

Alexi Mäkilouko

# TEKNOLOGIAN ARVIOIMISEN METODIT

Teollinen näkökulma

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Kandidaatintyö  
Toukokuu 2019

# TIIVISTELMÄ

Aleksi Mäkilouko: Teknologian arvioimisen metodit, Methods for technology evaluation and assessment  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Toukokuu 2019

---

Työssä käsitellään neljä metodia, joilla voi arvioida teknologioita teollisuudessa. Osa metodeista on ns. "technology evaluation"-metodeja (TE) ja osa "Technology assessment"-metodeja (TA).

Teknologiaa valmistavat yritykset tarvitsevat tietoa kyseisten teknologioiden suorituskyvystä markkinoilla, minkä mittaamiseen on kehitetty lukuisia työkaluja. Teknologiainvestointeja tekevät yritykset tarvitsevat tietoa vaihtoehtoisten teknologioiden suorituskyvyistä heidän järjestelmiin integroituina.

Luvussa 2 esitellään metodien "Fuzzy analytic hierarchy process" (FAHP), sumea Delphi, "Marginal analysis" (MA) ja "Technology assessment template" (TAT) käyttö ja soveltuvuus. Luvussa 3 vertaillaan mikä on TA:n ja TE:n teoreettinen ero sekä luvussa 4 käsitellään metodien yhteydet, vaadittu input niiden käyttöön sekä niiden soveltuvuus.

Avainsanat: teknologian arviointi, FAHP, Delphi, Marginal analysis, Technology assessment template, teknologian arviointi metodit

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. METODIT .....	2
2.1 Sumea analyttinen hierarkiaprosessi .....	2
2.1.1 Teoria .....	2
2.1.2 Soveltuvuus .....	6
2.2 Sumea Delphi .....	7
2.2.1 Käyttö .....	7
2.2.2 Soveltuvuus .....	9
2.3 Marginaalianalyysi .....	10
2.3.1 Käyttö .....	10
2.3.2 Soveltuvuus .....	13
2.4 Teknologian arviointimalli .....	14
2.4.1 Käyttö .....	14
2.4.2 Soveltuvuus .....	17
3. TEKNOLOGIAN EVALUAATIO VS. ARVIOINTI .....	19
4. YHTEENVETO .....	21
4.1 Metodien soveltuvuus .....	21
4.2 Vaadittu input .....	21
4.3 Työkalujen yhteydet .....	22
LÄHTEET .....	23

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

$\tilde{A}_i$	tärkeysvektorin alkio
$\tilde{A}, M$	sumea arvojoukko
$\tilde{a}_{ij}$	arvojoukko vertailumatriisissa
$a_i$	tärkeysvektorin vakioitu alkio
$l$	alin tärkeysarvo
$m$	arvojoukon keskiarvo
$\tilde{r}_{ij}$	sumeiden teknologiavaihtoehtojen arvojoukkojen keskiarvo
$\tilde{r}_{ij}^k$	tekniikan tärkeysarvojoukko
$S_i$	laajennettu sumea arvo
$u$	suurin tärkeysarvo
$\tilde{w}_j$	kriteeristen sumeiden arvojoukkojen keskiarvo
$\tilde{w}_j^k$	kriteerin tärkeysarvojoukko
AHP	Analytic hierarchy process
FAHP	Fuzzy analytic hierarchy process
MA	Marginal analysis
TA	Technology assessment
TAT	Technology assessment template
TE	Technology evaluation

# 1. JOHDANTO

Teknologia määritellään olevan jonkun tieteen, tiedon tai tietämyksen soveltamista käytännössä. Mikäli uutta teknologiaa on sovellettu tuotteeseen, jota on tarkoitus lanseerata markkinoille, puhutaan teknologisesta innovaatiosta.

Teknologiaa valmistava yritys haluaa tarkastella miten kyseinen tuote pärjäisi markkinoilla, mihin on kehitetty lukuisia työkaluja, joita tässä työssä esitellään. Merkittävin syy aiheen tarkasteluun koskee valmistavan teollisuuden teknologioiden kaupallistettavuutta. Teknologian vertailuun yritys tarvitsee kriteerejä, joiden perusteella vertailua voidaan tehdä. Kriteerit riippuvat siitä, mihin tarkoitukseen vertailua tehdään. Esimerkiksi, yritys vertailee teknologioiden kaupallistettavuutta, joten vertailukriteerit ovat muun muassa markkinapotentiaali, tuottavuus ja luotettavuus [1]. Vastaavasti yritys, joka tekee suuria tuotantolaitteinvestointeja, tarvitsee tietoa mahdollisen teknologian suorituskyvystä, huollettavuudesta, kulumisesta jne.

Vähentääkseen suuria pääomakustannuksia, yritys vertailee markkinoilla olevia teknologioita ja pyrkii optimaaliseen hankintaan. Valmistavan ja hankkivan yrityksen arviointikriteerit menevät osittain päällekkäin, koska valmistava yritys tarkastelee asiakkaan näkökulman kautta teknologiaa ymmärtääkseen kriteerejä, jotka vaikuttavat teknologian kaupallistettavuuteen. Kriteerejä, jotka eivät mene päällekkäin on muun muassa tuottavuus, kehitettävyyys ja markkinoitavuus.

Työn aiheena on tehdä kirjallisuusselvitys teknologioiden arvioimiseen liittyvistä metodeista teollisesta näkökulmasta. Luvussa 2 käydään neljä työkalua, josta jokaisesta selitetään teoria, mihin ympäristöön työkalua sovelletaan sekä mitä tietoa työkalun käyttöön vaaditaan. Osa työkaluista ovat ns. "technology evaluation"-työkaluja (TE) ja muut "technology assesment"-työkaluja (TA). Työkalujen läpikäynnin jälkeen, luvussa 3, tarkastellaan miten nämä konseptit eroavat teorioiltaan. Yhteenvetona, luvussa 4, tarkastellaan työkalujen soveltuvuutta, mitä yleistä tietoa niiden käyttö vaatii sekä mitä yhteyksiä työkalujen välillä on.

## 2. METODIT

### 2.1 Sumea analyttinen hierarkiaprosessi

#### 2.1.1 Teoria

"Analytic hierarchy process" (AHP) ja "Fuzzy analytic hierarchy process" (FAHP) ovat työkaluja, joita käytetään monimutkaisten päätösten tekemiseen. AHP on yleisesti käytössä parivertailumenetelmänä yksityisellä ja julkisella sektorilla. Työkalujen vahvuutena on niiden kyky järjestellä kompleksisia ongelmia hierarkkisesti, mistä nimi AHP, analyttinen hierarkiaprosessi. AHP:n vahvuuksien vuoksi sitä on käytetty vahvasti liiketoiminnan suunnittelussa, resurssien kohdentamisessa, prioriteettiasettelussa ja vaihtoehtojen vertailussa. [1]

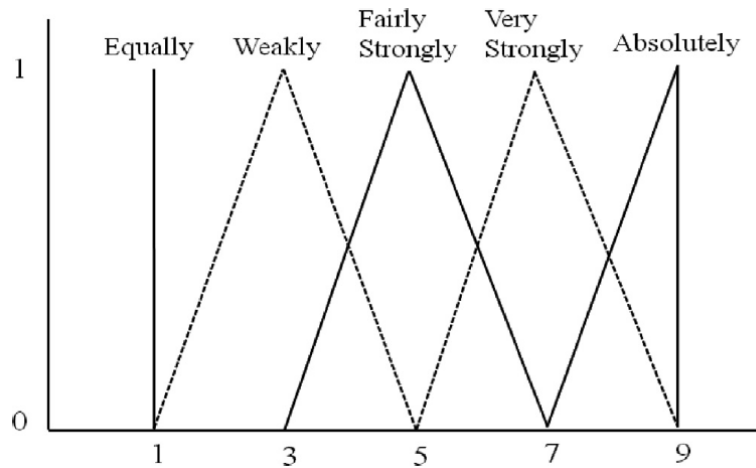
AHP antaa tarkan tuloksen, kun kvalitatiivinen data on johdonmukaisesti hankittu. Yleisesti valinnat sisältävät monimerkityksellisyysongelman, koska valintojen tekijän arviointiprosessissa on epäselvää ja monimuotoista dataa. Ongelma muodostuu tekijän verbaalisen kommunikaation kääntämisen- ja tarkoituskysymyksistä, esimerkiksi miten voidaan tulkita tekijän mielipide käytettäväksi dataksi. Ongelman kumoamiseksi on kehitetty FAHP, sumea analyttinen hierarkiaprosessi, jonka tarkoitus on pienentää työkalun lopputuloksen epävarmuutta. [1, 2]

