

Saku Kullberg

KIRJALLISUUSKATSAUS TEKNOLOGISTEN PÄÄTÖKSENTEKOPROSESSIEN KEHITYKSEEN

Valmistavan teollisuuden näkökulma

TIIVISTELMÄ

Saku Kullberg: Kirjallisuuskatsaus teknologisten päätöksentekoprosessien kehitykseen
Literature review on development of processes for technology selection
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tekniset tieteet, TkK
4.2019

Työn tarkoitus oli tutustua aihepiiriin, tieteelliseen kirjoittamiseen ja antaa kypsyyden näyte arvioitavaksi. Kirjoittajana en tietänyt paljoakaan aihepiiristä, kun aloitin, minkä vuoksi kirjoitus ei tuota uutta syvällistä ymmärrystä aiheeseen. Tekstiä kirjoittaessa keskityin tuottamaan johtopäätöksiä lukemastani, vaikka ne saattoivat välillä vaikuttaa itsestään selviltä huomioilta. Niin sanotut itsestään selvät oletukset ovat usein hyvä ottaa tietoiseen tarkasteluun, ennen kuin ne saattavat aiheuttaa ongelmia.

Tutkimusmenetelmänä käytettiin kirjallisuuskatsausta. Olemassa olevaa kirjallisuudesta etsittiin aiheesta kertovaa tietoa, jota vertailtiin muuhun tietoon kokonaiskuvan luomiseksi. Samalla lisättiin omaa pohdintaa. Tarkemmin puhuen tutkimusmenetelminä käytettiin ensinmäisenä kokonaiskuvan arviointia, toiseksi käytännön sovelluksen tarkastelua ja viimeiseksi koottiin yhteen muutama käytännön menetelmä, joita voidaan käyttää teknologian arviointia. Ensimmäiset tutkimusmenetelmät pohjustivat ja tukevat arviointimenetelmien esittelyä.

Tämä työ on hyödyllinen lukijalle, joka pyrkii näkemään aiheen uudella tavalla. Kirjoittajalla ei ollut suurta tuntemusta aiheesta, mutta se tosiasia päätettiin hyödyntää käyttämällä paljon vaivaa kaikkien olettamusten tarkasteluun. Toinen hyöty löytyy kootuista teknologian arviointimenetelmistä. Kyseisessä osiossa menetelmät esitellään muodossa, joka nopeuttaa siihen tutustumista. Alkuperäisissä teoksissa oli paljon tietoa, joka ei suoraan kertonut miten menetelmä toimii. Tässä työssä tuo tieto otettiin pois. Lisäksi lähteet suomennettiin. Työssä myös vertailtiin esiteltyjä, missä pohdittiin menetelmien heikkouksia, vahvuuksia ja otollisimpia käyttötilanteita. Lopuksi työssä tehdyt huomiot koottiin ja niiden pohjalta tehtiin ehdotuksia mahdolliselle jatkotutkimukselle ja parannusmahdollisuuksille.

Sisällysluettelo

1 JOHDANTO	1
2 TEKNOLOGIAN ARVIOINNISTA	2
2.1 Tuotanto- ja prosessiteknologioiden arviointi sijoituskohteina tulevaisuus huomioon ottaen	3
2.2 Advanced Manufacturing Technologyn (AMT) arvostelu sijoituskohteena	4
3 TEKNOLOGIAN ARVIOINNIN TAPAUSTUTKIMUSTA	6
4 VARSINAISIA TEKNOLOGIAN ARVIOINTIMENETELMIÄ	6
4.1 Teknologian elinkaaren kokonaiskulujen arviointi	8
4.2 Hybridisoinnista saatavan potentiaalisen hyödyn tunnistaminen ja hybridisointiin liittyvien riskien analysointi	9
4.3 Teknologioiden sijoitus arvoasteikolle	13
4.4 Syntetisoitu menetelmä automatisaatioteknologioiden edistämiseksi arviointivaiheesta käyttöönottoon	15
4.5 Arviointimenetelmien vertailua	18
5 YHTEENVETO	22
6 LÄHTEET	24

Lyhenteet ja merkinnät

TCBO	Total Costs and Benefits of Ownership
NPV	Net Present Value
T.O.P.	Technology, Organisation and manufacturing Process
S.O.T.	Strategiset, Organisatoriset ja Teknologiset
WACC	Weighted Average Cost of Capital
IPH	Intersection Point of Hybridisation
QFD	Quality Function Deployment
RPN	Risk Priority Number
OEE	Overall Equipment Efficiency
PROMETHEE	Preference Ranking Organization METHod for Enrichment
LCA	Life Cycle Assessment
MCDA	Multiple-Criteria Decision Analysis
QFD	Quality Function Deployment
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
HOQ	House Of Quality
T.O.I.	Teknologiset, Organisatoriset ja Inhimilliset
AHP	Analyttinen Hierarkia Prosessi

1 Johdanto

Nykyajan teollinen talous on jatkuvan muodonmuutoksen alla. Uusia toimijoita saapuu teollisuuden alalle, ja vanhatkin toimijat pyrkivät saamaan etulyöntiaseman ottamalla käyttöön uusia teknologioita. Siksi on tärkeää pystyä arvioimaan tarkasti, mitkä teknologiat ovat sijoitusten arvoisia.

Ongelmana kuitenkin on teknologioiden monimuotoisuus. Teknologiat olisivat helposti luokiteltavissa, jos luokittelussa otettaisiin huomioon vain vanhat teknologiat. Kuitenkin yrityksen on pystyttävä arvioimaan uusia teknologioita pitääkseen kilpailukykynsä ja koska uusi teknologia on uusi, jos ja vain jos se uhmaa perinteisiä arviointitapoja, luokittelu monimutkaistuu huomattavasti. Lisäksi kaikki teknologian ominaisuudet eivät välttämättä ole helposti kuvattavissa luvuilla. Silloinkin kun ne ovat, harkittavia ominaisuuksia voi olla lukemattomia, hypoteettisesti ääretön määrä, minkä takia on tärkeää käyttää arviointiin annetut resurssit viisaasti. Lukuarvoihin perustuvat arviointimenetelmät voivat myös olla haastavia käyttää ammattimaisesti eivätkä välttämättä sovellu joka työympäristöön. Tämän työn tavoite on johtaa alan kirjallisuudesta totuudenmukainen yleiskuva teknologian arvioinnista nykyaikana ja yleistettäviä teknologian arviointitapoja, joihin teknologian arvioija voi luottaa ja joita voi käyttää käytännön työympäristössä.

Tavoitteisiin pääsyssä käytetään laadullista tutkimusta teknologian arviointiin luvussa 2 käyttäen tutkimustapana kirjallisuuskatsausta. Kirjallisuuskatsauksessa tutkitaan aiheeseen liittyvästä kirjallisuudesta löydettäviä yhtäläisyyksiä ja ristiriitoja ja tuodaan esille johtopäätöksiä. Luvussa 3 tarkastellaan teknologian arviointityöstä tehtyä tutkimusta ja katsotaan, mitä se kertoo työn luonteesta. Luvussa 4 tuodaan esille erinäisiä arviointityökaluja, ja sovelletaan niihin vertailevaa tutkimusta. Vertailevassa tutkimuksessa verrataan tutkimuskohteiden laadullisia tekijöitä. (koppa 2019) Tämän kirjoitustyön tarkoitus ei ole käsitellä teknologian arviointia loppuun, vaan tarkoitus on luoda kirjoitus, jonka lukeminen auttaa lukijaa ymmärtämään teknologian arviointia ja siihen liittyvää kirjallisuutta paremmin.

2 Teknologian arvioinnista

Teknologian merkitys organisaation kilpailukyvyille ja taloudelliselle ja sosiaaliselle kehitykselle on selvä, kun harkitaan teknologian vaikutusta tehokkuuteen. Siksi on tärkeää tehdä siihen liittyvät päätökset hyvin. Teknologian arviointi voi kuitenkin joskus olla hyvin kompleksista, koska sen suorittamisessa otetaan useampi suorituskyymitta huomioon. Arviointiprosessin etenemiseen vaikuttaa myös useita näkökantoja, joista jokainen lisää lopputulosten esittämisen vaativuutta. (Ghazinoory et al. 2013) Teknologian arviointi on siis hyvin tärkeä, mutta vaativa prosessi. Siihen löytyy kyllä helpottavia menetelmiä, mutta kaikissa menetelmissä oletetaan, että niiden suorittajilla on käytettävissä laajaa asiantuntijuutta.

Teknologian arvioinnin tarkoitus on tuottaa kuva teknologiasta, minkä perusteella voidaan tehdä haluttavia tuloksia tuottavia päätöksiä ja toimia. Kyseisen kuvan on siis oltava tarpeeksi tarkka ja kattava, jotta siitä saadaan tarvittava tieto. Tietoa ei voi kuitenkaan lisätä arviointiin loputtomasti, sillä kaikki tietomäärä vaatii prosessointiin resursseja, joita on rajallinen määrä. Onkin siis parempi ajatella teknologian arviointia osana tuotantoketjua, jonka tarkoitus on tuottaa hyviä päätöksiä teknologioihin liittyen.

Teknologian keskeinen kysymys on, miten teknologiaa tulisi katsoa. Robotiikassa ja kognitiivisessa psykologiassa on jo pidemmän ajan mietitty, miten havaintoja tekevä järjestelmä toimii, ja molemmissa tapauksissa siitä on kehittynyt kokonainen tutkimusala. Koska teknologian arvioinnissa on kyse periaatteesta samasta ongelmasta, miten rajallisilla resursseilla saadaan aikaan käsitys käytännöllisesti katsoen äärettömästä tietomäärästä, tutkimusalojen tutkimustuloksista löytynee kirjallisuutta, joka auttaisi ongelman lähestymistavan määrittelemisessä. Näiden alojen kirjallisuuden tutkiminen jätetään kuitenkin tämän työn ulkopuolelle, mutta yksi lähestymistapa on maininnan arvoinen, nimittäin *Motivoitunut käsitys* (Motivated perception). Motivoitunut käsitys tarkoittaa havainnointitapaa, joka hakee erityisesti tiettyä tarkoituspäää tukevaa tietoa. On varmaankin itsestään selvää monille, että teknologian arviointia varten kerätään tietoa, jolla on jotain tekemistä asetettujen tavoitteiden kanssa. Huomio kuitenkin johtaa kuitenkin teknologian arvioinnissa pohdittavaan perimmäiseen ongelmaan, mitkä tavoitteet arviointiprosessilla pitäisi olla ja vielä tärkeämmin, mitkä teknologian tekijät ovat tärkeimpiä ja miten ne kuvataan teknologian mallinnuksessa.

Tässä luvussa tarkastellaan teknologian arviointia yleisemmin. Yleiskuvaa luodessa yritetään tuoda esille kaikkiin arviointiprosesseihin yleistettäviä periaatteita. Luvussa käytetään kahta eri näkökulmaa, jotka ovat taloudellinen näkökulma ja tietotekniikan hyödyntämisen näkökulma. Seuraavassa kappaleessa viitataan taloudellisen näkökulman esittelyyn ja sitä seuraavassa tietotekniseen.

Teknologianvalintatuotantoketju on usein osana yrityksen toimintaa, joka vaatii toimiakseen aina lisää resursseja, esimerkiksi rahaa. Kuitenkin useat yritykset poistavat huomiostaan teknologisten näkökantojen monetaarisen arvioinnin, sillä teknologioiden taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttavat teknologioiden, sen valmistusprosessien ja teknologioiden ympärillä olevien organisaatioiden keskeisvaikutukset eivät ole helposti määritettävissä. Sen sijaan keskitytään enemmän teknologian laadullisiin ja teknisiin ominaisuuksiin. (Denkena et al. 2011) Taloudellisuus on kuitenkin tärkeimpiä, ellei jopa tärkein näkökulma yrityksen kannalta ja tulisi siis ottaa erityiseen huomioon. Kirjoituksessa "*Linking total costs and benefits of ownership (TCBO) and process chain simulation for integrated assessment of manufacturing technologies and processes*" Denkena et al. kirjoittavat tuotanto- ja prosessiteknologioista sijoituskohteina ja tuottavat TCBO-arviointimenetelmän.

Monia prosesseja voidaan parantaa liittämällä niiden ohjaus tietoteknisiin soveluksiin. Näihin sovelluksiin kuitenkin liittyy usein käyttöönotto-ongelmia, mikä yhdessä

vanhojen toimintatapojen pinnittymisen takia aiheuttavat skeptisyyttä ohjausteknologioiden tietoteknistämistä kohtaan. On totta, että uuden teknologian soveltamiseen sisältyy ongelmia ja on oikein välttää turhia riskejä uudistushankkeissa. On kuitenkin epähyödyllistä luokitella kokonainen tekniikan ala kehitysmahdollisuuksien ulkopuolelle, sillä tekniikka kehittyy ja sen omaksumisen haasteet ja riskit vähenevät koko ajan. Muutenkin kilpailuetu löytyy tilanteissa, joista on mahdollisesti hyötyä, mutta kaikki kilpailijat eivät suostu syystä tai toisesta lähestymään niitä. Aihepiiriä pitää vain käsitellä oikealla tavalla, jotta voidaan tehdä merkityksellisiä uudistuksia. Chan et al. kirjoittavat edistyneiden valmistusteknologioiden arvioinnista aiemmin kuvaillun ongelman vuoksi.

