sen toimintatavoista suhteessa strategiaan, kehitystoimintaan ja tapaan, joilla reagoidaan tarpeeseen muuttua ja muuttaa omia toimintatapoja sekä uudistaa tuotantoa.

Keskeisiä kysymyksiä, joihin tulisi vastata muutos-/uudistusehdotuksen tai -vaatimuksen käsittelyssä ovat:

- Miksi tämä muutos tulee toteuttaa?
- Mihin vaiheeseen / osaan tuotantoa muutosta tarvitaan?
- Miten muutos vaikuttaa kyseiseen vaiheeseen?
- Vaikuttaako muutos tuotettavan tuotteen materiaalien käsittelyyn, kokoonpantavuuteen, työmenetelmiin ja näihin liittyvien asioiden määrittelyyn, suunnitteluun, hankintaan ja sitä kautta tuotannon muihin toimintoihin esim. sisäinen logistiikka ja materiaalitydennys, valmistusvaiheiden työvaiheisiin ja menetelmiin jne.?
- Mihin muihin toimintoihin muutos vaikuttaa koko tuotantoprosessissa ja organisaatiossa? Esim. resursointiin, läpimenoaikaan, työn kuormittavuuteen jne.

HFE

HFE

- Vaikuttaako muutos huoltoon, korjaukseen, siivoukseen, hankintaan, taloushallintaan, myyntiin, jne.?
- Tiedetäänkö, miten muutos vaikuttaa ihmistyövaiheisiin tuotannossa? Millaisia muutoksia ja mihin ne kohdistuvat?

HFE

Näihin kysymyksiin vastaaminen johtaa lisäkysymyksiin:

- Mitä tietoa ja dataa käytetään, kun edellisiin kysymyksiin vastataan? Mistä tiedot ovat peräisin, kuinka tuotettu ja miten analysoitu?

Syy muutokseen voi olla asiakkaalta tuleva vaatimus (tuotemuutos) tai yrityksen yleisestä tarpeesta esim. yrityksen johtamiseen ja liiketoimintaan liittyvien keskeisten suorituskyvyn mittareiden pohjalta (Key Performance Indicators, KPI).

***Yrityksen käyttämät suorituskyvyn mittarit ja niiden tuottama data (datan laatu ja käytettävyys), sekä taustalla olevat tiedot, ovat systemaattisen toiminnan, päätöksenteon ja tiedolla johtamisen perustana uudistuksia suunniteltaessa, analysoitaessa ja spesifioitaessa, sekä toteutettaessa.***

Muutosehdotuksia ja -vaatimuksia käsiteltäessä tulee kuvata asiat, joihin muutosehdotuksen tai -tarpeen käsittelyssä on kiinnitetty huomiota ja mitkä asiat on tarkoituksella rajattu ulkopuolelle.

## *Yrityksen tapa käsitellä ehdotukset/vaatimukset*

Jotta yritykseen syntyisi systemaattinen toimintatapa tuottaa suunnittelussa tarvittavaa tietoa ja dataa, on tarkistettava, onko yrityksessä seuraavanlaisia rakenteita ja spesifikaatioita.

1. Onko yrityksellä sovittu ja kuvattu systemaattinen käsittelyprosessi tuotantoa koskevien muutosten ja uudistusten/tarpeiden käsittelyyn?
  - Ennalta mietitty ja kuvattu prosessi muutos- ja uudistus ehdotusten käsittelylle varmistaa sen, että jo ehdotusta käsiteltäessä kiinnitetään huomio niihin asioihin, joilla on vaikutusta tuotannon tehokkuuteen, laatuun, terveellisyteen ja turvallisuuteen. Tämä edesauttaa myös tarvittavan asiantuntijuuden hankkimista muutosehdotuksen käsittelyyn.
2. Onko yrityksessä nimettyjä työrooleja ja/tai henkilöitä, jotka ovat keskeisimpien käytössä olevien teknologioiden- ja prosessien asiantuntijoita; niin sanottuja prosessin omistajia (Process owners)? Hyödynnetäänkö heidän asiantuntijuuttaan ja lausuntojaan muutosehdotuksen käsittelyssä ja päätöksissä viedä asiaa eteenpäin? Onko esim. HFE asiantuntijuus hyödynnettävissä jo silloin, kun muutosta ehdotetaan tai vaaditaan?
  - Jos yrityksessä on nimettynä niin sanotut prosessien omistajuudet, on jokaisella prosessin omistajalla valmiina "omistamansa" prosessin kuvaukset, vaatimukset, edellytykset (spektit, data ja tieto), sekä tieto/data kuvattuna ja dokumentoituna prosessin nykytilasta. Prosessin omistajuus helpottaa työryhmän kokoamista, muutosehdotuksen käsittelyä ja eteenpäin saattamista. Tällöin johtaminen ja päätösten teko perustuvat läpinäkyvään tietoon.
3. Syntyykö käsittelyprosessista dokumentaatio, jossa muutosehdotuksen käsittelyyn osallistuneiden asiantuntijoiden kommentit ja lausunnot ovat kirjattu muutoksen /uudistuksen tarpeellisuuden ja hyödyn näkökulmasta tuotannolle, sekä koko yrityksen toiminnalle siten, että ne tukevat yrityksen strategiaa?
4. Koko etsintä- ja innovointi-prosessin ajan tulisi myös tunnistaa ja analysoida ihmisen ja tuotannon yhteisiä rajapintoja: Muuttuvatko nykyiset ja syntyykö uusia rajapintoja? Mikä on näiden muutosten vaikutus ihmiseen ja tuotantoprosessiin HFE:n kannalta.
5. Voidaanko muutosehdotusta/-vaatimusta käsiteltäessä hyödyntää aikaisempia muutos- ja uudistusehdotuksia sekä niiden käsittelyn ja toteutuksen raportteja? Onko organisaatiossa tiedostoa, johon ehdotuksia, tarpeita ja päätöksiä on tallennettu käsittelykommenteineen?

HFE

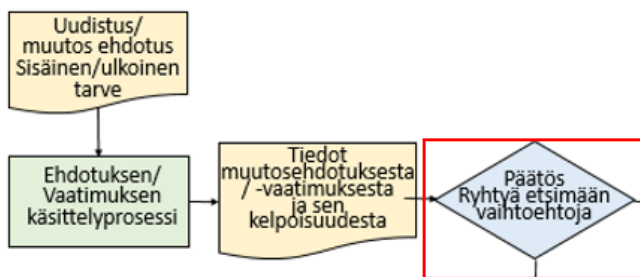
HFE

HFE

- Yleensä tilanteet ja ihmiset vaihtuvat organisaatioissa ajan myötä. Aikaisempien muutosten ja ehdotusten käsittelyn dokumentaatioiden avulla voidaan nähdä, miksi jotkin ehdotukset eivät tuolloin olleet kelvollisia jalostettavaksi yrityksen käyttöön; niistä voi myös löytää ideoita, joita nykytilanteessa voitaisiin hyödyntää.

***Kun yrityksellä on selkeät prosessin omistajuudet ja määrittelyt (speksit), selkiytyy ja helpottuu tuotantoprosessista tarvittavan tiedon ja datan tuottaminen, dokumentointi ja hyödyntäminen organisaation eri tarpeisiin systemaattisesti ja sovitulla tavalla. Tämä luo yhteisymmärrystä ja läpinäkyvyyttä organisaation eri osa-alueiden ja henkilöiden välille. Toimintaa ohjaavien prosessien läpinäkyvyys helpottaa myös HFE:n integrointia osaksi organisaation koko toimintaa.***

### *Päätös muutos-/uudistusvaihtoehtojen etsimiseksi*



Ehdotusten käsittelyprosessin tietojen ja perustelujen pohjalta tehdään päätös, lähdetäänkö muutosehdotusta viemään eteenpäin (etsimään ratkaisuvaihtoehtoja) vai ei. Päätöstä tehdessä on huomioitava että:

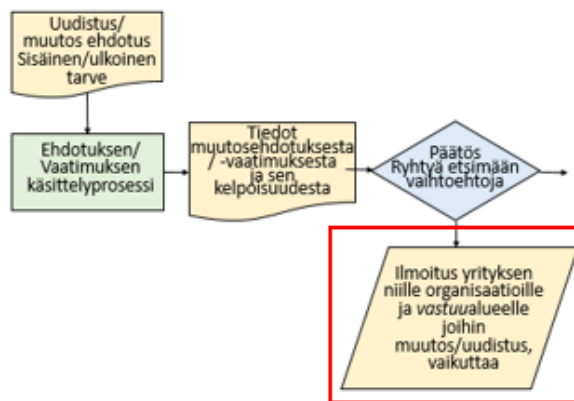
- Eri vaihtoehtojen kartoittamiseen on oltava riittävästi tarvittavaa tietoa ja dataa niistä tuotannon rajapinnoista, joihin etsittävää ratkaisua haetaan asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi ja varmistamiseksi.
- Hoidetaanko ratkaisun etsiminen, muotoilu omaan käyttöön ja käyttöönotto ns. "Ad hoc"-toimintana tapauskohtaisesti vaiko yrityksessä sovitun prosessin mukaisesti?
- Mikäli ei nähdä syytä viedä ehdotusta/tarvetta eteenpäin jalostettavaksi, millä perusteella näin päätettiin ja missä?

Oleellista on, että päätöksessä huomioidaan seuraavat kolme näkökulmaa:

1. Taloudellinen
2. Tekninen
3. Henkilöstö

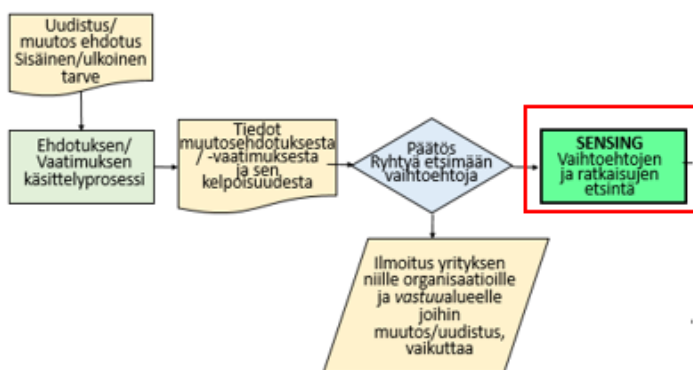
HFE

## Tiedottaminen muutos-/uudistus vaihtoehtojen etsinnästä



Kun ehdotuksen/muutostarpeen käsittely on suoritettu ja päätetty lähteä etsimään ratkaisua ehdotuksen toteuttamiseksi, on syytä varmistaa, keille kaikille tästä tulee tiedottaa organisaatiossa ja miksi? Ketkä ja missä organisaation osissa tekevät lopullisen päätöksen ehdotuksen jatkojalostamisesta yrityksen omaan käyttöön? Tarvitaanko lisäselvityspyyntöjä vai tehdäänkö päätös heti esikäsittelyraportin pohjalta siinä ryhmässä, joka on käsitellyt ehdotuksen tai muutostarpeen?