Sumea arvojoukko  $\tilde{A}$  määritellään jäsenyysfunktioiden kautta, jotka kuvaavat muuttujan  $x$  arvoja matriisin  $A$  arvojoukoissa. Jäsenyysfunktioiden arvot voidaan havainnollistaa kuvan 1 pysty akselin arvoiksi, jotka vaihtelevat nollan ja ykkösen välillä. Mikäli muuttuja  $x$  kuuluu arvojoukkoon  $\tilde{A}$ , on funktion  $\mu_A(x)$  arvo 1, ja vastaavasti, mikäli muuttuja  $x$  ei kuulu arvojoukkoon  $\tilde{A}$ , funktion arvo on 0. Jäsenyysfunktio määritellään kaavana

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < l \\ \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m}, & m \leq x \leq u \\ 0, & x > u \end{cases}, \quad (1)$$

missä  $l$  kuvaa alinta tärkeysarvoa,  $u$  suurinta arvoa ja  $m$  keskiarvoa. [1, 3]

Jotta voidaan arvioida kriteerien painoarvojen suhdetta, tarvitaan asteikko sen määrittämiseksi. Asteikko on kuvan 1 mukainen, missä vaaka-akseli kuvaa muuttujan  $x$  painoarvoa sekä jokainen muodostuva kolmio kuvaa arvojoukkoa  $\tilde{A}$ . [1, 3]



**Kuva 1.** Muuttujien asteikko jäsenyysfunktion arvojen määrittämiseksi [1, s. 5316].

Kuvan 1 asteikon ja kaavan (1) avulla voidaan määrittellä jäsenyysfunktion arvot  $l$ ,  $m$  ja  $u$ . Jäsenyysfunktio, tärkeysarvot ja arvojen rajat on havainnollistettu kuvaan 2. [1]

Linguistic scale of importance	Fuzzy numbers for the FAHP	Membership function	Domain	Triangular fuzzy scale $(l, m, u)$
Equally preferred	$\bar{1}$	$\mu_M(x) = (3-x)/(3-1)$	$1 \leq x \leq 1$	$(1.0, 1.0, 1.0)$
Weakly preferred	$\bar{3}$	$\mu_M(x) = (x-1)/(3-1)$	$1 \leq x \leq 3$	$(1.0, 3.0, 5.0)$
Fairly strongly preferred	$\bar{5}$	$\mu_M(x) = (5-x)/(5-3)$	$3 \leq x \leq 5$	$(3.0, 5.0, 7.0)$
Very strongly preferred	$\bar{7}$	$\mu_M(x) = (x-3)/(7-3)$	$3 \leq x \leq 7$	$(3.0, 5.0, 7.0)$
Absolutely preferred	$\bar{9}$	$\mu_M(x) = (7-x)/(7-5)$	$5 \leq x \leq 7$	$(5.0, 7.0, 9.0)$
		$\mu_M(x) = (x-5)/(9-7)$	$5 \leq x \leq 9$	$(5.0, 7.0, 9.0)$

**Kuva 2.** Kaavasta (1) saadut jäsenyysfunktion arvot [1, s. 5317].

Seuraavaksi määritellään teknologian arviointikriteerit ja niiden painoarvot suhteessa toisiinsa. Työkalun käyttöön kriteerien painoarvot ovat mieluummin objektiivisiä, esimerkiksi myynnin perusteella vihreä puhelin myy kolme kertaa niin paljon kuin punainen, joten kriteeri vihreä on painoarvoltaan 3 suhteessa kriteeriin punainen. Kriteerimatriisin koko riippuu vertailtavien kriteerien lukumäärästä, esimerkiksi jos vertailtavia kriteerejä on neljä, matriisin koko on  $4 \times 4$ . Kriteerienmatriisi voidaan havainnoida kuvan 3 mukaisesti. [1, 3]

$$A = (\tilde{a}_{ij}) = \begin{pmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \cdots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \cdots & 1 \end{pmatrix}$$

**Kuva 3.** Kriteerien painoarvot suhteessa toisiinsa [1, s. 5317].

Matriisissa jokainen  $\tilde{a}_{ij}$  kuvaa arvojoukkoa  $\tilde{A} = M = (l, m, u)$ . Esimerkiksi mikäli kriteerin painoarvo  $\tilde{a}_{ij}$  on  $\tilde{1}$ , korvataan se kuvan 2 mukaisella arvojoukolla  $(1,1,1)$ . Vastaava prosessi tehdään jokaiselle painoarvolle. Rajoitetaan  $\tilde{a}_{ij}$  kuvan 4 mukaisesti. [1]

$$\tilde{a}_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j; \\ \tilde{9}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{1}^{-1}, \tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{9}, & i \neq j; \end{cases}$$

**Kuva 4.** Painoarvojen rajoitukset [1, s. 5317].

Kuvasta 4 voidaan päätellä, että kun määritetään kriteerin painoarvoa suhteessa itseensä, on painoarvo loogisesti 1. Muulloin arvo muodostuu kuvan 1 sekä datan perusteella. Painoarvon ollessa käänteisluku käsitellään myös arvojoukkoa käänteislukuna seuraavalla tavalla:  $\tilde{A}^{-1} = (l, m, u)^{-1} = (\frac{1}{u}, \frac{1}{m}, \frac{1}{l})$ . Matriisin arvojoukkojen asettamisen jälkeen lasketaan laajennettu sumea arvo  $S_i$  kuvan 5 mukaisesti. [1, 2, 3]

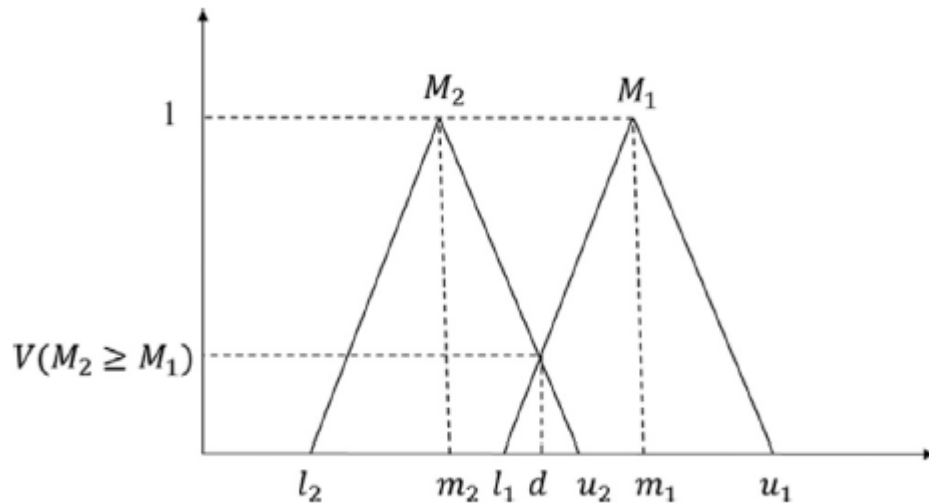
$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}.$$

**Kuva 5.** Laajennetun sumean arvon kaava [1, s. 5320].

Kuvan 5 kaavan komponentti  $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$  kuvaa matriisin j:nnen rivin summaa, joka lasketaan summaamalla jokainen j:nnen rivin arvojoukko  $M_{gi}^j$  yhteen. Kaava toimii yksinkertaistettuna seuraavalla tavalla:  $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (l_1, m_1, u_1) + \dots + (l_n, m_n, u_n) = (l_1 + \dots + l_n, m_1 + \dots + m_n, u_1 + \dots + u_n)$ . Kaavan komponentti  $\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$  laskee jokaisen j:nnen rivin summan käänteisarvon seuraavalla tavalla:  $\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = ((l_{11} + \dots + l_{n1}, m_{11} + \dots + m_{n1}, u_{11} + \dots + u_{n1})_1 + \dots + (l_{1m} + \dots + l_{nm}, m_{1m} + \dots + m_{nm}, u_{1m} + \dots + u_{nm})_m)^{-1}$ . Kaavoissa esiintyvä  $n$  on matriisin sarakkeiden lukumäärä ja alaindeksinä esiintyvä  $m$  on rivien lukumäärä. Lopuksi otetaan tulo vektorien  $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$  ja  $\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$  välillä, jolloin saadaan jokaiselle kriteerille laajennettu sumea arvo. [1, 2, 3]

Seuraavaksi lasketaan todennäköisyys sille, että  $M_2 \geq M_1$ . Olkoon  $M_2$  ja  $M_1$  kuvan 6 mukaisia arvojoukkoja.





