

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT  
School of Engineering Science  
Tuotantotalous

*Antti-Jussi Ajomaa*

**KUNNOSSAPIDON VARASTONOHJAUS PROSESSITEOLLISUUDESSA**

Tarkastajat:

Professori Petri Niemi

# TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT  
School of Engineering Science  
Tuotantotalouden koulutusohjelma

Antti-Jussi Ajomaa

## **Kunnossapidon varastonohjaus prosessiteollisuudessa**

Diplomityö

Työn valmistumisvuosi 2020

74 sivua, 30 kuvaa, 21 taulukkoa ja 1 liitettä

Tarkastajat: Professori Petri Niemi

Hakusanat: varastonhallinta, varastonohjaus, varaston kategorisointi,

Keywords: inventory management, inventory control, inventory categorization

Työn tavoitteena on kehittää toimeksiantajayrityksen kunnossapidon varastonohjausta. Yritys toimii prosessiteollisuudessa, jossa kunnossapidolla on suuri merkitys tuotannon jatkuvuudelle. Nimikkeiden korkeat puutekustannukset tuovat oman ulottuvuuden varastonohjaukseen. Kunnossapidon varastossa varastoidaan paljon erilaisia tuotteita, jotka vaihtelevat muun muassa hinnan, kysynnän, ja kriittisyyden mukaan. Näin ollen eri nimikeryhmät vaativat erilaista lähestymistapaa varastonohjaukseen.

Työssä luodaan kategorisointimalli, jolla yrityksen laajaa nimikkeistöä voidaan kategorisoida helpommin hallittaviin kokonaisuuksiin. Nimikkeet kategorisoidaan käyttötärpeen mukaan varaosiin sekä kunnossapitomateriaaleihin ja tarvikkeisiin. Kunnossapitomateriaalit ja tarvikkeet kategorisoidaan kysynnän frekvenssin mukaan kolmeen kategoriaan. Varaosat kategorisoidaan ABC-analyysin mukaisesti rahallisen volyymin sekä kriittisyyden mukaan yhdeksään kategoriaan.

Luoduille kategorioille esitetään varastonohjausmenetelmiä, joilla saavutetaan laskua varastoon sitoutuneen pääoman määrässä. Varastonohjausparametrien määrittely perustuu yrityksen toiminnanohjausjärjestelmästä saatavaan historiadataan. Kunnossapitomateriaalien ja tarvikkeiden varastonohjauksessa keskitytään kiertäviin nimikkeisiin ja harvemmin kiertäviin nimikkeisiin ehdotetaan yksinkertaisempaa ohjausmenetelmää, jolla voidaan kattaa keskimääräinen tarve varmuusvarastona. Varaosissa kriittisiin nimikkeisiin sidotaan enemmän pääomaa nostamalla tavoiteltua palveluastetta, jolloin pääomaa keskittyy yrityksen toiminnan kannalta merkityksellisiin nimikkeisiin. Vastaavasti palvelutasoa nostetaan rahallisen volyymin laskiessa. Näin pyritään välttämään tilannetta, että suuret puutekustannukset aiheutuisivat edullisista nimikkeistä.

Ehdotetuilla varastonohjausmenetelmillä saavutetaan laskua varastoon sitoutuneessa pääomassa erityisesti varaosien kategoriassa. Työssä ei kuitenkaan päästä analysoimaan koko varaosanimikkeistön varastonarvon käyttäytymistä, koska yrityksen varaosien kriittisyysluokittelua ei ole tehty koko nimikkeistölle. Tämän kriittisyysluokittelun laajentaminen onkin tehtävä kategorisoinnin pohjalle, jotta varastonohjausta voidaan toteuttaa työn ehdotusten mukaisesti.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT  
School of Engineering Science  
Degree Programme in Industrial Engineering and Management

Antti-Jussi Ajomaa

### **Maintenance inventory management in process industry**

Master's thesis

Year of completion of the thesis 2020

74 pages, 30 figures, 21 tables and xx appendices

Examiners: Professor Petri Niemi.

Keywords: inventory management, inventory control, item categorization

The objective for this thesis is to develop the inventory control of the case company's maintenance operations warehouse. Case company operates in the process industry so maintenance plays a big role in continuity and usage rate of the production. High cost of shortage brings challenges to the inventory management in maintenance inventory control. Maintenance inventories include a wide array of items which differ for example by purchase price, demand and criticality. Therefore different types of items require different types of approaches in inventory control.

Framework is created on how to categorize the case company's large amount of warehouse items into more easily controlled categories. Items are categorized based on application to spare parts and maintenance materials and supplies. Maintenance materials and supplies are categorized into three categories based on demand frequency. Spare parts are categorized into nine categories based items on annual usage value and criticality. These nine categories are formed from a matrix table of ABC-analysis and three criticality categories.

Thesis suggest inventory control methods and parameters for the categories created which achieves a lower total inventory value. New inventory parameters are based on the historical demand data extracted from the case company's ERP system. In the maintenance materials and supplies category's inventory management focus is in the frequently used items. For the slow moving items a simple control method is suggested where the average usage amount is kept as safety stock. In spare parts focus is in the critical items for which higher service level is targeted. Also service level targets are raised for items with low usage value in order to avoid situations where production downtime is caused by shortage of low value item.

With the suggested inventory control parameters total inventory value lowers especially in the spare parts category. Thesis did not manage to analyze the whole spare part item population since case company does not yet have criticality classification for all items. Finalizing criticality classification for the spare parts is a basis for the suggested inventory control method and needs to be completed before inventory management methods can be utilized as suggested in this thesis.

## ALKUSANAT

Haluan kiittää toimeksiantajayritystä aiheesta ja aidosta mielenkiinnosta työn tuloksia ja tekemiäni löydöksiä kohtaan. Työn tekeminen on ollut palkitsevaa, kun toimeksiantaja on saanut työstä ja sen tuloksista irti konkreettista hyötyä omaan toimintaansa. Työn kautta olen oppinut paljon uutta työni aiheesta ja olen päässyt syventämään osaamistani käytännössä. Aihe on tarjonnut paljon uutta oppia teorian soveltamiseen haastavassa ympäristössä.

Kiitos kuuluu myös esimiehelleni työn tekemiseen järjestystä ajasta ja joustavuudesta opintojeni aikana. Erityisesti kiitos ohjaajalleni toimeksiantajayrityksessä jatkuvasta tuesta työn tekemisen aikana ja avusta työn edistämisessä. Erityisesti työn viimeistelyvaiheessa toinen silmäpari on ollut arvokas apu.

Haluan antaa kiitokseni ohjaajalleni Petrille tukemisesta ja auttamisesta työn eteenpäin viemisessä. Suurin kiitos kuuluu puolisololleni Amandalle tuesta ja kannustamisesta koko tuotantotalouden diplomi-insinöörin tutkinnon aikana.

25.11.2020

Antti-Jussi Ajomaa

## SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto .....	3
1.1	Työn tausta.....	3
1.2	Tutkimusongelmat ja -kysymykset .....	3
1.3	Työn rajausta ja rakenne .....	4
2	Varastonohjaus.....	6
2.1	Varasto ja varastonohjaus .....	6
2.2	Jatkuva tai ajoittainen tarkastelu .....	7
2.3	Tilausmenetelmät .....	8
2.3.1	Kiinteän tilauserän menetelmä .....	8
2.3.2	Min-Max menetelmä .....	12
2.3.3	Periodi tilausmenetelmä .....	13
2.4	Varmuusvarasto .....	15
2.4.1	Varmuusvarasto - vaihteleva kysyntä ja vakio täydennysaika.....	15
2.4.2	Varmuusvarasto - vaihteleva kysyntä ja täydennysaika.....	17
2.5	Tilauksiin ja ennusteisiin perustuva tarvelaskenta MRP .....	18
2.6	Hitaasti kiertävien nimikkeiden ohjaus.....	25
2.6.1	Erikoisosat.....	26
2.6.2	Riittävän varoitusaajan osat .....	27
2.6.3	Riittämättömän varoitusaajan osat .....	27
2.7	Menetelmät varaston supistamiseksi.....	29
3	Nimikkeiden kategorisointi.....	31
3.1	Yleisimmät kategorisointi menetelmät .....	31
3.1.1	ABC-analyysi .....	31
3.1.2	VED-analyysi .....	33

3.1.3	FSN-analyysi.....	34
3.1.4	XYZ-analyysi.....	35
3.2	Monikriteerinen kategorisointi.....	36
3.3	Varaosien kategorisointi kunnossapidon varastonohjauksessa.....	37
4	Nimikkeiden kategorisointi kohdeyrityksessä.....	44
4.1	Nykytilan analysointi.....	44
4.2	Kategorisointimallin luonti teorian pohjalta.....	47
4.2.1	Kunnossapitomateriaalit ja tarvikkeet.....	48
4.2.2	Varaosat.....	49
4.3	Mallin soveltaminen kohdeyrityksessä.....	50
4.3.1	Kunnossapitomateriaalit ja tarvikkeet.....	50
4.3.2	Varaosat.....	51
4.4	Yhteenveto.....	53
5	Varastonohjaus kohdeyrityksessä.....	55
5.1	Varastonohjauksen nykytila.....	55
5.2	Varastonohjauksen soveltaminen.....	56
5.2.1	Kunnossapitomateriaalit ja tarvikkeet.....	56
5.2.2	Varaosat.....	60
5.2.3	Tarvesuunnittelu.....	63
5.3	Yhteenveto.....	64
6	Tulosten arviointi ja jatkokehitys.....	65
6.1	Tulosten arviointi.....	65
6.2	Kehitysehdotukset.....	68
6.3	Jatkotutkimusaiheet.....	69
	Lähteet.....	72