## Ratkaisuvaihtoehtojen etsiminen (Sensing)



Kun ryhdytään etsimään ja kartoittamaan vaihtoehtoja uudistuksen-/ muutoksen toteuttamiseksi, riippuu vaihtoehtoratkaisujen löytäminen, sopivuus ja hyödynnettävyys pitkälti siitä, minkä tavan yritys valitsee muutoksen suunnittelun ja toteutusvaihtoehtojen tunnistamiseksi ja löytämiseksi.

## Tietolähteitä, joita yritys voi käyttää uudistukseen tarvittavan ratkaisun löytämiseksi

- Google ja muut hakukoneet
- Nykyiset toimittajat ja alihankkijat
- Benchmarking
- Messut
- Alan lehdet
- Korkeakoulut ja ammattikorkeakoulut
- Muut mahdolliset lähteet

Kun haetaan tietoa eri ratkaisuvaihtoehdoista ja/tai yhteistyökumppania, joka tarjoaisi ratkaisuja, on syytä huomioida yrityksen muutos-/uudistus ehdotuksen käsittelyssä tuotettu ja dokumentoitu tieto ja data. Selkeä tieto ja data helpottavat ratkaisuvaihtoehtojen analysointi ja valintaa. Vain muutaman henkilön kokemuksella tehtävät etsinnät ja päätökset voivat helposti kariutua, kun muutoksia viedään käyttöön.

HFE

Yhteistyökumppania etsittäessä ja valittaessa on huomioitava, millainen asiantuntemus ja osaaminen yhteistyökumppaneilla on

- uusien teknologioiden suunnittelusta, toteutuksesta ja käyttöön saattamisesta?
- tulevassa suunnitteluprojektissa?
- HFE-asiantuntemus?

Ratkaisuvaihtoehtoja etsittäessä on kiinnitettävä huomiota siihen, mitä pidetään merkityksellisimpänä tekijänä eri vaihtoehtoja vertailtaessa:

- Tekniset vaatimukset?
- Taloudelliset vaatimukset?
- Henkilöstö (inhimilliset) vaatimukset?
- Kaikki kolme edellistä

HFE

### Sensing-työryhmän muodostus (orkestrointi)



Muutosratkaisuja etsivän ryhmän rakenne ja toimintatapa vaikuttavat suuresti siihen, millaisiin vaihtoehtoihin ja ratkaisuihin päädytään. Mietittäviä asioita ovat:

- Onko muutosratkaisua etsivillä yrityksillä käytössään selkeät prosessit (kuvaukset), miten etsitään ja kuinka eri ratkaisumallien etsimiseen ja benchmarkingiin valmistaudutaan? Ovatko etsimisessä/innovoinnissa vastuullisiksi määritellyt henkilöt ja vetäjä yrityksestä vai käytetäänkö ulkopuolisia?
- Ketä osallistetaan? Kuka/mikä määrittelee osallistumisen ("orkestroi")?
- Resurssien määrittely. Henkilöiden asiantuntemus?
- Missä ajassa etsiminen/ innovointi on kulloinkin tapahduttava? Mikä määrittelee aikataulun?
- Onko mukana/ käytössä HFE-asiantuntija, jolla on osaaminen ja asiantuntemus siitä, mitä HFE-tietoa tulee käyttää tässä kyseisen muutoksen etsimisen yhteydessä? Tarvitaan holistinen näkemys ja systeemi-ymmärrys.
- Kun käytetään ulkopuolisia yhteistyökumppaneita, on osattava kertoa, mihin haetaan ratkaisua, mitä tavoitellaan ja mihin kaikkeen sen uskotaan vaikuttavan. Tarvitaan siis selkeät lähtö- ja tavoitetiedot. Myös HFE-tarve tulisi määritellä.
- Messuille valmistautuminen ja toiminta. Miten valmistaudutaan? Miten edetään, jos ja kun "jotain" löytyy?
- Korkeakoulujen ja oppilaitosten kanssa toimittaessa joudutaan miettimään, miten näiden toimintatavat, resurssit ja tavoitteet sopivat yhteen yrityksen tavoitteiden kanssa.

HFE

HFE

HFE

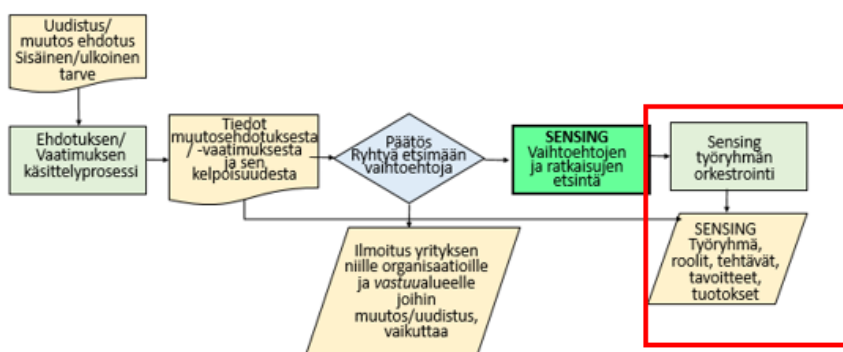
HFE

- Laitevalmistajien yms. toimittajien kanssa sovittavat toimintatavat eri vaihtoehtoja punta-roitaessa. Millainen on etsivän yrityksen edustus/yhteistyökumppanin edustus? Sisältääkö palveluun pelkkä etsintä, vaiko myös mahdollinen suunnittelu ja toteutus? Mikä on alihankkijan kyvykkyys HFE mukaan lukien?

HFE

**Keskeistä on kyetä tunnistamaan ja varmistamaan tarvittava osaaminen ja kyvykkyys toteuttaa tavoitteeksi asetettuja tehtäviä. On sovittava ja kirjattava selkeästi tehtävät, tavoitteet, roolit ja vastuut, sekä mahdolliset omistusoikeudet (IPR) syntyviin tietoihin, dataan ja ratkaisuehdotuksiin.**  
**HUOM! Nämä myös HFE:n huomioimisessa ja analysoinnissa!**

### Muutosvaihtoehtojen etsinnän suunnittelu ja toteutus

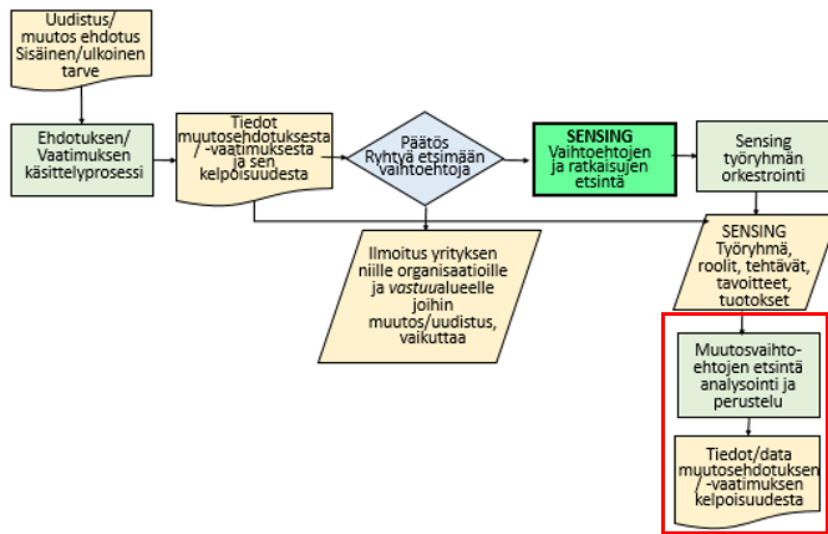


Kun muutoksen-/uudistukseen tarvittavan ratkaisun etsimiseen määritelty työryhmä on koottu ja nimetty sekä sovittu toimintatavat, roolit, vastuut, ja tarvittavien tietojen tuottaminen, tarkastetaan vielä etsimisessä käytettävät lähtötiedot ja tavoitteet, sekä aikataulu, jonka mukaan toimitaan.

**Ratkaisuvaihtoehtojen etsintä, analysointi ja valinta vaihtelevat riippuen uudistuksesta ja muutoksesta sekä siitä, millaisilla lähtötiedoilla ja resursseilla ratkaisun etsiminen tapahtuu.**

HFE

## Sensing-vaiheen toteutus ja tuotokset



Muutos- ja uudistusratkaisujen etsinnän tuloksena tuotetaan tietoa eri vaihtoehtoista. Mitä läpinäkyvämmiin ehdotuksiin voidaan verrata tuotannon nykytilaan, sen helpommin ja varmemmin voidaan päättää seuraavaan vaiheeseen siirtyminen.

Päätöksen tueksi tarvitaan:

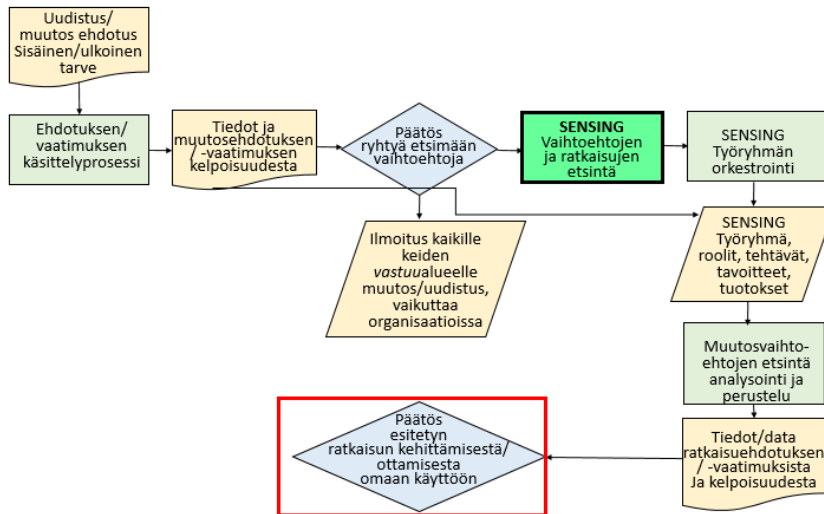
- Perustelut ehdotuksen toteutuskelpoisuudelle. Voidaanko toteuttaa sellaisenaan vai muokattuna ja/tai itselle täysin suunnitellun uuden ratkaisun toteuttamisen kautta? Onko HFE mukana? Millaista muokkausta tarvitaan omaan tarpeeseen? HFE
- Selvitykset ja laskelmat muutoksen vaikutuksesta muutoskohteen parantumiseksi tuotantoprosessissa (tehokkuus (mittarit!), laatu, kustannukset, HFE (työn kuormitustekijöiden muutokset +/-, sekä kokonaisprosessin suorituskyky tavoitteiden pohjalta). HFE
- Selvitys muutoksen vaikutuksesta/muutoksista tuotantoprosessin tukifunktioihin, sekä tuotannon organisaation toimintaan.