**Kuva 6.** Arvojoukot  $M_2$  ja  $M_1$  havainnollistettuna [1, s. 5321].

Todennäköisyys, että  $M_2 \geq M_1$  määritellään olevan  $V(M_2 \geq M_1) = \sup[\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))]$ , missä  $\mu_{M_1}(x)$  ja  $\mu_{M_2}(y)$  ovat jäsenyysfunktion arvoja arvojoukoille  $M_2$  ja  $M_1$ . Kaava voidaan yksinkertaistaa muotoon  $\sup[\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d)$ , mikä kuvaa arvojoukkojen  $M_2$  ja  $M_1$  korkeinta leikkauskohtaa, joka on vaaka-akselin kohdassa  $d$ . Lukuarvot todennäköisyyksille lasketaan kaavalla (2):

$$\mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, & \text{jos } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{jos } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{muulloin} \end{cases}, \quad (2)$$

missä muuttujat  $l$ ,  $m$  ja  $u$  ovat luvussa jo aikaisemmin määritellyjä arvoja. Prosessia jatketaan jokaiselle laajennetulle sumealle arvolle  $S_i$  laskemalla kaavalla (2) todennäköisyydet kombinaatiolle. Esimerkiksi olkoon kriteerejä kolme, tällöin laajennetun sumean arvon vektoreita on kolme:  $S_1$ ,  $S_2$  ja  $S_3$ . Kaavalla (2) lasketaan todennäköisyydet, että  $S_1 \geq S_2$ ,  $S_1 \geq S_3$ ,  $S_2 \geq S_1$ ,  $S_2 \geq S_3$ ,  $S_3 \geq S_1$  ja  $S_3 \geq S_2$ . [1, 2, 3]

Seuraavaksi määritellään todennäköisyydet sille, että  $S_1 \geq S_2, S_3$ ,  $S_2 \geq S_1, S_3$  ja  $S_3 \geq S_2, S_1$ . Laskenta yksinkertaistetaan kaavalla  $d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$ , missä  $i, k = 1, 2, \dots, n; k \neq i$  ja  $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) kuvaa kriteeriä  $n$ . Tärkeysvektori muodostetaan kaavalla  $W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T$ , mistä saadaan selville, mitkä kriteerit ovat tärkeimmät, mutta normalisoimalla tärkeysvektori voidaan käsitellä tuloksia helpommin. [1, 2, 3]

Lopullisena tuloksena laskennasta saadaan kriteerien tärkeys. Suurempi normalisoidun tärkeysvektorin arvo tarkoittaa, että vastaava kriteeri on myöskin tärkeämpi. Mikäli kriteereillä on vielä alakriteerejä, voidaan tehdä prosessi uudestaan läpi ja määrittää myöskin alakriteerien tärkeydet ylemmän kriteerin suhteen ja tätä kautta tärkeydet kaikkien muiden alakriteerien suhteen. [1, 2, 3]

## 2.1.2 Soveltuvuus

Työkalun Käytettävyyden voi jakaa pääasiassa kolmeen vaiheeseen: 1. Hierarkiamallin rakentaminen, mihin sisältyy arviointikriteerit 2. Arviointikriteerien mittaamisen tarkennus, 3. Työkalun käyttö, jotta saadaan kriteerien painoarvot. [1]

Hierarkiamallin voi rakentaa lukemattomiin tasoihin, mutta lopulta tulee vastaan kriteerien lukumäärä ja niihin tarvittava data. Yleinen tasojen määrä on 3: Päämäärä, yläkriteerit ja alakriteerit. Kriteerien tarkennukseen voidaan käyttää Delphi-metodia, jolla tarkistetaan, että käytetyt kriteerit ovat riittävän merkityksellisiä työkalun käytön kannalta. Delphi-työkalun käyttöön liittyvät kyselyt teollisuuden asiantuntijoille antavat kuvan onko kriteerit oikeellisia sekä onko muita kriteerejä, joita olisi kannattavaa ottaa huomioon. Tämän jälkeen voidaan tehdä ensimmäinen versio hierarkiamallista. [1]

Vaiheeseen 2 sisältyy kriteereihin liittyvän datan kerääminen, sen analysointi ja AHP-mallin kehittäminen. Kirjallisuuskatsauksien ja asiantuntijahaastatteluiden jälkeen voidaan muodostaa kaikki kriteerit, jotka vaikuttavat teknologian kaupallistettavuuteen. Jotta alakriteerit ovat toisiaan poissulkevia ja merkityksellisiä, voi tarpeen mukaan lisätä tai poistaa niitä datan keräyksen yhteydessä. [1]

Vaiheessa 3 tehdään toinen iteraatio datan keräykselle ja kyselyille, joiden perusteella lasketaan painoarvot ja muodostetaan lopullinen arviointimalli. Vaihetta kuvaa kappale 2.1.1. [1]

Lähteen [1] tapauksessa työkalua oli sovellettu korealaisiin koneteollisuuden yrityksiin, jotka olivat POSCO Group, Hyundai Heavy Industries, Samsung Heavy Industries, DSME, Doosan Heavy Industries & Construction sekä Hyosung Power & Industrial Systems Performance Group. Datan keräys tehtiin huolellisesti sekä kyselyt tehtiin kahteen kertaan melko suurelle otannalle, ensimmäiselle iteraatiolla 22:lle henkilölle ja toisella 111:a henkilölle. Kriteerit valittiin huolellisesti sekä niistä kerättiin palaute kyselyjen avulla. [1] Työkalu on käytettävissä haluttuun tarkoitukseen, kun lähtötiedot, kuten data ja kriteerit ovat luotettavasti hankittuja sekä hierarkiarakenne on muodostettu loogisesti.

Ala-kriteerien täytyy olla toisiaan poissulkevia, jotta työkalua voidaan luotettavasti käyttää, eli alakriteeri A1 voi vain vaikuttaa kriteeriin A, ei kriteeriin B tai alakriteeriin B1. Muulloin kyseistä alakriteeriä pitää tarkastella lisää tai poistaa kokonaan. [4]

## 2.2 Sumea Delphi

### 2.2.1 Käyttö

Delphi-metodi kehitettiin 50-luvulla, minkä perusideana on saada luotettavaa ja laajaa tietoa anonyymien kyselyiteraatioiden kautta. Metodi koostuu yleensä kahdesta tai kolmesta iteraatioista. Jokaisen iteraation jälkeen fasilitaattori karsii viimeisimmän iteraation huonoimmat puolet sekä koostaa parhaimmat, jonka jälkeen alkaa uusi iteraatiokierros. Kierroksen aikana asiantuntijat voivat korjata tai säilyttää vastauksiaan riippuen muiden näkökulmien antamasta kuvasta. Metodia käytetään anonyymisti, jotta asiantuntijoiden ei tarvitse tavata kasvotusten. Ensisijaiset hyödyt metodin käytöstä ovat muun muassa: 1. Aikaisemman datan riippumattomuus, 2. Asiantuntijoiden ei tarvitse tavata kasvotusten, 3. Metodi on erittäin hyödyllinen teknologian ennustamiseen. [5]

Sumea Delphi-metodi perustuu asiantuntijakyselyiden tulosten tulkintaan analyttisesti käyttäen sumeaa logiikkaa. Sumeita jäsenyysfunktioita voi käsitellä pääasiassa kolmella tapaa: kolmiomaisesti, kuten kappaleessa 2.1.1, suunnikkaallisesti tai Gaussisesti. Tässä kappaleessa käsitellään sumea Delphi-työkalua myöskin kolmiomaisesti. Ottaen huomioon ajankäytön ja ryhmäjärjestelyt, voidaan työkalulla säästää aikaa suorittamalla kyselyt haastatteluiden sijaan. [6] Metodin käyttö jaetaan seuraaviin vaiheisiin:

1. Oleta, että  $K$  lukumäärä asiantuntijoita määrittää kriteerien ja vaihtoehtoisten teknologioiden tärkeydet käyttäen kuvien 7 ja 8 taulukoita.
2. Käännä asiantuntijoiden antamat vastaukset kolmiomaisiksi sumeiksi arvojoukoiksi kuvien 7 ja 8 taulukoiden mukaan. Kuvatkoon sumea arvojoukko  $\tilde{r}_{ij}^k$  teknologian tärkeyttä, missä  $i$  on  $i$ :nnes teknologiavaihtoehto ja  $j$  on  $j$ :nnes kriteeri. Vastaavasti kuvatkoon  $\tilde{w}_j^k$  kriteerin tärkeyttä. Muuttujat  $i$ ,  $j$  ja  $k$  rajoitetaan seuraavasti:  $i = 1, \dots, m$ ,  $j = 1, \dots, n$  ja  $k = 1, \dots, K$ . [5] Sumeiden teknologiavaihtoehtoisten arvojoukkojen keskiarvo  $\tilde{r}_{ij}$  lasketaan kaavalla

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{r}_{ij}^1 \oplus \tilde{r}_{ij}^2 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_{ij}^K] \quad (3)$$

ja kriteerisien sumeiden arvojoukkojen keskiarvo  $\tilde{w}_j$  lasketaan kaavalla

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{K} [\tilde{w}_j^1 \oplus \tilde{w}_j^2 \oplus \dots \oplus \tilde{w}_j^K]. \quad [5] \quad (4)$$

Extremely unimportant (EU)	(0.0, 0.0, 0.1)
Not very important (NV)	(0.0, 0.1, 0.3)
Not important (NI)	(0.1, 0.3, 0.5)
Fair (F)	(0.3, 0.5, 0.7)
Important (I)	(0.5, 0.7, 0.9)
Very important (VI)	(0.7, 0.9, 1.0)
Extremely important (EI)	(0.9, 1.0, 1.0)

