

Tekoälyn hyödyntäminen toimittajan valinnassa

Toimitusketjujen johtamisen
Kandidutkielma

Laatija(t):

Alexi Ingi

Ohjaaja:

TkT Riikka Kaipia

27.4.2024

Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu
Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Kandidatutkielma / Pro gradu -tutkielma / Lisensiaatintutkielma

Oppiaine: Toimitusketjujen johtaminen

Tekijä(t): Aleksi Ingi

Otsikko: Tekoälyn hyödyntäminen toimittajan valinnassa

Ohjaaja(t): Riikka Kaipia

Sivumäärä: 29 sivua

Päivämäärä: 27.4.2024

Tämän tutkielman tarkoituksena on selvittää, mitä tekoälytekniikoita voidaan hyödyntää toimittajan valinnan eri vaiheissa ja miten ne tukevat prosessia. Tutkimus suoritetaan kirjallisuuskatsauksena käyttäen tutkimuskysymykseen vastaavia tieteellisiä artikkeleita sekä kirjoja. Toimittajan valintaprosessi kuvataan tutkimuksessa neliportaisena metodina, joka sisältää ongelman määrittelyn, kriteerien muodostamisen, esivalinnan ja toimittajan lopullisen valinnan. Tutkimuksen tekoälytekniikat kuvataan peruspiirteisesti tarkemmin tutustumatta tarkkoihin teknisiin yksityiskohtiin. Tutkimuksessa tekoälytekniikat lopuksi erotellaan ominaisuuksien sekä soveltuvuuksien perusteella ja sijoitetaan tukemaan tiettyä toimittajan valinnan prosessin vaihetta. Tutkimuksen johtopäätöksissä havaittiin, että erilaisia tekoälytekniikoita voidaan hyödyntää toimittajan valintaprosessin eri vaiheissa. Ongelman määrittelyvaiheessa tekoälyn käyttö on haastavaa, mutta asiantuntijajärjestelmät voivat olla tehokkaita tukemaan prosessia. Kriteerien muodostamisessa matemaattiset algoritmit kuten sumea logiikka ja koneoppimisen menetelmät ovat hyödyllisiä optimoimaan eri kriteerien painotuksia. Esivalinnassa erityisesti keinotekoiset hermoverkot ja asiantuntijajärjestelmät voivat muodostaa esivalinnan lyhytlistan tehokkaasti. Toimittajan lopullisessa valinnassa geneettiset algoritmit, sumea logiikka ja koneoppimisen menetelmät ovat hyödyllisiä, samoin kuin historialliseen dataan perustuvat asiantuntijajärjestelmät ja keinotekoiset hermoverkot. Agenttipohjaisia järjestelmiä voidaan hyödyntää tukemaan tai suorittamaan koko toimittajan valintaprosessi ja siksi niiden potentiaali toimittajan valintaprosessin tukemiseen tai automatisoimiseen on suurin. Niiden tehokkuutta ja luotettavuutta tulisi kuitenkin vielä tutkia lisää. Lisäksi tekoälyn hyödyntämistä ongelman määrittelyssä tulisi tarkastella syvemmin, sillä aiheesta tehdyt tutkimukset ovat olleet rajallisia.

Avainsanat: Tekoäly, Toimittajan valinta,

Sisällysluettelo

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Johdanto | 5 |
| 1.1 | Tausta | 5 |
| 1.2 | Tutkimuskysymykset | 6 |
| 1.3 | Menetelmät ja rakenne | 6 |
| 1.4 | Työn tavoitteet ja rajaukset | 7 |
| 2 | Toimittajan valintaprosessi | 8 |
| 2.1 | Ongelman määrittely ja kriteerien muodostaminen | 9 |
| 2.2 | Toimittajien esivalinta | 10 |
| 2.3 | Lopullinen valinta | 11 |
| 3 | Tekoälyn eri muodot | 12 |
| 3.1 | Keinotekoiset hermoverkot | 13 |
| 3.2 | Karkea joukkoteoria | 14 |
| 3.3 | Koneoppiminen | 14 |
| 3.4 | Asiantuntijajärjestelmät | 14 |
| 3.5 | Geneettiset algoritmit | 15 |
| 3.6 | Sumea logiikka | 16 |
| 3.7 | Agenttipohjainen järjestelmä | 16 |
| 4 | Tekoälyn hyödyntämien toimittajan valintaprosessin tukemiseen | 17 |
| 4.1 | Keinotekoiset hermoverkot toimittajan valintaprosessin tukena | 19 |
| 4.2 | Karkea joukkoteoria toimittajan valintaprosessin tukena | 20 |
| 4.3 | Koneoppiminen toimittajan valintaprosessin tukena | 20 |
| 4.4 | Asiantuntijajärjestelmät toimittajan valintaprosessin tukena | 21 |
| 4.5 | Geneettiset algoritmit toimittajan valintaprosessin tukena | 22 |
| 4.6 | Sumea logiikka toimittajan valintaprosessin tukena | 23 |
| 4.7 | Agenttipohjaiset järjestelmät toimittajan valintaprosessin tukena | 24 |
| 5 | Yhteenveto ja Johtopäätökset | 26 |
| | Lähteet | 28 |

1 Johdanto

1.1 Tausta

Ostotoiminnan merkitys kasvaa jatkuvasti, ja siksi myös yksittäisten hankintapäätösten vaikutukset korostuvat entisestään. Organisaatioiden riippuvuus toimittajiin lisääntyy ja huonoilla päätöksillä on aina vain suuremmat suorat ja epäsuorat seuraukset yrityksen tulokseen. Teollisuuden aloilla hankinnan kokonaisliikevaihto tyypillisesti liikkuu 50–90 prosentissa, tehden hankinnannasta kriittisen osan tuloksen kumuloimisessa. (De Boer ym. 2001)

Toimittajan valinta on osa hankintaprosessia. Globalisaation ja internetin myötä toimittajan valinta on vaikeutunut toimittajavaihtoehtojen lisääntyessä huomattavasti. Muuttuvat kuluttajatottumukset vaativat yhä laajempaa ja nopeampaa toimittajavalintaa. Julkisen hankinnan säädösmuutokset vaativat lisää läpinäkyvyyttä päätöksentekoon.

Organisaatorakenteiden muuttuessa yhä suurempi osa ihmisiä on osallisena hankinnan päätöksentekoon. Tämän muutoksen ovat aiheuttaneet ulkoistaminen ja hankintafunktion laajentuminen. Tämä kehitys vaatii vahvasti systemaattisempaa ja läpinäkyvämpää lähestymistapaa hankinnan päätöksentekoon erityisesti tavarantoimittajan valinnan osa-alueeseen. (De Boer ym. 2001)

Toimittajan valintaprosessi on tärkein osa-alue paremman ulkoistamisprosessin tuottamiseen. Järjestelmällinen toimittajien arviointi sekä valinta ovat avaintekijöitä tehokkaan toimitusketjun hallinnan rakentamiselle. Ulkoistustoiminnan menestys riippuu suuresti onnistuneesta toimittajien valinnasta. Koska toimittajat ovat yksi toimitusketjun keskeisimmistä osista, tehokas toimittajien valinta ja arviointi katsotaan hankintapäälliköiden tärkeimmiksi vastuualueiksi. (Thiruchelvam & Tookey 2022)

Tekoäly on osoittanut suureksi mahdollisuudeksi ihmisten päätöksentekoprosessien kehittämiseen ja sen myötä tuottavuuden parantamiseen. Tämä johtuu sen kyvystä sekä tunnistaa erilaisia liiketoimintaan liittyviä kuvioita ja malleja että kyvystä oppia erilaisista sen havaitsemista ilmiöistä, etsiä tietoa ja analysoida dataa älykkäästi. (Min 2009) Tekoälyn käyttämisestä seuraa merkittäviä hyötyjä hankinnan eri vaiheissa. Toimittajan valintaa koskevissa sovelluksissa tekoälyn hyödyntämisen potentiaali on erityisen suuri. (Guida ym. 2023)

Tekoälyn suurimmat hyödyt olisivat läpinäkyvyyden lisääminen, tehokkuuden parantaminen, toimitusketjujen riskien minimoiminen, suunnitteluprosessien tarkkuuden lisääminen, neuvottelujen automatisoiminen sekä ulkoisen datan käsittelyn parantaminen. Yleisesti tekoälyä hyödyntämällä voitaisiin suuresti tehostaa teknisiä prosesseja sekä strategialuontoisia päätöksentekoprosesseja. (Guida ym. 2023)

1.2 Tutkimuskysymykset

Toimittajan valinta on yritykselle tärkeä päätös sekä taloudellisesti että strategisesti. Toimittajan valintaprosessin tehokkuuden optimoiminen tulisi olla yritykselle tärkeä prioriteetti. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten tekoälyä voidaan hyödyntää tukemaan toimittajan valintaa ja miten se tukisi toimittajan valintaprosessin eri vaiheita. Työ voidaan kiteyttää yhteen tutkimuskysymykseen:

Q1 Miten tekoälyä voidaan hyödyntää toimittajan valintaprosessissa?

Tutkimuskysymyksen tarkoitus on selvittää ne tekoälytekniikat, joita voidaan hyödyntää toimittajan valintaprosessissa ja avata sitä, miten ne tukisivat prosessia.