**Tässä vaiheessa varmistetaan, että suunnittelussa tullaan spesifioimaan HFE. Miten muutos vaikuttaa tuotannon ihmistyövaiheisiin (fyysiset, kognitiiviset ja organisatoriset vaikutukset)?**

HFE



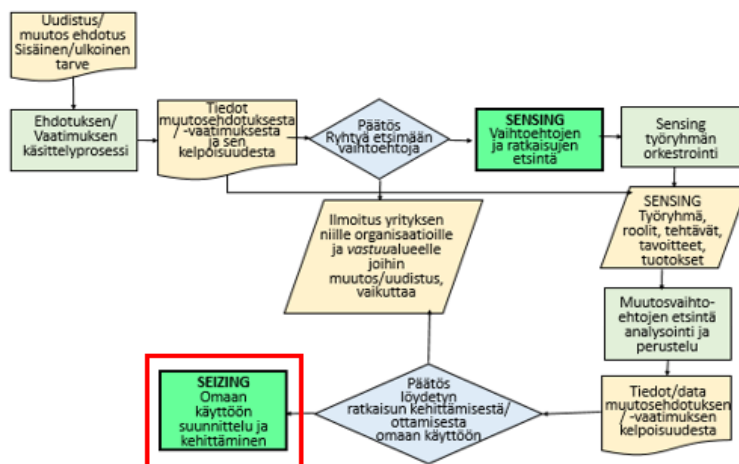
## Päätös hyväksyttävän ratkaisumallin muovaamisesta ja suunnittelusta omaan käyttöön



Lopullista päätöstä tehtäessä on hyvä, että myös organisaation muiden osa-alueiden edustajat (vastaavat) ovat tietoisia päätöksestä – erityisesti jos päätös vaikuttaa heidän vastuualueensa toimintaan.

Tämä päätöksenteon vaihe toimii ensimmäisenä sitouttajana muutoksen onnistuneeseen läpivientiin ja integrointiin osaksi tuotantoa sekä niissä tehtävissä ja vastuualueissa, joihin muutos tulee vaikuttamaan. Kun yrityksessä on osallistettu kaikki ne tuotantoprosessin toiminnasta vastaavat osa-alueet, joihin muutos tulee vaikuttamaan, voivat kaikki tuoda panoksensa uudistuksen onnistuneeseen suunnitteluun ja toteutukseen.

## Suunnittelu omaan käyttöön (Seizing)



## Sensing-vaiheen perustelut Seizing -vaiheen toteuttamiselle

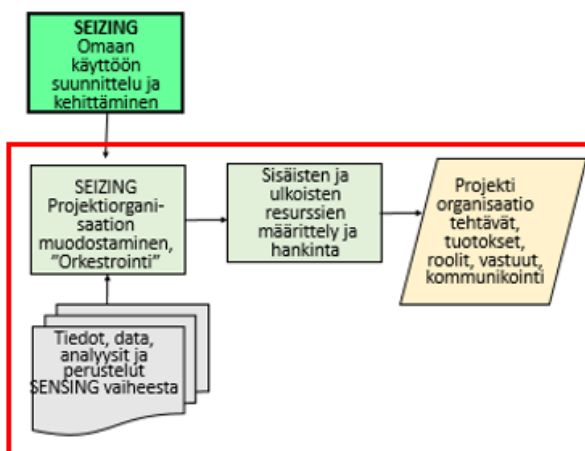
Sensing -vaiheen ratkaisuvaihtoehtojen etsinnässä tehdyt selvitykset (tiedot ja data) sekä tiedot tuotannon nykytilasta (tieto ja data) toimivat omaan käyttöön suunnittelun lähtötietoina. Mitä huolellisemmin Sensing -vaihe on toteutettu, sitä helpompi ja turvallisemmin mielin voidaan siirtyä Seizing -vaiheeseen.

## Organisaation tapa suunnitella ja toteuttaa uudistus/muutos

Mietittäviä kysymyksiä:

- Onko yrityksessä kuvattuna ja käytössä uusien teknologioiden ja järjestelmien kehitysprosessi?
- Huomioiko prosessi niin pienet ja ketterät osakokeilut kuin suuret muutos- ja kehityshankkeet?
- Onko prosessikuvauksessa selvitetty projektien asiantuntijuuden tarve sekä osa-alueiden ja niiden resursoinnissa huomioitavat asiat mukaan lukien HFE:n toteutus läpi suunnitteluprojektin ja muutoksen toteutuksen? HFE
- Onko prosessissa kuvattu/määritelty, millaiset analyysit, laskelmat ja tuotokset tulee olla toteutettuna ja dokumentoituna kehitysprojektissa niin, että muutoksen hyödyt tuotannossa tulevat perustelluiksi seuraavista näkökulmista:
  - Taloudellinen
  - Tekninen
  - Henkilöstö
  - Miten nämä kolme yhdistettynä vastaavat yrityksen strategian pohjalta esitettyihin tavoitteisiin?
- Onko suunnitteluprosessissa mainittu prosessien omistajuudet ja ovatko ne liitetty suunnittelu-, päätöksenteko- ja käyttöönoton vaiheisiin? Onko käytössä HFE-asiantuntija jolla on holistinen näkökulma HFE:n osalta (fyysiset, kognitiiviset ja organisatoriset vaikutukset)? HFE
- Onko suunnitteluprosessissa ohjeistusta siitä, mitä on huomioitava ja sovittava tehtäessä yhteistyötä ulkopuolisen palveluntarjoajien kanssa?
- Onko suunnitteluprosessilla omistajuus ja missä organisaation osassa se on (esim. tuotannossa, suunnitteluosastolla, hallinnossa)? Prosessikuvaukset tarvitsevat ajoittain päivittämistä ja siksi suunnitteluprosessienkuvauksilla tulee olla omistajuus, jotta ne ovat ajan tasalla.

## Seizing-vaiheen suunnitteluprojektin muodostaminen ja orkestrointi



**Suunnitteluprojektin jäsenet** voivat olla samat kuin Sensing-vaiheen työryhmässä toimineet. Yritysten koon, rakenteen ja toimintatapojen mukaan vaihtelee se, hoituvatko kaikki tiekartan vaiheet (Sensing, Seizing, Shifting) saman ryhmän toimesta, vai muuttuuko ja lisääntyykö tai vähentyykö resurssointi prosessin edetessä (esim. ulkoiset/sisäiset resurssien ja asiantuntijuuden tarve; Milloin ja kuinka paljon asiantuntijaa tarvitaan prosessin eri vaiheissa? jne.).

***Projektilla tulee olla mahdollisuus täydentää projektiorganisaatiota siinä vaiheessa, kun on tarkennettu suunniteltavan /tuotettavan uudistuksen osa-alueet ja niiden rajapinnoissa tapahtuva vuorovaikutus sekä HFE systeemin osien rajapinnoissa tapahtuvassa vuorovaikutuksessa.***

HFE

Vaikka yrityksellä olisi käytössään yksittäisiä syväosaajia ja asiantuntijoita, tarvitaan projektin suunnittelun ja toteutuksen johdossa systeemiajattelua sekä kykyä yhdistää eri alojen asiantuntijoiden näkemyksiä, jotta koko järjestelmä tulisi huomioitua uudistuksissa.

Mietittäviä kysymyksiä:

- Miten määritellään projektityöryhmä?
- Projekti johtaminen/osaaminen organisaatiossa. Onko käytössä ”projektin johtamisen käsikirja” ja onko sen hallitseminen vaatimus projektipäällikkyydelle? Sisältääkö projektin johtajuus myös HFE:n sisällyttämisen osaksi projektia? Sisältääkö johtajuus myös systeemin (uudistuksen) jäsentämisen ja osa-alueiden spesifioinnin?
- Mitä ovat yrityksen määrittelemät perusosaamisen vaatimukset, huomioiden nykyinen tuotanto ja olemassa olevat ratkaisut sekä menetelmät tuotannossa? Onko prosessin omistajille määritetty osaamisvaatimuksia? Jos projektissa tarvitaan erityistä osaamista, ovatko nämä henkilöt käytettävissä projektin toteutuksessa siinä määrin kuin projekti tarvitsee (huomioiden tehtävät, tavoitteet, työmäärä, sekä muut ko. henkilöiden päivittäiset perustehtävät).
- Mitä osaamista ja suunnittelupalvelua yrityksessä tyypillisesti ostetaan ulkoa? Mistä?
  - Esim. työterveyshuollot tarjoavat ergonomian asiantuntijoina yleensä fysioterapeutteja, joiden osaaminen rajoittuu HFE:n kapealle alueelle eli fyysiseen kuormitukseen.
- Onko yrityksessä määriteltynä HFE:n sisältö sekä siihen liittyvät tehtävät, roolit ja vastuut, sekä tarvittavat HFE-tuotokset vai oletetaanko, että ulkopuolinen asiantuntija määrittelee ne itse? Jos luotetaan ulkopuoliseen, miten määritetään vastuu lopputuotoksen ergonomisista ratkaisusta ja miten varmistetaan HFE -palvelun tarjoajan asiantuntijuus.

HFE

HFE

HFE

## *Projektisuunnitelma on jokaisen projektissa työtä tekevän työohje*

Projektin suunnitelman laadinnassa tulee määritellä:

- Selkeät roolit, tehtävät, tuotokset, sekä aikataulut (Mitä? Miten? Miksi? Mihin tarkoitukseen?)
- Yhteistyöalueet eri osa-alueiden/toimijoiden kesken: aktiviteetit, vastuut, tuotokset, dokumentointi, kommunikointi, salassapitovelvollisuudet ja tuotosten omistajuudet. Huom! Kun käytetään ulkopuolisia yhteistyökumppanuuksia, on syytä tarkistaa omistusoikeudet ja sopia niistä hinnoittelunkin näkökulmasta. Kuka omistaa uuden ”designingin”?
- Kokonaisaikataulu ja osatavoitteiden aikataulut, jolloin kokonaisuutta tarkastellaan eri osa-alueita yhteen sovitettaessa mukaan lukien HFE (fyysinen, kognitiivinen ja organisaattorinen näkökulma).
- Dokumentointi ja kommunikointi: Mihin dataan ja tietoon tullaan perustamaan päätöksenteko? Mitä analyyseja tarvitaan?
- Selkeä ymmärrys tavoitteista ja kehitystyön etenemisestä projektityöryhmässä ja johdossa sekä siitä, millä perusteilla jatketaan suunnittelua tai se lopetetaan.
- Ulkoa ostettava palvelu projektille:

HFE

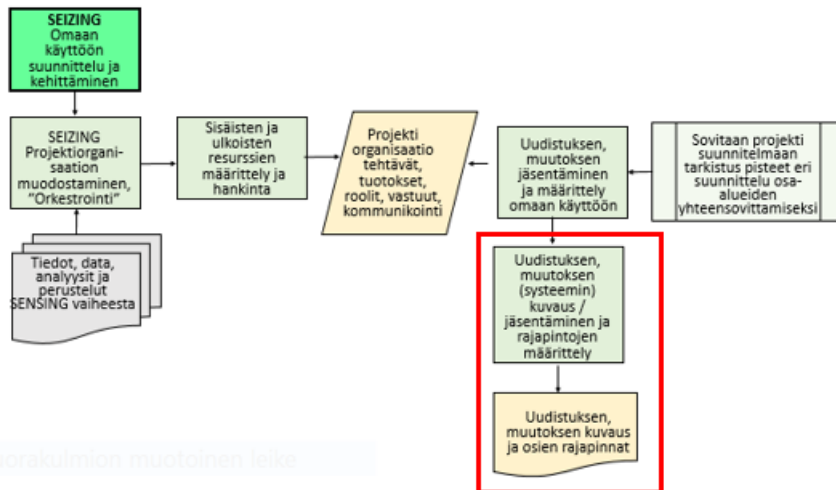
HFE

HFE

- Toimittajalta vaadittavat/odotettavat palvelut ja tuotokset, sekä osaaminen? mukaan luettuna HF/E asiantuntijuus ja data
- Omalta organisaatiolta tuotettavat tarvittavat tiedot ja yhteistyö toimittajan kanssa / tuotokset ja osaaminen? HFE asiantuntijuus ja data mukaan luettuna.