**Kuva 7.** Kriteerien tärkeyden muutos sumeaksi arvojoukoksi [5, s. 14173].

Very low (VL)	(0.0, 0.0, 0.1)
Medium low (ML)	(0.0, 0.1, 0.3)
Low (L)	(0.1, 0.3, 0.5)
Fair (F)	(0.3, 0.5, 0.7)
High (H)	(0.5, 0.7, 0.9)
Medium high (MH)	(0.7, 0.9, 1.0)
Very high (VH)	(0.9, 1.0, 1.0)

**Kuva 8.** Vaihtoehtoisten teknologioiden tärkeyden muutos sumeaksi arvojoukoksi [5, s. 14174].

3. Seuraavaksi lasketaan jokaisen asiantuntijan arvojoukon  $\tilde{r}_{ij}^k$  etäisyys arvojoukkojen keskiarvosta  $\tilde{r}_{ij}$ . Etäisyys kolmiomaisten arvojoukkojen välillä voidaan laskea kaavalla

$$d(\tilde{m}, \tilde{n}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(m_1 - n_1)^2 + (m_2 - n_2)^2 + (m_3 - n_3)^2]}, \quad (5)$$

missä  $\tilde{m} = (m_1, m_2, m_3)$  ja  $\tilde{n} = (n_1, n_2, n_3)$  ovat esimerkkejä kolmiomaisista arvojoukoista. [5]

4. Jos etäisyys asiantuntijan arvojoukon  $\tilde{r}_{ij}^k$  ja arvojoukkojen keskiarvon  $\tilde{r}_{ij}$  välillä on vähemmän kuin 0.2, voidaan olettaa, että asiantuntijat ovat päässeet yhteisymmärrykseen. Toisekseen, jos yhteisymmärryksen taso on suurempi kuin 75% voidaan edetä vaiheeseen 5, muulloin täytyy tehdä uusi kyselyiteraatiokierros. [5]

5. Seuraavaksi yhdistetään asiantuntijoiden vastaukset vektoriin  $\tilde{A} = (\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_m)$ , jonka jokainen alkio lasketaan kaavalla

$$\tilde{A}_i = \tilde{r}_{i1} \otimes \tilde{w}_1 \oplus \tilde{r}_{i2} \otimes \tilde{w}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_{in} \otimes \tilde{w}_n, \quad (6)$$

missä  $i$  ja  $n$  ovat määritellyt vaiheessa 2. [5]

6. Vakioidaan jokainen vektorin  $\tilde{A}$  alkio  $\tilde{A}_i = (a_{i1}, a_{i2}, a_{i3})$  kaavalla  $a_i = \frac{1}{4}(a_{i1} + 2a_{i2} + a_{i3})$ , jotta voidaan käsitellä lopulta saatuja tuloksia pelkkinä vakioina [5].

Vaiheen 6 jälkeen saadaan kasattua kaikki tulokset yhteen ja vertailla mikä teknologia on ”paras” kyseisessä tapauksessa asiantuntijoiden mielestä. Mitä suurempi vakioitu arvo sitä ”parempi” teknologiavaihtoehto.

## 2.2.2 Soveltuvuus

Lähteen [5] tapauksessa oli lähdetty vertailemaan vaihtoehtoisia teknologioita taiwanilaisessa vetytuotannossa käyttäen fuzzy Delphi-metodia ja FAHP:ta. Vaihtoehtoiset teknologiat kyseisessä tapauksessa olivat höyryreformointi (SMR) luonnonkaasun avulla, höyryreformointi hiilidioksidin ja luonnonkaasun avulla (SMR-CC), elektrolyysi julkisen sähkön kustantamana (U-E), valosähköisesti tuotettu elektrolyysi (PV-E), elektrolyysi tuuli-voiman avulla (Wind-E), kaasutus biomassan avulla (Bio-G) ja biomassan fermentointi (Bio-F). [5]

Tutkimuksessa käytetyt kriteerit ja teknologiat koottiin kirjallisuuden ja teollisen käytön perusteella. Arvioinnin monimutkaisuudet takia valittiin 14 kriteeriä, jolla analysoida 7:ää eri teknologiaa. Kriteerien hierarkiarakenne muodostettiin yläkriteereihin, jotka olivat ympäristö, teknologia, talous ja yhteiskunta. Alakriteerit ympäristölle olivat energiatehokkuus, hiilidioksidipäästöt ja polttoainekulutus. Teknologian alakriteerit olivat teknologian kehityskäyrä, teknologian kehityspotentiaali ja teollinen tuki. Alakriteerit taloudelle olivat investointikustannukset, raaka-ainekustannukset, tuotannon kustannukset, paikallinen kysyntä ja globaali kysyntä. Yhteiskunnan alakriteerit olivat tilankäyttö, turvallisuus ja yhteiskunnallinen hyväksyttävyys. [5]

Yleisesti hyväksytty asiantuntijoiden lukumäärä Delphi-metodin suorittamiseen on 10-50, mutta jos asiantuntijoiden joukko on melko homogeeninen riittää jo 10-15. Kyseisessä tutkimuksessa valittiin 20 asiantuntijaa, joista 13 oli akateemiselta taustaltaan vetyenergia-tutkimusalalla ja loput 7 teollisuuden asiantuntijoita. Lopulta 17 kuitenkin osallistui. [5]

Data asiantuntijoilta kerättiin kyselylomakkeilla, joista yhteensä 17 palautettiin ja validoitiin. Asiantuntijoiden antama data 14:sta kriteeristä ja 7:stä teknologiavaihtoehdosta tiivistettiin kuvan 9 mukaiseen kaavioon, jonka jälkeen data käännettiin sumeiksi arvojoukoiksi kuvien 7 ja 8 mukaan. [5]

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>14</sub>
t <sub>1</sub>	H	ML	ML	MH	H	H	ML	L	L	MH	MH	ML	H	H
t <sub>2</sub>	F	L	ML	F	F	F	VL	L	ML	L	H	ML	H	H
t <sub>3</sub>	L	L	L	MH	F	F	F	F	L	F	F	F	H	H
t <sub>4</sub>	MH	MH	MH	MH	MH	H	L	H	F	H	H	L	H	MH
t <sub>5</sub>	MH	MH	MH	MH	MH	H	F	H	F	H	H	F	H	MH
t <sub>6</sub>	F	F	H	L	L	L	F	L	L	L	F	L	H	F
t <sub>7</sub>	F	F	H	L	L	L	F	L	L	L	F	L	H	F

**Kuva 9.** Asiantuntijoiden antama data 14 eri kriteerin perusteella [5, s. 14176].

Seuraavaksi lähdettiin tutkimaan yhteisymmärryksen dataa kaavan (5) ja yhteisymmärryksen tason avulla, jonka pitää olla yli 75%. Ensimmäisellä iteraatiokierroksella yhteisymmärryksen taso oli 60.68%, joten tehtiin uusi kierros, jonka jälkeen päästiin hyväksyttävään tulokseen 77.19%. Täten voidaan päätellä, että uusia iteraatiokierroksia ei ollut tarvetta tehdä. Seuraavaksi yhdistettiin ja vakioitiin asiantuntijoiden sumeutettu data vaiheiden 5 sekä 6 perusteella ja saatiin lopputulos teknologioiden ”hyvyydestä” toisiinsa nähden. [5]

Lähteen [6] tapauksessa arvioitiin eri kriteerien tärkeyksiä voiteluainekierrätysteknologioiden suhteen käyttäen sumeaa Delphi-metodia ja FAHP:tä. Arviointi tehtiin kriteereille, ei teknologioille. Tutkimuksessa oltiin valittu yhteensä 17 eri kriteeriä kirjallisuuden perusteella, mistä yläkriteerit olivat teknologia, talous ja ympäristö. Kyselyt annettiin yhdeksälle asiantuntijalle akatemiasta, teollisuudesta ja julkisesta sektorista. Merkittäviä asioita oli, että eri sektoreiden asiantuntijat antavat täysin eri painoarvoja eri kriteereille, esimerkiksi akatemian ja julkisen sektorin asiantuntijat antavat suuria painoarvoja ympäristökriteereille, kun taas teollisuuden asiantuntijat eivät. Toinen merkittävä tulos oli, että teknologia-aspekti oli keskeisin komponentti hierarkiarakenteessa. [6]

Data lähteen [5] tapauksessa oli luotettavaa, koska virhettä tapahtuu vain vähän ja on helpompi päästä konsensukseen keskittyneen sektorin vuoksi. Lähteen [6] tapauksessa kerätty data oli suurelta spektriltä aiheuttaen vaikeutta käyttää sumeaa Delphi-metodia, koska konsensuksen riittävään tasoon on vaikea päästä eriävien mielipiteiden johdosta. Toisekseen lähteen [6] tapauksessa haastateltavien asiantuntijoiden lukumäärä oli 9, eli alle kirjallisuudessa suositeltavan määrän, mikä aiheuttaa lisää vaikeuksia.