1.3 Menetelmät ja rakenne

Tämä kandidaatintutkimus toteutetaan kirjallisuuskatsauksena. Tutkimus pohjautuu alan tieteellisiin artikkeleihin sekä kirjoihin, jotka pyrkivät vastaamaan tutkimuskysymyksiin. Toimittajan valintaprosessi avataan järjestelmällisesti ja sen eri vaiheet käydään läpi. Sen jälkeen perehdytään erilaisiin tekoälytekniikoihin sekä tehdään tekoälytekniikoista jaottelu niiden ominaisuuksien perusteella. Lopuksi yhdistetään aikaisemmat vaiheet ja kuvaillaan, millaisia tekoälytekniikoita voidaan hyödyntää toimittajan valintaprosessin tukemiseen ja miten ne tukisivat prosessin eri vaiheita. Lopuksi tutkimuksessa esitetään yhteenveto ja johtopäätökset.

1.4 Työn tavoitteet ja rajaukset

Tutkimuksen tavoitteena on tarkastella tekoälyn hyödyntämistä toimittajan valintaprosessissa ja selvittää sen mahdollisuuksia parantaa prosessin tehokkuutta ja tuloksia. Erityisesti pyritään selvittämään, miten eri tekoälyn muodot voivat tukea eri vaiheita toimittajan valintaprosessissa.

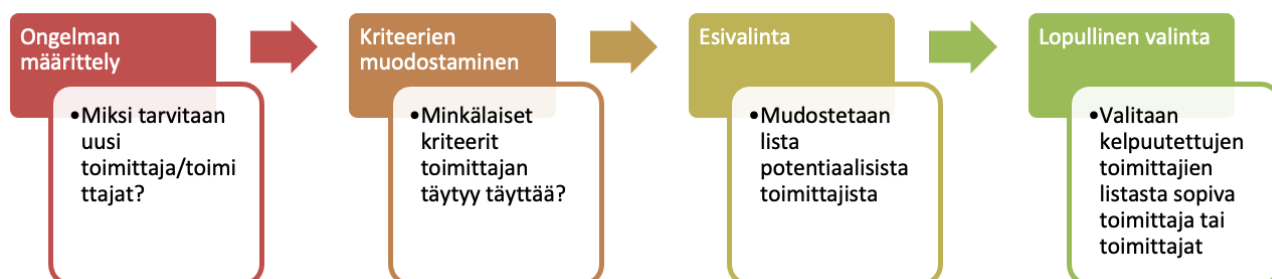
Tutkimus on rajattu keskittymään tekoälyn soveltamiseen toimittajan valintaprosessissa sekä sen mahdollisiin hyötyihin. Tutkimus ei käsittele laajasti muita toimittajien hallintaan tai hankintaan liittyviä näkökohtia. Tutkimus ei myöskään syvenny tekoälytekniikoiden syvällisiin teknisiin yksityiskohtiin, vaan keskittyy niiden peruseräisiin. Lisäksi rajaukseen kuuluu se, että tutkimus tarkastelee toimittajan valintaprosessia yleisellä tasolla eikä keskity tiettyyn teollisuudenalaan tai organisaatiotyyppiin.

2 Toimittajan valintaprosessi

Yleisesti suurin osa yrityksen käyttämistä resursseista hankitaan yrityksen ulkopuolelta monilta erilaisilta toimittajilta. Sen vuoksi yrityksen kilpailukyky määräytyy pitkälti sen mukaan, miten yritys on onnistunut löytämään omiin tarpeisiinsa sopivat sekä omia kyvykkyyksiään täydentävät toimittajat. (Tanskanen 2021, 131)

Toimittajan valinta voidaan ajatella prosessina, joka koostuu neljästä vaiheesta. Ensimmäinen vaihe on ongelman määrittely, jossa määritellään se, miksi tarvitaan uusi/uudet toimittaja/toimittajat ja mitä toimittajalta/toimittajilta halutaan. Toisessa vaiheessa määritellään kriteerit toimittajille. Tähän kuuluu niiden kriteerien määrittely, jotka toimittajien tulee täyttää, jotta heidät voitaisiin valita. Kolmas vaihe on toimittajien esivalinta (pre-qualification). Tässä vaiheessa toimittajat, jotka täyttävät kriteerit päästetään prosessissa eteenpäin. Toimittajien kelpuuttamisen tarkoituksena on suuren toimittajajoukon vähentäminen pienempään optimaalisten toimittajien joukkoon. Viimeisessä vaiheessa toimittaja valitaan aiemmin kelpuutetusta joukosta. (De Boer ym. 2001) Potentiaalisten toimittajien lukumäärä siis pienenee toimittajan valintaprosessin edetessä jatkuvasti, kunnes jäljellä on enää lopullinen valinta tai valinnat.

Toimittajan valintaprosessi sisältää useita kriteereitä, jotka koostuvat sekä laadullisista että määrällisistä näkökohdista. Joskus saattaa ilmetä ristiriitoja konkreettisten ja abstraktien kriteerien välillä, mikä voi vaatia tasapainoilua ristiriitaisten kriteerien välillä. (Thiruchelvam & Tookey 2022) Toimittajan valintaprosessissa ongelman määrittely ja kriteerien muodostaminen sisältävät enemmän laadullisia näkökohtia, kun taas esivalinnassa ja lopullisessa valinnassa ne ovat enemmän määrällisiä. (De Boer ym. 2001)



Toimittajan valintaprosessi (Mukaiillen De Boer ym. 2001)

2.1 Ongelman määrittely ja kriteerien muodostaminen

Toimittajan valintaprosessi voidaan toteuttaa esimerkiksi vaihtoehtoisen toimittajan löytämisen, toimittajakannan laajentamisen tai täysin uuteen projektiin vaadittavan toimittajan löytämisen vuoksi. Kaikissa mahdollisissa tilanteissa toimittajan valitseminen lähtee liikkeelle tarpeen ymmärtämisestä ja määrittelystä. Tärkeää on ymmärtää, mikä on ongelman syvin olemus ja minkälaiset toimittajat milläkin ominaisuuksilla ratkaisevat tämän ongelman. Mitkä asiat tuovat lisäarvoa, mitkä asiat ovat välttämättömiä ja mitkä asiat eivät ole ongelman ratkaisun kannalta välttämättömiä? (Tanskanen 2021, 131–132)

Ongelman määrittely tarkoittaa päätöksentekijän huolellista harkintaa päätöksen tarpeesta ja sen taustalla olevista syistä. Se keskittyy selvittämään, miksi päätös on tarpeellinen ja miten valittavat vaihtoehdot voivat ratkaista kyseisen ongelman. Tässä kontekstissa esimerkiksi toimittajan valinnassa ongelman määrittelyssä keskitytään selvittämään, miksi yhden tai useamman toimittajan valitseminen näyttää parhaalta tavalta käsitellä kyseistä hankintatarvetta. (De Boer ym. 2001)

Tarve voidaan määrittellä eri tavoin. Tarve voidaan määrittää erittäin tarkasti esimerkiksi tuotteen, merkin tai mallin perusteella. Tarkasti määritetyssä tarpeessa prosessin liikkumavara vähenee. Jos taas tarve määritetään tarkoituksenmukaisesti eli tarvetta ei määritellä liian tarkasti vaan se määritellään vain sen merkittävien ja pakollisten ominaisuuksien osalta, jää prosessiin paljon enemmän liikkumavaraa. (Nieminen 2016, 54–55)

Kriteerien muodostaminen viittaa kriteerien määrittelemiseen tai rakentamiseen, jotka auttavat päätöksentekijää arvioimaan vaihtoehtojaan. Näitä kriteerejä käytetään sen selvittämiseen, mikä vaihtoehto vastaa parhaiten määriteltyä ongelmaa ja sen vaatimuksia. Esimerkiksi toimittajan valinnassa kriteerit voivat olla muun muassa toimitusajan noudattaminen, laadun taso, hinta ja palvelun laatu. Kriteerien muodostamisessa pyritään valitsemaan ne tekijät, jotka ovat merkityksellisiä ja jotka auttavat päätöksentekijää tekemään perusteltuja päätöksiä. (De Boer ym. 2001)

Yleensä kriteerien määrittäminen keskittyy laatuun, toimitusten luotettavuuteen, kustannuksiin ja toimittajien kyvykkyyteen, mutta hinta ei enää ole keskeisin tekijä. Todellisuudessa sopivien kriteerien valinta vaihtelee hankintatilanteen mukaan. (Taherdoost & Brard 2019)

Kirjallisuudessa ongelman määrittelyä ja kriteerien muodostamista ei aina sisällytetä toimittajan valintaprosessiin. Olen kuitenkin ottanut ne mukaan tähän tutkimukseen, koska olen tunnistanut, että joitain tekoälysovelluksia voitaisiin käyttää myös näissä toimittajan valinnan vaiheissa.