2.1 Tuotanto- ja prosessiteknologioiden arviointi sijoituskohteina tulevaisuus huomioon ottaen

Tuotanto- ja prosessiteknologioiden kannattavuuden arvioimiseksi pitää pystyä arvioimaan sen suorituskyvyn kehittymistä tulevaisuudessa. Tätä varten ovat Denkena et al. kirjoittaneet artikkelin, jossa he liittävät tulevaisuuden kehitykset teknologioissa arviointiperusteisiin. Tarkastellaksemme tuotanto- ja prosessiteknologioita sijoituskohteina, katsoimme mitä mainittujen tutkijoiden kirjoitus kertoo aiheesta.

Yrityksen edun toteutumiseksi, on se tunnistettava teknologioissa ottaen huomioon tuotantoprosessi ja organisaatio sen ympärillä (Denkena et al. 2011 s. 557-564). Jos kyseisiä tekijöitä ei oteta huomioon, jää arviointiprosessista pois huomionaiheita, jotka merkittävästi vaikuttavat teknologian taloudelliseen suorituskykyyn. Monet vuoden 2011 teknologian arviointimenetelmät keskittyvät laadulliseen ja objektiiviseen arviointiin, mikä useimmiten riittää oikeiden teknologioiden valintaan ja takaa sijoitusten ajoituksen, mutta ovat kuitenkin riittämättömiä teknologian elinkaaren kulujen arvioinnin kannalta (Denkena et al. 2011 s. 557-564). Pitkäjänteisen yrityksen kannalta on siis välttämätöntä, että vaikka teknologisten, organisatoriset ja prosessiin liittyvien tekijöiden keskeisvaikutusten määrittäminen on monimutkaista, on kyseiseen ongelmaan löydettävä ratkaisu, johon teknologian arvioijat voivat luottaa.

Denkena et al. puuttuvat kyseiseen ongelmaan omassa kirjoituksessaan, ja he ovat tuottaneet tavan, jolla teknologian omistuksen kokonaiskulut (TCBO) voidaan liittää tuotanto- ja prosessiteknologioiden arviointiin. Kyseinen tapa käsitellään luvussa 4 ”*Varsinaisia teknologian arviointimenetelmiä*”, missä on esitelty muitakin käytännön arviointimenetelmiä.

Denkena et al. viittaavat Gerybadzeen, kun he tuovat esille teknologian arviointimenetelmien lajittelua. Professori Alexander Gerybadze on kansainvälisen hallinnon professori Hohenheimin yliopistossa Saksassa (EFI 2019). Gerybadzen lajittelukategoriat ovat empiirinen analyysi ja tulkinta, kausaalisuus- ja systeemimalleihin, induktiivis-matemaattisiin menetelmiin ja induktiivisrakenteisiin menetelmiin (Denkena et al. 2011 s. 557-564).

Schäferiä lainataan, kun puhutaan sijoitusten arvostustekniikoista. (Denkena et al. 2011 s. 557-564). Henry Schäfer on Stuttgartin yliopiston professori, joka erikoistuu muun muassa sijoittamiseen. Hän jakaa sijoitusten arvostustekniikat ja riskianalyytit staattisiin ja dynaamisiin menetelmiin. Staattisissa menetelmissä arvioidaan sijoituksia ja riskejä sijoitushetkellä ja ne ovat hyvin yleisiä teollisuudessa. (Denkena et al. 2011 s. 557-564)

Staattiset menetelmät eivät ota tulevaisuuden muutoksia huomioon, ja koska ne ovat hyvin yleisiä teollisuudessa, Denkena et al. ovat muodostaneet puutteeseen parannusehdotuksen. (Denkena et al. 2011 s. 557-564) Toisin kuin staattiset menetelmät, dynaamiset menetelmät ottavat tulevaisuuden rahavirrat huomioon. Dynaamisia menetelmiä voisi siis pitää parempina vaihtoehtoina ainakin pitkän aikatahtäimen näkökulmasta. Denkena et al. kuitenkin huomauttavat, että nykyiset teknologian suunnittelu- ja arviointimenetelmät ovat joka tapauksessa elinkaaren kulujen arvioinnin kannalta riittämättömiä. Tästä syystä kirjoittajat väittävät, että teollisuuden alalla on tarve uudelle mallille,

missä yhdistettäisiin sekä teknologian suunnittelu- ja arviointimenetelmät että sijoitusten arvostustekniikat. (Denkena et al. 2011 s. 557-564)

Artikkelin perusteella voidaan päätellä, että vuoden 2011 teknologian arviointimenetelmät ottavat huomioon vain helposti määritettävissä olevia suureita. Näistä annettiin esimerkeiksi sijoituksen ajankohdan korkosuhdanne tai yksinkertaisia varoja tulevaisuuden kehityksille kuten stokastiset kulut. Merriam Websterin mukaan stokastinen tarkoittaa satunnaisen tekijän sisältävää tai yleisemmin sattuman tai todennäköisyyden kanssa tekemisissä olevaa asiaa (Merriam Webster 2019). Denkena et al:n artikkelin väitteiden pätevyys riippuu siitä, kuinka nopeasti ja laajalti siinä esitelty uudistus omaksutaan (artikkelilla on 4 viittausta) ja kuinka nopeasti valmistava teollisuus uudistuu. On kuitenkin muistettava, että jos kaikki vaihtoehtoiset arviointimenetelmät tuottavat tarpeeksi pitviä ennustuksia, tulisi hyväksyttävistä vaihtoehdoista valita niistä helpokäyttöisin. Joka tapauksessa kun tarkemmalla mallinnuksella saadaan aikaan parempia tuloksia, siihen kykenevät toimijat ovat ylilyöntiasemassa, joten pieniäkään parannuksia ei kannata ylenkatsoa. Yksityiskohtien merkityksellisyyteen vaikuttaa myös se, että tarve tarkastelun resoluution kasvatukselle nousee, kun laajemman yhteisön laskennalliset kyvyt nousevat ja kun sijoituksen aikahorisonttia laajennetaan.

2.2 Advanced Manufacturing Technologyn (AMT) arvostelu sijoituskohteena

Valmistavan teollisuuden alalla menestymistä varten on tärkeää osata arvioida niin sanottuja edistyneitä valmistusteknologioita (Advanced Manufacturing Technology). (Chan et al. 2001 s. 35-47) Edistynyt valmistusteknologia on mikä tahansa tietokoneella avustettu suunnittelu-, tuotanto-, kuljetus-, testaus- tai vastaava teknologia. Edistyneet teknologiat ovat lajiteltavissa pääosin kahdella tavalla. Yksi lajitteluperuste on sijainti n.s. klassisella jatkumolla, mikä käsittää valmistustapoja tilauskohtaisesta valmistuksesta jatkuvaan valmistukseen, ja toinen on yleisen valmistusjärjestelmän integraatiotason perusteella. (Chan et al. 2001 s. 35-47)

Edistyneiden valmistusteknologioiden arvioinnissa ilmenee tälle teknologiatyypille ominaisia ongelmia. Chan et al. lukevat näihin ongelmiin esimerkiksi hyväksyttävien ja helposti saatavilla olevien arviointimenetelmien puute, yritysten hallinnon epäsäädännöllisyys, riittämätön luottamus teknologioihin, epäselvä rahallinen tilanne, kilpailijoiden toiminta ja sopimaton aika asettavat kriittisiä suorituskykymittoja ja -testejä (Chan et al. 2001 s. 35-47). Annetut esimerkit ovat selvästi merkkejä kokemuksen puutteesta teknologiasta, mikä on odotettavissa uudelta teknologialta, ja epäjärjestyksestä tai ympäristöön liittyvän tiedon puutteesta. Kaikissa mahdollisissa selityksissä yhteinen teema on niihin vaadittava vastaus, mikä tietouden lisäys.

Joidenkin valmistajien mielestä edistyneiden valmistusteknologioiden käyttöönotolla on korkea sijoitustaso ja pitkät takaisinmaksuajat, mikä saattaisivat aluksi nostaa valmistuskuluja. Lisäksi edistyneiden valmistusteknologioiden sovelluksista ei usein ole kokemusta. Tästä syystä monet yritykset, jotka ottavat edistyneitä valmistusteknologioita käyttöön löytävät kyseisille teknologioille odottamattomia käyttäjiä, ja luvatut parannusnopeudet saatetaan toteuttaa yhdessä yrityksissä, mutta ei toisessa. Nämä asiat aiheuttavat sen, että monissa yrityksissä suhtaudutaan hyvin epäilevästi edistyneisiin valmistusteknologioihin. (Chan et al. 2001 s. 35-47) Jos on totta, että on yrityksiä, jotka eivät valmistaudu edistyneiden valmistusteknologioiden käyttöönottoon tarpeeksi hyvin, ja että on toisia yrityksiä, jotka eivät suostu harkitsemaan kyseisiä teknologioita ollenkaan, kilpailuetu on yrityksellä, joka asettaa edistyneille teknologioille korkeat vaatimukset toteutuksen näkökulmasta ja suorittaa toteutuksen huolellisesti.

Huolellista toteutusta varten on laadittava perusteellinen suunnitelma, missä huomioidaan yleiset edistyneiden valmistusteknologioiden sijoitukseen liittyvät kysymykset.

Näitä kysymyksiä ovat strategiset ja organisatoriset kysymykset, mitä strategisia, organisatorisia ja teknologisia kysymyksiä tulisi harkita, millaisessa vuorovaikutuksessa nuo arvioinnin osa-alueet ovat keskenään ja milloin noihin kysymyksiin tulisi vastata toteutusprosessin aikana (Chan et al. 2001 s. 35-47). Keskeiset osa-alueet ovat siis strategia, organisaatio ja teknologia (S.O.T.-tekijät).

Chan et al.:in tutkimuksen mukaan aiheeseen liittyvä kirjallisuus keskittyy enimmäkseen edistyneiden valmistusteknologioiden käyttöönoton oikeuttamiseen. Lisäksi on annettu merkittävää huomiota teknologiselle kehitykselle, mutta organisaatiossa vaadittavat muutokset ovat saaneet paljon vähemmän huomiota. (Chan et al. 2001 s. 35-47). Tämän vuoksi S.O.T.-tekijöitä mietittäessä teknologisissa kysymyksissä voidaan turvautua tieteelliseen kirjallisuuteen, mutta organisatorisissa joudutaan vastaamaan itsenäisesti.

Edistyneiden valmistusteknologioiden toteutussuunnitelma epäonnistua myös silloin, kun teknologian hyötyjä ei arvosteta riittävästi. Vaikka teknologioihin liittyvät kulut, kuten välineistö, ohjelmat, koulutus, toiminnot ja muut ovat helposti määritettävissä, hyödyt, kuten laatu ja joustavuus, eivät ole (Chan et al. 2001 s. 35-47). Tästä seuraa ehkä haastavin ongelma edistyneiden valmistusteknologioiden liittyen, nimittäin uusien teknologioiden hyötyjen arviointi. Siksi teknologian arvioinnin haasteen ydin on arviointitapojen muokkaus niin, että se ottaa uudet teknologiat totuudenmukaisesti huomioon.

Monet edistyneiden teknologioiden tuottamat ongelmat johtuvat kaikkien hallintotason epätietoisuudesta edistyneiden teknologioiden strategiseen merkitykseen liittyen, mikä johtuu virallisten budjetinhallintajärjestelmien jäykkyydestä ja iteroivasta päätöksentekomallista (Chan et al. 2001 s. 35-47). Yrityksessä päätöksentekovallassa olevien kannattaa siis pohtia, miten edistyneet valmistusteknologiat vaikuttavat tai voisivat vaikuttaa yrityksen strategiaan. Heidän kannattaa myös seurata, palvelevatko yrityksen sisäiset iteratiiviset prosessit yrityksen strategista etua.

Vaikka yleisesti uskotaan, että edistyneisiin valmistusteknologioiden sijoittaminen tuottaa usein strategisia hyötyjä, hallinnoitsijat kuitenkin jättävät ne järjestelmällisesti huomiotta, koska niitä kysymyksiä usein pidetään toteutukseen liittyvinä. Ratkaisuna tähän on ehdotettu, että edistyneiden teknologioiden projektien päätösprosessissa tulisi myös ottaa käsittelyyn väitteitä, jotka liittyvät kilpailijoiden markkinoiden johtajuuden saamisen, pitämisen tai vaikutelman tavoittamiseen tai teollisuuden tulevaisuuden kehityssuuntiin liittyen. (Chan et al. 2001 s. 35-47) Tulevaisuuden kehitykseen liittyen voi hyödyntää T.O.P.-tekijöiden analyysiä, jossa kerätään tietoa tietojärjestelmiin, joita voidaan käyttää kehityssuuntien ennustamisessa. Ehdotuksia harkitessa on hyvä muistaa, että lähdekirjallisuudessa ei löytynyt tietoa niiden toimivuudesta. Joka tapauksessa loppupäätös on, että teollisuudessa usein jätetään edistyneisiin teknologioihin liittyvät strategiset kysymykset miettimättä, mikä voi olla yksi syy siihen, miksi yritykset ovat usein huonosti varautuneita edistyneiden teknologioiden toteuttamisvaiheessa. Aiemmin tässä luvussa mainitut ongelmat voivat johtua juurikin siitä.