# 1 JOHDANTO

Tässä kappaleessa avataan työn taustoja ja tavoitteita, sekä esitetään tutkimusongelmat ja -kysymykset. Lopuksi käsitellään tutkimuksen rajausta ja työn rakennetta

## 1.1 Työn tausta

Työn aiheena on kunnossapitovarastojen ohjaus ja työ toteutetaan prosessiteollisuuden yritykselle, jolla on Suomessa kaksi tuotantolaitosta, sekä kaksi ulkomailla. Tuotantolaitosten yhteydessä yrityksellä on varastot, jotka palvelevat tuotantolaitosten kunnossapidon (MRO) tarpeita. Varastoissa varastoidaan laajasti erilaisia nimikkeitä eri käyttötarkoituksiin. Varastoihin myös sitoutuu merkittävästi pääomaa, joka on pääomavaltaisella alalla ymmärrettävää, mutta yritys on havainnut tarpeen tehostaa varastojensa hallintaa. Varastojen tehtävänä on varmistaa tuotantolaitosten huollon ja ylläpidon toiminta, joka tuo ohjaukseen omat haasteensa mahdollisten puutekulujen noustessa korkeaksi. Yrityksessä varastonohjaukselle ei ole olemassa yhtenäistä toimintatapaa, joka voi aiheuttaa ison henkilöstömäärän yrityksessä varastojen turhaa paisumista, tai vastavuoroisesti kriittisten varastonimikkeiden saatavuusongelmia.

Työn tavoitteena on luoda yritykselle varastonohjaukseen toimintatapa. Toimintatapaa luodessa huomioitavaa on varastoitavan nimikkeistön moninaisuus. Varastoitavien nimikeryhmien välillä on suuria eroja kysynnässä, kriittisyydessä, saatavuudessa ja rahallisessa arvossa. Varastonohjauksella on pystyttävä palvelemaan kunnossapidon tarpeita tehokkaasti, jotta varastoon sitoutunut pääoma on perusteltua samalla mahdollistaen tuotannon ja kunnossapidon toiminnan.

## 1.2 Tutkimusongelmat ja -kysymykset

Kuten mainittua, varastoitava nimikkeistö sisältää hyvin erilaisia nimikkeitä. Osa nimikkeistä on kriittisempiä tuotantolaitosten toiminnalle, kuten kriittisten laitteiden varaosat, kuin toiset. Osa nimikkeistä valmistetaan tilauksesta ja niillä saattaa olla pitkä toimitusaika, kun osa nimikkeistä saattaa olla hyvin toimittajien varastoista saatavilla olevia standardituotteita. Myös

varastoitavien tuotteiden arvo vaihtelee senteistä tuhansiin euroihin. Tämän vuoksi voidaan päätellä, että tarvikevaraston ohjaukseen ei löydy yhtä oikeaa varastonohjaus periaatetta, jolla voitaisiin palvella erilaisia tarpeita.

Ongelmana yrityksessä on toimintatapojen puute, jolla varastonohjauksen parametreja luodaan. Työllä haetaan ratkaisua kyseiseen ongelmaan, jotta yritykseen saataisiin yhtenäiset varastonohjauksen toimintatavat ja perustellut päätökset koskien varastonohjausta. Tavoitetta lähestytään työssä kahden tutkimuskysymyksen kautta:

### **1. Miten varastonimikkeitä tulisi kategorisoida varastonohjausta varten?**

### **2. Millä varastonohjaus menetelmillä kyseisiä kategorioita tulisi ohjata?**

Tutkimuskysymyksiin on tarkoitus löytää vastaukset olemassa olevasta kirjallisuudesta ja tieteellisestä tutkimuksesta, sekä käyttämällä yrityksen järjestelmästä saatua dataa. Ensimmäisellä tutkimuskysymyksellä pyritään ratkaisemaan varastoitavien tuotteiden laajan kirjon tuomat haasteet kategorisoimalla nimikkeitä esimerkiksi niiden kriittisyyden, arvon, kysynnän käyttäytymisen ja saatavuuden mukaan. Toisella tutkimuskysymyksellä tavoitteena on vastata, miten näitä erityyppisiä varastonimikkeitä tulisi ohjata.

### **1.3 Työn rajaus ja rakenne**

Työn ulkopuolelle on rajattu yrityksen ulkomailla sijaitsevat tuotantolaitokset. Työssä tarkastellaan siis kahta Suomessa sijaitsevaa varastoa. Työn aikana luodun toimintatavan mukaiset varastonohjaus parametrit luodaan vain esimerkki kategorioille. Koko nimikkeistön ohjausparametrien luominen ei kuulu työn piiriin.

Työn rakenne koostuu teoriaosuudesta ja käytännön osuudesta, jossa teoriaa sovelletaan käytäntöön yrityksen järjestelmästä saadun datan kautta. Ensimmäisessä teoria kappaleessa käsitellään varastonohjaus menetelmiin liittyvää teoriaa. Toinen teoria kappale käsittelee varastonimikkeistön kategorisointia. Käytännön osuudessa yrityksen nimikkeistöä analysoidaan ja kategorisoidaan toisessa teoriakappaleessa esitettyjen teorioiden mukaan, jonka



pohjalta luodaan malli, miten yrityksessä varastonimikkeitä tulisi kategorisoida varastonohjausta varten. Näin vastataan ensimmäiseen tutkimuskysymykseen. Työn viidennessä kappaleessa esitetään miten eri kategorioiden varastoja tulisi ohjata ja vastataan toiseen tutkimuskysymykseen.

## 2 VARASTONOHJAUS

Tässä kappaleessa käsitellään aluksi, miksi varastonohjaus on tärkeää ja mikä vaikutuksia varastoilla on yrityksen toimintaan. Kappale esittelee yleisimmät kirjallisuudesta saatavilla olevat varastonohjauksen teoriat ja käsitteet. Kappaleen lopuksi käsitellään menetelmiä ja strategioita, joilla yritys voi vaikuttaa varastotasoihinsa.

### 2.1 Varasto ja varastonohjaus

Lähestulkoon jokainen yritys pitää jonkinlaista varastoa. Varastoissa pidetään tuotannossa tarvittavia raaka-aineita, keskeneräisiä tai valmiita tuotteita, sekä eri toiminnoissa tarvittavia tarvikkeita. Just-in-time valmistusmetodien mukaan varasto on yritykselle hukka, mutta ne ovat usein tarpeellisia erilaisista syistä. Varastoja pidetään, jotta voidaan vastata asiakkaan tarpeisiin nopeasti ja joustavasti. Varastot suojaavat kysynnän muutoksilta, kun ei ole tarkkaan tiedossa tulevaa tarvemäärää. Varastot suojaavat myös epävarmaa saatavuutta ja tuotteiden hinnan heiluntaa vastaan. Varastoja pidetään myös kustannussyistä. Isommilla tilauksilla voidaan saada toimittajilta alennusta, sekä tilaamalla isompana eränä tilauskustannukset jäävät pienemmiksi. (Mèuller 2003, 1-4)

Varasto muodostuu yleensä kiertovarastosta ja lisäksi pidettävästä varmuusvarastosta. Kiertovarasto on tilauseristä muodostuva osuus varastosta, jota kulutetaan ja täydennetään. Kiertovarasto voidaan laskea tilauserän (Q) perusteella kaavalla 1. Tilauserän määrittelyä käsitellään myöhemmin tässä työssä. (Shenoy & Rosas 2018, 5)

**Kaava 1** Kiertovarasto (Shenoy & Rosas 2018, 6)

$$Kiertovarasto = \frac{Q}{2}$$

Kuten aikaisemmin mainittiin yritykset pitävät varmuusvarastoa kiertovaraston lisäksi. Tällä hallitaan epävarmuutta kysynnässä ja täydennysajoissa. Yrityksen kokonaisvarasto muodostuu näin kiertovarastosta ja varmuusvarastosta kaavan 2 mukaisesti.

**Kaava 2 Kokonaisvarasto**

$$\text{Kokonaisvarasto} = \frac{Q}{2} + \text{Varmuusvarasto}$$

Varastojen määrä vaikuttaa yrityksen varastointikustannuksiin. Iso kustannuserä varastoinnissa on varastonpitokustannukset. Varastoon sitoutuu pääomaa ja varastotiloista muodostuu merkittävä kustannuserä varsinkin, jos sitä vuokrataan yrityksen ulkopuolisilta toimijoilta. Muita varastonpitoon liittyviä kustannuksia on esimerkiksi materiaalien käsittelykustannuksia ja varastomateriaalin vanhentumiseen liittyviä kustannuksia. Pitokustannukset määritellään yleensä prosenttiosuutena varastoitavan materiaalin arvosta. (Axsäter 2015, 38)

Muita kustannuksia ovat varaston täydennyksistä johtuvia hallinnollisia kustannuksia, sekä täydennystilausten tekoon ja vastaanottoon liittyviä kustannuksia (Axsäter 2015, 38). Myös puutteista aiheutuu kustannuksia, joko tuotannon tai myynnin menetysten kautta (Axsäter 2015, 39). Kunnossapitomateriaalien, kuten varaosien, osalta puutekustannukset voivat nousta erittäin suuriksi (Huiskonen 2001).

