Raideliikennekaluston kunnossapidossa käytettävien nimikkeiden luokittelu ja varmuusvarastointi

Mikko Soriola

Opinnäytetyö, ylempi AMK
Toukokuu 2023
Projektijohtaminen YAMK (teknologia)

Jyväskylän ammattikorkeakoulu
University of Applied Sciences

jamk

Kuvailulehti

Soriola, Mikko

Raideliikennekaluston kunnossapidossa käytettävien nimikkeiden luokittelu ja varmuusvarastointi

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2023, 87 sivua.

Projektijohtaminen tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö YAMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Opinnäytetyö toteutettiin raideliikennekaluston kunnossapitoon erikoistuneelle yritykselle: VR Fleetcarelle. Työn tavoitteena oli luokitella raideliikennekunnossapidossa käytettäviä nimikkeitä ja määrittää luokille optimaaliset varmuusvarastointimenetelmät. Työ koettiin erittäin relevantiksi, koska VR Fleetcarella on käynnissä laaja, koko organisaatiota koskeva toimintamallihanke, jonka yhteydessä otetaan käyttöön uusi toiminnanohjausjärjestelmä. Lisäksi nousseet inflaatio ja korkokustannukset ohjaavat yritystä parantamaan kustannustehokkuutta.

Opinnäytetyö toteutettiin tapaustutkimuksena kvantitatiivisten ja kvalitatiivisten menetelmien avulla. Kvantitatiivisista menetelmistä käytettiin data- ja ABC-analyysia ja kvalitatiivisista VED-analyysi, avoimet haastattelut ja keskustelu sekä työpajatoiminta. Menetelmien avulla määritetyille luokille asetettiin palvelutasot, joiden perusteella säädettiin kunkin luokan varmuusvarastotasoja.

Työssä lasketuista varmuusvarastoista laskettiin nimikekohtaiset tilauspisteet, jotta keskivarastonarvon ja palvelutason laskeminen simuloinnin avulla kyettiin toteuttamaan. Tilauspisteiden muodostamisessa hyödynnettiin sekä tasaista että trendin omaista kulutusta. Eri palvelutasojen ja kysyntämallien perusteella luotuja sekä nykyisiä järjestelmästä löytyville tilauspisteille suoritettiin simulaatio edellisen vuoden kulutustapahtumien perusteella.

Simuloinnin tuloksien perusteella ehdotettiin määritetyille luokille ohjaustapa. Ehdotettujen ohjaustapojen perusteella on mahdollista automatisoida 90 % aktiivisessa käytössä olevien nimikkeiden varmuusvarastolaskennasta. Loppujen nimikkeiden osalta työssä luotu laskenta toimii ostajien apuna ohjausarvojen validoinnissa.

Johtopäätöksinä voidaan todeta, että tulokset olivat käyttökelpoisia ja luotettavia. ABC- ja VED-analyysin yhdistelmä nimikkeiden luokittelussa olivat toisiaan tukevia, nostaen tärkeiksi muuten vähemmälle huomiolle jäänet nimikkeet. Ehdotettujen kehityskohteiden ja jatkotutkimuskohteiden avulla on mahdollista parantaa ja säätää nimikkeiden luokittelua sekä varmuusvarastointia.

Avainsanat (asiasanat)

VR Fleetcare, rautatiekaluston kunnossapito, varmuusvarastointi, nimikeluokittelu, ABC-analyysi, VED-analyysi, simulointi, moniluokkakategorisointi

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

-

jamk

Description

Soriola, Mikko

Spare part categorization and safety stock calculation methods in rolling stock maintenance

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2023, 87 pages.

Master's Degree Programme in Professional Project Management. Master´s thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The thesis was made to a company that has been specialized in the maintenance of rolling stock equipment: VR Fleetcare Ltd. The goal of the work was to classify items used in rolling stock maintenance and determine the optimal safety stock methods for defined classes. The work was very relevant, because VR Fleetcare is running a large operating model project concerning the entire organization, in connection with which a new enterprise resource planning system is being implemented. Recent interest hikes and inflation has forced company to minimize their capital bound in inventory.

The thesis was implemented as a case study using quantitative and qualitative methods. Simulation and ABC analysis were used as quantitative methods. VED analysis including open interviews and discussion, and workshop activities were used as qualitative methods. Service levels were set for the categories based on using the methods, based on which the safety stock levels of each category were calculated.

The safety stock levels calculated in the work were converted into spare part related re-order points so that the calculation of the average inventory value and the service level were able to carry out with simulation. In forming the order points, both steady and trend-specific demand were used. A simulation was carried out for order points created based on different service levels and demand models as well as existing ones found in the system, based on the previous year's demand actions.

Based on the results of the simulation, a method was proposed for the defined multicriteria classes. Based on the proposed methods, it is possible to automate 90% of the safety stock calculation for items in active use. For the rest items, the calculation created in the thesis helps buyers in validating the safety stock values.

The conclusion of thesis is that the results were usable and reliable. The combination of ABC and VED analysis in the classification of items supported each other, raising items that otherwise received less attention. With the help of the proposed development targets and further research targets, it is possible to improve and adjust the multicriteria classes and safety stocks.

Keywords/tags (subjects)

inventory management, safety stock, railway maintenance, product classification, ABC-analysis, VED-analysis, simulation, multicriteria categorization

Miscellaneous (Confidential information)

-

Sisältö

1 Johdanto ... 9
1.1 Tutkimuksen lähtökohdat ... 9
1.2 Toimintaympäristö ... 10
1.3 Rautatiekaluston kunnossapitoa Suomessa 160-vuoden ajan ... 11
2 Tutkimusasetelma ... 12
2.1 Tapaustutkimus ... 14
2.2 Tutkimusmenetelmät ... 14
2.3 Rajaukset ... 15
2.4 Tutkimuskysymykset ... 16
3 Nimikkeiden luokittelu ja kategorisointi ... 16
3.1 Kunnossapidossa käytettävien nimikkeiden luokittelu ... 16
3.2 ABC-analyysi ... 17
3.3 VED-analyysi ... 19
3.3.1 Nimikkeiden luokittelu kriittisyyskriteerien perusteella ... 19
3.3.2 Kriittisyyskriteeristön analysointi ... 21
3.4 Analyyttisen hierarkiaprosessin (AHP) käyttö ... 22
3.5 Moniluokkakategorisointi ... 26
4 Varmuusvarastointi ... 28
4.1 Varmuusvarastomenetelmät ... 28
4.2 Varmuusvarastojen palvelutasojen määrittäminen ... 31
5 Tutkimuksen toteutus ... 33
5.1 Nimikkeiden ABC-luokittelu ... 33
5.2 Nimikkeiden VED-analyysi ... 34
5.2.1 Kriittisyyskriteeristön luonti työpajojen avulla ... 35
5.2.2 Kriittisyyskriteeristö ... 36
5.2.3 Analyyttisen hierarkiaprosessin toteutus ... 41
5.3 Nimikkeiden luokittelu ... 42
5.4 Luokkakohtaisten varmuusvarastojen laskenta ... 43
5.4.1 Palvelutasojen määrittäminen ... 43
5.4.2 Varmuusvarastolaskenta ... 44
5.5 Simulointi ... 45
5.5.1 Simuloinnin suunnittelu ja toteutus ... 45
5.5.2 Palvelutason ja varastonarvon muutoksen vaikutuksien laskeminen ... 47

6 Tutkimustulokset ... 48
6.1 ABC-analyysi ... 49
6.2 VED-analyysi ... 50
6.2.1 Analyyttisen hierarkiaprosessin tulokset ... 50
6.2.2 VED-analyysin tulokset ... 52
6.2.3 Moniluokkakategorisointi ... 55
6.3 Varmuusvarastolaskennan ja simuloinnin tulokset ... 56
6.3.1 A-luokkien tulokset ... 57
6.3.2 B-luokkien tulokset ... 60
6.3.3 C-luokkien tulokset ... 63
6.4 Yhteenveto ... 66
6.5 Kehitysehdotukset ... 70
6.5.1 Luokitteluanalyysien kehittäminen ... 70
6.5.2 Varmuusvarastolaskentamenetelmien kehittäminen ... 71
6.6 Johtopäätökset ... 72
6.6.1 Nimikkeiden luokittelu ... 72
6.6.2 Varmuusvarastojen laskenta ja tilauspisteiksi konvertointi ... 73
6.6.3 Simulointi ... 74
7 Pohdinta ... 78
7.1 Työn tuloksien ja luotettavuuden arvioiminen ... 78
7.2 Jatkotutkimuskohteet ... 82
Lähteet ... 84
Liitteet ... 87
Liite 1. Kriittisyyskriteeristön selitteet ... 87

Kuviot

Kuvio 1. ABC-luokittelu ... 18
Kuvio 2. AHP hierarkia ja päätasonpainotukset ... 23
Kuvio 3. Oston luokittelukriteerien painoarvot ... 24
Kuvio 4. Kriittisyyslaskennan minimi- ja maksimiarvot ... 25
Kuvio 5. Simuloinnin logiikka ... 46
Kuvio 6. AHP-puu painoarvoineen ... 51
Kuvio 7. Kokonaiskriittisyyslaskennan jakauma ... 52

Kuvio 8. Simuloinnin tulokset, AV-luokka 57
Kuvio 9. Simuloinnin tulokset, AE-luokka..... 58
Kuvio 10. Simuloinnin tulokset, AD-luokka 59
Kuvio 11. A-luokan simuloinnin yhteenveto 60
Kuvio 12. Simuloinnin tulokset, BV-luokka..... 60
Kuvio 13. Simuloinnin tulokset, BE-luokka..... 61
Kuvio 14. Simuloinnin tulokset, BD-luokka 62
Kuvio 15. B-luokan simuloinnin yhteenveto 62
Kuvio 16. Simuloinnin tulokset, CV-luokka..... 63
Kuvio 17. Simuloinnin tulokset, CE-luokka..... 64
Kuvio 18. Simuloinnin tulokset, CD-luokka 65
Kuvio 19. C-luokan simuloinnin yhteenveto..... 65
Kuvio 20. Simuloinnin tulokset, kaikki luokat..... 66

Taulukot

Taulukko 1. Opinnäytetössä käytetty termistö selitteineen..... 8
Taulukko 2. Kriittisyysluokat ja VED-luokittelu..... 20
Taulukko 3. VED-kategorisoinnin riskitekijät..... 21
Taulukko 4. VED-kategorisoinnin pisteyttäminen 22
Taulukko 5. Pääkriteerien pisteytys..... 23
Taulukko 6. Oston kriteerien riippuvuusanalyysi 24
Taulukko 7. ABC-VED-analyysimatriisi 26
Taulukko 8. Varaosaryhmien käsittely..... 27
Taulukko 9. Palvelutasojen ja varmuuskertoimien suhde 29
Taulukko 10. ABC-VED -kategorisoinnin esitetyt palvelutasot..... 32
Taulukko 11. ABC-analyysissä käytetyt luokitteluvaihtoehdot 34
Taulukko 12. VED-analyysin kriteerit..... 37
Taulukko 13. VED-luokittelukriteerit, kalustotuotanto..... 39
Taulukko 14. VED-luokittelukriteerit, komponentit 40
Taulukko 15. ABC- ja VED-luokittelun matriisi 42
Taulukko 16. Toisen simulaation palvelutasot..... 44
Taulukko 17. Nimikkeiden ABC-luokittelu (1)..... 49
Taulukko 18. Nimikkeiden ABC-luokittelu (2)..... 50

Taulukko 19. VED-analyysin tulokset 51
Taulukko 20. VED-analyysin kriteerien nimikeosuudet 53
Taulukko 21. Merkittävimpien komponenttien osuudet budjetista 54
Taulukko 22. Moniluokkamatriisi nimikemäärien allokaatiot 55
Taulukko 23. Moniluokkamatriisi liikevaihdon allokaatio 56
Taulukko 24. Simuloinnin tuloksien analysointi 68
Taulukko 25. Ehdotettujen ohjaustapojen nimikeosuudet 69

Taulukko 1. Opinnäytetössä käytetty termistö selitteineen

Termi	Selite
ABC-analyysi	Pareton 80/20-sääntöön pohjautuva kvantitatiivinen analysointimenetelmä
AHP	Analysointimenetelmä eri kriteerien painoarvojen määrittämiseksi ja laskemiseksi. Analyyttisessä hierarkiaprosessissa (AHP) erikseen määritetyille kriteereille annetaan painoarvot, jonka perusteella lasketaan nimikkeen kokonaiskriittisyysarvo.
BOM	Bill of Material – Komponentin rakenne. Esittää mitä varaosia komponentin rakenteelle kuuluu.
CSV-tiedosto (Comma-Separated Values)	Tietokantapalvelusta ladatun datatiedoston tallennus muoto. Mahdollistaa jatkokäsittelyn Excelissä.
Excel	Microsoftin luoma taulukkolaskentaohjelma, jonka avulla suoritettiin valtaosa data-analyyseistä.
Hankintayksikkö	Toimipiste / varasto, jonne toimittaja toimittaa tilatut tavarat
Komponentti	Huollettava osa
Lead time	Toimittajan lupaama nimikkeen toimitusaika
MRP	Material Resource Planning. Suunnittelee materiaalien ostamista tarpeita vasten.
MoTo	Modernit toimintamallit. Yrityksen kärkihanke.
PowerBi	Microsoftin visualisointityökalu, jonka avulla kyetään luomaan datalähtöisiä raportteja.
Python	Korkean tason ohjelmointikieli, jota data scientistit usein käyttävät
Snowflake	Tietokantapalvelu, jossa toiminnanohjausjärjestelmästä saatu data säilötään.
SQL	Ohjelmointikieli, jonka avulla kyetään suorittamaan hakuja tietokantaan
Tilauspiste	Varastotaso, jonka alittuessa järjestelmä luo impulssin ostajalle ostotilauksen luomiseksi.
Toimitusvarmuus	Luku, joka kertoo toimittajan ajallaan toimittamien toimituksien osuuden
Varaosa	Kappale, joka voidaan vaihtaa suoraan kalustoon tai komponenttiin. Ei kunnostettava osa.
VED-analyysi	Nimikkeiden luokittelu tuotantokriittisyyden näkökulmasta

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen lähtökohdat

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia raideliikennekalustoa huoltavan yrityksen; VR Fleetcaren, kunnossapidossa käytettäviä nimikkeitä ja kategorisoida ne monikriteerisen matriisin avulla. Määritetyille moniluokkakategorioille suoritettiin analyysi varmuusvarastointiin liittyen. Luokittelun jalostaminen ja varmuusvarastointimenetelmien arviointi oli relevanttia, koska VR Fleetcarella on käynnissä laaja projekti (MoTo – modernit toimintamallit) toimintamallien yhtenäistämiseksi. Projektin yhteydessä otetaan käyttöön uusi toiminnanohjausjärjestelmä sekä kuvataan yrityksen prosessit holistisesti. Pitkän historian aikana monelle toimipisteelle on muodostunut omat prosessit ja toimintatavat, jotka eivät välttämättä tue nykyistä strategiaa ja toimintaympäristöä. Uuden toiminnanohjausjärjestelmän käyttöönotossa koko varastonhallinta- ja täydennyslogiikka muuttuu, kun siirrytään reaktiivisesta tilauspisteohjautuvuudesta proaktiiviseen tarvelaskentaan, jonka moottorina toimii MRP (Material Resource Planning). Tämän lisäksi emoyhtiö VR:llä on käynnissä kaluston uudistamiseksi monia eri korvaamishankkeita, joiden takia nimikkeistö elää tulevien vuosien aikana merkittävästi. Vanhojen kalustojen poistuessa ja uusien tullessa tilalle, tarvitsee määritellä periaatteet nimikkeiden luokittelulle ja varmuusvarastoinnille.

Nimikkeiden kategorisointi suoritettiin yleisesti alalla käytettyjä menetelmiä hyödyntäen. Nimikkeiden luokittelu toteutettiin ABC- ja VED-analyysin avulla. Kategorisoinnin jälkeen eri luokille pyrittiin löytämään paras mahdollinen tapa varmuusvaraston määrittämiseen palvelutasoa säätämällä. Lasketuista varmuusvarastoista luotiin tilauspisteet simulointia varten lisäämällä niihin toimitusajan kysyntä. Työssä arvioitiin tilauspisteiden palvelutasoa nimikesaldojen riittävyyden avulla simulointia hyödyntäen. Simuloinnin yhteydessä laskettiin keskimääräinen varastonarvo kullekin tilauspisteelle. Simuloinnin tuloksia (palvelutaso ja keskivarastonarvo) verrattiin nykyisiin toiminnanohjausjärjestelmästä löytyviin tilauspisteisiin, jonka perusteella oli mahdollista suhteuttaa tuloksia nykyiseen toimintaan.

Opinnäytetyö tulee toimimaan seuraavan toiminnanohjausjärjestelmän käyttöönoton tukena varmuusvarastotarkasteluiden yhteydessä. Työn tavoitteena on luoda toimiva työkalu Microsoft PowerBi -työtilaan ostajien avuksi varmuusvarastotasojen tarkkailuun ja validointiin tarvelaskennan

tueksi. Työssä luodun laskennan avulla on mahdollista automatisoida eri luokkien varmuusvarastotasojen määrittäminen. Lisäksi ABC- ja VED-analyysin laskenta tullaan automatisoimaan Snowflakeen, jotta luokkien määrittely on dynaamista.

1.2 Toimintaympäristö

Alati muuttuvassa maailmassa tavaroiden saatavuuteen ja varastojen optimointiin kiinnitetään entistä enemmän huomiota. Korkojen nousut ovat pakottaneet yrityksien tarkastelemaan kriittisesti varastoon sitoutunutta pääomaansa. Varmuusvarastoihin sitoutunut pääoma tahdotaan saada sijoitettua tuottavimpiin omaisuusluokkiin, joten yritysten intressinä on minimoida varastointiin liittyvät kustannukset tinkimättä liikaa saatavuudesta. Tämä on ollut yritysten prioriteettilistalla korkeimmalla, ennen kuin CoVid19-pandemia sekoitti maailman toimitusketjut ja tavaroiden saatavuus heikkeni merkittävästi. Erityisesti puolijohteiden ja elektroniikkakomponenttien toimitusajat moninkertaistuivat. (Singh, Kumar, Panchal & Tiwari, 2020, 2.) Pandemialla oli vaikutusta myös raideliikenteeseen, jossa esimerkiksi alihankinnassa kunnostettavien komponenttien kunnostuskierto kasvoi moninkertaiseksi tai jopa keskeytyi viivästyneiden varaosatoimitusten myötä. Kun maailma alkoi toipua CoVidin aiheuttamasta häiriöstä, Venäjä aloitti hyökkäyssodan Ukrainaa vastaan, joka ajoi Euroopan energiakriisiin. Energian äkillinen kallistuminen ja yleisesti kasvava inflaatio vaikuttavat toimitusketjuihin ja valmistuksessa käytettävien materiaalien hintatasoihin. Kun materiaalit maksavat enemmän, niihin sitoutuu enemmän pääomia ja yritysten kustannukset kasvavat. (Prohorovs 2022, 3.)

Varmuusvarastojen tarkoituksena on toimia puskurina kysynnän ja toimitusajan ennakoimattomissa muutoksissa tai häiriöissä. Lähimenneisyydessä koettujen kriisien jälkeen yritykset ovat alkaneet tuomaan toimitusketjujen alkupäätä lähemmäs käyttökohdemaata, jotta toimitusketjujen riskejä kyetään hallitsemaan paremmin. Saatavuusongelmat ovat näkyneet yritysten varmuusvarastotasojen kasvuna, kun on pyritty vähentämään toimitusajan tuottamaa riskiä. Tavaroiden turha ylivarastointi on omiaan vahvistamaan Forrester-efektiä, jossa kysyntä näyttäytyy liian suurena toimitusketjun alkupäässä. Kun kysyntä ei kasva ja varmuusvarastot on täytetty, tuottajalla on käytössään ylimitoitettu tuotantokapasiteetti, jota joudutaan ajamaan alas. Tuotantojen alasajojen vuoksi toimitusajat kasvavat, joka taas vaikuttaa varmuusvarastotasoihin. (Nguyen, Adulyasak & Landry 2019, 8.)

Varmuusvarastotasoja määrittäessä tulee ottaa huomioon monta eri muuttujaa, toisiin voidaan vaikuttaa itse, toisiin taas ei. Tässä opinnäytetyössä tullaan keskittymään kysynnässä tapahtuviin muutoksiin, nimikkeen tuotantokriittisyyteen ja myynnin perusteella luokiteltuihin kategorioihin sekä näiden vaikutuksiin varmuusvarastotasoissa, jotta eri kysyntäkategorioiden varastointi olisi mahdollisimman optimaalista tuotantoa häiritsemättä. Kategorisoinnin perusteella nimikkeet sijoitettiin luokittelumatriisiin, joka toimi eri varmuusvarastomenetelmien määrittelyn pohjana.

1.3 Rautatiekaluston kunnossapitoa Suomessa 160-vuoden ajan

VR Fleetcare on VR Group Oyj:n tytäryhtiö, joka harjoittaa raideliikenne- ja sähköbussikaluston kunnossapitoa Suomessa. Kunnossapitotoiminnalla on pitkät perinteet, sillä toimintaa on harjoitettu jo 160 vuoden ajan. VR Fleetcare on toiminut itsenäisenä osakeyhtiönä vuodesta 2019 lähtien, aiemmin yritys oli osa VR:ää toimien sisäisenä funktiona huoltaessaan ainoastaan VR:n kalustoa.

Yrityksen strategia perustuu viiden (5) menestystekijän ympärille, jotka ovat: taloudellinen menestys, vastuullinen yrityskulttuuri, asiakaskokemuksen parantaminen, modernit toimintamallit ja kasvu. Kaikki menestystekijät ovat toisistaan riippuvaisia ja tukevat toisiaan. Taloudellista menestystä haetaan pitkäjänteisellä kehityksellä modernien toimintamallien ja digitalisoinnin avulla. Kasvua pyritään saamaan muusta raideliikenteestä sekä tätä tukevasta toiminnasta, joka taas linkittyy vahvasti asiakaskokemukseen. Vastuulliseen yrityskulttuuriin kuuluu laadukkaat työskentelytavat, jotka takaava matkustajien ja ympäristön turvallisuuden. Menestystekijöiden kehittäminen on jatkuvaa, mutta erityisesti näiden kehittämiseen panostetaan käynnissä olevassa kärkihankkeessa MoTossa. (Visio ja strategia – yhteisellä matkalla maailman parhaaksi, 2022.)

VR Fleetcare on jaettu neljään (4) palvelukategoriaan:

- ModernCareen, jonka pääliiketoimintaa on kaluston elinkaaripidennykset, modernisointi ja järjestelmäpäivitykset.
- SmartCareen, joka keskittyy älykkääseen kunnossapitoon digitalisaation avulla. Esimerkkinä komponenttien anturointi kuntoon perustuvassa kunnossapidossa, jotta huolto on mahdollista toteuttaa oikea-aikaisesti.
- ComponentCareen, joka on keskittynyt komponenttien kunnossapitoon.
- AssetCareen, joka on toiminnaltaan suurinta keskittyessään kaluston kunnossapitoon, elinkaarihallintaan, konsultointiin ja analytiikkaan.

VR Fleetcaren suorittama kunnossapito keskittyy pääosin emoyhtiön lähi- ja kaukoliikenne- sekä vetokalustoon. Kunnostettaviin kalustoyksilöihin lukeutuvat: sähkömoottorilliset Sm2 ja Sm4 lähijunat, sähkömoottorilliset Sm3 ja Sm6 kaukoliikenne Pendolinot, IC- ja ICS-matkustajavaunut, sähköveturit Sr1, Sr2 ja Sr3 sekä dieselveturit Dv12, Dr14, Dr16 ja uusin Stadlerin valmistama Dr19. Tämän lisäksi VR Fleetcarella on ulkoisia asiakkuuksia, joiden kalusto kuuluu yrityksen huoltojen piiriin. Suurimpana ulkoisena asiakkaana on HSL (Helsingin seudun liikenne), jonka Sm5 (Flirt) lähijunien kunnossapito aloitettiin vuonna 2021. (Meistä, 2022.)

Kaluston kunnossapitoon liittyy myös komponenttien huoltaminen. Tätä varten yrityksellä on oma liiketoimintonsa; Komponenttipalvelut, jonka toimipisteet sijaitsevat Helsingissä ja Pieksämäellä. Komponenttien kunnossapidossa tärkeää on suunnitelmallisuus ja mahdollisimman hyvä näkymä tulevaisuuteen, koska käytettävillä varaosilla on keskimääräisesti pitkät toimitusajat (3 – 12kk). Komponenttipalveluiden merkittävimpiä ulkoisia projekteja on Viron Flirt-kaluston telien huolto Pieksämäellä. (VR FleetCare huolehtii raidekalustosta, 2022.)

Yrityksellä on kokemusta myös ulkomaisista projekteista. Tähän mennessä suurin ulkomainen projekti on ollut Vy Togille tehty kahdeksan (8) makuuvaunun modernisointi, jossa parannettiin asiakkaiden matkustusmukavuutta ja turvallisuutta sekä uudistettiin vaunujen ulkoinen ilme asiakkaan brändi-ilmeen mukaiseksi. Erityisesti tässä projektissa toteutettiin strategiaa vastuullisuuden osalta, kun junavaunut siirrettiin Saksasta ja Norjasta raiteita pitkin Suomeen. Muun Euroopan raideleveyksien ollessa Suomen raiteita kapeampia, tuotiin junavaunut tavaravaunun kyydissä Ouluun. (Norjasta – Vy Togin 8 makuuvaunun modernisointi, 2021.)

2 Tutkimusasetelma

Kanasen (2015, 85.) mukaan tutkimusasetelmassa opinnäytetyön kirjoittaja määrittää, mitä hän aikoo tutkia työssään ja miten se tullaan toteuttamaan. Tutkimusasetelma sisältää työn lähtökohtien kannalta merkittävät asiat, kuten: tutkimusongelman, tutkimuskysymyksen ja tutkimusmenetelmät, joita tutkimuksessa tullaan hyödyntämään.

2.1 Työn alkukartoitus

Työhön liittyen Pitkänen (2019) on aikaisemmin toteuttanut lopputyön toimeksiantajayritykselle, joka kohdistui nimikkeiden luokitteluun ABC-analyysin ja kriittisyyden mukaan sekä palvelu- ja varastotasojen simulointiin. Pitkäsen (2019) määrittämille luokille pyrittiin löytämään paras ennustemenetelmä, jonka avulla tilauspisteiden optimointi oli mahdollista suorittaa. Vuonna 2019 käytössä oli vanha tietokanta ja varikkorakenne, jotka ovat muuttuneet vuoteen 2023 tullessa. Muuttuneiden asioiden takia nimikeluokittelua oli relevanttia päivittää ja jalostaa. Pitkäsen (2019) tutkimus keskittyi pintapuoliseen nimikkeiden analysointiin, kun tässä työssä nimikkeiden luokitteluun syvennytään tarkemmin ja varmuusvarastoja pyritään optimoimaan luokkakohtaisesti.

Työtä varten suoritettiin alkukartoitus saman aihepiiriin tutkimuksista. Alkukartoituksen tiedonhankinnassa hyödynnettiin Google Scholar:ia ja oppilaitoksen verkkokirjastoa Janet Finnaa, joiden avulla löydettiin työssä hyödynnetyt tutkimusjulkaisut. Kunnossapidossa käytettävien nimikkeiden luokittelu ABC- ja VED-analyysin avulla on ollut melko yleinen ja hyväksi havaittu tapa kategorisoida nimikkeitä. Osa tutkimuksista on keskittynyt ainoastaan nimikkeiden luokitteluun (ks. Piiroinen, 2021), kun taas osassa on luokittelun perusteella otettu kantaa myös varastonohjaukseen (ks. Ajomaa, 2020; Orelma, 2022). Toisissa tutkimuksissa pyrittiin löytämään moniluokkaisille kategorioille optimaalisia tilauseriä ja varmuusvarastoja (ks. Pawłowska-Kalinowska, 2017), toisissa keskityttiin ainoastaan tärkeimpään kategoriaan ja tämän optimointiin (ks. Kibria, Khan, Malek, & Biswas 2019). Tutkittavan tapauksen luonteen mukaan varmuusvarastojen tarkastelun yhteyteen liitettiin optimaalisen tilauseräkoon määrittäminen. Tätä on hyvä tutkia yhdessä varmuusvarastojen määrittämisen kanssa, koska sillä on vaikutusta kokonaisvarastoon (ks. Kania, Sipilä, Misitano, Miettinen & Lehtimäki, 2022). Tämä on liki välttämätöntä tapauksissa, joissa ei ole käytössä MRP:tä, jonka avulla kyetään täyttämään suunnitellut tarpeet. Tässä työssä ei keskitytty ostoeräkoon vaikutusten tutkimiseen, koska yritykselle on tulossa uuteen toiminnanohjausjärjestelmään MRP.

Saman tutkimusalueen töissä analysointimenetelminä käytettiin yleisimmin kvantitatiivisia menetelmiä (ks. Piiroinen, 2021; Ajomaa, 2020; Yang, Wang, Fan, & Mosleh 2021), mutta osassa tutkimuksissa näiden lisäksi hyödynnettiin myös kvalitatiivisia menetelmiä, esimerkiksi haastatteluja ja työpajoja, parhaan mahdollisen lopputuloksen saavuttamiseksi. Molempien menetelmien käyttö

oli runsasta tapauksissa, joissa yhtenä analysointimenetelmänä oli VED-analyysi (ks. Muniz, Conceição, Rodrigues, Almeida & Affonso, 2020). VED-analyysi sisältää sekä kvantitatiivisia että kvalitatiivisia menetelmiä.

2.2 Tapaustutkimus

Tapaustutkimus voi olla luonteeltaan hyvinkin monenlainen, mutta yleensä tapaus mielletään jollakin tavoin omaksi kokonaisuudekseen tai yksikökseen. Näin rajatuissa tutkimuksissa pyritään tuottamaan valitusta tapauksesta yksityiskohtaista ja intensiivistä tietoa. Tapaustutkimusanalyysi eroaa kyselytutkimuksesta siten, että se ei pyri yleistettävyyteen samoin keinoin, vaan tarkoituksena on pyrkiä ymmärtämään syvällisesti yksittäisiä tapauksia niiden erityisessä kontekstissa. Tapaustutkimuksen keinojen avulla pyritään selvittämään tutkittavan ilmiön dynamiikkaa, mekaniikkaa, prosesseja ja sisäisiä lainalaisuuksia todistaen näiden olevan osa laajempaa sosiokulttuurista merkitystä ja siten jonkinlaista yleistettävyyttä ja siirrettävyyttä. (Tutkimusstrategiat: Tapaustutkimus. 2015.)