HFE

## Uuden systeemin, järjestelmän, prosessin jäsentäminen ja kuvauksen tuottaminen



Kun projektioorganisaatio on muodostettu ja käsitelty lähtötiedot SENSING -vaiheesta SEIZING -vaiheen suunnittelutyön aloittamiseksi, ryhdytään muutoksen kohteena olevan systeemin jäsentämiseen ja eri osa-alueiden (osaprosessien ja systeemien) rajapintojen tunnistamiseen ja määrittelyyn.

Ihmissen osuuden ja vuorovaikutuksen huomioimiseksi tulee tarkastella seuraavanlaisia asioita:

1. Suunnitelman yksittäisenä kohteena (esim. uusi kone) olevan systeemin osa-alueiden ja niiden välisten rajapintojen vuorovaikutusten tunnistaminen, kuvaaminen ja määrittely siten, että myös ihminen on osa järjestelmää
  - systeemin osien tekniset rajapinnat
  - systeemin osien fyysiset rajapinnat
  - systeemissä tarvittavat käyttöjärjestelmät ja -liittymät
2. Yksittäinen muutos vaikuttaa myös tuotannon muihin rajapintoihin. Näiden osalta tulee määrittellä vastaavat rajapinnat kuin edellisessä kohdassa.
  - Samat kuin kohdassa 1. lisättynä tuotannon rajapinnat
  - Ihmiseen liittyvät rajapinnat tuotannossa: HFE alueet (kognitiivinen, fyysinen, organisatorinen)
3. Suunniteltavan järjestelmän vaikutus muihin tuotannon toimintoihin. Määrittely ja kuvaukset:
  - Huolto: HFE huoltoa toteutettaessa
  - Korjaus: HF/korjausta toteutettaessa
  - Siivous: HFE siivouksessa/puhdistuksessa
  - Materiaalivirrat tuotannossa (käsittely/täydennys): HFE materiaalien käsittelyssä, kuljetuksessa ja materiaalitäydennyksessä
  - Työympäristö, työhygienia (valaistus, ilmastointi, rakenteiden pinnat jne.)

HFE

HFE

**HUOM! Kyseessä on työtehtävien analyysi, jossa keskiössä on HFE tietouden tarpeen tunnistaminen ja spesifiointi siten, että huomioidaan suunniteltavan / toteutettavan muutoksen teknisiä ja toiminnallisia ominaisuuksia ja vaatimuksia suhteessa asetettuihin tavoitteisiin projektissa ja tuotannossa.**

**Tässä vaiheessa syntyy koko projektityöryhmälle yhteinen kuva suunniteltavasta ja toteutettavasta kokonaisuudesta ja sujuvasta vuorovaikutuksesta systeemin ja ihmisen välillä. Kun kukin työryhmän jäsen ymmärtää oman osuutensa projektissa, voidaan eri osa-alueet helpommin sovittaa yhteen asetettujen tavoitteiden toteuttamiseksi.**

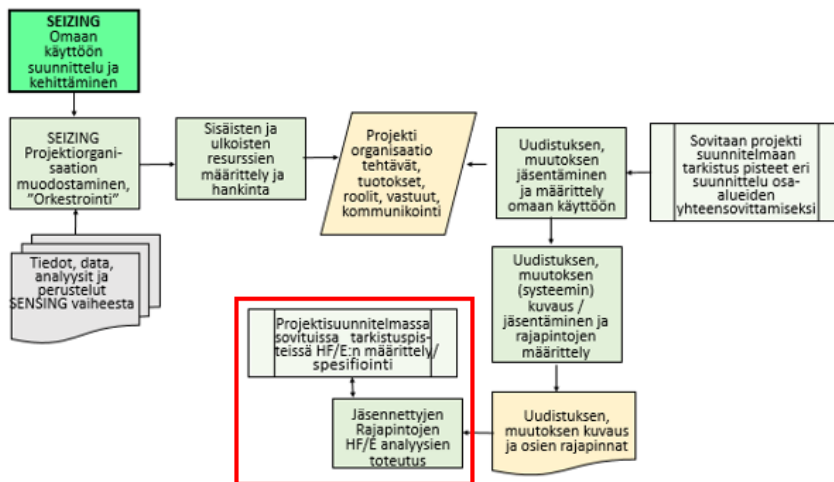
Osa-alueita yhteen sovitettaessa muun muassa seuraavat asiat tulisi määritellä ja kuvata, jotta HFE voidaan spesifioida:

- Tuotannon työvaiheet ja niiden sisältö (+ layout)
- Työvaiheissa käsiteltävät materiaalit/komponentit. Huomioitava käsiteltävyyden ja kokonpanon HFE HFE
- Työvaiheiden työmenetelmät, työvälineet (vaatimukset ja speksit tuotteelle/HFE:lle) HFE
- Työohjeet (+ vaihekohtaiset turvallisuusohjeet)
- Kunkin työvaiheen tavoitteet (laatu, määrä, aika)
- Työntutkimuksen tuottamat mittaus tiedot (mm. ihmistyövaiheiden syklijajat sisältäen taustatiedot työstä)
- Työvaiheen konstruktioiden mittatiedot sekä HFE kriteerit/vaatimukset sisältäen laitteet (esim. puoliautomaattiset laitekonstruktio ja niiden rakenteiden mitat ja laitteiden toiminnalliset tiedot) HFE
- Työympäristön kuvaus ja ympäristöön liittyvät HFE vaatimukset suhteessa suoritettavaan työhön (pinnat, lämpö, värinä, valaistus, melu, ilmastointi jne.) HFE
- Työvaiheissa mahdollisesti tarvittavat tietojärjestelmät ("Softa"); niiden käyttötarkoitus/ käyttö työvaiheessa/ käyttöliittymä, sekä vuorovaikutus muiden järjestelmien kanssa. Kuinka nämä vaikuttavat työvaiheen työn sisältöön ja vaatimuksiin?
- Materiaalivirrat ja täydennys työvaiheissa (Mitä? Kuinka paljon? Miten? Millä työkaluilla? Mistä? Mihin?)
- Korjauksen, huoltoon ja siivoukseen liittyvä HFE; myös ostopalvelujen tuottajien HFE. HFE

**Tässä vaiheessa on tärkeää saada mukaan myös henkilöitä, jotka tuntevat tuotannon työtehtävät ja tukiprosessien käytännöt. Heiltä saadaan käytännön kokemusta ja näkemystä yhdistettäväksi tekniseen suunnitteluun.**

HFE

## Rajapinnoissa tapahtuvan ihmistyön toteutuksen analysointi ja HFE:n spesifiointi



### Mitä analysoidaan ja määritellään, kun suunnitellaan työtehtävän toteutusta ja menetelmiä?

Jokaisen työvaiheen työmenetelmät ja niiden kuormitustekijät tulee suunnitella, analysoida ja määritellä:

HFE

- Fyysiseen kuormitukseen vaikuttavat erityisesti työn fyysinen ympäristö (pystykö ihmisen tekemään työtä optimaalisessa asennossa? Lämpötila), työn tekemiseen tarvittava lihasvoiman käyttö, sekä tarkkuusvaatimukset, joita määrittävät kokoonpanoteollisuudessa mm. välineiden, jigien, pienlaitteiden ja materiaalien/komponenttien käsiteltävyys, kokoonpantavuus ja käytettävyys. Näiden ohella käsin tehtävät taakkojen nostot ja siirrot voivat aiheuttaa kuormituksen lisäksi jopa tapaturmia.
- Kognitiivista kuormitusta määrittävät mm. työstä saatavan informaation havaitseminen ja tunnistaminen sekä tiedon käsittelyn sujuvuus, kommunikointi ja raportointi.

Analysoinnissa käytetään tuotesuunnittelun tietoja (mekaniikka-, materiaali- ja design-kuvia sekä ko. asioihin liittyvää HFE tietoa, standardeja, suosituksia, viite- ja raja-arvoja). Kun työmenetelmiä analysoidaan ja suunnitellaan, oleellista on tietää asetetut tavoitteet työlle (tuotoksen määrä ja laatu työn tekemiselle suunnitellussa ajassa). Näiden avulla lasketaan läpimenoaikoja ja määritellään resursseja. Työtahdin ja lopullisen kuormittavuuden määrittävät em. kolme asiaa (aika, määrä ja laatu) suhteessa ihmisen ominaisuuksiin ja työn ihmiselle asettamiin vaatimuksiin (kognitiivinen ja fyysinen ergonomia).

Tarkasteltavia asioita ovat mm.:

- *Työvaiheiden layout ja konstruktioiden mitoitukset* niin, että työmenetelmä voidaan toteuttaa optimaalisella tavalla. Hyödynnetään käytössä olevia ja työn alla olevia layoutteja ja työpisteiden rakenteiden kuvia. HFE määritellään suhteessa työvaiheiden sisältöön, rakenteisiin ja työmenetelmiin.
- *Työympäristöön liittyvät tekijät* ja niiden optimaalisuus työmenetelmän toteuttamiseksi huomioiden tavoitteet. Näitä ovat mm. koko tuotannon layoutin tiedot ja hygienian vaatimukset. Hyödynnetään tehtaan layout-piirustuksia sekä vaatimuksia ja tietoja, joita tarvitaan työympäristön suunnittelussa. Lisäksi vaikuttavat materiaalin virtaukset, kuljetustavat, määrät ja aika, jossa materiaalit liikkuvat eri pisteiden välillä.
- *Uudistuksen, systeemin/ järjestelmän liittämiseen nykyiseen rakenteeseen ja toimintaan saattaa liittyä erityispiirteitä*, jotka tulisi huomioida, kuvata ja spesifioida, sekä ohjeistaa, kun uudistus liitetään kaikkine osineen ja muutoksineen osaksi tuotannon prosesseja.