Varastonohjauksella pyritään vastaamaan sellaisiin kysymyksiin, kuten: milloin pitää tilata täydennystä varastoon, paljonko täydennystä pitää tilata ja kuinka usein varaston tilannetta tulisi tarkastella (Nami & Chen 2009; Shenoy & Rosas 2018, 7). Varastoitavien nimikkeiden ominaisuudet, kuten kysyntä ja toimitusaika, tekevät varastonhallinnan kysymyksistä monimutkaisia ja haastavia (Shenoy & Rosas 2018, 7)

**2.2 Jatkuva tai ajoittainen tarkastelu**

Varastonohjausjärjestelmä voi perustua jatkuvaan tarkasteluun jolloin varastosaldoja seurataan reaaliaikaisesti ja täydennystilaus lähtee eteenpäin heti, kun varastosaldo laskee haluttuun tilauspisteeseen (s). Varastonohjaus voi perustua myös kiinteisiin tarkasteluväleihin (T) jolloin varastosaldot tarkastetaan määrättyinä ajankohtina ja tilauspisteiden alle laskeneita varastosaldoja täydennetään. (Axsäter 2015, 40)

Jatkuvan tarkastelun etuna on, että se mahdollistaa pienemmät varmuusvarastot ja se vastaa paremmin kysynnän muutoksiin, kun tilauspisteen alittamiseen reagoidaan välittömästi.

Tilausvälimenetelmässä epävarmuus on suurempaa, kun toimitusajan (L) lisäksi täydennystä viivästyttää tilausten välinen aika. Tilausvälimenetelmä mahdollistaa toisaalta paremman mahdollisuuden yhdistää tilauksia isoimmiksi tilauksiksi laskemalla näin käsittelykustannuksia. Yleisesti matalan kulutuksen tuotteille paras tarkastelumenetelmä on jatkuva ja suuren kulutuksen tuotteille kiinteän tarkasteluvälin menetelmä. (Axsäter 2015, 41)

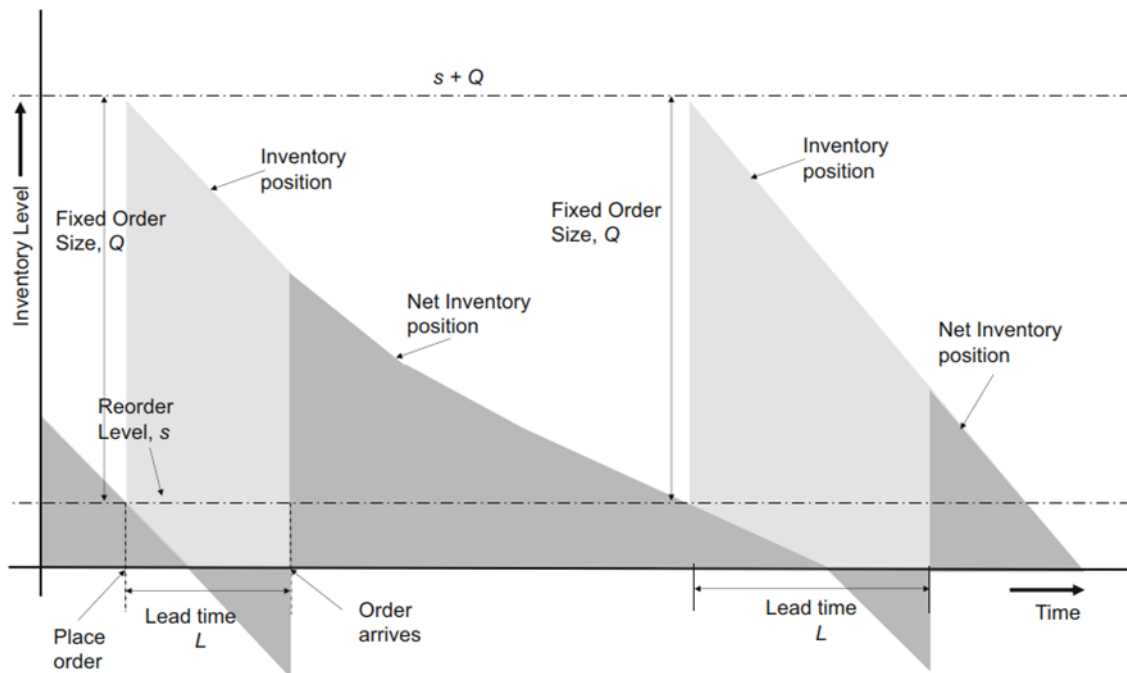
## 2.3 Tilausmenetelmät

Tässä kappaleessa pyritään vastaamaan kysymykseen, kuinka paljon ja milloin varastoa tulisi täydentää. Tiluserä voi olla kiinteä optimaalinen tiluserä tai muuttuva, kuten Min-Max menetelmässä.

### 2.3.1 Kiinteän tiluserän menetelmä

Kiinteän tiluserän (s,Q) menetelmässä varastoa täydennetään, kun varastotaso alittaa tilauspisteen (s). Varastoa täydennetään kiinteän optimaalisen tiluserän (Q) verran. Varastotaso täydentyy toimitusajan (L) kuluttua, kun toimitus saapuu yrityksen varastoon. (Shenoy & Rosas 2018, 15)

Kuten edellisessä kappaleessa on todettu, varastoa voidaan tarkastella jatkuvasti, jolloin varastosaldoa täydennetään välittömästi, kun tilauspiste alitetaan, tai vaihtoehtoisesti tarkastella varastosaldoa tiettyinä aikoina (T), jolloin varastoa täydennetään seuraavan kerran, kun tilauspisteen alitus havaitaan. Kuvassa 1. on esitetty varastosaldon käyttäytyminen jatkuvan tarkastelun alla olevan kiinteän tiluserän menetelmässä.



**Kuva 1** Varastosaldo kiinteän tilauskerän ( $s, Q$ ) menetelmä (Shenoy & Rosas 2018, 16)

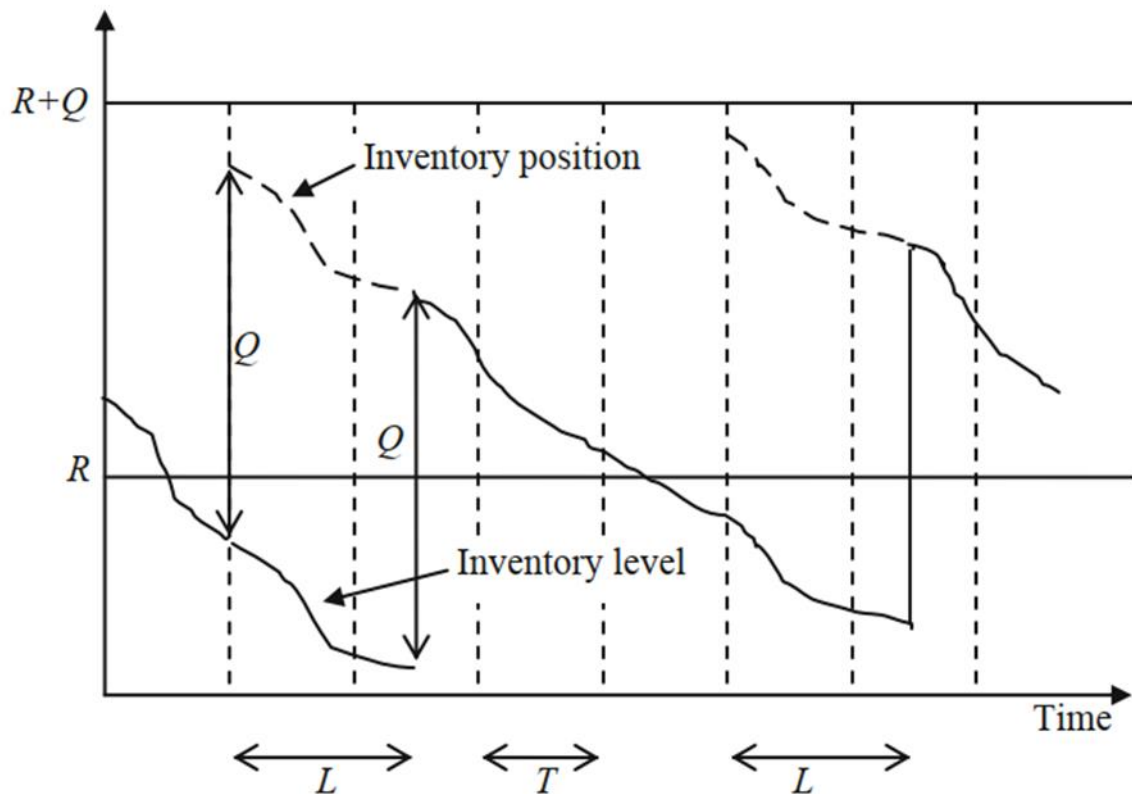
Kuvan 1 esimerkissä varastosaldo painuu negatiiviseksi ennen kuin täydennys saapuu varastoon. Tästä voimme päätellä, että tilauspiste on liian alhaalla. Tilauspisteen tulisi olla tasolla jolla varastossa oleva saldo kattaa täydennysajan aikaisen kysynnän. Tilauspiste ( $s$ ) voidaan laskea yksinkertaisella kaavalla 3, jossa  $L$  on täydennysaika päivinä ja  $d$  on päivittäinen kysyntä. (Shenoy & Rosas 2018, 44)