2.2 Toimittajien esivalinta

Esivalinta määritellään prosessiksi, jossa pienennetään hyväksytyjen toimittajien joukkoa kaikista toimittajista pienempään hallittuun määrään. Tätä prosessia voidaan toteuttaa useassa vaiheessa. Ensimmäinen vaihe on aina hyväksyttävien toimittajien joukon määrittäminen, kun taas myöhemmät vaiheet keskittyvät toimittajien määrän vähentämiseen. Yksinkertaistetusti esivalinta on enemmän lajitteluprosessi kuin luokitteluprosessi, ja tämä hienovarainen ero ei aina tule selvästi esiin hankinta-alan kirjallisuudessa. (De Boer ym. 2001) Lajitteluprosessilla tarkoitetaan toimittajien lajittelua hyväksyttäviin ja ei hyväksyttäviin, kun taas lopullisessa valinnassa toteutetaan luokitteluprosessia, jossa toimittajat luokitellaan haluttujen attribuuttien perusteella paremmuusjärjestykseen.

Käytännössä esivalinnassa suurelta joukolta mahdollisia toimittajia kerätään tietoa esimerkiksi tarjonnasta, resursseista, kapasiteetista ja muista toimittajien kyvykkyyksistä. Sen jälkeen toimittajat arvioidaan ja heistä muodostetaan lyhytlista. Seuraavaksi lyhytlistan toimittajille esitetään valintaprosessin ensimmäisessä vaiheessa muodostettu ongelma ja kysytään, kuinka he tämän ongelman ratkaisisivat. Sen jälkeen lyhytlistan toimittajien vastauksia arvioidaan ja muodostetaan seuraavalle kierrokselle etenevä ryhmä. Seuraavalle kierrokselle etenevältä ryhmältä pyydetään lopulliset tarjoukset, joista valitaan yrityksen tarpeisiin sopiva toimittaja tai useammat sopivat toimittajat. (Tanskanen 2021, 133–136)

Esivalinta on myös saanut kritiikkiä sen ominaisuudesta rajoittaa täyttä ja avointa kilpailua. Esivalinta saattaa estää uusien kilpailijoiden markkinoille pääsyn, koska se asettaa ennakkovaatimuksia ja kriteereitä, jotka uusien tulokkaiden voi olla vaikeampi täyttää. Näitä vaatimuksia saattavat olla esimerkiksi aiempi kokemus, taloudellinen vakaus tai tiettyjen sertifikaattien tai lisenssien omistaminen. Tällaiset edellytykset voivat muodostaa esteitä uusille toimijoille, jotka eivät vielä ole vakiinnuttaneet asemaansa markkinoilla tai joilla ei ole vastaavaa kokemusta tai resursseja. (Jackson 1990)

Toimittajan esivalinta kuitenkin antaa hankintayksikölle lisää varmuutta siitä, että listatut toimittajat ovat kykeneviä toimittamaan tarvittavia tavaroita tai palveluita. Vaikka esivalinta ei poista sopimusriskiä kokonaan, se voi kuitenkin vähentää sitä ja helpottaa sopimusten hallintaa. (Limo ym. 2017)

2.3 Lopullinen valinta

Toimittajan valinta sisältää toimittajien ominaisuuksien arvioinnin niiden attribuuttien perusteella ja yhden tai useamman sellaisen toimittajan valinnan, jotka parhaiten vastaavat yrityksen tarpeita. (De Boer ym. 2001)

Toimittajan lopullisessa valinnassa esivalinnasta jatkoon päässeiltä toimittajia pyydetään tekemään tarjous. Tarjouspyyntö on tärkeää laatia niin, että tarjouksia on helppo vertailla. Tarjouksen päätarkoitus on saada mahdollisimman tarkkaa tietoa toimittajien arvottamiseen taloudellisesta näkökulmasta. Tarjoukset ja aikaisemmin hankittu tieto yhdistetään ja tehdään laadullinen ja euromääräinen kokonaisvertailu toimittajista. Näiden vertailujen pohjalta valitaan yksi tai useampi toimittaja. (Tanskanen 2021, 134–136)

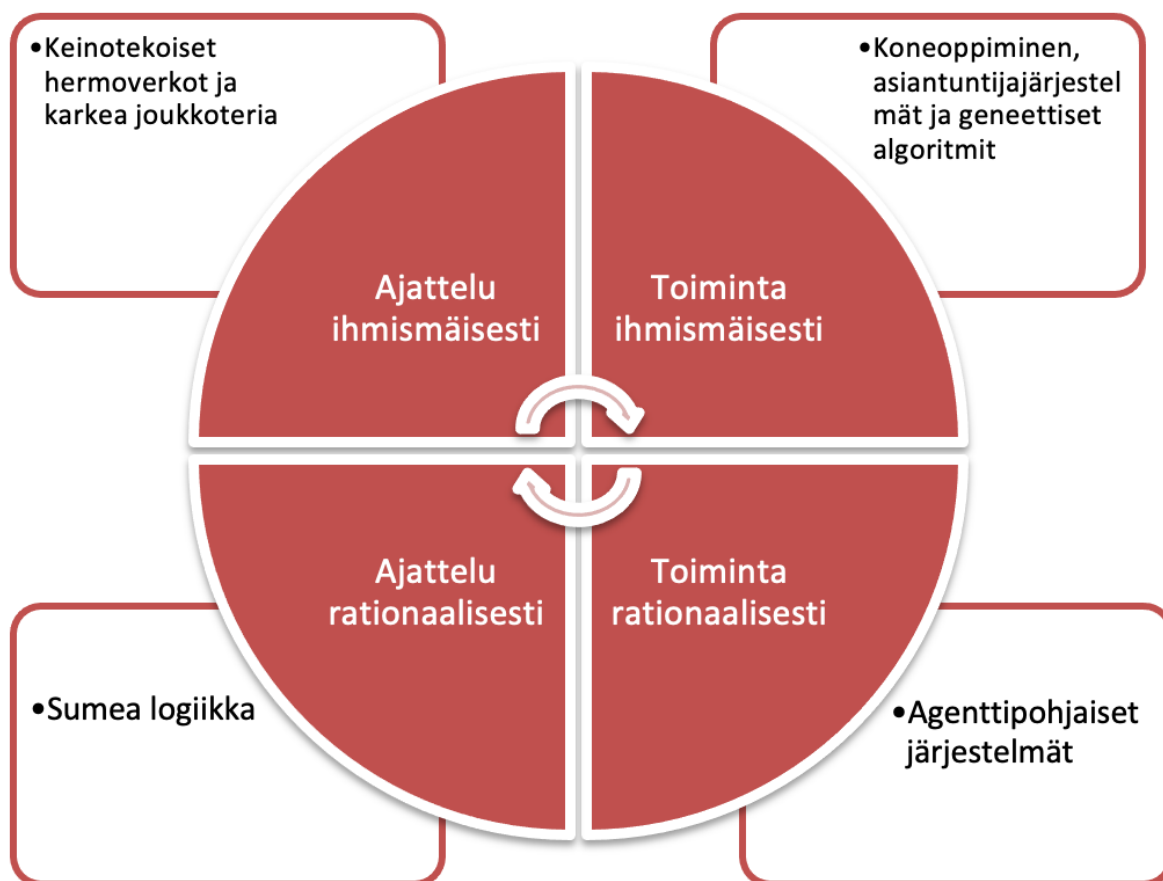
Voidaan väittää, että yhdenkään toimittajan ei olisi todennäköistä menestyä erinomaisesti kaikilla suorituskyvyn ulottuvuuksilla. Esimerkiksi korkealaatuinen toimittaja ei välttämättä ole se, jolla on alhaisimmat kustannukset tuotteissaan, vaan huomioon tulee ottaa muutkin ominaisuudet. On myös mahdollista, että tietyn toimittajan toimittamat tuotteet ovat erinomaisia joillakin laadun ulottuvuuksilla, kuten luotettavuudessa ja ominaisuuksissa, kun taas jokin toinen toimittaja voisi olla parempi muissa laadun ulottuvuuksissa kuten esimerkiksi kestävyudessa tai eetisyudessa. Siksi todellinen valinta sisältää yleensä tasapainottelua eri toimittajien attribuuttien tasoilla. (Verma & Pullman 1998)

Varsinainen toimittajan valinta edellyttää toimittajien ominaisuuksien arviointia niiden attribuuttien perusteella ja yhden tai useamman toimittajan valintaa, jotka parhaiten vastaavat yrityksen tarpeisiin. Toimittajan valinnassa käytettyjä attribuutteja on tunnistettu yli kaksikymmentä, mutta niistä eniten kirjallisuus painottaa laadun, kustannusten ja toimitusten suoritusmittareiden tärkeyttä toimittajavalinnassa. Hankintapäälliköt painottavat laadun olevan tärkein attribuutti toimittajan valinnassa, mutta todellisuudessa toimittajan valintaan vaikuttavat enemmän hinta ja toimituksen suorituskyky. (Verma & Pullman 1998)

3 Tekoälyn eri muodot

Tekoäly (AI) on kehitetty luomaan ja kehittämään "älykkäitä koneita", jotka pystyvät jäljittelemään, oppimaan ja korvaamaan ihmisen älykkyyden. Siitä lähtien kun AI:n kehitys alkoi 1970-luvun lopulla, on sillä ollut suuri potentiaali parantaa ihmisten päätöksentekoprosesseja ja sitä seuraavaa tuottavuutta monissa liiketoiminnan konteksteissa. Tämä potentiaali perustuu AI:n kykyyn tunnistaa liiketoiminnan malleja, oppia liiketoiminnan ilmiöitä, hakea tietoa ja analysoida dataa älykkäästi. (Min 2009) Vaikka tekoäly onkin laajalti hyväksytty päätöksentekoapuvälineeksi, sen sovellukset toimitusketjun hallinnassa ovat olleet rajallisia. (Guida ym. 2023)