HFE

HFE

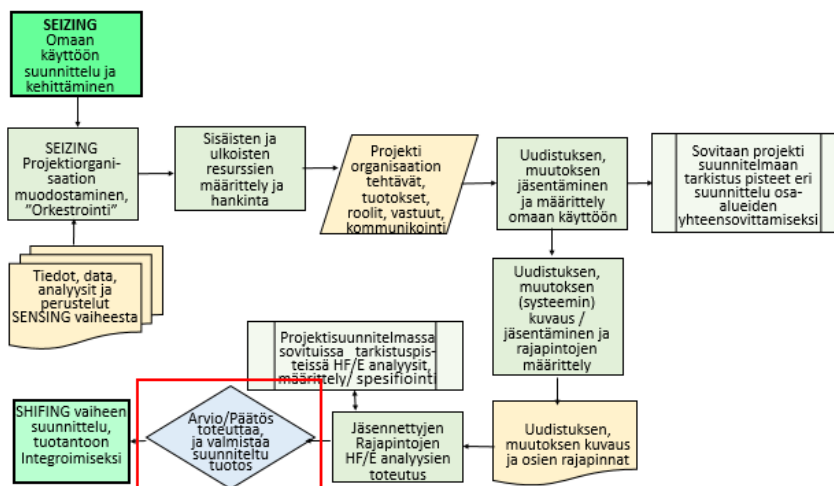
- Uudistuksen "sivutuotteena" voi tulla järjestelmiin vaiheita ja työvälineitä, jotka muuttavat lopullisen työjärjestelmän sisällön. Tällöin tulee suunnitella myös työvälineisiin ja osaaamiseen tarvittava koulutus HFE:n näkökulmasta; esim. mitä muutoksia tulee olemassa oleviin työkaluihin, jigeihin, ympäristöön, rakenteisiin, työmenetelmiin, osaamiseen jne. HFE
- *Tulevien työtehtävien organisointi ja tavoitteet* uudistuksen implementoinnin jälkeen koko valmistusprosessissa, huomioiden myös tukifunktiot. Työmenetelmä-ohjeet, laske-  
tut tavoitteiden määrät ja laatuvaatimukset, työvaiheiden (sykliajat) ja niiden jakautumi-  
nen työvuoron ajalle. Näiden avulla tehdään laskelmia tarvittavasta kapasiteetista ja resursseista. HFE
- Digitalisaation osuus työssä: erityisesti käyttöliittymien ja järjestelmien toimivuus. Suunnittelussa tulee huomioida digitaalisten järjestelmien käyttötarkoitus valmistusprosessin kokonaissuoritusky-  
vyn osana ja järjestelmän käyttöliittymät niissä paikoissa kokonaisprosessia, joissa ihminen tarvit-  
see tietoa järjestelmästä tai tuottaa tietoa järjestelmään. Hyvän suunnittelu avulla parannetaan  
kognitiivista suorituskykyä sekä vähennetään ylikuormitusta ja siihen liittyviä virheitä.

**Koulutusta tarvitaan, mutta sillä voi olla vaikea paikata huonoa ergonomian suunnittelua!**

**Projekteissa tuotettava data ei ole ensisijainen tavoite, vaan väline uudistus-/muutoskokonaisuuden osien yhteensovittamisessa. Datan avulla analysoidaan muutoksen osioiden välistä vuoro-  
vaikutusta ja toiminnallisuutta uudistuksen/ muutoksen kokonaissuorituskyvyn,  
sekä terveellisyyden ja tuottavuuden varmistamiseksi.**

**Suunnittelussa tulee pyrkiä vastaamaan kysymykseen: "Millaista kuormitusta tulee esiintymään  
työvuoron aikana ja missä tehtävissä? Miten paljon ja miksi?"**

*Valmistuneen spesifikaation lopputarkastus ja päätös omaan käyttöön valmistamisesta*

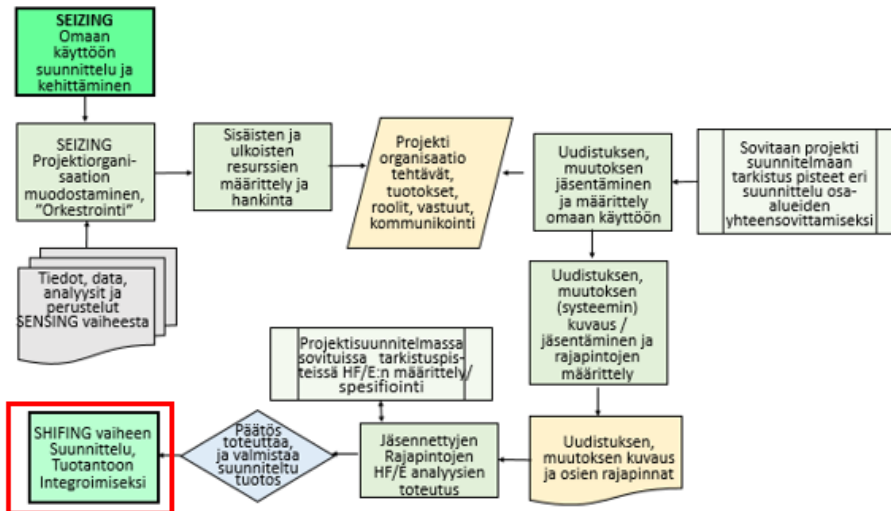


Riippuen omaan käyttöön suunnittelun kohteesta/alueesta, laajuudesta, sekä kokonaiskustannuksista, suunnittelu vaihe (Seizing) voi olla innovaatio-projekti, jossa tarvitaan erillinen päätöksenteko suunnittelu-  
vaiheen valmistuttua omaan käyttöön valmistuksesta. Tällöin korostuu tiekartan kaikki edelliset vaiheet. Mi-  
ten on sovittu, kuka vastaa suunnittelusta ja lopputuotoksen toimivuudesta lopullisessa ympäristössä?  
Mitä huolellisemmin edelliset vaiheet ovat toteutettu ja dokumentoitu, sitä sujuvammin lopullinen toteutus  
ja käyttöönotto onnistujat.



Shifting -vaiheen suunnittelu alkaa jo Seizing -vaiheen aikana, kun päätetään, että spesifioitu uudistus valmistetaan ja otetaan omaan käyttöön

Kun on tehty lopullinen päätös suunnitellun tuotoksen valmistamisesta ja ottamisesta omaan käyttöön, alkaa suunnittelu, miten muutos integroidaan tuotantoon. Tämä suunnittelu on kriittinen, koska sillä säädetään aikaa ja mahdollista resurssipulaa integroitaessa, sekä mahdolliset esille nousevat osaamisen ongelmat.



## Käyttöönotto (Shifting)

*Shifting -suunnittelutyöryhmän nimeäminen ja tarvittavien aktiviteettien suunnittelu ja valmistelu*

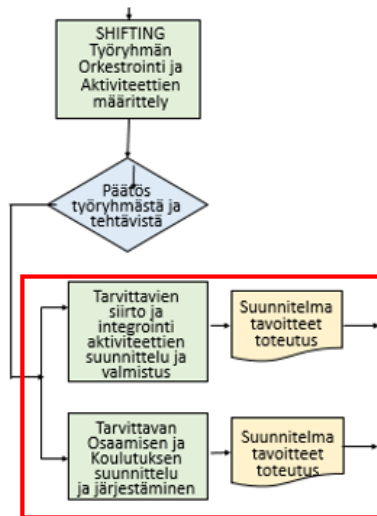


Jo Seizing -vaiheessa määritellään ja sovitaan tuotannon kanssa uudistuksen käyttöön siirron- ja -ottamisen suunnittelusta sekä toteutuksesta. Shifting on siten suoraa jatkoa edeltävälle Seizing-vaiheelle.

Tuotannosta nimetään tarvittavat asiantuntijat ja vastaavat, eli henkilöt jotka ottavat vastuun uudistuksen tuotannon käyttöön siirtämisestä ja ottamisesta. Nämä henkilöt yhdessä Seizing-vaiheen projektityöryhmän kanssa valmistavat suunnitelman ja varmistavat, että kaikki projektissa tuotettu tieto, data ja analyysit ovat tuotannon asiantuntijoiden käytössä valmistuttaessa siirtoon ja käyttöönottoon. Tällä varmistetaan, että uusi kokonaisuus toimii osana tuotannon prosesseja kitkattomasti ja eikä aiheuta ongelmia tuotannon muille toimintoille, joihin uudistus vaikuttaa. Jos suunnitelmaa ei ole, yleensä jotain unohtuu, tulee kiire ja se kustautuu usein nimenomaan HFE:n toteutumisessa ja turvallisuuden vaarantumisena.



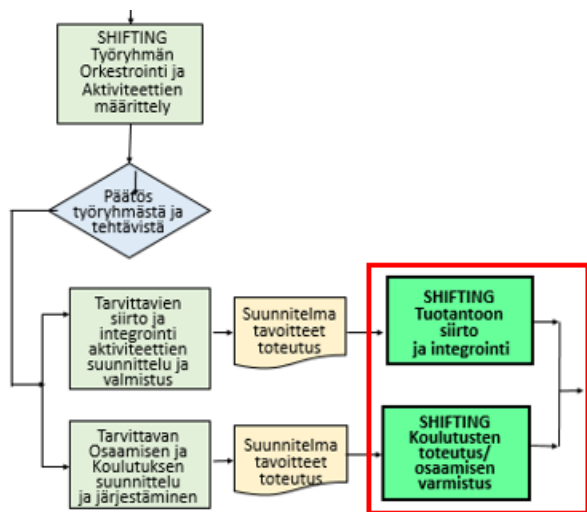
## Shifting siirto vaiheessa huomioitavia asioita ja aktiviteetteja



Shifting -vaiheessa hyödynnetään Seizing -vaiheen tietoja, jotta voidaan suunnitella asiat, joita tarvitaan integroinnissa ja käyttöönotossa suunniteltujen ja määriteltyjen asioiden yhteensovittamisesta ja tarkastuksesta asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi käyttöönoton jälkeen

