



VARAOSALOGISTIIKAN KEHITTÄMISMALLIT AUTOTEOLLISUUDESSA

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Tuotantotalouden kandidaatintyö

2022

Toivo Lignell

Tarkastaja: Yliopisto-opettaja Annastiina Rintala

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT School of Engineering Science

Tuotantotalous

Toivo Lignell

Varaosalogistiikan kehittämismallit autoteollisuudessa

Tuotantotalouden kandidaatintyö

2022

35 sivua, 2 kuvaa ja 1 taulukko

Tarkastaja: Yliopisto-opettaja Annastiina Rintala

Avainsanat: Varaosalogistiikka, autoteollisuus, kysynnän ennustaminen, varastointi

Keywords: Spare part logistics, automotive industry, demand forecasting, storing

Autoteollisuuden varaosalogistiikassa ilmenee merkittäviä haasteita alan yrityksille. Autoteollisuus on suuri toimiala ja auton varaosamarkkinat ovat erittäin tuottoisat. Moni alan yritys on siirtynytkin panostamaan juuri lopputuotteen jälkimarkkinapalveluihin tästä syystä. Ongelmia autoteollisuuden varaosalogistiikassa ilmenee erityisesti kysynnän ennustamisen sekä varaston optimoinnin kohdalla. Varaosien kysyntä on hyvin erityislaatuista. Usean varaosan nimikkeen osalta kysyntä on erittäin epätasaista, mikä aiheuttaa haasteita etenkin kysynnän ennustamisen osalta. Autoteollisuudessa on myös hyvin suuri varaosavaliokoma johtuen muun muassa massakustomoinnista sekä autojen rakenteellisista eroavaisuuksista. Varaosayritysten on ollut hankalaa löytää tasapaino kustannustehokkaan varastohallinnan sekä hyvän palvelutason ylläpitämisen välillä.

Varaosakysynnän ennustamisessa on suositeltu tieteellisessä kirjallisuudessa nimikekysynnän kategoriointia kysynnän vaihtelevuuden, nollakysyntäjaksojen yleisyyden sekä läpimenoajan vaihtelevuuden mukaan neljään eri luokkaan. Luokittelun avulla voidaan määrittää varastonimikkeille toimivimmat ennustusmenetelmät, mikä yksinkertaistaa nimikkeille sopivimpien ennustusmallien valitsemista. Varastoinnissa hyödynnetään myös luokittelumenetelmiä, joiden avulla voidaan arvioida varastonimikkeiden tarpeellisuutta liiketoiminnan kannalta. Käytössä olevan kannan informaatiota hyödyntämällä voidaan taasen kehittää sekä varastohallintaa että kysynnän ennustamista.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

1	Johdanto.....	3
1.1	Työn tavoitteet ja rajaukset	3
1.2	Käytetyt tutkimusmenetelmät	4
1.3	Työn rakenne.....	5
2	Auton varaosien toimitusketjun hallinta.....	6
2.1	Autoteollisuuden toimitusketjut	6
2.2	Varaosalogistiikka.....	7
2.3	Varaosien kysyntä	9
2.4	Auton varaosanimikkeiden erityispiirteet	13
3	Varaosalogistiikan haasteet autoteollisuudessa	15
3.1	Kysynnän ennustamisen haasteet	15
3.2	Varastonhallinnan haasteet.....	16
4	Esitetyt kehitysmenetelmät.....	18
4.1	Kysynnän ennustamisen kehittämiskeinot	18
4.2	Varaosavarastoinnin optimointimenetelmät.....	21
4.3	Käytössä olevan autokannan informaation hyödyntäminen	23
5	Yhteenveto ja johtopäätökset	27
	Lähteet	29

1 Johdanto

Varaalogistiikassa on ilmennyt paljon erityislaatuisia ongelmia, joita esimerkiksi lopputuotteiden logistiikassa ei välttämättä havaita. Tyypillisesti ongelmia huomataan esimerkiksi varaosien varastoinnissa, täydennyksissä, tilauksissa sekä toimituksissa. Autoteollisuus on toimiala, jossa ilmenee yleisimmät varaalogistiikkaa piinaavat haasteet. Toimiala on yksi maailman merkittävimpiä ja suurimpia. Toimialan massiivisuus on sekä hyvä että huono asia logististen ratkaisujen kannalta. Autoteollisuuden toimialalle kuuluu myös erityispiirteitä, joita tulee huomioida toimialan logistisessa päätöksenteossa.

1.1 Työn tavoitteet ja rajaukset

Työ keskittyy tarkastelemaan autoteollisuuden varaalogistiikassa ilmeneviä piirteitä. Työssä avataan myös autoteollisuuden varaalogistiikan kannalta olennaista teoriaa. Tarkoituksena on valottaa autoteollisuuden varaalogistiikassa ilmeneviä ongelmia sekä avata lukijalle kehitysmenetelmiä sekä tieteellisessä kirjallisuudessa esiteltyjä mallinnuksia, jotka ratkaisevat havaittuja ongelmia kyseisellä toimialalla. Työssä myös esitetään muilla teollisuuden toimialoilla hyödynnettyä varaalogistiikan kehitysmenetelmää ja pohditaan sen käytännöllisyyttä autoteollisuudessa. Tavoitteisiin perustuen työn tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

- Mitä haasteita autoteollisuuden varaalogistiikassa ilmenee?
- Mitkä tieteellisessä kirjallisuudessa esitetyt kehitysmenetelmät auttavat vastaamaan autoteollisuuden varaalogistiikassa ilmenneisiin haasteisiin?

Työ on rajattu käsittelemään varaalogistiikkaa. Teoria- sekä kehitysmenetelmäosioissa mallinnetaan varaalogistiikkaa sekä yleisellä tasolla että autoteollisuuden näkökulmasta. Kaikki ilmenneet haasteet ovat autoteollisuuden varaalogistiikassa havaittuja. Esiteltyjen kehitysmenetelmien tarkoituksena on vastata työssä havaittuihin haasteisiin. Varaalogistiikan haasteet ja kehitysmenetelmät on rajattu käsittelemään kysynnän ennustamisen sekä varastonhallinnan kehittämisen alueita. Työn näkökulmana on auton varaosia tarjoavat

yrietykset, joiden päästrategiana on myydä auton varaosia suoraan kuluttajille sekä autokorjaamoille hyödynnettäväksi. Tämänkaltaiset yritykset toimivat toimitusketjun loppupäässä ja eivät valmista itse varaosia.

1.2 Käytetyt tutkimusmenetelmät

Työssä hyödynnetään laadullisia tutkimusmenetelmiä. Laadullisessa tutkimuksessa tarkoituksena on ymmärtää, tulkita sekä mahdollisesti mallintaa tutkittavaa ilmiötä (Pitkäranta 2014, s. 27). Alasuutari (2011) jakoi teoksessaan laadullisen tutkimuksen kahteen eri vaiheeseen, jotka ovat havaintojen pelkistäminen sekä arvoitusten ratkaiseminen. Havaintojen pelkistämisen ideana on tarkastella työn kannalta oleellista lähdettä huomioiden työn kannalta olennainen näkökulma tai määritetty viitekehys. Pelkistettyjen havaintojen avulla luodaan yhdistetty havainto, joka toimii sääntönä koko aineistossa. Arvoitusten ratkaisemisvaiheessa taasen tavoitteena on laadullisen aineiston tulosten tulkinta. Aineiston havaintoihin pohjautuen tehdään tulkinta aineistossa tutkittavasta ilmiöstä. (Alasuutari 2011) Työssä ei siis toteuteta laskennallista, dataan perustuvaa tutkimusta. Sen sijaan tässä työssä pyritään kasamaan luotettavista aineistoista yhtenäinen näkemys aihepiiristä, jonka myötä kyetään tarkastelemaan kattavasti työn tutkimusongelmaa sekä löytämään vastauksia määritettyihin tutkimuskysymyksiin.

Työ toteutetaan kuvailevana kirjallisuuskatsauksena. Kuvailevassa kirjallisuuskatsauksessa tutkittava ilmiö kuvaillaan lukijalle laajasti. Tutkimuksessa ei ole tiukkoja rajauksia, vaan aineistoja käsitellään monilta eri aihealueilta. Kaikki aihealueet ovat kuitenkin työn kannalta oleellisia. Kuvailevan kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on tarjota uusia ilmiötä tutkittavaksi. Kuvaileva kirjallisuuskatsaus voi olla luonteeltaan joko narratiivinen tai integroiva. Narratiivinen kirjallisuuskatsaus antaa laajemman kuvan käsiteltävästä aiheesta, kun taas integroiva kirjallisuuskatsaus pyrkii kuvaamaan monipuolisesti tutkittavaa ilmiötä. (Salminen 2011, s. 6–8) Kuvausten ja tämän työn laadun perusteella työ on luonteeltaan integroiva kirjallisuuskatsaus.

Työssä on pyritty hyödyntämään hyviä tieteellisiä käytäntöjä. Sekundääridatan osalta on siis suosittu vertaisarvioituja tiedelehtiartikkeleita sekä painettua kirjallisuutta. Työssä on kuitenkin myös hyödynnetty muun muassa internet-lähteitä, joita ei välttämättä ole tieteellisesti

arvioitu. Internet-lähteitä on hyödynnetty pääasiassa ajankohtaisen tilastollisen datan saamiseksi. Nämä lähteet on valikoitu tavoitteena säilyttää lähteiden laadun korkea taso. Esimerkiksi työn kannalta oleellinen teoria sekä tutkimuskysymysten kannalta oleelliset havainnot on hankittu tieteellisistä, vertaisarvioituista aineistoista. Tiedelehtiartikkelit sekä kirjallisuus on löydetty hyödyntäen Lut Primo-, Scopus-, sekä Google Scholar-tietokantoja. Artikkelien saatavuus on myös huomioitu niitä valitessa, eli esimerkiksi maksullisia aineistoja ei ole hyödynnetty tässä työssä.

1.3 Työn rakenne

Työn alussa käsitellään autoteollisuutta toimialana. Osiossa kuvataan toimialan merkittävyyttä sekä avataan toimialan toimitusketjujen toiminnallisuutta. Tätä seuraa varaosalogistiikan kuvaus sekä sen erityispiirteiden tunnistaminen. Varaosalogistiikan esittelyn jälkeen kuvataan, miten varaosien kysyntä muodostuu ja mitä erityispiirteitä varaosakysynnässä yleisesti on. Osuudessa esitellään myös tieteellisessä kirjallisuudessa mallinnetut varaosakysyntäkategorioiden. Tämän jälkeen kuvataan auton varaosien ominaispiirteitä. Autoteollisuuden varaosalogistiikan haasteita avataan sekä kysynnän ennustamisen että varastonhallinnan kannalta.

Kehitysmenetelmät-osuudessa tuodaan ilmi tieteellisessä kirjallisuudessa mallinnettuja autoteollisuuden varaosalogistiikan menetelmiä, joilla ratkaistaan mainittuja haasteita. Näitä tutkitaan myös kysynnän ennustamisen sekä varastonhallinnan näkökulmista. Niiden lisäksi esitellään menetelmä, joka potentiaalisesti kehittää sekä varaosien varastonhallintaa että kysynnän ennustamista. Tätä seuraa työn yhteenveto sekä johtopäätökset. Johtopäätöksissä pohditaan työn tuloksia sekä sitä, mitä jatkotutkimuksia työn tulosten pohjalta voisi toteuttaa.