Edistyneiden valmistusteknologioiden toimeenpanon neljä vaihetta, strateginen suunnittelu, perustelujen tarkastelu, koulutus ja asentaminen ja valitun teknologian sovellus, ovat edelleen jaettavissa alavaiheisiin, joiden perusteella voidaan laatia yksityiskohtaisempia ja eksaktempeja suunnitelmia edistyneiden valmistusteknologioiden toteuttamiseksi (Chan et al. 2001 s. 35-47). Näistä vaiheista kirjoitetaan lisää luvussa 4.

Referoidun ja kommentoidun artikkelin pohjalta tehdyn johtopäätöksen mukaan edistyneiden valmistusteknologioiden mahdolliset strategiset edut jäävät usein harkitsematta, sillä ne usein eivät ole helposti määritettävissä. Ongelman alkuperä voidaan tarkentaa edelleen siihen käsitykseen, että edistyneisiin valmistusteknologioiden liittyvät kysymykset kuuluvat enemmän toimeenpanijalle. Tästä syystä kilpailullinen etu on sillä, joka onnistuu edistyneiden valmistusteknologioiden arvioinnissa ja strategisessa suunnittelussa. Tässä hankkeessa auttaa T.O.P.-analyysi (teknologian elinkaaren kokonaiskulujen arviointi), koska sen avulla voi ennustaa teknologian kehityssuuntia.

3 Teknologian arvioinnin tapaustutkimusta

Osa lähteidenhakuvaiheessa löydettyistä lähteistä ei niinkään käsitellyt teknologian arviointia itsessään vaan enemmänkin sovelsi teknologian arviointia todelliseen teknologiseen kohteeseen. Nämä lähteet tarjoavat tutkimusaiheen tarkasteluun käytännön läheisempää tietoa, kuin mitä saa teoreettisemmista ja eksplisiittisemmistä aiheen tarkasteluista. Ainoa lähde, joka saatiin lisättyä kirjallisuuskatsaukseen on työkonien vaatimasta energiamäärästä suhteessa tekijöihin kuten materiaalin syöttönopeus tai leikkausnopeus tai –syvyys. Artikkelia luetaan ja referoidaan siitä näkökulmasta, mikä kertoo kyseisen arvioinnin soveltamiseen liittyvistä käytännön ongelmista ja miten muualla kirjallisuudessa käsiteltyä teoriaa havainnollistetaan arvioprosessissa.

Tutkimuksen tekijät päättivät tutkia työkonien energian kulutusta, sillä CECIMO (Euroopan työkoneteollisuusliitto) on luomassa standardeja työkonien energiatehokkuudelle ja Puolan valmistajien keskuudessa on laajaa kiinnostusta energian kulutuksen minimointiin (Skoczynski et al. 2013). Teknologian arviointityötä ei olla siis tekemässä ainakaan suoraan palveluksena vain yhdelle tietylle organisaatiolle, vaan tarve tutkimukselle on havaittu tutustumalla päättäjien suunnitelmiin tulevaisuuden toimille ja analysoimalla laajemman yhteiskunnan tarpeisiin liittyviä tilastoja. Teknologian puolueettomia arviointeja voi tehdä proaktiivisesti teknologioista myös itsenäisesti ja niiden tulevaa ky-syntää voi arvioida muun muassa havainnoillistetulla tavalla.

Tutkijat rajasivat aihepiirin kattamaan vain tiettyjen työkonetyyppien energian kulutuksen tyhjääjossa ja koneistuksen aikana. Energian kulutukseen vaikuttavat tekijät luokiteltiin vakituisesti energiaa kuluttaviin osiin, jotka ovat ohjausjärjestelmän virtalähde, voitelujärjestelmän pumpun moottori ja leikkausalueen valaistus, ja vaihtelevasti energiaa kuluttaviin osiin, jotka ovat pää- ja avustavat käyttöyksiköt, syöteliikkekoneistot, asemoivat käyttöyksiköt, jäähdytysnestepumpun moottori ja työkalun vaihto- ja korjausvälineet. Työkoneen energian kulutukselle määriteltiin laskentamenetelmät vaaditun tehon ja käyttöajan perusteella ja energian kulutuksen arvioinnin perusteeksi ilmoitettiin energian kulutusindeksi. (Skoczynski et al. 2013) Energian kulutusindeksin kaavan esittämisessä näyttää olevan virhe, minkä vuoksi koko arvioinnin johtopäätös on kyseenalainen. Loppu alustus vaikuttaa fysiikan tieteiden mukaiselta, järkevältä approksimaatiolta ja perustavanlaatuisilta tieteellisiltä toimenpiteiltä. Työkoneiden testaamisessa käytetyt työkalut kuten sorvit ja jyrsimet, työkappaleet ja koneistus parametrit kontrolloitiin (Skoczynski et al. 2013).

Tutkimustyön alustuksen jälkeen tulokset annettiin kaksiulotteisina graafeina, ja tehontarpeen mittausten menetelmät selostettiin. Mittaustuloksissa näytettiin koneiden energian kulutus eri ajankohtina, mistä saattoi myös nähdä energian kulutuksen vaihtelu koneen käynnin eri vaiheissa. Koneiden energian kulutukset asetettiin vertailuun, ja huomattiin, että energian kulutus laskee, kun leikkausnopeutta ja –syvyyttä nostetaan, eli samanlaisilla parametreilla, mitä käytetään rouhimisessa. Energiankulutuseroja näkyy myös koneiden välillä, mistä voi lukea enemmän itse tutkimuksessa. (Skoczynski et al. 2013) Tässä referaatissa keskitytään enemmän itse arvioinnin toteutukseen.

Koneiden energiankulutuseroja selitettiin niiden käyttöyksiköiden tehohäviöillä. Tutkijat päätyivät siihen lopputulokseen, että energian säästön vuoksi kannattaa suosia karehan työstön parametrejä ja että käyttöyksiköiden suunnittelun vaikutusta työkonien energian kulutukseen kannattaa tutkia jatkotutkimuksissa. (Skoczynski et al. 2013)

Tutkimus oli yksinkertainen mittaus ja vertailu, missä oli hyvin rajattu määrä tutkimuksen kohteita ja siinä oli valitettavasti huolimattomuusvirheitä. Kiinnostavampaa oli kuitenkin tapa, jolla tutkimuksen tarpeellisuus perusteltiin. Tutkimusta varten oli tarkkailtu julkisia ilmoituksia organisaation tulevaisuuden tavoitteista ja tutkimustietoa yleisestä

suhtautumisesta. Tutkimuksen lopputulokset olisivat voineet olla arvattavissa, mutta se, että käyttöyksiköiden suunnittelun tärkeys eristettiin tekijänä, voi olla merkityksellistä. Yhteenvedona referoinnista voi vetää, että teknologioiden arvioinnin yhteydessä on mahdollisuus tehdä laajempia yleistyksiä tarkasteltavasta teknologialuokasta, mitä voi käyttää jatkotutkimuksissa.

4 Varsinaisia teknologian arviointimenetelmiä

Tässä luvussa käydään lyhyesti läpi kirjallisuudessa esille tuotuja arviointimenetelmiä. Alaluvut ovat referaatteja toisten kirjoituksiin, jotka on käännetty suomeksi ja niistä on poistettu taustatieto ja muu tiedon esitys, mikä ei suoraan kerro, miten aiheena oleva arviointimenetelmä suoritetaan. Referaattien tarkoitus on antaa lukijalle parempi käsitys mahdollisista työtavoista ja tarvittava tieto tutkia aiheetta lisää.

Ensimmäisenä käsittelyssä ovat TCBO ja T.O.P.-tekijöiden analyysi. Termit selitetään tekstissä. Tämä menetelmä auttaa yritystä, jolle pitkäjänteinen tuottavuus on tärkeä, mutta aliarvostettu tekijä.

Teknologian elinkaaren kokonaiskulojen arvioinnista siirrytään hybriditeknologioiden riskianalyysiin, missä arvioidaan mahdollisten teknologian hybridisointien riskitasoja. Usein parhaimmat innovaation eivät tule ennen näkemättöminä innovaatioina, vaan usein ne tulevat vanhojen toimintojen paremmasta toteutuksesta. Toteutuksen parannuksia voi usein löytää teknologioiden välisten synergioiden havaitsemisella ja realisoimisella. Realisointi tapahtuu synergisten teknologioiden hybridisoinnilla. Hybridisointiin kuitenkin liittyy tiettyjä riskejä, joita voi arvioida esitellyllä menetelmällä.

Kolmantena referoitavana on PROMETHEE-menetelmä, jonka ilmoitetaan olevan yksinkertaisuutensa ja sovellettavuutensa vuoksi hyvin kustannustehokas. Tästä syystä sen käyttöä kannattaa harkita varsinkin kehittyvissä talouksissa, mutta ensin olisi hyvä tutkia myyntipuhemaisuuksia menetelmää esittelevässä kirjoituksessa.

Viimeisenä aiheena on quality function deployment ja failure mode analysis –menetelmistä syntetisoitu arviointimenetelmä. Tällä arviointityökalulla voi sekä valita useamman automatisointivaihtoehdon joukosta päätöstä suorittavalle yritykselle soveliaimman vaihtoehdon että tunnistaa valittuun vaihtoehtoon liittyvät riskit. Menetelmä esiteltiin lähdekirjallisuudessa automaatiovaihtoehtojen tarkastelutyökaluna, mutta luetussa tekstissä ei käynyt selväksi, kuinka sovellettavissa menetelmä on toisiin teknologiatyyppeihin. Tämä toimintatavan vahvuus on toteutusvaiheen aktiivinen helpotus. Kirjallisuudessa kävi hyvin ilmi, että menetelmää kehittäessä toteutusvaiheen ongelmat olivat aina keskiössä. On olemassa tutkimustyötä, missä korostetaan toteutusvaiheen tärkeyttä projektien onnistumisen kannalta (CHAOS report, 2015). Lähteessä vaikuttaa kuitenkin siltä, että projektien onnistumisen kriteerit ollaan rajattu hyvin tiukasti, ja kirjallisuudesta löytyy myös kritiikkiä tutkimusta vastaan, joissa tehdään sama huomio.

4.1 Teknologian elinkaaren kokonaiskulojen arviointi

Total Costs and Benefits of Ownership (TCBO) tai suomeksi teknologian elinkaaren kokonaiskulojen arviointi on tapa ottaa huomioon teknologian kokonaiskulut sen elinkaaren aikana ja tässä luvussa esitellään Denkenan et al.:in artikkelissaan ”*Linking total costs and benefits of ownership (TCBO) and process chain simulation for integrated assessment of manufacturing technologies and processes*” tuottama menetelmä teknologian elinkaaren kokonaiskulojen arvioimiseen teknologisiin, organisatorisiin ja valmistusprosessiin liittyviin (T.O.P.) tekijöiden pohjalta.