Tekoäly tunnetaan kyvystään simuloida ihmisen ajattelua ja toimintaa sekä toimia rationaalisesti. Näiden ominaisuuksien pohjalta tekoäly voidaan jakaa neljään alakenttään (1) keinotekoiset hermoverkot ja karkea joukko -teoria, jotka pyrkivät jäljittelemään ihmisen ajattelua ja päätöksentekoa Tämä ryhmä pyrkii matkimaan ihmisten ajattelua ja päätöksentekoa. Se keskittyy oppimaan tietoa kokemuksen kautta sekä tunnistamaan kuvioita ja piirteitä samalla tavoin kuin ihmisen aivot toimivat. (2) Koneoppiminen, asiantuntijajärjestelmät ja geneettiset algoritmit, jotka keskittyvät ihmisen toiminnan jäljittelyyn. Tämä ryhmä pyrkii jäljittelemään ihmisten toimintaa ja päätöksentekoa. Se sisältää tekniikoita, jotka mahdollistavat koneiden oppimisen kokemuksen kautta ja asiantuntemuksen soveltamisen ongelmien ratkaisemiseksi. (3) Sumea (fuzzy) logiikka, joka mahdollistaa rationaalisen ajattelun. Tämä ryhmä keskittyy käsittelemään epätarkkoja ja epämääräisiä tietoja, jotka eivät sovi perinteiseen binääriseen kahden vaihtoehdon loogisen ajattelun malliin. Se sallii epävarmuuden ja epätarkkuuden käsittelyn päätöksenteossa. (4) Agenttipohjaiset järjestelmät, jotka pyrkivät toimimaan rationaalisesti kohti tavoitteitaan. Tämä ryhmä pyrkii mallintamaan järjestelmiä tai agenteja, jotka voivat toimia itsenäisesti ja ratkaista ongelmia ympäristössään. Nämä järjestelmät käyttävät usein strategioita ja oppivat kokemuksen kautta saavuttaakseen tavoitteensa tehokkaasti. (Min 2009)



Tekoälyn eri muodot (Min 2009 artikkelin pohjalta)

3.1 Keinotekoiset hermoverkot

Keinotekoiset hermoverkot (ANN), tai yksinkertaisemmin neuroverkko, on koneoppimismenetelmä, joka on kehitetty ihmisaivojen toiminnan simuloimisen ideasta. (Zou ym. 2008)

ANN hyödyntää tietokoneen muistin verkostoa oppiakseen kokemuksista, erottaakseen ominaisuuksia, tunnistaakseen malleja, ryhmitelläkseen kohteita ja käsitelläkseen epämääräistä tai abstraktia tietoa. Yksinkertaistettuna ANN koostuu solmuista, jotka vastaavat biologisia neuroneja, ja nämä solmut ovat yhteydessä toisiinsa linkkien avulla, joilla on numeerinen paino. Linkit ja niiden painot ovat keskeinen tapa tallentaa pitkäaikaisia muistitietoja. Verkko käsittelee tietoa siten, että yhden solmun lähtöarvot toimivat toisen solmun syötteinä, ja linkkien painoarvot määrittävät, kuinka voimakkaasti tieto vahvistuu tai heikkenee siirtyessään solmulta toiselle. Linkkien asettamista ja painotusten arvojen asettamista kutsutaan oppimiseksi. ANN voidaan opettaa vastaamaan erilaisiin datamalleihin toiveiden mukaisesti tai oppimaan piileviä yhteyksiä datan välillä. Kun verkko on alustettu,

sitä voidaan muokata parantamaan suorituskykyään käyttämällä induktiivista oppimisalgoritmia ja kouluttaa valvotuissa tai valvomattomissa ympäristöissä. (Min 2009)

3.2 Karkea joukkoteoria

Karkea joukko -teoria tuotiin yleiseen tietoisuuteen vuonna 1982 keinona luoda likiarvoja käsitteistä hankitun datan avulla käyttäen yhtä tai useampaa luokitteluattribuuttia sisältävää tietotaulukkoa. Nämä attribuutit käsittävät ekvivalenssiluokkia, erottumattomuussuhteita, joukkojen likiarvoja ja karkeaa jäsenyyttä. Nämä luokitteluattribuutit ovat keskeisiä mekanismeja toteutettaessa ihmisten käyttämiä esineiden luokittelu- ja tunnistusmenetelmiä. Lisäksi yhteisten piirteiden perusteella erottumattomien kohteiden joukossa niitä voidaan käyttää päätössääntöjen kehittämiseen. (Min 2009)

3.3 Koneoppiminen

Koneoppimisella tarkoitetaan tietokoneiden kykyä oppia itsenäisesti ilman, että niitä opetetaan nimenomaisesti. Toisin sanoen se tutkii tapoja, joilla tietokoneet voivat hankkia tietoa suoraan datasta ja siten oppia ratkaisemaan erilaisia ongelmia. Koneoppiminen jaetaan eri alakategorioihin sen mukaan, millä tavoin tietokoneet oppivat tehtäviä: (1) käsiteoppiminen, jossa tunnistetaan tai luodaan käsitteitä tulevia päätöksentekoprosesseja varten; (2) päätöspuun oppiminen, joka pyrkii luokittelemaan kohteita testaamalla niiden ominaisuuksia ja rakentamalla sen perusteella päätöspuun; (3) perceptronin oppiminen, jossa pyritään hankkimaan tietoa ja ratkaisemaan päätösongelmia yhden kerroksen verkostolla; (4) Bayesian-oppiminen, joka kouluttaa tietokoneita oppimaan todennäköisyysfunktioiden edustuksia; ja (5) vahvistusoppiminen, joka opettaa tietokoneita suorittamaan korkealla tasolla antamalla niille jatkuvaa palautetta palkintojen muodossa. (Min 2009)

3.4 Asiantuntijajärjestelmät

Asiantuntijajärjestelmät ovat tietokoneohjelmia, jotka matkivat ihmisen kognitiivisia taitoja, kuten ongelmanratkaisua, visuaalista havaitsemista ja kielen ymmärtämistä. Ne pystyvät

käsittelemään monimutkaisia ongelma-alueita, joilla tarvitaan runsaasti ihmisen asiantuntemusta. (Jackson 1999, 2–14)

Asiantuntijajärjestelmä koostuu neljästä osasta: tietokannasta, päättelymoottorista, oikeutusmekanismista ja käyttöliittymästä. Tietokanta tallentaa säännöt ja tiedon, päättelymoottori tekee päätelmiä näiden sääntöjen perusteella, oikeutusmekanismi selittää päätelmien taustalla olevat perusteet, ja käyttöliittymä mahdollistaa vuorovaikutuksen järjestelmän ja käyttäjän välillä kyselyiden kautta. (Min 2009)

3.5 Geneettiset algoritmit

Geneettiset algoritmit (GA) ovat kuin simulaatio luonnonvalinnasta tietokoneella. Ne kehittävät joukon sääntöjä, jotka matkivat luonnonvalintaa ja auttavat luomaan ympäristöön parhaiten sopeutuvia ratkaisuja. GA:t ovat erityisen hyödyllisiä monimutkaisten optimointiongelmiin ratkaisemisessa, joiden kohdalla perinteiset menetelmät voivat olla tehottomia. GA koodaa ratkaisut numeerisiksi merkkijonoiksi, joita kutsutaan kromosomeiksi, ja käyttää sitten geneettisiä operaattoreita, kuten risteytystä ja mutaatiota kehittämällä niitä iteratiivisesti kohti parempaa sopeutumista. Lopputuloksena saadaan ratkaisuja, jotka eivät välttämättä ole täydellisiä, mutta ovat riittävän hyviä optimointiongelman kannalta. GA:ta voidaan kutsua stokastiseksi tekoälytekniikaksi, joka jäljittelee luonnonvalinnan ilmiöitä, kuten geneettistä periytymistä ja selviytymiskamppailua. (Min 2009)

Optimointiongelmat ovat yleinen ongelmatyyppi, mutta jatkuvasti kasvavan ja monimutkaistuvan datan maailmassa ne ovat yhä vaikeampia ratkaistavia perinteisille menetelmille. Tieteellisen laskennan ja tutkimuksen kehittyessä optimointi pienillä datamäärillä ja alhaisilla ulottuvuuksilla onnistuu. Ongelma nousee esiin, kun data on erittäin suurta ja/tai moniulotteista. Perusoptimointityökalut eivät pärjää tällaisille monimutkaisille ongelmille niiden monimutkaisuuden vuoksi, vaan niiden ratkaisemiseen tarvitaan uudenlaisia menetelmiä kuten geneettisiä algoritmeja. (Sohail 2023)