2 Auton varaosien toimitusketjun hallinta

Autoteollisuus on toimialana erittäin merkittävä. Toimiala on yksi teollisuuden suurimpia työllistäjiä. Vuonna 2018 Euroopan Unioniin (EU) kuuluneissa maissa autoteollisuus työllisti yhteensä 12,6 miljoonaa henkilöä, joko suoraan tai epäsuorasti. Tämä oli noin 11,6 prosenttia kaikista EU-alueen teollisuuden alojen työntekijöistä. Pelkästään vuonna 2020 valmistettiin noin 80 miljoonaa moottoriajoneuvoa. (ACEA 2021) Vuonna 2015 henkilöautokannan suuruus oli noin 1,2 miljardia kappaletta (Carlier 2021). Suurimmat autonvalmistajat olivat Kiina, Saksa sekä Yhdysvallat (ACEA 2021). Autojen käytännöllisyys kulmuotona sekä ajoneuvojen jatkuva kehittyminen ovat olleet tärkeitä syitä sille, että autoteollisuus on kyennyt kukoistamaan niin pitkään. Aikavälillä 1.9.2020-1.9.2021 Euroopan automarkkinoille ilmestyi 360 uutta automallia (Demandt 2022). Autoteollisuuden asema on vieläkin vahva ja kehitys toimialalla on jatkuvaa.

2.1 Autoteollisuuden toimitusketjut

Tyypillistä autoteollisuudessa on, että alan yrityksillä on satoja eri asiakkaita (de Souza et al. 2011). Autoteollisuudessa asiakastyytyväisyyttä arvostetaan paljon, koska kilpailu toimialalla on kovaa. Toimialalla käytetään asiakastyytyväisyyttä yhtenä tuotteen markkinamenestystä kuvastavana laskennallisena mittarina (Yadav & Goel 2008). Nykypäivänä autoteollisuuden toimitusketjuissa on siirrytty massakustomointiin, jossa asiakkaalla on vaikutusvaltaa hankkimansa auton varusteluun jo auton valmistusvaiheessa (Khan & Haasis 2016). Asiakas saa muun muassa valita itse autonsa värin, moottorin sekä vaihteistotyypin (Fredriksson & Gadde 2005). Onnistuneen massakustomointiin siirtymisen myötä autoala on yksi johtavista teollisuuden aloista asiakastyytyväisyyden saralla (Nassiri Pirbazari & Jalilian 2020).

Massakustomoinnin lisäksi autoteollisuuden toimitusketjujen rakenne on myös muilla tavoilla kokenut merkittäviä muutoksia. Nykypäivän autoteollisuudessa on tyypillistä myös se, että autoja ei valmisteta yhdessä paikassa alusta loppuun. Autoja valmistavat yritykset hankkivat niin sanottuja valmisosia, joiden avulla kootaan valmis lopputuote. Valmisosat

ovat osia, jotka koostuvat pienemmistä komponenteista. Nämä komponentit kasataan yhtenäiseksi niiden muodostamaksi osaksi. Auton ovi sekä akku ovat esimerkkejä valmisosista, jonka valmistaja hankkii suoraan valmiina, eikä yleensä kokoa niitä itse. Valmisosien hyödyntäminen tehostaa autojen valmistusprosessia. On myös kustannustehokkaampaa ulkoistaa valmisosien kokoaminen, sillä tällöin ei tarvitse huolehtia osien tuotantoon tarvittavien laitteiden kustannuksista. Autoja valmistavat yritykset siis pääasiassa kokoavat valmisosien avulla lopputuotteen, joka myydään asiakkaille. Auton varaosayritykset tarjoavat juuri kyseisiä valmisosia kuluttajille. Kyseisen valmistusmenetelmän yleistyttyä on muodostunut yhteistyökumppanuuksia osien valmistajien sekä autoja kokoavien yritysten välillä. Yhteistyökumppanuuden myötä osien valmistajat takaavat tasaista valmisosien tarjontaa ajoneuvojen kasaajille, kun taas ajoneuvoja kokoavat yritykset toimivat säännöllisenä ja merkittävänä asiakkaana tilaamalla osia niitä valmistavalta yritykseltä. Tämän toimintatavan yleistyminen on muokannut radikaalisti autoteollisuuden toimitusketjuja. (Ambe & Badenhorst-Weiss 2010; Benko & McFarlan 2003)

Toimitusketjujen optimointi ja tehostaminen on käytäntönä autoteollisuudessa. Nykypäivänä lean-ajattelun merkitys näkyy myös autoteollisuuden toimialalla. Lean-ajattelusta on käytetty myös nimityksiä ”just-in-time” sekä ”Toyota Production System”. Toimitusketjun hallinnassa lean-ajattelulla tarkoitetaan Japanista lähtöisin olevaa, systemaattista lähestymismallia, jossa pääajatuksena on jatkuvasti kehittää yrityksen laatua, kysyntää, lopputuotteen laatua sekä turvallisuutta. Lean-ajattelussa pyritään mm. vähentämään tuotannon kiertoaikoja sekä pullonkauloja ja samanaikaisesti kasvattamaan työtehokkuutta, kapasiteettia sekä asiakastyytyväisyyttä. (Plenert 2006, s. 145–146) Vanichchinchai (2014) havaitsi tutkimuksessaan, että valikoiduista autoalan yrityksistä noin 21 prosenttia omaksui toimitusketjuissaan lean-ajattelumallin. Pérez-Pucheta et al. (2019) havaitsi lean-ajattelun käyttöönoton kehittävän autoalan yrityksen toimitusketjun logistiikkavirtoja, vähentävän toimitusaikaa huomattavasti, vähentävän prosessiin liittyvää työmäärää noin 40 prosentilla sekä aiheuttavan yritykselle merkittäviä taloudellisia säästöjä.

2.2 Varaosalogistiikka

De Souza et al. (2011) mukaan varaosalogistiikka sisällyttää suunnittelun, suunnitelman vaatimusten täyttämisen sekä sen toteuttamisen varaosien asiakastarvetta varten. Tämä tavoite

toteutetaan muun muassa kysynnän ennustamisen, osien jakelun, varastonhallinnan, osien korjaamisen sekä oleellisten yhteistyöprosessien avulla (de Souza et al. 2011). Varaosalogistiikassa pyritään kysyntäjohteiseen, kustannukset minimoivaan, tarvittavien varaosien riittävyyden takaamiseen kyseisellä hetkellä. Tavoitteena varaosalogistiikassa on siis kyetä määrittämään optimaalinen varaosien kattavuus sekä luotettavuus toimialan varaosatuotteille. (Wagner et al. 2012) Varaosien saatavuuden tulisi olla suoraan verrattavissa kunnossapidon tarpeeseen samalla hetkellä (Teixeira et al. 2018). Näiden ollessa yhtä suuret markkinoiden tulisi pystyä vastaamaan täydellisesti varaosakysyntään. Pitää kuitenkin huomioida se, että vaihtoehto uuden osan hankkimiselle on vaurioituneen komponentin korjaaminen (Dickersbach & Passon 2015, s. 3). Korjaamisvaihtoehto on hankala varaosayritykselle huomioida kysynnän ennustamisen kannalta, sillä osan korjaamisen käytännöllisyys on hyvin tilannekohtaista. Varaosayritysten onkin siten myös kannattavaa tarjota korjauspalveluja, jotta asiakkaat eivät kääntyisi huollon tarpeessa toisen yrityksen puoleen.

Varaosalogistiikassa havaitaan selkeitä ominaispiirteitä sekä käytännön että strategian tasolla, jotka tulisi huomioida päätöksenteossa. Huiskosen (2001) mukaan varaosalogistiikan hallinnoinnissa tulee huomioida varaston tyhjenemisen erityisen suuret taloudelliset seuraukset, tuotteiden kysynnän epäsäännöllisyys sekä osien mahdollisesti kalliit hinnat. Nämä osa-alueet painottuvat varaosalogistiikassa enemmän kuin muiden materiaalien logistiikassa (Huiskonen 2001). Varaosalogistiikkaa hankaloittaa myös se, että varaosien tarjonta- sekä toimitusketjut ovat usein hyvin monimutkaisia. Tämä ilmenee esimerkiksi juuri auton varaosien toimialalla. (Deloitte 2013)

Varaosalogistiikan huolellinen suunnittelu on siis välttämätöntä yrityksille, sillä epäonnistunut kysyntään vastaaminen voi varaosien toimialalla koitua erittäin kalliiksi. Wagner et al. (2012) listasi viisi syytä sille, miksi varaosalogistiikan strateginen suunnittelu on merkittävää. Nämä syyt ovat muutokset lopputuotemarkkinoilla, kasvava kustannustietoisuus, toimialan hyödyntämättömät potentiaalit, voimistunut kilpailu varaosatuotemarkkinoilla sekä kasvavat asiakasvaatimukset. Lopputuotteella tarkoitetaan tässä asiayhteydessä sitä tuotetta, joihin varaosakomponentteja tarvitaan ja voidaan hankkia erikseen. Auton varaosien lopputuote on auto. Yritysten strategiana on myydä lopputuotteitaan lähellä valmistushintaa siinä toivossa, että he voivat kasvattaa tulevaisuuden varaosakysyntää (Wagner & Lindemann 2008). Yritysten kasvanut kustannustietoisuus näkyy muun muassa entistä alhaisemman

sitoutuneen pääoman sekä tehokkaamman varastohallinnoinnin muodossa (Wagner et al. 2012).

Hyödyntämättömillä potentiaaleilla viitataan muun muassa korkeisiin katteisiin varaosa-markkinoilla sekä pitkäaikaisasiakkaiden lojaalisuuteen yritystä kohtaan (Wagner et al. 2012; Cohen et al. 2006). Asiakasvaatimusten kasvaminen toimialalla on pääosin kehittyneiden toimitusketju- ja varastoratkaisujen myötä muodostunut haasteeksi. Asiakas tarvitsee varaosan mahdollisimman nopeasti, sillä huoltoajan pidentyessä asiakkaalle aiheutuu ongelmia. Yritysasiakkaiden kohdalla lopputuotteen pitkittynyt huoltoaika aiheuttaa mahdollisia lisäkustannuksia. Varaosayritykset pyrkivät pitämään keskimääräisen kysynnän reaktioaikansa 24 tunnissa (de Souza et al. 2011). Reaktioaikaan päästään oikeastaan ainoastaan siinä tapauksessa, että tarvittavaa tuotetta löytyy varaosayrityksen varastosta.

2.3 Varaosien kysyntä

Varaosakysyntä poikkeaa lopputuotteiden sekä osaluetteloon kuuluvista osista. Varaosan tarve syntyy, kun kyseinen osa joudutaan vaihtamaan lopputuotteesta komponenttivian tai ennakoivan kunnossapidon vuoksi. Lopputuotteen osien kunnossapidon tarve on yleensä hyvin satunnaista ja tämän myötä varaosien kysyntä itsessään on myös pääasiassa vaihtelevaa sekä epävakaata (Wagner et al. 2012). Varaosien kysynnän vaihtelevuus onkin tästä syystä poikkeuksellista muiden tuotteiden kysyntään verrattuna. Kysyntään vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa lopputuotteen käyttöintensiteetti, tuotekohtainen kulumiskäyttäytyminen sekä osien vikataajuus (Wagner et al. 2012). Käyttöintensiteetti lopputuotteille riippuu käyttäjästä itsestään. Esimerkiksi yksittäisen henkilöauton vuosittainen käyttöintensiteetti vaihtelee paljon sekä autonomistajien ikäluokkien että sukupuolten välillä (Hardesty 2021). Osien vaihtamistajuus on taas hyvin osakohtaista. Esimerkiksi autoissa ilmansuodattimet olisi hyvä vaihtaa noin vuoden välein, mutta auton akun sekä jarrulevyjen tulisi kestää useamman käyttövuoden ajan. (Pritchard 2018)

Varaosa- ja jälkimarkkinoiden myyntimäärät ovat erittäin merkittävät. Yhdysvalloissa vuonna 1999 kaikkien toimialojen varaosa- ja jälkimarkkinamyynni tuotti jopa 8 prosenttia maan vuotuisesta bruttokansantuotteesta. Autoilla on yleisesti pitkä käyttöikä ja niitä on myyty suuria määriä vuosittain. Tämä on johtanut siihen, että autojen varaosa- ja

jälkimarkkinat ovat noin 4–5 kertaa suuremmat kuin lopputuotteiden markkinat. (Cohen et al. 2006) Hyvin suuri osa autoalan yritysten liikevaihdosta tulee varaosa- ja jälkimarkkinoilta nykypäivänä. Palvelutoiminnot ja osien myynnit tuottivat autoalan yritysten liikevaihdosta noin 36 prosenttia. Tutkimusten mukaan autojen jälkimarkkinoiden palvelutoiminnot ovat myös noin 54 prosenttia tuottavampia kuin uusien autojen myynnit. (Koudal 2008) Autoalan yritykset ovatkin muuttaneet strategiansa painopistettä selvästi palveluiden sekä jälkimarkkinoiden tarjontaan, eivätkä pidä lopputuotemarkkinoilla kilpailua ehdottomana päästrategiana.