**Kaava 3** Tilauspiste (Shenoy & Rosas 2018, 44)

$$s = L \times d$$

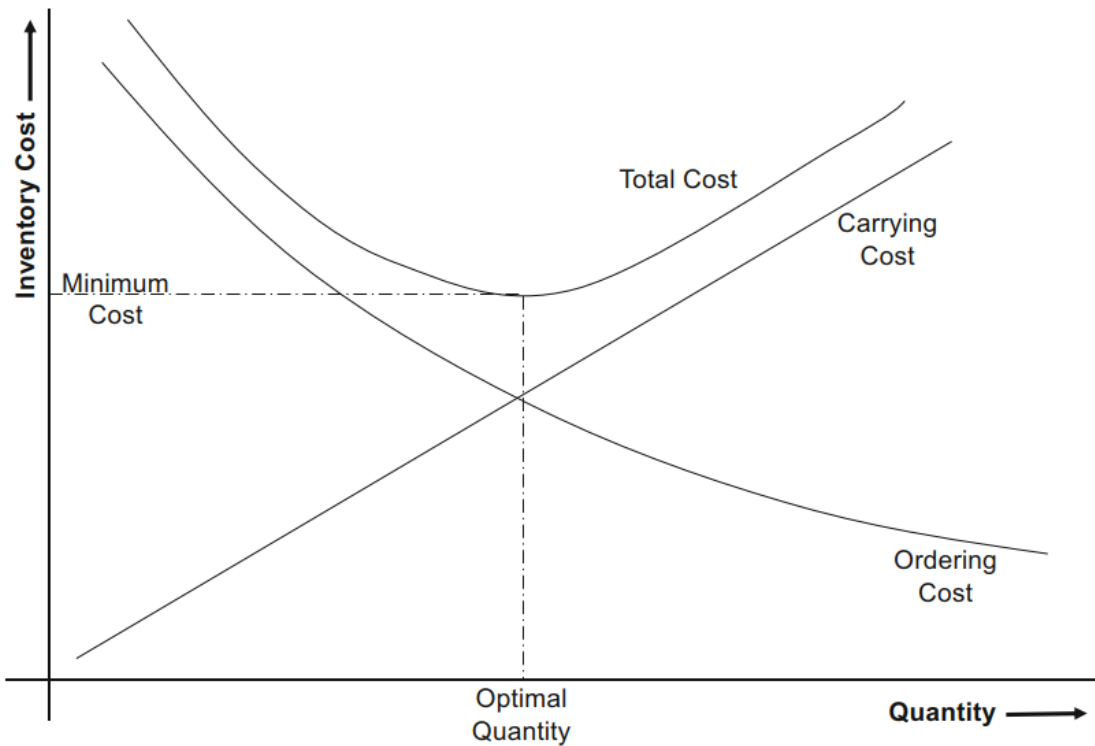
Täydennysajalla ei tarkoiteta ainoastaan tavaroiden kuljetukseen kuluva aikaa. Täydennysaikaan tulee sisältyä tilauksen valmisteluun kuluva aika omassa yrityksessä ja toimittajalla, kuljetusaika ja tilauksen vastaanottamiseen kuluva aika. Mikäli käytetään tilausväli menetelmää, tämä aika tulee myös huomioida tilauspistettä laskettaessa. (Axsäter 2015, 40)

Kuvassa 2 esitetään esimerkki varastotason käyttäytymisestä, kun varastosaldoja tarkastellaan tilausvälein ( $T$ ). Kuvan 2 esimerkissä tilauspiste on riittävällä tasolla, jotta varastosaldo riittää kattamaan toimitusajan kysynnän myös tilausväli huomioiden.



**Kuva 2** Varastosaldon käyttäytyminen kiinteän tilausmäärän ja -välin menetelmällä (Axsäter 2015, 42)

Tilausmäärän ( $Q$ ) koolla on suora vaikutus yrityksen kiertovarastoon ja varastointikustannuksiin. Tilausmäärän määrittämiseksi yleisesti käytetty malli on EOQ, eli taloudellisen tilausmäärän malli. Mallin perusteella voidaan laskea tilausmäärän koko, jolla tilauksen ja varastoinnin kokonaiskustannukset ovat pienimmät (Shenoy & Rosas 2018, 35). Kuvassa 3 on havainnollistettu EOQ-mallia.



**Kuva 3** EOQ-malli (Shenoy & Rosas 2018, 37)

EOQ-malli toimii oletuksilla, että: kysyntä on suhteellisen tasainen ja jatkuva, tilaus- ja varastointikustannukset pysyvät vakioina, tiluserän ei tarvitse olla kokonaisluku, tiluserä toimitetaan yhtenä toimituksena ja puutteet tilausmäärissä eivät ole sallittuja (Axsäter 2015, 46). Varastoinnin kokonaiskustannukset ( $C$ ), joka on summa tilaus- ja pitokustannuksista, voidaan laskea kaavalla 4, jossa:

- $h$  on nimikkeen pitokustannukset aikayksikössä
- $A$  on tilauskustannukset
- $d$  on kysyntä aikayksikössä
- $Q$  on tiluserä

**Kaava 4** Varastoinnin kokonaiskustannukset (Axsäter 2015, 46).

$$C = \frac{Q}{2}h + \frac{d}{Q}A$$

Kaavasta 4 voidaan johtaa taloudellisen tilauserän kaava 5, jolla on mahdollista laskea taloudellisesti optimaalinen tilauserä. Taloudellisen tilauserän kaavalla voidaan laskea kuvan 3 piste, jossa tilaus- ja pitokustannukset leikkaavat.

**Kaava 5** Taloudellisen tilauserän kaava (Axsäter 2015, 47).

$$Q = \sqrt{\frac{2Ad}{h}}$$

Taloudellisen tilauserän heikkoutena on sen huono sopivuus tuotteille, joiden kysyntä vaihtelee. Laskentakaava olettaa kysynnän olevan tasaista, joten esimerkiksi kysynnän laskiessa kaavalla saadaan liian isoja tilauseriä. Vastaavasti kysynnän noustessa laskukauden perusteella lasketuilla parametreilla saadaan liian pieniä tilauseriä. (Happonen 2011, 23-24)

Yksinkertainen tapa määrittellä tilauserä on varaston riiton (DOS) perusteella. Varaston riitto on laskennallinen suure, joka lasketaan yleensä keskimääräisen päiväkohtaisen kulutuksen avulla kaavan 6 mukaisesti. (Happonen 2011, 24-25)

**Kaava 6** Varaston riitto DOS (Happonen 2011, 25)

$$DOS = \frac{\text{Varaston määrä}}{\text{Keskimääräinen päiväkohtainen kulutus}}$$

Tilausmäärä voidaan näin ollen laskea halutun varaston riiton mukaan. Menetelmän heikkous on sen perustuminen keskimääräiseen kulutukseen. Tästä johtuen se vastaa muuttuvaan kysyntään heikosti, kuten taloudellisen tilauserän menetelmä. (Happonen 2011, 25)

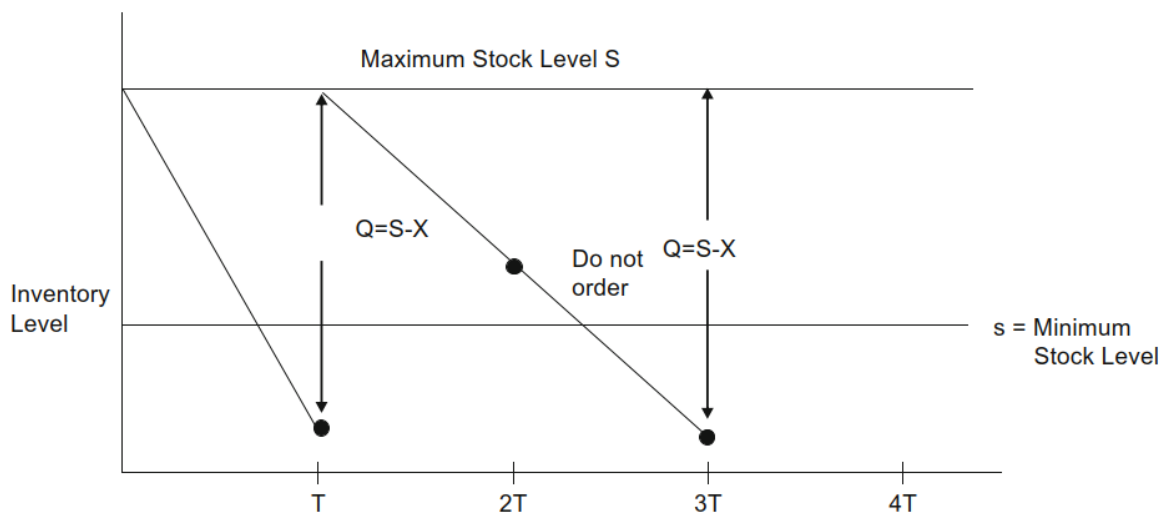
### 2.3.2 Min-Max menetelmä

Min-Max (s,S) varastonohjaus menetelmässä varastotasoja voidaan seurata jatkuvasti tai tilausvälein, kuten kiinteän tilauserän menetelmässä. Min-Max menetelmän erona kiinteän tilauserän menetelmään on, että tilauserän (Q) koko vaihtelee. Min-Max menetelmässä varastoa täydennetään, kun varastosaldo alittaa tilauspisteen (s), eli varaston minimitason, mutta



tilausmäärä ( $Q$ ) vaihtelee. Mikäli varastosta kulutetaan tuotteita siten, että varastosaldo laskee kerralla useamman yksikön alle tilauspisteen, tilausmäärää suurennetaan siten, että varastosaldo saavuttaa maksimitasonsa ( $S$ ). (Shenoy & Rosas 2018, 16)

Kuvassa 4 on esitetty varastosaldon käyttäytyminen Min-Max menetelmässä kiinteällä tilausvälillä.