Tapaustutkimuksen piirteisiin kuuluu, että tutkimus suoritetaan yhteydessä ympäristöön, aineistoa kerätään useita menetelmiä hyödyntäen ja tutkija toimii ulkopuolisena havainnoijana. Opinnäytetyön tutkimustyypiksi valikoitui tapaustutkimus, koska tutkimusasetelma noudatti suurilta osin tätä. Kananen (2015, 76.) on määrittänyt tapaustutkimuksen piirteet seuraavasti:

- yksittäinen tapaus
- tutkimuskohteena yksilö, ryhmä tai yhteisö
- aineistoa kerätään usein eri menetelmien avulla
- kiinnostuksen kohteena on usein prosessi

Seuraavassa kappaleessa käsitellään työssä käytetyt tutkimusmenetelmät.

2.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusongelman ratkaisuun käytetään aina jotakin tutkimusmenetelmää. Tutkimusmenetelmien perusteet sekä aineistonkeruu- ja analysointimenetelmät esitetään tutkimusasetelmassa. Yleisesti käytettävät tutkimusmenetelmät voidaan jakaa karkeasti laadullisiin (kvalitatiivisiin) ja määrällisiin

(kvantitatiivisiin) menetelmiin. Kun tutkimusongelma pyritään ratkaisemaan eri menetelmien yhdistelmällä, kutsutaan tätä lähestymistavaksi tai tutkimusotteeksi. Pelkkä tutkimusotteen valinta ei riitä, vaan tämä tulee perustella tehdessä tieteellistä työtä. Lisäksi perustelujen täytyy tukea tutkittavaa ilmiötä ja tutkimusongelmaa, jotta tutkimuksen eettisyys ja luotettavuus saavutetaan. (Kananen 2015, 64.)

Kvantitatiivisella menetelmällä tarkoitetaan määrällistä tutkimusta. Tutkimusotteen teorian ja käytännön virta noudattaa deduktiota, teoriasta käytäntöön. Kvantitatiivisen tutkimusotteen lopputuotteeksi saadaan dataa, jota voidaan analysoida ja jonka avulla tutkimusongelma kyetään ratkaisemaan. (Kananen 2015, 66.) Määrällisistä menetelmistä käytössä on data- ja ABC-analyysi. Data-analyysi toteutettiin Python - ja SQL-ohjelmointikielen koodauksien avulla sekä näiden export-datoilla Excelissä. Koodit luotiin yrityksen data scientistin toimesta.

Laadullisista menetelmistä käytössä ovat avoimet haastattelut ja keskustelut sekä työpajat, joiden avulla pyritään saamaan määritettyä mahdollisimman paljon nimikkeitä oikein VED-analyysin avulla. Laadullisessa tutkimusotteessa periaatteena toimii: käytännöstä teoriaan (induktio). Kvalitatiivisten menetelmien lopputuotoksina saadaan dataa (tekstiä), jota voidaan analysoida ongelman ratkaisemiseksi. (Kananen 2015, 66.)

Pelkällä määrällisellä tutkimuksella ei päästäisi yhtä hyvään lopputulokseen, vaan tueksi tarvitaan laadullisia menetelmiä. Myöskään pelkällä laadullisella menetelmällä ei saavutettaisi parasta mahdollista lopputulosta, koska haastateltavien tietopohjat saattavat poiketa huomattavasti toisistaan tai sitten määrittelyyn tulisi liian monta näkökulmaa eikä tutkimusta kyettäisi kohdistamaan tarkasti. (Eriksson & Koistinen, 2014, 30–31.) Seuraavassa alaluvussa käsitellään työn rajaukset, menetelmien tarkemmat valintakriteerit ja tutkimuksen luotettavuutta.

2.4 Rajaukset

Työ rajattiin koskemaan vetureihin liittyviin nimikkeisiin, joiden osuus kaikista nimikkeistä on noin 20 % ja aktiivisesti käytössä olevista noin 40 %. Veturien komponentit ja varaosat kuvaavat hyvin koko massaa, joten sen kattavuuden uskotaan olevan riittävä tutkimuksen luotettavuuden näkökulmasta. Työssä käsiteltävä nimikemassa on tietyn ajanhetken otos, joten uusia analyyseja varten tulee tiedot ja nimikkeistö päivittää.

Työ rajataan koskemaan kokonaiskulutusta, jonka avulla kyetään määrittämään hankintayksikön varmuusvarastotaso, joka kuvaa organisaatiotasolla tarvittavan varmuusvaraston. Työssä keskitytään hankintayksiköiden varmuusvarastotasojen optimointiin, joten tuotantoyksiköiden varmuusvarastotasojen tarkastelu jää tutkimuksen ulkopuolelle. Varmuusvarastojen sijainnin vaikutuksen tarkastelusta kirjataan työn jatkokehitysehdotuksiin oma aktiviteettinsa.

Opinnäytetyössä ei keskitytä hankintaerien optimointiin tai kokoihin ja näiden vaikutukseen kokonaisvarastonarvoon, koska uusi toiminnanohjausjärjestelmä tukeutuu materiaalisuunnittelussa proaktiiviseen MRP:hen. MRP ajoittaa tilaukset siten, että varmuusvarasto säilyy koko ajan varastossa saatavilla ja tarpeet täytetään saapuvilla erillä sekä varastossa olevilla määrillä.

Varmuusvarasto- ja palvelutasotarkastelu suoritetaan ainoastaan nimikkeisiin, joilla on ollut kulutustapahtumia viimeisen vuoden aikana. Täten D-luokka, joka sisältää nimikkeet, joilla ei ole ollut kulutusta viimeiseen vuoteen, rajataan tarkastelujen ulkopuolelle. Tämän luokan varastointimenetelmien määrittämisestä on kirjattu kehityskohteisiin jatkotutkimuskohde.

2.5 Tutkimuskysymykset

Tutkimuksen keskittyessä kunnossapidossa käytettävien nimikkeiden kategorisointiin ja varmuusvarastoihin, tulee tutkimuskysymystenkin tukea näitä:

1. Miten kunnossapidossa käytettäviä nimikkeitä tulisi luokitella, jotta kyettäisiin luomaan kategoriat, jotka huomioivat myös tuotantokriittisyyden taloudellisuuden lisäksi?
2. Miten eri kategorioiden varmuusvarastoja tulisi ohjata, jotta varastoon sitoutunut pääoma kyetään optimoimaan palvelutaso säilyttäen?

3 Nimikkeiden luokittelu ja kategorisointi

3.1 Kunnossapidossa käytettävien nimikkeiden luokittelu

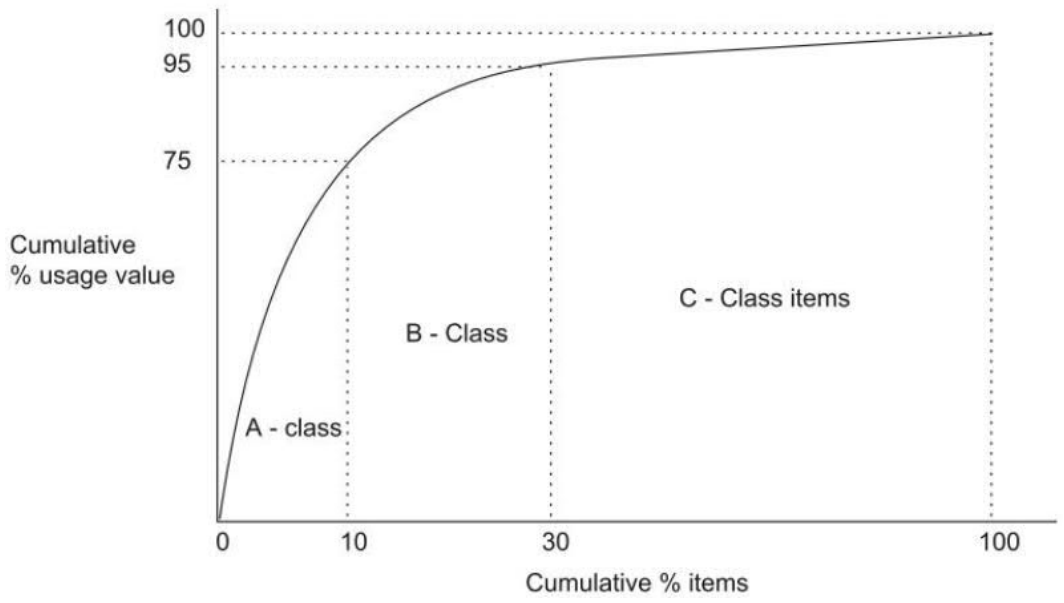
Pawłowska-Kalinowskan (2017, 452.) mukaan kaluston kunnossapidossa kaikkia osia ei voida ohjata samalla tavalla, koska niiden kriittisyys vaihtelee. Kriittisyyttä voidaan tarkastella monesta eri näkökulmasta (esim. talous, tuotanto tai volyymi), mutta vain yhdestä näkökulmasta tarkastelta-

essa lopputulos ei yleensä ole toivottu. Jos keskitytään ainoastaan optimoimaan sitoutunutta pääomaa, saattaa tuotannollisuus kärsiä, kun joidenkin halvempien osien varmuusvarastotasoja ei ole osattu huomioida. Kunnostettavat komponentit saattavat sisältää halpoja, mutta tuotantokriittisiä varaosia, joiden ohjaukseen tulee kiinnittää huomiota, koska näiden puuttuminen pysäyttää tuotannon. Toisaalta, jos asiaa tarkastellaan tuotannon ja volyymin näkökulmasta, varmuusvarastot saattavat kasvaa liiaksi, koska saatavuutta pyritään painottamaan ylimääräisillä varmuusvarastoilla ilman sopivaa luokittelua.

Kunnossapidossa käytettäviä nimikkeitä voidaan kategorisoida monella eri tavalla. Kategorisoinnissa voidaan hyödyntää joko yhtä tai useampaa luokittelumenetelmää. Yleisimmin käytetty on nimikkeen hinnan tai liikevaihdon perusteella suoritettu ABC-luokittelu Pareton periaatteen mukaisesti, jota varioidaan toimialan mukaan. Usein kunnossapidossa käytettävien osien osalta luokittelussa hyödynnetään sekä kvantitatiivisen että kvalitatiivisen menetelmän yhdistelmää. Kvantitatiivisista menetelmistä useimmiten hyödynnetään ABC-analyysia ja kvalitatiivisista menetelmistä VED-analyysia. (Muniz & muut 2020, 41–42.)

3.2 ABC-analyysi

ABC-analyysin perustana toimii italialaisen yhteiskuntatieteilijän Vilfredo Pareton (1848–1923) luoma filosofia, jota hyödynnetään laajasti liike-elämässä vielä tänä päivänäkin. Filosofian tarkoituksena on löytää liiketoiminnassa se merkittävä osa joukosta, johon suurin huomio kannattaa kohdistaa, jotta kyetään maksimoimaan tehtyjen toimien vaikutus. Pareto on esittänyt teorian, jonka perusteella 20 % syistä aiheuttaa 80 % seurauksista missä tahansa ilmiössä, tätä kutsutaan 20/80-säännöksi (Vrat 2014, 40). Yleisesti analysoitavat asiat jaetaan kolmeen (3) luokkaan: A-, B- ja C-luokka. Usein luokittelussa käytetään allokaatiota, jossa A-luokka kattaa 80 % tapahtumista, B-luokka seuraavat 15 % ja C-luokka loput 5 %. Luokkarajojen määrittelyssä tulee muistaa, että Pareton periaatteen mukaisia allokaatiota ei yleensä voida noudattaa täysin tarkasti, vaan sitä täytyy soveltaa tutkittavan ilmiön mukaan. Soveltamisesta esimerkkinä: erikseen määritetty raja, jonka nimikkeiden vuosittaiset myynnit ylittäessä kuuluvat automaattisesti A-luokkaan, riippumatta kumuloituneesta vaikuttavuusosuudesta. Vrat (2014, 40–41.) esittää tutkimuksessaan ABC-jaottelun kuvion 1 mukaan.



Kuvio 1. ABC-luokittelu (Vrat 2014, 41.)

Luokkien allokaatiot ovat seuraavat: A-luokka sisältää 10 % nimikkeistä 75 % vaikuttavuudella, B-luokka seuraavat 20 % vaikuttavuuden ollessa yhteensä 95 % ja C-luokkaan kuuluvat loput 70 % nimikkeistä 5 % vaikuttavuudella. Vrat (2014) esittämä luokittelu saattaa kuvata paremmin todellisuutta kuin puhdas 20/80-sääntö, kuten Pawłowska-Kalinowskankin (2017, 457.) tutkimuksen tuloksista on huomattavissa: A-luokan vaatima 80 % vaikutuksista päivittyä jo 7 % osuudella nimikkeistä. Ei siis ole lainkaan poikkeuksellista, että luokkien nimikemassa poikkeaa Pareton periaatteesta.

Nimikkeiden ABC-luokittelu toteutetaan yleisimmin kaavan 1 avulla. Kaavan avulla on mahdollista määrittää yksittäisen nimikkeen myynnin osuus kokonaismyynnistä.

$$Nimikkeen\ osuus\ kokonaismyynnistä = \frac{Nimikkeen\ myynti\ ajanjaksossa}{Nimikemassan\ myynti\ ajanjaksossa} * 100 \qquad (1)$$

Laskennan jälkeen tutkittavasta joukosta on tiedossa jokaisen nimikkeen prosentuaalinen osuus kokonaisuudesta. Nimikkeiden liikevaihdollisia prosenttiosuuksia kyetään hyödyntämään ABC-luokittelussa, kun määritetään luokkien rajoja kumuloitujen osuuksien perusteella. (Vrat 2014, 42.)

Joissakin tapauksissa luokkajako toimii sellaisenaan, mutta toisissa tapauksissa luokittelua on jalostettava. Kibria ja muut (2019, 825.) jaottelivat tutkimuksessaan nimikkeistön eri ABC-luokkiin kokonaiskustannuksien perusteella, mutta tämän lisäksi luokittelua jalostettiin vielä kategorisoimalla nimikkeet kiertäviin ja ei-kiertäviin nimikkeisiin. Ei-kiertävien luokka jaoteltiin edelleen kolmeen (3) kategoriaan: kriittiset, nollasaldoiset ja kiertämättömät. Kriittisten ei-kiertävien luokkaan kuuluivat pitkän toimitusajan, korkeiden kustannuksien ja toiminnan kannalta välttämättömät nimikkeet.

3.3 VED-analyysi

VED-analyysin tarkoituksena on jaotella varastoitavat nimikkeet kolmeen (3) kategoriaan helpottamaan nimikemassan analysointia sekä toimimaan päätöksenteon tukena. Tässä tutkimuksessa VED-analyysin avulla pyritään luokittelemaan nimikkeistö tuotantokriittisyyden mukaan. Yleensä käytetään kolmea (3) kategoriaa: Elintärkeät (Vital), välttämättömät (essential) ja suotavat (desirable). Elintärkeiden nimikkeiden puuttuminen aiheuttaa suuret tappiot, välttämättömien puuttuminen keskitason tappioita ja suotavien puuttuminen aiheuttaa vähäisiä keskeytyksiä tuotannossa. (Muniz & muut 2020, 43.)

3.3.1 Nimikkeiden luokittelu kriittisyyskriteerien perusteella

Usein VED-analyysin suorittaminen yrityksessä on haastavaa, koska kaikkia tietoja ei voida hakea suoraan toiminnanohjausjärjestelmistä, vaan apuna on hyödynnettävä eri toimintojen asiantuntijoita. Muniz ja muut (2020, 48–50.) kategorisoivat nimikkeistöä kolmen (3) funktion avulla: tuotanto (Production), kunnossapito (Maintenance) ja osto (Supply). Näiden kolmen (3) toiminnon avulla kyettiin muodostamaan kriittisyyskriteeristö, jota hyödyntäen VED-analyysin luokittelu oli mahdollista toteuttaa. Kriteeristö on esitetty alla taulukossa 2.

Taulukko 2. Kriittisyysluokat ja VED-luokittelu (Muniz & muut 2020, 52.)

Criticality criteria	Categories Vital	Essential	Desirable
Production			
Internal safety and environmental damage	Irreparable	Repairable	None
Ensuring safety	Potential fatality	Potential for serious injuries	Potential for minor injuries
Production failure (downtime)	>50 h	≤50 h	None
Equipment availability	>95%	≥90% and ≤95%	<90%
Loss of product quality	>5%	≤5%	None
Criticality of the function to be performed	Equipment does not work	Works with restrictions	Works normally
Shift plan	None	One process	More than one process
Maintenance			
Machine priority	Productive restriction > 10%	Productive restriction ≤ 10%	No productive restriction
Tailor-made aspect	Own design	Supplier design	Item without drawing
Spare parts reliability	Unpredictable failure	Predictable failure	No need for predictability of failure
Supply			
Trading time	>45 days	≥15 days and ≤45 days	<15 days
Lead time	≥4 months	>1 month and <4 months	≤1 month
Price	>US$ 25,000	≥US$ 1,000 and ≤ US$ 25,000	<US$ 1,000
Number of potential suppliers	Only 1 supplier	>1 and ≤ 5 suppliers	>5 suppliers

Tuotannollisesta näkökulmasta kriittisiksi kriteereiksi määritettiin: sisäinen turvallisuus ja ympäristövahingot, tuotannon seisahtuminen, laitteiston käyttöaste, menetys tuotteen laadun heikkenemisen takia, kriittisyys käytön suhteen ja työvuorosuunnittelun vaikutus. Kunnossapidon näkökulmasta kriittiset kriteerit olivat: tuotantokoneen prioriteetti, räätälöintiaste ja varaosien luotettavuus. Oston näkökulmasta kriittiset kriteerit muodostuivat seuraavista määreistä: kaupankäynnin aika, toimitusaika, kappaleen hinta ja potentiaalisten toimittajien määrä.

Shenoy ja Rosasin (2018, 165–167.) esittivät teoksessaan suppeamman kriittisyyskriteeristön, jossa oli valmiina määritetty riskitekijän pisteytys, jonka perusteella tulokset analysoitiin. Tutkimuksessa on samoja kriteerejä kuin Muniz ja muut (2020, 52.) esittävät työssään. Shenoy ja Rosasin (2018) esittämä pisteytysmatriisi on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. VED-kategorisoinnin riskitekijät (Shenoy & Rosasin 2018, 165–167.)

Riskitekijä	**Korkea (3 pts)**	**Keskiverto (2 pts)**	**Matala (1 pts)**
Toimitusaika	Yli 5 viikkoa	1–5 viikkoa	Alle 1 viikko
Toimittajan sijainti	Kansainvälinen	Kotimainen	Paikallinen
Räätälöity tuote	Pitkälle räätälöity	Vähän räätälöity	Standardisoitu nimike tai ei räätälöintiä
Puutevaikutukset	Mittavat tuotannon menetykset	Kohtuulliset tuotannon menetykset	Pienet tai ei ollenkaan tuotannon menetyksiä

Kriittisyyskriteeristön luonnin jälkeen tulokset analysoidaan erikseen määritetyn toimintatavan tai työkalun avulla. Seuraavassa alaluvussa esitetään kaksi (2) vaihtoehtoa analysoinnin suorittamiseksi.

3.3.2 Kriittisyyskriteeristön analysointi

Yleisesti käytetty toimintatapa VED-analyysin tuloksien analysointiin on Analyyttinen hierarkiaprosessi (AHP). Muniz ja muut (2020, 50–56.) hyödynsivät tutkimuksessaan AHP:ta VED-analyysin kriittisyyskriteeristöjen painoarvojen määrittämisessä. Samaa työkalua ja toimintatapaa hyödynsivät tutkimuksessaan myös Umry ja Singgih (2019, 2–3.), poikkeuksena, että moniluokkakategorisointi toteutettiin ABC-analyysin lisäksi, kun Muniz ja muut (2020) keskittyivät pelkkään VED-analyysiin. AHP:n vahvuudet perustuvat eri kriteerien painoarvottamisen hyödyntämiseen. Menetelmä antaa mahdollisuuden painottaa tärkeimpinä pidettyjä kriteereitä, tätä esimerkiksi pisteyttäminen ei mahdollista. AHP:n käytön haasteeksi saattaa muodostua painoarvojen määrittäminen, koska se saattaa olla aikaa vievää, varsinkin jos kriteereitä on useita ja arviointiin tarvitaan suuri määrä asiantuntijoita. AHP analysointimenetelmänä esitetään tarkemmin seuraavassa alaluvussa 3.4.

Toinen tapa on pisteyttää kriittisyyskriteerit jo analysointivaiheessa, kuten Shenoy ja Rosasin (2018, 165–167.) olivat tehneet. Pisteytyksen etuna on sen helppo ja nopea toteuttaminen. Heikkoudeksi voidaan lukea kriteereiden samanarvoisuus – riskitekijöiden vaikuttavuutta ei ole mahdollista määrittää painoarvojen avulla. Tässä toimintatavassa listataan mahdolliset riskitekijät ja

asetetaan niille kriteerit kolmelle (3) luokalle: V-, E- ja D-luokka. Kriteerien määrittämisen yhteydessä riskitekijät pisteytetään 1–3 pisteeseen; 1 piste D-luokalle, 2 pistettä E-luokalle ja 3 pistettä V-luokalle. Kun nimikkeet on saatu analysoitua kaikkien kriteerien perusteella, lasketaan saatujen tuloksien pistemäärät yhteen. Pistelaskun jälkeen nimikkeet sijoitetaan VED-analyysin luokkiin alla olevan taulukon 4 perusteella.

Taulukko 4. VED-kategorisoinnin pisteyttäminen (Shenoy & Rosasin 2018, 165–167.)

Kategoria	**Pistemäärä**
Vital	11 pistettä tai yli
Essential	7–10 pistettä
Desirable	4–6 pistettä

Nimikkeitä kartoitettaessa voidaan käsitellä myös kokonaisuuksia tai työvaiheita, aina analyysia ei tarvitse kohdistaa suoraan nimikkeisiin. Kumar ja muut (2014, 29–30.) suorittivat VED-analyysin työvaiheille, joiden perusteella kokoonpanoihin liittyvät varaosat luokiteltiin. Elintärkeinä kokoonpanoina pidettiin lopputuotteen rakentamiseen liittyviä kokonaisuuksia, välttämättöminä testaukseen liittyviä työvaiheita ja suotavina viimeistelyyn liittyvät työvaiheet. Kaikki työvaiheet ja kokonaisuudet ovat tärkeitä lopputuotteen käyttöönoton kannalta, mutta toiset estävät tuotannon. Tuotannon estävät työvaiheet luokiteltiin elintärkeiksi, koska ilman valmista lopputuotetta loppuja työvaiheita ei voida suorittaa. Tämä tukee VED-analyysin ajatusta toimia tuotantokriittisyyden analysointimenetelmänä. Tässä työssä hyödynnettiin samaa analyysia käyttökieltoon johtavien mallitöiden ja merkittävimpien komponenttien osalta.

3.4 Analyyttisen hierarkiaprosessin (AHP) käyttö

Muniz ja muut (2020) toteuttivat AHP:n koko tutkittavalle nimikemassalle taulukossa 2 määritettyjen kriittisyyskriteerien perusteella. Ensimmäiseksi määritettiin pääkriteerien painoarvot yhteistyössä yrityksen asiantuntijoiden kanssa. Analyysi toteutettiin kyselyn ja parivertailun avulla, jossa asiantuntijat pisteyttivät pääkriteerien riippuvaisuudet 0 ja 5 pisteen välillä (0=vähiten merkittävä, 5=merkittävin). Pääkriteereitä koskevan analyysin tulokset on esitetty taulukossa 5.

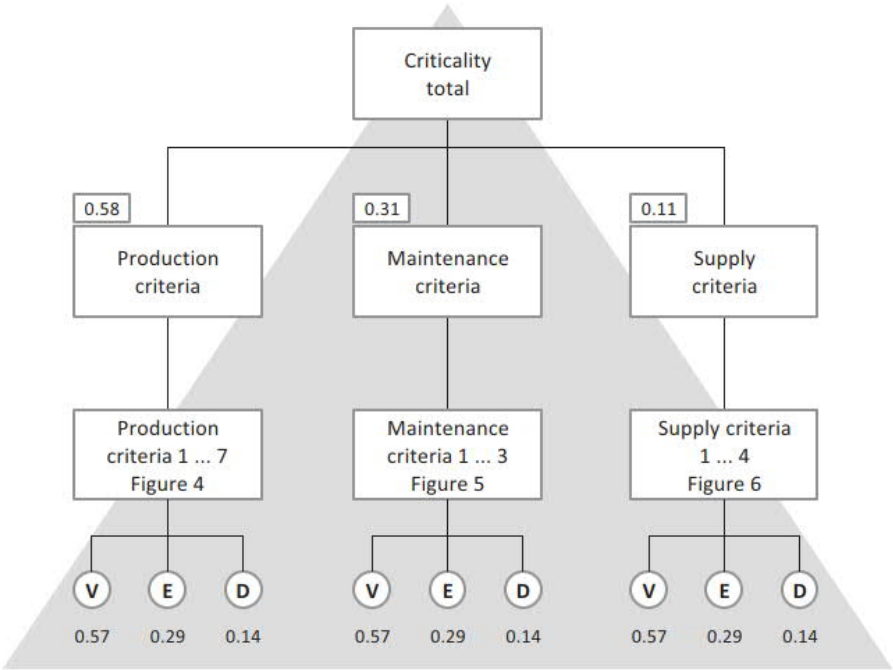
Taulukko 5. Pääkriteerien pisteytys (Muniz & muut 2020, 52.)

Criticality total	Production	Maintenance	Supply
Production	1	2	5
Maintenance	1/2	1	3
Supply	1/5	1/3	1

Muniz ja muut (2020) esittivät tulosten analysointiin kaavaa 2, jonka avulla laskettiin kunkin toiminnon painoarvo.

$$V_k = \frac{(K_1+K_2+K_3)}{\sum total} * 100 \qquad (2)$$

K_1 kuvaa ensimmäisen, K_2 seuraavan ja K_3 viimeisimmän toiminnon riippuvuusanalyysin tulosta. Toiminnon saamat arvot lasketaan yhteen ja summa jaetaan kaikkien pisteiden summalla. Tulokseksi saadaan kyseisen toiminnon painoarvo V. Esimerkkinä tuotantoa koskeva laskenta: (1+2+5) /14,03*100=57 %. Kyselyjen tuloksina tärkeimmäksi kriteeriksi määritettiin tuotanto, toiseksi tärkein oli kunnossapito ja vähiten tärkeimpänä pidettiin ostoa/toimitusta. Hierarkia päätasolla painoarvoineen on esitetty kuviossa 2.



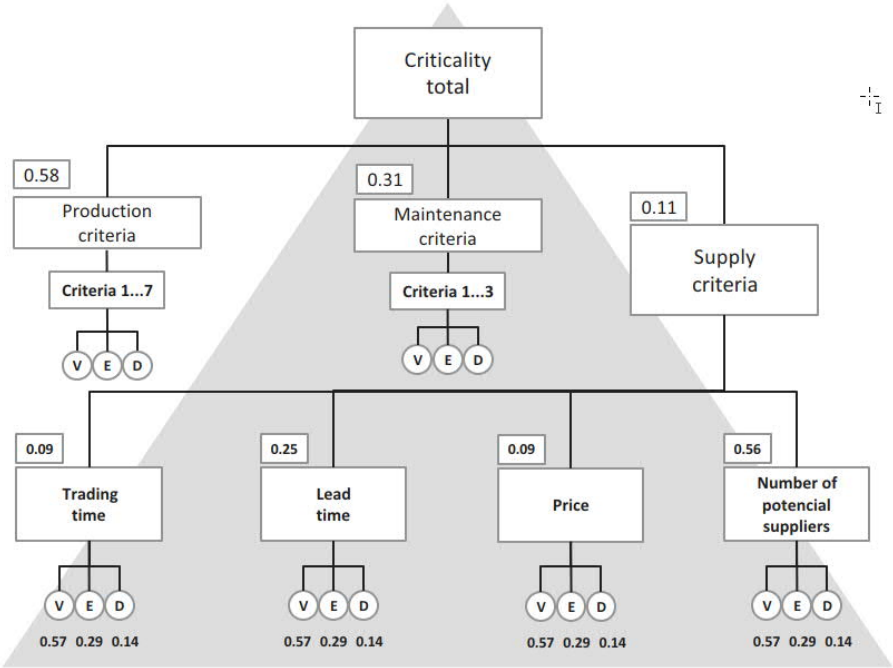
Kuvio 2. AHP hierarkia ja päätasonpainotukset (Muniz & muut 2020, 54.)

Pääkriteerien määrityksen jälkeen pisteytettiin jokaisen toiminnon kriittisyyskriteerit erikseen asiantuntijoiden toimesta, kaikki riskitekijät esitetty taulukossa 2. Pisteytyksen esimerkkinä taulukossa 6 on esitetty oston (Supply) kriittisyyskriteerien riippuvuusanalyysin tulokset.

Taulukko 6. Oston kriteerien riippuvuusanalyysi (Muniz & muut 2020, 53.)

Supply	Trading time	Lead time	Price	Number of potential suppliers
Trading time	1	1/3	1	1/5
Lead time	3	1	3	1/5
Price	1	1/3	1	1/3
Number of potential suppliers	5	5	3	1

Oston osalta tarkempi hierarkia painoarvoineen on esitetty kuviossa 3.



Kuvio 3. Oston luokittelukriteerien painoarvot (Muniz & muut 2020, 55.)

Oston osalta tärkeimmiksi kriteereiksi nousivat potentiaalisten toimittajien määrä ja toimitusaika. Oston neljä (4) kriteeriä saivat seuraavat painoarvot: kaupankäynnin aika 0,09, toimitusaika 0,25, hinta 0,09 ja potentiaalisten toimittajien määrä 0,56. Saatujen tuloksien avulla laskettiin painoarvot oston kriteereille kaavan 2 mukaan, parametrin alaindeksinä toimi *i*.