Kysynnän muutosta mitataan tyypillisesti jaksoittain. Jaksolla tarkoitetaan toisiinsa verrattavissa olevia samanmittaisia aikavälejä, joista jokaista voidaan tarkastella sekä sellaisenaan tai verrata toisiinsa. Yleisiä käytettyjä yksittäisen jakson pituuksia ovat esimerkiksi yksi kuukausi tai kolme kuukautta. Tuotteen nollakysyntäjakso toteutuu silloin, kun kyseisellä tarkastelujaksolla tuotteella ei ole ollut ollenkaan menekkiä. Nollakysyntäjaksojen lisäksi seurataan myös tuotteen kysyntämäärän vaihtelua ajanjaksojen välillä. Monen varaosatuotteen kohdalla kysyntävolyymi vaihtelee merkittävästi eri ajanjaksoittain. (Van der Auweraer et al. 2019) Ennustettavuuden kehittämiseksi tutkijat ovat yrittäneet hyödyntää sekä nollakysyntäjaksojen että kysyntävolyymien toteutumiskäyttäytymistä ennustusmallien kehittämiseksi. Tuotteen läpimenoajan vaihtelevuus on vahvasti sidonnainen sekä nollakysyntäjaksoihin että kysyntävolyymien vaihteluun. Läpimenoaika tarkoittaa ajallista kestoa hetkestä, kun asiakas tekee tilauksen siihen hetkeen, kun asiakas ottaa tilatun tuotteen vastaan (Xu & Rong 2012).

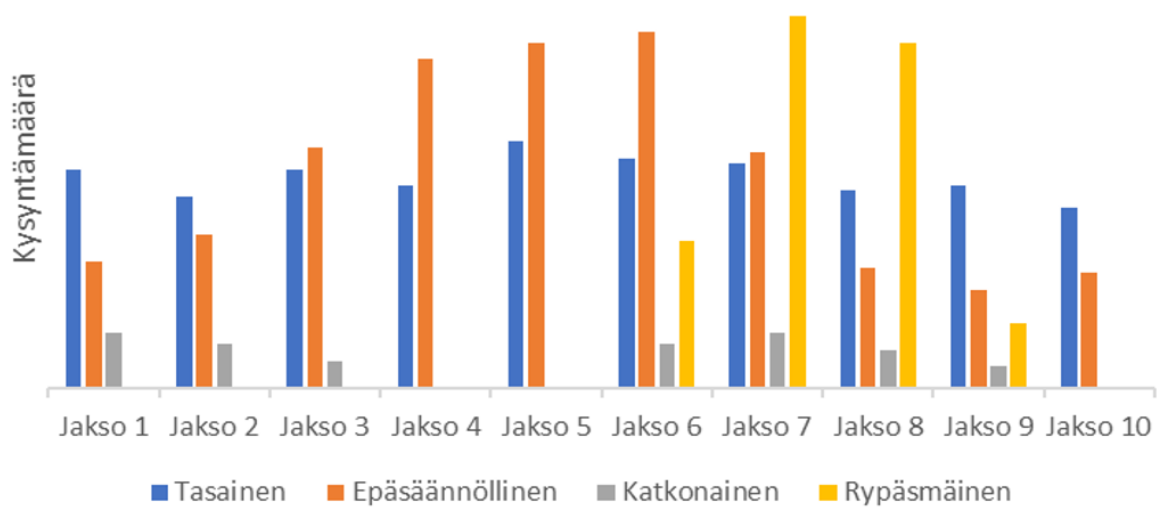
Kriteerien avulla varaosan kysyntää pyritään luokittelemaan sen perusteella, miten epätaisaista tuotteen kysyntä on. Tuotteiden kysyntäprofiili voidaan jakaa eri kategorioihin riippuen kysyntävolyymien vaihtelusta jaksoittain sekä nollakysyntäjaksojen toteutumiskäyttäytymisestä. (Van der Auweraer et al. 2019) Myös läpimenoaikojen vaihtelevuutta voidaan estimoida näiden kahden kriteerin suhteen (Eaves & Kingsman 2004). Taulukossa 1 esitellään neljä eri varaosatuotteen kysyntäprofiilia, joihin varaosanimikkeet tyypillisesti luokitellaan tieteellisessä kirjallisuudessa. Nämä kysyntäprofiilit on nimetty tasaiseksi kysynnäksi, katkonaiseksi kysynnäksi, epäsäännölliseksi kysynnäksi sekä rypäsmäiseksi kysynnäksi (englanniksi ”lumpy demand”). Kysyntäprofiilit vaihtelevat keskenään nollakysyntäjaksojen toteutumistodennäköisyyden sekä kysyntävolyymien ja läpimenoaikojen

vaihtelevuuden osalta. (Van der Auweraer et al. 2019; Eaves & Kingsman 2004; Boylan & Syntetos 2009)

Taulukko 1. Varaosanimikkeiden kysyntäprofiilit (Van der Auweraer et al. 2019; Eaves & Kingsman 2004; Boylan & Syntetos 2009)

Kysynnän tyyppi	Nollakysyntäjaksojen taajuus	Kysyntävolyymin vaihtelevuus	Läpimenoajan vaihtelevuus
Tasainen kysyntä	Ei nollakysyntäjaksoja	Vähäinen	Vähäinen
Katkonainen kysyntä	Kohtalainen/suuri	Vähäinen	Suuri
Epäsäännöllinen kysyntä	Vähäinen	Suuri	Kohtalainen
Rypäsmäinen kysyntä	Suuri	Suuri	Suuri

Kuva 1 kuvastaa varaosakysynnän muutosta eri kysyntäprofiileilla tietyllä aikavälillä pylväsdiagrammin muodossa. Kuva 1 ei perustu mihinkään selvitettyyn dataan, vaan se on varaosakysyntää käsittelevän tieteellisen kirjallisuuden pohjalta luotu havainnollistava kuvaus varaosakysynnän käyttäytymisestä eri kysyntäprofiilien osalta. Tästä syystä diagrammissa ei ole esitetty tarkkoja kysyntälukumääriä eikä määritetty yhden tarkastelujakson pituutta.



Kuva 1. Kysyntäprofiilien käyttäytyminen pitkällä aikavälillä (Van der Auweraer et al. 2019; Boylan & Syntetos 2009)

Taulukosta 1 sekä kuvasta 1 havaitaan eri kysyntäprofiilien ominaispiirteitä. Tasaisen kysynnän varaosilla menekkiä on säännöllisesti pitkällä aikavälillä, eikä nollakysyntäjaksoja ilmene. Tämän myötä näiden varaosien läpimenoaika pysyy myös samana (Eaves & Kingsman 2004). Epäsäännöllistä kysyntä on taasen silloin, kun kysyntävolyymilla on suurta vaihtelua eri mittausjaksojen välillä (Van der Auweraer et al. 2019). Epäsäännöllisen kysynnän tuotteet voivat olla esimerkiksi kausittaisia tuotteita, joiden kysyntä vaihtelee selvästi riippuen vuodenajasta. Autoalalla tällaisia varaosia voi olla esimerkiksi pyyhkimensulat, joilla menekkiä on selvästi enemmän talvella ja syksyllä.

Katkonaisen kysynnän tuotteilla kysynnän määrä on hyvin samanlainen jaksoittain, mutta nollakysyntäjaksoja ilmenee silti ajoittain (Van der Auweraer et al. 2019). Katkonaisen kysynnän tuotteista käytetään myös termiä ”hidas kysyntä”, johtuen kyseisten tuotteiden vähäisestä kokonaiskysyntämäärästä (Boylan & Syntetos 2009). Kysyntä voi olla hidasta ajoittain myös muilla epätasaisen tuoteprofiilin omaavilla nimikkeillä, joten tässä työssä suositetaan kyseiselle kysyntäprofiilille termiä ”katkonainen kysyntä”. Katkonaisen kysynnän tuotteilla on yleensä pieni määrä asiakkaita (Eaves & Kingsman 2004).

Kysyntä on rypäsmäistä taasen silloin, kun sillä on useita nollakysyntäjaksoja, mutta myös paljon vaihtelua kysyntävolyymien suhteen (Van der Auweraer et al. 2019). Hendra et al.

(2019) tutkimuksen mukaan moottoripyörien varaosakomponenteista noin 91 prosenttia noudatti rypäsmäistä kysyntäprofiilia. Tasaisen kysynnän tuotteita lukuun ottamatta kaikilla kysyntätyypeillä ilmenee merkittävää vaihtelua läpimenoajan suhteen. Suurinta vaihtelua läpimenoajoissa on rypäsmäisen sekä katkonaisen kysynnän tuotteilla, pääasiassa nollakysyntäjaksojen ilmentyvyyden takia. (Eaves & Kingsman 2004; Boylan & Syntetos 2009) Termillä ”epätasainen kysyntä” viitataan epäsäännölliseen, katkonaiseen sekä rypäsmäiseen kysyntäprofiiliin yhtäaikaaisesti.

2.4 Auton varaosanimikkeiden erityispiirteet

Auton varaosille on tyypillistä se, että niissä on pienet vikataajuudet (de Souza et al. 2011). Alhaiset vikataajuudet johtavat siihen, että pääsyy osien vaihtamiseen on autojen ennakoiva kunnossapito (Van der Auweraer et al. 2019). Ennakoivalla kunnossapidolla tarkoitetaan laitteen huoltamista vikatodennäköisyyden pienentämiseksi lähitulevaisuudessa (Fortuin & Martin 1999). Tällä hetkellä autokannan ikä EU-maissa on noin 11,5 vuotta (ACEA 2021). Varaosien tulee siis olla saatavilla vielä pitkään auton valmistuksen loputtua, koska kunnossapidon tarve osalle tulee yleensä vasta vuosien päästä auton hankkimisesta. Varaosien saatavuutta varten on olemassa lainmukaisia vaatimuksia, mutta jotkut autonvalmistajayritykset takaavat varaosien saatavuuden vielä vaadittua pidemmäksi ajaksi. (Dickersbach & Passon 2015, s. 1)

Henkilöauto koostuu noin 15 000 eri komponentista (Pérez & Sánchez 2001). Osavariaation määrä on myös huima, sillä eri autovalmistajilla on käytössä runsaasti omia komponentteja. Lisäksi valmistajilla on myös mallikohtaisia osia, mikä kasvattaa entisestään massiivista osavalikoimaa. Brasilialainen autonvalmistusyritys myi kuuden vuoden aikana yli 10 000 eri tuotenimikettä (Rego & Mesquita 2015). Suuri nimikemäärä on autoalalla välttämättömyys myös varaosatoiminnassa.