- *Tuotannolle aiheutuvat seisahdukset ja viivästyks* HFE
  - Mihin kaikkiin tuotannon toimiin muutos vaikuttaa? Miten vaikuttaa ja miksi, kuinka vaikuttaa (arvioitu aika?)
- *Osaamisen varmistaminen.*
  - Osa-alueet, joissa tuotannossa tarvitaan uutta osaamista (HUOM! Muistettava myös tukifunktiot ja niiden kaikki työvaiheet, joiden toimintaan muutos vaikuttaa) HFE
  - Koulutusten sisällön ja toteutuksen suunnittelu ja aikataulutus (jotta osaaminen on valmiina, kun käyttöönotto tapahtuu). Vastuhenkilöt ja toteuttajat. HUOM! Sisältää materiaalien ja työohjeiden valmistuksen.
- *HFE:n toteuttaminen*
  - Varmistetaan, että muutosta toteutettaessa asennushetkellä on käytettävissä tarvittavat ohjeistukset ja speksit. HFE
  - HUOM! Myös tukifunktiot (materiaalitäydennys, huolto, korjaus, siivous)
- *Perusteet ja laskelmat ihmistyövaiheiden työtavoitteista*
  - Mihin perustuen työntekijän uskotaan saavuttavan asetetut tavoitteet terveellisyden ja turvallisuuden vaarantumatta? HFE
  - *Määrittely ja suunnittelu käyttöönottovaiheessa toteutettavista tarkastuksista ja mittauksista* HFE
- Mitä dataa tuotetaan ja dokumentoidaan?
  - Huomioitava tarvittava resurssointi ja osaaminen; (ks. kohdassa 4.3 Käyttöön siirto)

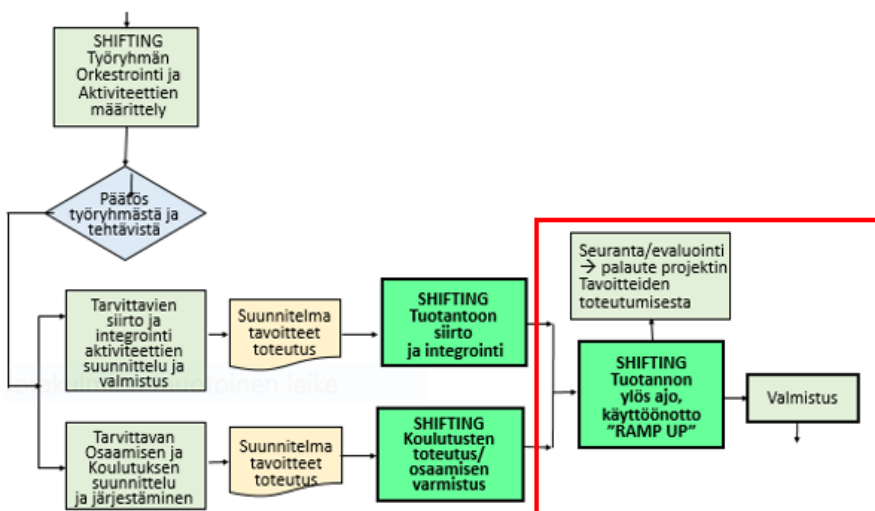
## Käyttöön siirto



Shifting-vaiheessa, eli suunnitellun ja toteutetun ratkaisun integroinnissa, tuotantoon onnistutaan sitä paremmin, mitä huolellisemmin käyttöönotto on suunniteltu Seizing-vaiheessa. Riippuen siitä, miten suuresta/strategisesta muutoksesta on kyse, projektissa on syytä sopia huolellisesti kommunikoinnista ja sen aikataulusta yrityksen sisällä väärinymmärrysten ja muutokseen mahdollisesti liittyvän vastustuksen vuoksi.

Seizing-vaiheen suunnitelman mukaisesti tuotanto valmistautuu hyvissä ajoin käyttöönottoon ja toimii suunnitelman mukaisesti. Koulutukset toteutetaan ajallaan ja suunnitellusti, sekä asennukset toteutetaan ohjeiden mukaisesti. Tämä takaa sen, että aikataulussa pysytään ja tavoitteet saadaan toteutettua suunnitellun mukaisesti.

## Käyttöönotto



Kun uudistus on asennettu tuotantoon, toteutetaan seuraavat toimenpiteet Seizing-vaiheessa tehdyn integrointi- ja käyttöönotto -suunnitelman mukaisesti.

1. *Tarkistetaan resursointi- ja kapasiteetilaskelmat*, sekä työvaiheiden sykliajat Näin varmistetaan (tutkimalla/mittaamalla), että asetetut tavoitteet kapasiteetille lasketuilla resursseilla ja työvaiheiden sykliajoilla ovat realistiset ja HFE on huomioitu ja toteutettu siten kuin suunniteltu kaikissa niissä vaiheissa, joihin uusi teknologia vaikuttaa.

HFE

2. *Koko prosessin suorituskyvyn varmistaminen*

siten, ettei keskitytä ainostaa uuden teknologian tekniseen integrointiin ja sen toimivuuden varmistamiseen. Varmistetaan, että asetettu tavoite koko tuotantoprosessille muutoksen jälkeen on realistinen, turvallinen ja terveellinen.

3. *Dokumentointi* käyttöön valmistautumisesta-, siirto- ja käyttöönotosta, sekä seurannasta. Varmistetaan, että projektiin liittyvä dokumentaatio löytyy helposti ja on tarvittaessa kaikkien asianomaisten käytettävissä.

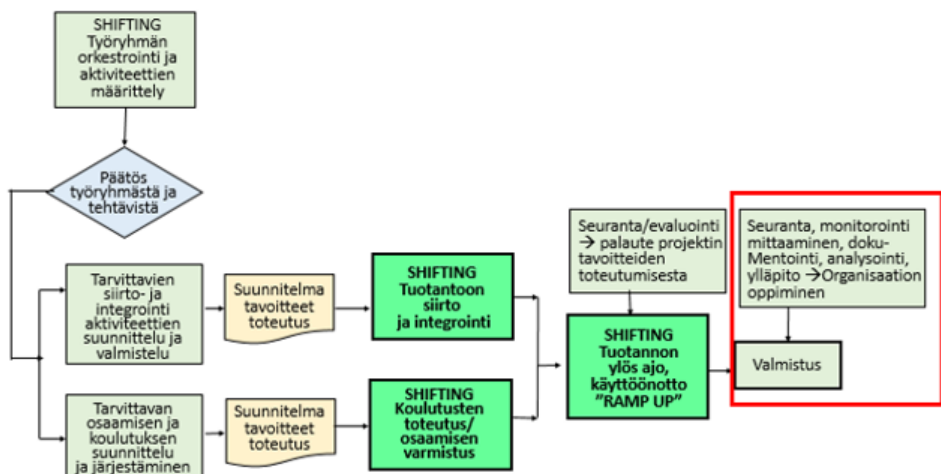
4. *Poikkeamien tunnistus ja korjaus*

Käyttöönotossa mahdollisesti esille tulevat ja havaitut poikkeamat, niiden dokumentointi, sekä analysointi suhteessa asetettuihin tavoitteisiin tuotantoprosessin kokonaissuorituskyvyn varmistamiseksi. Tämä sisältää niin tekniset, taloudelliset kuin henkilöstöön vaikuttavat löydökset. Muun muassa kapasiteetti, HFE työvaiheissa, laatu, resurssointi, kustannukset, läpimenoaika ja prosessin syklijajat. Näiden avulla kyetään arvioimaan, päästiinkö määriteltyihin tuotoksiin tai mistä syistä asetettuihin tavoitteisiin ei mahdollisesti päästy. Seizing -vaiheessa tuotettua dataa ja laskelmia verrataan toteutuksen jälkeen tuotannossa tuotettuun dataan käyttöönoton jälkeen.

HFE

**HUOM! Muutoksen käyttöönoton alussa oppiminen vaikuttaa ihmistyön tuloksiin. Siten liian varhain kerätty data voi antaa virheellisen kuvan uudistuksen vaikutuksista.**

*Käyttöönoton jälkeen tarvittava seuranta, arviointi ja palaute*



Kun muutos on otettu käyttöön, seurataan mittausten ja muun palautteen avulla, miten suunnitelmissa arvioitu tieto toteutuu käytännössä. Mitä selkeämpää ja käyttötarkoitukseensa tuotettua dataa ja dokumentaatiota projektissa on tuotettu, sitä selkeämmin voidaan tunnistaa vaiheet, joissa on kehittämisen varaa:

1. Organisaation omassa suunnitteluprosessissa
2. Organisaation omassa projektijohtamisessa
3. Organisaation omassa osaamisessa suunnittelussa (datan tuotto ja käyttö, analyysit ja päätöksenteko)
4. Yhteistyökumppanin osaaminen, asiantuntijuus ja toiminta edellä mainituissa asioissa. Etenkin yrityksen ja yhteistyökumppanin erityisasiantuntijuus omalla erityissubstanssi alueellaan on tärkeä huomioida, ettei resursoinnissa, vastuissa ja kustannuksissa tule yllätyksiä.

**Seurannan mittausten ja dokumentoinnin avulla kehitetään organisaation oppimista, tarkastetaan tuotetun datan ja informaation käytettävyyttä ja hyödynnettävyyttä sekä edistetään kommunikointia ja läpinäkyvyyttä organisaation kaikilla tasoilla.**

# JOHTOPÄÄTÖKSET

ERGO 2030 -hankkeen tavoitteena on ollut tutkia, miten ihminen otetaan huomioon valmistavan teollisuuden yrityksissä, kun suunnitellaan ja sovelletaan uutta teknologiaa. Ihmistä tuotantoprosessien osana tarkastellaan hankkeessa ergonomian viitekehyksessä. ERGO 2030 -hankkeessa ergonomiaa on tarkasteltu kokonaisvaltaisesti huomioiden niin ihmisten kyvykkyudet teknologioiden käyttäjinä kuin myös organisaatioiden kyvyt etsiä, valita, suunnitella, ottaa käyttöön sekä käyttää erilaisia teknologioita osana tuotantoprosessejaan. Tämä valinta haastaa perinteistä suomalaista ergonomia-ajattelua ja kokonaisvaltaiseen tarkasteluun ohjaavan valinnan vuoksi olemme käyttäneet tässä hankeraportissa johdonmukaisesti kansainvälisesti yleisesti käytettyä käsitettä *Human Factors and Ergonomics*, eli HFE.

Hankkeen keskeisenä tuloksena esittelemme tässä raportissa vaiheittaisen tiekartan, joka auttaa suomalaisia valmistavan teollisuuden yrityksiä huomioimaan entistä syvällisemmin ja kohdentuneemmin inhimillisten tekijöiden kokonaisuutta (HFE:ta) osana niitä kehitysprosesseja, joilla pyritään vastaamaan Teollisuus 4.0 -muutoksen mukanaan tuomiin uusiin haasteisiin. Tiekarttamme yhdistää soveltaen HFE -halinnassa tarvittavaa tietoa David J. Teecen esittämään liiketoiminnan kehittämisen vaiheittaiseen malliin. Tiekartta sisältää Teecen esittämät perusvaiheet, mutta rikastuttaa tätä perusmallia HFE-tekijöiden täsmällisellä huomioimisella. Tutkimuksen tarkoituksena on vastata teollisuuden HFE:n kehittämisen haasteisiin Suomessa, kun tarvitaan nopeita uudistuksia.