Kun jokaisen tason painoarvot oli määritetty, lopullisen VED-analyysin laskenta toteutettiin kaavan 3 avulla. (Muniz & muut 2020, 53–56.)

$$V_m = V_k * \sum_i V_i * V_l \quad (3)$$

V_m kuvaa pääkriteerin *m*= {osto, kunnossapito, tuotanto} kokonaiskriittisyyttä. V_k esittää pääkriteerin painoarvoa, V_i pääkriteerin kriittisyyskriteerin painoarvoa ja V_l VED-luokan painoarvoa. Esimerkkinä laskenta yhden V-luokan nimikkeen kriittisyysluokasta oston kriteeristön perusteella: 0,11*(0,09*0,57+0,25*0,57+0,09*0,57+0,56*0,57) =0,062. Kun kaikkien kategorioiden vastaavat laskennat on saatu suoritettua, lasketaan nimikkeelle kokonaiskriittisyys kaavan 4 mukaan.

$$V_{total} = V_{osto} + V_{kunnossapito} + V_{tuotanto} \quad (4)$$

Näiden kolmen (3) summana saadaan luku, jonka perusteella kyetään määrittämään nimikkeen kokonaiskriittisyys. (Muniz & muut 2020, 51.)

Kokonaiskriittisyyden määrittämisen jälkeen määritetään mahdollisesti toteutuvien kriteerien vaihteluvälit toiminnoittain ja kokonaisuudessaan. Muniz ja muut (2020) määrittivät kriteerien minimi- ja maksimiarvot kuvion 4 mukaisesti.

	Production	Maintenance	Supply	Criticality total
Range	0.082–0.334	0.043–0.177	0.015–0.062	0.140–0.573

Kuvio 4. Kriittisyyslaskennan minimi- ja maksimiarvot (Muniz & muut 2020, 56.)

Tuloksista on huomattavissa, että tuotannon painoarvo on huomattava verrattuna kunnossapitoon ja erityisesti ostoon. Tämä mukailee hyvin aikaisemmin määritettyjen toimintojen painoarvojen allokaatiota, jotka esitettiin kuviossa 2.

3.5 Moniluokkakategorisointi

Monessa tapauksessa pelkkä yhden menetelmän perusteella toteutettu luokittelu ei ole tarpeeksi kattava, vaan tällöin on hyödynnettävä kahta tai useampaa luokittelumenetelmää rinnan. Kun nimikkeiden luokittelussa käytetään useampaa kategorisointimenetelmää, tarvitaan kategorioiden määrittämisessä hyödyntää työkaluna luokittelumatriisia. (Vrat 2014, 43–44.)

Yleisesti käytetty tapa varaosien luokittelussa on yksivaiheinen matriisi (ks. Ajomaa 2020, 52.; Kumar, Rajan & Balan 2014, 31.; Vrat 2014, 44). Yksinkertaisessa matriisissa kahden eri menetelmän tulokset sijoitetaan matriisiin, jonka avulla luodaan kaikki mahdolliset yhdistelmät, joita analysointimenetelmissä on luokittelussa käytetty. Tutkimuksissa, joissa on yhdistelty ABC- ja VED-analyysia, on usein suoritettu ensiksi ABC-analyysi ja vasta tämän jälkeen VED-analyysi, kuten Ajomaa (2020, 52.) sekä Kumar ja muut (2014, 31.) olivat tehneet tutkimuksissaan. Alla taulukossa 7 on esitetty yksivaiheinen matriisi, jonka avulla luokittelu suoritettiin.

Taulukko 7. ABC-VED-analyysimatriisi (Kumar & muut, 2014, 31.)

ABC-VED-analyysi				
Luokittelu	**V**	**E**	**D**	**Yhteensä**
A	29 %	22 %	21 %	71 %
B	10 %	6 %	4 %	20 %
C	5 %	1 %	3 %	9 %
Yhteensä	43 %	29 %	28 %	100 %

Kumar ja muut (2014) olivat laskeneet ensiksi ABC-analyysin perusteella liikevaihdon luokittain. Tämän jälkeen laskettiin VED-analyysin perusteella liikevaihto-osuudet, jotta tulokset olivat yhdistettävissä ABC-analyysin tuloksiin. Nimikeluokittelujen laskentojen jälkeen luokkien arvot sijoitettiin matriisiin, jonka perusteella oli helposti nähtävillä kunkin yhdistelmän taloudellinen vaikutus. Tuloksien perusteella eri kategoriat luokiteltiin kolmeen (3) kriittisyysluokkaan: 1 (punaisella), 2 (keltaisella) ja 3 (vihreällä). Ensimmäiseen kategoriaan kuuluivat korkeimman prioriteetin luokat: AV, AE, AD, BV ja CV. Toiseen kategoriaan kuuluvat: BE, BD ja CE. Kolmanteen kategoriaan ainoastaan CD. Samoihin kriittisyysluokkiin päätyivät tutkimuksissaan sekä Kumar, Rajan ja Balan (2014) että Dursa ja Arslan (2022, 297.). Tärkeimpien kriittisyysluokkien nimikkeiden varastonohjaukseen

ja -tasoihin kiinnitettiin eniten huomiota, jotta kyettiin takaamaan varaosien saatavuus tuotannolle ja optimoimaan varastonarvoa.

Kompleksisemmissa tapauksissa tuloksien analysoinnissa ja luokittelussa voidaan käyttää työkaluna kaksivaiheistamatriisia, jonka avulla on mahdollista yhdistää kolme luokittelutekijää. Pawłowska-Kalinowskan (2017, 456.) hyödynsi tutkimuksessaan kaksitasomatriisia, jossa nimikkeet luokiteltiin hinnan, kierron ja toimitusajan perusteella. Ensiksi rakennettiin luokittelumatriisi hinnan (halpa (H), keskihintainen (K), arvokas (A)) ja kierron (nopea (N), keskitaso (K), hidas (H)) kesken. Tämän tuloksena kyettiin muodostamaan moniluokat nimikkeille, joiden avulla seuraava taso matriisissa oli mahdollista rakentaa. Toisessa vaiheessa aiemmin muodostetut moniluokat sijoitettiin matriisiin toimitusajan (lyhyt (L), keskitaso (K), pitkä (P)) kanssa. Lopullisen matriisin avulla kyettiin muodostamaan kaikki kombinaatiot, joiden varmuusvarastotarpeita tutkimuksessa analysoitiin. Matriisia luetaan siten, että ensiksi riveiltä katsotaan toimitusaika ja tämän jälkeen sarakkeista hinnan ja kierron yhdistelmäluokka. Esimerkiksi lyhyen toimitusajan (L) ja nopean kierron (N) halpa (H) nimike kuuluu moniluokkakategoriaan LHN. Pitkän toimitusajan (P) arvokas (A) nimike, joka omaa keskitason kierron (K) kuuluu moniluokkakategoriaan PAK. Taulukossa 8 esitetään Pawłowska-Kalinowskan luoma matriisi värikoodauksineen.

Taulukko 8. Varaosaryhmien käsittely (Pawłowska-Kalinowska (2017, 456.)

		Hinta/Kierto								
		HN	**HK**	**HH**	**KN**	**KK**	**KH**	**AN**	**AK**	**AH**
Toimitus-aika	**L**	LHN	LHK	LHH	LKN	LKK	LKH	LAN	LAK	LAH
	K	KHN	KHK	KHH	KKN	KKK	KKH	KAN	KAK	KAH
	P	PHN	PHK	PHH	PKN	PKK	PKH	PAN	PAK	PAH

	Korkeat varastotasot kattamaan kysynnän
	Varmuusvarastoja suositellaan
	Varmuusvarastoja suositellaan rajatuilla määrillä
	Ei suositella varmuusvarastoja

Ensimmäiseen ryhmään (suositellaan korkeampia varmuusvarastoja kattamaan kysyntää) kuuluvat pääosin nimikkeet, jotka ovat edullisia tai keskihintaisia ja omaavat suuren kiertonopeuden. Näiden lisäksi pitkän toimitusajan suuren kiertonopeuden kalliit osat kuuluvat samaan kategoriaan.

Toiseen ryhmään (varmuusvarastoja suositellaan) kuuluu suurin osa kategorioista, pääosin lyhyen toimitusajan ja suuren tai keskisuuren kiertonopeuden omaavat luokat. Kolmas ryhmä (varmuusvarastoja suositellaan rajatuilla määrillä) sisältää hitaasti kiertäviä eri toimitusajan ja hinnan nimikkeitä. Viimeiseen ryhmään (varmuusvarastoja ei suositella) kuuluvat nimikkeet, jotka kiertävät hitaasti ja ovat kalliita ja joilla on lyhyt tai keskipitkä toimitusaika. Tämän osalta luotetaan, että harvoin tuleva tarve kyetään täyttämään nopealla toimituksella. (Pawłowska-Kalinowska 2017, 455–456.)

4 Varmuusvarastointi

Varmuusvarastontiin vaikuttavat yleisesti kuusi (6) tekijää: palveluaste, tilauspolitiikka, pääomakustannukset, tuotteiden piirteet sekä toimitusajan ja kysynnän vaihtelu. Optimaalisen varmuusvarastostrategian luomiseksi on määritettävä tahdottu palvelutaso, joka on riittävä täyttääkseen asiakkaiden tilausten valmistamisen ajallaan. (Kibria & muut, 2019; Kumar & muut 2014, 27.) Tähän vaikuttaa osaltaan myös toimitusketjun mahdolliset häiriöt, kuten kysynnän ja toimitusajan vaihtelu tai ennustamisen luotettavuus. Mahdollisuuksien mukaan olisi hyvä pyrkiä standardisoimaan nimikkeistöä, jotta toimittajakohtaista riippuvuutta saadaan vähennettyä. Nimikkeiden standardisoinnilla on mahdollista lyhentää toimitusaikaa, alentaa hintaa ja lisätä toimittajien määrä. Kaikki edellä mainitut parannukset toimivat positiivisina ajureina varmuusvarastotasojen osalta, koska kyseiset parametrit ovat useimmissa varmuusvarastolaskentojen kaavoissa. (Gonçalves, Sameiro Carvalho, & Cortez, 2020, 2.)

4.1 Varmuusvarastomenetelmät

Gonçalves ja muut (2020) esittävät tutkimuksessaan, että varmuusvarastojen laskennassa käytettävien kaavojen avulla pyritään varautumaan neljään (4) eri haasteeseen, yhdessä tai erikseen. Kaavoja on mahdollista yhdistää, jos tahdotaan varautua useampaan riskiin. Tunnistettuja haasteita ja ongelmia ovat: toteutuneista toimitusajan ja kysynnän vaihtelusta aiheutuvat sekä kysyntä- ja toimitusajanennustevirheet. Mitä enemmän riskejä varmuusvarastoilla yritetään estää, sitä korkeammiksi varastoitavat määrät kasvavat kaavojen yhdistelyn vuoksi.

Yleisimmin varmuusvarastojen (ks. Kibria & muut 2019, 825.; Umry & Singgih 2019; Rădăşanu 2016, 151.) laskennassa käytetyssä kaavassa pyritään poistamaan kysynnän vaihtelun aiheuttamaa

riskiä kysynnän keskihajonnan avulla. Kaava 5 on suosittu sen käytön helppouden ja yksinkertaisuuden takia. Usein laskentaan tarvittavat datat on mahdollista saada yritysten toiminnanohjausjärjestelmistä.

$$SS = \Phi^{-1}(\alpha)\sigma_D\sqrt{L} \tag{5}$$

Kaavassa $\Phi^{-1}(\alpha)$ on standardinormaalijakauman käänteinen kumulatiivinen funktio, jossa on haluttu palvelutaso (α), kysynnän keskihajonta (σ_D) per ajanjakso ja toimitusajan neliöjuuri ($\sqrt{L}$). Kun muuttujana on kysyntä, mallinnetaan sitä yleisesti normaalijakauman avulla. (Gonçalves & muut 2020.)

Normaalijakauman avulla kyetään määrittämään todennäköisyys sille, että tuotetta ei ole varastossa, kun sitä tarvitaan tuotannossa. Todennäköisyyslaskenta suoritetaan kysynnän keskihajonnan avulla. Mitä suurempaan kerrannaisuuteen keskihajonnasta tahdotaan varautua, sitä suuremmaksi varmuuskerroin kasvaa. Tämä on yleinen tapa käyttää palvelutasoriippuvaisia varmuuskertoimia (ks. Rădăşanu 2016, 149–150.; Vrat 2014). Kaavassa 5 käytetään halutun palvelutason α kertoimena taulukossa 9 esitettyjä palvelukertoimia $\Phi^{-1}(\alpha)$. Jos tahdotaan varmistaa 95 % kerroista, että asiakasta pystytään palvella, toimii varmuuskertoimena 1,6.

Taulukko 9. Palvelutasojen ja varmuuskertoimien suhde (Rădăşanu 2016, 150.)

Desired service level	Service factor
50%	0,0
60%	0,3
70%	0,5
80%	0,8
85%	1,0
90%	1,3
93%	1,5
95%	1,6
97%	1,9
98%	2,1
99%	2,3
99,90%	3,1

Jos varmuusvarastoilla tahdotaan suojautua toimitusten viivästymiseen kysynnän vaihtelun lisäksi, tulee laskennoissa ottaa huomioon toimitusajan keskihajonta. Gonçalves ja muut (2020) hyödyntävät tässä tapauksessa kaavaa 6, jossa molemmat muuttujat on huomioitu.

$$SS = \Phi^{-1}(\alpha)\sqrt{L * \sigma_D^2 + (\sigma_L * D)^2} \tag{6}$$

D kuvaa keskimääräistä kysyntää ajanjaksossa ja σ_L toimitusajan keskihajontaa. Varmuusvarastojen laskennassa voidaan huomioida myös pelkkä toimitusaikaan liittyvä riski. Tämä on mahdollista toteuttaa jättämällä kysynnän keskihajontaan liittyvä osa ($\sqrt{L * \sigma_D^2}$) laskennasta pois. Keskihajonta saadaan yleisesti laskettua toiminnanohjausjärjestelmästä saadusta datasta, mutta jos sitä ei ole saatavilla, voidaan hyödyntää olettamia nimikkeen toimitusajasta. Vrat (2014, 127.) hyödyntää tutkimuksessaan kaavoja 7 ja 8 nimikkeille, joilla ei ole aikaisempia tapahtumia. Kaavassa 7 täydennysajan keskiarvo lasketaan optimistisen (a), todennäköisimmän (m) ja pessimistisen arvion perusteella (b).

$$\bar{L} = \frac{a+4m+b}{6} \tag{7}$$

Täydennysajan keskihajonta (σ_L) saadaan laskettua pessimistisen ja optimistisen erotuksen avulla. Laskenta on esitetty kaavassa 8.

$$\sigma_L = \frac{b-a}{6} \tag{8}$$

Varmuusvarastojen laskennassa voidaan huomioida myös kysyntäennusteen epävarmuus. Ennusteen epävarmuuden laskennassa hyödynnetään normaalijakaumaa ja havaintojen keskihajontaa. Kysyntäennusteen epävarmuuden perusteella laskettu varmuusvaraston laskentakaava on esitetty kaavassa 9.

$$SS = \Phi^{-1}(\alpha)\sigma_F \tag{9}$$

Kaavassa $\Phi^{-1}(\alpha)$ on standardinormaalijakauman kumulatiivinen käänteisfunktio, jossa on haluttu palvelutaso (α), kysyntäennusteen keskihajonta (σ_F) per ajanjakso (Gonçalves ja muut 2020, 2). Kaavojen 5 ja 9 rinnakkaiskäyttö saattaa kerryttää päällekkäisiä varmuusvarastoja, koska molemmissa on mukana kysyntäkomponentti – toisessa historiatietoon ja toisessa ennusteeseen pohjautuva. Vaihtoehtona on, että käytetään painotettua yhdistelmää: kaavaa 9 ennustettaville nimikkeille ja kaavaa 5 kaikille muille.

Yhtenä vaihtoehtona varmuusvarastojen määrittämiseen Rădăşanu (2016, 147–149.) ehdottaa yksinkertaisia tapoja, joissa hyödynnetään varmuuskerrointa (*a*). Varmuuskertoimen avulla on mahdollista laskea ja määrittää yksinkertaisesti varmuusvarastot keskimääräisen toimitusajan (*L*) tai –kysynnän (*D*) perusteella. Kaavat 10 ja 11 esittävät näiden varmuusvarastojen laskennan.

$$SS = aL \tag{10}$$

$$SS = aL_a D_a \tag{11}$$

Rădăşanu (2016) ehdottaa käytettäväksi varmuuskerrointa 20 % ja 40 % väliltä riippuen nimikkeen tai kategorian kriittisyydestä. Varmuuskertoimen määrittäminen perustuu ostajan kvalitatiiviseen arvioon.

Yritykset voivat vaikuttaa varmuusvarastojen kokoon pienentämällä kysynnän ja toimitusajan keskihajontoja omilla toimillaan sekä valinnoillaan. Kysynnän keskihajontaa on mahdollista pienentää paremmilla kysyntäennusteilla ja laadukkaammalla tarvelaskennalla. Tarvelaskennan parametrien avulla kyetään ottamaan huomioon kausivaihtelujen aiheuttamat ylivarastot varmuusvarastotasojen osalta. Toimitusajan keskihajontaan voidaan vaikuttaa toimittajavalinnoilla. Luotettavilla kumppaneilla saavutetaan hyvä toimitusvarmuus, joka osaltaan pienentää toimitusajan keskihajontaa. (Vrat 2014, 165–166.)

4.2 Varmuusvarastojen palvelutasojen määrittäminen

Rădăşanu (2016, 146.) väittää tutkimuksessaan, että jälleenmyyjä- ja tuotanto-organisaatioissa, joissa palvelutaso säädetään kattamaan 95 % saatavuuden mukaan, tarkoituksena on maksimoida

saavutettava höyty ilman, että myynti häiriintyy tavaran loppumisen takia. Korkean palvelutason aiheuttama varastonarvon kasvu hyväksytään, koska tavaran loppumisen aiheuttama vahinko asiakkaan ostokäyttäytymisessä maksaa yrityksille tulevaisuudessa enemmän kuin sitoutuneen pääoman kulu. Tarkemmin, ABC-analyysin luokille Rădăşanu (2016, 146.) esittää seuraavia palveluasteita: A-luokalle 96 %-98 %, B-luokalle 91 %-95 % ja C-luokalle 85 %-90 %. Esitetyt palveluasteet ovat asetettu ainoastaan ABC-luokittelulle, joten tulokset ovat ymmärrettäviä – korkein palvelutaso tahdotaan pitää siellä mistä saadaan eniten rahaa. Tämä ei toimi kuitenkaan suoraan kunnossapitotoiminnassa, koska C- tai D-luokan nimike voi pysäyttää koko tuotannon, jonka seurauksena valmis lopputuote jää toimittamatta asiakkaalle. Jotta palvelutasojen arvioinnista saadaan mahdollisimman hyvä palvelemaan kunnossapitotoimintaa, tarvitsee palvelutasot määrittää ABC- ja VED-analyysien perusteella luoduille luokille. Taulukossa 10 Vrat (2014, 44.) esittää ABC- ja VED-analyysien luokille palvelutasoehdotukset.

Taulukko 10. ABC-VED -kategorisoinnin esitetyt palvelutasot (Vrat 2014, 44.)

	V	E	D
A	97 %	85 %	60 %
B	99 %	90 %	70 %
C	99,99 %	95 %	90 %

Vratin (2014, 44.) ehdottama palvelutasologiikka on hyvin saman suuntainen kuin Rădăşanulla (2016, 146.). Tärkeillä ja kriittisillä luokilla pidetään korkeampaa palvelutasoa (V- ja osa E-luokista), kun taas vähemmän tärkeillä ja kalliilla osilla matalampia tasoja (osa E- ja D-luokista). Edullisilla nimikkeillä, VED-luokittelusta riippumatta, on järkevää pitää korkeampaa palveluastetta, koska ne eivät nosta keskivaraston hintaa merkittävästi. Tätä tukee myös ajatus, että tuotannon ei tahdota pysähtyvän edullisen nimikkeen puutteen takia.

Edellä esitetyt teoriat ohjasivat työn suuntautumista ja antoivat työn toteuttamiseen vaaditut menetelmät. Nimikkeiden luokittelussa päädyttiin hyödyntämään yleisesti käytettyjä menetelmiä:

ABC- ja VED-analyysiä analyyttisella hierarkiaprosessilla jalostettuna. Varmuusvarastointimenetelmistä keskityttiin kysynnän muutoksista aiheutuviin haasteisiin keskihajontaa hyödyntäen. Tätä päätöstä tuki menetelmän laaja käyttö ja yksinkertainen toteutus.

5 Tutkimuksen toteutus

Kvantitatiivisten menetelmien osalta hyödynnettiin ABC-analyysia, joka on esitetty luvussa 5.1, sekä data-analyysejä. Nimikkeiden analysoinnissa käytettiin useita eri työkaluja, jotta halutut tiedot saatiin haettua ja jalostettua. Tiedon hankkimisessa hyödynnettiin eri tietojärjestelmiä, kuten Snowflakea, jossa haut toteutettiin SQL-kielellä ja jonka avulla oli mahdollista hakea dataa suoraan toiminnanohjausjärjestelmän taustatietokannoista. Hakujen pohjalta kyettiin muodostamaan csv-tiedostoja, joita oli mahdollista jatkojalostaa Microsoft Excelin avulla. Dataa rikastutettiin myös valmiiksi rakennetuista PowerBi-raporteista, joista löytyi tarvittavia nimikkeiden perustietoja. Nimikkeiden perustietojen avulla kyettiin rajaamaan käsiteltävä nimikemassa koskemaan vetureita. Lisäksi PowerBi-raportit tarjosivat valmiiksi laskentaa vikatöiden allokaatioiden ja kausittaisuuden määrittämiseksi.

Kvalitatiivisia menetelmiä hyödynnettiin VED-analyysin kanssa. Käytettyjä menetelmiä oli VED-analyysi itsessään, haastattelut ja työpajat sekä avoin keskustelu. VED-analyysiin liittyy myös analyyttinen hierarkiaprosessi (AHP), jonka avulla nimikekohtaisen kokonaiskriittisyydet laskettiin. Edellä mainitut menetelmät on kuvattu tarkemmin kappaleessa 5.2.

5.1 Nimikkeiden ABC-luokittelu

Opinnäytetyössä tarkasteltava nimikemassa jaettiin neljään (4) luokkaan: A-, B-, C- ja D-luokkiin. A-, B-, ja C-luokka sisälsivät nimikkeet, joilla oli ollut viimeisen vuoden aikana kulutusta. D-luokka sisälsi nimikkeistön, jolla ei ollut kulutustapahtumia viimeisen vuoden aikana. Jotta luokittelu oli mahdollista suorittaa, tuli määrittää millä tavalla jaon arvotus tehdään. Tilannetta on mahdollista tarkastella hankinnan tai myynnin näkökulmasta. Tässä opinnäytetyössä päädyttiin luokittelemaan nimikkeet myynnin perusteella, koska muutkin luokittelukriteerit pohjautuvat kysyntään. Nimikekohtaisten osuuksien laskennassa hyödynnettiin kaavassa 1 esitettyä laskentamallia. ABC-analyysi toteutettiin ainoastaan kvantitatiivisia menetelmiä hyödyntäen. Analyysia varten haettiin kulutus-

ja hintatiedot PowerBi:stä, josta ne ladattiin Excel-tiedostoiksi. Excelin avulla suoritettiin laskenta nimikekohtaisten kulutusten ja hintatietojen pohjalta.

Luokittelurajoja testattiin kolmen (3) eri vaihtoehdon mukaan. Ensimmäinen (1.) oli Pareton-periaatteen perusteella, toinen (2.) tietyn raja-arvon perusteella ja kolmas (3.) Pareton-periaatteen mukaan 20 % nimikeosuudella. ABC-luokkien raja-arvojen selitteet on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. ABC-analyysissä käytetyt luokitteluvaihtoehdot

Luokittelu	Luokkajaon perustelut
Ensimmäinen (1.)	A-luokka sisältää 80 %, B-luokka seuraavat 15 % ja C-luokka loput 5 % liikevaihdon osuudesta. D-luokka sisältää nimikkeet, joilla ei ole kulutustapahtumia viimeisen vuoden ajalta
Toinen (2.)	A-luokka sisältää kaikki yli 50 000 € liikevaihdon saavuttaneet nimikkeet, B-luokka liikevaihdon 95 % saakka ja C-luokka loput 5 % liikevaihdon osuudesta. D-luokka sisältää nimikkeet, joilla ei ole kulutustapahtumia viimeisen vuoden ajalta
Kolmas (3.)	A-luokka sisältää 20 %, B-luokka seuraavat 20 % ja C-luokka loput 60 % nimikkeistöstä. D-luokka sisältää nimikkeet, joilla ei ole kulutustapahtumia viimeisen vuoden ajalta

Työssä päädyttiin käyttämään ensimmäisenä kuvattua luokkajakoa, joka perustui Pareton periaatteeseen, jossa A-luokka sisälsi 80 % vaikuttavuudesta. Muut esitetyt luokkajaot (toinen ja kolmas) antoivat syvyyttä tutkimuksella ja perusteluja valitulle menetelmälle.

5.2 Nimikkeiden VED-analyysi

Työn VED-analyysissa hyödynnettiin sekä kvantitatiivisia että kvalitatiivisia menetelmiä. Kvantitatiivisista menetelmistä hyödynnettiin data-analyysia, kvalitatiivisista työpajatoimintaa ja avointa keskustelua sekä haastatteluja. Kvantitatiivisia menetelmiä varten haettiin toiminnanohjausjärjestelmän tuottamaa dataa. Työssä hyödynnetty data koostui: nimikkeen perus- ja tarvelaskentatiedoista, ostotilaus-, mallityö- ja kulutusdatoista. Kvalitatiivisten menetelmien avulla

pyrittiin kartoittamaan ne elintärkeät ja välttämättömät nimikkeet, joita ei data-analyysin perusteella kyetty määrittämään. Menetelmien yhteiskäyttö oli sujuvaa ja tukivat parhaaseen lopputulokseen pääsemistä.

VED-analyysin pohjana hyödynnettiin kriittisyyskriteerimatriisia, joka on esitetty alla taulukossa 12. Kriittisyyskriteerien määrittämisessä hyödynnettiin menetelminä haastatteluja ja työpajatoimintaa, johon osallistuivat kaksi (2) tuotannonsuunnittelijaa, opinnäytetyöntekijä ja data scientist. Työpajoja järjestettiin kaksi (2), molemmat olivat tunnin mittaisia. Työpajat olivat luonteeltaan strukturoituja, joten niissä oli ennalta sovittu asialista ja eteneminen. Tarkemmin työpajojen kulusta seuraavassa alaluvussa 5.2.1.

5.2.1 Kriittisyyskriteeristön luonti työpajojen avulla

Ensimmäisen työpajan tavoitteena oli saada päätettyä VED-analyysissä käytettävä kriittisyyskriteeristö. Kriteeristöstä oli käyty alustavia keskusteluja ennen työpajaa sähköpostitse, puhelimitse ja yhteistyöpalaverien avulla. Täten työpajaa varten oli olemassa ehdotus käytettävästä kriteeristöstä. Sessiossa keskityttiin eri kriteerien lähtötietojen määrittämiseen ja data-analyysien suunnitteluun. Esimerkiksi miten ennustettavuus on mahdollista toteuttaa tai miten jaetaan eri luokkiin käyttökieltoon johtavien mallitöiden nimikkeet ja miten näiden tietohaut on parasta toteuttaa. Samalla kriteeristöä karsittiin niiden kriteerien osalta, jotka koettiin joko turhiksi tai liian suuritöisiksi toteuttaa. Esimerkiksi tuotannon aiheuttama seisokki koettiin melkein mahdottomaksi toteuttaa nykyisellä raportointitasolla, joten tämä päätettiin pudottaa pois kriteeristöstä. Työpajan lopputulemana kyettiin muodostamaan VED-luokkien raja-arvot kvalitatiivisesti sekä näiden data-analyysiin tarvittavat kvantitatiiviset pääsääntöisesti olemassa olevat SQL-kyselyt ja hyödynnettävät PowerBi-raportit. Toiseen työpajaan jäi joidenkin analyysien jatkojalostaminen, kun käyttökieltoon johtavien mallitöihin kuuluvien komponenttien rakenteet tuli purkaa varaosien tasolle.

Toinen työpaja alkoi data-analyysien tuloksien esittelyllä. Tuotannonsuunnittelija X oli saanut määritettyä käyttökieltoon johtavien mallitöille kuuluvan nimikkeistön. Tämä mahdollisti Tuotannonsuunnittelija Y:n aloittaa oma analyysinsä mallitöille kuuluvien komponenttien rakenteiden varaosille. Todettiin, että Tuotannonsuunnittelija Y voi käyttää samoja työlle ottojen määriä VED-luokkien määrittelyssä, joita käytettiin mallitöidenkin osalta. Mallitöiden luokkajaot on esitetty taulukossa 13. Työpajan yhteydessä käytiin keskustelua myös nimikkeistä, jotka eivät välttämättä

saa tarpeeksi huomiota VED-analyysin ja AHP:n kautta. Todettiin, että joidenkin nimikkeiden kohdalla VED-luokan määrittelyn tulee olla mahdollista tehdä käsin, AHP:stä riippumatta. Tästä kirjattiin huomio jatkotutkimuskohteisiin. Merkittävimpien komponenttien -kriteeristössä luokkajakoina päätettiin hyödyntää aikaisemmin yrityksessä käytössä olleet TOP-komponentit, jotka on määritelty niiden tuottaman volyymin ja liikevaihdon perusteella. Näidenkin analysoinnissa hyödynnettiin luokkajakoa, joka on esitetty taulukossa 14.

Työpajojen lisäksi luokittelukriteereitä haettiin tuotannon ja hankinnan välisen johdon kanssa käydyissä yhteistyöpalavereissa. VED-analyysi oli vakiopalaverien agendalla yhtenä käsiteltävänä asiana. Yhteistyöpalavereja, joissa asia oli käsiteltävänä, oli työn aikana kolme (3) kappaletta. Näihin osallistui yhteensä 8 eri henkilöä, jotka koostuivat liiketoimintojen johtajista ja asiantuntijoista. Lisäksi analyysien toteuttamisesta ja määrittelystä käytiin useita sähköpostikeskusteluja, joiden avulla kyettiin sopimaan lopulliset luokittelukriteerit ja lukitsemaan painoarvot.