Autokanta on kokemassa myös muutosta tällä hetkellä. Kasvavan ympäristövaikutustietoisuuden sekä kestäväen kehityksen trendin vallitessa kuluttajat ovat osoittaneet vahvemmin halua muuttaa kulutustottumuksiaan ympäristöystävällisempään suuntaan. Tämän myötä yhä useampi kuluttaja vaihtaa autonsa fossiilisia polttoaineita kuluttavasta uusiutuvia

energiavaroja hyödyntävään ajoneuvoon. Sähköautot nähdään nykypäivänä kestävämmän ja ympäristöystävällisen yhteiskunnan symbolina. (Pelegov & Pontes 2018)

Sähköautojen myynti onkin kasvanut tasaisesti 2010-luvulla vuosittain ja kasvu vaikuttaa jatkuvan myös tulevaisuudessa (Virta 2022). Myös hybridi ajoneuvot, eli sekä bensiiniä että sähköä polttoaineena hyödyntävät ajoneuvot, ovat kasvattaneet suosiotaan pienempien hiilidioksidipäästöjen vuoksi (Alalawin et al. 2021). Monet valtiot myös tukevat sähkökäyttöisten autojen hankkimista ja kehitystyötä saavuttaakseen kunnianhimoisia ympäristöpäästöjen vähentämistavoitteitaan (Bennett et al. 2016). Tämä trendi tarkoittaa muutosta myös tulevaisuuden varaosamarkkinoilla, sillä rakenteellisesti autot eroavat merkittävästi riippuen polttoainetyypistä. Jopa noin 70 prosenttia sähköauton osista voi poiketa polttomoottoriajoneuvojen osista. Polttomoottoriautoissa on myös tyypillisesti satoja liikkuvia osia, kun taas sähköautoissa ainoa liikkuva osa on moottori. (INL 2022)

3 Varaosalogistiikan haasteet autoteollisuudessa

Autoteollisuudessa näkyy hyvin paljon tyypillisiä varaosalogistisia haasteita. Sen lisäksi toimialalle ominaisia haasteita ilmenee muun muassa hyvin monipuolisen osavariaation muodossa. Nämä haasteet vaativat varaosalogistiikan hallinnan kannalta monipuolisia ja kattavia päätöksiä. Kaikkien osa-alueiden huomioon ottaminen samanaikaisesti voi olla erityisen haasteellista.

3.1 Kysynnän ennustamisen haasteet

Tässä työssä määritetyn auton varaosien varastonimikkeiden kysyntäprofiilin kategorioista (taulukko 1) ongelmia kysynnän ennustamisessa aiheuttavat pääasiassa kaikki muut paitsi tasaisen kysynnän tuotteet. Rego & Mesquita (2015) havaitsivat brasilialaisen varaosaliikkeen varastonimikkeistä vain 1,3 prosenttia olevan tasaisen kysynnän tuotteita. Selvästi suurin osa varastonimikkeistä oli joko katkonaisen tai rypäsmäisen kysynnän tuotteita (Rego & Mesquita 2015). Erityisesti rypäsmäisen kysynnän nimikkeille on haastavaa kehittää ennustusmalleja. Rypäsmäisen kysynnän varastonimikkeet aiheuttavat haasteita siltä osin, että niiden kysyntä on hyvin vaihtelevaa pitkällä aikavälillä. Täten rypäsmäistä kysyntää on erittäin hankala ennustaa. (Van der Auerwarer et al. 2019) Juuri rypäsmäisen kysynnän tuotteiden takia varaosia tarjoavan yrityksen täytyy kehittää varastonimikekohtaisia ennustusmenetelmiä ennustamisen tarkkuuden parantamiseksi (Turrini & Meissner 2019). Varaosien kysynnästä on usein hyvin vähän historiallista dataa, mikä tekee sen avulla ennustamisesta vaikeaa. Rypäsmäisen kysynnän tuotteiden kannalta on oleellista, että nollakysyntäjaksojen säännöllisyys voitaisiin hahmottaa, jolloin niiden kysynnän ennustaminen olisi mutkattomampaa. (Hua et al. 2007)

Kysynnän epävarmuus johtaa siihen, että perinteisiä kysynnän ennustusmalleja ei ole koettu päteviksi suurimmalle osalle tuotteista. Esimerkiksi liukuva keskiarvo sekä eksponentiaalinen tasoitus, joita käytetään tyypillisesti kysynnän ennustamisessa, eivät ole toimivia ennustusmalleja rypäsmäisen kysynnän ennustamiseen. (Pinçe et al. 2021; Huynh 2019; Syntetos et al. 2012) Perinteisissä ennustusmalleissa ongelmaksi on ilmennyt se, että ne painottavat

liikaa viimeisimpiä toteutuneita kysyntälukemia (Pinçe et al. 2021). Erityisesti nollakysyntäjaksojen ilmeneminen tekee perinteisistä ennustusmalleista epätarkkoja epätasaisen kysynnän nimikkeille. Kysyntäkuviota tulee siis tarkastella pidemmältä ajanjaksolta, kun määritetään ennustamismallia epätasaisen kysynnän varastonimikkeille. Perinteiset ennustusmallit onkin luotu niin sanotusti nopeasti liikkuville tuotteille (Syntetos et al. 2012). Varaosat ovat tyypillisesti luonteeltaan hitaasti liikkuvia, tarkoittaen sitä, että niitä saatetaan varastoida hyvin pitkiksi ajoiksi.

Epätasaisen kysynnän varaosanimikkeiden ennustusmenetelmien kehittämistä on tutkittu huomattavasti ja kyseisille tuotteille sopivia ennustusmenetelmiä pyritty havainnollistamaan. Ongelmana on kuitenkin oikean ennustusmenetelmän käyttöönotto varastonimikkeelle (Turrini & Meissner 2019). Varaosalogistiikan kannalta yhden ennustusmallin hyödyntäminen kaikkien nimikkeiden kohdalla ei ole järkevää nimikkeiden kysynnän vaihtelevuuden vuoksi. Kysyntäennustusmallin määrittäminen nimikekohtaisesti on toisaalta hyvin työlästä, sillä auton varaosaryityksillä on yleensä tuhansia nimikkeitä. Niiden säännöllinen seuraaminen voi käydä tällöin myös yritykselle kalliiksi. Siksi tuleekin määrittää tietynlaisia kategorioita nimikkeille, joiden perusteella määritetään käytettävät ennustusmallit.

3.2 Varastohallinnan haasteet

Kysynnän ennustamisen haasteet heijastuvat myös varastohallinnan haasteissa. Auton varaosat ovat yleensä kalliita yrityksille, vaikka niissä onkin hyvä kate. Varaosanimikkeitä tulee varastoida hyvin pitkiksi ajoiksi, jolloin ne aiheuttavat yritykselle varaston ylläpitokustannuksia. Hitaasti liikkuvat varastonimikkeet aiheuttavat autoalalla noin 60 prosenttia varastointikustannuksista. (Johnston et al. 2003) Pitkiksi ajoiksi varastoidut osat myös kuluvat tai vanhentuvat ajan myötä ja eivät pahimmassa tapauksessa kelpaa enää myytäväksi. Kysynnän vaihtelevuus sekä kysynnän äkillisen loppumisen riski ovat syinä sille, miksi hitaasti liikkuvien varastonimikkeiden tehokas käsittely on erittäin haastavaa autoteollisuudessa (Pinçe & Dekker 2011). Etenkin katkonaisen sekä rypäsmäisen kysynnän tuotteiden kohdalla kysynnän loppumisen uhka tulee tiedostaa. Tällaisen tilanteen syntymistä voi ehkäistä muuttamalla nimikkeen hallinnointiperiaatetta hyvissä ajoin ennen kuin vastaavan lopputuotteen valmistus lopetetaan. (Pinçe & Dekker 2011)

Auton varaosaliiketoiminnassa suuret varastokoot ovat välttämättömiä. Nimikkeitä on ol-tava tarjolla asiakkaille laajasti. Asiakkaiden tiukat reaktioaikavaatimukset tarkoittavat käy-tännössä sitä, että tuotteita on löydyttävä varastosta, jotta ne saadaan asiakkaalle vaaditussa ajassa. Kattavan varaston ylläpito on toisaalta erittäin kallista. Ahola (2019) havaitsi diplo-mityössään auton varaosaliikkeen kaikista varastonimikkeistä 56 prosenttia olevan sellaisia, joita hankitaan vuodessa vain yhden kappaleen verran. Pelkästään nämä kyseiset tuotteet sitoivat noin puolet kaikkiin varastoyksiköihin sitoutuneesta pääomasta kohdeyrityksessä. Nimikkeitä on kuitenkin varastoitava, sillä kysynnän ilmetessä nimikkeiden puutekustan-nukset voivat olla huomattavasti suuremmat kuin niiden varastointikustannukset (Bošnjako-vić 2010). Ahola (2019) havaitsi tutkimuksessaan myös sen, että suurimman osan auton va-raosaliikkeen myynnistä tuotti juuri ne nimikkeet, joita myydään viisi kappaletta tai vähem-män vuodessa. Hitaasti liikkuvien tuotteiden poistaminen valikoimasta varaston kiertoajan parantamiseksi ei siis ole kannattava ratkaisu, jos se tarkoittaa merkittävää laskua kokonais-myynnissä.

Oikeanlaisen nimikekohtaisen tilaus- ja varastointikoon määrittäminen on myös haasteellista. Op-timitilauuserien määrittämisen tärkeys korostuu etenkin epätasaisen kysynnän omaavilla vara-osilla. Tuotteiden puuttuminen aiheuttaa ongelmia yrityksille, kun taas liialliset nimikemää-rät kasvattavat varaston ylläpitokustannuksia. Varaosanimikkeitä joudutaan pahimmassa ta-pauksessa siirtämään muualle, hajottamaan tai hävittämään. (Pinçe & Dekker 2011) Var-muusvarastojen ylläpitäminen kasvattaa palvelutasoa, mutta toisaalta liian suuret varmuus-varastokoot sitovat ylimääräistä pääomaa varastoihin, jotka ovat toimialalla jo valmiiksi eri-tyisen suuria (Van der Auweraer et al. 2019).

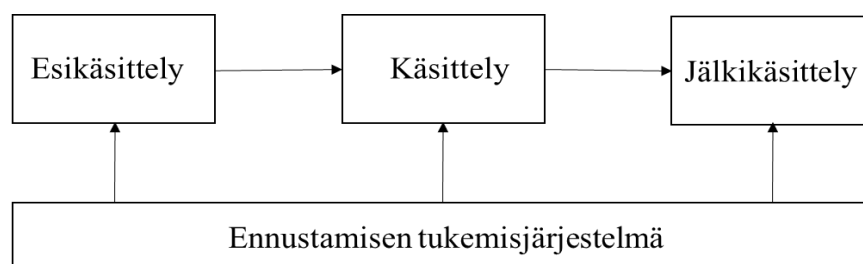
Lantta-Lehtola (2019) havaitsi diplomityössään toteuttamassa haastattelussa sen, että tarkas-teltava autoalan liike ei panostanut tosissaan varastohallintajärjestelmien hyödyntämiseen varaosavarastossaan. Yrityksessä oli käytössä varastohallintajärjestelmä, mutta työnteki-jöitä ei ollut kuitenkaan perehdytetty riittävästi niiden käyttöön. Tämän myötä esimerkiksi hallintajärjestelmään liittyvät raja-arvot olivat jääneet epäselviksi. Juuri työntekijöiden tie-tämyksen puute varastohallintajärjestelmistä voi johtaa niiden epäonnistumiseen käytän-nössä (Muller 2011, s. 210). Varastohallintajärjestelmät tulisi olla selkeästi määritetty oleellisille tekijöille yrityksessä. Sen tietämyksen puute voi aiheuttaa muun muassa optimi-määristä poikkeavia tilauseräkokoja, ylimääräisiä kustannuksia ja heikentää varaston kier-toa.