3.6 Sumea logiikka

Sumea logiikka tarjoaa tehokkaan keinon rakentaa tietopohjia erityisaloille ja hyödyntää asiantuntijoiden osaamista. Se perustuu asiantuntijoiden mielipiteisiin muuttujien "hyvistä" ja "huonoista" puolista ja arvioi sitten näiden ominaisuuksien "hyvyyden" ja "huonouden" astetta verrattuna syötteenä olevaan muuttujaan. Toisin kuin perinteinen looginen ajattelu, joka toimii ehdottomuuksien pohjalta, summittainen logiikka tunnustaa osittaisen totuuden, joka on jossain ehdottoman totuuden ja valheen välimaastossa. (Min 2009)

Yleensä sumea logiikka koostuu viidestä perusosasta: kielellisistä muuttujista, kielellisistä arvoista, summittaisista joukoista, jäsenyysfunktioista ja summittaisista JOS-NIIN-säännöistä. Tämä lähestymistapa eroaa selvästi perinteisestä loogisesta ajattelusta, joka perustuu tarkkoihin objektien tai arvojen eroihin. Summittainen logiikka kykenee käsittelemään epävarmuutta, epätarkkuutta ja epämääräisyyttä kohteissa. (Min 2009)

Yksinkertaisemmin sanottuna sumea logiikka auttaa meitä ymmärtämään sellaisia monimutkaisia tilanteita, joissa ei ole selkeää vastausta. Esimerkki tällaisesta tilanteesta olisi sään lämpötila tai ongelman suuruus. Ongelmalle ei siis tarvitse asettaa ehdottomia rajoja. (Min 2009)

3.7 Agenttipohjainen järjestelmä

Agenttipohjainen järjestelmä on tapa ratkaista ongelmia hajautetusti jakamalla päätöksentekoon liittyvät haasteet pienempiin osiin ja käyttämällä näihin osiin itsenäisiä toimijoita eli agenteiksi kutsuttuja yksiköitä. Jokainen agentti voi hyödyntää erilaista osaamista sekä erilaisia menetelmiä ja resursseja tehtävien suorittamiseen. Agentti on itsenäinen toimija, joka voi ottaa tarvittavia toimia tavoitteidensa saavuttamiseksi ja samalla kilpailla sekä tehdä yhteistyötä muiden agenttien kanssa. Agenttien erottavia piirteitä ovat kyky hyödyntää alan asiantuntemusta, selviytyä virheellisestä tiedosta, käyttää symboleita ja abstraktioita, oppia ympäristöstään, toimia reaaliajassa ja kommunikoida muiden kanssa luonnollisella kielellä (Min 2009)

4 Tekoälyn hyödyntäminen toimittajan valintaprosessin tukemiseen

Seuraavaksi kuvaan, miten eri toimittajan valintaprosessin vaiheissa voidaan hyödyntää tekoälyä. Kuvaan sitä, mitä erilaisia tekoälytekniikoita voidaan käyttää hyväksi ja miten näitä eri tekniikoita missäkin eri toimittajan valintaprosessin vaiheessa käytetään.

Kirjallisuudessa kaikkiin toimittajan valinnan prosessin vaiheisiin ei ole teorioitu tai sovellettu tekoälytekniikoita, mutta tässä tutkimuksessa sijoitan toimittajan valintaprosessin jokaiseen vaiheeseen tekoälytekniikoita niiden toimintaperiaatteiden sekä prosessin vaiheen tarpeen perusteella. Usein tekoälytekniikoita käytetään yhdessä toistensa kanssa, mutta tähän tutkimukseen olen pyrkinyt erittelemään tekniikat toisistaan niiden ominaisuuksien perusteella ja sijoittamaan ne tukemaan eri toimittajan valintaprosessin vaiheita.

| | Ongelman määrittely | Kriteerien muodostaminen | Esivalinta | Lopullinen valinta |
|--------------------------------------|---|---|--|---|
| Agenttipohjaiset järjestelmät | Moniulotteiset agenttipohjaiset neuvottelumallit käyttävät älykkäitä agenteja suorittamaan koko hankintaprosessin sisältäen toimittajanvalinnan. (Huang 2010) | Moniulotteiset agenttipohjaiset neuvottelumallit käyttävät älykkäitä agenteja suorittamaan koko hankintaprosessin sisältäen toimittajanvalinnan. (Huang 2010) | Moniagenttijärjestelmän avulla voidaan luoda toimittajan esivalintamalli, joka lyhentää pätevien ja kilpailukykyisten toimittajien listaa luoden esivalinnan lyhytlistan. (Yu & Wong 2012) | Arvioagentti autonomisesti järjestää toimittajat ennalta määritettyjen kriteerien sekä tehokkaan tietoon pohjautuvan päätösmoottorin perusteella. (Soroor ym. 2012) |
| Geneettiset algoritmit | | | | Geneettinen algoritmi valitsee hyviä ratkaisuja ja poistaa huonoja ratkaisuja lisääntymis- ja mutaatio-operaattoreiden avulla, samalla luoden uusia, toivottavasti parempia ratkaisuja risteytysoperaattorin avulla, mikä mahdollistaa globaalin optimaaliratkaisun. (Rao 2007) |
| Asiantuntija järjestelmät | Tietopohjaisia asiantuntijajärjestelmiä voidaan hyödyntää ongelman määrittelyn | Tietopohjaista asiantuntijajärjestelmää voidaan konsultoida, jotta siltä saa | CBR-järjestelmä arvioi toimittajien kykyjä ja riskejä kriteerien perusteella, määrittäen | Lopullisessa valinnassa CBR-järjestelmä käyttää samalla tavalla kuin lyhytlistan luonnissa |

| | | | | |
|----------------------------------|---|--|--|--|
| | <p>tukena. Useita erilaisia informaatioteknologioita integroidaan yhteen, jotta pystytään luomaan tukijärjestelmä päätöksentekoon. (Humphreys ym. 2002)</p> | <p>ehdotuksia siihen, mitä kriteerejä käyttää missäkin tilanteissa. (De Boer ym. 2001)</p> | <p>niiden valintajärjestyksen todennäköisen suorituksen, hallinnointikyvyn, maineen ja muiden tekijöiden perusteella tarjoten lyhytlistan päätöksenteon tueksi. (NG & Skitmore 1995)</p> | <p>laajaa tietokantaansa mahdollisista tilanteista ja päätöksistä, jotka ovat aikaisemmin toimineet ja tuottaa lopullisen päätöksen. (Cook 1997)</p> |
| Sumea logiikka | | <p>Sumean logiikan malleissa otetaan huomioon valintakriteerien epätarkkuus, epämääräisyys ja kvantitatiiviset sekä kvalitatiiviset ominaisuudet ja pystytään siten tuottamaan toimittajan valintaan tarvittavat kriteerit. (Carrera & Mayorga 2007)</p> | | <p>Sumean logiikan järjestelmä ottaa huomioon kaikki päätöskriteerien epämääräisyydet ja epätarkkuudet ja tuottaa lopulta yhden selkeän lopputuloksen, joka kuvaa optimaalista päätöstä. Lopullinen selkeä tulos saadaan defuzzikaatiolla avulla. (Carrera & Mayorga 2007)</p> |
| Koneoppiminen | | <p>Koneoppimisen päätöspuun menetelmää voidaan hyödyntää luokitteluun toimittajat hyviin ja huonoihin sekä määrittämään, mitkä ominaisuudet ovat tärkeimpiä toimittajan valintaprosessissa historiallisen datan perusteella. (Abdulla ym. 2019)</p> | | <p>Bayesian koneoppimismenetelmällä tuotetuista tiedoista voidaan tehdä herkkyyksianalyysi ja siten tuottaa toimittajan lopullinen valinta. (Sarkis & Dhavale 2015)</p> |
| Karkea joukkoteoria | | <p>Hyödyntämällä harmaata teoriaa voidaan toimittajien erilaiset epävarmat attribuutit ilmaista harmaissa numeroissa niiden mahdollisten painojen avulla ja siten selkeyttää kriteerien muodostamista. (Li ym. 2007)</p> | | <p>Harmaiden numeroiden tuottamisen jälkeen käytetään harmaata mahdollisuusastetta, jotta voidaan määrittellä kaikkien toimittajien järjestys ja siten tuottaa optimaalinen ratkaisu. (Li ym. 2007)</p> |
| Keinotekoiset hermoverkot | | | <p>Keinotekoinen hermoverkko järjestää</p> | <p>Neuroverkko-järjestelmän käyttäjän</p> |

| | | | | |
|--|--|--|---|--|
| | | | <p>potentiaaliset toimittajat paremmuusjärjestykseen tuottaen esivalinnan lyhytlistan, jotta päätöksentekijä voi harkita myös muita vaihtoehtoja. (Asthana & Guptan 2015)</p> | <p>tarvitsee vain päivittää järjestelmään nykyisen tilanteen ominaisuudet, kuten halutut kriteerit ja toimittajien tilanne, jonka jälkeen neuroverkko tekee päätöksen käyttäjän puolesta. (De Boer ym. 2001)</p> |
|--|--|--|---|--|

Tekoälytekniikoiden soveltuvuus toimittajan valintaprosessin eri vaiheisiin (Ingi 2024)