5.2.2 Kriittisyyskriteeristö

Edellä kuvattujen menetelmien perusteella kyettiin muodostamaan työssä käytetty kriittisyyskriteeristö VED-analyysia varten. Lopullinen, työssä käytetty, kriteeristö on esitetty taulukossa 12. Taulukkoon on sijoitettu: tutkimusmenetelmä, jolla kyseisen kriteerin VED-luokittelu toteutettiin, päätason kategoria ja päivitysvastuu, luokittelukriteeri ja VED-luokkien määritykset. Luokittelukriteerien tarkemmat merkitykset on selitetty seuraavissa alaluvuissa ja valintakriteerit tarkemmin liitteessä 1.

Taulukko 12. VED-analyysin kriteerit

Tutkimusmenetelmä	**Vastuu**	**Luokittelukriteeri**	**Elintärkeä (V)**	**Välttämättömät (E)**	**Suotavat (D)**
Kvantitatiivinen	Tekninen tiimi	KR-luokiteltu nimike	Säännöllisessä käytössä oleva	Ei käyttöä viimeiseen vuoteen	Ei KR-nimike
Kvantitatiivinen / Kvalitatiivinen	Tuotannonsuunnittelu	Ennustettavuus	Vaikea ennustaa	Keskivaikea ennustaa	Helppo ennustaa
Kvantitatiivinen	Tuotannonsuunnittelu	Käyttökieltoon johtava mallityö	Työn rakenteella oleva tarvelaskentamäärä >0,8	Työn rakenteella oleva tarvelaskentamäärä <0,8–0,01	Työn rakenteella oleva tarvelaskentamäärä <0,01
Kvantitatiivinen	Hankinta	Hinta	>20 000 €	≥1 000 € ja ≤20 000 €	<1 000 €
Kvantitatiivinen	Hankinta	Toimitusaika	≥4 kuukautta	≥1,5 kuukausi ja ≤4 kuukautta	≤1,5 kuukautta
Kvalitatiivinen	Tuotannonsuunnittelu	Merkittävimmät komponentit	TOP40-komponentit	TOP100-komponentit	Loput
Kvantitatiivinen	Hankinta	Toimittajien määrä	0–1	2	≥3

KR-luokittelu

Yhtenä kriteerinä oli nimikkeen turvallisuuskriittisyys: jos nimike oli määritetty KR-nimikkeeksi, pystyi sen suoraan kategorisoimaan elintärkeäksi nimikkeeksi, koska KR-osan puute pysäyttää kaluston. KR-nimikkeet päätettiin luokitella kahteen (2) ryhmään: V-luokkaan kuului aktiivisessa käytössä olevat KR-nimikkeet ja E-luokkaan uinuvat KR-nimikkeet. Ilman KR-luokkaa olevat nimikkeet luokiteltiin D-luokkaan. KR-status saatiin haettua suoraan toiminnanohjausjärjestelmän nimiketiedoista. Tämän lisäksi luokkien määrittämiseen hyödynnettiin viimeisen vuoden kulutusdataa, jotta oli mahdollista määrittää V- (aktiiviset) ja E-luokat (uinuvat).

Ennustettavuus vikaantumisprosentin perusteella

Analyysia varten haettiin 13-, 25- ja 37 kuukauden nimikekohtaiset työlle otot. Kokonaisottomäärien lisäksi datasta kyettiin analysoimaan töiden työtyypit, joiden avulla vikaantumisesta johtuvat työt oli mahdollista erotella suunnitelluista töistä. Luokittelu yritettiin toteuttaa myös vikaottojen

varianssin perusteella, mutta tulokset eivät olleet yhtä kattavat kuin vikatöiden suhdeluvulla saavutettiin. Varianssin tuloksena kyettiin määrittämään ennustettavuus ainoastaan 5 % tutkittavista nimikkeistä, kun vikaantumisprosentin kanssa kattavuus oli 38 %. Vikaantumisprosentti laskettiin viimeisten kolmen (3) vuoden ottojen keskiarvosta, esimerkiksi vuosien 2020 – 2022 vikaantumisprosenttien lasku yhden nimikkeen osalta: (67 % + 70 % + 67 %) /3=68 %.

Kun kaikille nimikkeille oli laskettu keskiarvon perusteella vikaantumisprosentti, jaoteltiin ne VED-luokkiin taulukon 13 mukaan. Jaottelussa pyrittiin huomioimaan vikaantumisprosentista johtuvat haasteet kulutuksen ennustamisessa. V-luokkaan määritettiin useimmin vikaantumisen takia vaihdettavat nimikkeet (80 % - 100 % työlle otoista vikatöille), E-luokkaan kuuluivat toisinaan vika- ja toisinaan suunnitelluille töille (25 % - 80 % vikatöiden osuus) ja D-luokkaan pääosin suunnitelluille töille tai harvoin vikaotoille kuluvat nimikkeet (alle 20 % vikatyöosuus). Luokkarajojen määrittäminen suoritettiin työpajoissa asiantuntijoiden arvioinnin perusteella yleistä linjaa noudattaen (>80 % kulutus mielletään aina vaihdettavaksi / kuluvaksi). 60 % nimikkeistä ei ollut lainkaan käyttöä viimeisen 37 kuukauden aikana. Nämä luokiteltiin suoraan D-luokkaan, koska niiden vikaantumisprofiilista ei ollut saatavilla dataa.

Käyttökieltoon johtavien mallitöiden rakenteet

Nimikkeiden tärkeyttä kartoitettiin myös mallitöiden avulla. Osa mallitöistä on luonteeltaan sellaisia, että niiden suorittamattomuus johtaa käyttökieltoon. Tällaisten mallitöiden rakenteilla olevat lähes aina vaihdettavat (työn rakenteella oleva tarvelaskentamäärä >0,8) nimikkeet tunnistettiin elintärkeiksi. Välttämättömiksi nimikkeiksi tunnistettiin vaihda tarvittaessa (työn rakenteella oleva tarvelaskentamäärä <0,01–0,8) ja suotaviksi rakenteilla nollilla (0) olevat nimikkeet. Samaa luokittelua käytettiin mallitöillä olevien komponenttien rakenteiden purkamiseksi. Tarvelaskentamäärällä tarkoitetaan työn rakenteella olevaa määrää, joka oletettavasti kulutetaan aina, kun työ suoritetaan. Luokittelumatriisi on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. VED-luokittelukriteerit, kalustotuotanto

	Kalustotuotannon rakenteilla olevien nimikkeiden ottomäärät			
Kaluston otot		>0,8	0,01–0,8	0
	>0,8	V	E	D
	0,01–0,8	E	E	D
	0	D	D	D

Mallitöiden suunnitelmat ja rakenteet ylläpidetään toiminnanohjausjärjestelmässä, josta ne ladattiin Excel-tiedostoiksi, jonka avulla data oli mahdollista analysoida ja käsitellä. Data sisälsi mallitöiden rakenteiden tarvelaskentamäärät. Ensiksi haettiin ne mallityöt, joiden tiedetään johtavan käyttökieltoon. Tämän jälkeen analysoitiin kyseisten mallitöiden rakenteet ensimmäiselle (1.) tasolle asti. Tämä tarkoittaa, että vielä tässä vaiheessa ei purettu mallitöillä mahdollisesti olevien komponenttien ja alikomponenttien rakenteita varaosiksi saakka. Tuotannonsuunnittelija X toteutti mallitöiden rakenteiden purkamisen ensimmäiselle (1.) tasolle, Tuotannonsuunnittelija Y toteutti komponenttien rakenteiden purkamisen aina viimeiselle tasolle asti. Tämän analyysin perusteella kyettiin luomaan nimikelistaus kaikista mallitöille kuuluvista nimikkeistä tarvelaskentamäärineen. Tuloksien perusteella oli mahdollista luokitella jokainen tutkittava nimike VED-luokkaan tämän luokittelukriteerin perusteella.

Merkittävimpien komponenttien rakenteet

Itse huollettavien komponenttien rakenteiden osalta päädyttiin käyttämään samoja arvoja ottomäärien osalta kuin kalustotuotannon mallitöidenkin kanssa. Tämä oli perusteltua, koska molemmissa pätee samat asiat: yli 0,8 ottomäärillä olevat vaihdetaan käytännössä aina, 0,01–0,8 ottomäärillä olevat tarvittaessa ja 0 ottomäärällä olevia ei vaihdeta, mutta niiden on oltava rakenteella. Kalustotuotannon osalta käytettiin analysoinnissa käyttökieltoon johtavien mallitöiden rakenteita, mutta komponenttien osalta keskityttiin pääosin liikevaihtoon. Komponentit jaettiin kolmeen (3) kategoriaan: TOP40, TOP41-100 ja loput. Luokittelussa hyödynnettiin olemassa olevia rajoja, jotka on määritetty komponenttituotantojen kanssa. Perustana toimii taloudellinen ja volyymillinen ajattelu – jos kyseisiä töitä ei kyetä suorittamaan, on tällä erittäin merkittävä vaikutus yksikön tuloksentekoon liittyen. Taulukko 14 esittää matriisissa eri kategorioiden ottomäärät ja niiden VED-luokat.

Taulukko 14. VED-luokittelukriteerit, komponentit

	Komponenttien rakenteilla olevat otot			
		>0,8	0,01–0,8	0
Mallityö	TOP40	V	E	D
	TOP41-100	E	E	D
	Loput	D	D	D

Komponenttien rakenteiden analyysin suorittamisessa hyödynnettiin vuoden 2023 budjettityökantaa, josta oli mahdollista hakea vuodelle suunniteltujen töiden määrä ja veloitettava yksikköhinta tai työn kustannuksen arvio. Budjettilaskenta sisälsi valmiiksi kaikkien komponenttien rakenteet, joiden perusteella kyettiin määrittämään jokaiselle nimikkeelle VED-luokka taulukon 14 kriteerien perusteella. Nimike saattoi kuulua monelle mallityölle, joten laskennassa päätettiin käyttää aina kriittisintä arvoa, jos nimike oli saanut useamman VED-luokan määrityksissä. Budjettityökannan ja rakenteiden perusteella jaottelun; TOP40, TOP41-100 ja Loput, suoritti Tuotannonsuunnittelija Y, lopullisen kriittisyyslaskennan opinnäytetyöntekijä.

Toimitusaika-analyysi

Yhtenä luokittelukriteerinä toimi nimikkeen toimitusaika. Samaa kriteeriä käyttivät myös Muniz ja muut (2020) tutkimuksessaan. Pitkien toimitusaikojen (> 4 kuukautta) nimikkeiden osalta tunnistettiin ennuste- ja saatavuushaasteet sekä mahdolliset saldovirheet, jonka takia nämä luokiteltiin elintärkeiden kategoriaan. 1,5–4 kuukauden toimitusajalla olevat nimikkeet luokiteltiin E-luokkaan, koska näiden osalta saldovirheet tai kysynnän vaihtelut eivät aiheuta yhtä suurta ongelmaa kuin V-luokan pitkien toimitusaikojen nimikkeet. Suotaviin luokiteltiin kaikki alle 1,5 kuukauden toimitusajalla olevat nimikkeet. Näiden nimikkeiden saatavuus on yleensä hyvä ja toimittajat kykenevät useasti toimittamaan tavarat ennen luvattua toimitusaikaa. Toimitusajan analyysin osalta löytyi 20 nimikettä, joilla data virheellistä (toimitusaika 999 päivää). Nämä käytiin läpi käsin ja korjattiin aineistoon toimitusajan estimaatti. Toimitusaikaa varten data haettiin valmiiksi tehtyjen PowerBi-raporttien avulla, joiden pohjana toimii toiminnanohjausjärjestelmän data.

Toimittajien määrä

Muniz ja muut (2020) sekä Shenoy & Rosasin (2018) käyttivät VED-analyyseissään kriteereinä *Potentiaaliset toimittajat* ja *Räätälöitävyys*. Näitä kriteereitä ei ollut mahdollista toteuttaa puutteellisten lähtötietojen takia, joten päädyttiin valitsemaan toimittajien määrä yhdeksi tutkimuskriteeriksi. Valinta toteutettiin hypoteesiin tukeutuen: Mitä vähemmän toimittajia on ollut historiassa, sitä vaikeampaa nimikettä on hankkia.

Analyysi suoritettiin ostotilausdatasta ja tätä varten haettiin järjestelmästä viimeisten 10 vuoden ostot. Osaa komponenteista ei osteta suoraan toimittajalta, vaan ne valmistetaan omilla tuotantotilauksilla. Tämän takia VED-analyysia varten toimittajien määrä ei päivittynyt oikein, joten ne lisättiin käsin. Näitä nimikkeitä oli yhteensä 20. Päänimikkeen arvona analyysissa käytettiin aihionimikkeen toimittajamäärää. Toimittajien osalta käytettiin kriteereinä: V-luokkaan kuuluivat ei ostoja 10 vuoden aikana ja ostoja yhdeltä (1) toimittajalta, E-luokkaan kuuluivat ne nimikkeet, joilla oli ostoja kahdelta (2) toimittajalta ja D-luokkaan nimikkeet, joilla ostoja kolmelta (3) tai yli.

Nimikkeen ostohinta

Nimikkeen hinta oli yhtenä luokittelukriteerinä Muniz ja muut (2020) tutkimuksessa ja se mielettiin tärkeäksi kriteeriksi myös tässä työssä. Kalliit nimikkeet (> 20 000 €) luokiteltiin kriittisimpään V-kategoriaan, koska niiden varastointiin sitoutuu paljon pääomia ja niiden hankintaan liittyy viiveitä sekä useammin myös muita haasteita. 1 000–20 000 € maksavat nimikkeet luokiteltiin E-luokkaan, koska näiden osalta ostotilausprosessi on kevyempi ja saatavuus usein parempi kuin V-luokan nimikkeillä. Alle 1 000 € maksavat nimikkeet luokiteltiin D-luokkaan niiden prosessien, varastonohjauksen ja hyväksyntöjen helppouden vuoksi. Nimikkeen ostohintaa varten ei tarvittu erillistä dataa, vaan se sisältyi Toimittajien määrä -luokittelukriteerin dataan.

5.2.3 Analyyttisen hierarkiaprosessin toteutus

AHP toteutettiin taulukossa 12 esitetyille kriittisyyskriteereille luokittelujen perusteella. Painoarvot määritettiin toisessa tuotannonsuunnittelijoiden kanssa järjestetyssä työpajassa. Työpajan tuloksena saatiin määritettyä painoarvot kriteereille, mutta arvoja hienosäädettiin iteroinnin avulla sähköpostin välityksellä. Ensimmäiseksi määritettiin jokaiselle nimikkeelle kriteerien perusteella VED-luokka, jonka avulla laskenta oli mahdollista suorittaa. V-, E- ja D-luokkien painoarvoina käytettiin

Munizin ja muiden (2020) esittämiä arvoja, jotka on esitetty kuviossa 3. Seuraavaksi pyrittiin analysoimaan eri toimintojen keskinäisiä vaikuttavuussuhteita. Todettiin, että tuotannolle kuuluu selkeästi suurin painoarvo, koska nimikekohtaisen kulutuksen arvoa painotetaan jo ABC-analyysissa. Tämän lisäksi koettiin, että KR-luokittelu on merkittävä kriteeri, joten sillä on oltava suuri painoarvo (0,25 kokonaisuudesta). Kun toimintojen väliset allokaatiot oli saatu määritettyä, aloitettiin toimintojen sisäisten painoarvojen määrittäminen. Lopulliset päätoimintojen ja toimintojen sisäisten kriteerien allokaatiot on esitetty tutkimustuloksista löytyvässä kuviossa 6.

Kun painoarvot ja kertoimet oli saatu määritettyä, suoritettiin laskenta nimikkeen kokonaiskriittisyyden selvittämiseksi. Laskenta toteutettiin Munizin ja muiden (2020) esittämiä kaavoja hyödyntäen, jotka on esitetty kaavoissa 3 ja 4. Ensiksi laskettiin kaikkien päätoimintojen kriittisyydet erikseen nimikekohtaisesti, jonka jälkeen tulokset summattiin, jotta saatiin muodostettua nimikkeen kokonaiskriittisyys. Laskenta toteutettiin kokonaisuudessaan Microsoft Excel -taulukkolaskentasovelluksen avulla.

5.3 Nimikkeiden luokittelu

Työssä päädyttiin luokittelemaan nimikkeet sekä ABC- että VED-analyysin perusteella edellisissä kappaleissa kuvatuilla menetelmillä. ABC-analyysi suoritettiin kolmella (3) eri luokkajaolla ja kriteeristöllä. Näistä todettiin toimivimmaksi ensimmäinen (1.) vaihtoehto, jonka perusteella lopullinen ABC-luokittelu toteutettiin. VED-analyysin osalta kriittisyyskriteeristöä muokattiin hiukan ennen määrittelyn ja analyysin toteuttamista, jotta se sisälsi yritykselle tärkeät kriteerit. Kun kaikilla nimikkeillä oli ABC- ja VED-luokka, kyettiin ne sijoittamaan matriisiin jatkojalostamista varten. Työssä käytetty luokittelumatriisi on esitetty taulukossa 15.

Taulukko 15. ABC- ja VED-luokittelun matriisi

		VED-luokat		
		V	**E**	**D**
ABC-luokittelu	**A**	AV	AE	AD
	B	BV	BE	BD
	C	CV	CE	CD
	D	DV	DE	DD

Matriisissa Y-akselilla on nimikkeen ABC-luokka ja X-akselilla VED-luokka. Matriisin avulla on mahdollista määrittää kyseisten luokkien yhdistelmät. Esimerkiksi, jos nimike kuuluu A-luokkaan ABC-analyysin perusteella ja E-luokkaan (suotaviin) VED-analyysin perusteella, on sen uusi moniluokkakategoria AE-luokka. Tätä samaa logiikkaa hyödyntäen oli mahdollista määrittää kaikille tutkittaville nimikkeille uudet moniluokkakategoriat. Moniluokkakategorioiden määrittäminen oli työn kannalta välttämätöntä, jotta varmuusvarastolaskennassa hyödynnettävät palvelutasot kyettiin määrittämään ABC- ja VED-analyysin perusteella.

5.4 Luokkakohtaisten varmuusvarastojen laskenta

Kun nimikkeille oli saatu luokiteltua moniluokkakategoriat, laskettiin näille varmuusvarastot. Varmuusvarastojen laskennassa hyödynnettiin kaavassa 5 esitettyä laskentavariaatiota, jolla pyritään vastaamaan nimikkeen kysynnän epävarmuuteen hyödyntämällä kulutustapahtumien keskihajontaa. Valintaperusteina toimi, että kyseinen keskihajonta oli mahdollista määrittää järjestelmästä ilman suurempia haasteita tai virheen mahdollisuuksia ja mallia käytetään yleisesti tämän alan tutkimuksissa. Lisäksi tämän laskennan osalta inhimilliset virheet eivät muodostuneet merkittäväksi tekijäksi, kun verrataan toimitusajan tai ennusteen keskihajontaan, joissa molemmissa on paljon käsin tehtäviä tai ylläpidettäviä kirjauksia. Keskihajonnan lisäksi kaava sisältää palvelutasovaatimuksen, joka määritettiin työssä luokkakohtaisesti.

5.4.1 Palvelutasojen määrittäminen

Varmuusvaraston kaavassa yhtenä tekijänä on haluttu palvelutaso, josta on johdettu kerroin, jota hyödynnetään laskennassa. Työssä laskettiin varmuusvarastot kaksilla (2) eri palvelutasoilla, jotta simuloinnissa oli mahdollista validoida palvelutasoja ja varastonarvoja. Ensimmäiset palvelutasot perustuivat Vratin (2014) esittämiin palvelutasoihin, jotka on esitetty taulukossa 10. Toisten varastotasojen määrittämisessä huomioitiin Pawłowska-Kalinowskan (2017) esittämät varastointimenetelmät ja Vratin (2014) sekä Rădăşanu (2016) esittämät palvelutasoehdotukset. Palvelutasot toisen simulaation varmuusvarastojen määrittämiseksi on esitetty taulukossa 16.

Taulukko 16. Toisen simulaation palvelutasot

	V	E	D
A	95 %	80 %	55 %
B	95 %	85 %	60 %
C	99,99 %	90 %	80 %

Vratin (2014) esittämiin lukuihin nähden muutos ei ole kovin suuri, mutta enempää palvelutasoja ei voitu laskea yrityksen ja työssä esitetyn varastointipolitiikan johdosta. V-luokan nimikkeillä tahdottiin pitää korkeaa palvelutasoa, koska puutteet näissä kategorioissa olisivat vaikuttaneet merkittävästi liikevaihtoon ja tulokseen. C-luokan nimikkeillä pidettiin korkeita palvelutasoja läpi VED-luokkien, koska niiden varastoon sitoma pääoma ei ole kovin suuri verrattuna A- ja B-luokkaan.

5.4.2 Varmuusvarastolaskenta

Kulutuksen keskihajonta kyettiin laskemaan toiminnanohjausjärjestelmästä saadusta datasta työlle ottojen perusteella. Töille ottoja tarkasteltiin viikkotasolla, joten jos nimikkeellä oli ottoja enemmän kuin kerran viikossa, summattiin ne yhdeksi arvoksi. Keskihajonnan tarkasteluajanjaksona oli 52 viikon töille otot. Näiden havaintojen perusteella oli mahdollista laskea nimikkeen kulutuksen keskihajonta viikkokulutusten pohjalta. Keskihajonnan laskennasta luotiin Snowflakeen 52 viikon laskenta SQL-kielellä, jotta laskenta olisi dynaaminen sekä reagoisi kulutuksessa tapahtuneisiin muutoksiin. Kun kulutuksen keskihajonta oli saatu laskettua, laskettiin nimikekohtaiset varmuusvarastot. Laskenta toteutettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla ja datalähteinä toimi aikaisemmin haettu nimikkeen toimitusaika sekä määritetty luokkakohtainen palvelutaso.

Työstä irrallaan on testattu kaavan 6 sopivuutta nimikkeistölle ilman erillistä nimikekategorisointia, mutta tämän kaavan ehdottamat varmuusvarastot olivat liian suuret yrityksen varastointipolitiikkaan verrattuna. Koettiin, että toimitusajan keskihajonnan painoarvo kaavassa oli liian merkittävä. Toimitusajan keskihajonta laskettiin tilauksien vahvistetun ja vastaanottopäivämäärän pohjalta. Jos vahvistettu päivämäärä oli 19.2.2023 ja vastaanottopäivämäärä 19.3.2023, sai ha-

vainto arvon +30 päivää. Sama laskenta toteutettiin viimeisen vuoden perusteella saapuneisiin ostotilauksiin. Näiden havaintojen perusteella laskettiin toimitusajan keskihajonta, jota hyödynnettiin varmuusvarastolaskennassa. Kysynnän keskihajontana käytettiin aiemmin laskettua arvoa.

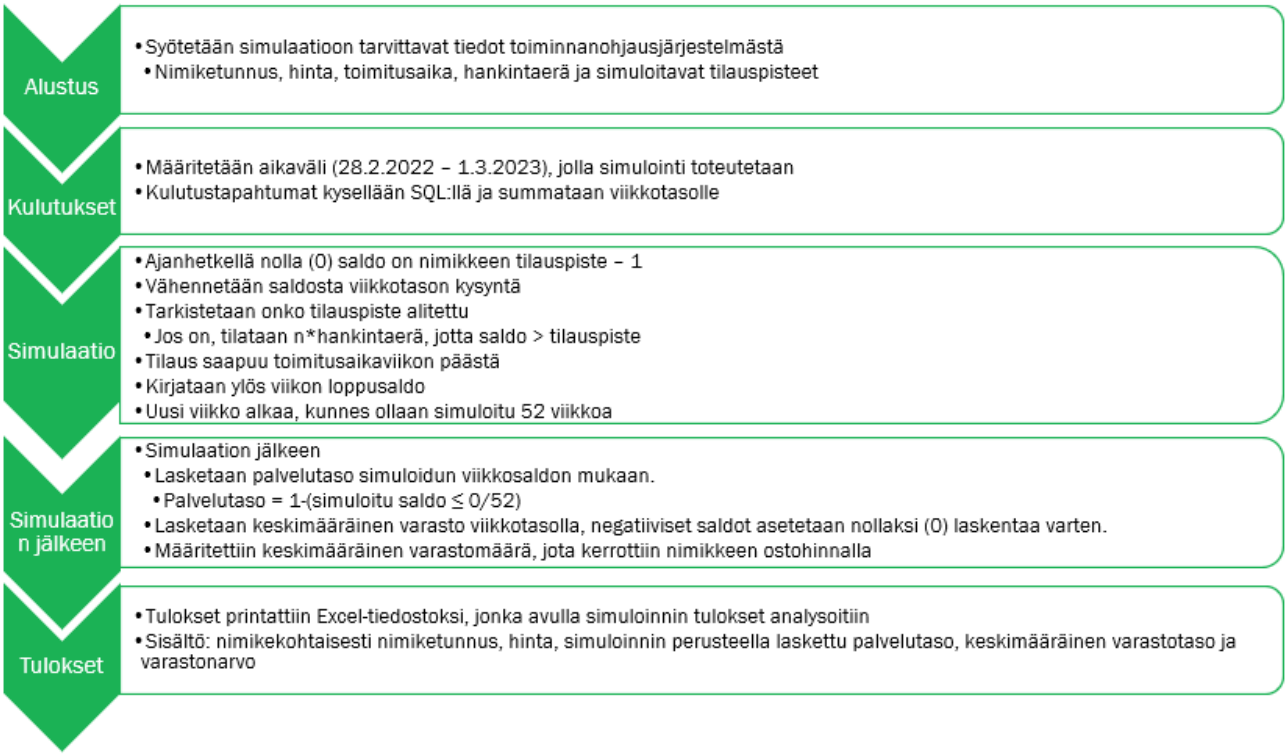
5.5 Simulointi

Simuloinnin avulla pyritään esittämään vaihtoehtoisia tulevaisuuksia tai tuloksia joko tapahtumien tai ennusteiden perusteella. Tarkoituksena on muodostaa eri skenaarioita, joiden perusteella pyritään auttamaan tulevaisuuden päätöksissä tai jo tehtyjen ratkaisujen analysoimisessa. Apuna voidaan käyttää erillisiä simulointiohjelmistoja, koodia / algoritmia tai ainoastaan Excel-taulukkolaskentaohjelmistoa.

Pitkäsen (2019) työssä tehtiin saman tyylinen simulaatio toimeksiantajayrityksen dataan pohjautuen, mutta tällöin keskityttiin eri ennustemallien vertailuun 95 % palvelutasovaatimuksella, kun tässä työssä simuloinnin avulla pyritään kartoittamaan eri nimikeluokille parhaiten soveltuva palvelutaso ja/tai ennustemalli.

5.5.1 Simuloinnin suunnittelu ja toteutus

Tässä työssä simuloitiin keskiarvovarastonarvojen muutoksien aiheuttamaa taloudellista vaikutusta ja palvelutasoissa tapahtuvaa muutosta sekä näiden korrelaatiota. Simulointi toteutettiin kokonaisuudessaan pilvessä Amazon SageMakeriin luodun Python-koodin avulla. Koodin loi yrityksen data scientist ja simuloinnin eri nimikkeillä ja palvelutasoilla ja malleilla ajoi opinnäytetyöntekijä. Kuviossa 5 on esitetty koodin logiikka ja toiminta.



Kuvio 5. Simuloinnin logiikka

Simuloinnin koodissa oletettiin, että ajanhetkellä nolla (0) nimikkeen saldo on tilauspiste miinus yksi (1), jolloin järjestelmä ehdottaisi tekemään hankintaerän kokoisen tilauksen. Tilauksen oletettiin saapuvan ajoissa toiminnanohjausjärjestelmässä ylläpidetyn toimitusajan perusteella. Jos tilaushetkellä nykysaldo ja saapunut tilauserä on alle tilauspisteen niin tilataan s*tilauserä, jotta nykysaldoon lisättyjen tilauserien saldo ylittää tilauspisteen. Tämä oli toteutettava kyseisellä tavalla, koska tutkimus ei keskittynyt tilauseräkoon vaikutuksiin (esim. EOQ – optimaalinen tilauseräkoko) varasto- tai palvelutasoihin. Tilauseräkokojen vaikutuksesta ja simuloinnin kehittämisestä sekä laajentamisesta on kirjattu jatkokehityksiin maininnat. Simuloinnin kulutusdatana käytettiin 1.3.2022 – 28.2.2023 aikana toteutuneita nimikkeiden viikkokulutuksia. Simuloinnissa oli kolme (3) eri tarkasteltavaa nimikekokonaisuutta:

1. Nimikkeet, joiden tilauspisteistä laskettu varmuusvarasto meni miinukselle
2. 500 nimikkeen erä
3. AV-CD-luokat

Ensimmäisen ryhmän avulla kyettiin tarkastelemaan nimikemassaa, jotka pelkän laskennan perusteella omasivat liian pienen tilauspisteen. Nimikkeiden varmuusvarasto sai negatiivisen arvon, kun tilauspisteestä vähennettiin toimitusajan kysyntä (viikkokulutus*toimitusaika viikoissa). Tähän nimikemassaan kuului 2,2 % simuloinnissa käytetystä nimikkeistöstä. Toinen nimikekokonaisuus muodosti simuloinnissa palvelutasojen validoinnissa käytetyn massan. Tästä oli jätetty pois ensimmäisen nimikekokonaisuuden nimikkeet, koska niitä oli simuloitu jo ensimmäisessä vaiheessa. Kolmantena ryhmänä simuloitiin kaikki nimikkeet, joilla oli ollut kysyntää viimeisen vuoden aikana.