Ensimmäinen vaihe on määrittää T.O.P.-tekijät, mitä varten tarvitaan riittävä tietojärjestelmä, jossa on sisällytettyinä T.O.P.-tekijöiden keskeisvaikutukset. Tietojärjestelmän tuottamiseen on käytettävä prosessiketjusingulaatiomallia, sillä yksinkertaiset

analyttiset menetelmät eivät riitä menetelmän suorittamiseen. (Denkena et al. 2011 s. 557-564)

(Denkena et al. 2011 s. 557-564) Teknologian suorituskyky ja prosessiketjut mallinetaan funktionaalisin suhtein ja parametrit, jotka riippuvat ajasta tai stokastisista vaikutteista. Sopiva tietojärjestelmä voidaan luoda käyttämällä prosessisimulaatiomalleja ja luoduilla tietojärjestelmillä voidaan määrittää T.O.P.-tekijät. Saadut T.O.P.-tekijöiden arvot tulisi varmentaa reaali-prosessin mittauksilla. Kerätyn datan perustalta voi luoda kokonaiskuvan teknologian tulevaisuuden kuluista ja hyödyistä. Kyseistä menetelmää kutsutaan TCBO:n pilarimalliksi (Column-Model of TCBO). (Denkena et al. 2011 s. 557-564)

Prosessiketjusimulaatio pitää yhdistää TCBO-arvioon. Tämä tehdään järjestelmällisesti neljässä vaiheessa. Ensiksi määritellään ja tallennetaan vaihtoehtoisten sijoituskohteiden teknologinen data sisällyttäen teknologiset, organisatoriset ja prosessiin liittyvät tekijät. Tallennettu data siirretään valmiiseen valmistuksen prosessiketjusimulaatiomalliin, minkä tekemällä saisi aikaan huomattavan tietojärjestelmän. T.O.P.-tekijöiden keskeisvaikutukset tunnistetaan ja tutkitaan ja liittämällä T.O.P.-tekijät simulaatiotuloksiin voidaan sijoitusvaihtoehtojen kokonaiskulut ja –hyödyt arvioida. Määritetyt arvot voidaan siirtää MS Excel pohjaiseen GUI (Graphical User Interface) –ohjelmaan, missä TCBO voidaan arvioida ja esittää visuaalisesti. (Denkena et al. 2011 s. 557-564)

Tulevaisuuden TCBO:n arvioimiseen pitää valita oikeat sijoituksen arvostusmenetelmät. Staattiset menetelmät ovat rajoitettuja sijoitusten vertailun näkökulmasta, sillä ne ottavat huomioon vain kulut sijoitushetkellä ja ovat dynaamisia menetelmiä epätarkempia, koska ne eivät ota eri maksutapoja huomioon. Dynaamisilla menetelmillä huomioidaan ajan vaikutus rahavirtoihin. Tulevaisuuden rahavirrat diskontataan samaan ajanhetkeen vertailua varten, millä saadaan laskettua NPV. NPV voidaan laskea kaavalla (1),

$$NPV = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} \quad (1)$$

missä i on korko, CF_t on rahavirta hetkellä t ja on I_0 sijoituksen hankintakulu. NPV-yhtälöä voidaan myös laajentaa ottamaan huomioon verojen vaikutukset käyttämällä WACC (Weighted Average Cost of Capital) –lähestymistapaa. NPV:n liittämiseksi TCBO:hon eri ajanhetkien kulut ja hyödyt määritetään rahassa ja diskontataan niiden ensimmäisen tapahtumahetken mukaan. (Denkena et al. 2011 s. 557-564)

TCBO:n graafista esitystä varten huomautetaan, että *Institute for Production Engineering and Machine Tools* on tuottanut tätä varten vartein otettavan ohjelmiston. Ohjelmisto keskittyy vaihtelevien koneistusmuotojen yhdistettyyn arviointiin ja siinä voi syöttää arviointiin mukaan otettavien tekijöiden eri arvoja eri teknologiavaihtoehtoille ja laskettu TCBO esitetään graafisesti vertailua varten. Tietoja, joihin TCBO perustuu, voidaan muuttaa ja jatkaa tarpeen mukaan. Kyseinen ohjelmisto kehitettiin koneistustyökaluja varten, mutta koska tiedon siirto prosessiketjuun ei ole välttämätöntä TCBO-järjestelmän toimintaa varten ja koska arviointikriteerejä voidaan muuttaa halutessa, TCBO-järjestelmää voidaan käyttää kaikkia sijoituskohteita varten. (Denkena et al. 2011 s. 557-564)

Kyseinen menetelmä esitellään tarkemmin artikkelissa ”*Linking total costs and benefits of ownership (TCBO) and process chain simulation for integrated assessment of manufacturing technologies and processes*” ja kaikki kunnia annetaan Denkena et al:lle.

4.2 Hybridisoinnista saatavan potentiaalisen hyödyn tunnistaminen ja hybridisointiin liittyvien riskien analysointi

Teknologioiden hybridisointi perustuu usein epämääräisiin toimenpiteisiin. Toimenpiteet perustuvat usein vaistoon tai suoranaiseen satunnaiseen kokeiluun. (Nau et al. 2012) Kun mikä tahansa toiminta ei ole selvästi määritelty, siihen sisältyy paljon sellaisia toimia, jotka eivät edistä toiminnan tavoitteita tai jopa sellaisia, jotka aktiivisesti vastustavat niitä. Siksi hybridisointi vaatii järjestelmällisen lähestymistavan tehokkaampaa ja laadukkaampaa teknologioiden yhdistystä varten. Hybridisoinnin tarkoitus on tuoda vanhoihin teknologioihin uutta potentiaali hyväksikäyttämällä niiden välisiä synergisiä vaikutuksia. Synergia tarkoittaa kahden elementin vuorovaikutuksesta syntyvää tulosta, joka ei toteutuisi, jos elementit toimisivat erikseen (Merriam Webster 2019). Lisäksi hybridisoinnin tulisi välttää sen mukana tulevia riskejä. Hybridisoinnissa voidaan esimerkiksi joutua tekemään kompromisseja jommankumman tai molempien teknologioiden suorituskyvyssä. Kun hybridisointiin liittyvät positiiviset ja negatiiviset tulevaisuuden näkymät ovat arvioitu objektiivisesti, voidaan tehdä holistinen hybriditeknologian käyttöönottopäätös.

Hybridiprosessin kehitys on jaettu vaiheisiin, jotka ovat ongelman analyysi, ratkaisujen etsintä ja ratkaisun arviointi. Kehitysprosessin sujuvaa suoritusta varten tulisi teknologiaan liittyvien asiakirjojen ja kehitystä suorittavan asiantuntijan tietämys teknologiasta olla laaja ja luotettava. Projektiin liittyvä tietämys tulisi myös olla muokattavissa ja laajennettavissa tarvittaessa. (B. Nau et al. 2012)

Ongelman muotoilu-vaiheessa teknologia rajataan ja ongelmaksi määritellään kahden tai useamman suunnitteluvaatimuksen ristiriita. Yksittäistä ristiriidan ratkaisua kutsutaan ”Pareto optimum”:ksi tai Pareto-optimiksi. Tässä menetelmässä huomioidaan systeemin toimintapisteitä, jotka kuuluvat johonkin Pareto-optimiin ja oletetaan, että yhteen toimintapisteeseen tehdyt parannukset ovat yleistettävissä kaikkiin saman systeemin toimintapisteisiin. Toimintapiste on koordinaatti ristiriitaisten suunnitteluvaatimusten virittämässä koordinaatistossa. (Nau et al. 2012)

Ensimmäinen vaihe ongelman analyysissä on valmistustavan kuvaaminen ”mustana laatikkona”, jonka ainoat määritetyt parametrit ovat sen syötteet ja tuotteet. Syöte- ja tuoteparametrit määritetään empiirisillä ja analyttisillä tavoilla. Asiantuntijätietämystä ja -oletuksia voidaan käyttää teknologian tietojärjestelmässä esiintyvien prosessivaatimusten välisten korrelaatioiden tunnistamiseksi. Tilastolliset menetelmiä soveltuvat ristiriidassa olevien parametrien havaitsemiseen. (Nau et al. 2012)

Aim criteria		DO		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Macro geometry	Dimensional accuracy	+	1		C								0	0	C				C
	Max. overall dimension	+	2				C								C		C	C	
	Min. edge radii	-	3														C		
	Cylindricity	+	4																C
Micro geometry	Surface roughness Ra	-	5								C	C	C	C	C		C	0	
	Material contact area	+	6												C				
	Spin	-	7												C				
Surface layer material properties	Material structure modification	-	8											0	C	C		C	
	Mikro hardness modification	-	9											0	C	C		C	
	Residual tensile stresses	-	10												C	C		C	
	Residual comprehensive stresses	+	11												C	C		C	
Organisational-economic criteria	Machining time	-	12													0		C	
	Tool life	+	13																0
	Energy consumption	-	14																0
	Lubricant consumption	-	15																0
	Setup time	-	16																0

0: Varying relationship
C: Conflict of aims
DO: Direction of optimisation

Kuva 1 Parametrien keskeisvaikutusmatriisi, joka on muodostettu ristiriitaisten kriteerien tunnistamiseksi (Nau et al. 2012)

Kun prosessivaatimusten parametrit ovat määritetty, tutkitaan niiden välisiä keskeisvaikutuksia ja prosessin mekanismeja syy-seuraussuhteiden näkökulmasta. ”Musta laatikko”-mallituksen syötteet ovat helposti muutettavissa syy-seurausanalyysin syiksi

ja tuotteet vaikutuksiksi. Syy-seurausketjuja yhdistämällä voidaan muodostaa syy-seurauskaavio, jonka pohjalta voidaan etsiä ”*Intersection point of Hybridisation*”:eitä (IPH) eli elementtejä, joiden avulla voidaan parantaa parametrejä ilman, että niiden väliset ristiriidat aiheuttavat uhrauksia niiden kanssa ristiriidassa olevissa parametreissa. Jos IPH:ita etsitään erityisen monimutkaisista syy-seurausverkostoista voidaan hyödyntää Bjørke:n ”*algebraic incidence*”-matriisia. (Nau et al. 2012)

Kun mahdolliset IPH:t ovat tunnistettu, prosessia voidaan kehittää edelleen lisäämällä tai muuttamalla IPH:ihin vaikuttavia fyysisiä prosessimekanismeja. Hybridiprosesseissa lisätään ulkoisen energian ja materiaalin lähteitä. Ratkaisuperiaatteiden tuomiseksi muista teknologioista analogioina käytetään Koller:in ja Kastrup:in morfologisen laatikon käsitettä. Syy-seurauskaavion tekijöistä saadut teknologialle ominaiset parametrit (specific parametre) kuvataan morfologisessa laatikossa perusparametreillä (standard parametre). Perusparametrille määritellään joukko tunnettuja seurausketjuja, joilla voidaan vaikuttaa halutessa perusparametriin. Seurausketjut ovat ehdotettuja ratkaisuja ongelmaan ja kun ne ovat määritelty, ne arvioidaan soveltuvuuden perusteella. (Nau et al. 2012)

Suunnitellun hybridiratkaisun arvioimiseksi hybridisoinnin vaikutukset määritetään, mikä voidaan tehdä joko kytkemällä tunnettuja prosessimalleja toisiinsa analyytisesti tai simuloimalla tuloksia. Koko arviointia ei kuitenkaan voi tehdä yksin analyysillä ja ne pitää sen takia varmistaa empiirisesti. Jotta hybridiratkaisun toteutukseen ja empiiriseen arviointiin asti edistämisen kannattavuus voitaisiin tietää, pitää tehdä riskianalyysi, jonka perusteella suunnitelman hyväksymispäätöksiä voidaan tehdä. (Nau et al. 2012)

Riskianalyysi tehdään, kun ristiriitaongelman ratkaisuvaihtoehdot ovat tiedossa. Analyysi koostuu neljästä eri vaiheesta: riskin tunnistus, arviointi, kokoaminen ja visualisointi. Tunnistusvaiheessa kaikki riskit nimetään, ja jos riskien merkityksellisyydet havaitaan olevan eroavia, ne painotetaan tärkeyden perusteella. Arviointivaiheessa tunnistettujen riskien uhkatasot määritetään joko olettamalla, että menneisyydessä mitatut arvot kuvaavat järjestelmän tulevaisuuden käyttäytymistä, tai vaihtoehtoisilla ennustavilla malleilla. Riskit kootaan niiden keskeisvaikutusten selvittämiseksi ja koottu tieto visualisoidaan kokonaisuuden ymmärtämiseksi ja päätöksenteon tueksi. Riski määritellään käsitteenä Grundmann:in määritelmää, jonka mukaan riskit kuvaavat päätöksenteon jälkeistä ja päätöksenteko-ongelman epävarmuudesta johtuvaa vaaraa. (Nau et al. 2012)

Olennaisten riskien tunnistamiseksi on käytettävissä kaksi menetelmää. Yksi on tarkastuslistan käyttö, mistä esimerkkinä voisi olla Eulerin lista. Tarkastuslista on nopea ja helppo tapa arvioida tunnettuja riskejä ja helposti mukautettavissa vaihtelevaan mittakaavaan, mutta se ei ota uusia riskityyppejä ollenkaan huomioon eikä mahdollista riskityyppien painotusta. Toinen on Wolf:in ja Runzheimer:in muokkaama QFD (Qualification Function Deployment) –menetelmä, millä voidaan liittää riskit niitä tuottaviin tekijöihin ja painottaa riskit niiden tärkeyden mukaan. (Nau et al. 2012)

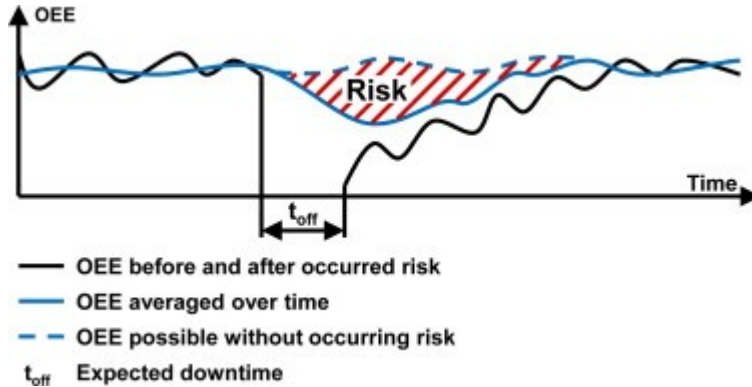
Jos mahdolliset riskit tunnistettiin QFD-menetelmällä, riskien painotus on jo tehty. Muussa tapauksessa painotus tulee tehdä arviointivaiheessa. Helppo tapa määrittää riskejä on riskin etusijanumero (Risk Priority Number, RPN), joka lasketaan kolmen riskiin liittyvän tekijän, vakavuuden V (severity), esiintymätiheyden E (occurrence) ja havaitavuuden H (detection), tulona kaavalla (2).

$$RPN = V * E * H \quad (2)$$

Tekijöille V, E ja H annetaan arvioivat kokonaislukuarvot välillä [1, 10]. (Nau et al. 2012) Tästä seuraa, että riskin etusijanumeron RPN mahdolliset arvot ovat normaali- ja kautuneita välillä [1, 1000]. (Nau et al. 2012) Riskit voidaan sitten ottaa huomioon niiden RPN:n suuruusjärjestyksessä. Menetelmä on helppo ja nopea, mutta kärsii sen riippuvuudesta suorittajan subjektiivisesta kokemuksesta. RPN:ää tulisi siis käyttää parannustoimien ehdotuksiin, ei absoluuttisiin päätelmiin. (Nau et al. 2012)

Toinen tapa on käyttää välineistön kokonaistehokkuutta (Overall Equipment Effectiveness (OEE)), mikä myös lasketaan kolmen tekijän tulona. Tekijät ovat saatavuus

(availability), suorituskyky (performance) ja laatu (quality). Erona on, että OEE:n tekijät ovat empiiristen mittausten tuloksia. OEE:ta mitattaessa OEE-arvon ajankohta tallennetaan aikajanelle. OEE:ta voidaan käyttää riskin arviointiin, jos tarkasteluun liitetään työkoneneen aika poissa käytöstä riskin realisoituessa tai toisin sanoen tapaturman tapahtuessa. Riskin vakavuus on keskimääräinen ajan kuluessa menetetty OEE. (Nau et al. 2012) Laskutavan esitys kuvassa ja kaavassa (3).