4.1 Keinotekoiset hermoverkot toimittajan valintaprosessin tukena

Keinotekoisien hermoverkkojen eli neuroverkkojen vahvuus on se, että ne eivät vaadi päätöksentekoprosessin muodostamista. Tässä suhteessa neuroverkot voivat selviytyä paremmin epävarmuudesta ja monimutkaisuudesta verrattuna "perinteisiin menetelmiin". (De Boer ym. 2001)

Neuroverkko-järjestelmän käyttäjän tarvitsee vain päivittää järjestelmään nykyisen tilanteen ominaisuudet eli esimerkiksi halutut kriteerit ja data toimittajien aikaisemmasta toiminnasta. Sen jälkeen neuroverkko tekee päätöksen käyttäjän puolesta. Nykyisen tilanteen ominaisuuksiin kuuluvat esimerkiksi halutut kriteerit ja data toimittajien aikaisemmasta toiminnasta. Järjestelmän tekemä päätös perustuu siihen, mitä se on ”oppinut” asiantuntijoilta tai aiemmista tapauksista. Neuroverkkojen tehokkuus voidaan nähdä myös heikkoutena, koska se myös tarkoittaa sitä, että neuroverkon käyttäjä ei voi selittää päätöstä muille, esimerkiksi niille toimittajille, jotka järjestelmä hylkää. Tämä tekee neuroverkoista ensisijaisesti sopivia tilanteisiin, joissa ulkoinen perustelu on vähemmän tärkeää. Lisäksi neuroverkkoja voidaan hyödyntää myös ”varjomenetelmänä” yhdistettynä perinteiseen menetelmään. (De Boer ym. 2001)

ANN tuottaa siis ratkaisun toimittajan valintaprosessin viimeiseen vaiheeseen eli lopulliseen valintaan. Asthana & Guptan (2015) mukaan ANN ei tarjoa päätöksentekijälle pelkkää ratkaisua, vaan myös järjestää potentiaaliset toimittajat paremmuusjärjestykseen, jotta päätöksentekijä voi harkita myös muita vaihtoehtoja. Keinotekoisia hermoverkkoja voi siis käyttää myös esivalinnassa lyhytlistan tekemiseen.

4.2 Karkea joukkoteoria toimittajan valintaprosessin tukena

Toimittajan valinta on monikriteerinen päätöksentekotehtävä, jossa päätöksentekijät arvottavat erilaisten toimittajien ominaisuuksia. Näitä ominaisuuksia voidaan käyttää toimittajien arvioimiseen tai halutuimman valitsemiseen. Toimittaja-vaihtoehdot ja ominaisuudet ovat päätöksentekijöiden subjektiivisia arvioita. Perinteisissä monikriteerisissä päätöksentekomenetelmissä attribuuttien arvot ja painot ovat tarkasti tiedossa. Yleensä päätöksentekijöiden arvioinnit ovat kuitenkin epävarmoja, eikä niitä voida arvioida tarkalla numeerisella arvolla. Tämän vuoksi toimittajien valintaprosessiin liittyy paljon epävarmuuksia ja prosessi vaikeutuu. Harmaa teoria tai karkea joukkoteoria on yksi menetelmistä, joita käytetään epävarmuuden tutkimiseen. Se toimii erinomaisesti epävarman tiedon matemaattisessa analysoinnissa. Jos järjestelmän tiedot ovat täysin tiedossa, järjestelmää kutsutaan valkoiseksi järjestelmäksi ja, jos tiedot ovat täysin tuntemattomia, se on musta järjestelmä. Järjestelmää, jonka tiedot ovat osittain tunnettuja, kutsutaan harmaaksi järjestelmäksi. (Li ym. 2007)

Hyödyntämällä harmaata teoriaa voidaan toimittajien erilaiset epävarmat attribuutit ilmaista harmaissa numeroissa niiden mahdollisten painojen avulla. Sen jälkeen käytetään harmaata mahdollisuusastetta, jotta voidaan määrittellä kaikkien toimittajien järjestys. (Li ym. 2007)

Karkeaa joukkoteoriaa voidaan siis hyödyntää toimittajan valintaprosessin kriteerien määrittelyssä. Epävarmoista attribuuteista muutetaan numeeriset arvot harmaiden numeroiden avulla. Lopullisessa valinnassa karkeaa joukkoteoriaa voidaan hyödyntää järjestämään harmaan mahdollisuusasteen avulla toimittajat paremmuusjärjestykseen.

4.3 Koneoppiminen toimittajan valintaprosessin tukena

Yleensä toimittajan valintaan sovelletaan monikriteerisiä päätöksentekomalleja. Näiden perinteisten mallien tehokkuus ja toimivuus vähenee toimittajamarkkinoiden sekä valintakriteerien jatkuvasti laajentuessa. Koneoppimisen päätöspuumenetelmää voidaan hyödyntää luokitteluun toimittajat hyviin ja huonoihin sekä sen määrittämiseen, mitkä ominaisuudet ovat tärkeimpiä toimittajan valintaprosessissa historiallisen datan perusteella. (Abdulla ym. 2019)

Bayesian koneoppimismenetelmää voidaan tehokkaasti hyödyntää tukemaan toimittajan valintaprosessia. Tämä menetelmä toimii erityisen hyvin, jos valinnan päätöskriteeristö on

laaja sisältäen esimerkiksi ekologiseen tai sosiaaliseen vastuuseen perustuvia arviointiperusteita. Järjestelmä kykenee kehittämään merkittäviä tietoja toimittajien valinnasta, mikä yleensä ei ole mahdollista muiden tekniikoiden avulla. Erityisen tehokkaasti se toimii yritysten kestävyuden ulottuvuuksia huomioidessa. Näitä lisätietoja voidaan käyttää suorittamaan lisätilastollisia testejä valintaprosessin eri näkökulmista. Tiedot tarjoavat myös mahdollisuuden tuottaa toimittajan lopullinen valinta herkkyysanalyysin avulla. (Sarkis & Dhavale 2015)

Koneoppimista voidaan siis hyödyntää tukemaan toimittajan valintaprosessin kriteerien muodostamista sekä lopullisessa toimittajan valinnassa. Koneoppimisen avulla tuotettua tietokantaa voisi mielestäni myös hyödyntää ongelman määrittelyssä. Ongelman määrittelyssä yrityksen tarpeet tulee tuntea erityisen hyvin ja, siksi koneoppimisen avulla luotua tietokantaa yrityksen tarvehistoriasta voitaisiin mielestäni hyödyntää myös toimittajan valintaprosessin ongelman määrittelyn tukemisessa. Kirjallisuudesta ei kuitenkaan löydy esimerkkejä liittyen koneoppimisen hyödyntämiseen ongelman määrittelyssä.

4.4 Asiantuntijajärjestelmät toimittajan valintaprosessin tukena

Tietopohjaisia asiantuntijajärjestelmiä voidaan hyödyntää ongelman määrittelyn tukena. Useita erilaisia informaatioteknologioita integroidaan yhteen, jotta pystytään luomaan tukijärjestelmä päätöksentekoon. Järjestelmä auttaa vastaamaan erilaisiin kysymyksiin kuten siihen, mitä yrityksen tulisi tuottaa itse ja mitä sen tulisi hankkia toimittajilta. Tietopohjaiset järjestelmät toimivat erityisen hyvin, jos toimiala on hyvin määritelty, ongelmassa on suuri määrä huomioon otettavia tekijöitä ja tarpeellista tietoa on saatavilla runsaasti. (Humphreys ym. 2002)

Tietopohjaiset järjestelmät soveltuvat myös kriteerien muodostamisen vaiheeseen toimittajan valintaprosessissa. Asiantuntijajärjestelmän tietopohja kehitetään käyttämällä olemassa olevaa hankintakirjallisuutta sekä kokeneiden hankintajohtajien onnistuneita hankintasuorituksia. Tämän jälkeen myös ei-asiantuntijat voivat konsultoida tietokantaa saadakseen siltä ehdotuksia, mitä kriteerejä käyttää missäkin tilanteissa. (De Boer ym. 2001)

CBR (Case-based-reasoning) -järjestelmällä tarkoitetaan ohjelmistopohjaista tietokantaa, joka tarjoaa päätöksentekijälle hyödyllistä tietoa ja kokemuksia vastaavista aiemmista päätöksentekotilanteista. (De Boer 2001 ym.) Järjestelmä arvioi ensin toimittajien kykyjä

projektikohtaisten kriteerien perusteella. Sen jälkeen se tunnistaa mahdolliset toimittajiin liittyvät riskit. Lopuksi toimittajia arvioidaan todennäköisen suorituksen, hallinnointikyvyn, maineen, resurssien, edistymisen, kilpailukyvyn ja aktiivisuuden perusteella ja niiden valintajärjestys määritellään sen perusteella. Kun laaja-alainen ja systemaattinen tietojen kvantitatiivinen arviointi on suoritettu, järjestelmä tarjoaa lyhytlistan päätöksenteon tueksi. (NG & Skitmore 1995)

Lopullisessa valinnassa CBR käyttää samalla tavalla kuin lyhytlistan luonnissa laajaa tietokantaansa mahdollisista tilanteista ja päätöksistä, jotka ovat aikaisemmin toimineet ja tuottaa lopullisen päätöksen. CBR-järjestelmän tapauskannasta löytyisi myös hyödyllistä tietoa aikaisemmista neuvottelu- ja sopimustiedoista. Järjestelmä tarjoaa myös neuvottelutaktista päätöksentekotukea yhä enemmän tukemaan päätöksentekijää, jopa lopullisen toimittajan valinnan jälkeen. (Cook 1997)

Asiantuntijajärjestelmiä voidaan siis hyödyntää monipuolisesti tukemaan toimittajan valintaprosessin jokaista vaihetta. Tietopohjaisia asiantuntijajärjestelmiä voidaan hyödyntää ongelman määrittelyn sekä kriteerien muodostamisen tukena. CBR asiantuntijajärjestelmiä sen sijaan voidaan hyödyntää toimittajan valinnan kahdessa viimeisessä vaiheessa eli esivalinnassa ja toimittajan lopullisessa valinnassa.