Simulointikertoja oli yhteensä 30. Ensiksi pyrittiin määrittämään optimaaliset palvelutasot pienemmällä massalla, jotta koko tarkisteltavalle nimikkeistölle kyettiin toteuttamaan simulointi mahdollisimman tehokkaasti. Koko nimikkeistölle suoritettiin simulointi viiden (5) eri tilauspisteen perusteella. Nämä on esitetty alla listauksessa:

1. Nykyiset toiminnanohjausjärjestelmässä olevat tilauspisteet – ostajien määrittämät (Nyk. TP)
2. Taulukossa 10 esitettyjen Vratin (2014) ehdottamien palvelutasojen (60–99,99 % kategoriasta riippuen) mukaan lasketut varmuusvarastot painotetulla kysynnällä (SES)
3. Taulukossa 10 esitettyjen Vratin (2014) ehdottamien palvelutasojen mukaan lasketut varmuusvarastot vuoden kysyntää hyödyntäen (360 TP)
4. Taulukossa 16 esitettyjen palvelutasojen mukaan lasketut varmuusvarastot painotetulla kysynnällä (SES v2)
5. Taulukossa 16 esitettyjen palvelutasojen mukaan lasketut varmuusvarastot vuoden kysyntää hyödyntäen (360 v2)

5.5.2 Palvelutason ja varastonarvon muutoksen vaikutuksien laskeminen

Simuloinnista jäivät pois kaikki ABC-analyysissa D-luokan saaneet nimikkeet, koska näillä ei ollut vertailuun tarvittavia töille ottoja viimeisen vuoden aikana. Jotta nimikekohtaisia palvelutasoja oli mahdollista verrata nykyisiin tilauspisteisiin, oli työssä lasketuille varmuusvarastoille lisättävä toimitusajan kysyntä ($D * L$). Laskennat toteutettiin kaavojen 14 ja 15 avulla.

$$TP = SS + (0{,}75 * D_{90} + 0{,}25 * D_{360}) * L \tag{14}$$

$$TP = SS + D_{360} * L \tag{15}$$

Kukin tilauspiste (TP) laskettiin varmuusvaraston (SS) ja toimitusajan kysynnän ($D * L$) avulla. Tilauspisteiksi konvertointi toteutettiin sekä painotettuna ($D_{90} + D_{360}$) että vuoden tasaisen käytön perusteella (D_{360}), koska tahdottiin vertailla miten trendin dynaamisuus vaikuttaa tuloksiin.

Palvelutason mittaamisen lisäksi simuloinnin yhteydessä oli mahdollista laskea eri tilauspisteiden keskiarvovarastojenarvoissa tapahtuneet muutokset. Simuloinnissa laskettiin keskiarvovarasto, jonka avulla oli mahdollista laskea varastonarvon muutos nimikkeen ostohintaa hyödyntäen. Laskentatapa on esitetty kaavassa 16.

$$keskiarvovarastonarvo = V_{ka} * nimikkeen\ kappaleostohinta \tag{16}$$

Kaavassa V_{ka} esittää simuloinnissa laskettua keskiarvovarastoa, jota kerrotaan nimikkeen kappaleostohinnalla, jonka tuloksena saadaan laskettua keskiarvovarastonarvo.

6 Tutkimustulokset

Työssä kyettiin luokittelemaan nimikkeet ABC- ja VED-analyysin perusteella, jonka jälkeen ne sijoitettiin moniluokkamatriisin. Moniluokkien määrityksen jälkeen jokaiselle luokalle laskettiin varmuusvarastot kaksien (2) eri palvelutasojen perusteella. Varmuusvarastoihin oli lisättävä toimitusajan kulutus, jotta kyettiin muodostamaan tilauspisteet simuloinnin toteuttamiseksi. Tilauspisteiden laskennasta käytettiin dynaamista ja staattista mallia, joten simuloitavia uusia tilauspisteitä tuli yhteensä neljä (4). Näiden lisäksi simulointi toteutettiin nykyisille toiminnanohjausjärjestelmästä löytyville tilauspisteille, jotta tuloksia kyettiin vertailemaan. Simuloinnin tuloksissa vertailtiin luokkakohtaisia keskiarvovarastonarvoja ja palvelutasoja sekä näiden korrelaatiota.

Tuloksissa esitetään ensiksi nimikkeiden luokitteluun liittyvät tulokset: ABC-analyysi, VED-analyysi sisältäen AHP-laskennan ja viimeiseksi moniluokkien osuudet liikevaihdosta sekä nimikemäärä-osuudet. Luokittelujen jälkeen esitetään simuloinnin tulokset moniluokkakohtaisesti. Simuloinnin tulokset on esitetty kuvaajien avulla, joiden avulla pyritään havainnollistamaan varastonarvon ja palvelutason korrelaatio.

6.1 ABC-analyysi

Työssä suoritettiin kolme (3) eri ABC-analyysin luokitteluvaihtoehtoa. Kahden (2) tulokset on esitetty taulukoissa 17 ja 18. Taulukoiden lisäksi esitetään kolmannen luokitteluanalyysin tulokset sanallisesti. Tutkittuun tietoon pohjautuen käyttökelpoisimpana pidettäneen taulukossa 17 esitetty jakoa, joka perustui liikevaihdon osuuteen kokonaisuudesta. A-luokka sisälsi 80 % liikevaihdosta, B-luokka seuraavat 15 %, C-luokka 5 % ja loput, ei-liikevaihtoa tuoneet, nimikkeet sijoitettiin D-luokkaan. Kahta muuta luokitteluvaihtoehtoa ei koettu työssä käyttökelpoiseksi, vaan näiden tulokset tukevat valittavaksi esitettyä mallia.

ABC-luokittelu kyettiin luomaan työlle ottojen ja nimikkeen arvostushintojen perusteella. Kun työlle ottoja kerrotaan nimikkeen yksikköhinnalla, saadaan tulona nimikkeen myynnit ajanjaksossa. Luokittelussa hyödynnettiin rullaavaa 12 kuukauden työlle ottojen määriä. Nimikekohtaiset hinnat haettiin myynnin hinnastoilta, joita päivitetään kuukauden välein asiakaspalvelukeskuksen toimesta. Yksittäisen nimikkeen laskennan jälkeen, laskettiin koko nimikemassan myyntien summa. Tämän jälkeen nimikkeen ABC-luokka kyettiin määrittämään kaavan 1 avulla. Tulosten perusteella nimikkeet luokiteltiin A-, B-, C- ja D-luokkiin. Alla oleva taulukko 17 esittää luokkien nimikemassan prosentuaalisen osuuden kokonaisuudesta.

Taulukko 17. Nimikkeiden ABC-luokittelu (1)

ABC-luokka	**Nimikemassan prosenttiosuus kokonaisuudesta**	**Vaikutusosuus kokonaisuudesta**
A	1 %	0–80 %
B	4 %	80–95 %
C	26 %	95–100 %
D	69 %	0 %
Yhteensä	100 %	100 %

Analyysin perusteella huomataan, että tehty luokittelu ei noudata tarkasti Pareton periaatetta tässäkään tutkimuksessa. Suurimpana syynä on muutamien nimikkeiden iso osuus kokonaisuudesta. Eniten myyty nimike kattoi 20 % kokonaisuudesta ja kymmenen (10) eniten myydyn nimikkeen

osuus oli 50 % kokonaisuudesta. Tutkimuksessa suoritettiin kaksi (2) muutakin luokitteluvaihtoehtoa, toinen näistä on esitetty taulukossa 18.

Taulukko 18. Nimikkeiden ABC-luokittelu (2)

ABC-luokka	Nimikemassan prosenttiosuus kokonaisuudesta	Vaikutusosuus kokonaisuudesta
A	0,1 %	0–50 %
B	4,5 %	50–95 %
C	26,4 %	95–100 %
D	69,1 %	0 %
Yhteensä	100,0 %	100 %

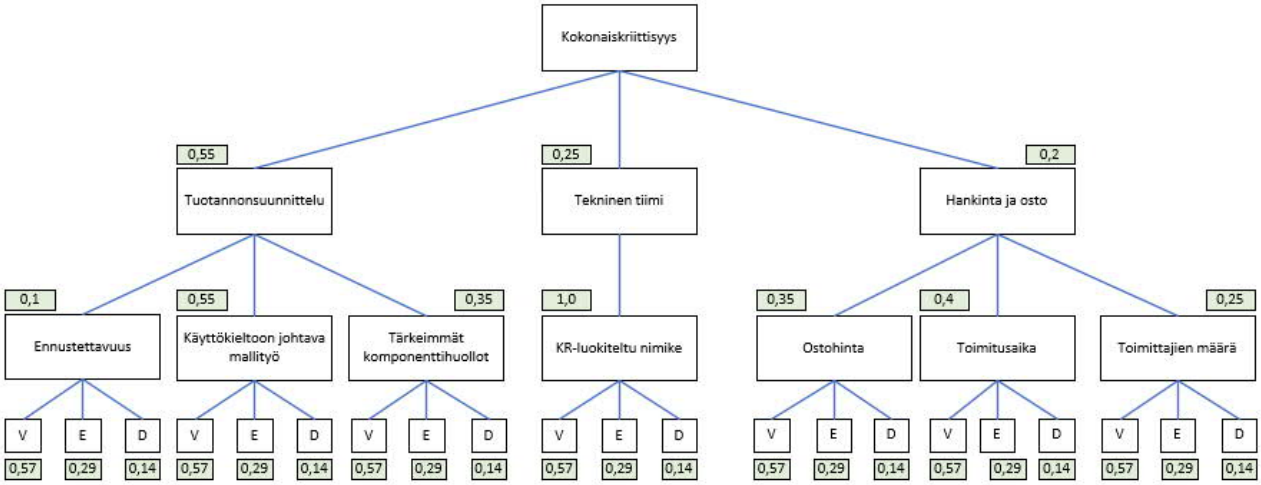
Tässä jaottelussa pyrittiin hyödyntämään tiettyä euromääräistä rajaa (50 000 €), jonka perusteella A-luokka määritettiin. Loput luokat määräytyivät Pareton periaatteen mukaisesti: B-luokka sisältää nimikkeet 95 % vaikuttavuuteen saakka ja loput 5 % kuuluisivat C-luokkaan.

Kolmas jaottelu tehtiin sillä oletuksella, että A-luokkaan kuuluu 20 % nimikemassasta ja tämän oletettu kattavuus vaikuttavuudesta on 80 %. Tällä tavoin tehdyn luokittelun tuloksena A-luokka kattoi 97 % koko vaikuttavuudesta 20 % nimikemassalla, B-luokkaa ei ollut lainkaan ja C-luokka kattoi 3 % vaikuttavuudesta 38 % nimikemassalla ja D-luokka 0 % vaikuttavuudella 42 % nimikkeistöstä.

6.2 VED-analyysi

6.2.1 Analyyttisen hierarkiaprosessin tulokset

Jotta nimikkeille oli mahdollista laskea kokonaisuuskriittisyys ja sitä kautta määrittämään VED-luokka, oli laskennassa hyödynnettävä analyyttista hierarkiaprosessia (AHP). Työpajoissa määritetyt eri toimintojen ja luokittelukriteerien painoarvot on esitetty AHP-puussa kuviossa 6.



Kuvio 6. AHP-puu painoarvoineen

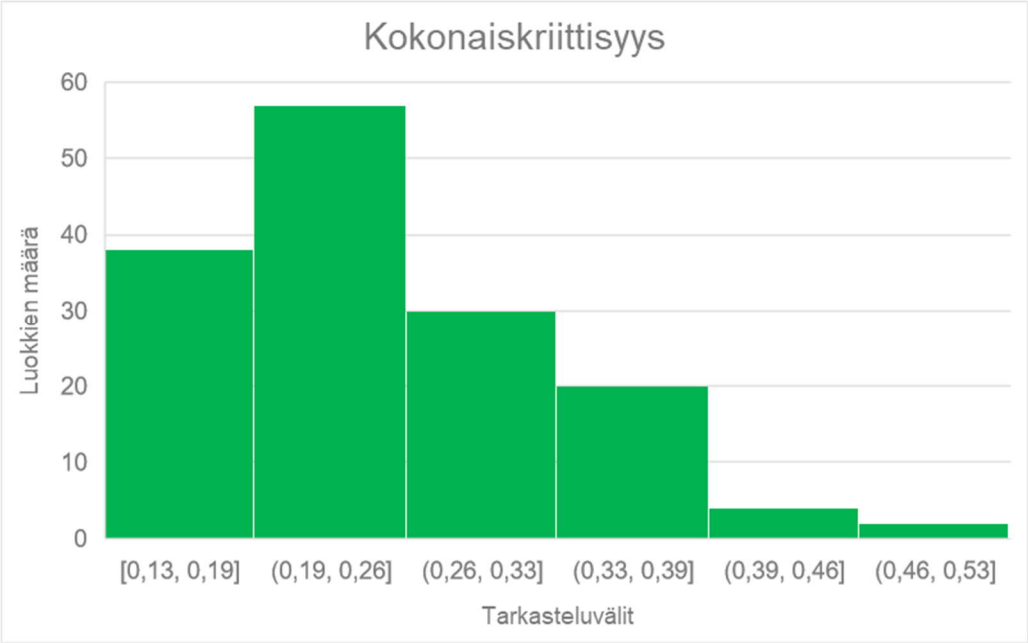
VED-analyysi ja luokat saatiin määritettyä AHP:n kokonaiskriittisyyslaskentojen perusteella. Laskennassa oli mahdollista saada maksimiarvoksi 0,57 (kaikki kriteerit=V), keskimääräiseksi 0,29 (kaikki kriteerit=E) ja minimiarvoksi 0,14 (kaikki kriteerit=D). Taulukossa 19 on esitetty laskentojen tulokset: luokkien kokonaiskriittisyyksien ylä- ja alarajat sekä prosenttiosuudet nimikkeistöstä ja liikevaihdosta.

Taulukko 19. VED-analyysin tulokset

	Yläraja	**Alaraja**	**%-osuus nimikkeistä**	**%-osuus liikevaihdosta**
V	0,52675	0,17415	27 %	87 %
E	0,17350	0,16250	20 %	6 %
D	0,16150	0,14000	53 %	7 %
Kokonaisuus	0,52675	0,12650	100 %	100 %

Tuloksista on huomattavissa, että V-luokka kattaa 27 % nimikeosuudella 87 % liikevaihdosta, E-luokka 20 % nimikkeistöllä seuraavat 5 % ja D-luokka 53 % osuudella nimikkeistöstä loput 7 % liikevaihdosta. Tässäkin tapauksessa Pareton-periaate toteutuu V- ja D-luokkien kanssa sekä nimikkeistön että vaikuttavuuden osalta, E-luokan osalta on hienoista poikkeamaa allokaatioissa.

V-luokkaan kategorisoitiin nimikkeet, jotka saivat suuremman kokonaiskriittisyysarvon kuin 0,1735, E-luokkaan kuuluivat nimikkeet, jotka saivat arvon 0,1735–0,1625 väliltä ja D-luokkaan kuuluivat alle 0,1625 arvon saaneet nimikkeet. Työssä käytettyjen luokittelukriteerien valintoja perustellaan kunkin luokan rajaavan arvon nimikemäärämuutoksen vaikutuksesta. Tuloksista huomattiin, että noin 55 % tarkasteltavista nimikkeistä sai arvon 0,1615, joka toimi E- ja D-luokan rajana. Jos kyseinen arvo olisi lisätty E-luokkaan, olisi D-luokka jäänyt erittäin pieneksi 4 % osuudellaan. Samoin V- ja E-luokan rajaava arvo 0,1735 oli perusteltu valinta E-luokalle, koska kyseisen kokonaiskriittisyyden sai 18 % nimikkeistä. Jos tämä olisi luokiteltu V-luokkaan, tärkeimmän luokan koko olisi kasvanut 40 %, jättäen E-luokan kooksi ainoastaan 2 % osuuden kokonaisuudesta. Valittuja raja-arvoja tukee myös V-luokan koko, joka mukailee Pareton-periaatetta 27 % osuudellaan. Luokkien määrät ja jakautuminen on esitetty kuviossa 7.



Kuvio 7. Kokonaiskriittisyyslaskennan jakauma

6.2.2 VED-analyysin tulokset

AHP:n avulla laskettujen kokonaiskriittisyyksien perusteella luotiin taulukko, joka esittää kunkin kriteerin VED-luokan nimikkeiden prosentuaalisen määrän. Tulokset on esitetty taulukossa 20.

Taulukko 20. VED-analyysin kriteerien nimikeosuudet

Luokittelukriteeri	Elintärkeä (V)	Välttämättömät (E)	Suotavat (D)
KR-luokiteltu nimike	Säännöllisessä käytössä oleva	Ei käyttöä viimeiseen vuoteen	Ei KR-nimike
Nimikemäärä	0,9 %	0,7 %	98,4 %
Ennustettavuus	80 % - 100 %	25 % - 80 %	<25 %
Nimikemäärä	14 %	5 %	82 %
Käyttökieltoon johtava mallityö	Työn tarvelaskentamäärä >1–0,8	Työn tarvelaskentamäärä >0,8–0,01	Työn tarvelaskentamäärä 0
Nimikemäärä	3,0 %	2,5 %	94,5 %
Merkittävät komponentit	TOP40-komponentit	TOP100-komponentit	Loput
Nimikemäärä	1,4 %	5,4 %	93,2 %
Hinta	>20 000 €	≥1 000 € ja ≤20 000 €	<1 000 €
Nimikemäärä	0,4 %	6,0 %	93,6 %
Toimitusaika	≥4 kuukautta	≥1,5 kuukausi ja ≤4 kuukautta	≤1,5 kuukautta
Nimikemäärä	10,7 %	24,5 %	64,8 %
Toimittajien määrä	0–1	2	≥3
Nimikemäärä	93,1 %	6,2 %	0,6 %

KR-luokittelu

Tuloksista huomataan, että KR-nimikkeiden osuus kokonaisuudesta on kohtalaisen pieni, ainoastaan 2 % nimikkeistä on KR-status. Aktiiviset ja uinuvat jakautuivat tasan, molempiin kuului 1 % nimikemassasta. Loput 98 % nimikkeistä eivät olleet KR-nimikkeitä. Vaikka V- ja E- luokkien nimikemäärä oli pieni, tahdottiin KR-status säilyttää yhtenä luokittelukriteerinä, koska näihin nimikkeisiin liittyy erityisvastuita ja prosesseja.

Ennustettavuus vikaantumisprosentin perusteella

Nimikkeen vikaantumiseen liittyen huomataan, että 14 % nimikkeistä otetaan lähes aina (80–100 %) vikatöille, joten niiden käyttöä ei kyetä suunnittelemaan ennakkohuoltojen yhteydessä. Melko vähäinen määrä, 5 %, nimikkeistä kuluu sekä vikatöille että suunnitelluille töille (25–80 %). 82 % nimikemassasta kulutetaan suunnitellusti (<25 %) ennakkohuolloille. Tulokset lisäävät luottamusta

uuden toiminnanohjausjärjestelmään siirryttäessä, koska toiminta pohjautuu suunniteltuihin töihin, joista MRP luo ostotilausehdotukset. Uuteen järjestelmään luodaan kalustokohtainen vikaennuste, joka syöttää tarvetta MRP:lle ja sitä kautta myös ostajille.

Käyttökieltoon johtavien mallitöiden rakenteet

Käyttökieltoon johtavien mallitöiden nimikkeiden osalta tulokset olivat seuraavat: V-luokka 3 %, E-luokka 3 % ja D-luokka 94 % nimikkeistä. V- ja E-luokkien nimikeosuudet ovat alhaiset, koska käyttökieltoon johtavia mallitöitä ei ole prosentuaalisesti paljon kaikista töistä. Käyttökieltoon johtavia mallitöiden osuus suunnitelluista töistä oli 12 %, joten analyysin tulos tukee tätä suhdelukua. Analyysi suoritettiin ainoastaan suunnitelluille töille, joten vikatöille kuluvat nimikkeet eivät kuulu tähän kategoriaan, vaan vikaantuminen huomioidaan nimikkeen ennustettavuus -kategoriassa.

Merkittävimpien komponenttien rakenteet

Analyysin tuloksien perusteella V-luokkaan kuului 1 % nimikkeistä ja E-luokkaan 5 % nimikkeistä. Loput, 94 %, nimikkeistä luokiteltiin D-luokkaan. Tuloksista huomataan, että kohtalaisen pieni osa nimikkeistä kuulu V- ja E-luokkiin. Näiden luokkien pienet koot johtuvat verrattain pienestä TOP100-nimikkeiden osuudesta. Jo luotua määrittelyä TOP-nimikkeistä ei lähdetty muuttamaan, koska työn pohjalta on tarkoitus tehdä VED-laskenta kaikille kunnossapidossa käytettäviin nimikkeisiin.

V-luokkaan kategorisoidut TOP40-komponentit sisälsivät sekä Helsingin että Pieksämäen merkittävimmät itse valmistettavat komponentit, joista muodostuu 55 % koko komponenttituotannon liikevaihdosta. E-luokka tuo liikevaihdosta 19 %, kun taas loput työ muodostavat puuttuvan 26 %. Budjetista eroteltiin työssä tutkittavat komponentit ja niiden rakenteet. Tarkemmat allokaatiot on esitetty taulukossa 21.

Taulukko 21. Merkittävimpien komponenttien osuudet budjetista

	Tutkittavien nimikkeiden %-osuus budjetista	Liikevaihdon osuus kategoriasta
TOP40	30 %	34 %
TOP100	33 %	39 %
Loput	2 %	0,1 %
Kokonaisuus	4 %	26 %

Toimitusaika-analyysi

Toimitusajan osalta nähdään tasaisempaa jakautumista VED-luokkiin. Pitkien toimitusaikojen (≥4 kuukautta) piiriin kuului 11 % nimikkeistöstä, keskimääräisen (≥1,5-≤4 kuukautta) 24 % ja lyhyiden toimitusaikojen nimikkeisiin 65 %. Toimitusaika-analyysin tulokset tukevat mielikuvaa, että raideliikenteen kunnossapidossa käytettävien nimikkeiden toimitusajat ovat pitkiä systeemien kompleksisuuden ja alalla vallitsevan regulaation johdosta.

Toimittajien määrä

Toimittajien määrän osalta huomataan, että suurimmalle osalle nimikkeistä (94 %) ei ollut ostotapahtumia kuin yhdeltä tai ei yhdeltäkään toimittajalta 10 vuoden aikana. Osalle nimikkeistä (6 %) oli ostoja kahdelta toimittajalta ja pienemmällä määrällä (1 %) oli ostoja kolmelta tai yli toimittajalta. Tulokset eivät kerro potentiaalisten toimittajien määrää, koska analyysi perustui puhtaasti historian ostodataan. Tuloksista on huomattavissa, että nimikkeiden osalta olisi järkevää toteuttaa käytettävien tuotteiden standardisointia ja useimpien toimittajien käyttöä, jotta VED-luokkaa olisi mahdollista alentaa.

6.2.3 Moniluokkakategorisointi

Tehtyjen analyysien perusteella nimikkeistö kyettiin sijoittamaan moniluokkien perusteella matriisiin. Työssä esitetään kunkin kategorian nimikeosuus ja liikevaihdollinen vaikutus. Laskentojen tulokset on esitetty taulukoissa 22 ja 23.

Taulukko 22. Moniluokkamatriisi nimikemäärien allokaatiot

Moniluokkamatriisi (nimikeosuus)

	A	B	C	D	Yhteensä
V	0,6 %	2,2 %	9,3 %	9,4 %	21,6 %
E	0,1 %	0,5 %	4,1 %	14,9 %	19,7 %
D	0,1 %	1,0 %	13,0 %	44,7 %	58,7 %
Yhteensä	0,8 %	3,8 %	26,4 %	69,1 %	100,0 %

Taulukko 23. Moniluokkamatriisi liikevaihdon allokaatio

	Moniluokkamatriisi (liikevaihto)				
	A	**B**	**C**	**D**	**Yhteensä**
V	75,9 %	9,7 %	2,4 %	0,0 %	88,0 %
E	2,3 %	2,1 %	0,9 %	0,0 %	5,3 %
D	1,7 %	3,3 %	1,8 %	0,0 %	6,7 %
Yhteensä	79,9 %	15,1 %	5,0 %	0,0 %	100,0 %

Tuloksista on huomattavissa, että merkittävin osuus liikevaihdosta muodostuu pienestä määrästä nimikkeitä. VA-luokka sisältää ainoastaan 0,6 % nimikkeistöstä, mutta ne tuottavat 75,9 % liikevaihdosta. Liikevaihdollisesti huomioitavaa on VB-luokan 9,7 % osuus 2,2 % nimikkeistöllä. Täten alle 3 % nimikkeistöstä tuottaa melkein 86 % liikevaihdosta.

Suurin osa nimikkeistä sijoittuu VED-luokittelussa D-luokkaan ja ABC-luokittelussa C- ja D-luokkiin, yhteensä 57,7 %. Näiden kokonaisvaikutus liikevaihtoon oli pieni, ainoastaan 1,8 %. VC- ja VD-luokkien osalta huomioitavaa on, että tuloksien perusteella 18,7 % nimikkeistöstä kuuluu näihin tuotannollisesti kriittisiin luokkiin, joiden tärkeys ei olisi tullut esille pelkän ABC-luokittelun perusteella. Pelkän ABC-analyysin perusteella C- ja D-luokkaan olisi kuulunut yhteensä 95 % nimikkeistöstä, kuten taulukossa 17 on esitetty. Moniluokkakategorisoinnin avulla kyettiin jakamaan tämä osuus pienempiin kokonaisuuksiin, joka mahdollistaa tarkemman ohjauksen tulevaisuudessa.

6.3 Varmuusvarastolaskennan ja simuloinnin tulokset

Simulointi toteutettiin viidellä (5) eri tilauspisteellä, joiden selitteet listattu alle. Vratin (2014) esittämät palvelutasot on esitetty taulukossa 10 ja muokatut palvelutasot taulukosta 16.

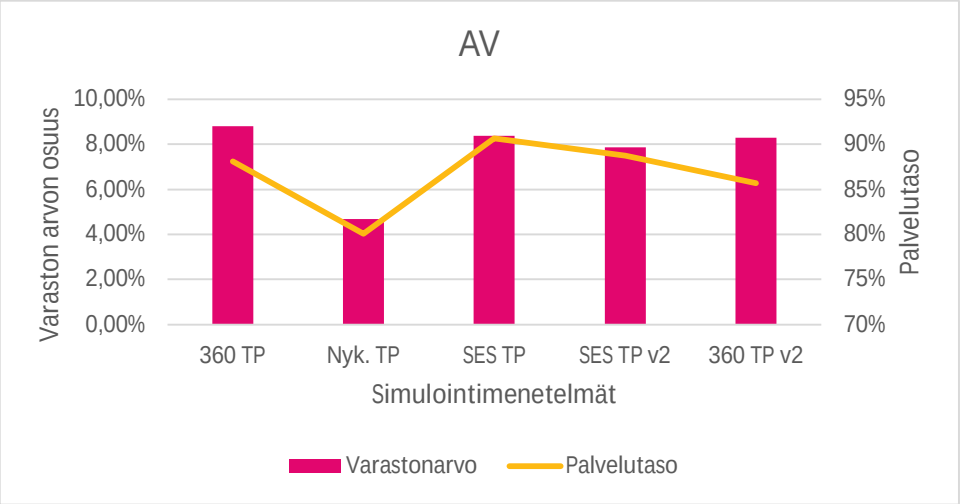
- Tasainen, viimeisen vuoden, kysyntä Vratin (2014) ehdottamilla palvelutasoilla (360 TP)
- Nykyinen, järjestelmästä löytyvä tilauspiste (Nyk. TP)
- Painotettu kysyntä Vratin (2014) ehdottamilla palvelutasoilla (SES TP)
- Painotettu kysyntä muokatuilla palvelutasoilla ehdottamilla palvelutasoilla (SES TP v2)
- Tasainen, viimeisen vuoden, muokatuilla palvelutasoilla (360 TP)

Simuloinnin avulla kyettiin laskemaan määritettyjen tilauspisteiden palvelutaso ja keskiarvovarasto ajanjaksossa nimikekohtaisesti. Nimiketasoisen datan ja aiemmin luodun luokittelun avulla tuloksia oli mahdollista tarkastella luokkakohtaisesti. Luokkakohtaiset varastonarvot on esitetty prosenttiosuutena koko tutkittavan nimikkeistön varastonarvosta. Palvelutaso on esitetty kunkin luokan havaintojen keskiarvona. Tulokset on esitetty yhdistelmäkaaviona, jossa pylväsdiagrammi kuvaa varaston arvon osuutta ja viivadiagrammi palvelutasoa.

Varmuusvarastolaskennassa asetetut palvelutasot eivät suoraan kerro mikä minkäkin simulointimenetelmän palvelutason tulisi olla, koska määritetty palvelutaso ottaa huomioon ainoastaan varmuusvarastoon kohdistuvat yllättävät kulutukset. Tilauspistemallissa ennakolta suunniteltuja töitä ei ole mahdollista erotella laskennassa, mutta tämä on mahdollista toteuttaa MRP:n suunnitteleman tarvelaskennan avulla, kun ennakoitujen töiden materiaalitarpeet tilataan ennakkoon todellisia kulutuksia varten.

6.3.1 A-luokkien tulokset

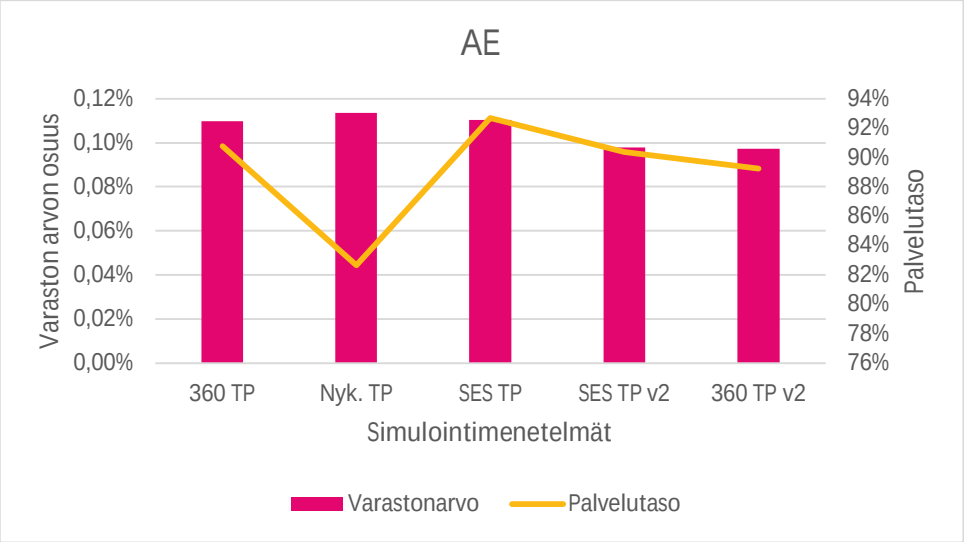
A-luokan nimikkeet olivat merkittävässä asemassa, kun asiaa tarkastellaan sitoutuneen pääoman näkökulmasta. AV-luokassa ero oli huomattava nykyisten tilauspisteiden ja muiden välillä. AV-luokkaan liittyvät luvut on esitetty kuviossa 8.