## 2.3 Marginaalianalyysi

### 2.3.1 Käyttö

”Marginal analysis” (MA) kehitettiin vuonna 1995 ohjaamaan materiaalinkäsittelyjärjestelmän suunnitteluprosessia, missä kriteereinä käsiteltiin taloudellisia ja suorituskyvyllisiä komponentteja. Metodia on käytetty vähentämään tuotteen laaturiskiä globaalissa toimitusketjussa hallitsemalla yrityksen jakeluverkostoa. Toisekseen metodia on hyödynnetty suoritustehoanalyysissä määrittämällä kvantitatiivisesti päätökseen vaikuttavien tekijöiden suhteita suorituskykymallissa. [7]

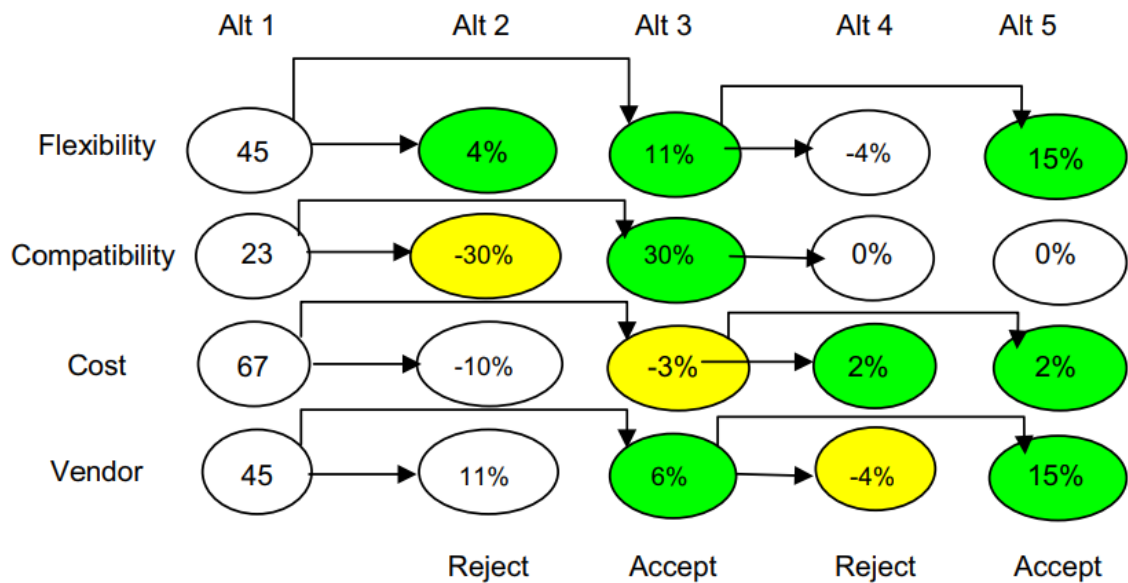
Esimerkiksi olkoon yrityksellä jokin teknologiaperusteinen järjestelmä, jonka kyvykkyydet muuttuvat inkrementaalisten päätösten funktiona ja suunnitteluprosessi tukee tätä, koska päätökset tapahtuvat sarjamuotoisesti. Tällöin olisi suositeltavaa tehdä päätökset tietyllä johdetulla järkevällä kaavalla, joka kuvaa jokaisen päätöksen vaikutuksia. [7]

Tiivistettynä metodin tarkoitus on kehittää päätösten polku, joka tukee monikriteerisiä (taloudellinen, strateginen, turvallisuus, laatu jne.) ja riskioikeutettuja vaihtoehtoja. Päätöspolku antaa kuvan MA:n näkökulmasta miksi tietty aspekti teknologiasta valittiin. Prosessi vaatii, että päätösten tekijä määrittää lähtökohtaiset valintakriteerit. Prosessi myös mahdollistaa päätösten tekijän valintakriteerien uudelleentarkastelun, joka tällöin sallii valintakriteerien muutoksen aiheeseen enemmän purettuaan. Lopullinen päätös on tällöin oikeutettu myös valintakriteerien, että teknologiavaihtoehtojen kannalta. Lisänä metodista on hyötyä, että päätökseen liittyvä perustelu on sidottu päätöspolkuun, joka tällöin toimii dokumentaatioina. [7]

Yritys ABC haluaa tehdä päätöksen tuotejärjitysteknologian adoption suhteen. Aluksi on kaksi eri mahdollista teknologian tarjoajaa, jolla kummallakin on eri suorituskyvyt tarkasteltavien kriteerien suhteen. Yritys ABC on priorisoinut neljä kriteeriä ja asettanut ne seuraavaan tärkeysjärjestykseen: 1. Järjestelmän joustavuus, 2. Yhteensopivuus olemassa olevan järjestelmän kanssa, 3. Integrointikustannukset, 4. Tarjoajan maine. [7]

Prosessi aloitetaan asettamalla teknologiavaihtoehto 1 lähtökohtaiseksi ratkaisuksi, jonka jälkeen lähdetään vertailemaan teknologiaa 2 teknologiaan 1 asetettujen kriteerien mukaan. Mikäli teknologian 2 katsotaan olevan parempi ratkaisu, vaihdetaan se vertailukohteeksi. Ratkaisu määrittyy kunkin kriteerin arvon mukaan, esimerkiksi, jos teknologia 1 on joustavuudeltaan suurempi kuin teknologia 2, niin se on tällöin parempi tämän kriteerin suhteen. Arvot taas voi määrittää tarjoajien antamien mittareiden mukaan, mutta tämän voi myös tehdä itse. Vertailu tehdään kaikkien kriteerien suhteen teknologien välillä ja jos tullaan lopputulokseen, että teknologia 2 on parempi, otetaan se vertailukohteeksi seuraavalle teknologialle. Tätä jatketaan niin kauan, kunnes kaikki vaihtoehtoiset teknologiat ollaan käyty lävitse, kuten kuvan 10 mukaisesti. [7]

Kuvasta 10 nähdään, että käydään läpi viisi vaihtoehtoista teknologiaa, missä teknologia 1 on vertailun lähtökohta. Ensiksi vertaillaan vaihtoehtoista teknologiaa 2 teknologiaan 1 ja tullaan päätökseen hylätä teknologia 2. Jatketaan prosessia vertailemalla teknologiaa 3 teknologiaan 1 ja teknologian 3 ollessa parempi vaihdetaan se vertailukohteeksi hyläten teknologia 1. Vertaillaan teknologiaa 4 teknologiaan 3 ja päädytään hylkäämään teknologia 4. Lopulta verrataan teknologiaa 5 teknologiaan 3 ja katsotaan teknologian 5 olevan parempi, joten paras teknologia näistä vaihtoehtoista näiden kriteerien mukaan oli teknologia 5. [7]



**Kuva 10.** Teknologiavaihtoehtojen päätöspolku neljän kriteerin suhteen [7, s. 19]

Tällöin prosessista tulee ikään kuin polku, josta näkee, miksi tiettyjä ratkaisuja on tehty missäkin vaiheessa. Työkalun tarkoitus ei ole antaa tiettyjä ratkaisuja vaan tukea kvantitatiivisesti päätöksien logiikkaa millä ratkaisuun on päästy. On tärkeää huomata, että MA on erilainen yleisesti käytettyyn parivertailumenetelmiin, kuten AHP. MA tarjoaa parivertailun sekä toimii perustana päätöspolun kehittämiseksi. Tällöin laaja parivertailu, kuten AHP:n tapauksessa ei ole tarpeellinen, jos työkalun käyttäjä seuraa MA:n tapaista metodia säästämällä aikaa. [7]



### 2.3.2 Soveltuvuus

Lähteessä [7] mainitaan tapaus, jossa nähdään miten MA:ta voidaan hyödyntää käytännössä. Pharma-niminen yritys teki tutkimuksia vertaillakseen mahdollisia tuotantoteknologioita. Luonnollisesti isossa yrityksessä, kuten Pharmassa priorisointi- ja rahoituspäätökset tuotantoprojektien suhteen tehdään keskuskomitean toimesta. Lähestymistapa voi kuitenkin johtaa aukkoihin päätöksenteon johdonmukaisuudessa. Päätökset tehtiin pääasiassa yhteisymmärryksen kautta ja kriteerejä, joiden avulla vertailu tehtiin ei täysin tiedetty eikä dokumentoitu. Aikaisemmin yrityksessä älykäs päätösten tukijärjestelmä oli kehitetty tukemaan päälliköiden ajallisesti rajoitettuja ja mahdollisimman optimaalisia investointipäätöksiä. [7]

Järjestelmä käyttää sumeaa "adaptive resoance theory"-työkalua (ARTMAP/FAM), mikä hakee vanhaa dataa tuotantoteknologioiden arviointituloksista neuroverkkoja muodostamalla. FAM:ia hyödynnettiin ohjaamaan aikaisemman tuotantoteknologia-arviointiprosessin noutamista hakemistosta. Älykkään järjestelmän lähestymistavalla oli ongelmia päätösten näkyvyyden suhteen, koska kaavantunnistusmekanismit ja hakuprosessi ovat "musta laatikko"-mekanismeja. Tästä syystä päätöksentekijät Pharmalla eivät tiedä miksi mikäkin päätös tehtiin, mitä muuttujia harkittiin sekä mitä hyötyjä ja haittoja päätöksestä oli. [7]