**Kuva 4** Varastosaldon käyttäytyminen kiinteällä tilausvälillä ( $T$ ) Min-Max menetelmässä. (Vrat 2014, 32)

### 2.3.3 Periodi tilausmenetelmä

Aikaisemmin kiinteän tilauserän kappaleessa 2.3.1 käsitellyn taloudellisen tilauserän (EOQ) malli sopii huonosti kysynnän ollessa vaihtelevaa. Laskettu taloudellinen tilauserä saattaa ylittää tulevan tarpeen tai vaihtoehtoisesti se ei ole riittävä vaan joudutaan tekemään uusi täydennystilaus nopeasti. Näin ollen mallia pitää muuttaa, jotta voidaan vastata tehokkaammin vaihtelevaan kysyntään. (Arnold ym. 2014, 300-301)

Perioditilausmenetelmä (POQ) perustuu taloudellisen tilauserän menetelmään. POQ-menetelmässä lasketaan taloudellisen täydennystilauksien välinen aika. Vaikka laskennallinen taloudellinen tilausväli on esimerkiksi kaksi viikkoa, täydennystilausta ei tehdä kahden viikon välein, mikäli sille ei ole tarvetta. Mallin tavoitteena on täyttää kahden viikon tarve, kun tilaus tehdään. Täydennettävä määrä muuttuu kysynnän mukaisesti, kuten Min-Max menetelmässä,

eikä ole vakio, kuten EOQ-menetelmässä. Kyseisellä menetelmällä täydennystilausten määrä ja kustannukset pysyvät samana, kun käytettäisiin EOQ-mallia, mutta varastonpitokustannukset laskevat. Taloudellinen tilausväli lasketaan kaavalla 6 jakamalla taloudellinen tilauserä viikottaisen kysynnän keskiarvolla. (Arnold ym. 2014, 301)

**Kaava 6** Taloudellinen tilausväli (POQ) (Arnold ym. 2014, 301)

$$POQ = \frac{EOQ}{\text{Viikottaisen kysynnän keskiarvo}}$$

Arnold ym. (2014) esittämässä esimerkissä vertaillaan varaston kustannuksia EOQ- ja POQ-mallia käyttäen. Taulukossa 1 on esitetty EOQ-mallin käyttäytyminen esimerkki kysynnällä tilauserän ollessa 250 kappaletta.

**Taulukko 1** Esimerkki taloudellisella tilauserällä 250 kappaletta (Arnold ym. 2014, 302)

Viikko	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Yht.
Tarve	100	50	150	0	75	200	55	80	150	30	890
Suunniteltu täydennys	250		250			250			250		
Loppu varasto	150	100	200	200	125	175	120	40	140	110	1360

Taulukon 1 kysynnällä viikoittaisen kysynnän keskiarvo on 89 kappaletta. Tästä voidaan taloudellisen tilausmäärän 250 kappaletta perusteella laskea kaavan 6 perusteella taloudelliseksi tilausväliksi 2,81 viikkoa, joka pyöristetään kolmeksi viikoksi. Taulukossa 2 on esitetty varaston käyttäytyminen samalla kysynnällä käyttäen taloudellisen tilausvälin menetelmää. (Arnold ym. 2014, 302)

**Taulukko 2** Esimerkki taloudellisella tilausvälillä 3 viikkoa. (Arnold ym. 2014, 302)

Viikko	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Yht.
Tarve	100	50	150	0	75	200	55	80	150	30	890
Suunniteltu täydennys	300				330			260			
Loppu varasto	200	150	0	0	255	55	0	180	30	0	870

POQ-menetelmää käyttäen tilausmäärää muutetaan kattamaan tulevan kolmen viikon kysyntä. Kyseisellä menetelmällä varaston kokonaismäärä laskee 1360 kappaleesta 870 kappaleeseen. Taulukon 2 esimerkissä huomionarvoista on, että viikolle 4 ei suunnitella vastaanotettavaksi täydennystilausta kysynnän ollessa 0, vaan täydennystä lykätään viikolla eteenpäin viikolle 5.

## 2.4 Varmuusvarasto

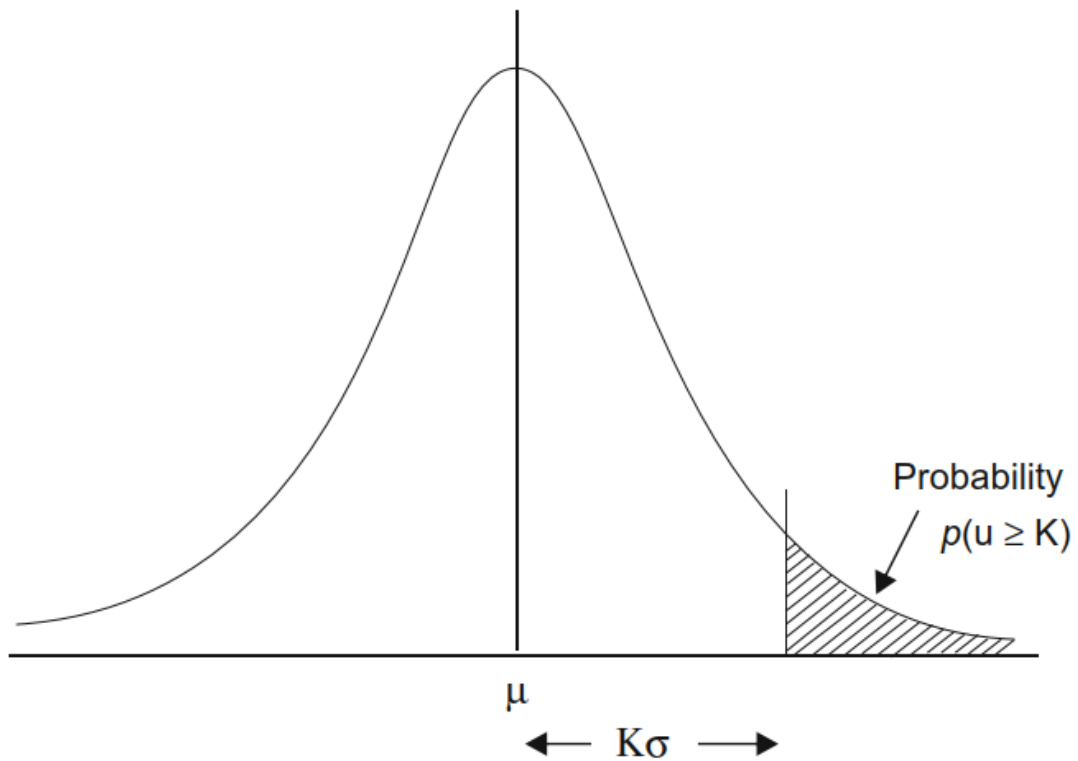
Kysynnän ja saatavuuden vaihteluja suojaamaan yritykset pitävät varmuusvarastoja, jolla estetään varastojen tyhjentyminen (Shenoy & Rosas 2018, 146). Kaavalla 3 tilauspistettä laskettaessa on huomioitava, että toimitusaika ja kysyntä ovat usein muuttuvia suureita (Vrat 2014, 128). Palvelutaso on yleisesti käytetty konsepti, jonka perusteella varmuusvarastojen suuruus määräytyy. Palvelutasolla tarkoitetaan todennäköisyyttä, että varasto tyhjenee täydennysyökin aikana (Axsäter 2015, 79).

Tarvittavaan varmuusvarastoon vaikuttaa kysynnän vaihtelun lisäksi täydennysten toimitusaikojen epävarmuus. Seuraavaksi tarkastellaan varmuusvarastojen määrittelyä epävarman kysynnän, mutta vakioiden täydennysaikojen vallitessa, sekä epävarman kysynnän ja muuttuvien toimitusaikojen tapauksissa.

### 2.4.1 Varmuusvarasto - vaihteleva kysyntä ja vakio täydennysaika

Jos kysyntä on jatkuva muuttuja, yleisesti käytetty tapa kuvata kysyntää on normaalijakauma. Kuvassa 5 on kuvattu normaalijakauma, joka sijoittuu symmetrisesti keskiarvon ( $\mu$ ) ympärille.