Kuvio 8. Simuloinnin tulokset, AV-luokka

Tämän tärkeimmän luokan, niin ABC- kuin VED-analyysin perusteella, osalta on määritettävä paljonko varastonarvoa voidaan lisätä, jotta saavutetaan haluttu palvelutaso. Nykyisillä tilauspisteillä on selkeästi heikompi palvelutaso kuin muilla simuloinneilla, mutta varastonarvokin on huomattavasti alhaisempi kuin verrokeilla. Tehokkain menetelmä AV-luokan osalta on SES TP, jolla saavutetaan parhain palvelutaso tehokkaimmalla varastonarvolla. Nyk. TP ja SES TP:t ovat Pareto-tehokkaita, koska parempaa palvelutasoa ei voida saavuttaa alhaisemmalla varastonarvolla.

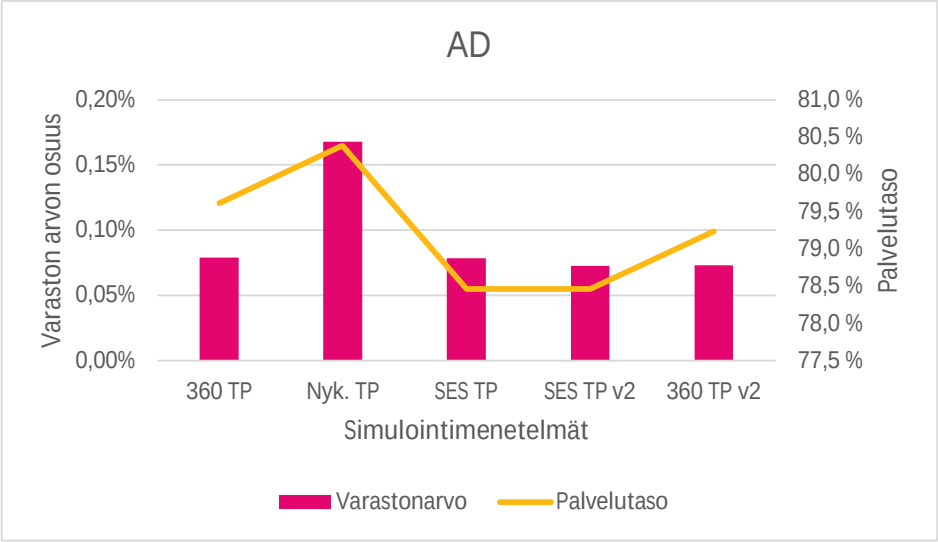
AE-luokan osalta varastonarvon vaikutus ei ollut kovin merkittävä kokonaisuutta ajatellen, kun simuloinneissa suurin osuus oli 0,11 % kokonaisvarastonarvosta. Tulokset on esitetty kuviossa 9.



Kuvio 9. Simuloinnin tulokset, AE-luokka

AE-luokan osalta heikoimmin suoriutui nykyiset tilauspisteet (Nyk. TP) suurimmalla varastonarvolla ja heikoimmalla palvelutasolla. Tehokkaimmat tulokset saavutettiin SES:iin perustuvien tilauspisteiden kanssa. Kun verrataan sitoutuneen pääoman ja palvelutason vaikutusta, paras tulos saavutettiin SES TP:n avulla. Tämän kategorian ohjauksessa tulisi miettiä voidaanko kyseistä menetelmää hyödyntää nykyisten tilauspisteiden validoinnissa.

AD-luokan osalta varastonarvon merkitys ei myöskään ollut kovin suuri kokonaisuutta ajatellen. Simuloinnin tulokset on esitetty kuviossa 10.

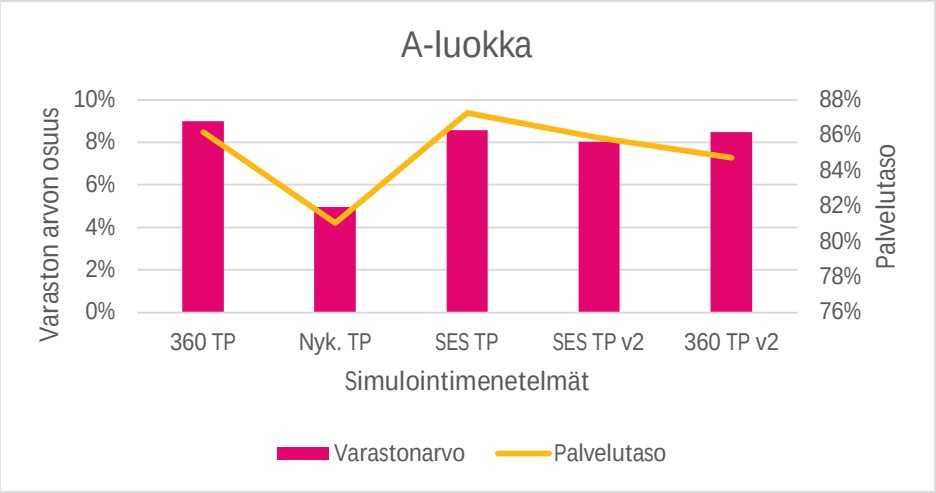


Kuvio 10. Simuloinnin tulokset, AD-luokka

Kategorian osalta parhaimman palvelutason saavutti Nyk TP., mutta muita huomattavasti suuremmalla varastonarvolla sen ollessa yli tuplaten muihin verrattuna. Palvelutasot vaihtelivat 79 % ja 81 % välillä, joten näiden ero ei ollut kovin merkittävä. Tässä luokassa selkeästi tehokkaimmat tulokset tulivat tasaisen kysynnän (360 TP ja 360 TP v2) tilauspisteillä.

A-luokan nimikkeiden tuloksien perusteella voidaan päätellä, että tärkeimpiä nimikkeitä (AV-luokka) tulisi ohjata käsin, mutta tilauspisteiden kokoon ja toimitusten ajoittamiseen tulisi kiinnittää huomiota, jotta palvelutasoa kyettäisiin nostamaan ilman, että varastonarvo kasvaa samassa suhteessa. AE-luokan osalta on todennettavissa, että tehokkaimmat tulokset saavutettiin painotetun kysynnän tilauspisteiden (SES TP:t) kanssa. AD-luokan osalta saavutettiin parhaat tulokset tasaisen kysynnän avulla luotujen tilauspisteiden kanssa (360 TP:t).

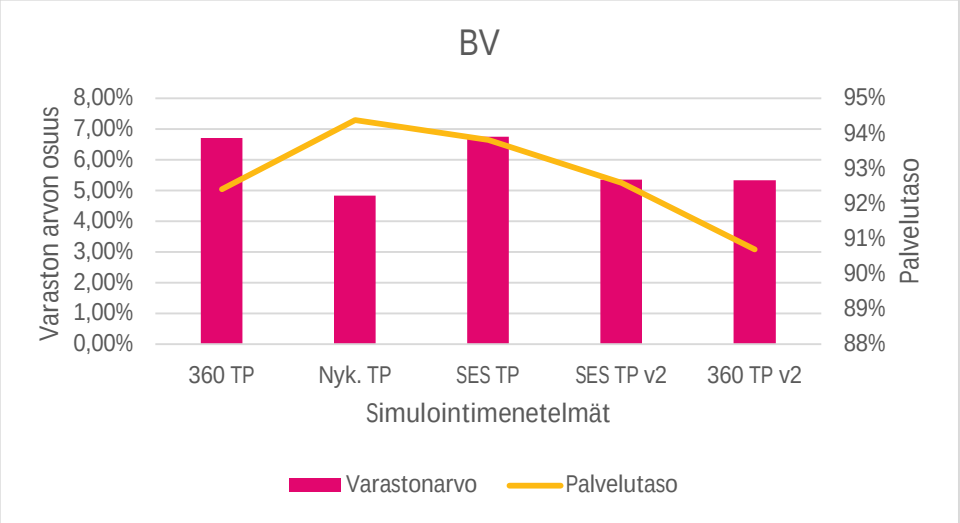
Kuviossa 11 on esitetty A-luokan kooste eri simulointien keskiarvovarastojen arvot kokonaisuudesta ja palveluasteiden keskiarvo.



Kuvio 11. A-luokan simuloinnin yhteenveto

6.3.2 B-luokkien tulokset

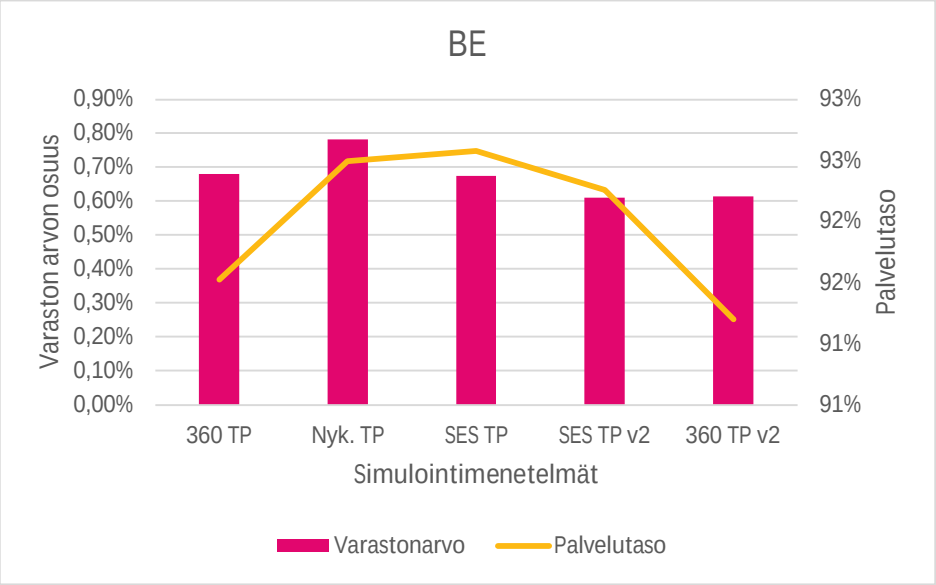
B-luokan nimikkeiden osalta nykyiset tilauspisteet (Nyk. TP) pärjäsivät kohtalaisen hyvin saadessa kahdessa (2) luokassa parhaat ja kolmannessa toiseksi parhaimmat palveluasteet. Seuraavaksi parhaiten toimi Vratin (2014) ehdottamilla palvelutasoilla simuloidut painotetun kysynnän tilauspisteet (SES TP ja SES TP v2). B-luokan tärkeimmän kategorian, BV:n, tuloksista huomataan, että nykyiset tilauspisteet dominoivat muita simulointeja. BV-luokan tulokset on esitetty kuviossa 12.



Kuvio 12. Simuloinnin tulokset, BV-luokka

Paras palvelutaso saavutettiin 30 % alhaisemmalla varastotasolla kuin seuraavana oleva SES TP. Tätä voidaan pitää erittäin merkittävänä tuloksena, koska varastonarvon muutos on kokonaisuudesta 2 %. Nykyisen tilauspisteen (Nyk. TP) kanssa likimain samoilla varastonarvoilla saavutettiin alle 2 % heikommat saatavuudet. Tämän luokan osalta tasaisen kysynnän avulla luodut tilauspisteet eivät tuottaneet toivottua tulosta, vaan niiden varastotasot olivat korkeat ja palvelutasot verrokkejaan heikommat.

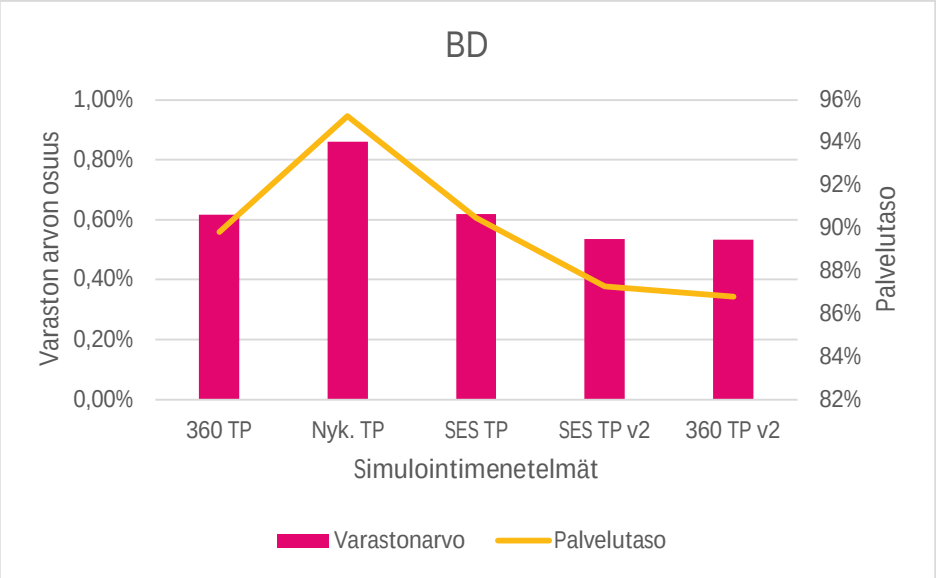
BE-luokassa parhaiten menestyi painotetun kysynnän avulla luodut tilauspisteet (SES TP) ollen selkeästi tehokkain vaihtoehto tämän luokan varmuusvarastointiin. Tulokset ovat saman suuntaiset kuin AE-luokan osalta. Kuvio 13 esittää BE-luokan tulokset.



Kuvio 13. Simuloinnin tulokset, BE-luokka

Tasaisen kysynnän tilauspisteet (360 TP ja 360 TP v2) eivät menestyneet tässä kategoriassa varastonarvon ollessa korkea ja palvelutason matala. Nykyisten tilauspisteiden osalta varastonarvo oli 13 % suurempi SES TP:hen verrattuna, palvelutason ollessa likimain sama.

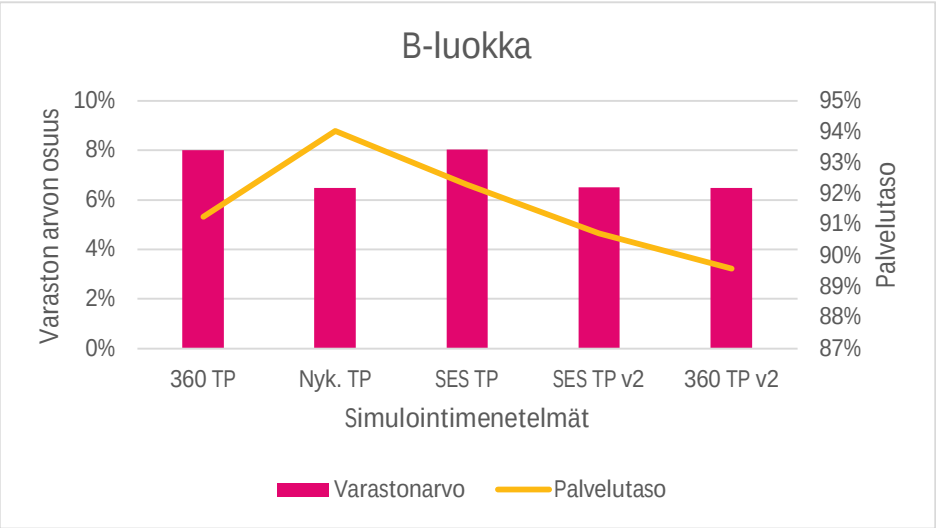
BD-luokassa parhaimmat tulokset saavutettiin nykyisillä tilauspisteillä (Nyk. TP). Selkeästi korkein palvelutaso, yli 5 % ero seuraavaan, kompensoi korkeimman varastonarvon, koska kokonaisvaikutus varastonarvoon on ainoastaan 0,2 %. BD-luokan tulokset on esitetty kuviossa 14.



Kuvio 14. Simuloinnin tulokset, BD-luokka

BD-luokan tuloksista huomataan, että tasaisen ja painotetun kysynnän perusteella luodut tilauspisteet olivat varastonarvoiltaan ja palveluasteiltaan likimain tasavertaiset. Painotetun kysynnän (SES TP ja SES TP v2) palvelutasot olivat ainoastaan hieman tasaista kysyntää (360 TP ja 360 TP v2) paremmat. Tulokset poikkeavat AD-luokan tuloksista, jossa tasaisen kysynnän perusteella luodut tilauspisteet toimivat parhaiten.

Koko B-luokan simulointien tulokset on esitetty kuviossa 15.



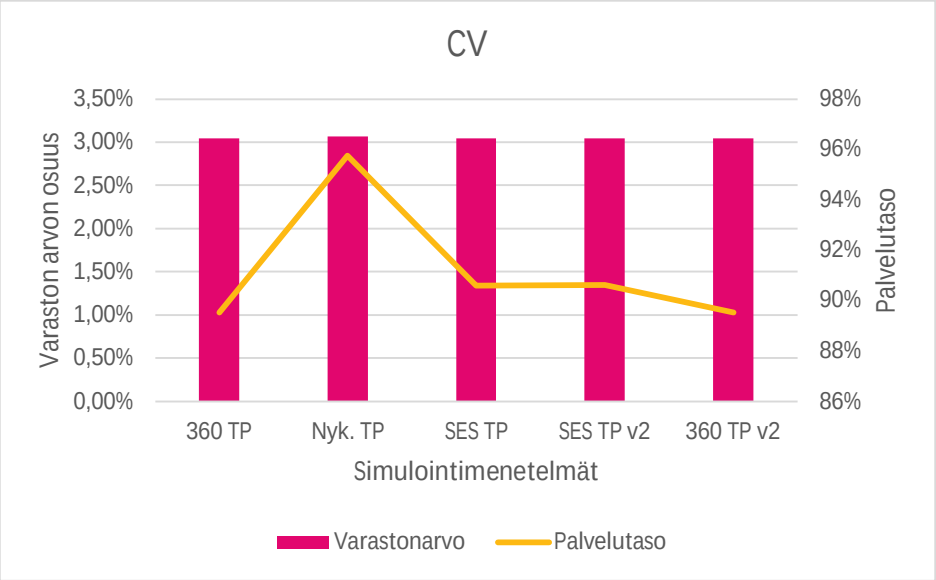
Kuvio 15. B-luokan simuloinnin yhteenveto

Kokonaisuudessaan B-luokan osalta parhaat tulokset saavutettiin nykyisillä ostajien määrittämillä tilauspisteillä (Nyk. TP), jotka dominoivat muita simulointeja saavuttaen alhaisimmalla varastotasolla parhaan palveluasteen. Seuraavaksi parhaiten suoriutui painotettuun kysyntään pohjautuvat (SES) tilauspisteet ja heikoimmin tasaisen kysynnän tilauspisteet (360).

6.3.3 C-luokkien tulokset

C-luokan nimikkeiden varastonarvo oli edellisiin luokkiin verrattuna kohtalaisen alhainen, kaikkien C-luokkien yhteenlaskettu osuus oli noin 5 %. Nimikkeistön osalta C-luokka on erittäin merkittävä, koska siihen kuuluu 26,4 % tutkittavista nimikkeistä. Kunnossapitoliiketoiminnassa edullinen ja vähäpätöiseksi luonnehdittu nimike voi pysäyttää koko tuotannon. Tästä syystä tämän luokan osalta tulisi painottaa palvelutasoja, koska suuremmat varmuusvarastot eivät sido pääomaa samoissa määrin kuin A- ja B-luokkien tärkeimmät kategoriat.

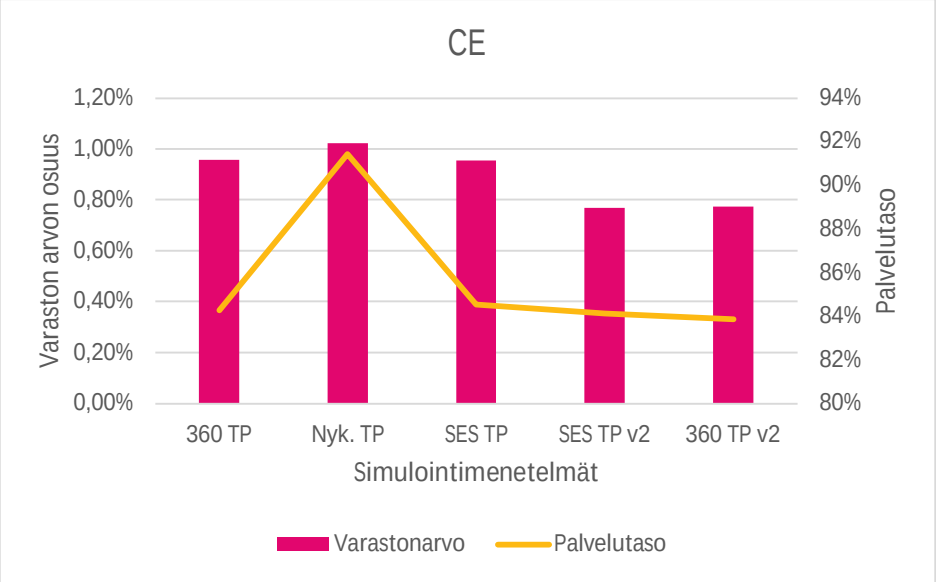
Ensimmäiseksi analysoidaan CV-luokan tulokset, jotka on esitetty kuviossa 16. Jokaisella simuloinnilla oli samat varastonarvot, mutta nykyisillä tilauspisteillä saavutettiin parhain palvelutaso, joten se dominoi tämän luokan simulointeja. Varaston arvon ollessa kaikilla sama, on todettava, että simulointia varten rakennetuilla tilauspisteillä varmuusvarastointi ei ole ollut tehokasta nykyisiin tilauspisteisiin (Nyk. TP) verrattuna.



Kuvio 16. Simuloinnin tulokset, CV-luokka

Nykyiset tilauspisteet (Nyk. TP) dominoivat tätä luokkaa selkeästi melkein 5 % palvelutason erolla seuraaviin vaihtoehtoihin verrattuna. Tulokset ovat hyvin samanlaiset kuin BV-luokan osalta, jossa nykyiset tilauspisteet dominoivat selkeästi luokkaa. Painotetun kysynnän avulla luodut tilauspisteet (SES) palvelivat hieman paremmin kokonaisuutta kuin tasaisen kysynnän tilauspisteet (360).

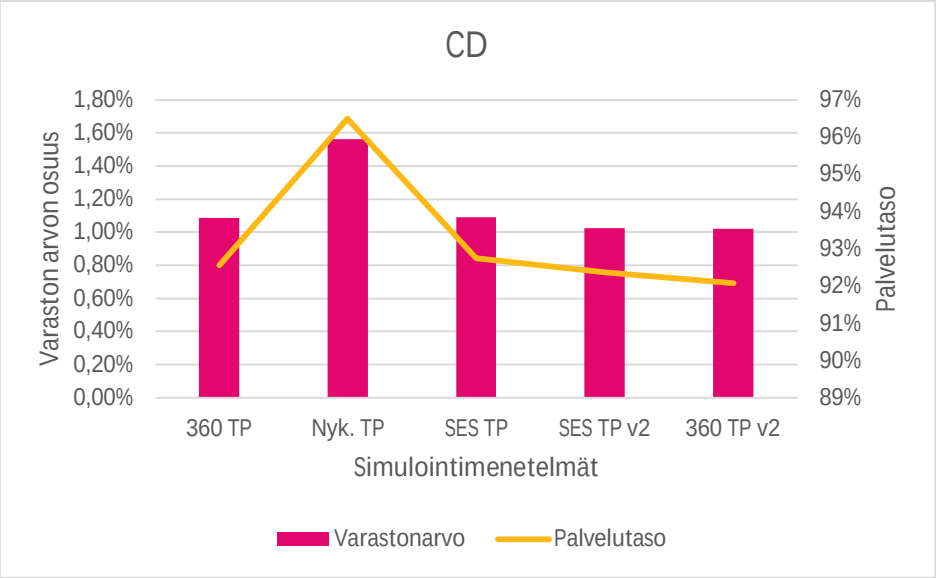
CE-luokan tulokset on esitetty kuviossa 17.



Kuvio 17. Simuloinnin tulokset, CE-luokka

Tuloksista huomataan, että nykyiset tilauspisteet pärjäsivät simuloinneista parhaiten. Tämän luokan osalta palvelutason ero seuraavaan on merkittävä (7 %), koska kaikkien kolmen (3) varastonarvot likimain samat.

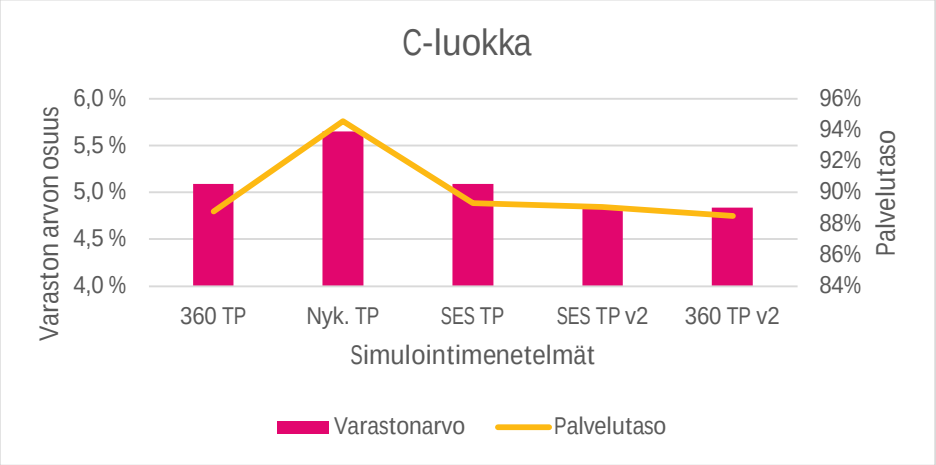
CD-luokan osalta kaikkien simulointien kanssa päästiin korkeisiin palvelutasoihin, mutta selkeästi parhaimmat tulokset tulivat nykyisten tilauspisteiden kanssa. Luokan tulokset on esitetty alla kuviossa 18.



Kuvio 18. Simuloinnin tulokset, CD-luokka

Tuloksien perusteella 0,6 % kokonaisvarastonarvon nostolla oli mahdollista parantaa 4 %-yksikköä, kun käytettiin nykyisiä tilauspisteitä. Suhteessa muihin menetelmiin, varastonarvon muutos on suuri (+40 %), mutta sen pääomavaikutus pieni. Muiden menetelmien kesken ei ole huomattavissa merkittävää eroa palvelutasoissa, kun verrataan varastonarvon ja palvelutason korrelaatiota. Tämän luokan osalta on kuitenkin suosittava automaattista laskentaa. Simuloinneista tehokkain oli SES TP.

C-luokan yhdistetyt tulokset on esitetty kuviossa 19.

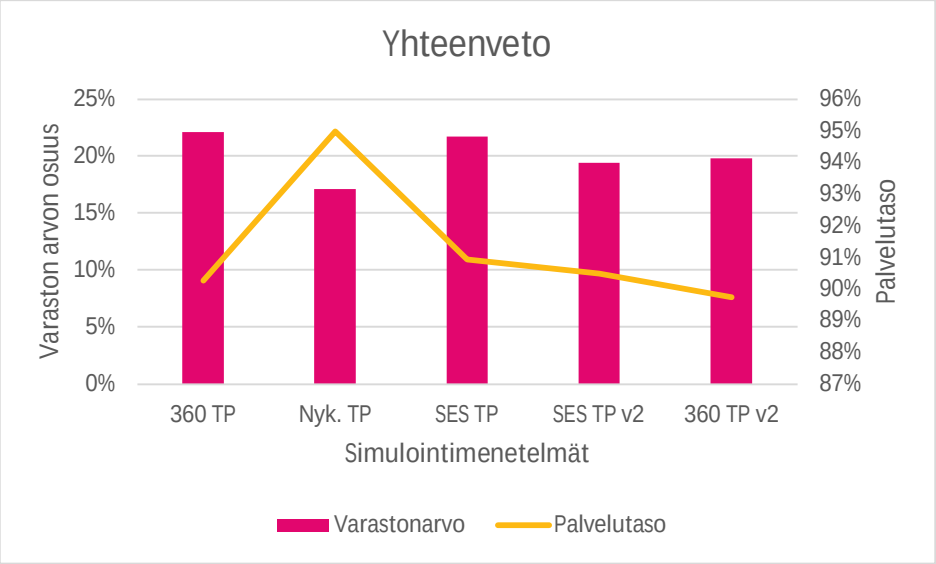


Kuvio 19. C-luokan simuloinnin yhteenveto

C-luokan osalta parhaat tulokset saavutettiin nykyisten tilauspisteiden (Nyk. TP) kanssa, vaikka varastonarvo oli simulointien suurin. Tämän luokan tarkoituksena oli optimoida palvelutasoa, koska pääomavaikutus ei ollut kovin merkittävä. Sama trendi toistui jokaisessa luokassa, nykyisten tilauspisteiden varastonarvo oli suurin, mutta palvelutaso selkeästi parempi kuin verrokeilla. Ainoastaan 0,5 % kokonaisvarastonarvon nostolla on mahdollista saavuttaa 5 % palvelutason noston käyttämällä nykyisiä tilauspisteitä (Nyk. TP) luokan ohjauksien kanssa. Muiden simulointien osalta tulokset ovat likimain samat, kun verrataan varastonarvon ja palvelutason korrelaatiota.

6.4 Yhteenveto

Tuloksista on huomattavissa, että kokonaisuudessaan nykyisillä ostajien määrittämillä tilauspisteillä saavutettiin keskimäärin parempi palvelutaso pienemmällä varmuusvarastolla, nykyiset tilauspisteet näyttivät dominoivan muita menetelmiä. Tämä ei kuitenkaan kuvaa koko totuutta, koska arvokkaimmissa luokissa sekä varastonarvo että palvelutaso olivat merkittävästi huonompia. Kokonaisuuden laskenta on toteutettu keskivarastonarvojen summana ja palvelutasojen keskiarvolla, joten se ei huomioi kaikkia näkökulmia. Kaikkien luokkien varastonarvot suhteessa kokonaisuuteen ja palvelutason keskiarvo on esitetty kuviossa 20.