Teollisuus 4.0 -kehityksen myötä ilmaantuneiden uusien vaatimusten ja HFE:n yhdistäminen on haasteellista. Pelkät pieniin säätöihin perustuvat johtamis- ja hallintamenetelmät eivät useinkaan ole riittäviä. Haastatteluissa selvitimme Teecen esittämien liiketoiminnan kehitysvaiheiden mukaisesti toimintatapoja ja kyvykkyksiä tunnistaa (sensing), valita ja suunnitella omaan käyttöön (seizing) sekä ottaa käyttöön ja käyttää (shifting) uusia teknologioita, jotka ovat sovellettavissa valmistavassa teollisuudessa. Tämä lähestymistapa tuotti tässä raportissa esitetyn tiekartan, jonka laadinnassa tutkimusryhmä pyrki oppimaan ja ymmärtämään mahdollisimman paljon edelläkävijäyritysten asiantuntijoiden näkemyksiä ja kokemuksia.

Tutkimuksemme mukaan kehittämistoiminnassa on tärkeää ottaa huomioon muutostilassa olevat järjestelmät ja niiden eri osajärjestelmien nopea muutos, jolloin ennakoivuus ja systeemisten riskien ja epävarmuuden hallinta nousevat merkittävään rooliin. Tutkimuksemme osoittaa selvästi, että yrityksissä tarvitaan HFE-asiantuntemusta uusien teknologioiden suunnitteluun, soveltamiseen ja käyttöönottoon. Raportissa esittelemämme tiekartta nostaa esille prosessin vaiheita, joissa HFE-asiantuntemusta tulee hyödyntää. Tiekartta soveltuu sekä uusien tuotantoprosessien suunnitteluun, että olemassa olevia prosessien kehittämiseen. Uskomme tiekartan mukaisen selkeän ja systemaattisen toimintatavan parantavan yrityksen toimintatapoja ja siten henkilöstön työhyvinvointia ja tuottavuutta. Teknologioiden nopeasti kehittyessä ihmisen huomioiminen osana järjestelmää tulee entistä tärkeämmäksi.

## LÄHTEITÄ

- Ahram, T.Z. & Karwowski, W. (2013). Engineering sustainable complex systems. *Management and Production Engineering Review* 4 (4), 4–14.
- Aura, O. & Ahonen, G. (2016). *Strategisen hyvinvoinnin johtaminen*. Talentum Pro.
- Badri, A., Boudreau-Trudel, B. & Souissi, A.S. (2018). Occupational health and safety in the industry 4.0 era: a cause for major concern? *Safety Science* 109, 403–411.
- Berlin, C. & Adams, C. (2017). *The economics of ergonomics*. Teoksessa: Berlin, C. & Adams, C. (toim.). *Production ergonomics. Designing work systems to support optimal human performance*, Ubiquity Press, London, pp. 189–212.
- Bower, J.L., & Christensen, C.M. (1995). Disruptive technologies: Catching the wave. *Harvard Business Review* January–February, 43–53.
- de Almeida, A.T., Cavalcante, C.A.V., Alencar, M.H., Ferreira, R.J.P., de Almeida-Filho, A.T. & Garcez, T.V. (2015). *Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis*. International Series in Operations Research & Management Science. First Edition. Springer International Publishing. Kindle Edition.
- Dufva, M. (2018). Teknologiamurros on samalla ajattelutapojen murros. Saatavilla: <https://www.sitra.fi/blogit/teknologiamurros-samalla-ajattelutapojen-murros/>.
- Dul, J. & Neumann, P.W. (2009). Ergonomics contributions to company strategies. *Applied Ergonomics* 40(4), 745–752.
- Dul, J., Bruder, R., Buckle, P., Carayon, P., Falzon, P., Marras, W.S., Wilson, J.R. & van der Doelen, B. (2012). A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession, *Ergonomics* 55, 377–395.
- Dul, J. (2018). Towards a necessity theory of human factors/ergonomics. Keynote speech at the NES2016 conference. Saatavilla: <https://archive.uef.fi/documents/109891/334207/Key+note+Dul>.
- European Commission (2020a). *Skills for industry curriculum guidelines 4.0 Future-proof education and training for manufacturing in Europe: final report*. European Commission. Brussels. Saatavilla: <https://op.europa.eu/fi/publication-detail/-/publication/845051d4-4ed8-11ea-aece-01aa75ed71a1>
- European Commission (2020b). Executive Agency for Small and Medium-sized Enterprises (EASME). Department A – COSME, H2020 SME and EMFF. Unit A.1 – COSME. Saatavilla: [https://europa.eu/european-union/about-eu/agencies/easme\\_fi](https://europa.eu/european-union/about-eu/agencies/easme_fi)
- Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto (2018). Occupational safety and health – the value of OSH to society. Saatavilla: <https://visualisation.osha.europa.eu/osh-costs#!/>.
- Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto (2019). *Work-related MSDs: prevalence, costs and demographics in the EU*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Saatavilla: <https://osha.europa.eu/en/publications/summary-msds-facts-and-figures-overview-prevalence-costs-and-demographics-msds-europe>.
- Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto (2020). *Work-related MSDs: Facts and Figures – Synthesis report of 10 EU Member States reports*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Saatavilla: <https://osha.europa.eu/en/publications/work-related-musculoskeletal-disorders-facts-and-figures-synthesis-report-10-eu-member/view>.
- Falck, A.-C., Örtengren, R. & Högberg, D. (2010). The impact of poor assembly ergonomics on product quality: A cost-benefit analysis in car manufacturing. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 20(1), 24–41.

- Falck, A.-C. & Rosenqvist M. (2014). A model for calculation of the costs of poor assembly ergonomics. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44, 140–147.
- Fraser, J. & Plewes, S. (2015). Applications of a UX Maturity Model to Influencing HF Best Practices in Technology Centric Companies – Lessons from Edison. *Procedia Manufacturing*, 3, 626–631.
- Ghobakhloon, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0, June 2018, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910–936.
- Goggins, R.W., Spielholz, P. & Nothstein, G.L. (2008). Estimating the effectiveness of ergonomics interventions through case studies: Implications for predictive cost-benefit analysis. *Journal of Safety Research* 39(3), 339–344.
- Gorod, A., Sauser, B. & Boardman, J. (2008). System-of-Systems Engineering Management: A Review of Modern History and a Path Forward. *IEEE Systems Journal* 2(4), 484–499.
- Hassard, J., Teoh, K.R.H., Visockaite, G., Dewe, P. & Cox, T. (2018). The Cost of Work-Related Stress to Society: A Systematic Review. *Journal of Occupational Health Psychology*, 23(1), 1–17.
- Iansity, M. & Lakhani, K. R. (2020). *Competing in the Age of AI. Strategy and Leadership When Algorithms and Networks Run the World*. Harvard Business Review Press. Boston, MA, USA.
- International Ergonomics Association (2021). Definition and domains of ergonomics. Saatavilla: <https://iea.cc/what-is-ergonomics/>.
- INCOSE (2015). *INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities*, 4<sup>th</sup> ed. International Council of Systems Engineering, WILEY.
- ISO 6385 (2016). *Ergonomics principles in the design of work systems*. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO 27500 (2016). *The human-centred organization – Rationale and general principles*. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO/DIS 27501 (2017). *The human-centred organization – Guidance for managers*. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO 45001 (2018). *Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use*. Geneva: International Organization for Standardization.
- Jobs, S. (2021). Steve Jobs on Thinkers and Doers. You Tube interview. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=mARuuW2BGeE>.
- Kaivo-oja, J. & Lauraéus, T. (2017) The VUCA and Gartner’s Hype Cycle Analysis Together to Foresight Corporate Challenge of Technology Disruption. *Foresight*, 20(1), 27–49.
- Kaivo-oja, J. & Lauraéus, T. (2018). The VUCA approach as a solution concept to corporate foresight challenges and global technological disruption", *Foresight*, 20(1), 27–49.
- Kaivo-oja, J. & Lauraéus, T. (2019) Analysis of 2017 Gartner's Three Megatrends to Thrive the Disruptive Business, *Technology Trends 2008–2016, Dynamic Capabilities of VUCA and Foresight Leadership Tools*. *Advances in Technology Innovation*, 4(2), 105–115.
- Kaivo-oja, J., Lauraéus, T. & Knudsen, M. S. (2020) Picking the ICT Technology Winners - Longitudinal Analysis of 21st Century Technologies on the Basis of the Gartner Hype Cycle 2008–2017, Observed Trends, Tendencies and Weak Signals. *International Journal of Web Engineering and Technology*, 15(3), 216–264.
- Kaivo-oja, J., Roth, S. & Westerlund, L. (2017). Futures of Robotics. *Human Work in Digital Transformation*. *International Journal of Technology Management*, 73(4), 176–205.