4 Esitetyt kehitysmenetelmät

Auton varaosalogistiikan haasteet on tunnistettu tieteellisessä kirjallisuudessa ja moni tutkimus on pyrkinyt kehittämään autoteollisuuden varaosalogistiikkaa. Kysynnän ennustustarkkuuden sekä varastonhallinnan kehittäminen on ollut etusijalla aihealueen tieteellisissä tutkimuksissa. Pää tavoitteina kehitysmenetelmissä on liiketoiminnan kustannusten vähentäminen sekä asiakastyytyvyyden parantaminen.

4.1 Kysynnän ennustamisen kehittämiskeinot

Boylan & Syntetos (2009) määrittivät ennustamisen vaiheet, jotka jaetaan kolmeen eri osaan: esiprosessointiin, prosessointiin ja jälkiprosessointiin (kuva 2). Esiprosessoinnin ideana on profiloida varastonimikkeet kysyntäkäyttäytymisen perusteella. Profiloinnin pohjalta määritetään jokaisen profiiliin sopivat ennustusmallit. Prosessointivaiheessa sovelletaan valittuja ennustusmalleja. Jälkiprosessoinnin ideana on tehdä tarvittavia muutoksia ennustusmenetelmiin ja -malleihin toteutuneen myynnin perusteella. Ennustamisen tukemisjärjestelmä muodostuu kaikista näissä kolmessa vaiheessa tehtävistä ennustusmallien päätöksistä. (Boylan & Syntetos 2009) Panostaminen vaiheiden seurantaan on merkittävää yritykselle, sillä se mahdollistaa kvantitatiivisen kysynnän ennustamisen ja tukee näin strategisten tavoitteiden toteutumista. Vaiheiden ymmärtäminen auttaa kehittämään yrityksen ennustuksen tukemisjärjestelmää sekä logistista päätöksentekoa sen myötä.



Kuva 2. Ennustamisen vaiheet (Boylan & Syntetos 2009)

Varaosien ennustamisen kehittämisessä yrityksen tulisi aloittaa määrittämällä varastonimikkeidensä kysyntä nimikekohtaisesti. Kuvan 2 esikäsittelyvaiheessa tärkeintä on määrittää se, miten säännöllistä tuotteen kysyntä on ja onko nimike hitaasti vai nopeasti liikkuva (Boylan & Syntetos 2009). Kysynnän mukaisen nimikeluokittelun tarkoituksena on yhdistää nimikkeen kysyntäpiirteet mahdollisimman tarkasti sopivimman kysyntäarvion kanssa. Tämän toteutuksen tarkoituksena on parantaa yrityksen tuotteiden kysyntäennustusta sekä varastonhallintaa. (Pinçe et al. 2021)

Tässä työssä esitetyt neljä eri kysyntäprofiilia (taulukko 1) on yleinen ratkaisu ajoneuvoteollisuuden varaosanimikkeiden kysynnän kategorioinnissa (Rego & Mesquita 2015; Huynh 2019; Hendra et al. 2019). Luokittelumenetelmien avulla yritys pystyy määrittämään parhaat ennustusmenetelmät kullekin kysyntäkategorialle (Syntetos et al. 2011). Esikäsittelyvaiheessa suoritetaan nimikekategorointi esiteltyihin kysyntäprofiileihin. Kategorioinnin avulla voidaan määrittää nimikkeille toimivimmat ennustusmallit automaattisesti.

Parhaan ennustusmallin löytääkseen jokaiselle kysyntäprofiilille on järkevintä verrata mallituloksia toisiinsa ja täten määrittää se, mikä kyseisistä ennustusmalleista osoittautuu pätevimmäksi. Tasaisen kysynnän nimikkeille päteväksi on tutkimuksissa koettu yksinkertaiset ja perinteiset aikasarjaennustusmallit. Aikasarjaennustamisella viitataan ennustamiseen, joka perustuu historialliseen kysyntädataan. Perinteiset ennustusmallit ovat helposti ymmärrettäviä sekä voidaan ottaa käyttöön nopeasti. (Vargas & Cortés 2017) Nämä aikasarjamenetelmät painottavat myös enemmän viimeisintä toteutunutta dataa, jolloin kysynnän mahdollinen muutos ajan myötä tulee otetuksi huomioon ennusteessa.

Ennustusmallien suunnittelussa kannattaa painottaa enemmän epätasaisen kysyntäprofiilin omaaviin nimikkeisiin, sillä niiden ennustusmallien valinnalle ei ole välttämättä yksiselitteistä ratkaisua. Pinçe et al. (2021) havaitsivat ennustusmallien käyttökelpoisuuden vaihtelvan eri teollisuuden toimialojen välillä. Auton varaosien kysynnän ennustamisen kehittämisessä onkin erityisesti keskitytty epätasaisiin kysyntätyyppeihin niiden ennustamisen haasteellisuuden sekä epätasaisen kysyntäprofiilin omaavien nimikkeiden yleisyyden vuoksi. Etenkin rypäsmäisen kysynnän ennustamiseen on panostettu, sillä siinä kulminoituu kaikki epätasaisen kysynnän tyypilliset haasteet.

Mukhopadhyay et al. (2012) havaitsivat niin sanottujen modernien ennustusmenetelmien kykenevän ennustamaan tarkemmin epätasaista kysyntää. Croston (1972) esitteli

ensimmäisenä parametrinen ennustusmallin, joka oli suunniteltu pitkiä nollakysyntäjaksuja omaaville nimikkeille. Parametrillä tarkoitetaan tässä asiayhteydessä laskukaavassa hyödynnettävää matemaattista tunnuslukua (Tilastokeskus 2022). Kysynnän ennustamisessa yksi parametri on esimerkiksi tarkastelujakson aikana toteutunut kysyntä. Ennustusmallin ajatuksena on jakaa ennustetun kysynnän määrittäminen ajanjaksolle kahteen komponenttiin, kysynnän toteutumisen aikaväliin sekä kysyntämäärään. Nollakysyntäjakson toteutuessa tarkastelujaksolla ennustettu kysyntämäärä sekä kysynnän toteutumisen aikaväli on sama kuin kyseistä jaksoa edeltävällä tarkastelujaksolla. Jos nimikkeelle ilmenee kysyntää tarkastelujaksolla, toteutetaan ennustettu kysyntä sekä kysynnän toteutumisen aikavälin määrittäminen eksponentiaalisen tasoituksen avulla. (Croston 1972; Syntetos et al. 2011; Pinçe et al. 2021)

Syntetos-Boylan approksimaatio on Croston-malliin pohjautuva ennustusmalli, joka on koettu päteväksi juuri autoteollisuuden nimikkeiden kysynnän ennustamisessa (Syntetos & Boylan 2005). Syntetos-Boylan-approksimaatio eroaa Croston-mallista siten, että siinä kysyntäennusteen laskentakaavaan on lisätty niin sanottu poikkeamankorjauskerroin (Pinçe et al. 2021). Syntetos-Boylan-approksimaatiota on hyödynnetty useassa auton varaosanimikkeiden ennustamista käsittelevässä tutkimuksessa (Huynh 2019; Rego & Mesquita 2015).

Croston-malli sekä Syntetos-Boylan-approksimaatio sekä niiden variaatiot ovat toimivia tilanteissa, joissa nimikkeistä on saatavilla historiallista dataa. Bootstrap-ennustemenetelmä on suunniteltu esimerkiksi nimikkeille, joille aikasarjaennustemallien hyödyntäminen on mahdotonta hyvin vähäisen tai olemattoman historiallisen kysyntädatan vuoksi. Bootstrapmenetelmän ajatuksena on estimoida kysynnän ennustamiseen kuuluvien parametrien arvoja tilanteissa, joissa niitä ei kyetä määrittämään datan avulla. Myös erittäin vaihtelevan kysynnän kohdalla bootstrap-ennustemenetelmät voivat olla päteviä. (Pinçe et al. 2021) Bootstrapmenetelmän avulla kyetään arvioimaan ennustemalleihin tarvittavien parametrien otantajakaumaa (Mooney & Duval 2011). Bootstrapmenetelmästä on olemassa sekä parametrinen että parametriton variaatio riippuen siitä, onko mahdollista muodostaa arvio tai oletus kysynnän jakautumisesta nimikkeelle (Pinçe et al. 2021).

Nimikkeiden kysyntäkategorioiden myötä yritys kykenee tekemään päätöksiä sen suhteen, mitä ennustusmallia kannattaa hyödyntää missäkin kysyntäprofiilissa. Rego & Mesquita (2015) tutkivat auton varaosaliikkeen kysynnän ennustamisen kehittämistä. Siinä hyödynnettiin useita eri menetelmiä sekä varastonimikkeiden kysyntädatan dokumentointiin että kysynnän ennustamiseen. He myös määrittivät, kuinka usein kohdeyrityksen tulisi

uudelleenarvioida ennustusmallien käyttökelpoisuutta jokaisen kysyntäkategorian osalta. Tutkimuksessa simuloitiin auton varaosien kysyntää usean vuoden ajalle. Simulaatio toteutettiin neljällä eri varaston täyttöasteella. Sen perusteella Rego & Mesquita (2015) saivat määritettyä kohdeyritykselle toimivimmat ennustusmallit jokaiselle neljälle eri kysyntäprofiilille. Tasaisen kysynnän nimikkeille he kokivat tarkimmaksi ennustusmalliksi bootstrap-menettelyn tai Syntetos-Boylan-approksimaation riippuen täyttöasteesta. Epäsäännöllisen kysynnän nimikkeille toimivin oli Syntetos-Boylan-approksimaatio. Katkonaisen kysynnän nimikkeille toimivaksi ennustemenetelmäksi koettiin muun muassa liukuva keskiarvo. Bootstrap-menettely koettiin taasen toimivimmaksi kohdeyrityksessä rypäsmäisen kysynnän tuotteille. He ehdottivat, että ennustusmenetelmien pätevyys arvioitaisiin uudelleen kuukausittain pois lukien bootstrap-menettely, joka arvioitaisiin uudelleen puolivuositain. (Rego & Mesquita 2015)

Rego & Mesquitin (2015) tutkimus on hyvä esimerkki siitä, kuinka huolellisesti ennustusmallien valinta tulisi toteuttaa. Paino kysynnän ennustamisen kehittämisessä tulee olla epätasaisen kysynnän tuotteissa. Ennustusprosessin jokaisessa vaiheessa (kuva 2) tulee tukea ennustamisen kehittämistä sekä arvioida menetelmien soveltuvuutta. Tärkeää on pohtia useaa eri vaihtoehtoa ja vertailla niitä keskenään toimivimman mallin valitsemiseksi. Nimikkeiden luokittelu neljään eri kysyntäluokkaan sekä ennustusmallien määrittäminen jokaiselle kysyntäluokalle on toimiva menetelmä varaosalogistiikan kehittämiseksi. Tämä menettely formalisoi kysynnän ennustamisprosessin. Ennustemallien keskinäinen vertailu auttaa yritystä valitsemaan sille toimivimman ennustemallin. Historiallisen datan puuttuessa on kehitetty käyttökelpoisia ennustemalleja, jolloin myös uusille nimikkeille kyetään ennustamaan kysyntää hyvällä tarkkuudella.