Sigma ( $\sigma$ ) on kysynnän keskihajonta ja K kuvaa varmuuskerrointa, joka määrittellään halutun palveluasteen perusteella liitteen 1 taulukon mukaisesti. Kuvaajan varjostettu alue kuvaa varaston tyhjentymisen todennäköisyyttä. (Vrat 2014, 125, 129)



**Kuva 5.** Normaalijakauma (Vrat 2014, 125)

Täydennysajan ( $L$ ) ollessa vakio ja kysynnän vaihteleva varmuusvarasto voidaan laskea kaavalla 7, jossa  $L$  on täydennysaika,  $K$  on varmuuskerroin ja  $\sigma$  on kysynnän keskihajonta.

**Kaava 7** Varmuusvarasto vaihtelevalla kysynnällä vakio toimitusajalla

$$\text{Varmuusvarasto} = K \times \sigma \times \sqrt{L}$$

Varmuusvarastojen suuruuteen kaavassa 7 vaikuttaa haluttu palveluaste varmuuskertoimen kautta, kysynnän hajonta ja täydennysaika. Täydennysajan pituudella on suora vaikutus varmuusvarastoon, joten hankintaprosesseja parantamalla on mahdollista vaikuttaa varmuusvarastoon palvelutasosta tinkimättä. (Vrat 2014, 125)

### 2.4.2 Varmuusvarasto - vaihteleva kysyntä ja täydennysaika

Kysynnän vaihtelun lisäksi täydennysaika voi vaihdella, jolloin varmuusvarastojen määrässä tulisi huomioida myös täydennyksen epävarmuus (Vrat 2014, 127). Täydennysajan vaihtelu huomioiden varmuusvarasto voidaan laskea kaavalla 8, jossa:

- $K$  on varmuuskerroin
- $\bar{L}$  on täydennysajan keskiarvo
- $\sigma_D$  on kysynnän keskihajonta
- $\bar{D}$  on kysynnän keskiarvo
- $\sigma_L$  on kysynnän keskihajonta

**Kaava 8** Varmuusvarasto epävarmalla kysynnällä ja täydennysajalla (Vrat 2014, 130)

$$\text{Varmuusvarasto} = K \times \sqrt{\bar{L} \times \sigma_D^2 + \bar{D}^2 \times \sigma_L^2}$$

Täydennysajan käyttäytyminen voidaan analysoida historiadatasta ja hajonta voidaan kuvata normaalijakaumalla, kuten kysyntä edellisessä kappaleessa. Aikaisempaa dataa ei välttämättä ole saatavilla jolloin karkeat arvioit täydennysajan keskiarvosta ja -hajonnasta voidaan tehdä olettamalla kolmen arvion perusteella:

- Optimistinen arvio täydennysajasta:  $a$ .
- Todennäköisin arvio täydennysajasta:  $m$ .
- Pessimistinen arvio täydennysajasta:  $b$ .

Arvioiden perusteella täydennysajan keskiarvo voidaan arvioida kaavalla 9 ja keskihajonta kaavalla 10. (Vrat 2014, 127)

**Kaava 9** Täydennysajan keskiarvon arviointi

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

**Kaava 10** Täydennysajan keskihajonnan arviointi

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

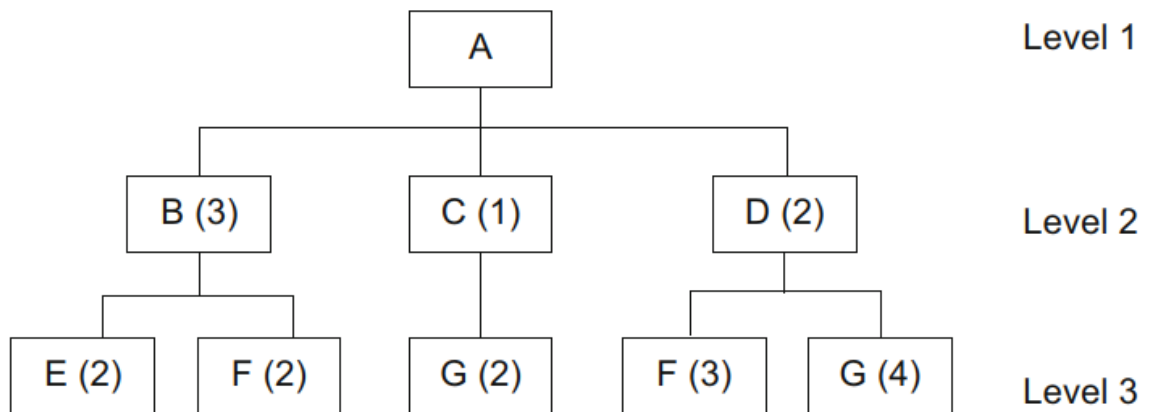
## 2.5 Tilauksiin ja ennusteisiin perustuva tarvelaskenta MRP

Aikaisemmin kappaleessa 2.3 käsitellyt tilausmenetelmät perustuvat varaston kulutukseen ja tilauspisteisiin, joista muodostuu täydennystarpeet. Tässä kappaleessa käsitellään menetelmiä, jotka perustuvat tuleviin tuotantosuunnitelmiin tai kysyntäennusteisiin.

Edellisissä kappaleissa esitetyt tilausmenetelmät perustuvat oletukselle, että kysyntä on riippumaton muuttuja. Joissain tapauksissa ja ympäristöissä kysyntä voi olla riippuvaista esimerkiksi ylemmän tason tuotantosuunnitelmista, jotka perustuvat asiakkaiden tilauksiin tai tehtyihin myyntiennusteisiin. Tarvelaskenta (MRP) perustuu tuotantosuunnitelmiin, osaluetteloihin (BOM) ja varastotasoihin. (Vrat 2014, 156)

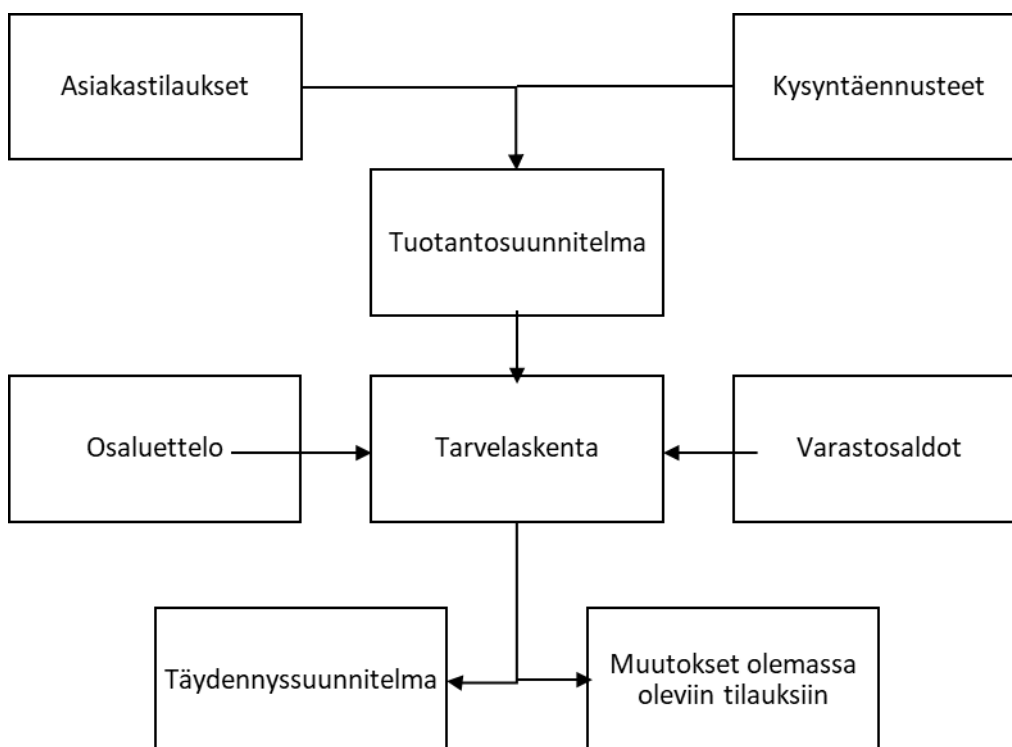
MRP tarvelaskenta on yleisesti käytössä valmistavassa teollisuudessa. Kunnossapidon näkökulmasta tarvelaskenta voi perustua huoltosuunnitelmiin ja laitteiden varaosaluetteloihin.

Osaluettelo, eli bill of materials (BOM), on keskeinen tarvelaskennassa hyödynnettävä tieto. Osaluettelo sisältää tiedot tuotteen valmistukseen tarvittavista alakokoonpanoista, osista ja raaka-aineista. Alla olevassa kuvassa 6 on esitetty esimerkki kolmitasoisesta osaluettelosta tuotteelle A. Osaluettelosta on nähtävissä, että tuote A koostuu kolmesta alakokoonpanosta B, yhdestä alakokoonpanosta C ja kahdesta alakokoonpanosta D. Jokaisen alakokoonpanon valmistaminen vaatii osaltaan tason 3 mukaisesti osia E, F ja G.