Tuloksena johtotiimi ei ollut varma, että oliko resursseja käytetty optimoidusti, koska päätösprosessista puuttui avoimuus ja jäljitettävyyys. Täten voidaan käyttää MA:ta ohjaamaan järkevää päätöksentekoa tuotantoteknologiavertailuissa. Päätöksenteon näkyvyys kasvaa selkeän päätöspolun mahdollistamana, missä jokaisen kriteerin hyödyt ovat hyvin näkyvillä keskuskomitean jäsenille. [7]

## 2.4 Teknologian arviointimalli

### 2.4.1 Käyttö

”Technology Assesment Template”-työkalu (TAT) sai alkunsa minnesotalaisesta yliopistosta, missä teknologiajohtamisen maisterivaiheen opiskelijatiimit jäljittivät uusia korkeateknologiapörssiyrityksiä ja mittasivat niiden investointeja. Tiimit seurasivat investointiasiantuntijoiden kommentteja yrityksen investointien alkaessa ja niiden korjausvaiheissa. [8]

Tutkimus näytti, että investointiasiantuntijoilla oli vaikeuksia mitata edistämiensä yritysten teknologista vahvuutta ja potentiaalia. Oli vaikeaa kuvailla, mitä ainutlaatuisia piirteitä yrityksellä oli. Asiantuntijoilla oli myös vaikeuksia kartoittaa ja kuvailla kyseessä olevien teknologioiden vahvuuksia. Sen seurauksena asiantuntijat turvautuivat panostamaan markkinointiin, mutta joutuivat lopulta vaivoin selittelemään, miten he olivat ratkaisuun päässeet. [8]

Näitä tuloksia ja löydöksiä käsiteltiin kiivaasti investointiyhteisössä. Perusteellisempi selvitys paljasti, että uusia teknologiaperusteisia boomeja tapahtuu jatkuvasti noin 50:n vuoden välein. Tämä ei ollut täysin uutta tietoa investointiyhteisössä, mutta teknologiaan liittyviä asioita ei kuitenkaan opetettu salkunhoitajille. Teknologinen tietoisuus ja ymmärrys ei kuulunut salkunhoitajan yleiseen ammattitaitoon. [8]

Vuonna 2004 alettiin työskentelemään teknologioiden arvioimisen käytäntöjen parissa investointiasiantuntijoille. Vuonna 2005 pidettiin konferenssi investointiasiantuntijoille, missä keskusteltiin mitä vaatimuksia työkalulle vaadittaisiin. Asiantuntijat painostivat, että he tarvitsisivat yksinkertaisen työkalun, joka olisi helppo oppia ja joka keskittyy avainkriteereihin teknologian vahvuuden ja potentiaalin suhteen. He ilmaisivat tarpeen kehittää TAT:n eli teknologian arvioimisalustan. [8]

Työkalua lähdettiin kehittämään ja testaamaan eri tilanteissa, kuten akateemisissa piireissä, yritysesityksissä ja investointikonferensseissa. Vuonna 2007 työkalua ehdotettiin otettavaksi opetusmateriaaliksi investointiasiantuntijoille ja 2008 työkalu hyväksyttiin osaksi kehitysohjelmaa. [8]

TAT-malli on taulukon 1 mukainen, mikä koostuu pääasiassa kolmesta kriteeristä: tukeva teknologinen perusta, tehokkaita toimintoja teknologiseen uudistamiseen ja teknologiaperehtyneisyys. Ensimmäinen kriteeri käsittää yrityksen teknologisen alustan, kun myöhemmät kriteerit käsittelevät organisatorisia komponentteja. Mallin indikaattoreilla voidaan mitata niiden vastaavaa kriteeriä. [8]

**Taulukko 1. TAT-malli [8, s. 224]**

Kriteeri	Indikaattori	Kommentti
Tukeva teknologinen perusta	Ydinteknologiat ovat tunnistettu ja arvo määritetty	
	Teknologian perustalla on selkeä funktionaalinen tarkoitus	
	Ydinteknologiat ovat tehokkaita	
	Ydinteknologiat sopivat järjestelmiin tulevaisuudessa	
Tehokkaita toimintoja teknologiseen kehitykseen	Toimintojen tarkoitus on tutkia uusia teknologioita	
	Toimintojen tarkoitus on ohjata strategiaa teknologisten mahdollisuuksien mukaan	
Teknologiaperehtyneisyys	Teknologinen tieto on systematisoitu	
	Liikejohto on formalisoitunut teknologisen käsittelyyn	

Säästääkseen aikaa salkunhoitajien kannattaisi keskittyä ydinteknologioihin, jotka kuvaavat yrityksen kyvykkyyksiä ja erottaa sen kilpailijoistaan. Salkunhoitajien pitäisi myös kiinnittää huomiota siihen, kuinka yritys identifioi ydinteknologioitaan ja erittelee niiden välillä. Yksi keino eritellä teknologioita on jakaa ne uusiin, keskeisiin ja kypsiin teknologioihin. Uudet teknologiat ovat aikaisessa kehitysvaiheessaan. Keskeiset teknologiat ovat avainasemassa yrityksessä. Kypsät teknologiat toimivat perustana tuotteille ja prosesseille, jotka ovat olleet markkinoilla jo kauan. Seuraavaksi salkunhoitajien kannattaisi katsoa miten teknologiat ovat sijoittuneet arvoltaan yrityksessä. Tämän jälkeen hänen pitäisi pystyä antamaan oma näkemyksensä ensimmäiseen kohtaan. [8]

Kuvaako teknologinen perusta selkeästi yrityksen tarkoitusta. Funktionaalinen tarkoitus vastaa kysymykseen onko teknologinen perusta harmoniassa yrityksen mission kanssa ja se auttaa arvioimaan teknologian tehokkuutta. Kun yrityksellä on selkeä kuva sen toiminnoista salkunhoitaja voi täyttää TAT-mallin toisen rivin. [8]

Teknologinen tehokkuus viittaa teknologian etuihin. Tehokkuutta voi mitata muun muassa hyötysuhteella, läpisyötöllä, tiheydellä tai tarkkuudella. Tehokkuuden vaihtelu yleensä riippuu tekijöistä, kuten rakennemuutos, kokomuutos, uusi materiaali, toiminta-periaatemuutos jne. Kun tämä on selvillä, voidaan täyttää TAT-mallin kolmas rivi. [8]

Teknologiat ovat yhteensopivia tulevaisuudessa, jos ne ovat harmoniassa pitkäaikaisten teknologisten trendien kanssa. Päinvastoin, jos teknologioita uhkaa trendit. Yhteensopivuutta voi mitata vertailemalla ydinteknologioita teknologisten trendien muodostamaan kaavaan. Tämän tehtyään salkunhoitaja voi täyttää mallin neljännen rivin. Kaikki mainitut vaiheet kuvaavat työkalun teknologista perustaa, kun taas loput viittaavat organisatorisiin komponentteihin. [8]

Useat yritykset käyttävät vain yhtä teknologiaa, kuten yleistä uusilla yrityksillä. Salkunhoitajien tulee tietää mihin teknologian tasoon yritys hakeutuu. Prosessi minkä mukaan voidaan tutkia ja hyödyntää teknologista edistymistä on 4-jakoinen: 1. Kouluta, jotta etsivä henkilö tietää mitä hän etsii, 2. Etsi tietoa uusista teknologiosta ja trendeistä, 3. Arvioi kuinka merkittäviä trendit ovat ja miten niitä voisi hyödyntää yrityksessä, 4. Visioi miten kannattaa edetä. Tämän selvitettyä voidaan täyttää viides kohta TAT-mallista. [8]

Tarkasteltuaan toimintoja uusien teknologioiden tutkimiseen, tulee miettiä miten nämä toiminnot ovat yhteensopivia yrityksen strategian kanssa. Yleisesti yrityksen strategian ja teknologian yhteys seuraa jotain näistä malleista: strategia ja teknologia ovat eristäytyneet, teknologiaintressit ovat johdettu strategiasta, teknologiaintressit ja strategia määrittelevät toisensa tai teknologinen ennustus tukee strategiaa. Ei ole mitään oikeaa mallia vaan yritys määrittelee itse teknologian ja strategian yhteydet. Ovatko eri osastot harmoniassa. Esimerkiksi teknologiajohto voi piilotella teknologiaskannausprosessia strategia-osastolta, joka johtaa ongelmiin salkunhoitajien kannalta. Täytä kuudes kohta TAT-mallista. [8]