- Kanawaty, G. (1992). *Introduction to Work Study*. Geneva: International Labour Office.
- Karwowski, W. (2012) A review of human factors challenges of complex adaptive systems: discovering and understanding chaos in human performance, *Human Factors* 54, 983–995.
- Knudsen, M.S. & Kaivo-oja, J. (2021). Collaborative Robots: Frontiers of Current Literature *Journal of Intelligent Systems Theory and Applications*, 3(2), 13–20.
- Lauraéus, T., Tinnilä, M. & Kaivo-oja, J. (2021). Suomen tulevaisuuden kasvu- ja liiketoimintapotentiaalit. Teknologiakehitys ja innovaatioiden uudenlaiset käyttömahdollisuudet kuluttajille ja liiketoiminnalle. Tutu eJulkaisuja 2/2021, Tulevaisuuden tutkimuskeskus, Turun yliopisto. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-249-558-7>.
- McGowan, B. (2019). Ergonomics. Essential to Manufacturing Excellence. *Professional Safety*, July, 43–45.
- Mikalef, P., Boura, M., Lekakos, G. & Krogstie, J. (2019). Big data analytics and firm performance: Findings from a mixed-method approach. *Journal of Business Research*, 98, 261–276.
- Neumann, P.W., Ekman, M. & Winkel, J. (2009). Integrating ergonomics into production system development – The Volvo Powertrain case. *Applied Ergonomics* 40(3), 527–537.
- Neumann, P.W., Winkelhaus, S., Grosse, E.H. & Glock, C.H. (2021). Industry 4.0 and the human factor – a systems framework and analysis methodology for successful development, *International Journal of Production Economics* 233, <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107992>.
- Nonaka, I. & Takeuchi, H. (1995) *The Knowledge Creating Company. How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Oxford University Press. Oxford.
- Müller, J.M., Buliga, O. & Voigt -Fortune, K.I. (2018). Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*. 132, 2–17.
- Nieves, J. & Haller, S. (2014). Building dynamic capabilities through knowledge resources. *Tourism Management*, 40, 224–232.
- Osterwalder, A. (2004). *The Business Model Ontology – A Proposition in a Design Science Approach*. Computer Science. Thesis. Présentée à l'École des Hautes Etudes Commerciales de l'Université de Lausann. Saatavilla: [http://www.hec.unil.ch/aosterwa/PhD/Osterwalder\\_PhD\\_BM\\_Ontology.pdf](http://www.hec.unil.ch/aosterwa/PhD/Osterwalder_PhD_BM_Ontology.pdf).
- Osterwalder, A. & Pigneur, Y. (2010). *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*. The Strategyzer Series. Wiley & Sons. New York, United States.
- Phaal, R., Farrukh, C.J.P., & Probert, D.R. (2003). Technology roadmapping – A planning framework for evolution and revolution. *Technological Forecasting and Social Change*, 71 (1–2), 5–26.
- Pesenti, W. (2016). Operational Excellence + Dynamic Capabilities = Sustainable Business Success. Published on October 14, 2016. LinkedIn. Saatavilla: <https://www.linkedin.com/pulse/operational-excellence-dynamic-capabilities-business-success-pesenti/>
- Reiman, A. & Suokko, T. (2020). Mihin ergonomia on kadonnut työpaikkojen kehittämisessä? *Työelämän tutkimus* 18(2), 179–187.
- Reiman, A., Kaivo-oja, J., Parviainen, E., Takala, E-P. & Lauraéus, T. (2021). Human factors and ergonomics in manufacturing in the Industry 4.0 context – A scoping review. *Technology in Society*. 65, Volume 65, May 2021, Article 101572. Saatavilla <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101572>.
- Rissanen, M. & Kaseva, E. (2014). Menetetyn työpanoksen kustannukset. Saatavilla: <https://stm.fi/menetetyn-työpanoksen-kustannukset>

- Sakamoto, S. (2010). *Beyond World-Class Productivity: Industrial Engineering Practice and Theory*. London: Springer-Verlag.
- Salvendy, G. (2001). *Handbook of Industrial Engineering: Technology and Operations Management*, 3<sup>rd</sup> ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons Inc.
- Schulte, P. & Vainio, H. (2010). Well-being at work – overview and perspective. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* 36(5), 22–429.
- Sony, M. & Naik, S. (2020). Industry 4.0 integration with socio-technical systems theory: a systematic review and proposed theoretical model, *Technology in Society* 61, <https://doi.org/10.1016/j.tech-soc.2020.101248>.
- Suokko, T. & Reiman, A. (2021). Ergonomics is Profitable – Experiences from a Holistic Manufacturing Plant Level Development Process. Teoksessa: Black, N.L., Neumann W.P., Noy I. (toim.) *Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021)*. IEA 2021. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 221, Springer, Cham, s. 89–95.
- Takala, E-P. & Lehtelä, J. (2015). *Ergonomia*. Kirjassa: Arokoski J, Mikkelsson M, Pohjolainen T, Viikari-Juntura E, toim. *Fysiatría*. 5 p. Helsinki: Duodecim, s. 37–48.
- Takala, E-P., Reiman, A., Parviainen, E., Lauraeus, T. & Kaivo-oja, J. (2021). ERGO 2030 – A roadmap for the implementation of human factors within the newest technology. Teoksessa: Black, N., Neumann, P.W., Dewis, C. & Noy, I. (toim.), *Book of Extended Abstracts, 21st Congress of the International Ergonomics Association, Vancouver, Canada, 14-18 June 2021*, s. 389–392.
- Taylor, F.W. (1911). *The Principles of Scientific Management*. New York: Harper & Brothers.
- Teece, D.J. (2007). Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. *Strategic Management Journal*, 28(13), 1319–1350.
- Teece, D. J. (2018). Business models and dynamic capabilities, *Long Range Planning* 51(1), 40–49.
- Terveystalo (2019). *Tekemättömän työn kustannukset*. Saatavilla: <https://www.terveystalo.com/fi/Tyoterveys/Palvelut/Tekemattoman-tyon-kustannukset/>.
- Teufer, B., Ebenberger, A., Affengruber, L., Kien, C., Klerings, I., Szelag, M., Grillich, L. & Griebler, U. (2019). Evidence-based occupational health and safety interventions: a comprehensive overview of reviews. *BMJ Open* 9: doi:10.1136/bmjopen-2019-032528.
- Thatcher, A., Waterson, P., Todd, A. & Moray, N. (2018). State of science: ergonomics and global issues. *Ergonomics*, 61(2), 197–213.
- Tilastokeskus (2021a). *Teollisuusyritysten toimipaikat 2019*. Saatavilla: [https://www.stat.fi/tup/suoluk/suoluk\\_teollisuus.html](https://www.stat.fi/tup/suoluk/suoluk_teollisuus.html).
- Tilastokeskus (2021b). *Työmarkkinat 2019*. Saatavilla: [https://www.stat.fi/tup/suoluk/suoluk\\_ty-oelama.html](https://www.stat.fi/tup/suoluk/suoluk_ty-oelama.html).
- Tiwana, A. (2014). *Platform Ecosystems. Aligning Architecture, Governance, and Strategy*. Morgan Kaufman. Elsevier. Waltham, MA.
- UNDP (2019). *The Future of Knowledge. Foresight Report 2019. Knowtalk Series*. United Nations Development Programme. United Arab Emirates, Dubai.



## VIIMEISIMMÄT TUTU eJULKAISUT

- 2/2021 Lauraéus, Theresa – Tinnilä, Markku & Kaivo-oja, Jari: Suomen tulevaisuuden kasvu- ja liiketoimintapotentialit. Teknologiakehitys ja innovaatioiden uudenlaiset käyttömahdollisuudet kuluttajille ja liiketoiminnalle.
- 1/2021 Nieminen, Anne & Ollila, Johanna: Turun osaamisen visio. Visioproessin loppuraportti.
- 7/2020 Lakkala, Hanna – Shaw, Morgan – Ochoa, Kenneth – Ferreira-Aulu, Marianna Birmoser – Kaskinen, Juha – Quintero, Carlos – Rodríguez, María Eugenia & Nensthiel, Clara: Future Landscape of the Colombian Agri-Food Sector 2030: The Return of Andean Native Crops. Results from the 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> Futures Workshops of the PECOLO Project in Colombia.
- 6/2020 Lakkala, Hanna – Ochoa, Kenneth – Ferreira-Aulu, Marianna Birmoser – Kaskinen, Juha – Quintero, Carlos – Rodríguez, María Eugenia – Trujillo, Omar – Nensthiel, Clara & Vähäkari, Noora: A Scenario for the Desirable Future of the Colombian Agri-Food Sector 2030, Focusing on Andean Native Crops. Results from the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> futures workshops of the PECOLO project in Colombia.
- 5/2020 Minkkinen, Matti – Ahlqvist, Toni – Kolehmainen, Jari – Mäki, Maija – Parkkinen, Marjukka – Siivonen, Katriina – Tapio, Petri & Arvonen, Anne (toim.): Coolest Student Papers at Finland Futures Research Centre 2019–2020. Tulevaisuuden tutkimuskeskuksen valittuja opiskelijatöitä 2019–2020.
- 4/2020 Wilenius, Markku & Jones, Ana: Arctic Blue Resort, Kontiolahden vastuullisuuskäsikirja.
- 3/2020 Wilenius, Markku & Jones, Ana: Arctic Blue Resort Kontiolahti, Co-responsibility Handbook.
- 2/2020 Kuhmonen, Tuomas: Nuorten yrittäjyyspolut.
- 1/2020 Lakkala, Hanna – Shaw, Morgan – Birmoser Ferreira-Aulu, Marianna – Del Carpio Rodríguez, Amed Omar – Kaskinen, Juha – Repo-Carrasco-Valencia, Ritva – Morales-Soriano, Eduardo – Vargas Delgado, Luis Fernando & Vidaurre-Ruiz, Julio: A Roadmap until 2030 and first action plan for the Peruvian agri-food sector, focusing on Andean native crops. Results from the 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> Futures Workshops of the Pecolo Project.
- 13/2019 Parkkinen, Marjukka – Ahokas, Ira – Kiviluoto, Katariina – Saarimaa, Riikka & Tapio, Petri: Liikunnallisen elämäntavan haasteita ja ratkaisuja. STYLE-hankkeen sidosryhmätyöpajojen tulokset.
- 12/2019 Aalto, Hanna-Kaisa – Lauttamäki, Ville – Minkkinen, Matti – Puustinen, Sari – Santaoja, Minna – Siivonen, Katriina & Arvonen, Anne (toim.) (2019) Coolest Student Papers at Finland Futures Research Centre 2018–2019. Tulevaisuuden tutkimuskeskuksen valittuja opiskelijatöitä 2018–2019.
- 11/2019 Siivonen, Katriina – Heinäjärvi, Henna & Tuittila, Satu: Historian museon toiminnan tulevaisuuskuvat.
- 10/2019 Silvonen, Essi & Kaskinen, Juha: ICLEI Green Circular Cities Coalition. Feasibility Study to Build an Active Network of Circular Economy Actors in the Turku Region.
- 9/2019 Silvonen, Essi & Kaskinen, Juha: ICLEI Green Circular Cities Coalition. Toteutettavuustutkimus aktiivisen kiertotaloustoimijaverkoston rakentamiseksi Turun seudulla.
- 8/2019 Lakkala, Hanna – Birmoser Ferreira-Aulu, Marianna – Del Carpio Rodríguez, Ahmed Omar – Kaskinen, Juha – Morales-Soriano, Eduardo – Repo-Carrasco-Valencia, Ritva – Vargas Delgado, Luis Fernando – Vidaurre-Ruiz, Julio & Vähäkari, Noora: A Scenario for the desirable future of the Peruvian agrifood sector 2030, focusing on andean native crops. Results from the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> futures workshops of the PECOLO project.

**Kaikki Tutu eJulkaisut ovat luettavissa Turun yliopiston julkaisuarkistossa, [www.utupub.fi](http://www.utupub.fi).**



TULEVAISUUDEN  
TUTKIMUSKESKUS

## FFRC – making sense of futures

Tulevaisuuden tutkimuskeskus  
Turun yliopisto

Arto Reiman, Elina Parviainen, Theresa Lauraéus,  
Esa-Pekka Takala & Jari Kaivo-oja

# ERGO 2030 – TIEKARTTA IHMISEN HUOMIOIMISEEN SUUNNITELTAESSA JA SOVELLETTAESSA UUTTA TEKNOLOGIAA TEOLLISUUDESSA

Tutu eJulkaisu 3/2021

ISBN 978-952-249-560-0, ISSN 1797-1322



TURUN  
YLIOPISTO