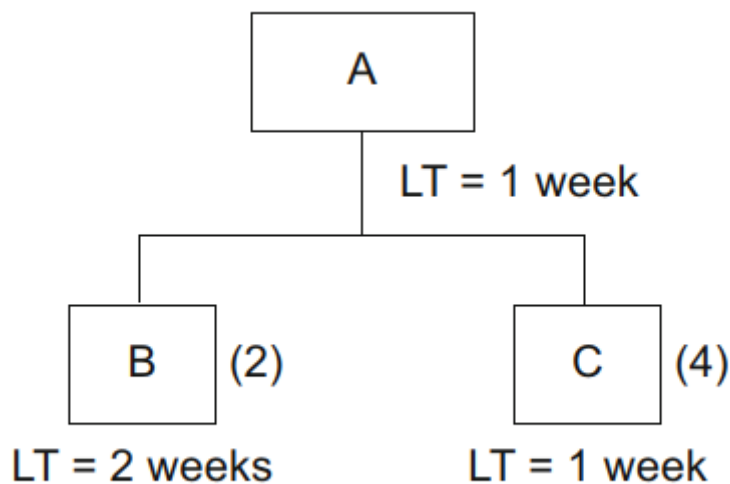
**Kuva 6** Osaluettelo (BOM) (Vrat 2014, 156)

Kuten aikaisemmin todettiin tarvelaskenta käyttää tuotantosuunnitelmaa, osaluetteloita ja olemassa olevaa varastosaldoa. Näiden perusteella tarvelaskenta määrittelee tulevat tarpeet ja toimitusajan perusteella laskee, milloin tarvittavat raaka-aineet ja osat tilataan, jotta tuleva tarve pystytään täyttämään oikea aikaisesti. Kuvassa 7 on sovellettu Vratin (2014) esittämää tarvelaskennan prosessia. (Vrat 2014, 157)



**Kuva 7** Tarvelaskenta (Mukailtu lähteestä Vrat 2014, 157)

Tarvelaskenta tuottaa suunnitelman osien ja raaka-aineiden tilausten aikatauluttamiselle ottaen huomioon täydennysajan ja mahdollisen saatavilla olevan varaston. Kuvassa 8 on yksinkertainen osaluettelo toimitus- ja valmistusajoilla.



**Kuva 8** Osaluettelo toimitus- ja valmistusajoilla

Taulukossa 3 on Vratin (2014) esimerkistä mukailtu esimerkki MRP kuvan 7 tuotteen A valmistukselle. Viikolla neljä on, suunnitelman mukaisesti, täytettävä tilaus 200 kappaleesta tuotetta A. Tuotetta A ei ole varastossa, joten nettotarve on sama 200 kappaletta. Tuotantoaika on kuvan 7 mukaan yksi viikko, joten tuotanto on aloitettava viikolla kolme. Yhden A tuotteen valmistamiseen tarvitaan 2 kappaletta B osia, joten tarve on yhteensä 400 kappaletta. Osaa B ei ole varastossa, joten nettotarve on sama 400 kappaletta. Osan B toimitusaika on 2 viikkoa, joten viikolla 3 alkavan tuotannon tarpeen tyydyttämiseksi täydennystilaus on tehtävä viikolla yksi. Tuotteen A valmistamiseen tarvitaan myös neljä kappaletta osaa C, joten kyseisen osan bruttotarve on 800 kappaletta. Yrityksellä on kuitenkin varastossaan valmiiksi 100 kappaletta osaa C, joten nettotarve on vain 700 kappaletta. Osan C täydennysaika on yksi viikko, jolloin täydennystilaus on tehtävä viikolla 2.



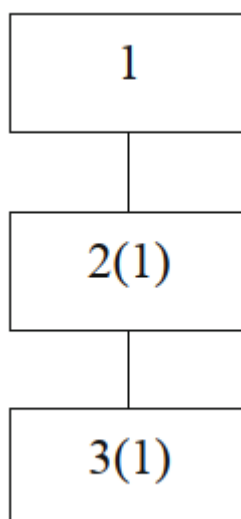
**Taulukko 3** Esimerkki MRP (Mukailtu lähteestä Vrat 2014, 159)

Viikko	1	2	3	4
Tuotantotarve A				200
Brutto tuotantotarve A				200
Varastosaldo A				0
Nettotarve A				200
Suunniteltu tuotannon valmistuminen				200
Tuotantotilauksen vapautus			200	
Bruttotarve B			400	
Varastosaldo B			0	
Nettotarve B			400	
Suunniteltu täydennyksen vastaanotto B			400	
Täydennystilauksen vapautus B	400			
Bruttotarve C			800	
Varastosaldo C	100	100	100	
Nettotarve C			700	
Suunniteltu täydennyksen vastaanotto C			700	
Täydennystilauksen vapautus C		700		

MRP on hyödyllinen työkalu täydennystilausten suunnitteluun, erityisesti, kun tarve on suhteellisen suurta, mutta satunnaista (Axsäter 2015, 165). MRP:llä on myös omat heikkoutensa. MRP olettaa täydennysajan olevan muuttumaton, mutta kaikissa olosuhteissa

tämä ei ole totta. MRP ei ota huomioon toimittajan tai oman tuotannon kapasiteettia taulukon 3 esimerkissä. Tästä voi aiheutua täydennysajan muutoksia. Täydennysajan vaihtelua voidaan joutua kompensoimaan turvakertoimella tai varmuusvarastolla. Myös täydennyserissä sataprosenttinen virheettömyys toimitettavissa määrissä on ehto, jotta tarve pystytään täydentämään suunnitellusti. Tämä on tärkeää varsinkin, kun perinteisessä MRP suunnittelussa tilausmäärä määräytyy tarpeen mukaiseksi. Vaikka aikaisemmin käsitelty esimerkki on yksinkertainen, niin todellisuudessa osalistat ovat yleensä suuria ja tarvelaskentaa on mahdotonta hallita tehokkaasti käsin. Tarvelaskentaa tekevä suunnittelija tarvitsee siis MRP ohjelman tuekseen. MRP vaatii myös tehokasta ja tarkkaa datan hallintaa. Toimitusaikojen tulee olla todenmukaisia ja osaluetteloiden ajan tasalla. (Vrat 2014, 159-160)

Aikaisemmassa taulukon 3 esimerkissä tarvelaskennassa tilausjärän koko on määritelty tarvemäärää vastaavaksi, jolloin ylimääräistä varastoa ei pidetä. Seuraavaksi tarkastellaan MRP-ohjausta, jossa osilla pidetään varmuusvarastoa puskuroimaan edellä mainittuja muuttujia, sekä tilausmäärä on kiinteä ennalta määritelty. Esimerkissä käytetään kuvan 9 mukaista yksinkertaista osaluetteloa, jossa tuotteen 1 valmistamiseen tarvitaan yksi kappale osaa 2 ja osan kaksi valmistukseen tarvitaan yksi kappale osaa 3.



**Kuva 9** Tuotteen 1 osaluettelo (Axsäter 2015, 161)

Taulokossa 4 on tuotteen 1, sekä osien 2 ja 3 tiedot MRP suunnittelua varten.

**Taulukko 4** Toimitusaika, tilausmäärä ja varmuusvarasto tiedot

Tuote / Osa	Toimitusaika	Tilausmäärä	Varmuusvarasto
1	1 vko	25 kpl	5 kpl
2	1 vko	50 kpl	10 kpl
3	2 vko	50 kpl	10 kpl

Taulukossa 5 on Äxsäterin (2015) esimerkkiä mukailien MRP suunnitelma tuotteelle 1.

**Taulukko 5** Tuotteen 1 MRP suunnitelma (mukailtu lähteestä Axsäter 2015, 163)

Viikko	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Bruttotarve		10		25	10	20	5		10
Suunniteltu vastaanotto			25						
Suunniteltu varastosaldo	22	12	37	12	27	7	27	27	17
Suunnitellut tilaukset				25		25			

Tuotteen 1 ollessa lopputuote bruttotarve kuvaa asiakaskysyntää. Suunniteltu vastaanotto kuvaa olemassa olevien täydennystilausten vastaanottoa. Varaston lähtötaso on 22 kappaletta. Viikolla 1 toimitetaan 10 kappaletta, joten varaston saldoksi jää 12 kappaletta. Viikolla 2 on tulossa 25 kappaleen täydennys, joten varastosaldo nousee 37 kappaleeseen. Viikolla toimitetaan varastosta 25 kappaletta ja viikolla 4 10 kappaletta. Viikolla 4 tapahtuva 10 kappaleen toimitus laskisi olemassa olevan varastosaldon 12 kappaleesta 2 kappaleeseen, joka on alle varmuusvarastotason, joten viikolle 3 suunnitellaan täydennystilaus 25 kappaleesta tilausmäärän mukaisesti. Kysynnän jatkuessa varastosaldo laskee jälleen varmuusvarasto tason alle viikolla 6, joten myös viikolle 5 suunnitellaan täydennystilaus 25 kappaletta. Tästä muodostuu bruttotarve seuraavan tason osalle 2. Taulukossa 6 on MRP suunnitelma osalle 2. (Axsäter 2015, 162)

**Taulukko 6** Osan 2 MRP suunnitelma (mukailtu lähteestä Axsäter 2015, 163)

Viikko	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Bruttotarve				25		25			
Suunniteltu vastaanotto									
Suunniteltu varastosaldo	15	15	15	40	40	15	15	15	15
Suunnitellut tilaukset			50						