Kuvio 20. Simuloinnin tulokset, kaikki luokat

Tulokset eivät tarkoita, että kysynnän keskihajontaan pohjautuva varmuusvarastolaskenta ei olisi hyödyksi nykyisten tilauspisteiden validoinnin tai ohjaustapojen määrittämisen kanssa. Vratin

(2014) esittämät ja työssä käytetyt palvelutasot toimivat paremmin kuin toisessa simuloinnissa käytetyt palvelutasot, jotka on esitetty taulukossa 16. Suurimmassa osassa moniluokkien simulaatioita ei ollut merkitystä käytettiinkö tilauspisteiden laskennassa 360 päivän vai painotetun (SES) mukaan määritettyä kulutusta.

Poikkeuksen koko massaan tekee AV-luokka, jossa nykyisillä tilauspisteillä saavutettiin heikoin palvelutaso, mutta muihin verrattuna selkeästi alhaisemmilla varastonarvoilla. Näiden nimikkeiden ohjausarvoihin ja analysointiin tulisi keskittyä, jotta palvelutasoa kyettäisiin nostamaan hallitusti ilman, että varastonarvot kasvavat merkittävästi. Tätä tukee myös pieni nimikemäärä, joka mahdollistaa tehokkaan toiminnan.

Taulukossa 24 on esitetty simuloinnin tulokset luokittain. Tuloksien osalta esitetään simulointien halvin sekä paras palvelutaso ratkaisu. Ehdotusten osalta esitetään luokkakohtaista ohjaustapasuositusta perusteluineen. Useimmiten halvimpana vaihtoehtona oli tasaisen kysynnän ja muokattujen palvelutasojen perusteella lasketut tilauspisteet (360 TP v2), sen esiintyessä neljän (4) luokan osalta edullisimpana vaihtoehtona. Muokattujen palvelutasojen alhaisemmat varmuusvarastotasot näkyivät tuloksissa, koska Vratin (2014) määrittämät menetelmät eivät olleet edustettuina halvimpina ratkaisuina. Tämä on loogista, koska varmuusvaraston laskentakaavassa 5 muut parametrit (kysynnän keskihajonta ja toimitusajan neliöjuuri) ovat muuttumattomat. Merkittävimmissä (AV, BV, CV) luokissa varmuusvarastonarvot olivat alhaisimmat nykyisillä tilauspisteillä (Nyk. TP).

Kokonaisuudessaan paras palvelutaso saavutettiin nykyisillä tilauspisteillä (Nyk. TP), menetelmän ollessa parhaana vaihtoehtona kuudessa (6) luokassa. Loppujen kolmen (3) luokan osalta parhaat palvelutasot saavutettiin painotetun kysynnän ja Vratin (2014) esittämien palvelutasojen avulla. Tasaisen kysynnän perusteella luodut tilauspisteet eivät saavuttaneet parasta palvelutasoa yhdessäkään luokassa. Tämä johtuu mahdollisesti, että vuodenvaihteen osalta tuotannot ovat käyneet korkealla kapasiteetilla. Toinen mahdollisuus on, että työt eivät olleet jakaantuneet tasaisesti koko vuodelle, jonka takia tasaisen kysynnän avulla luodut tilauspisteet eivät saavuttaneet parhaita palvelutasoja.

Taulukko 24. Simuloinnin tuloksien analysointi

	Simuloinnin tulokset		Ehdotus	
	Halvin	**Paras palvelutaso**	**Ohjaustapasuositus**	**Perustelu**
AV	Nyk. TP	SES TP	Nyk. TP	Tärkeimpiä nimikkeitä tulisi ohjata käsin, jotta kyettäisiin optimoimaan varastonarvoa ja palvelutasoa. Tähän luokkaan kuului hyvin pieni osa nimikkeistä, joilla oli kuitenkin suuri vaikutus. Luokkaan kuulu jo nyt ennustettavia ja käsin ohjattavia nimikkeitä, joiden nykyiset tilauspisteet eivät vastaa nimikkeiden todellista tilannetta.
AE	360 TP v2	SES TP	SES TP	SES TP:llä päästiin tehokkaimpaan lopputulokseen. Tämän luokan osalta voidaan jo luottaa automaatioon, koska varastonarvon vaikutus ei ole kovin merkittävä.
AD	360 TP v2	Nyk. TP	360 TP	Molemmat tasaisen kysynnän pohjalta luodut tilauspisteet tuottivat tehokkaimmat tulokset, erityisesti 360 TP-simulointi.
BV	Nyk. TP	Nyk. TP	Nyk. TP	Valinta on selkeä, koska nykyiset tilauspisteet dominoivat muita simulointeja.
BE	SES TP v2	SES TP	SES TP	SES TP:n avulla päästiin parhaisiin tuloksiin. Automaattisen varmuusvaraston laskennan avulla on mahdollista vapauttaa ostajien työaikaa tärkeimpien luokkien ohjaukseen.
BD	360 TP v2	Nyk. TP	SES TP	Vaikka nykyisillä tilauspisteillä saavutettiin huomattavasti parempi palvelutaso kuin muilla simuloinneilla, tulee tämän luokan osalta hyödyntää luotua laskentaa. SES TP toimi parhaiten tämän luokan nimikkeiden osalta.
CV	Nyk. TP	Nyk. TP	SES TP	Vaikka nykyiset tilauspisteet dominoivat tätä luokkaa, tulisi luokkaa ohjata automaation avulla, koska nimikemäärän ollessa suuri, työaikaa kuluu suhteessa liikaa hyötyihin verrattuna. Tämän ohjaustapaa voidaan arvioida yrityksen sisällä jatkokehityskohteiden yhteydessä.
CE	SES TP v2	Nyk. TP	SES TP	Riippuen yrityksen politiikasta, valinta on joko SES TP:hen pohjautuva (jos painotetaan automaatiota suhteessa ostajien työaikaan ja varastonarvoon) tai nykyinen tilauspiste (jos tahdotaan painottaa palvelutasoa). Tämän tutkimuksen perusteella ehdotetaan priorisoimaan ostajien työaikaa tärkeimpiin luokkiin.
CD	360 TP v2	Nyk. TP	SES TP	Tällä luokalla saavutettiin kaikilla luokilla yli 92 % palvelutaso, joten ohjauksessa tulisi luottaa automaatioon.

Tuloksissa esitetyissä ohjaustapasuosituksissa on huomioitu varastonarvo ja palvelutason tehokkuus sekä nimikemäärien aiheuttama työkuorma käsiohjauksen osalta. AV- ja AB-luokkien osalta suositellaan käsiohjausta, koska nämä ovat sekä tuotannollisesti että taloudellisesti merkittävimpiä, joten niiden vaikutus kokonaisuuteen on erittäin suuri. CV-luokan ohjauksen osalta tulee tarkastella työmäärää suuren nimikeosuuden takia, luokka sisälsi 9,3 % koko tutkittavasta ja 33 % simuloidusta nimikemassasta. Tätä luokkaa on tuloksien perusteella mahdollista ohjata myös käsin. Viiden (5) luokan osalta ehdotetaan käytettäväksi painotettuun kysyntään perustuvia tilauspisteitä (SES TP), jotka toimivat parhaiten työssä määritettyjen varmuusvarastojen laskennan osalta. Yhdelle (1) luokalle ehdotetaan käytettäväksi tasaisen kysynnän perusteella luotua tilauspistettä (360 TP). Ehdotuksista on huomattavissa, että muokatut palvelutasot eivät menestyneet simuloinneissa yhtä hyvin kuin Vratin (2014) määrittämät palvelutasot.

Taulukossa 25 on esitetty ehdotettujen ohjaustapojen nimikeosuudet. Tämän avulla on mahdollista arvioida paljonko nimikkeistöstä kyetään ohjaamaan automaation avulla.

Taulukko 25. Ehdotettujen ohjaustapojen nimikeosuudet

Ohjaustapa	Nimikeosuudet	Osuus varastonarvosta
Nykyinen tilauspiste	9,6 %	67,0 %
SES TP	90,2 %	32,5 %
360 TP	0,2 %	0,5 %

Kuten aiemmin esitettiin taulukossa 24, 360 TP oli valintana ainoastaan yhdessä luokassa. Täten tämän ohjaustavan nimikekattavuus on 0,2 %. SES TP:n nimikeosuus simuloiduista nimikkeistä oli 90,2 %, joten tämä on merkittävin ohjaustapa tulevaisuudessa, kun tuloksia tarkastellaan nimikeosuuden näkökulmasta. Nykyisten tilauspisteiden piiriin kuuluu 9,6 %, mutta tämä määrä sisältää 67 % keskivarastosta, joten käsiohjaus on perusteltua varastonarvon ja saatavuuden optimoinnin näkökulmasta. Työn tuloksien perusteella on mahdollista ohjata >90 % nimikkeistä automaattisen laskennan avulla. Tämän avulla kyetään selkeyttämään ostajien vastuita ja vapauttamaan aikaa tärkeimpien nimikkeiden monitorointiin.

6.5 Kehitysehdotukset

6.5.1 Luokitteluanalyysien kehittäminen

VED-analyysi

VED-analyysin toimittajamäärän voisi toteuttaa paremmin nimikkeen ominaisuuksien ja kompleksisuuden sekä designin avulla, kuten Muniz ja muut (2020) olivat tehneet, mutta tämä osoittautui liian suuritöiseksi tehtäväksi lähtötietojen puutteellisuuden vuoksi. Muutenkin VED-analyysia tulisi kehittää kokonaisvaltaisesti kriittisyyskriteeristöä laajentamalla, jotta saataisiin suoritettua mahdollisimman kattava luokittelu nimikkeille. Kriittisyyskriteeristön laajentamisen lisäksi työpajoissa nousi esille tarve määrittää VED-luokka manuaalisesti AHP:n tuloksesta riippumatta. Tätä vaihtoehtoa tulee arvioida uudelleen kriittisyyskriteeristön laajentamisen yhteydessä.

VED-analyysissä olisi mahdollista huomioida laajemmin tulevat tarpeet ja tapahtumat monen eri luokittelukriteerin osalta. Nyt budjettia ja suunnitelmia hyödynnetään käyttökieltoon johtavien mallitöiden ja merkittävimpien komponenttien osalta. Tulevaisuuden hyödyntämistä voisi kehittää seuraavasti: hinnan voisi hakea avoinna olevilta ostotilauksilta, jolloin kyetään huomioimaan mahdollisesti muuttuneet ostohinnat. Avoinna olevia ostotilauksia voi hyödyntää myös toimitusajan päivittämisen suhteen.

ABC-analyysi

ABC-analyysin toteuttaminen budjetoituun työkantaan perustuen historiatiedon sijasta. Tämä saattaisi auttaa tunnistamaan paremmin ne kokonaisuudet, jotka ovat tärkeitä tulevaisuuden menestyksen kannalta. Usein samat nimikkeet ja kokonaisuudet toistuvat vuosittain, mutta mukaan mahtuu myös ainutkertaisia sekä erittäin tärkeitä töitä, kuten: 8 vuoden välein toistuvat peruskorjaukset, raskashuollot, modernisoinnit ja suuremmat projektit. Tämä tapa olisi ideaali monestakin näkökulmasta tarkasteltaessa, mutta ennusteisiin liittyy enemmän riskejä kuin historiatiedon pohjalta suoritettuun analyysiin. Kahden (2) toiminnanohjausjärjestelmän samanaikaisen käytön aikana ABC-analyysissa voitaisiin tukeutua painoarvotettuun laskentaan historia- ja ennustetiedon välillä. Allokaatioiden määrittämistä varten tulisi järjestää työpaja, jossa arvioitaisiin budjetoidun työkannan oikeellisuutta ja siihen liittyviä riskejä.

6.5.2 Varmuusvarastolaskentamenetelmien kehittäminen

D-luokan nimikkeiden varmuusvarastointia tulee tutkia enemmän. Tämän työn keskittyessä nimikkeiden luokitteluun ja aktiivisten nimikkeiden tarkasteluun, jäävät ei-käytetyt nimikkeet liian vähälle huomiolle, vaikka näiden puute saattaa yhtä hyvin pysäyttää koko tuotannon tai kaluston. Nimikemassa oli suuri, yhteensä 69,1 %, joten mukana on varmasti nimikkeitä, joita tulisi varmuusvarastoida ja joiden ohjaukseen tulisi kiinnittää huomiota. Samalla tulisi miettiä D-luokan pilkkomista useampaan kategoriaan, kuten Kibria ja muut (2019, 825.) olivat tutkimuksessaan tehneet. Uinuvien joukosta tärkeimpien nimikkeiden kartoittamisessa olisi mahdollista hyödyntää tulevaisuuden ennustettuja tarpeita, jotka perustuisivat budjetoituihin töihin ja näiden rakenteisiin. Tällä kehityksellä on vahva linkki ABC-analyysin kehittämiseen budjettipohjaiseksi.

Simulointia tulisi suorittaa laajemmin eri varmuusvarastomenetelmien perusteella. Työssä esiteltiin kaavoissa 6 ja 9–11 eri muuttujiin pohjautuvat laskentatavat varmuusvarastoille. Muuttujia olivat: toimitusajan keskihajonta, ennustetarkkuus ja pelkät varmuuskertoimet. Uuden toiminnanohjausjärjestelmän käyttöönotto mahdollistaa myös muiden riskitekijöiden (ennustevirheet ja toimitusajan keskihajonta) hyödyntämisen varmuusvarastotasojen laskennassa, kun oletettavasti kysynnän keskihajonta tulee pienenemään tarkemman raportoinnin ja suunnittelun takia.

Kysynnän keskihajonnan määrittämisen kehittäminen

Kysynnän keskihajonnan tarkastelua voisi laajentaa kolmen (3) edellisen vuoden ottoihin ja katsoa tämän vaikutus ehdotettuihin varmuusvarastoihin. Samalla voisi tarkastella keskihajonnan laskennan kattamaan kuukausitason töille otot, nykyisen tarkastelujakson pituus on yksi (1) viikko. Tämä saattaisi tasoittaa tuotannossa tehtyjen virheottojen vaikutusta keskihajonnan laskennan osalta. Nykyistä laskentaa sekoittavat virheotot, joilla töille otetaan rakenteilta huomattavasti poikkeavia määriä.

Työssä kyettiin määrittämään kysynnän keskihajonta, joka koskee ainoastaan vikatöille otettuja nimikkeitä. Tätä on mahdollista hyödyntää tulevan toiminnanohjausjärjestelmän kanssa, koska suunnitellun kulutuksen ostoja ohjaa MRP. Kun suunnitellut tarpeet täytetään MRP:n avulla, tarvitsee uusien varmuusvarastojen vastata yllättävään kysyntään, lähtökohtaisesti vikaottojen keskihajontaan. Nykyisen täydennyslogiikan kanssa tämä ei toimi, koska kysyntään kokonaisuudessaan vastataan tilauspisteillä.

Uuden toiminnanohjausjärjestelmän käyttöönoton jälkeen keskihajonnan laskenta kyetään toteuttamaan MRP:n tuottamien tarpeiden perusteella. Tämän avulla on mahdollista vaihtaa historiatietoon perustuva laskenta tulevaisuuden näkymään pohjautuvaksi. Tämän kehittämisessä on huomioitava, että MRP suunnittelee kaikkien töiden tarpeet, joten laskenta tulee toteuttaa ainoastaan vikaennusteiden pohjalta.

6.6 Johtopäätökset

Työn tavoitteena oli luokitella rautatiekaluston kunnossapidossa vetureihin käytettävät nimikkeet ja määrittää eri luokille varmuusvarastomenetelmät. Työssä kyettiin luokittelemaan nimikkeet ABC- ja VED-analyysin avulla moniluokkakategorioihin, joille määritettiin tutkittuun tietoon perustuen varmuusvarastot luokkakohtaisia palvelutasoja muuttamalla. Laskettujen varmuusvarastojen validointia varten oli varmuusvarastoista konvertoitava tilauspisteet lisäämällä niihin toimitusajan kysyntä, jotta työn tuloksia oli mahdollista verrata ostajien määrittämiin järjestelmästä löytyviin tilauspisteisiin. Tilauspisteiden avulla simuloitiin keskiarvovarastonarvot sekä palvelutasot. Keskiarvovarastonarvon perusteella oli mahdollista verrata varastonarvon ja palvelutason korrelaatiota eri luokkien välillä.

6.6.1 Nimikkeiden luokittelu

Ensimmäisenä suoritettiin nimikkeiden luokittelu ABC-analyysin perusteella. ABC-analyysejä suoritettiin kolmilla (3) eri luokkajaoilla, jotta kyettiin löytämään tähän työhön parhaiten sopiva jako. Käyttökelpoisimmaksi luokitteluksi todettiin taulukossa 17 esitetty luokkajako, jossa A-luokkaan kuului 80 % liikevaihdosta tuottavat nimikkeet. Historiatietoon pohjautuvassa määrittelyssä on riskinsä, koska se ei kuvaa tulevaa toimintaa. Tämän takia ABC-analyysin kehittämistä ennustepohjautuvaksi on esitetty jalostettavaksi kehityskohteissa. ABC-analyysin jälkeen suoritettiin VED-analyysi, johon olennaisena osana kuului sekä kriittisyyskriteeristön että analyyttisen hierarkiaprosessin (AHP) luominen.

VED-analyysiin tarvittava kriittisyyskriteeristö kyettiin luomaan kahden (2) työpajan, avoimien keskustelujen ja yhteistyöpalaverien avulla. Kriittisyyskriteeristön VED-luokkien tulokset nimikeosuuksineen on esitetty taulukossa 20. Monen luokittelukriteerin kohdalla suurin osa nimikkeistä luokiteltiin D-luokkaan. Tästä tekee poikkeuksen toimittajien määrän ja toimitusajan kriteerit, joissa

jako oli selkeästi V-luokkaa tukeva (toimittajien määrä) tai tasapainoisempi (toimitusaika). VED-analyysin tulokset olivat odotettuja, koska V- ja E-luokkien luokittelukriteerien rajat oli asetettu siten, että merkittävimmät nimikeparametrit huomioitiin tuotannollisesta näkökulmasta.

AHP:ssa käytetyt painoarvot kyettiin määrittämään samojen menetelmien ja sessioiden aikana, joita käytettiin kriittisyyskriteeristön määrittämisen yhteydessä. AHP on tärkeä osa VED-analyysia ja VED-luokkien nimikekohtaista määrittelyä. Kun kriittisyyskriteerit ja niiden tarkemmat määrittelyt oli suoritettu, kyettiin toteuttamaan AHP:n avulla suoritettu laskenta. AHP:n tuloksien, jotka on esitetty taulukossa 19, analysointi ja luokkajako oli selkeä toteuttaa, koska luokat jakavat havaintoarvot sisälsivät suuren määrän nimikkeistöstä. VED-analyysia on mahdollista kehittää sekä luokittelukriteereitä lisäämällä että painoarvoja muuttamalla. Näiden avulla analyysiä on mahdollista laajentaa tai kohdistaa tahdotulle painopistealueelle. ABC- ja VED-analyysin jälkeen luokittelutulokset sijoitettiin matriisiin, jonka avulla oli mahdollista jatkoanalysoida moniluokkakategorioita nimikeosuuden ja liikevaihdon perusteella.

Moniluokkakategorisoinnissa huomattiin, että suurin osa liikevaihdosta (75,9 %) koostui pienestä määrästä (0,6 %) nimikkeitä. Nimikeallokaation ja liikevaihdon osuuksien tulokset on esitetty taulukoissa 22 ja 23. Kokonaisuudessaan V- ja ABC-luokat (AV, BV, CV ja DV) sisälsivät 21,6 % nimikkeistä (näistä 9,4 % D-luokkaan kuuluvia) tuottaen 88 % liikevaihdosta. Relevanteimmat löydökset ovat V-luokan C-, ja D-luokan nimikkeet, joiden tärkeyttä ei olisi tunnistettu pelkän ABC-luokittelun perusteella. CV-luokan ohjaukseen ja varmuusvarastointiin löydettiin työssä malli, mutta DV-luokka jäi kokonaan analysoimatta. Koko D-luokan analysoinnista on kirjattu kehitysehdotuksiin jatkokehityskohde, jonka tulisi olla korkeimman prioriteetin kohde. Historiatiedon perusteella suoritettu ABC-luokittelu ei aina reflektoi tulevaisuutta, joten ABC-analyysin jalostaminen budjettiin pohjautuvaksi on sekin erittäin relevantti kehitysehdotus.

6.6.2 Varmuusvarastojen laskenta ja tilauspisteiksi konvertointi

Työssä laskettiin jokaiselle nimikkeelle varmuusvarasto moniluokkien ohjauksien perusteella. Laskentakaavana hyödynnettiin kysynnän keskihajontaan perustuvaa varmuusvarastolaskentaa, joka on esitelty kaavassa 5. Varmuusvarastojen laskennassa hyödynnettiin kahta (2) eri luokkakohtaista palvelutasovaatimusta, jotka on esitetty taulukoissa 10 ja 16. Ensimmäisten tasojen laskenta toteutettiin Vratin (2014) esittämien luokkakohtaisten palvelutasojen perusteella. Toinen laskenta

toteutettiin opinnäytetyöntekijän määrittämillä palvelutasoilla, jotka on esitetty taulukossa 16. Tämän palvelutasovaatimukset perustuivat tutkittuun kirjallisuuteen ja yrityksen varastonohjauspolitiikkaan, jossa pyritään keskittämään ostajien tekeminen tärkeimpiin kategorioihin ja optimoimaan varastoon sitoutuneen pääoman kustannuksia. Varmuusvarastolaskentaa ei kyetty toteuttamaan tarpeeksi laaja-alaisesti, koska laskenta perustui ainoastaan kysynnän muutosten aiheuttamaan häiriöön. Muiden työssä esitettyjen (toimitusajan keskihajonta ja ennustevirhe) laskentamallien tutkiminen jätettiin jatkokehityskohteiksi. Työssä määritetyistä varmuusvarastoista oli muodostettava tilauspisteet, jotta työtä varten luotu simulointi oli mahdollista toteuttaa.

Varmuusvarastoista on mahdollista konvertoida tilauspisteet lisäämällä niihin toimitusajan kysyntä. Työssä päädyttiin käyttämään kahta (2) eri laskentatapaa varmuusvarastojen tilauspisteiksi konvertoimiseksi. Ensimmäinen laskentatapa perustui painotettuun ja toinen tasaiseen kysyntään toimitusajan kysynnän laskemiseksi, laskentakaavat painotuksineen on esitetty kaavoissa 14 ja 15. Nimikkeelle luotiin yhteensä neljä (4) eri tilauspistettä, kun laskennassa käytettiin kahta (2) eri palvelutasoa ja kahta (2) eri tapaa toimitusajan kysynnän osalta. Näiden lisäksi hyödynnettiin järjestelmästä löytyviä ostajien määrittämiä tilauspisteitä simulointia varten, jotta keskivarastonarvon ja palvelutason arviointi oli mahdollista toteuttaa.

6.6.3 Simulointi

Kun nimikkeille oli saatu määritettyä moniluokkakategoriat ja tilauspisteet, kyettiin aloittamaan keskiarvovarastonarvojen ja palvelutasojen simulointi. Simulointi toteutettiin nimikkeille, joilla oli ollut kulutustapahtumia viimeisen vuoden aikana, eli ABC-luokittelun D-luokka jätettiin tarkastelun ulkopuolelle. Simuloinnissa verrattiin eri tilauspisteiden ja toimitusten saldojen riittävyyttä. Kulutusdatana käytettiin ajanjakson; 1.3.2022 – 28.2.2023, aikana toteutuneita nimikkeiden viikkokulutuksia. Tuloksia analysoitiin ABC-analyysin luokkajaolla siten, että A-, B- ja C-luokkiin oli yhdistetty VED-analyysin V-, E- ja D-luokat, joista muodostettiin moniluokat (AV, AE, AD, BV, BE, BD, CV, CD ja CE). Jokaisen luokan osalta esitettiin visuaalisesti graafien avulla kaikkien tilauspisteiden keskiarvovarastonarvo ja palvelutaso. Moniluokkien lisäksi kappaleiden lopussa esitettiin koontina jokaisen ABC-luokan tulokset erikseen ja lopuksi kaikkien luokkien yhdistelmä simulointikohtaisesti keskiarvovarastonarvo sekä palvelutason keskiarvo. Graafit on esitetty kuviossa 8–20.

A-luokka

Simuloinnin tulokset erosivat eri luokkien välillä suuresti. A-luokan osalta työssä lasketut tilauspisteet pärjäsivät paremmin kuin järjestelmästä haetut nykyiset tilauspisteet. AV-luokan ohjaus nykyisten tilauspisteiden perusteella ei ollut kovin tehokasta, kun palvelutasoa verrataan tärkeimmän kategorian verrokkeihin. Nykyiset tilauspisteet saavuttivat ainoastaan 80 % palvelutason, kun parhaan verrokin lukema oli 91 %. Tämän moniluokan tulos ei kerro koko totuutta, koska moni AV-luokan nimikkeistä on jo nyt tarkemmassa käsiohjauksessa, jossa ostajat proaktiivisesti tarkastelevat varastotasoja ja tekevät tilauksia tilauspisteestä välittämättä, jos heidän arvionsa mukaan tilanne sen vaatii. Tämän lisäksi luokan nimikkeitä ennustetaan toimittajille rullaavan 12 kuukauden ennusteella, joihin pohjautuen ostajat tekevät tilaukset etukäteen vähintään 6 kuukauden ajanjaksolle. Tämä heikentää merkittävästi nykyisten tilauspisteiden palvelutasoa, kun tilauspisteet eivät kuvaa nimikkeen todellista tilannetta. AV-luokan tulokset on esitetty kuviossa 8.

AE-luokan osalta oli selkeästi huomattavissa, että nykyiset tilauspisteet eivät olleet paras vaihtoehto tämän kategorian ohjaukseen, kun painotettuun kysyntään ja Vratin (2014) esittämiin palvelutasoihin pohjautuvilla tilauspisteillä (SES TP) saavutettiin paras palvelutaso kilpailukykyisellä varastonarvolla. AE-luokan tulokset on esitetty kuviossa 9. AE-luokan tuloksien luotettavuutta heikentää nimikkeiden määrä, joka oli erittäin alhainen 0,1 % tutkittavista nimikkeistä. Sama haaste esiintyy myös AD-luokan osalta, jossa sama nimikeosuus, 0,1 %. AD-luokan tuloksista huomataan, että tasaisen kysynnän avulla ja Vratin (2014) esittämien palvelutasojen perusteella luodut tilauspisteet toimivat parhaiten tämän luokan ohjauksen kanssa. Tämä oli ainut kategoria, jossa kyseiset tilauspisteet pärjäsivät muita paremmin. AD-luokan tulokset on esitetty kuviossa 10.

Kokonaisuudessaan A-luokan osalta parhaat tulokset saavutettiin SES TP:n avulla. Luokkakohtaisen kokonaisuuden laskenta on suoritettu eri luokkien yhteenlaskettujen varastonarvojen osuuksien ja palvelutason keskiarvon perusteella. A-luokan kootut tulokset on esitetty kuviossa 11. Työssä esitetään kuitenkin, että tärkeintä luokkaa (AV) tulisi ohjata ostajien toimesta ja muita A-luokkia (AE ja AD) ohjattaisiin automaation avulla. Automaattista varmuusvarastolaskentaa voitaisiin hyödyntää myös AV-luokan tilauspisteiden validoinnissa. Jos työssä määritetyn laskennan arvot eroavat merkittävästi ostajan määrittämistä, tulee selvittää mistä ero johtuu. Joissakin tapauksissa ky-

seessä on kysynnän muutos, jota ostaja ei ole huomannut ja jonka takia tilauspiste on liian alhainen suhteessa kasvaneeseen kysyntään. Toisaalta ero voi johtua kulutusvirheestä tai muusta datavirheestä ohjausarvoissa, joka vaatii huomiota ja korjausta.

B-luokka

B-luokan osalta tulokset eroavat merkittävästi A-luokan tuloksista, koska nykyiset tilauspisteet pärjäsivät selkeästi paremmin dominoiden tätä luokkaa. BV-luokan osalta tulokset olivat selkeät: nykyisten ostajien määrittämien tilauspisteiden perusteella saavutettiin paras palvelutaso alle 30 % pienemmällä varastolla verrattuna seuraavaksi tulleeseen SES TP:hen. Tasaisen kysynnän tilauspisteiden ero painotettuun oli sekin merkittävä: 1,2 % palvelutason lasku likimain samalla varastolla. Tuloksien perusteella työssä ehdotettiin tämän luokan ohjaustavaksi ostajien nykyisiä tilauspisteitä ja tilauspistelaskentaa. BV-luokan tulokset on esitetty kuviossa 12. BE-luokan parhaat tulokset saavutettiin SES TP:n avulla. Tämä oli tehokkain ohjaustapa parhaalla palvelutasolla ja 15 % alhaisemmalla varastonarvolla nykyisiin tilauspisteisiin verrattuna. BE-luokan ohjaus ehdotettiin toteutettavan SES TP:n perusteella. Tätä tukee nimikkeiden ohjauksen automatisointi, jotta ostajien työaikaa on mahdollista allokoida enemmän merkittävimpiin kategorioihin. BE-luokan tulokset on esitetty kuviossa 13. BD-luokan osalta paras palvelutaso (95 %) saavutettiin nykyisten tilauspisteiden kanssa. Vaikka nykyisillä tilauspisteillä saavutettiin paras palvelutaso, suuri nimikemäärä ohjasi tämän kategorian ohjaustavaksi SES TP:n, jonka avulla saavutettiin toiseksi paras palvelutaso (90 %). 90 % palvelutaso saavutettiin huomattavasti alhaisemmalla varastonarvolla (-40 %) nykyisiin tilauspisteisiin verrattuna. Tämän osalta olisi hyvä tarkastella onko simuloinnissa käytettyjä palvelutasoja järkevä nostaa, koska vaikutus kokonaisvarastonarvoon oli suhteellisen pieni (0,4 %-yksikköä), kun verrataan nykyisiin tilauspisteisiin. BD-luokan tulokset on esitetty kuviossa 14. B-luokan osalta parhaat tulokset saavutettiin nykyisten tilauspisteiden kanssa. Koko luokkaa koskevat tulokset on esitetty kuviossa 15. Jotta ostajilla on mahdollisuus keskittyä merkittävimpien nimikkeiden hallintaan, on osaa ohjattava automaation avulla. BV-luokan ohjausta ehdotettiin suoritettavan ostajien toimesta nykyisillä menetelmillä, BE- ja BD-luokkaa työssä luodun automaation avulla.