4.5 Geneettisen algoritmit toimittajan valintaprosessin tukena

Geneettiset algoritmit (GA) ratkaisevat monitavoitteisia, monimuuttujaisia, rajoitettuja tai rajoittamattomia optimointiongelmia. GA käyttää toiminnassaan kolmea geneettistä operaattoria optimointiongelmiin ratkaisuun. (Rao 2007)

1. Lisääntymisoperaattori valitsee hyvät ratkaisut ja poistaa huonot ratkaisut.
2. Risteytysoperaattori luo uusia ratkaisuja yhdistämällä vanhoja ratkaisuja.
3. Mutaatio-operaattori estää ratkaisuja jumittumasta paikalliseen optimiin.

(Rao 2007)

Lisääntymisoperaattori siis valitsee hyviä merkkijonoja sekä poistaa huonoja merkkijonoja. Risteytysoperaattori luo aikaisemmin valittujen hyvien merkkijonojen osamerkkijonoista uusia toivottavasti parempia merkkijonoja. Mutaatio-operaattori muuttaa merkkijonoja paikallisesti toivoen luovansa yhä paremman merkkijonon sekä estääkseen ratkaisun jumittumista paikalliseen optimiin. (Rao 2007) Paikallisella optimilla tarkoitetaan

optimaalista ratkaisukohtaa rajatulla hakualueella, kun taas globaalilla optimilla tarkoitetaan kaikkien mahdollisten ratkaisujen optimaalisinta ratkaisua.

GA:ta käytetään siis toimittajan valintaprosessin lopulliseen valintaan, kun muut vaiheet toimittajan valintaprosessista on suoritettu. GA tuottaa globaalin haun optimaalisille päätösmuuttujille, jolloin GA:n tarjoama ratkaisu on globaali optimi.

4.6 Sumea logiikka toimittajan valintaprosessin tukena

Sumeaan logiikkaan perustuvan sumean teorian avulla voidaan sekä kvantitatiivisesti että kvalitatiivisesti mallintaa ongelmia, jotka liittyvät epämääräisyyteen ja epätarkkuuteen. Toimittajan valintaan liittyy useita vaikuttavia tekijöitä, joita on otettava huomioon. Useimmiten näitä tärkeitä strategisia muuttujia ei voida helposti kvantifioida puutteellisen tiedon, tiedon subjektiivisen luonteen tai epäluotettavien tietojen vuoksi. Monet kirjallisuudesta löytyvät mallit perustuvat pisteytysmenetelmiin, jotka eivät näytä käsittelevän sumeaa kontekstiin liittyvää epämääräisyyttä toimittajan valintaan liittyvissä päätöksissä. (Carrera & Mayorga 2007)

Sumea teoria tarjoaa sopivan kielen, jolla epämääräiset ja epätarkat tekijät voidaan käsitellä. Se pystyy integroimaan laadullisen ja määrällisen analyysin minkä tahansa tyyppisen numeerisen muuttujan tai syötteen kanssa. Sumeiden järjestelmien rakenteet ovat usein yksinkertaisempia ja realistisempia kuin ei-sumeat mallit. (Carrera & Mayorga 2007) Sumean logiikan malleissa siis otetaan huomioon valintakriteerien kvantitatiiviset sekä kvalitatiiviset ominaisuudet. Valintakriteerit, kuten hinta ja toimitusaika edustavat kvalitatiivisia valintakriteereitä, joihin perinteisen järjestelmät perustuvat. Kulttuurinen yhteensopivuus sekä teknologisen innovaation taso ovat esimerkkejä kvalitatiivisista, ei-numeroin mitattavista valintakriteereistä.

Sumeaan teoriaan perustuva tekoälymalli toimii seuraavasti: jokainen päätöskriteeri kuvataan sumeilla joukoilla, joille on määritelty jäsenyysfunktiot. Näiden jäsenyysfunktioiden avulla ilmaistaan päätöskriteerien epätarkkuus ja epämääräisyys. Esimerkiksi laatutaso ja kustannusten alentaminen voivat kaikki olla epämääräisiä arvoja, joita sumea logiikka voisi käsitellä. Seuraavaksi sumean logiikan avulla luodaan "jos-sitten" -sääntöjä, jotka kuvaavat päätöksentekoprosessia. Nämä säännöt perustuvat päätöskriteerien sumean joukkojen arvoihin ja määrittelevät, miten kukin päätöskriteeri vaikuttaa lopulliseen päätökseen. Kun kaikki "jos-sitten" -säännöt on määritelty, sumean logiikan järjestelmä soveltaa näitä sääntöjä

päätöksentekoon. Se ottaa huomioon kaikki päätöskriteerien epämääräisyydet ja epätarkkuudet ja tuottaa lopulta yhden selkeän lopputuloksen, joka kuvaa optimaalista päätöstä. Lopullinen selkeä tulos saadaan sumean logiikan järjestelmän ”defuzzikaatiolla” (eng. defuzzification). Sumean joukon jäsenyysfunktiot pystytään muuttamaan menetelmän avulla takaisin selkeiksi numeerisiksi arvoiksi, jotka edustavat päätöksen lopullista tulosta. (Carrera & Mayorga 2007)

Sumeaa logiikkaa voidaan siis hyödyntää kriteerien muodostamisen tukemisessa sekä lopullisessa toimittajan valinnassa. Se muodostaa epämääräisistä päätöskriteereistä itselleen sopivat sumeat joukot ja niiden perusteella lopulta järjestelmä arvottaa toimittajat ja tuottaa toimittajanvalintaprosessin viimeiseen vaiheeseen eli lopulliseen valintaan tarvittavan optimaalisen toimittajan valinnan.

4.7 Agenttipohjaiset järjestelmät toimittajan valintaprosessin tukena

Agentti on tietokonejärjestelmä, joka sijaitsee jossakin ympäristössä, jossa se pystyy autonomiseen toimintaan täyttääkseen ennalta määritellyt tavoitteensa. Moniagenttijärjestelmä (MAS) voidaan määritellä löyhästi järjestelmänä, joka koostuu useista vuorovaikutuksessa olevista agenteista, jotka työskentelevät yhteistyössä tai kilpailussa ratkaistakseen sellaisia ongelmia, jotka olisivat yksilöiden kykyjen ulkopuolella. Moniagenttijärjestelmän avulla voidaan luoda toimittajan esivalintamalli, joka lyhentää pätevien ja kilpailukykyisten toimittajien listaa luoden esivalinnan lyhytlistan. (Yu & Wong 2012)

Toimittajan lopullisessa valinnassa agenttipohjaiset järjestelmät toimivat määräämällä arvioagentin (evaluation agent). Arvioagentti autonomisesti järjestää toimittajat ennalta määritettyjen kriteerien sekä tehokkaan tietoon pohjautuvan päätösmoottorin perusteella. (Soroor ym. 2012) Arvioagentin avulla agenttipohjainen järjestelmä pystyy siis luotettavasti ja itsenäisesti valitsemaan lopullisen toimittajan tai toimittajat.

On myös esitetty agenttipohjaisia malleja, joissa agenttipohjaiset järjestelmät suorittavat koko hankintaprosessin sisältäen myös toimittajan valinnan. Näissä malleissa moniulotteiset agenttipohjaiset neuvottelumallit käyttävät älykkäitä agenteja suorittamaan autonomista ja automaattista hankintaa ja myyntiä. Järjestelmä pystyy myös samalla tehokkaasti hallitsemaan toimittaja- sekä asiakassuhteita. (Huang 2010) Edellä mainittujen kaltaisia agenttipohjaisia järjestelmiä voidaan hyödyntää tukemaan ja jopa suorittamaan toimittajan valintaprosessin kaikki vaiheet.

Agenttipohjaiset järjestelmät ovat kaikista tekoälytekniikoista itsenäisimpiä ja siksi niiden potentiaali toimittajan valintaprosessin tehostamisessa on suurin. Erityisesti esivalintavaiheessa sekä lopullisessa valinnassa agenttipohjaiset järjestelmät ovat tehokkaammillaan.