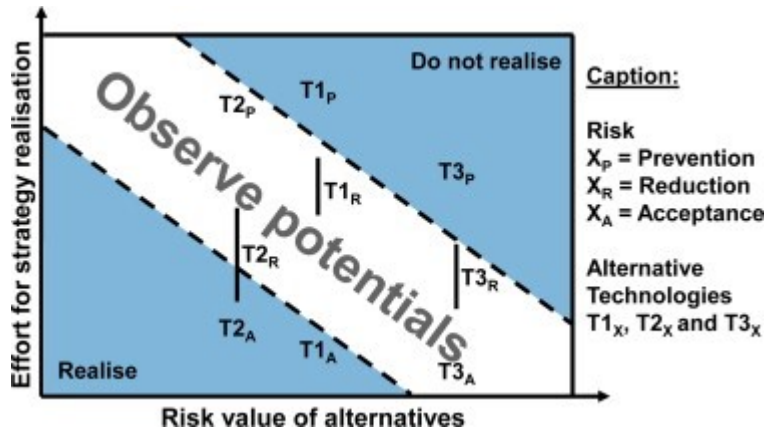
Kuva 2 Riskin graafinen esitys OEE:n vastekuvaajassa (Nau et al. 2012)

$$RISK = \int_{t_0}^{\infty} OEE_{norm} - OEE_{risk.av}.dt \quad (3)$$

RISK on riskin vakavuus, OEE_{norm} tarkoittaa OEE hetkellä t ilman tapaturmaa, $OEE_{risk.av.}$ keskimääräinen OEE hetkellä t tapaturman kanssa ja t_0 tapaturman ajankohta. Erotuksen raja-arvotarkastelun sijaan äärettömyys voidaan korvata laskuissa jollain analyysin leikkauspisteen ajankohdalla, joka vaikuttaa arvioijalta sopivalta. Arviointitavassa on kiinnitettävä erityistä huomiota simulaatioiden lähtöarvojen verrattavuuteen ja niiden määrittämiseen. Vaihtoehtona simuloinnille on empiirinen mittaaminen, mikä on tarkempi tapa, mutta voi vaatia enemmän aikaa ja työtä. (Nau et al. 2012)

(Nau et al. 2012) Kun riskit ovat tunnistettu ja arvioitu, ne kootaan yhteiseen tarkastelu-ympäristöön, koska riskitilanteiden tapahtuminen voi vaikuttaa toisiin riskeihin vaihtelevin tavoin. Sen vuoksi niiden yhteenlasku ei ole helposti toimitettavissa ja on suoritettava simulaatio. Monte-Carlo-simulaation avulla voidaan selvittää jokaisen erillisen riskin vuorovaikutukset, jos jokaiseen erilliseen riskiin liittyvät epävarmuudet ovat tiedossa ja esitetty todennäköisyysjakauman muodossa. (Nau et al. 2012)

(Nau et al. 2012) Riskien kokonaisarviointin jälkeen seuraa vaihtoehtoisten valmistusteknologioiden valinta. Riskien lisäksi valintaprosessissa on muitakin huomioitavia tekijöitä ja riskeihin on muutoinkin useampi tapa vastata, mikä tekee valintaprosessista monimutkaisemman kuin pelkän riskianalyysin. Tapoja vastata riskeihin ovat riskien ehkäisy, vähennys ja hyväksyntä. Jos nähdään, että riskin vähentämiseksi nähtävä vaivan määrä on oikeutettavissa vaihtoehdon kohdalla, tulee se ottaa harkintaan. Vaihtoehto, joka vaatii vähäisen vaivan näön ja jolla on hyväksyttävä riskitaso, on suosittavissa vaihtoehdon yli, joka vaatii suuren vaivan näön määrän pienen riskin hallitsemiseksi. Jokaiselle harkitulle vaihtoehdolle havainnollistetaan vaivan näöt niiden hyväksynnän, vähennyksen ja ehkäisyyden eteen. Lähdekirjallisuudessa löytyy kuvaesitys teknologioiden riskienhallinnan vaivan näkömääristä.



Kuva 3 Teknologiaan liittyvät riskit ja vaivan näkö (Nau et al. 2012)

Teknologiat hyväksytään, hylätään tai päätöksentekoon haetaan lisää tietoa sen perusteella, ovatko teknologian omaksumiseen liittyvät riskit ja vaivan näkö hallittavalla tasolla. (Nau et al. 2012)

4.3 Teknologioiden sijoitus arvoasteikolle

(Ghazinoory et al. 2013) Preference Ranking Organization METHod for Enrichment (PROMETHEE) on arviointimenetelmäperhe tarkastelukohdejoukon arvoastesijojen määrittelyä varten. Arvoasteikko on lista asioita, jotka ovat järjestetty paremmuuden perusteella. Ghazinoory et al. väittävät, että PROMETHEE on helppo käyttää ja sen tuloksia on helppo tulkita, sillä matemaattinen malli, johon se perustuu, on hyvin yksinkertainen. He väittävät myös, että PROMETHEE käsittelee ristiriitaitilanteita tavalla, joka mukautuu ihmisen ajattelutapaan. PROMETHEE mahdollistaa myös suunnitteluvaatimusten tärkeysjärjestykseen asettamisen ja niiden lukumäärän järjeistämisen. Nämä ominaisuudet tekisivät PROMETHEE:stä hyvän menetelmän teknologia-arvioiden yksinkertaistusta ja rutiinimaista arviointityötä varten ja koska teknologioilla on tapana vaihdella niiden yksinkertaisuudessa ja kattavuudessa, PROMETHEE:n yleisyys on kasvanut viime aikoina. PROMETHEE:n käyttö sisältää eri tekijöiden painotusta ja se voikin olla PROMETHEE:n yksi heikkous. Näiden tekijöiden painottamiseen ei löydy mitään eksplisiittistä ohjeistusta. (Ghazinoory et al. 2013) PROMETHEE:stä annetaan siis korkeita lupauksia, ja kirjallisuuden mukaan se antaa arviointituloksia tehokkaasti siihen käytettyyn työaikaan nähden. Jos väitteet ovat totta, PROMETHEE olisi suositeltavissa varsinkin pienille yrityksille ja kehittyvissä maissa toimiville organisaatioille.

Referoitu artikkeli perustuu PROMETHEE:n liittyvän kirjallisuuden katsaukseen. Siihen sisällytettiin esimerkkejä PROMETHEE:n käytöstä käytännötilanteessa, selitystä toisten tutkijoiden käyttämisestä valintamenetelmistä, keskustelua PROMETHEE:n suosinta perusteista ja vertailua toisiin arviointimenetelmiin.

(Ghazinoory et al. 2013) PROMETHEE:llä on monia iteraatioita, joita on kehitetty vuosien saatossa. PROMETHEE-perheen jäsenet ovat eritelty numeroinnilla, joista ensimmäistä ja toista versiota käsitellään tässä työssä. PROMETHEE I ja PROMETHEE II jakavat keskenään samat perusoletukset, jotka ovat listattu alla. Termit selitetään listan jälkeen.

- Arvioinnin suorittaja pystyy ilmaisemaan painotuksensa jokaiselle arviointiperusteelle suhdeluvulla.
- Arvioinnin suorittaja pystyy ilmaisemaan suhdeluvun käytön tärkeyden jokaisen arviointiperusteen kohdalla.

- Arviointiperusteiden painotuksilla on vaikutussuhde arviointiperusteiden väliin vaihtokaappoihin.
- Arvioinnin väliset erot ovat merkityksellisiä.
- Yksikään mahdollisista eroista arviointiperusteiden välillä ei luo ristiriitaa.
- Päätöksentekijät tuntevat vaihtoehtojen lisäämisen tai poistamisen seuraukset

Päätöksentekoa varten tarvitaan ratkaisumenetelmä moniarviointiperusteiseen ongelmaan, mikä on esitetty kaavassa (4). Moniarviointiperusteinen ongelma tarkoittaa ongelmaa, jolla on useampi kuin yksi vaatimus ratkaisulle.

$$\max\{g_1(a), g_2(a), \dots, g_j(a), \dots, g_k(a) | a \in A\} \quad (4)$$

A on äärellinen määrä vaihtoehtoja $\{a_1, a_2, \dots, a_j, \dots, a_k\}$ ja $\{g_1(\cdot), g_2(\cdot), \dots, g_j(\cdot), \dots, g_k(\cdot)\}$ ovat arviointiperusteita. Moniarviointiperusteisen ongelman tulokset esitetään taulukossa, johon eritellään vaihtoehdot riveille ja arviointiperusteet sarakkeille. Esimerkki taulukosta näkyy taulukossa 1.

$g_x()$				
a_y	$g_1()$	$g_2()$	...	$g_j()$
a1	$g_1(a_1)$...		
a2	⋮	...		
⋮				
a _i				

Taulukko 1 Esimerkki taulukosta, jossa on arvioitavat vaihtoehdot ja niiden arviointiperusteet

Niiden risteyslouihiin tulee kyseisen arviointiperusteiden g_x tulos $g_x(a_y)$ kyseiselle vaihtoehdolle a_y . (Ghazinoory et al. 2013)

(Ghazinoory et al. 2013) Arviointiperusteiden painotusta varten luodaan funktio P, joka ilmaisee arviointiperusteiden tärkeyttä. Funktion P tulos lasketaan syöttämällä arviointitulosten erotus d funktioon F. F on arviointiperusteiden painotus. Laskutoimitus on esitetty kaavassa (5),

$$P_j(a, b) = F_j[d_j(a, b)] \mid d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b) \quad (5)$$

missä a ja b ovat eri vaihtoehtoja ja $P_j(a, b) \in [0,1]$. Kaava tarkoittaa sitä, että arvioijan suosio (englanniksi Preference) arviointiperusteissa paremmin pärjäävälle vaihtoehdolle riippuu arviointiperusteiden painotuksesta F. Kun osataan määrittää jokaisen arviointiperusteiden tärkeys ja jokaisen vaihtoehdon kaikki arviointitulokset, lasketaan suosio jokaisen vaihtoehdon välille kaikki arviointiperusteet huomioon ottaen funktiolla π . Funktio on esitetty kaavassa (6),

$$\begin{cases} \pi(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b)w_j \\ \pi(b, a) = \sum_{j=1}^k P_j(b, a)w_j \end{cases} \mid \sum_{j=1}^k w_j \quad (6)$$

missä w_j on arviointiperusteiden $g_j(\cdot)$ painotus. Tärkeyssuhteet lasketaan kaikkien vaihtoehtojen välille. (Ghazinoory et al. 2013)

(Ghazinoory et al. 2013) Vaihtoehtojen kokonaissuosion perusteella voidaan laskea sijoitusvirrat (outranking flow). Lähteessä ei käynyt selväksi, mitä tämä suure tarkoittaa, mutta kandidaatin työn kirjoittajan arvaus on, että kyseessä on vertaileva funktio

ohjelmalle, joka käy vaihtoehtojen listaa läpi samalla tarkastaen, sijoitetaanko tarkasteltava vaihtoehto sen viereisen vaihtoehdon ylle tai alle arvoasteikossa. Kaavat positiiviselle ja negatiiviselle sijoitusvirralle ϕ ovat kaavassa (7).

$$\begin{cases} \phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x) \\ \phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a) \end{cases} \quad (7)$$

Muuttuja n on vaihtoehtojen lukumäärä. PROMETHEE I:ssa vaihtoehtojen arvoastesijoitus suoritetaan osittain positiivisista ja negatiivisista sijoitusvirtaa käyttäen. Molemmat sijoitusvirrat usein luovat eri sijoitukset.

$$\text{määritelmä: } \begin{cases} aP^I b \text{ iff } \begin{cases} \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ ja } \phi^-(a) < \phi^-(b), \text{ tai} \\ \phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ ja } \phi^-(a) < \phi^-(b), \text{ tai} \\ \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ ja } \phi^-(a) = \phi^-(b) \end{cases} \\ aI^I b \text{ iff } \phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ ja } \phi^-(a) = \phi^-(b); \\ aR^I b \text{ iff } \begin{cases} \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ ja } \phi^-(a) > \phi^-(b), \text{ tai} \\ \phi^+(a) < \phi^+(b) \text{ ja } \phi^-(a) < \phi^-(b); \end{cases} \end{cases}$$

Merkintä iff tarkoittaa ”jos ja vain jos”. Yllä on määritelty suhteet P, suosio; I, samantekevyys ja R, vertaamattomuus (englanniksi Preference, Indifference ja incomparability samassa järjestyksessä) PROMETHEE I:lle. PROMETHEE II:ssa ei ole suhdetyyppiä R. Sen sijaan arvoastesijoitus on täysin määritelty suhteilla P^{II} ja I^{II} . Nyt arvoastesijoitusvirta ϕ lasketaan nettokaavalla (8).