Salkunhoitajien tulee tietää miten liikejohto käsittää teknologiajohtamisensa. Aloita selvittämällä, miten liikejohto määrittelee teknologian selkeyden vuoksi. Seuraavaksi selvitä mitä mallia liikejohto käyttää. Yleisesti käytetään jotain seuraavasta neljästä mallista: tekniikkaperusteinen, tieteellinen, taloudellinen ja funktionaalinen. Tekniikkaperusteinen malli käsittää kaiken konetekniikasta sähkötekniikkaan, tieteellinen malli käsittelee bioteknologiaa, nanoteknologiaa ja materiaalitekniikkaa, taloudellinen malli seuraa erilaisia kansainvälisiä talousstandardeja ja funktionaalinen malli käsittää eri toimintoja yrityksessä. Salkunhoitajat päättävät käyttääkö liikejohto minkälaista mallia teknologisen tiedon organisointiin, jos ollenkaan. Täytä kohta 7 TAT-mallista. [8]

Yksi teknologian fundamentaalisista ominaisuuksista on sen korkea kehitysnopeus. Eriävät kasvut aiheuttavat suuria rasituksia teknologiselle kentälle ja vaatii yrityksiltä jatkuvaa muutosta niiden teknologiselle perustalle. Teknologiaperehtyneillä johtajilla on kyky ennustaa tulevia markkinoita, esimerkiksi mitkä teknologiat tulevaisuudessa korvaa mitkä teknologiat. Salkunhoitajien tulisi tarkastella miten liikejohto ajattelee tulevasta teknologiasta ja onko se perusteellinen näkökulma. Täytä TAT-mallin viimeinen kohta. [8]

## 2.4.2 Soveltuvuus

Investointiasiantuntijoiden haastattelujen perusteella TAT-mallin piti täyttää seuraavat 5 vaatimusta: 1. Mallin tulee olla lisäys arviointi prosessiin ei korvaava työkalu, 2. Riittävän yksinkertainen, jotta muutkin kuin asiantuntijat ymmärtävät sen käytön, 3. Tiivis, mieluiten yhden sivun mittainen, 4. Mukautuva, jotta sen voi täyttää alle tunnissa, 5. Monipuolinen käytössä, jotta sen voi täyttää kirjallisen datan ja haastattelujen perusteella. [8]

TAT-malli on suunniteltu laajentamaan nykyisiä prosesseja ja auttamaan salkunhoitajia arvioimaan investointiprojektien toteuttamiskelpoisuutta. Nämä prosessit sisältävät taloudellisen tiedon arvioimisen ja johtohenkilöstön tarkastelun. Teknologisen vahvuuden

ja potentiaalin määrittämisestä tulee näin ollen uusi elementti, kun tarkastelee investointimahdollisuuksia. [8]

Malli auttaa salkunhoitajia rakentelemaan ajatuksiaan teknologia-aspektien ympärillä, kun tarkastelee yrityksen kirjallisuutta ja tehdessä haastatteluja. Mallia käyttämällä salkunhoitajat saavat paremman käsityksen yrityksen teknologiaperustasta ja sen kehityksestä sekä miten yritys käsittelee teknologiamahdollisuuksia. [8]

Tarvittavat tiedonlähteet yrityksen kirjallisuudesta ovat vuosiraportti, lehdistötiedotteet, nettisivusto. Haastateltavia henkilöitä tiedon keräämiseksi ovat muun muassa teknologiakomitean puheenjohtaja, toimitusjohtaja, teknologiajohtaja, strategiatiimi, teknologiatiimi ja investointisuhdeasiantuntijat. [8]

Täyttäen TAT-mallin kommentti osiot salkunhoitajat voivat luoda raportin yritykselle, mikä auttaa yrityksen jäseniä muodostamaan henkilökohtaisia näkemyksiä yrityksen teknologiavahvuuksista ja -potentiaaleista. Salkunhoitajien on kuitenkin syytä painottaa, että mallin tarkoitus on vain tukea omaa arvostelua. [8]

### 3. TEKNOLOGIAN EVALUAATIO VS. ARVIOINTI

”Technology assesment”-käsite (TA) syntyi 60-luvulla Yhdysvalloissa. TA:n alkuperäinen tarkoitus oli auttaa Yhdysvaltain kongressia havainnoimaan minkälaisia vaikutuksia sosiaalisesti, taloudellisesti, poliittisesti ja eettisesti syntyisi uuden teknologian leviämisestä kansan keskuudessa. TA-käsitettä alettiin yhdistämään automaattisesti julkiseen politiikkaan. Tämä tarkoitti myös, että tutkijat löysivät itsensä julkisen politiikan tiimoilta. [9]

Myöhemmin teollisuus- ja yritysjohtajat kiinnostuivat konseptista ja näkivät sen potentiaalin. TA-käsite näin ollen adoptoituna teollisuuteen menetti alkuperäisen yhteytensä politiikkaan. Teollisuudessa käsite kattoi teknologisen valmiuden. Onko teknologia valmis, onko teknologia riittävän kypsä integroitavaksi organisaatioon tai tuotannon järjestelmiin. Lopulta havaittiin, että julkinen TA ja yksityinen TA eroaa pääasiassa neljällä tapaa: päämäärä, rakenne, aikamäärät ja muut näkökulmat. Esimerkiksi yksityisen TA:n päämäärä yleisesti on maksimoida voitto markkinoilla. [9]

70-luvulla kehitetty määritelmä on, että TA on yksi politiikkatutkimuksen muoto, joka antaa tasapainotetun arvion politikoille. Ideaalisesti, se on järjestelmä, jonka avulla kysytään oikeita kysymyksiä ja saadaan tarkkoja sekä ajallisesti relevantteja vastauksia. Se tunnistaa poliittisia ongelmia, arvioi vaihtoehtoisten ratkaisujen vaikutusta ja esittää tutkimustuloksia. Se on analyysimetodi, joka systemaattisesti arvioi teknologiaohjelman luonnetta, merkitystä, statusta ja hyötyjä. Yleisin termien TA on prosessi, jolla arvioidaan teknologista edistystä ja/tai analysoidaan sosiaalteknisiä järjestelmiä ja/tai analysoidaan teknologian sosiaalista merkitystä ja/tai arvioidaan vaihtoehtoisia teknologioita ja/tai tutkitaan teknologioiden tulevaisuutta ja/tai ohjataan sekä hallitaan teknologiaa. [10]

Kirjallisuus näyttää, että ei ole vielä mitään laajalle levinnyttä metodologiaa TA:lle. Monia eri lähestymistapoja on TA:lle on adoptoitu riippuen siitä mihin työkalua ollaan käyttämässä, esimerkiksi yksityinen tai julkinen. Kirjallisuus myös näyttää, että merkittäviä ongelmia syntyy harjoittaessa TA:ta. Ongelmat yleensä liittyvät teknologiainnovatiivisten toimintojen monimutkaisuuteen, teknologioiden oleellisuuden ja paikannuksen mittaamisen monimerkityksellisyyteen sekä epävarmuuteen ja ihmisiin, joihin TA vaikuttaa. [10]

Yleisiä metodeja TA:lle yksityisellä puolella on muun muassa ”cost benefit analysis” (CBA), eli kustannushyötyanalyysi, AHP, ”roadmapping”, Delphi jne. Julkisella puolella yleisiä TA-työkaluja on vaikutusanalyysi Delphin avulla, ”Scenario-Based Assesment Model” (SBAM), joka on yhdistelmä AHP:stä, Delphistä ja ”Cross-Impact Method”:sta

(CIM), "Perspective Based Scenario Analysis" (PBSA) ja "Internet-Accessible Technology Risk Assessment Computer System" (ITRACS), joka on rakennettu muokatun AHP:n perustalta. [9]

"Technology evaluation" (TE) määrittää olevan joukko periaatteita, metodeja ja tekniikoita/työkaluja, joiden avulla voidaan tehokkaasti arvioida teknologian potentiaalista arvoa, sen hyötyjä yritykselle, alueelle tai teollisuuden sektorille. Se kattaa merkittävät metodologiat innovaatio- ja teknologiasiirossa, mitä hyödynnetään uusien ideoiden tarkastelussa, innovatiivisten ja ei-innovatiivisten tuotteiden sekä teknologioiden arvioinnissa. TE on tehokas tekniikka organisaatiolle tarkastellakseen uusia ideoita, tunnistaa ja analysoida seurauksia tai potentiaalista muutosta, kehittää ja suunnitella mahdollisia ratkaisuja sekä valita ja adoptoida teknologia. [11]

Arvioimisen tarkoitus määrittää onko teknologian arviointimetodi TA- vai TE-työkalu, ei niinkään työkalu itsessään. Esimerkiksi kaikkia luvussa 2 käsiteltyjä metodeja oltiin kehitetty ja sovellettu yrityskäyttöön, mutta silti muun muassa AHP:tä ja Delphiä voidaan soveltaa myös julkiseen käyttöön.