5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tämän tutkielman tavoitteena oli selvittää, mitä tekoälytekniikoita voidaan hyödyntää toimittajan valinnan eri vaiheissa ja miten. Usein tekoälytekniikoita käytetään yhdessä toistensa kanssa, ja niistä useimpien yksittäinen käyttö ei välttämättä ole optimaalista. Tässä tutkimuksessa pyritään erittelemään tekniikat toisistaan niiden ominaisuuksien ja soveltuvuuksien perusteella, jotta saavutettaisiin parempi ymmärrys eri tekoälytekniikoista ja selvitettäisiin niiden yksittäinen soveltuvuus tukemaan toimittajan valintaprosessia. Valintaprosessissa tekoälytekniikoita voidaan hyödyntää yhä enemmän ja monipuolisemmin, kun siirrytään prosessin ensimmäisistä enemmän laadullisista vaiheista kohti loppuprosessin määrällisiä vaiheita.

Ongelman määrittelyssä tekoälyn hyödyntäminen on kaikkein vaikeinta, koska harvat tekoälytekniikat ovat niin itsenäisiä, että ne pystyisivät havaitsemaan ongelman, jonka ne voisivat määrittellä. Asiantuntijajärjestelmäkään eivät pysty itsenäisesti suorittamaan ongelman määrittelyä, mutta ne pystyvät kuitenkin tehokkaasti tukemaan ongelman määrittelyprosessia. Samoin mielestäni koneoppimisen metodeilla tuotettu tietokanta pystyisi toimimaan ongelman määrittelyn tukena. Agenttipohjaiset järjestelmät sen sijaan pystyvät oikeissa ympäristöissä peräti suorittamaan koko ongelman määrittelyn itsenäisesti.

Kriteerien muodostamisen tukena pystyttiin hyödyntämään monenlaisia tekoälytekniikoita. Kriteerien muodostamista voidaan ajatella ongelman määrittelyä enemmän kvantitatiivisena vaiheena, koska erilaiset toimittajan valinnassa käytetyt kriteerit tulee myös valinnan lisäksi painottaa oikein. Siksi erilaisiin matemaattisiin algoritmeihin perustuvat tekoälytekniikat, kuten sumea logiikka, karkea joukkoteoria sekä koneoppimisen metodit sopivat tähän vaiheeseen erittäin hyvin. Kriteerien muodostamiseen voidaan ottaa myös enemmän laadullinen näkökulma ja siten hyödyntää sen tukemisessa asiantuntijajärjestelmiä. Agenttipohjaisen järjestelmän voidaan jälleen ajatella suorittavan myös kriteerien määrittelyn itsenäisesti.

Esivalinnassa tekoälytekniikoita on hyödynnetty kohtalaisen vähän siihen nähden, että se on niin määrällinen vaihe ja useammatkin tekoälytekniikat sopisivat siihen varmasti. Useat tekoälytekniikat kuten esimerkiksi geneettiset algoritmit ja koneoppimisen tietyt menetelmät ovat niin suoraviivaisia tekoälytekniikoita, että ne ratkaisevat lopullisen valinnan ilman tarvetta muodostaa esivalinnan lyhytlistaa. On kuitenkin myös esitetty tekoälytekniikoita

tuottamaan esivalinnan lyhytlistan. Asiantuntijajärjestelmiä voidaan yhä hyödyntää tukemaan esivalintaa. Mitä enemmän liikutaan eteenpäin toimittajan valintaprosessissa, sitä enemmän asiantuntijajärjestelmiä voidaan hyödyntää myös toimenpiteiden suorittajana, eikä vain laajana tietokantana tukemaan toimenpiteitä. Myös keinotekoisia hermoverkkoja sekä agenttipohjaisia järjestelmiä voidaan käyttää esivalinnan lyhytlistan tuottamiseen, mutta jälleen tämän vaiheen oleellisuutta on mielenkiintoista miettiä, jos molemmat tekoälytekniikat voisivat tuottaa pelkän optimoidun vastauksen ilmankin lyhytlistaa.

Toimittajan valintaprosessin viimeisessä vaiheessa eli toimittajan lopullisessa valinnassa pystytään käyttämään eniten tekoälytekniikoita. Tämä saattaa kuitenkin johtua myös siitä, että toimittajan lopullisen valinnan ongelman ratkaisua on myös tutkittu eniten ja uskon sen myös vetoavan tutkijoihin eniten. Toimittajan lopullisessa valinnassa onnistumiseen tarvitaan kyky optimoida vastaus ja siihen soveltuvat hyvin matemaattiset algoritmit kuten geneettiset algoritmit, sumea logiikka ja koneoppimisen menetelmät. Historialliseen dataan perustuvat asiantuntijajärjestelmät ja keinotekoiset hermoverkot tarjoavat myös päätöksentekijälle erittäin vahvaa tukea toimittajan lopullisessa valinnassa. Agenttipohjaiset järjestelmät voivat myös suorittaa lopullisen valinnan tehokkaasti sekä itsenäisesti.

Yleisesti agenttipohjaisilla järjestelmillä on mielestäni suurin potentiaali toimittajan valintaprosessin tukemiseen tai peräti sen automatisoimiseen. Kuitenkin niiden tehokuutta ja luotettavuutta käytännössä tulisi vielä tutkia lisää. Samoin tekoälyn hyödyntämistä ongelman määrittelyssä voisi tutkia lisää, koska suoritettu tutkimus aiheesta oli erittäin rajallista.

Lähteet

Abdulla, A., Baryannis, G., Badi, I. (2019). Weighting the Key Features Affecting Supplier Selection using Machine Learning Techniques. Preprints, s. 1-6.

Asthana, N. & Gupta, M. (2015). Supplier selection using artificial neural network and genetic algorithm. *Indian Culture and Business Management*, 11(4), s. 457-469

Carrera, D.A. & Mayorga, R.V. (2008). Supply chain management: a modular fuzzy inference system approach in supplier selection for new product development. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19(1), s. 1–12.

Cook, R. L. (1997). Case-based reasoning systems in purchasing: applications and development. *International Journal of Purchasing and Materials Management*, 33(1), s. 32-39.

Cui, R., Li, M., Zhang, S. (2021). AI and Procurement. *Manufacturing & Service Operations Management*, 24(2), s. 691-706.

De Boer, L., Labro, E., Morlacchi, P. (2001). A review of methods supporting supplier selection. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 7(2), s. 75-89.

Guida, M., Caniato, F., Moretto, A., Ronchi, S. (2023). The role of artificial intelligence in the procurement process: State of the art and research agenda. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 29(2).

Taherdoost, H. & Brard, A. (2019). Analyzing the Process of Supplier Selection Criteria and Methods. *Procedia Manufacturing*, 32, s. 1024-1034.

Humphreys, P., McIvor, R., Huang, G. (2002). An expert system for evaluating the make or buy decision. *Computers & Industrial Engineering*, 42(2-4), s. 567-585.

Jackson, K. M. (1990). Prequalification and Qualification: Discouragement of New Competitors. *Public Contract Law Journal*, 19(4), s. 702–710.

Jackson, P. (1999). *Introduction to expert systems*. (3. painos). Essex, Englanti: Addison-Wesley.

Li, G.D., Yamaguchi, D., Nagai, M. (2007). Application of grey-based rough decision-making approach to supplier selection. *Journal of Modelling in Management*, 2(2), s. 131–142.

Limo, G. C., Iravo, M. A., Lagat, M. K. (2017). Effects of Pre-Qualification of Suppliers on Procurement Performance of the Judiciary in Kenya. *International Journal of Recent Research in Commerce Economics and Management*, 4(3), s. 57-70.

Min, H. (2009). Artificial intelligence in supply chain management: theory and applications. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 13, s. 13–39.

Nieminen, Sanna (2016). *Hyvä Hankinta – Parempi Bisnes*. Helsinki, Talentia.

Rao, R.V. (2007). Vendor selection in a supply chain using analytic hierarchy process and genetic algorithm methods. *International Journal of Services and Operations Management*, 3(3), s. 355–369.

Sarkis, J. & Dhavale, D.G. (2015). Supplier selection for sustainable operations: a triple-bottom-line approach using a Bayesian framework. *International Journal of Production Economics*, 166, s. 177-191.

Sohail, A. (2023). Genetic Algorithms in the Fields of Artificial Intelligence and Data Sciences. *Annals of Data Science*, 10, s. 1007–1018.

Soroor, J., Tarokh, M. J., Khoshalhan, F., Sajjadi, S. (2012). Intelligent evaluation of supplier bids using a hybrid technique in distributed supply chains. *Journal of Manufacturing Systems*, 31(2), s. 240-252.

Tanskanen, Kari (2021). *Ulkoisten resurssien johtaminen*. Helsinki, Tietosanoma.

Thiruchelvam, S. & Tookey, J.E. (2022). Evolving Trends of Supplier Selection Criteria and Methods. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 4, s. 437–454.

NG, T. S. & Skitmore, M. R. (1995). CP-DSS: decision support system for contractor prequalification. *Civil Engineering Systems*, 12(2), s. 133-159.

Verma R. & Pullman M. (1998). An analysis of the supplier selection process. *Omega*, 26(6), s. 739-750.

Yu, C. & Wong, T. N. (2015). Agent-based Supplier Selection Model for Multiple Products with Synergy Effect. *Expert Systems with Applications*, 42(1), s. 223-237.

Zou, J., Han, Y., So, S. S. (2008). Overview of Artificial Neural Networks. Livingstone, D.J. *Artificial Neural Networks. Methods in Molecular Biology*, 458, Humana Press. s.14-22