4.2 Varaosavarastoinnin optimointimenetelmät

Varastonimikkeiden varastoinnin tarpeellisuuden määrittämiseksi yrityksen tulee pohtia tuotteiden kokonaisvarastoinnista aiheutuvia kustannuksia sekä mahdollisia puutekustannuksia silloin, kun tuotteen kysyntää ilmenee (Bošnjaković 2010). Varastointipäätöksen määrittämiseen auttaa se, että yritys hyödyntää nimikkeiden luokittelumenetelmiä myös varastoinnissa. Kuten nimikkeiden kysynnälle, varastonimikkeille on mallinnettu

varastonhallinnan kannalta luokittelumenetelmiä. Varaston luokittelumenetelmien hyödyntämisen avulla yritys kykenee kehittämään varastointipäätöksentekoa ja sen lisäksi kykenee havainnoimaan liiketoiminnan kannalta oleellisia varastonimikkeitä (Syntetos et al. 2011). Yksi tyypillisimmistä varastonnimikkeiden luokittelumenetelmistä on ABC-analyysi. ABC-analyysin ideana on jakaa nimikkeet kolmeen eri luokkaan (A, B tai C) sen mukaan, mikä varastonimikekohtainen myyntimäärä on. Luokittelu tehdään siten, että A-luokkaan kuuluu pieni määrä yrityksen nimikkeitä, jotka yhdessä kattavat suurimman osan yrityksen myynnistä, B-luokkaan noin 20–30 prosenttia kohtuullisen merkittäviä nimikkeitä ja C-luokkaan suurin osa varastonimikkeistä, joita myydään hyvin vähäisiä määriä. (Karagiannis & Paleologou 2020)

ABC-analyysiin voidaan yhdistää myös XYZ-analyysi, joka luokittelee nimikkeet niiden kysyntämäärän ja kysynnän vaihtelevuuden mukaan (Scholz-Reiter et al. 2012). Sakki (2014) esittää taasen XYZ-analyysin luokittelun perustuvan myynnin tai kulutuksen tapahtumamääriin nimikkeillä. ABC-XYZ-analyysin toteuttamisen avulla yritys voi identifioida, mitkä nimikkeet eivät ole liiketoiminnan kannalta välttämättömiä, ja mitkä toisaalta ovat kriittisiä. Ottaen huomioon auton varaosamarkkinoiden laajan tuotevalikoiman, tulee varastosta tunnistaa oitis toiminnan kannalta merkityksettömät ja haitalliset tuotteet, sillä uusille varaosanimikkeille on tämän myötä saatavilla tilaa.

Varaston luokittelumenetelmistä on useita variaatioita ABC- ja XYZ-analyysin lisäksi. Monia eri luokittelumenetelmiä on mallinnettu huomioiden nimikkeiden tärkeitä erityispiirteitä, kuten nimikkeen kysyntäjakaumaa, kustannuksia, kokoa, toiminnallista kriittisyyttä sekä tuotteiden elinkaarta (Syntetos et al. 2011). Mor et al. (2021) hyödynsi tutkimuksessaan varaosavarastonimikkeiden luokittelussa ABC-XYZ-analyysin lisäksi FSN-luokittelua, joka havainnoi myös nimikkeiden liikkuvuutta. F-luokan tuotteet ovat nopeasti liikkuvia, S-luokan tuotteet hitaasti liikkuvia ja N-luokan tuotteet eivät taasen liiku ollenkaan varastosta, eli niillä on kysyntää erittäin harvoin (Mor et al. 2021). Bošnjaković (2010) ehdotti monikriteeristä varastointimallia varaosanimikkeille, jossa tiettyjen kriteerien perusteella tehdään varastointipäätös nimikkeelle. Nämä kriteerit ovat nimikkeen arvo, kriittisyys lopputuotteen toiminnallisuuden kannalta sekä kysynnän suuruus. Nimikeluokittelu helpottaa varastonhallintaa sekä varastoinnin päätöksentekoa. Useita eri luokittelumalleja kannattaa hyödyntää varastonhallinnassa samanaikaisesti, jos yritys kokee niiden täydentävän toisiaan.

Ahola (2019) havaitsi kohdeyrityksellään olevan varastoituna paljon turhia nimikkeitä, joiden kysyntä oli olematonta. Yrityksen tulisikin säännöllisesti seurata varastonimikkeitään, jottei olemattoman kysynnän nimikkeitä jäisi seisomaan varastoon pitkiksi ajoiksi. Varaston optimointi on toisaalta verrattavissa kysynnän ennustuksen tarkkuuteen. Ongelmaan ei siis välttämättä ole niinkin yksiselitteistä ratkaisua kuin tuotteen poistaminen varastosta, jos kysyntää ei ole hetkeen ilmennyt. Varastonhallintoa voidaan optimoida määrittämällä varastonohjausparametrejä. Varastonohjausparametrejä ovat muun muassa täydennyserätkoko, varmuusvaraston koko sekä tilauspiste (Guo & Yu 2018). Näiden määrittäminen tehostaa tilaus- sekä varastointiprosesseja ja vähentää ylimääräistä manuaalista työtä varastointiin liittyen. Kysynnän vaihtelevuuden vuoksi parametrejä tulee päivittää säännöllisin ajanjaksoin, jotta varaston kierto säilyy tehokkaana eikä yritykselle koidu varastoinnista ylimääräisiä kustannuksia.

Lean-ajattelun omaksuminen varaosalogistiikassa voi auttaa kehittämään yritystoimintaa monin eri tavoin sekä mahdollisesti pienin investoinnein. Lean-ajattelun näkökulman avulla Lantta-Lehtola (2019) osoitti, että autoalan varaosavaraston toimintaa kyettiin tehostamaan luokittelemalla varastonimikkeitä ja määrittelemällä luokittelun pohjalta varastonohjausparametrit. Tällä kyettiin vähentämään manuaalisen työn määrää varastolla sekä parantamaan asiakastytyväisyyttä puutetilanteiden vähentymisen myötä. Ahola (2019) havaitsi puolestaan auton varaosaliikkeessä mahdollisuuden kehittää muun muassa prosesseja sekä parantaa yrityksen toiminnanohjausjärjestelmää. Hän esitti konkreettisiksi kehityskeinoiksi muun muassa tarpeettoman manuaalisen työn vähentämisen, aktiivisemmän varastotunnuslukujen seurannan sekä varastonimikkeiden määrän vähentämisen. Tehokkaampi toiminta mahdollistaa sekä paremman asiakastytyväisyyden että ylimääräisten kustannusten vähentämisen.

4.3 Käytössä olevan autokannan informaation hyödyntäminen

Käytössä olevalla laitekannalla (englanniksi ”installed base”) tarkoitetaan nykyhetkellä käytössä olevia laitteita tai järjestelmiä (Van der Auweraer et al. 2021). Dekker et al. (2013) määritteli käytössä olevan laitekannan taasen kokonaisuudeksi tiettyä tuotetta tai järjestelmää, jolle on tarjolla jälkimarkkinapalveluita jonkun yrityksen toimesta. Käytössä olevassa kannassa keskitytään siis vain niihin tuotteisiin, jotka ovat aktiivisessa käytössä ja

toiminnallisia. Lopputuotteen myyntimäärän ja käytössä olevan kannan lukumäärän ero on siinä, että jotkut jo myydyistä tuotteista eivät välttämättä ole käyttökelpoisia enää nykyhetkellä.

Käytössä oleva laitekanta on kirjallisuudessa tulkittu joissain tilanteissa aktiivisten käyttäjien lukumääräksi käytössä olevan tuotteiden lukumäärän sijasta (Borchers & Karandikar 2006). Tässä työssä käyttökannalla viitataan tuotemäärään eikä asiakasmäärään. Työssä kuvataan autoteollisuuden käytössä olevaa laitekantaa termillä ”auton käyttökanta” jatkossa.

Käyttökannan informaation hyödyntämistä toimitusketjun hallinnassa on tutkittu tieteellisessä kirjallisuudessa. Fortuin (1984) havaitsi käyttökannan informaation hyödyntämisen kysynnän ennustuksessa johtavan mahdollisesti jopa 25 prosenttia pienempiin varastointimääriin. Säästöä tehtäisiin erityisesti hitaasti liikkuvien nimikkeiden kohdalla, joilla on alhainen kysyntä (Jalil et al. 2011). Yhdysvaltalainen tietokonevalmistaja ja teknologiayritys IBM hyödyntää varaosalogistiikassaan laitteen käyttökannan informaatiota (Dekker et al. 2013). Jalil et al. (2011) havaitsivat tutkimuksessaan IBM:n kykenevän säästämään laitteen käyttökannan informaation avulla parhaimmillaan jopa 58 prosenttia varastonpito- ja kuljetuskuluissa. Käyttökannan informaation avulla kyetään luomaan dynaaminen varastointiperiaate, joka voi johtaa kulujen vähenemiseen tehokkaammin kuin se, että varastointiperiaate tehtäisiin pelkästään aikasarjaan perustuvien ennustusmallien avulla (Van der Auweraer et al. 2021).

Auton käyttökannan informaation avulla yritys kykenee luomaan palveluverkoston, joka mahdollistaisi palvelutason sekä varaosalogistiikan kehittämisen (Dekker et al. 2013). Käyttökannan informaation sisällyttäminen päätöksentekoon voi potentiaalisesti kehittää sekä asiakastyytyvyyttä, varastohallintaa että kysynnän ennustamista. Käyttökannan informaation hyödyntäminen sopii paremmin varaosakysynnän luonteeseen kuin kysyntäennusteet. Koska varaosakysyntä on kunnossapitosidonnaista, on sen kannalta oleellista olla selvillä siitä, kuinka suuri todellinen lopputuotteen käyttökanta on nykyhetkellä. (Van der Auweraer et al. 2019) Käyttökannan informaatiota voidaan hyödyntää ennustemalleissa kausaalisen muuttujan muodossa, jolloin nämä lähestymistavat tukevat toisiaan (Dekker et al. 2013; Jalil et al. 2011).

Auton käyttökannan sisältämä informaatio voidaan yhdistää osanimikkeiden elinkaarimallinnukseen. Tuotteen elinkaarimallinnuksessa arvioidaan osakysynnän elinkaarta eli sitä,

miten sen kysyntä tulee käyttäytymään tulevaisuudessa. Jokaisen tuotteen elinkaari koostuu kolmesta vaiheesta: kasvuvaiheesta, kypsyysvaiheesta sekä laskuvaiheesta. Varaosakysynnän muodostuminen on riippuvainen lopputuotteen kysynnän dynamiikasta. Täten sekä lopputuotteen että siihen kuuluvien varaosien mallinnetut elinkaaret ovat hyvin samankaltaisia. Eroavaisuus ilmenee lopullisissa kysyntämäärissä (lopputuotteilla enemmän kysyntää kuin varaosanimikkeillä) sekä ajankohdilla, sillä kunnossapidon tarve lopputuotteelle syntyy tyyppillisesti vasta, kun lopputuotteen elinkaari on kasvuvaiheen lopussa. (Dekker et al. 2013)

Auton käyttökannan tiedon ja osanimikkeiden eliniän seurannan myötä voidaan arvioida, miten varaosanimikkeiden elinkaari hahmottuu. Täten voidaan arvioida varaosanimikkeiden kysynnän elinkaarta myös. Käyttökannan informaatiosta saa myös selville maantieteellistä dataa lopputuotteisiin liittyen. (Dekker et al. 2013) Täten auton varaosayritys pystyy varautumaan myös paremmin oman myyntialueensa kysyntään autokannan informaation avulla. Käyttökantainformaatio auttaisi myös auton varaosayrityksiä reagoimaan kysynnän loppumiseen paremmin. Yritys kykenee muuttamaan käyttökannan informaation avulla varastotasojaan proaktiivisesti ennakoiden eikä pelkästään reaktiivisesti varaosien tarpeeseen perustuen (Dekker et al. 2013).