## 4. YHTEENVETO

### 4.1 Metodien soveltuvuus

Teknologioiden arviointimetoodeja voidaan käyttää lukuisissa eri konteksteissa, pääasiallisena rajoitteena on tarvitun datan saatavuus metodin käyttöön. Datan saatavuuteen vaikuttaa muun muassa subjektiivisen tiedon osaava henkilöstö, resurssit mitä datan kerääjä on valmis sijoittamaan, tutkimuksen merkittävyys jne. Jotkut metodit kuitenkin sijoittuvat enemmän TA:n tai TE:n suuntaan riippuen lähtökohtaisesti arvioinnin tarkoituksesta sekä metodin käytettävyydestä. Esimerkiksi AHP on yleinen sekä julkisella että yksityisellä puolella, mutta tarkempi versio AHP:sta, FAHP nojaa enemmän yksityiseen käyttöön.

Työssä käytyjen metodien käyttökontekstit vaihtelevat koneteollisuuden, kemianteollisuuden, lääketeollisuuden ja investointipiirien välillä. Ei yleensä ole tiettyä teollisuutta mihin metodeja sovelletaan, vaan työkaluja käytetään niiden tiettyjen ominaisuuksien mukaan, jotka sopivat tiettyyn käyttötarkoitukseen. Esimerkiksi TAT-mallia voi käyttää, jos ei halua kuluttaa huomattavaa määrää resursseja esimerkiksi Delphin tai FAHP:n käyttöön, mutta kuitenkin TAT on vain tukena muille työkaluille.

### 4.2 Vaadittu input

Arviointiprosessin aloittamiseksi aina vaaditaan kriteerit, joiden perusteella arviointi tapahtuu. Kriteerit voivat esimerkiksi kuvata teknologialta vaadittavia ominaisuuksia tai TAT-mallin tapauksessa myös yritykseltä vaadittavia ominaisuuksia teknologian hyödyntämiseen. Koska arviointi on suhteellisen subjektiivista, voidaan ottaa huomioon ei pelkästään teknologialle ominaisia aspekteja vaan myöskin yrityksen kykyjä integroida teknologia niiden järjestelmiin.

Merkittävä hyöty AHP: tai FAHP:n käytöstä on niiden ominainen rakenne järjestellä kriteerit hierarkkisesti, mistä saa tietää kuinka merkittäviä kaikki kriteerit ovat lopputuloksen kannalta sekä kuinka merkittäviä jotkut kriteerit ovat toisten kriteerien kannalta. Esimerkiksi, koska teknologian kilpailukyky ja jäljiteltävyys eivät ole toisiaan poissulkevia kriteerejä, täytyy niitä käsitellä jollakin tavalla eri tasoissa. Kriteerit täytyy näin ollen sijoitella rakenteeseen niin, että on selvää mikä kriteeri vaikuttaa mihinkin kriteeriin. Esimerkki tästä on hierarkiamallin jako ylä- ja alakriteereihin. Laskennan jälkeen saa selville myös sen, että kuinka merkittävä jokainen alakriteeri on lopputuloksen kannalta sekä kuinka

merkittäviä alakriteerit ovat yläkriteerien kannalta. Eli tekijä saa selville myös kuinka merkittävä kriteeri teknologian jäljitettävyyden on sen kaupallistettavuuden kannalta sekä kilpailukyvyyn kannalta.

Toinen tarvittava komponentti metodin käyttöön on data. Kaikissa työssä käydyissä metodeissa data on subjektiivista, asiantuntijoilta kerättyä tietoa. Delphi-metodi on hyvä esimerkki, miten dataa voi kerätä systemaattisesti. Metodissa jatketaan kyselyiteraatioita niin kauan, kunnes yhteisymmärrykseen on päästy. Tämä vähentää jossain määrin lopputuloksen virhettä, koska todennäköisyys saada ”oikea” vastaus kasvaa suhteessa otoskoon kasvuun. Sumea logiikka on tehokas tapa käsitellä subjektiivista dataa järkevästi, mitä metodeissa FAHP ja sumea Delphi hyödynnetään.

Jos ajattelee metodia laajemmin voi laskea inputiksi myös kyvyn käyttää metodia kriteerien ja datan mukaan. Järjestelmän ollessa suljettu voi laskea tarvituksi inputeiksi pelkästään kriteerit ja datan.

### 4.3 Työkalujen yhteydet

Kaikille työkaluille yhteistä on tarvittu input. Jokaiseen arviointiprosessiin tarvitsee kriteerit sekä datan. Output työkalujen välillä on hyvin vaihtelevaa. Esimerkiksi FAHP:lla voi arvioida kriteerien merkittävyyttä tarkasteltavassa teknologiassa, kun taas Delphillä, MA:lla ja TAT-mallilla voi arvioida eri teknologioita kriteerin kannalta. Myöskin outputin merkittävyys vaihtelee työkalujen välillä. Esimerkiksi TAT-mallia ei kannata käyttää yksistään teknologian arvioimiseen vaan se on nopea työkalu, jolla voi tehdä heti ”go/kill”-päätöksen sekä se toimii tukena lopulliselle arvioinnille. Esimerkiksi MA:n output on sarjamaista ja jatkuvaa tapahtuvaa, eli sen sijaan, että lopulta saadaan selville kaikkien teknologioiden kohtalo niin MA poistaa jatkuvasti vaihtoehtoisia teknologioita arviointiprosessista.

Sumealla AHP:llä ja sumealla Delphillä on yhteistä niiden sumea logiikka, joka auttaa datan käsittelyssä. Lähteen [1] tapauksessa data oli kerätty käyttäen Delphi-metodia ja lopulta analysoitu käyttäen FAHP:tä. Sumealla Delphillä voi myös tehdä datan käsittelyn loppuun, mutta lopullinen vastaus on tarkempi FAHP:n tapauksessa.

Yhteistä työkaluille on myös datan keräyksen kohde, joka tulee aina olemaan teollisuuden, yrityksen tai sektorin asiantuntija. Kaikissa luvun 2 tapauksissa on haastateltu aiheeseen liittyviä asiantuntijoita, jotka voivat olla esimerkiksi toimitusjohtaja, teknologia-päällikkö, strategiapäällikkö jne.

## LÄHTEET

- [1] J. Cho, J. Lee, Development of a new technology product evaluation model for assessing commercialization opportunities using Delphi method and fuzzy AHP approach, *Expert Systems with Applications*, Volume 40, Issue 13, 2013, pp. 5314-5330, ISSN 0957-4174, saatavissa <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.03.038>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095741741300225X>)
- [2] Shyh-Hwang Lee, Using fuzzy AHP to develop intellectual capital evaluation model for assessing their performance contribution in a university, *Expert Systems with Applications*, Volume 37, Issue 7, 2010, pp. 4941-4947, ISSN 0957-4174, saatavissa <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.12.020>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417409010665>)
- [3] Da-Yong Chang, Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research*, Volume 95, Issue 3, 1996, pp. 649-655, ISSN 0377-2217, saatavissa [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00300-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2). (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221795003002>)
- [4] Heeyong Noh, Ju-Hwan Seo, Hyoung Sun Yoo, Sungjoo Lee, How to improve a technology evaluation model: A data-driven approach, *Technovation*, Volumes 72-73, 2018, pp. 1-12, ISSN 0166-4972, saatavissa <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2017.10.006>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166497217307824>)
- [5] Pao-Long Chang, Chiung-Wen Hsu, Po-Chien Chang, Fuzzy Delphi method for evaluating hydrogen production technologies, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 36, Issue 21, 2011, pp. 14172-14179, ISSN 0360-3199, saatavissa <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.05.045>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319911012043>)
- [6] Yu-Lung Hsu, Cheng-Haw Lee, V.B. Kreng, The application of Fuzzy Delphi Method and Fuzzy AHP in lubricant regenerative technology selection, *Expert Systems with Applications*, Volume 37, Issue 1, 2010, pp. 419-425, ISSN 0957-4174, saatavissa <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.05.068>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417409004928>)
- [7] Kim Hua Tan, J. Noble, Yuji Sato, Ying Kei Tse, A marginal analysis guided technology evaluation and selection, *International Journal of Production Economics*, Volume 131, Issue 1, 2011, pp. 15-21, ISSN 0925-5273, saatavissa <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.09.027>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527310003658>)
- [8] Rias Johann Van Wyk, Technology assessment for portfolio managers, *Technovation*, Volume 30, Issue 4, 2010, pp. 223-228, ISSN 0166-4972, saatavissa <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2009.06.005>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166497209000911>)
- [9] Thien A. Tran, Tugrul Daim, A taxonomic review of methods and tools applied in technology assessment, *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 75, Issue 9, 2008, pp. 1396-1405, ISSN 0040-1625, saatavissa

<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2008.04.004>. (http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162508000760)

- [10] G. Azzone, R. Manzini, Quick and dirty technology assessment: The case of an Italian Research Centre, *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 75, Issue 8, 2008, pp. 1324-1338, ISSN 0040-1625, saatavissa <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2007.10.004>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162507001916>)
- [11] URENIO Research Unit, *Technology Evaluation*, 2001, saatavissa <https://www.urenio.org/newventuretools/cba/index.html>