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (8)$$

Nettokaavan ja suhdetyyppien lukumäärän järkeistyksen ansiosta suhteiden P^{II} ja I^{II} määritelmät yksinkertaistuvat PROMETHEE I:n vastaavista huomattavasti.

$$\text{määritelmä: } \begin{cases} aP^{II} b \text{ iff } \phi(a) > \phi(b) \\ aI^{II} b \text{ iff } \phi(a) = \phi(b) \end{cases}$$

Yllä määriteltynä suhteet P ja I PROMETHEE II:lle. (Ghazinoory et al. 2013)

Referoidussa artikkelissa PROMETHEE:ta arvioitiin muihin monimuuttuja-arviointimenetelmiin verrattaessa. Heidän mukaan PROMETHEE:n vahvuuksia ovat sen kyky lajitella vaihtoehdot niin pieniin kuin suuriin ryhmiin ja sen helppokäyttöisyys. Heikkoudeksi raportoitiin sen kyvyttömyys kääntää arvoastesijoituksia, minkä kerrottiin olevan ongelma muissakin monimuuttuja-arviointimenetelmissä ja on muutenkin äärimmäisen harvinaista, että arvoastesijoituksia pitäisi kääntää takaisin. Luetun kirjallisuuden perusteella PROMETHEE:n käyttö ei ole vaikeaa. Se vain vaatii tietojenkäsittelykapasiteettia ja tarpeeksi asiantuntemusta, jotta painotukset ja muut arviointikäsittelytavat voidaan määritellä. Painotukset nimittäin lasketaan asiantuntijamielipiteiden keskiarvolla. Koska tietojenkäsittelyteknologian taso ja saatavuus ovat nykyään äärimmäisen korkealla ja PROMETHEE on suhteellisen yksinkertainen, kyseinen menetelmä soveltuu hyvin kehittyviin talouksiin, kunhan organisaatiosta löytyy asiantuntemusta.

4.4 Syntetisoitu menetelmä automatisaatioteknologioiden edistämiseksi arviointivaiheesta käyttöön

Yritysten toiminta kehittyä nykyisin kohti ”lean”-organisointitapaa, mikä vaatii jatkuvasti parannuksia teknologian, organisaation ja organisaatiossa toimivien ihmisten (T.O.I.) kanssakäynnin välillä. Parannuksia varten tarvitaan parempia teknologioita, jotka mahdollistaisivat johdonmukaisempaa toimintaa mainittujen osa-alueiden välillä. Tässä luvussa esiteltävänä oleva menetelmä auttaa yrityksen hallintoa ottamaan huomioon T.O.I.-näkökulmat tuotannon automaatioprosessin alkuvaiheissa. Menetelmässä on integroituna quality function deployment (QFD) tai suomeksi laatuyhtälön sovellus ja failure mode and effects analysis (FMEA) tai suomeksi virheen riskianalyysi. QFD tuo menetelmään sen kyvyn tunnistaa soveltuvin valmistuksen automatisointivaihtoehto ja FMEA sen kyvyn tunnistaa kyseisen vaihtoehdon suunnittelu- ja toteutusvaiheeseen liittyvät riskit. FMEA:n liittäminen QFD:hen nähtiin tarpeelliseksi, sillä usein joudutaan tekemään päätöksiä, joihin liittyy yhdestä arvosta periksi antamista toisen arvon hyväksi. Arvojen vaihtokaupoista syntyy yrityksen hallinnolle kysymyksiä, joihin joudutaan palaamaan ja varautumaan toteutusvaiheessa. FMEA tunnistaa valittuihin vaihtoehtoihin liittyvät arvokompromissit ja huomiota vaativat toteutuksen osa-alueet. Kun ongelmakysymykset ollaan havaittu etukäteen, niihin on helpompi puuttua toteutusvaiheessa. (Almannai et al. 2008)

QFD on järjestelmällinen menetelmä asiakkaiden tarpeiden määrittelemiseksi ja niiden tulkitsemiseksi tuotteen tai prosessin ominaisuuksina. QFD:ssä luodaan tarkasteluohjeeseen liittyviä matriiseja, joista ensinmäinen on ”House of Quality” (HOQ). HOQ sisällyttää yrityksen hallinnon tarpeet ja järjestelmän arviointiperusteet, jotka hallinnon tarpeet vaativat. Toisessa matriisissa ovat syötteenä ensinmäisestä matriisista saadut arviointiperusteet ja ulostulona arviot käsiteltävänä olevista vaihtoehdoista aliarviointiperusteiden perusteella. Aliarviointiperusteet ovat prosessin aloitusvaiheessa määriteltyjen arviointiperusteiden eksaktimpeja ja helpommin mitattavissa olevia alakäsitteitä. Aliarviointiperusteita käytetään yritykseen soveltuviimpien vaihtoehtojen valitsemisessa, joille puolestaan suoritetaan FMEA-riskianalyysi. (Almannai et al. 2008)

Edeltävissä kappaleissa käytiin läpi arviointimenetelmän suorituksen yleiskuva. Seuraavaksi on kirjoitettu menetelmän toteuttamisesta yksityiskohtaisemmin, jotta lukijalle jää käsitys sen käytännön suorittamisesta. Kuten on jo tullut mainittua, tämän kirjoitustyön tarkoitus ei ole korvata alkuperäisiä teoksia, vaan tiedottaa lukijaa mahdollisista työtavoista ja niihin liittyvästä kirjallisuudesta.

Syntetisoidun arviointimenetelmän ensinmäisessä vaiheessa määritetään arviointiperusteet, joilla arvioidaan yrityksen hallinnon (management) tarpeiden toteutumista. Arviointimenetelmän suorittaja(t) keräävät osakkaiden tavoitteet automaatiiosijoitusten suhteen ja syöttävät ne QFD-matriisiin. Esimerkki alla taulukossa 2.

		Arviointiperusteet						
		arviointiperuste 1	arviointiperuste 2	...	..	..	...
Tavoitteet	strategiset	tavoite 1	suhdeluku	suhdeluku	suhdeluku	...		
		tavoite 2	suhdeluku	suhdeluku	suhdeluku	...		
		...	suhdeluku	suhdeluku	suhdeluku	...		
		...	:	:	:			
	organisatoriset	...						
		...						

		...					
		...					
	inhimilliset	...					
		...					
		...					
		...					
	YHT.	summa 1	summa 2	...	...	...

Taulukko 2 Esimerkki QFD:n ensimmäisestä matriisista

Toisessa vaiheessa tunnistetaan sijoituskohteista organisaatiolle soveltuvin vaihtoehto. Ensimmäisen matriisin tulokset syötetään toiseen matriisiin, jossa aliarviointiperusteet laitetaan tärkeysjärjestykseen. Taulukossa 3 on esimerkki toisesta matriisista. Sijoitusvaihtoehdot arvioidaan aliarviointiperusteiden pohjalta, joiden perusteella tehdyillä laskuilla voidaan valita paras vaihtoehto.

		Tuotannon automaatiovaihtoehdot				
		vaihtoehto 1	vaihtoehto 2	...	...
Arviointiperusteet	Arviointiperusteet	Aliarviointiperusteet	arvo	arvo	arvo	...
	arviointiperuste 1	aliarviointiperuste 1	arvo	arvo	...	
		aliarviointiperuste 2	arvo	...		
			
	arviointiperuste 2	...				
		...				
				
				
				
				
				
				
				
				
	YHT.	summa 1	summa 2	...	...

Taulukko 3 Esimerkki QFD:n toisesta matriisista

Kolmannessa vaiheessa tunnistetaan tehtyyn valintaan liittyvät riskit. QFD:n toisen matriisin arvioidata syötetään FMEA-työkirjaan, jota käytetään arvioimaan toteutusvaiheessa huomioitavat riskit ja riskien vakavuudet. Kaikki negatiiviset arvot riskitasoarviossa tulkitaan erityistä huomiota vaativaksi toteutuksen osa-alueeksi. FMEA:n tulokset esitetään

joukkona normalisoituja RPN-lukuja (katso kaava (2)), mikä on laskettu toteutusvaiheen alitekijöiden RPN-lukujen keskiarvoista. (Almannai et al. 2008) RPN:lle löytyy kaava luvussa 4.2, mutta siihen sisällytetyt tekijät eroavat tämän menetelmän riskianalysissä käytetyistä tekijöistä. Tekijöiden, joille annetaan lukuarvo, lukumäärää on helppo muuttaa niin FMEA-työkirjassa kuin RPN-kaavassa, joten eroavaisuus on vain vähäistä huomioita vaativa sivuseikka.

Arviointiperusteet	Aliarviointiperusteet	Mahdolliset ongelmat	Ongelman mahdolliset vaikutukset		Vakavuus		Mahdolliset aiheuttajat		Todennäköisyys		Vastaus		Normalisoitu RPN
			vaikutus 1	vaikutus 2	Arvo (negatiivinen kokonaisluku)	Arvo (kokonaisluku välillä [1,10])	Aiheuttaja 1	Aiheuttaja 2	Aiheuttaja 3	Arvo (kokonaisluku välillä [1,10])	vastaus 1	vastaus 2		Arvo (prosenttiluku välillä [0,100] %)
arviointiperuste 1	aliarviointiperuste 1	ongelma 1	vaikutus 1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		ongelma 2	vaikutus 2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	aliarviointiperuste 2	ongelma 3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
arviointiperuste 2	aliarviointiperuste 3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Taulukko 4 Esimerkkikuva FMEA-työkirjasta.

Niin kuin kuvasta näkyy, yhdellä arviointiperusteella voi olla useampi aliarviointiperuste, joihin voi liittyä useampi ongelma, joilla taasen voi olla useampi vaikutus tai aiheuttaja.

4.5 Arviointimenetelmien vertailua

Ensinmäisen menetelmän ansioita ovat sen kyky arvioida teknologioiden kannattavuutta astetta syvällisemmin kuin monet sitä edeltävät menetelmät ja sen kyky tuottaa ennakoitavuutta yrityksen tulevaisuuteen. Ennakoitavuus helpottaa riskien hallintaa ja vaikuttaa siten suoraan sijoitusten kannattavuuteen. Näin TCBO lisää yrityksen kannattavuutta yksinkertaisellakin mallilla, mikä on periaatteessa vain diskonttauksen sovellus teknologian arviointiin.

Menetelmä kuvattiin sen esittelyssä olevan dynaaminen vaihtoehto yleisemmille staattisille malleille, mutta Denkena et al:n esittämässä mallissa on kuitenkin vielä tietyn tyyppistä staattisuutta, sillä mallissa oletetaan korkoprosenttien olevan ajan suhteen muuttumattomia. Lisätutkimuksissa voitaisiin tutkia, miten korkoprosentin muuttumista ajan kuluessa voitaisiin mallintaa TCBO:ssa. Yksi mahdollisuus on Monte Carlo-simulaation integroiminen menetelmään. Monte Carlo-simulaatiossa otetaan data suhdanteen menneestä kehityksestä ja niistä johdetaan suhdanteiden kehityksen odotusarvot ja varianssi, joiden perusteella voidaan simuloida suhdanteen mahdolliset tulevaisuuden kehityssuunnat.

Ensinmäisen menetelmän vahvuuksia ovat se, että se tuo arvioijalle ymmärrystä teknologian taloudellisesta arvosta ja se, että se on suhteellisen yksinkertainen. Se ei kuitenkaan ole täydellinen taloudellisena analyysinä, mutta se on parempi kuin pelkkä perusteiden tarkastelu. Heikkouksia ovat puutteellinen korkoprosentin mallinnus ja arvioinnin keskittäytyminen vain yhteen teknologian osa-alueeseen, nimittäin taloudellisuuteen.