Käyttökannan informaation hyödyntäminen ei kuitenkaan ole täysin mutkatonta. Kyseessä on edistynyt menetelmä, jonka hyödyntäminen ei ole kannattavaa etenkin pienempien yritysten kohdalla, sillä sen käyttöönotosta voi syntyä merkittäviä kustannuksia. Yleensä pienemmät yritykset tyytyvätkin hyödyntämään kysyntäennusteita. (Kim et al. 2017) Toimiakseen myös käyttökannan informaatio vaatii myös suuren määrän toimialaan liittyvää dataa (Dekker et al. 2013). Auton varaosakysynnän kannalta tarvittavaa tietoa käyttökannan informaation hyödyntämiseksi on muun muassa aikasarja lopputuotemyynneistä, komponenttien elinikä sekä varaosanimikkeiden hinta (Kim et al. 2017). Toimialan markkinoiden koon vuoksi dataa tarvitaan suuri määrä ja sen läpikäyminen on erittäin työlästä. Tiedon täytyy olla ajankohtaista ja sitä täytyy päivittää säännöllisesti, jotta käyttökannan informaatiota voidaan pitää luotettavana. Toinen ilmenevä ongelma voi olla informaation saatavuus. Käyttökantadataa tulisi kerätä monelta eri taholta ja yritysten yhteistyöhalukkuus informaation jakamiseksi voi olla vaihtelevaa. Datan laadun on myös oltava kattavaa sekä luotettavaa. Näistä syistä kovin moni yritys ei ole kyennyt onnistuneesti hyödyntämään käyttökannan informaatiota varaosalogistiikassa. (Dekker et al. 2013)

Käyttökantadatan kerääminen on autoalalla täysin mahdollista. Käytössä olevista automalleista informaatiota löytyy autovalmistajilta sekä -myyjiltä. Sen lisäksi kunnossapitotarpeen ja osakysynnän kehityksestä dataa voi saada esimerkiksi autokatsastuksien kautta. Suomessa henkilöautot on katsastettava lakisääteisesti ajokelpoisuuden tarkkailun vuoksi ensimmäisen kerran 4 vuoden käyttöiässä. Siitä eteenpäin katsastusväli on 2 vuotta aina 10 vuoden käyttöikästä asti, jolloin katsastusväli tihenee yhteen vuoteen. (Liikenne- ja viestintäministeriö Traficom 2020) Lakisääteisistä katsastuksista saa kattavaa informaatiota auton komponenttien elinikään liittyen. Yhteistyöhalukkuus on avainasemassa käyttökannan informaation kohdalla. Nykyhetken siirtymäkohdassa uusiutuvia polttoaineita hyödyntäviin ajoneuvoihin käyttökannan informaatio voisi olla suuri vaikuttaja varaosalogistiikan kehittämisessä. Auton käyttökantadatan avulla varaosayritykset kykenevät reagoimaan ajoissa kysyntään. Käyttökannan informaation hyödyntäminen on pätevä menetelmä parantaa ennustustarkkuutta alalla, jossa myynnin ennustus on osoittautunut erittäin suureksi haasteeksi.

5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä työssä tutkittiin kirjallisuuden pohjalta auton varaosayritysten kysynnän ennustamisen sekä varastohallinnan haasteita ja niille kehitettyjä arviointimenetelmiä. Kysynnän ennustamisessa ongelmallisia ovat erityisesti epätasaisen kysynnän tuotteet. Monelle auton varaosanimikkeelle tyypillistä on, että kysyntä vaihtelee jaksojen välillä. Myös nollakysyntäjaksojen esiintyminen on yleistä monelle nimikkeelle. Monessa tutkimuksessa on sovellettu erilaisia ennustusmalleja epätasaisen kysynnän nimikkeille, mutta oikean ennustusmallin valitseminen voi olla yritykselle haastavaa. Varastohallinnan ongelmat johtuvat pitkälti juuri kysynnän ennustamisen haasteista. Varaosanimikkeiden epätasaisen kysynnän myötä suuri määrä osista joudutaan varastoimaan pitkiksi ajoiksi, aiheuttaen varastonpitokustannuksia ja vieden tilaa varastoista pitkiksi ajoiksi. Vähäisen kysynnän omaavilla nimikkeillä uhkana on myös kysynnän loppuminen, jolloin nimikkeet aiheuttavat yritykselle tappioita. Autoteollisuudessa nimikevalikoima on valtava, johtuen lopputuotteiden suuresta komponenttimäärästä, toimialan markkinoiden suuruudesta, lopputuotteen kustomointimahdollisuudesta sekä autoteollisuuden jatkuvasta kehitymisestä. Toisaalta kasvavien asiakasvaatimusten vuoksi osia täytyy varastoida, jotta niitä on nopeasti saatavilla kysynnän ilmetessä. Erinomaisen palveluasteen sekä kustannustehokkaan varastoinnin samanaikainen toteutuminen on haastavaa mahdollistaa autoteollisuuden varaosalogistiikassa.

Etenkin varaosalogistiikan ennustamisen kehittämistä on käsitelty monipuolisesti tieteellisissä tutkimuksissa. Tässä katsauksessa ehdotetaan nimikkeiden luokittelua kysyntäprofiilin mukaisesti. Nimikkeiden luokittelu voidaan tehdä varaosalogistiikassa kysynnän mukaan neljään luokkaan: tasaisen kysynnän, epäsäännöllisen kysynnän, katkonaisen kysynnän sekä rypäsmäisen kysynnän nimikkeisiin. Tämän luokittelun perusteella yritys voi määrittää jokaiselle kysyntäprofiilille parhaan ennustusmenetelmän. Tasaisen kysynnän nimikkeille perinteiset aikasarjaennustusmenetelmät, kuten liukuva keskiarvo, ovat yleensä päteviä. Rypäsmäiselle, epäsäännölliselle ja katkonaiselle kysynnälle toimivimpia ovat modernit ennustusmenetelmät, kuten bootstrap-menetelmä sekä Syntetos-Boylan-approksimaatio. Useamman ennustemallin käyttö yhden mallin sijasta tekee varaston koko tuotevalikoiman kysynnän ennustamisesta tarkempaa ja auton varaosayritys kykenee vastaamaan kysyntäänsä tehokkaammin.

Toimitusketjun hallinnan optimointiin tähtäävän lean-ajattelun omaksuminen sekä luokittelun hyödyntäminen varastohallinnassa kehittää toimintaa ja auttaa yritystä havainnoimaan hyödyttömiä nimikkeitä. Varastohallinnan luokittelumenetelmiä on muun muassa ABC-XYZ-analyysi ja muut vastaavat monikriteerimallit. Luokittelujen hyödyntäminen varastohallinnassa antaa selkeyttä nimikkeen varastointitarpeesta. Varastonohjausparametrien määrittäminen sekä säännöllinen seuranta on myös hyvä keino optimoida tilauseräkokoja sekä varastomääriä eri varaosanimikkeille.

Auton käyttökannan informaation hyödyntäminen on menetelmä, jonka avulla voidaan kehittää sekä kysynnän ennustamista että varastohallintaa. Käyttökannan informaatio voidaan yhdistää nimikkeiden ja lopputuotteen elinkaaren mallintamiseen. Tällä menetelmällä on mahdollista kehittää toimialan haasteelliseksi koettu ennustamista. Auton käyttökannan informaation kerääminen on myös täysin mahdollista toteuttaa toimialalla.

Kehitysmenetelmien mallintamisen kannalta oleellista on säännöllisen seurannan toteuttaminen. Myös kehittyneemmät ennustusmallit muuttuvat epäluotettaviksi, jos niiden parametreja ei päivitetä toteutuneen kysynnän muuttuessa. Auton varaosavaraston tilanteen seuraamisen ja raportoinnin avulla voidaan havaita paljon kehittämiskohteita, jotka eivät edes vaadi välttämättä ylimääräisiä investointeja, kuten Lantta-Lehtola (2019) sekä Ahola (2019) havaitsivat tutkimuksissaan. Logistisen päätöksenteon pohjaksi on tärkeää saada ajankohdasta dataa sekä tunnuslukuja yrityksen toiminnan seuraamiseksi. Seurannan voi toteuttaa digitaalisesti, joten se ei välttämättä kasvata työntekijöiden työtaakkaa.

Varaosalogistiikkaan liittyvät tutkimukset ovat keskittyneet pääasiassa varaosakysynnän ennustamisen kehittämiseen. Tieteellisissä tutkimuksissa varastohallinnan kehittäminen on jäänyt vähemmälle huomiolle ja kehitysmenetelmien mallintaminen myös varaosavarastohallinnan tehostamiseksi olisi tärkeää tulevaisuudessa. (Bacchetti & Saccani 2012; Bhalla et al. 2021) Myös käyttökannan informaation hyödyntämistä autoteollisuudessa on tutkittu hyvin vähän tieteellisessä kirjallisuudessa. Auton käyttökannan informaatio on potentiaalisesti erittäin hyödyllinen kehitysmenetelmä autoalalla ja siitä syystä sen toimivuutta tulisikin tutkia tulevaisuudessa enemmän esimerkiksi toimialan kohdeyrityksen avulla.

Lähteet

- ACEA. 2021. The Automobile Industry Pocket Guide [verkkodokumentti]. [Viitattu 14.2.2022] Saatavilla: https://www.acea.auto/files/ACEA_Pocket_Guide_2021-2022.pdf
- Ahola, T. 2019. Varastoinnin tehokkuuden parantaminen autojen varaosaliiketoiminnassa. Diplomityö. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT, LUT School of Engineering Science. Kouvola. 100 s.
- Alalawin, A., Arabiyat, L. M., Alalaween, W., Qamar, A. & Mukattash, A. 2021. Forecasting vehicle's spare parts price and demand. *Journal of quality in maintenance engineering*. Vol. 27, nro. 3, s. 483–499.
- Alasuutari, P. 2011. Laadullinen tutkimus 2011. Tampere, Vastapaino.
- Ambe, I.M. & Badenhorst-Weiss, J.A. 2010. Strategic supply chain framework for the automotive industry. *African Journal of Business Management*. Vol. 4, nro. 10, s. 2110–2120.
- Bacchetti, A. & Saccani, N. 2012. Spare parts classification and demand forecasting for stock control: Investigating the gap between research and practice. *Omega (Oxford)*. Vol. 40, nro. 6, s. 722-737.
- Benko, C. & McFarlan, W. 2003. Metamorphosis in the auto industry. *Strategy & Leadership*. Vol. 31, nro. 4, s. 4-8.
- Bennett, R. Kottasz, R. & Shaw, S. 2016. Factors potentially affecting the successful promotion of electric vehicles. *Journal of Social Marketing*. Vol. 6, nro. 1, s. 62-82.
- Bhalla, S., Alfnes, E., Hvolby, H. & Sgarbossa, F. 2021. Advances in Spare Part Classification and Forecasting for Inventory Control: A Literature Review. *IFAC PapersOnLine*. Vol. 54, nro. 1, s. 982–987.
- Borchers, H. W. & Karandikar, H. 2006. A Data Warehouse Approach for Estimating and Characterizing the Installed Base of Industrial Products. *International Conference on Service Systems and Service Management*. Vol. 1, s. 53-59.