C-luokka

C-luokkaan kuului selkeästi suurin osa simuloiduista nimikkeistä 85 % osuudella. Varastonarvon osuus kokonaisuudesta oli 25,5 %. CV-luokassa nykyiset tilauspisteet dominoivat muita menetelmiä parhaalla palvelutasolla ja alhaisimmalla varastonarvolla. Verrokeista seuraavaksi parhaiten

pärjäsi SES TP, jota ehdotettiin CV-luokan ohjaustavaksi. Nimikemäärän ollessa suuri (33 % simuloiduista nimikkeistä ja 9,3 % koko tutkittavasta massasta), on ostajan erittäin työlästä ohjata tätä kategoriaa käsin. Luokan osalta voisi miettiä samaa nykyisten tilauspisteiden validointia kuin AV- ja BV-luokkien osalta esitettiin, sillä poikkeuksena, että nimikkeiden tilauspisteet määritettäisiin oletuksena automaation avulla ja saadut arvot validoitaisiin ostajien toimesta nykyisten määrittelyjen avulla. CV-luokan tulokset on esitetty kuviossa 16. CE- ja CD-luokan osalta tulokset ovat hyvin saman suuntaiset kuin CV-luokan osalta: selkeästi paras palvelutaso saavutetaan nykyisten tilauspisteiden avulla ilman merkittävää varastonarvon vaikutusta. CE-luokan tulokset on esitetty kuviossa 17 ja CD-luokan kuviossa 18. C-luokan kootut tulokset on esitetty kuviossa 19. Tämän luokan simuloinneissa parhaiten pärjäsi nykyiset tilauspisteet korkeimmilla palvelutasoilla jokaisessa moniluokassa, kuten kappaleen alussa mainittiin. Luokan suuri nimikemäärä ohjasi ehdottamaan ohjaustavassa tukeutumaan automaatioon, koska kaikkien tarkastelu ja arviointi käsin olisi tehotonta, kun muillakin ohjaustavoilla saavutettiin hyviä palvelutasoja. CV-luokan osalta tulee käydä keskustelua mikä todellinen palvelutaso tahdotaan saavuttaa varastonohjauksella ja tehdä sen perusteella päätös millä ohjaustavalla kategoriaa ohjataan (nykyiset tilauspisteet vai SES TP).

Yhteenveto

Simuloinnin perusteella luotiin yhteenveto kaikkien simulointien ja luokkien tuloksista. Nämä tulokset on esitetty kuviossa 20. Nykyiset tilauspisteet toimivat monessa luokassa hyvin, välillä parhaiten. Toisaalta työssä määritetyillä menetelmillä on mahdollista saavuttaa halvempia ja/tai varmempia tuloksia tietyissä kategorioissa, kuten BE-luokan osalta esitettiin. Tuloksia vääristää AV-luokka, jossa oli merkittävästi alhaisempi varastonarvo ja palvelutaso, koska näitä tarkistellaan keskimääräisten varastonarvojen summana ja palvelutasojen keskiarvona. Nimikemassan ollessa suuri, kaikkea ei ole kannattavaa ohjata käsin, koska luokat eivät ole saman arvoisia liikevaihdoltaan tai kriittisyydeltään. Merkittävimpiin luokkiin tulisi voida kiinnittää enemmän huomiota, jotta saavutettaisiin paras lopputulos niin palvelutason kuin varastonarvon sekä liikevaihdonkin osalta, koska näiden puutteet vaikuttavat eniten negatiivisesti tulokseen ja pääomakustannuksiin sitoutuneen pääoman muodossa. Työssä saatujen tuloksien perusteella esitettiin halvin vaihtoehto sekä parhaan palvelutason saavuttanut menetelmä moniluokkakohtaisesti. Näiden lisäksi ehdotettiin suositeltua moniluokkakohtaista ohjaustapaa. Tämä matriisi on esitetty taulukossa 24. Tuloksien ja johtopäätöksien perusteella yli 90 % nimikkeistä on mahdollista ohjata työssä määritetyn auto-

maation avulla, kuten taulukossa 25 on esitetty. 10 % nimikkeistä, joille ehdotetaan nykyisiä tilauspisteitä ja menetelmiä, tuottaa yhteensä 67 % liikevaihdosta. Kyseisen nimikemassan tilauspisteiden validoinnissa tulee käyttää apuna työssä luotuja laskentoja.

7 Pohdinta

7.1 Työn tuloksien ja luotettavuuden arvioiminen

Työn tarkoituksena oli tutkia rautatiekunnossapidossa käytettävien nimikkeiden luokittelua ja varmuusvarastointia. Tavoitteena oli luoda dynaaminen laskenta nimikkeiden luokitteluun, jonka avulla moniluokat pidetään päivitettyinä. Tämän lisäksi eri kategorioille oli määrä luoda varmuusvarastolaskenta, jonka avulla osaa luokista olisi mahdollista ohjata automaattisesti. Laskentojen tulokset oli määrä liittää osaksi käytössä olevaa PowerBi-raporttia, josta tiedot ovat ostajien käytettävissä. Tutkintalinjan määräytymisessä tukeuduttiin muihin saman tieteenalan tutkimuksiin. Teoriakatsaus oli laaja ja tukeutui relevantteihin sekä vertaisarvioituihin lähteisiin. Näiden perusteella voidaan todeta, että tutkimus toteutettiin hyvien käytänteiden ja etiikan mukaisesti. Tutkimusasetelmassa, luvussa 2, on esitetty tarkemmin työn suuntautumiseen vaikuttaneet valintaperusteet. Valinnoissa pyrittiin huomioimaan toimialan erikoisuudet ja liiketoiminnan luonne vaikeine saatavuuksineen. Näiden lisäksi työtä varten tutkittiin useita julkaisuja ja opinnäytetöitä, joita ei mainita työssä lähteinä, mutta jotka määrittivät työn suuntautumista.

Valitut tutkimusmenetelmät (ABC- ja VED-analyysi) perustuivat aikaisemmissa tutkimuksissa hyviksi havaituiksi yhdistelmiksi. Valittujen menetelmien lisäksi on mahdollista kehittää luokittelua kiertonopeuden, vikaantumisen tai kausittaisuuden perusteella. Tämän opinnäytetyön alussa tutkittiin nimikkeiden vikaantumista eri ennustemallien pohjalta, joiden tulokset eivät kuitenkaan päätyneet lopulliseen työhön. Näissä toimi tukena Pitkäsen (2019) aiemmin suorittaman tutkimuksen koodit, jotka muokattiin uuden tietomallin mukaisiksi. Olisi myös mahdollista suorittaa kausittaisanalyysi nimikkeiden kysyntöjen ajoittumista talvi- ja kesäkausille. Tuloksien perusteella nimikkeet jaettaisiin kulutuksien allokaation perusteella kolmeen (3) ryhmään: kesä-, talvi- ja eikausittaiset nimikkeet. Kiertonopeus oli yksi luokittelukriteeri Ajomaan (2020) työssä, joten tämän lisääminen valittujen menetelmien rinnalle saattaisi antaa tarkempaa tietoa nimikkeiden luonteesta ja täten parantaa ohjaustapojen määrittämistä. Kiertonopeuksia varten on olemassa valmis PowerBi-raportti, joten tämänkään osalta ei tarvitsisi tehdä kehityksiä datan saamiseksi.

Edellä mainittujen töiden ja tutkimusten perusteella rakennettiin runko teoriasta, jota hyödynnettiin työn teoriakatsauksessa. Hyödynnettyjen teorioiden osalta pyrittiin käyttämään tuoretta tutkimustietoa, jotta työ olisi mahdollisimman relevantti. Osa teorioista haettiin suoraan oppikirjoista, joten näiden osalta tieto ei ollut viimeisintä saatavilla olevaa tutkimustietoa (ks. Vrat 2014). Tämä ei kuitenkaan vähennä kyseisen tiedon relevanttiuutta, koska samat tiedot ovat toimineet myös uusimpien tutkimusten lähteinä (ks. Ajomaa 2020).

Teoriakatsaus jaettiin kahteen (2) osioon: nimikkeiden luokittelu ja varmuusvarastointimenetelmät. Nimikkeiden luokittelussa keskityttiin työssä käytettyihin menetelmiin: ABC- ja VED-analyysiin. ABC-analyysi perustuu 1800-luvulla kehitettyyn metodiin, joten siitä on kehitetty monia erilaisia versioita. Työssä pyrittiin hakemaan referenssejä saman tutkimusalueen töistä, joihin teoriassakin viitataan. VED-analyysin teorian osalta tukeuduttiin suurelta osin Munizin ja muiden (2020) esittämään tapaan toteuttaa VED-analyysi analyyttisen hierarkiaprosessin (AHP) avulla. Teoriaosuudessa esitettiin myös muita vaihtoehtoja VED-analyysin pisteyttämiseksi kuin AHP, koska tahdottiin esittää muitakin tapoja analyysin suorittamiseksi. Pisteytys oli pitkään tämänkin työn luokittelumenetelmä VED-analyysissä, mutta lopuksi päädyttiin hyödyntämään kriteerien merkittävyyttä painoarvojen avulla AHP:lla. Nimikkeiden moniluokkakategorisointiin ehdotettiin yksitasoista matriisia, joka on yleisin tapa luokitella kahden (2) eri menetelmän tulokset. Tämän lisäksi esitetiin kaksitasoinen matriisi, jota on mahdollista hyödyntää aiemmin tässä luvussa mainittujen jatkokehityskohteiden luokittelun kanssa. Varmuusvarastojen teoriakatsaus tuki työssä käytettyä menetelmää, mutta antoi perusteet myös muiden muuttujien hyödyntämiseen laskennassa. Lisäksi vaihtoehtoisten menetelmien avulla oli mahdollista perustella tutkimuksessa käytetty menetelmä. Tutkimustiedon pohjalta kehitysehdotuksissa, luvussa 6, esiteltiin varmuusvarastomenetelmien tarkastelujen laajentamista koskemaan myös muita muuttujia.

Työssä käytetty data hankittiin pääsääntöisesti tutkimuksen alkuvaiheessa, eikä sitä enää päivitetty tehtyjen analyysien jälkeen. Tämä aiheuttaa sen, että luokat saattavat muuttua, kun ABC- ja VED-luokkien laskenta viedään suoritettavaksi pilveen. Tällä saattaa olla vaikutusta tärkeimpien luokkien nimikkeiden tarkempaan analysointiin, kun luokan nimikkeistö muuttuu. Simuloinnissa käytetty data oli tuoretta, ainoastaan kuukauden vanhaa, joten näiden tulosten suhteen ei oleteta

tapahtuvan merkittäviä muutoksia. Simulaatio toteutettiin nimikekohtaisesti, joten vaikka nimikkeen luokka muuttuisi, olisi sen keskivarastonarvo ja palvelutaso saatavilla uutta analyysia varten.

Saavutettujen tuloksien perusteella voitaneen todeta, että työn tarkoitus ja tavoitteet kyettiin täyttämään, koska nimikkeet saatiin luokiteltua ja varmuusvarastot laskettua tutkittuun tietoon perustuen. Nimikkeiden luokitteluun haettiin vaihtoehtoja laajasti saman tutkimusalueen referenssitöistä (ks. Ajomaa 2020, 52., Kumar ja muut 2014, 29–30., Muniz ja muut 2020, 56–60.). Suosituimmat menetelmät olivat ABC- ja VED-analyysi sekä näiden yhdistelmä, joka valikoitui tämän työn luokittelumenetelmäyhdistelmäksi.

ABC-analyysin tulokset olivat hyvin samansuuntaiset nimikeallokaation ja liikevaihdon osalta kuin Kumar ja muut (2014) sekä Ajomaa (2020) olivat tutkimuksissaan esittäneet. Työssä testattiin kahta (2) muutakin ABC-analyysin luokkajakoa, mutta näiden ei osoitettu olevan toimivia tässä tutkimuksessa. VED-analyysin tulokset eivät mukailleet Munizin ja muiden (2020) tai Kumarin ja muiden (2014) luokkajakoja. Tämä ei kuitenkaan väitä, että VED-analyysin tulokset eivät olisi relevantteja, koska kyseessä on kvalitatiivinen tutkimusmenetelmä, jonka painopisteisiin yritysten on mahdollista vaikuttaa. Tämän työn osalta tahdottiin painottaa selkeästi tuotannollisuutta sekä teknisiä ominaisuuksia (KR-status), koska näiden koettiin täydentävän parhaiten ABC-analyysia. Työssä käytetty kriittisyyskriteeristö, joka on esitetty taulukossa 12, on lukumäärällisesti suppea, kun verrataan Muniz ja muiden (2020, 52.) käyttämään kriteeristöön. Kriteerien lukumäärä ei sinänsä määritä kuinka laadukas analyysi on, mutta liian suppeana toteutettu analyysi vääristää tuloksia. Tämän työn VED-analyysin vahvuutena oli relevanttius, joka ilmeni mallitöiden rakenteiden kerrostumisena: validointidataa haettiin mallitöiden ja komponenttien rakenteilta aina viimeiseen tasoon saakka. Käytetty kriittisyyskriteeristö todettiin riittäväksi, mutta tämän kehittämisestä on kirjattu kehitysehdotus kappaleeseen 6.5.

Varmuusvarastolaskentojen tarkastelujen osalta ei saavutettu asetettua laajuutta, kun tilauspisteiden laskenta suoritettiin ainoastaan yhden muuttujan (kysynnän keskihajonnan) pohjalta. Keskihajonnassa otettiin huomioon kaikki kulutukset, joten mahdolliset virheotot (esim. monen työn kulutukset yhdelle työlle) olivat mukana aineistossa. Jotta virheotot olisi saatu suljettua pois aineisto, olisi tarvinnut osallistaa monia eri sidosryhmiä, kun olisi yritetty selvittää työlle ottojen todellista

luonnetta. Muuttujan valinta oli perusteltu, koska tämä on useimmiten käytetty muuttuja varmuusvarastojen laskennassa. Muiden muuttujien osalta datan saaminen koettiin haastavaksi (ennusteet) ja joissakin tapauksissa epätarkoiksi (kirjausvirheet) sekä laskentakaavat liian määrääviksi (kysynnän keskihajonta). Työssä kyettiin kuitenkin rajaamaan tarkasti millä menetelmällä tahdottiin edetä ja miten tämän laskenta tultiin toteuttamaan. Eri luokkien palvelutasojen määrittämiseen käytettiin tutkittuun tietoon perustuvia ehdotuksia (ks. Vrat 2014, Ajomaa 2020, Umry & Singgih 2019, Rădăşanu 2016). Suoraan hyödynnettiin Vratin (2014) esittämiä palvelutasoja, jotka on esitetty taulukossa 10. Muut tutkimukset huomioiden luotiin oma palvelutasomatriisi, joka on esitetty taulukossa 16. Työssä määritetylle palvelutasoehdotuksien validointia varten suoritettiin simulointeja, joiden avulla kyettiin lukitsemaan kunkin luokan palvelutasovaatimukset. Lopullisten palvelutasoehdotusten perusteella laskettiin varmuusvarastot, joita hyödynnettiin työssä toteutetussa varsinaisessa simulaatiossa.

Simulaatiota varten varmuusvarastoista oli konvertoitava tilauspisteet, jotta palvelutason ja keskiarvovaraston tarkastelu oli mahdollista suorittaa. Simuloitavien tilauspisteiden luonnissa käytettiin sekä tasaista että trendin omaista kysyntää, kun käytössä oli vuosikulutukseen pohjautuvan laskennan lisäksi painotettu laskenta (75 % 90 päivän ja 25 % 360 päivän viikkokysynnästä). Tämä osaltaan syvensi ja laajensi työstä saatuja tuloksia sekä työn merkittävyyttä. Näiden lisäksi tämä lisäsi työn luotettavuutta, kun tuloksia saatiin erilaisilla kysyntä ja varmuusvarastomalleilla. Simuloinnin koodi oli hiukan rajoittunut, kun täydentämislogiikassa toimituksen hetkellä jouduttiin käyttämään ostoerän kerrannaisuuksia. Mahdollisesti parempi vaihtoehto olisi ollut hyödyntää logiikkaa, jossa ostoerän kokoa olisi muutettu toimitushetkellä siten, että nykysaldoon lisättynä olisi saatu juuri tilauspisteen ylittävä saldo. Tämä olisi simuloinut ostajan suorittamia toimenpiteitä uusien tilauksien tai toimitusten aikaistamisen suhteen, joita ei ollut mahdollista ottaa simuloinnissa huomioon. Koodin muutoksella olisi ollut vaikutusta sekä palvelutasoihin että keskiarvovarastonarvoihin, koska joissakin tapauksissa, kun täydennettiin n kertaa ostoerä niin varastotasot nousivat liiaksi eikä tilanne täten enää kuvannut todellisuutta. Simuloinnin rajoituksiin lukeutuu myös seuraavat asiat:

- Simulointi ei huomioi sesonkiluonteisia tilauspistemuutoksia tai muuten ostajan tekemiä tilauspisteiden muutoksia tarkasteluajanjaksossa
- Ei huomioida todellisia toimituseriä ja ajankohtia → Ostajan tekemät toimenpiteet jäävät huomioimatta

- Palvelutason osalta oletetaan kysynnän olevan normaalijakautunutta, mikä tuskin pitää paikkansa kaikkien nimikkeiden osalta
- Kulutustapahtumat saattavat olla virheellisiä
- Toimitusaika ei ota huomioon mahdollisia poikkeamia, vaan tilaus oletetaan tulevan aina ajoissa
- Tulokset ovat vertailukelpoisia ainoastaan simulointien kesken, koska oikeaa dataa ei ole saatavilla
    - Tämän takia koko varastotason realistista simulaatiota ei ole mahdollista toteuttaa

Simulointi itsessään oli tärkeimpiä analysointityökaluja koko työssä. Ilman simulointia työssä olisi jouduttu vertaamaan staattisia lukuja varmuusvarastojen arvojen muutoksessa, eikä täten olisi päästy vertailemaan eri tilauspisteiden vaikutusta palvelutasoon ja tämän korrelaatiota varastonarvon muutokseen. Tulevaisuutta ajatellen simulointia tulisi kehittää ensiksi ostoerien osalta ja tämän jälkeen pyrittävä huomioimaan simuloinnin rajoitukset. Näiden lisäksi tulevaisuutta ja uuden toiminnanohjausjärjestelmän käyttöönottoa tukisi, jos simulointi toteutettaisiin toimimaan ainoastaan vikatöiden kulutuksien perusteella. Uusi toiminnanohjausjärjestelmä pohjautuu MRP:hen, joka ajoittaa suunniteltujen töiden tilaustarpeet, joten varmuusvarastojen päätehtävä olisi kattaa yllättävän kysynnän tarpeet.

7.2 Jatkotutkimuskohteet

Työn yhteydessä tunnistettiin lukuisa määrä kehityskohteita, joista muutama tunnistettiin suoriksi kehitysehdotuksiksi. Nämä tärkeimmät kehitysehdotukset; nimikkeiden luokittelun ja varmuusvarastolaskennan kehittäminen, on esitetty luvussa 6.5. Loput työn aikana tehdyistä löydöksistä on esitetty tässä luvussa. Moni jatkotutkimuskohde pohjautuu vanhan ja uuden toiminnanohjausjärjestelmän täydennyslogiikan muutoksiin, kuten keskihajonnan laskeminen ainoastaan vikatöiden kulutuksista, jonka avulla kyettäisiin määrittämään MRP:n logiikkaa tukevat varmuusvarastot. Tämän osalta haasteita luo nykyiset kirjaukset ja töiden perustamiset, joiden perusteella on hankala määrittää vikatyökulutukset. Uudessa järjestelmässä töiden perustaminen ja kirjaukset tulevat olemaan tarkemmalla tasolla. Vikatyöottojen keskihajonnan perusteella luotujen varmuusvarastojen tarkastelujen yhteydessä tulee huomioida MRP:lle syötteenä luotu vikatyöennuste, jotta vikaantumiseen ei varauduta sekä varmuusvarastolla että MRP:n ehdottamilla ostotilausehdotuksilla.

Varmuusvarastojen laskennan ulottaminen toimipistekohtaiseksi. Työssä keskityttiin kokonaiskulutusten tarkasteluun, jolla pyrittiin huomiomaan yrityksen kokonaistarve nimikekohtaisesti. Koska

suurin osa kulutuksista tapahtuu kunnossapitoyksiköissä, on jatkettava tarkastelua näiden varastotasoihin, jotta työssä laskettu kokonaisvarmuusvarasto kyetään allokoimaan oikeille toimipisteille oikeilla määrillä. Tämä sujuvoittaa huoltojen suorittamista, kun töille tarvittavat tavarat ovat heti saatavilla. Toimipisteiden varastojen osalta määrittäviä tekijöitä ovat: toimipisteen varastointikapasiteetti ja tarvemäärät. Haasteita tulee todennäköisesti asettamaan myös mitä nimikkeitä tulisi varastoida milläkin toimipisteellä. Tätä haastetta ei ole samalla tavalla uuden toiminnanohjausjärjestelmän kanssa, kun MRP osaa automaattisesti allokoida huoltotöillä tarvittavat määrät oikeisiin paikkoihin. MRP ei kuitenkaan poista kokonaan tätä ongelmaa, koska edelleen saattaa tulla vikaantumisesta johtuva tarve, jota ei ole kyetty ottamaan huomioon tarvesuunnittelussa.

Jotta saataisiin mahdollisimman kattava tulos kokonaisvarastonarvon muutoksesta, tulisi tutkimusta jatkaa ostoeräkokojen ja varastonkierron vaikutusten arviointiin. Näiden kahden (2) tutkiminen yhdessä on relevanttia, jotta kyetään muodostamaan työssä luoduille luokille tavoitekierrot ja näihin sopivat optimaaliset tilauseräkoot. Yleisesti tämä onkin ollut tutkimuskohteena, kuten luvussa 2 on esitetty.

Lähteet

Ajomaa, A-J. 2020. Kunnossapidon varastonohjaus prosessiteollisuudessa. Diplomityö. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT. Viitattu 6.1.2022. https://lutpub.lut.fi/handle/10024/161913

Dursa, E. & Arslan, M. 2022. ABC, VED, and ABC-VED Matrix Analyses for Inventory Management in Community Pharmacies: A Case Study. Viitattu 10.3.2022. https://www.proquest.com/docview/2735286812/fulltextPDF/3459FF4A84124EADPQ/1?accountid=11773

Gonçalves, J.N.C., Sameiro Carvalho, M. & Cortez, P. 2020. Operations research models and methods for safety stock determination: A review. Operations Research Perspectives, vol. 7. Viitattu 30.12.2022. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214716020300543

Eriksson, P. & Koistinen, K. 2014. Monenlainen tapaustutkimus. Kuluttajatutkimuskeskus. Helsinki. https://helda.helsinki.fi/handle/10138/153032

Kananen, J. 2015. Opinnäytetyön kirjoittajan opas. Näin kirjoitan opinnäytetyön tai pro gradun alusta loppuun. Viitattu 16.10.2022. https://janet.finna.fi/, Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja -sarja.

Kania, A., Sipilä, J., Misitano, G., Miettinen, K. and Lehtimäki, J. 2022. Integration of lot sizing and safety strategy placement using interactive multiobjective optimization. Viitattu 2.11.2022 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835222007197?via%3Dihub

Kibria, M.H, Khan M.M.A, Malek, A.B.M.A & Biswas P.K. 2019. Inventory Cost Minimization Through Item Categorization and Demand Forecasting: A Case Study-based Approach. Verkkojulkaisu. Viitattu 18.10.2022. https://www.researchgate.net/profile/M-Khan-7/publication/338581561_Inventory_Cost_Minimization_Through_Item_Categorization_and_Demand_Forecasting_A_Case_Study-based_Approach/links/5e1e9d79a6fdcc904f7054f6/Inventory-Cost-Minimization-Through-Item-Categorization-and-Demand-Forecasting-A-Case-Study-based-Approach.pdf

Kumar, P., Rajan A.J., Balan, K.N. 2014. VED & ABC Analysis of inventories for a wind turbine company. Applied Mechanics and Materials. Trans Tech Publications, Switzerland. Viitattu 18.1.2023 https://www.proquest.com/docview/1826081735?parentSessionId=jwEvWWO6YnSSfFtaF%2FG8xHUeKGHKzzEe%2B9mND1dMy7I%3D&pq-origsite=primo&accountid=11773

Meistä. 2022. VR Fleetcare Ltd. Viitattu 3.12.2022 https://www.vrfleetcare.fi/fi/vr-fleetcare/meista/

Muniz L. R., Conceição S.V., Rodrigues, L. F., Almeida, J. F. F. & Affonso, B. T. 2020. Spare parts inventory management: a new hybrid approach. Viitattu 27.11.2022. https://www-proquest-com.ezproxy.jamk.fi:2443/docview/2534180731/fulltext/359BBC9B647744D0PQ/1?accountid=11773

Nguyen, D. T., Adulyasak, Y. & Landry, S. 2021. The Bullwhip Effect in Rule-Based Supply Chain Planning Systems: A Case-Based Simulation at a Hard Goods Retailer. Viitattu 15.10.2022. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048318308855

Norjasta – Vy Togin 8 makuuvaunun modernisointi. 2021. VR Group. Viitattu 3.12.2022 https://www.vrgroup.fi/fi/vrgroup/uutiset/vr-fleetcarelle-ensimmainen-sopimus-norjasta-vy-togin-8-makuuvaunun-modernisointi-060420211007/

Orelma, K. 2022. Varmuusvarastot tutkimuskohteena 2000-luvulla. Viitattu 3.11.2022. https://lut-pub.lut.fi/handle/10024/164038

Pawłowska-Kalinowska, N. 2017. Spare parts categorization in stock management. Viitattu 9.10.2022. https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.baztech-e45838d8-4dec-41d7-96bf-ade2388102db

Piiroinen, J. 2021. Kriittisten varaosien määritys Valio Oy:n L2 Dry Blend -tuotantolinjaan. Opinnäytetyö (AMK). Centria-ammattikorkeakoulu. Viitattu 4.2.2023. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/432232/Joona_Piironen.pdf?sequence=2

Pitkänen, S. 2019. Reorder point optimization for spare parts. Pro-gradu-tutkielma. Aalto-yliopisto, kauppakorkeakoulu. Viitattu 20.10.2022. https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/39106?locale-attribute=fi

Prohorovs, A. 2022. Russia's War in Ukraine: Consequences for European Countries' Businesses and Economies. Viitattu 15.10.2022. https://www.proquest.com/docview/2694005936/fulltext/5BEDBC08E2414C6BPQ/1?accountid=11773

Rădăşanu, A. C. 2016. Inventory management, service level and safety stock. Journal of Public Administration, Finance and Law, 9/2016. Viitattu 30.12.2022. https://www.jopafl.com/uploads/issue9/INVENTORY_MANAGEMENT_SERVICE_LEVEL_AND_SAFETY_STOCK.pdf

Shenoy, D. & Rosas, R. 2018. Problems & Solutions in Inventory Management. Sveitsi, Springer. Viitattu 27.2.2022. https://doi.org/10.1007/978-3-319-65696-0

Singh, S., Kumar R., Rohit Panchal and Tiwari, M. K. 2020. Impact of COVID-19 on logistics systems and disruptions in food supply chain. Viitattu 15.10.2022. https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2020.1792000

Tutkimusstrategiat: Tapaustutkimus. 2015. Jyväskylän yliopisto. Viitattu 18.10.2022. https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/tapaustutkimus

Umry, T.F, Singgih, M.L., 2019. Inventory Management and Reorder Point (ROP) Strategy Using ABC Analysis Methods in Textile Manufacture. Viitattu 8.10.2022. https://iptek.its.ac.id/index.php/jps/article/view/6188/4075

Visio ja strategia – yhteisellä matkalla maailman parhaaksi. 2022. VR Fleetcare Ltd. Viitattu 3.12.2022 https://www.vrfleetcare.com/fi/vr-fleetcare/meista/visio-ja-strategia/

Vrat, P. 2014. Materials Management – An Integrated Systems Approach. Intia, Springer. https://www.vlebooks.com/Product/Index/1929617?page=0

VR FleetCare huolehtii raidekalustosta. 2022. VR Group. Viitattu 30.12.2022. https://www.vrgroup.fi/fi/vrgroup/yrityksemme/liiketoiminta/vr-fleetcare/

Yang, K., Wang, Y., Fan, S. & Mosleh, A. 2021. Multi-Criteria Spare Parts Classification Using the Deep Convolutional Neural Network Method https://www.proquest.com/docview/2558624412/fulltextPDF/A1B1B982CE7473CPQ/1?accountid=11773

Liitteet

Liite 1. Kriittisyyskriteeristön selitteet

Vastuu	Luokitte-lukriteeri	Selite	Perustelu
Tuotannon-suunnittelu	Ennustet-tavuus	Vikaantumisen osuus kokonaiskysynnästä	Mitä enemmän nimikettä kuluu vikana, sitä vaikeampi sen kulutusta on ennus-taa
Tuotannon-suunnittelu	Käyttökiel-toon joh-tava malli-työ	Käyttökieltoihin johtavien kalustohuoltojen teke-mättä jättäminen pysäyt-tää kaluston	Tärkeimpien mallitöiden aina vaihdetta-vat nimikkeet pysäyttävät kaluston ja tuotannon
Tuotannon-suunnittelu	Tärkeim-mät kom-ponentti-huollot	Sisältää itsehuollettavat komponentit ja niiden ra-kenteiden varaosatar-peet	Suurin osa liikevaihdosta muodostuu pienestä määrästä itse huollettavista ni-mikkeistä.
Tekninen tiimi	KR-luokiteltu nimike	Kalustoturvallisuuden näkökulmasta kriittinen nimike	KR-nimikkeiden toimittajavalintaan liittyy tiettyjä kriteereitä ja auditointeja, joka rajaa saatavuutta ja lisää läpimenoai-kaa.
Hankinta	Ostohinta	Nimikkeen ostohinta toi-mittajalta ostettaessa	Kalliiden nimikkeiden hankintaan liittyy useammin tarkemmin järjestettyä kilpai-lutusta ja varastonhallintaa
Hankinta	Toimitus-aika	Tilauksesta toimitukseen kuluva aika	Pitkien toimitusaikojen nimikkeisiin on suhtauduttava varauksella, koska ongel-matilanteissa tilanteen korjaaminen kes-tää pitkään
Hankinta	Toimitta-jien määrä	Nimikettä toimittamaan kykenevien toimittajien määrä	Kuinka helppoa nimikettä on hankkia markkinoilta. Mitä useampi toimittaja, sitä parempi saatavuus.