Toisessa menetelmässä tunnistetaan olemassa olevia mahdollisuuksia valmiiden ja mahdollisesti jo käytössä olevien teknologioiden hybridisoimiseksi. Tämä tehdään kuvaamalla teknologioita parametrisesti, ja tutkimalla näiden järjestelmien parametrien ja suunnitteluvaatimusten keskeisvaikutuksia tilastollisesti. Jos havaitaan mahdollisuus vaikuttaa johonkin suunnitteluvaatimuksen täydentämiseen positiivisesti muuttamalla järjestelmän parametreja ilman, että toisiin suunnitteluvaatimuksiin vaikutettaisiin kielteisesti, kyseinen mahdollisuus luetaan hybridisointivaihtoehdoksi.

Menetelmä sisältää paljon vaiheita ja käsitteitä, joiden osaaminen edellyttää paljon tutkimustyötä ja asiantuntemusta. Lisäksi menetelmässä tehdään paljon empiirisiä tutkimuksia, jotka lisäävät projektin kokonaistyötaakka kerääntyessään. Menetelmä ei siis ole helposti suoritettavissa, eikä sovellu yrityksille, joilla ei ole erityisen paljon pääomaa. Joka tapauksessa menetelmä on sinänsä lupaava, sillä se tarjoaa mahdollisuuden lisätä tehokkuutta ja niin sanotusti algoritmisesti tuotettavaa innovaatiota yrityksille, joilla on varaa maksaa hybridisoinnin aluillepanokulut. Toisaalta, jos tätä menetelmää käyttämällä teknologioita voidaan hybridisoida onnistuneesti, käytännön pohjalle voitaisiin perustaa itsenäinen yritys, joka möisi valmistavan teollisuuden toimijoille palveluita, jotka auttavat niitä realisoimaan teknologioiden välisiä synergisiä tuottavuuspotentiaaleja. Sitä varten tulisi tulevaisuudessa tutkia, kuinka taloudellisesti kannattava tämä menetelmä on käytännössä.

Menetelmän riskianalyyssissä hyödynnettiin QFD-mallia, joka oli muunneltu riskien arviointia varten. QFD:n käyttö ei ollut välttämätöntä, jos riskit oltiin määritelty arviointiprosessin aikaisemmassa vaiheessa, mutta huomattavaa on, että kun tässä menetelmässä käytettiin QFD:tä riskianalyyssissä, viimeisessä käsitellyssä menetelmässä käytettiin FMEA:ta, vaikka siinä oli muutoin käytössä QFD. QFD:n ja FMEA:n synteisiä perusteltiin sillä, että QFD soveltui paremmin vaihtoehtojen arviointiin, ja FMEA soveltui paremmin tunnistamaan vaihtoehtojen suunnittelu- ja toteutusvaiheisiin liittyviä riskejä. Erillisessä tutkimuksessa voitaneen selvittää, miten QFD ja FMEA eroavat riskianalyyssin teossa. Oletettavasti QFD:n ja FMEA:n synteisi hyötyisi siitä, että sen suoritusprosessia järkeistettäisiin yksinkertaisempaan muotoon. Jos sen riskianalyyssissä käytetty arviointityökalu ei eroaisi tyyppissä menetelmän toisissa vaiheissa käytettävistä työkaluista, menetelmä olisi virtaviivaisempi ja helpommin automatisoitavissa. Jos tutkimuksissa kuitenkin havaitaan, että FMEA soveltuu riskianalyyssiin paremmin kuin QFD, olisi järkevämpää tehdä hybriditekniikan riskianalyysi sillä.

Teknologian hybridisointimenetelmän vahvuuksia on sen kyky paljastaa vaikeammin havaittavissa potentiaalia teknologioissa ja sen kyky arvioida projekteihin liittyvää riskiä yhdessä riskin hallintaan liittyvän työpanoksen kanssa. Menetelmä on kuitenkin hyvin monivaiheinen ja vaatii paljon koulutusta ja asiantuntemusta toteutusta varten.

Kolmas arvioitava menetelmä oli PROMETHEE. Menetelmän esityksessä oli paljon myyntimiesmäistä kirjoitusta, joten ennen kuin hyväksyy kaikki menetelmästä tehdyt väitteet, olisi hyvä ensin tutkia väitteiden pitävyyttä. Tehdyt väitteet todennustapaehdotuksineen ovat listattu alle.

- Helppo käytettävyys
 - Asiaa voidaan tutkia selvittämällä vähimmäiskoulutus, joka tarvitaan arviointimenetelmän soveltamiseen.
- Ristiriitojen käsittelyn mukautuvuus ihmisen ajattelutapaan
 - Ensinnäkin pitäisi selvittää, mitä kirjoittajat tarkoittavat väitteellä. Asiaa ei selvitetty tässä työssä, sillä siihen käytettävän aikamäärän arvioitiin olevan liian suuri. Kun tiedetään, mikä on tyyppinen ihmisen tapa käsitellä ristiriitoja, voidaan arvioida, kuinka hyvin PROMETHEE antaa käyttäjälle mahdollisuuden tulkita sen tuloksia hänelle luontaisella tavalla.
- Kyky järkeistää suunnitteluvaatimusten joukkoa
 - Tämän ominaisuuden olemassaolo voitaisiin todeta laittamalla PROMETHEE käytäntöön. Teknologian arviointeja tekemistä varten määritellään suunnitteluvaatimukset, jotka teknologian tulisi täyttää. Koska teknologian arviointeja tehdään yleensä osana laajempaa projektia, jolla on omat tavoitteensa, näiden suunnitteluvaatimusten tulisi auttaa projektin tavoitteiden saavuttamisessa. Jos jonkin teknologian arviointiprosessia varten tehdystä suunnitteluvaatimusjoukosta havaitaan ylimääräisiä vaatimuksia, jotka voidaan poistaa vaikuttamatta laajemman

projektin tavoitteiden saavutettavuuteen, PROMETHEEN kyky yksinkertaistaa arviointiprosessia olisi todennettu.

- Soveltuvuus kehittyvien maiden taloudelliseen ympäristöön
 - Tätä väitettä varten tulisi yksinkertaisesti tehdä arviointimenetelmien taloudellisuuden vertailu kehittyvän talouden ympäristössä.

Tehdyistä väitteistä kiinnostavin lienee PROMETHEEn kyky järjestyttää suunnitelluista vaatimuksista. Tämä ominaisuus tarkoittaisi sitä, että menetelmällä on tarjottavana arviointiprosessille jotain, mikä puuttuu toisista käsitellyistä menetelmistä kokonaan, nimittäin turhan tiedon poisto. Toisissa menetelmissä arvioitaville teknologioille asetetaan arviointiperusteita, joiden muodostamiselle ei anneta tarkkoja rajoja eikä niiden tarpeellisuutta arvioida erikseen. Vaikka PROMETHEE ei välttämättä hyväksyisi teknologian arviointiprosessin pääasiallisesti toimintatavaksi, sitä voitaisiin silti harkita vaatimusten prosessointia varten.

PROMETHEEn vahvuus on sen vaiheiden yksinkertaisuus, mutta koska jokaiselle arvioidulle vaihtoehdolle ja vaihtoehtojen suhteille pitää määrittää suosiota ilmaisevia funktioita, menetelmän työvaltaisuus kasvaa nopeasti, kun vaihtoehtoja lisätään arvioinnin piiriin. Lisäksi lukuarvot, joihin PROMETHEE perustuu, ovat subjektiivisia. Asiaa voi kuitenkin auttaa lisäämällä arvioitavia tekijöitä, koska regressio jakauman normaaliin vähentää varianssia, kun data lisääntyy. Menetelmän käyttö on siis paljolti tasapainoilua sisällytetyn tiedon määrän kanssa.

Viimeisenä käsittelyssä oli kahdesta toisesta arviointimenetelmästä syntetisoitu metodi, jolla valitaan organisaation tarpeisiin sopeutuvia automatisaatioteknologioita ja arvioidaan kelvollisten vaihtoehtojen riskitasoa ja hallittavuutta. Menetelmää verrattiin jo aiemmin teknologioiden hybridisointiprosessiin, missä mainittiin, että riskianalyysit toteutetaan näissä menetelmissä eri työkaluilla ja että saattaisi olla tutkimuksen arvoista selvittää, kumpi näistä menetelmistä, jos kumpikaan, soveltuu paremmin riskianalyysiin.

Menetelmässä kerätään painoarvolukuja tarkastelukohteen ominaisuuksille samalla tavalla kuin PROMETHEE:ssä. Tämä toimintatapa on tyypillinen analyttiselle hierarkia prosessille (AHP), mikä on päätöksen teon avustamisessa käytetty matemaattinen malli. AHP:lla lasketaan päätöksentekijälle merkityksellisiä lukuarvoja suureille, jotka eivät välttämättä ole teknisesti määritettävissä, mutta vaikuttavat joka tapauksessa päätökseen. Koska menettelylle löytyy jo useamman vuosikymmenen ajan käytetty teoria, herää kysymys, miksei tai voiko asian ilmaisua formalisoida AHP-teorian termistöllä.

Menetelmät eroavat kyllä toisistaan niin, että ei voi puhua periaatteessa samantekevistä menetelmistä. QFD:n ja FMEA:n synteessissä AHP:ta käytetään vaihtoehtojen karsimiseen ja PROMETHEE:ssä käytetään algoritmia asettamaan vaihtoehdot paremmuusjärjestykseen. Tosin PROMETHEE suorittaa QFD:n ja FMEA:n synteessin toiminnon oman toiminnon ohella, sillä syntyvästä paremmuusasteikosta voi halutessaan poistaa huonommin pärjääviä vaihtoehtoja, tosin se ei ole tarpeen, sillä riittää, että kiinnittää huomiota vain niihin listattuihin vaihtoehtoihin, jotka vaikuttavat lupaavilta.

QFD:n ja FMEA:n synteessin vahvuus on sen järjestelmällinen tapaa johtaa teknologiavaihtoehtojen arviot suoraan teknologioille asetetuista vaatimuksista ja sen kyky liittää valittujen vaihtoehtojen toteuttamisvaiheessa olennaiset riskit. Tämä tekee menetelmästä johdonmukaisen neuvon viedä teknologioita aina niiden tarpeen toteutamisesta niiden omaksumisprosessiin asti. Synteesi kärsii kuitenkin samasta ongelmasta kuin PROMETHEE, nimittäin riippuvaisuudesta subjektiiviseen arviointiin, mutta asiaa voi edelleen parantaa lisäämällä arvioidujen asioiden ja arvion tekijöiden lukumäärää. Tämä on helpompaa synteessissä, koska siinä ei tarvitse määrittää funktioita jokaisen arviointiperusteen välille, joten prosessiin liittyvä työmäärä pysyy paremmin hallussa.

Tässä työssä käsitellyissä menetelmissä on kaksi menetelmää, joissa luokitellaan huomioon otettavat analyysin osa-alueet. TCBO:ssa tekijöiksi mainitaan T.O.P.-tekijät (teknologiset, organisatoriset ja valmistusprosessiin liittyvät) ja QFD:n ja FMEA:n synteessissä T.O.I.-tekijät (teknologiset, organisatoriset ja inhimilliset). Yhteistä näissä tarkastelualueissa ovat teknologiset ja organisatoriset tekijät, mikä johtunee siitä, että käytetty kirjallisuus käsittelee erityisesti sitä, miten organisaatioiden tulisi suhtautua uusiin teknologioihin. Tällöin keskeisimmät tekijät löytyisivät teknologiasta ja organisaatiosta. Kuvio esiintyy myös muualla, kuin arviointimenetelmien esittelyssä. Edistyneitä valmistusteknologioita käsitellessä tuli mainituksi S.O.T.-tekijät (strategiset, organisatoriset ja teknologiset). Tässäkin esiintyy organisatoriset ja teknologiset tekijät. Lisäksi huomataan, että kaikissa tarkastelualueissa on yhteensä kolme osa-aluetta. Kolmannet osa-alueet ovat valmistusprosessiin liittyvät tekijät, inhimilliset tekijät ja strategiset tekijät. Inhimillisistä tekijöistä annettiin esimerkeiksi työntekijöiden hyvinvointiin vaikuttavia asioita. Valmistusprosessiin liittyvät tekijät voidaan mieltää inhimillisiä tekijöitä sivuavaksi tarkastelun osa-alueeksi, sillä valmistusprosessi vaikuttaa tuotannossa työtätekevien työolosuhteisiin. Osa-alueet eivät kuitenkaan ole samoja, sillä inhimilliset tekijät ovat yleisempiä ja prosessiin liittyvät keskittyvät enemmän työtuloksiin kuin työolosuhteisiin. Strategiset tekijät eroavat toisista osa-alueista lähes kokonaan, sillä ne eivät liity työntekijöiden intresseihin suoraan, vaan vaikuttavat enemmän organisaation hallinnon päätöksiin. On hankala sanoa varmasti, miksi juuri nämä tekijät esiintyvät arviointimenetelmissä, mutta koska kaikilla näillä tekijöillä on yhteistä se, että ne ottavat huomioon organisaation sisällä toimivien ihmisten huolenaiheita, yksi selitys vaikuttaa ensisilmäykseltä todennäköisimmältä. Osa-alueet ollaan sisällytetty tarkasteluun, koska kun organisaatiossa yritetään toteuttaa uudistuksia (esimerkiksi uuden teknologian omaksuminen) ei riitä, että uudistuksen suunnittelijat ovat vakuuttuneet uudistuksen hyödyllisyydestä. Uudistus pitää myös markkinoida muulle organisaatiolle onnistumista varten. Jos yrityksen työntekijöiden ja hallinnoitsijoiden huolenaiheet otetaan uudistuksen suunnittelussa huomioon, heidät on paljon helpompi vakuuttaa uudistuksen kannattavuudesta. Jos tämä on tosiaan syy tarkastelun osa-alueiden valinnan takana, olisi kannattavaa pohtia, mikä on vähimmäismäärä huolenaiheita, jotka pitää ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa, jotta uudistus on jalkautettavissa. Hyvä arviointiprosessihan ei vaadi turhaa työtä.