- Bošnjaković, M. 2010. Multicriteria inventory model for spare parts. *Technical Gazette*. Vol. 17, nro. 4, s. 499-504.
- Boylan, J. E. & Syntetos, A. A. 2009. Spare parts management: a review of forecasting research and extensions. *IMA Journal of Management Mathematics*. Vol. 21, nro. 3, s. 227-237.
- Carrier, M. 2021. Number of vehicles in use worldwide 2006-2015 [verkkodokumentti]. [Viitattu 24.3.2022] Saatavilla: <https://www.statista.com/statistics/281134/number-of-vehicles-in-use-worldwide/>
- Cohen, M. A., Agrawal, N. & Agrawal, V. 2006. Winning in the aftermarket. *Harvard business review*. Vol. 84, nro. 5, s. 129–138.
- Croston, J. D. 1972. Forecasting and stock control for intermittent demands. *Journal of the Operational Research Society*. Vol. 23, nro. 3, s. 289-303.
- de Souza, R., Tan, A. W. K., Othman, H. & Garg, M. 2011. A proposed framework for managing service parts in automotive and aerospace industries. *Benchmarking: an international journal*. Vol. 18, nro. 6, s. 769–782.
- Dekker, R., Pinçe, Ç., Zuidwijk, R. and Jalil, M.N., 2013. On the use of installed base information for spare parts logistics: A review of ideas and industry practice. *International Journal of Production Economics*, vol. 143, nro. 2, s. 536–545.
- Deloitte. 2013. Driving Aftermarket Value: Upgrade Spare Parts Supply Chain. *Deloitte China Auto Industry Spare Parts Management Benchmark Survey White Paper*.
- Demandt, B. 2022. European Car Sales Analysis – September 2021 Models [verkkodokumentti]. [Viitattu 17.2.2022] Saatavilla: <https://carsalesbase.com/european-car-sales-analysis-september-2021-models/>
- Dickersbach, J. T. & Passon, M. F. 2015. Service Parts Planning with SAP SCMTM Processes, Structures, and Functions. Toinen painos. Berliini, Springer Berlin Heidelberg.
- Eaves, A. H. C. & Kingsman, B. G. 2004. Forecasting for the ordering and stock-holding of spare parts. *The Journal of the Operational Research Society*. Vol. 55, nro. 4, s. 431–437.

- Fortuin, L. & Martin, H. 1999. Control of service parts. *International Journal of Operations & Production Management*. Vol. 19, nro. 9, s. 950-971.
- Fortuin, L. 1984. Initial supply and re-order level of new service parts. *European Journal of Operational Research*. Vol. 15, nro. 3, s. 310-319.
- Fredriksson, P. & Gadde, L. 2005. Flexibility and rigidity in customization and build-to-order production. *Industrial marketing management*. Vol. 34, nro. 7, s. 695–705.
- Guo, D. & Yu, X. 2018. The Lean Management of Spare Parts in Automotive Manufacturing. *MATEC web of conferences*.
- Hardesty, C. 2021. Average Miles Driven Per Year: Why It Is Important [verkkodokumentti]. [Viitattu 15.3.2022] Saatavilla: <https://www.kbb.com/car-advice/average-miles-driven-per-year/>
- Hendra, Napitupulu, H. L., Nasution, H. & Hidayati, J. 2019. Portfolio Effect on End User Spare parts based on Demand Patterns. *IOP conference series: Materials Science and Engineering*. Vol. 505, nro. 1.
- Hua, Z.S., Zhang, B., Yang, J. & Tan, D.S. 2007. A new approach of forecasting intermittent demand for spare parts inventories in the process industries. *Journal of the Operational Research Society*. Vol. 58, nro. 1, s. 52–61.
- Huiskonen, J. (2001) Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices. *International journal of production economics*. Vol. 71, nro. 1, s. 125–133.
- Huynh, N. 2019. Demand forecasting for spare parts – case study from automotive industry. Maisterintutkinto. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT, LUT School of Business and Management. Lappeenranta. 73 s.
- INL. 2022. How Do Gasoline & Electric Vehicles Compare? [Verkkodokumentti] [Viitattu 26.3.2022] Saatavilla: <https://avt.inl.gov/sites/default/files/pdf/fsev/compare.pdf>
- Jalil, M. N., Zuidwijk, R. A., Fleischmann, M. & Van Nunen, J. A. 2011. Spare parts logistics and installed base information. *The Journal of the Operational Research Society*. Vol. 62, nro. 3, s. 442–457.

Johnston, F. R., Boylan, J. E. & Shale, E. A. 2003. An examination of the size of orders from customers, their characterisation and the implications for inventory control of slow moving items. *The Journal of the Operational Research Society*. Vol. 54, nro. 8, s. 833–837.

Karagiannis, G. & Paleologou, S. M. 2020. A regression-based improvement on the multiple criteria ABC inventory classification analysis. *Annals of Operations Research*. Vol. 306, nro. 1, s. 369-382.

Khan, A. & Haasis, H.D. 2016. Producer–buyer interaction under mass customization: analysis through automotive industry. *Logistics Research*. Vol. 9, nro. 1, s. 1–7.

Kim, T.Y., Dekker, R. & Heij, C. 2017. Spare part demand forecasting for consumer goods using installed base information. *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 103, s. 201-215.

Koudal, P. 2008. Ladies and Gentlemen, start your service engines: Competing on service excellence in the automotive industry. *Deloitte Research*.

Lantta-Lehtola, S. 2019. Varaosavaraston hallinnan tehostaminen autoalan merkkiliik-
keessä. Diplomityö. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT, LUT School of En-
gineering Science. Vantaa. 62 s.

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. 2020. Katsastusajankohdat ajoneuvoluokittain [verk-
kodokumentti]. [Viitattu 7.4.2022] Saatavilla: [https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliik-
kenne/katsastusajankohdat-ajoneuvoluokittain](https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliik-
kenne/katsastusajankohdat-ajoneuvoluokittain)

Mor, R. S., Bhardwaj, A., Kharka, V. & Kharub, M. 2021. Spare Parts Inventory Manage-
ment In the Warehouse: A Lean Approach. *International Journal of Industrial Engineering
& Production Research*. Vol. 32, nro. 2, s. 1-11.

Mukhopadhyay, S., Solis, A. O. & Gutierrez, R. S. 2012. The Accuracy of Non-traditional
versus Traditional Methods of Forecasting Lumpy Demand. *Journal of Forecasting*. Vol.
31, s. 721–735.

Muller, M. 2011. Essentials of Inventory Management. Toinen painos. Nashville,
AMACOM.

- Nassiri Pirbazari, K. & Jalilian, K. 2020. Designing an optimal customer satisfaction model in automotive industry. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*. Vol. 31, nro. 1, s. 31-39.
- Pelegov, D.V. & Pontes, J. 2018. Main drivers of battery industry changes: Electric vehicles—A market overview. *Batteries*. Vol. 4, nro. 4, s. 65-77.’
- Pérez, M. P. & Sánchez, A. M. 2001. Supplier relations and flexibility in the Spanish automotive industry. *Supply chain management*. Vol. 6, nro. 1, s. 29–38.
- Pérez-Pucheta, C. E., Olivares-Benitez, E., Minor-Popocatl, H., Pacheco-García, P. F. & Pérez-Pucheta, M. F. 2019. Implementation of Lean Manufacturing to Reduce the Delivery-Time of a Replacement Part to Dealers: A Case Study. *Applied sciences*. Vol. 9, nro. 18.
- Pinçe, Ç. & Dekker, R. 2011. An inventory model for slow moving items subject to obsolescence. *European Journal of Operational Research*. Vol. 213, nro. 1, s.83-95.
- Pinçe, Ç., Turrini, L. & Meissner, J. 2021. Intermittent demand forecasting for spare parts: A Critical review. *Omega (Oxford)*. Vol. 105.
- Pitkäranta, A. 2014. Laadullinen tutkimus opinnäytetyönä – työkirja ammattikorkeakouluun. Jokioinen, e-Oppi.
- Plenert, G. J. 2006. Reinventing Lean: Introducing Lean Management into the Supply Chain. Oxford: Elsevier Science & Technology.
- Pritchard, J. 2018. Car Maintenance Schedule: When to Replace Car Parts [verkkodokumentti]. [Viitattu 15.3.2022] Saatavilla: <https://www.autoguide.com/car-maintenance-schedule-when-to-replace-car-parts>
- Rego, J. R. & Mesquita, M. A. 2015. Demand forecasting and inventory control: A simulation study on automotive spare parts. *International Journal of Production Economics*. Vol. 161, s. 1–16.
- Sakki, J. 2014. Tilaus-toimitusketjun hallinta: digitalisoitumisen haasteet. 8. uudistettu painos. Vantaa, Jouni Sakki.

Salminen, A. 2011. Mikä kirjallisuuskatsaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin. Vaasa, Vaasan yliopisto

Scholz-Reiter, B., Heger, J., Meinecke, C. & Bergmann, J. 2012. Integration of demand forecasts in ABC-XYZ analysis: practical investigation at an industrial company. *International journal of productivity and performance management*. Vol. 61, nro. 4, s. 445–451.

Syntetos, A. & Boylan, J. 2005. The accuracy of intermittent demand estimates. *International Journal of Forecasting*. Vol. 21, nro. 2, s. 303-314.

Syntetos, A., Babai, M. Z. & Altay, N. 2012. On the demand distributions of spare parts. *International journal of production research*. Vol. 50, nro. 8, s. 2101–2117.

Syntetos, A., Boylan, J. & Teunter, R. 2011. Classification for Forecasting and Inventory. *Foresight: The International Journal of Applied Forecasting*. Vol. 20, s. 12-17.

Teixeira, C., Lopes, I. & Figueiredo, M. 2018. Classification methodology for spare parts management combining maintenance and logistics perspectives. *Journal of Management Analytics*. Vol. 5, nro. 2, s. 116–135.

Tilastokeskus. 2022. Käsitteet – Parametri [verkkodokumentti]. [Viitattu 4.4.2022] Saatavilla: <https://www.stat.fi/meta/kas/parametri.html#:~:text=Parametri%20on%20tilastotieteess%C3%A4%20k%C3%A4yt%C3%B6ss%C3%A4%20olevan,parametri%20estimointi%20on%20yleens%C3%A4%20yksinkertaista>.

Turrini, L. & Meissner, J. 2019. Spare parts inventory management: New evidence from distribution fitting. *European journal of operational research*. Vol. 273, nro, 1, s. 118–130.

Van der Auweraer, S., Boute, R. N. & Syntetos, A.A., 2019. Forecasting spare part demand with installed base information: A review. *International Journal of Forecasting*. Vol. 35, nro. 1, s.181–196.

Van der Auweraer, S., Zhu, S. & Boute, R. N. 2021. The value of installed base information for spare part inventory control. *International Journal of Production Economics*. Vol. 239.

Vanichchinchai, A. 2014. Supply chain management, supply performance and total quality management: An organizational characteristic analysis. *International journal of organizational analysis*. Vol. 22, nro. 2, s. 126–148.

Vargas, C. A. G. & Cortés, M. E. 2017. Automobile spare-parts forecasting: A comparative study of time series methods. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*. Vol. 14, s. 3898-3912.

Virta. 2022. The global electric vehicle market overview in 2022: statistics & forecasts [verkkodokumentti]. [Viitattu 24.3.2022] Saatavilla: <https://www.virta.global/global-electric-vehicle-market>

Wagner, S. M., Jönke, R. & Eisingerich, A. B. 2012. A Strategic Framework for Spare Parts Logistics. *California management review*. Vol. 54, nro. 4, s. 69–92.

Wagner, S.M. & Lindemann, E. 2008. A Case Study-Based Analysis of Spare Parts Management in the Engineering Industry. *Production Planning & Control*. Vol. 19, nro. 4, s. 397-407.

Xu, H. & Rong, G. 2012. A Minimum Variance Control Theory Perspective on Supply Chain Lead Time Uncertainty. *Industrial & engineering chemistry research*. Vol. 51, nro. 27, s. 9275–9286.

Yadav, O. P. & Goel, P. S. 2008. Customer satisfaction driven quality improvement target planning for product development in automotive industry. *International journal of production economics*. Vol. 113, nro. 2, s. 997–1011.