Arviointimenetelmien käyttöalueet ovat joissakin tilanteissa osittain päällekkäisiä ja joissain tilanteissa täysin erillisiä ja joissain tilanteissa keskenään kilpailevia. Kun menetelmät ovat yhdistettävissä, niitä voidaan käyttää paikkaamaan toistensa heikkouksia. Ensimmäisenä käsitellyssä ollut menetelmä, TCBO on tarpeeksi eksakti, että sen voisi sisällyttää yleisemmän tarkastelualueen omaksuvien PROMETHEE:n ja QFD & FMEA:n prosessiin. QFD & FMEA varmaankin soveltuu tähän paremmin, koska sen aliarviointiperustekonsepti on kehitetty juuri eksaktiutta varten. Hybridisointimenetelmä eroaa toisista sen verran niin työvaiheissa ja –määrässä kun käytötarkoituksessa, että sitä ei ole helppo yhdistää laajempaan tarkasteluun. Sitä voi kuitenkin periaatteessa käyttää hybridisoitavuuden arviointiin, ja toisaalta myös vaihtoehtoihin liittyvien riskien arvioimiseen, jos menetelmästä suoritetaan vain se osa, joka palvelee noita käytötarkoituksia. PROMETHEE ja QFD & FMEA toimittavat pitkälti samaa tointa. Molemmat ottavat yksityiskohtaisempia arvioita ja integroivat ne yleisempään päätöksentekoprosessiin. QFD & FMEA:lla on etu PROMETHEE:n nähden siinä, että siinä on vähemmän määriteltävää ja kuten mainittua, sen aliarviointiperusteiden määrittelyvaihe helpottaa toisten menetelmien integrointia siihen. PROMETHEE vaikuttaa tässä vertailussa tarpeettoman monimutkaiselta. Myönnettäkään, arvion tekijällä ei ole käytännön kokemusta menetelmien käytöstä.

5 YHTEENVETO

Tässä kirjoituksessa oli tarkoituksena tehdä kirjallisuuskatsaus aiheeseen, mitä eri tapoja on teknologian arviointia varten. Sisällytetyistä lähteistä luettiin ja tutkittiin materiaalia teknologian arvioinnista yleisesti, käytännön arviointitilanteista ja arviointimenetelmien esittelystä. Arviointimenetelmien esittely oli tämän työn päätarkoitus. Muuta pohdintaa lisättiin johtopäätösten muodostuksen tueksi.

Työtä kirjoitettaessa pohjamateriaalista tehtiin huomioita teknologiaan arviointiin liittyen. Aloituseroissa huomautettiin, että teknologian arviointi on parempi nähdä osana tuotantoketjua, joka tuottaa kannattavia päätöksiä teknologian suhteen. Samalla kun kuvailtiin myöhemmin samassa luvussa käsiteltäviä näkökulmia teknologian arviointiin, mainittiin motivoitunut käsitys. Samalla väitettiin, että muun muassa robotiikassa ja kognitiivisessa psykologiassa on tehty tutkimusta havaintoja tekeviin järjestelmiin. Sitaatteja ei annettu, koska tutkimusalojen katsottiin olevan liian kaukana tutkijan tietämyksestä. Tehdyt johtopäätökset eivät kuitenkaan riipu kirjallisuudesta, sillä jo teknologian arviointikirjallisuudesta jo näkee, että menetelmissä kerätään vain kiinnostavaa dataa. Tästä edelleen johdettiin huomio, joka oli kirjoituksen pääviesti, että teknologian arvioinnissa tutkimusalana on itse asiassa kyseessä

- A. Mitkä ovat teknologian tärkeät ominaisuudet? Miten ne määritellään?
- B. Miten ominaisuuksia arvioidaan käytännössä?

Aiemmin kirjoituksessa tuotiin vielä huomioon, että yritysten on tarkoitus saada kilpailuetu teknologioiden arvioinnista. Tämän takia merkittävimmät päätöksentekomahdollisuudet eivät ole löydettävissä vanhojen valmiiksi luokiteltujen teknologioiden tutkimuksesta, vaikka yritysten pitäisi myös pystyä tekemään tarpeeksi hyviä päätöksiä niiden suhteen, vaan marginaalisista teknologioista, jotka tunnetaan tarpeeksi hyvin, että ne ovat tarjonnassa, mutta ei tarpeeksi hyvin, että niille löytyisi valmis luokittelu- ja arviointimalli. Tämän takia pohdittavien kysymysten listaan tulisi lisätä vielä kolmas kysymys C.

- C. Miten arviointiprosessi voi ottaa huomioon ennen näkemättömiä ominaisuuksia?

Nämä kolme kysymystä vaikuttavat olevan teknologian arviointiin liittyvän pohdinnan takana ja jos niille löytyy yhdistävä malli, teknologian arvioinnin teoria siirtyy mielipiteiden keskustelusta faktoihin.

Teknologian arvioinnin yleiskuvaa luodessa kävi ilmi, että teollisuudessa on yleistä käyttää lähinnä staattisia menetelmiä, mikä aiheuttaisi epätehokkuutta varojen sijoituksessa ja loisi mahdollisuuden kilpailullisen etulyöntiaseman tavoittamiselle. Aihepiirin materiaalina käytetyssä artikkelissa esiteltiin myös Denkena et al:n TCBO, jonka oli tarkoitus tehdä tilanteeseen parannus. Menetelmän suoritus käytiin läpi luvussa 4. Arviointimenetelmien vertailussa tehtiin huomio, että Denkena et al:n mallissa on vielä jonkin verran staattisuutta, koska se olettaa koron olevan vakio. Edelleenkehitykselle ehdotettiin Monte Carlo-simulaation hyödyntämistä.

Yleiskuvan luontia varten käytetty toinen näkökulma käsitteli tietokoneilla augmentoituja teknologioita. Lähteessä keskusteltiin ongelmista, joihin törmätään usein edistyneiden valmistusteknologioiden arvioinnissa ja omaksumisessa. Ongelmien käsittely paljasti samalla uusien teknologioiden arviointiin liittyviä ongelmia. Tutkimuksessa ongelman syiksi havaittiin teknologisten uudistusten hyötyjen hankala määrittäminen ja puutteellinen strateginen pohdinta aiheeseen liittyen. Artikkelin huomiot ovat yleistettävissä uusiin teknologioihin yleensäkin, koska myös niitä arvioidessa on kiinnitettävä erityistä huomiota niiden tuomiin hyötyihin ja strategiset ajattelutavat on uudistettava.

Teknologian arvioinnin tarkastelua varten sisällytettiin myös käytännössä toteutettua arviointityötä. Tarkoitus oli lisätä useampi näkökulma, mutta tarkasteluun saatiin vain yksi lähde. Lähteessä tutkittiin eri konemallien energiankulutusta eri parametreilla. Siinä havaittiin, että toinen konemalli on toista tehokkaampi ja että rouhimiselle tyypilliset parametrit ovat energiatehokkaampia. Teknologian arviointiin liittyen tutkimuksesta pääteltiin, että teknologian arviointitöitä voidaan tehdä organisaatioiden tarpeisiin ennakkoivasti tai epäsuoraan. Tutkimus ei kuitenkaan paljastanut erityisen paljon teknologian arvioinnista, sillä se oli rajattu vain yhden helposti määritettävissä olevan tekijän tutkimiseen.

Työn loppuun esiteltiin teknologian arviointimenetelmiä. Käsitellyt menetelmät olivat tapa arvioida teknologian taloudellista arvoa ottaen huomioon korkotaso, tapa arvioida teknologian hybridisointiin liittyvää potentiaalia ja riskiä, tapa järjestää monta teknologistavaihtoehtoa arvojärjestykseen ja tapa tuottaa teknologioiden arviointiperusteita suoraan niille asetuista vaatimuksista ja valita parhaimmat niiden perusteella. Luvun lopussa pääteltiin, että menetelmät ovat joko kokonaan tai osittain yhdisteltävissä, millä saataisiin aikaisiksi paremmin organisaation tarpeisiin vastaava menetelmä. Esimerkiksi ensimmäinen menetelmä, TCBO, on helposti integroitavissa taloudellisten tekijöiden tarkasteluun, kun taas hybridisointimenetelmästä voitaisiin liittää suurempaan kokonaisuuteen vain sen osia.

Menetelmien vertailua kirjoitettaessa saavuttiin moniin kysymyksiin, joiden vastaamiseksi tarvittaisiin lisätutkimuksia. Sen lisäksi, että menetelmien vertailussa ilmeni epävarmuutta tutkimusaiheeseen liittyen, QFD & FMEA-synteessin käsittelyssä tuli kysymykseksi, vaatiiko jompikumpi suunnittelu- tai toimeenpanovaihe enemmän panostusta. Aihe todettiin olevan niin monimutkainen ja aikaa vaativa, että se ohitettiin. Aiheet, jotka havaittiin tarvitsevan lisätarkastelua, olivat:

- TCBO:n edelleen kehitettävyyden kerkosuhdanteita ennustavalla mallilla, mahdollisesti Monte Carlo-simulaatiolla.
- Hybridisointikonsultoinnin toteutettavuus yritysmallina.
- Vertailu QFD:n ja FMEA:n ansioista ja haittapuolista riskianalyysin välineinä.
- PROMETHEEn mahdollisuuksista tehdyt lupaavat väitteet, varsinkin väite sen kyvystä järjeistää arviointiperustekantaa.
- Syyt siihen, että miksi juuri ne tarkastelun osa-alueet, jotka olivat eritelty monien menetelmien kohdalla, tuli valituksi. Jatkokysymyksenä voidaan esittää, miten tutkinnan osa-alueet tulisi rajata ja millä perusteilla.

Tutkinnan tuloksia voidaan käyttää olemassa olevien teknologian arviointiprosessien täydentämiseen ja niiden toteuttamisen tietoisien ajattelun aloittamiseen. Kirjoituksessa tuotettu pohdinta voi myös auttaa alan tutkijoita näkemään tutkimusalan tuoreesta näkökulmasta. Kirjoituksen tuotoksia käytettäessä tulee kuitenkin muistaa, että vaikka ne ovat oikeita ajatuksia kirjoittajalta, joka on kyllä opiskellut tuotteiden ja koneiden suunnittelua, tulevat henkilöltä, jolla ei ole mainittavaa käytännön kokemusta.

6 LÄHTEET

(Denkena B., Schürmeyer J. & Eikötter M., 2011, Linking total costs and benefits of ownership (TCPO) and process chain simulation for integrated assessment of manufacturing technologies and processes, Production Engineering, sivut 557-564)

(Chan F. T. S., Chan M. H., Lau H. and Ip R. W. L., 2001, Investment appraisal techniques for advanced manufacturing technology (AMT): A literature review, Integrated Manufacturing Systems, sivut 35-47)

(Nau B., Roderburg A., Klocke F. & Park H.S., 2012, Risk assessment of Hybrid manufacturing technologies for ramp-up projects, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, sivut 228-234)

(Skoczynski, Maczka, Wasiak, Roszkowski & Pres, 2013, ASSESMENT OF ENERGY CONSUMPTION BY MACHINE TOOLS, Faculty of Engineering Hunedoara, sivu 103)

(Ghazinoory S., Daneshmand-Mehr M. and Azadegan A., 2013, Technology selection: application of the PROMETHEE in determining preferences—a real case of nanotechnology in Iran, The Journal of the Operational Research Society, sivut 884-897)

(EFI, 2019, <https://www.e-fi.de/1/expertenkommission/mitglieder/prof-alexander-gerybadze/>)

(Merriam Webster, 2019, <https://www.merriam-webster.com/dictionary/stochastic>)

(Almanai B., Greenough R. & Kay J., 2008 A decision support tool based on QFD and FMEA for the selection of manufacturing automation technologies, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, sivut 501-507)

(koppa, 2019, Jyväskylän Yliopisto, <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat>)