Osalle 2 bruttotarve tulee tuotteen 1 suunnitelluista täydennystilauksista taulukosta 5. Osan 2 varastosaldo on 15, mutta se ei riitä täyttämään viikolla 3 olevaa tarvetta 25 kappaleelle, joten viikolle 2 suunnitellaan täydennystilaus tilausmäärän mukaisesti 50 kappaleelle. Varastoon jää viikon 3 tarpeen jälkeen 40 kappaletta. Viikolla 5 on uusi tarve 25 kappaleelle, joka voidaan tyydyttää suoraan jo olemassa olevasta varastosta. Varastosaldoon jää edelleen 15 kappaletta. Varmuusvaraston osalle 2 ollessa 10 kappaletta täydennystilaukselle ei ole tarvetta. Taulukossa 7 on MRP suunnitelma osalle 3. (Axsäter 2015, 163)

**Taulukko 7** Osan 3 MRP suunnitelma (mukailtu lähteestä Axsäter 2015, 163)

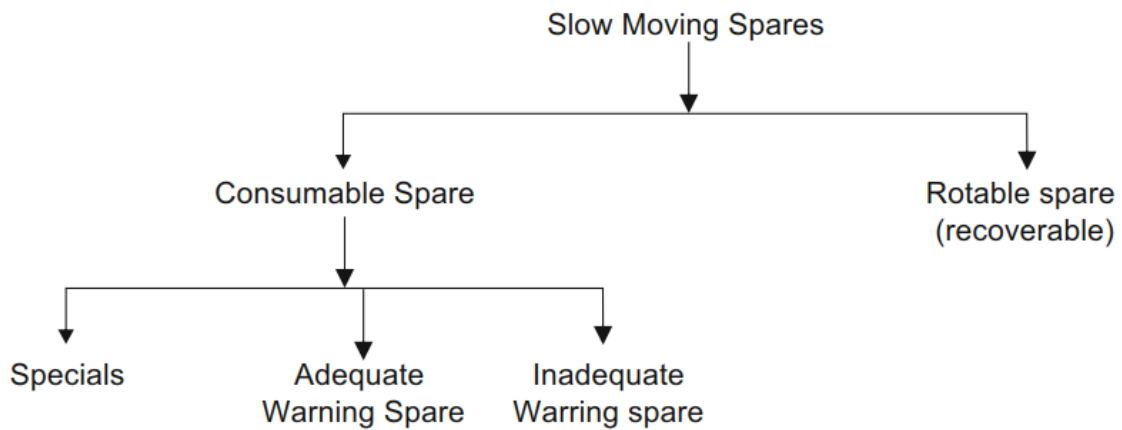
Viikko	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Bruttotarve			50						
Suunniteltu vastaanotto									
Suunniteltu varastosaldo	20	20	- 30	20	20	20	20	20	20
Suunnitellut tilaukset		50							

Osan 3 bruttotarve saadaan osan 2 suunnitelluista täydennystilauksista taulukosta 6. Viikolla 2 tarvetta ei pystytä saavuttamaan osan 3 toimitusajan ollessa 2 viikkoa. Täydennystilaus olisi pitänyt suunnitella viikolle 0, mutta olemme ajassa jos kyseisen viikon lopussa. Tarpeen täydentäminen viikolle 2 vaatisi nopeutettua toimitusaikaa osalle 3 tai varmuusvarastotason nostamista. Tarvesuunnittelussa tulisi huomioida koko järjestelmän läpimenoaika alimman tason osista ja raaka-aineista alkaen. (Axsäter 2015, 160-165)

## **2.6 Hitaasti kiertävien nimikkeiden ohjaus**

Tässä kappaleessa käsitellään hitaasti kiertävien nimikkeiden ohjausta. Nimikkeiden luokittelua kiertonopeuden mukaan käsitellään myöhemmin kappaleessa 3.1.3. Hitaasti kiertäviä nimikkeitä ovat yleensä varaosat ja erilaisissa projekteissa tarvittavat materiaalit. Kappaleessa 2.3 esitetyt tilauspisteisiin ja tilauseriin perustuvat mallit eivät sovellu hyvin varastonimikkeille, joiden kysyntä on hyvin harvaa ja hajanaista. Kappaleessa esitetyt mallit soveltuvat korkean hintaluokan osille. Edullisten osien ohjaaminen erittäin tarkasti ei ole yleisesti kannattavaa vaan väljemmät ohjausmenetelmät ovat riittäviä. (Vrat 2014, 175-176)

Hitaasti kiertävät varaosat voidaan jaotella kulutettaviin osiin, jotka hävitetään käytön jälkeen, ja uudelleen kunnostettaviin osiin, jotka voidaan käytön jälkeen kunnostaa ja palauttaa käyttöön. Kulutettavat osat voidaan jaotella pidemmälle erikoisosiin (specials), riittävän ja riittämättömän varoituksen antaviin osiin. Tässä kappaleessa keskitytään kulutettavien varaosien ohjaukseen. Jaottelua on havainnollistettu kuvassa 10. (Vrat 2014, 177).

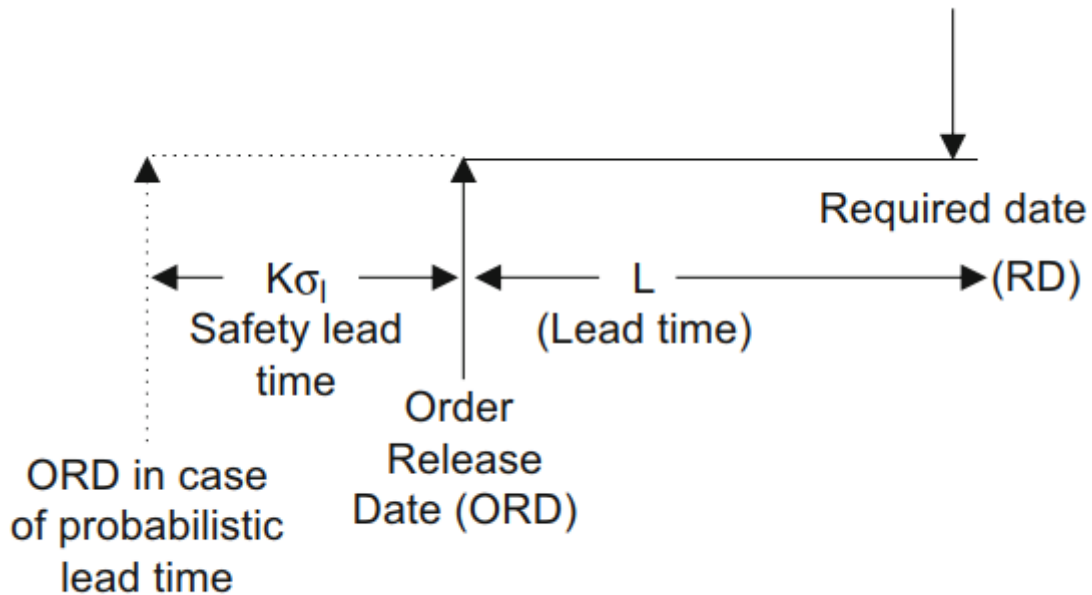


**Kuva 10** Hitaasti kiertävien varaosien jaottelu

### 2.6.1 Erikoisosat

Erikoisosilla tarkoitetaan suunnitellussa huollossa tai projektissa käytettäviä osia joiden tarvemäärä ja ajankohta ovat tarkkaan tiedossa. Kun tarpeen ajankohta on tarkalleen tiedossa, täydennystilaus voidaan tehdä aikaisemmassa kappaleessa käsitellyä tarvelaskenta menetelmää hyödyntäen, jotta täydennys saapuu varastoon oikeaan aikaan tarpeen täyttämiseksi. Tarvemäärän ollessa tiedossa, kysynnän vaihteluun ei tarvitse varautua. Täydennysajassa voi kuitenkin esiintyä vaihtelua, joten täydennystilauksen ajankohdassa on hyvä ottaa huomioon tarvittava turvamarginaali. (Shenoy & Rosas 2018, 255)

Kuvassa 11 on havainnollistettu Vratin (2014) esittämänä täydennystilauksen ajankohdan määrittäminen. Kuvassa RD on tarvepäivä, L on täydennysaika ja ORD on täydennystilauksen tekemisen ajankohta. Mikäli täydennysaika on muuttuva, täydennystilauksen vapautus ajankohtaa tulee siirtää. Tarvittava vapautuspäivän siirto määritellään halutun palveluasteen mukaisesti liitteen 1 taulukosta valittavalla turvakertoimella K ja täydennysajan keskihajonnan ( $\sigma$ ) mukaan. (Vrat 2014, 178)



**Kuva 11** Täydennystilauksen vapautus ajankohdan määrittely (Vrat 2014, 178)

### 2.6.2 Riittävän varoitusaajan osat

Toinen luokka, johon kulutettavat vara-osat voidaan jaotella, on riittävän varoituksen antavat varaosat. Kyseiset osat antavat merkkejä tulevasta vaihtotarpeesta tarpeeksi ajoissa, jotta täydennystilaus ehditään vastaanottamaan ja tarve täyttämään. Näitä osia ei näin varastoitaisi vaan täydennystilaus tehdään pikaisesti, jotta korvaava osa saadaan ennen kuin vanha osa hajoaa. (Shenoy & Rosas 2018, 256)

### 2.6.3 Riittämättömän varoitusaajan osat

Kolmannen luokan kulutettaville varaosille muodostavat ne varaosat, jotka eivät anna riittävä ennakkovaroitusta korvaavaan osan tilaamiselle. Tällöin korvaavia osia on pidettävä varastossa tuotannon menetysten välttämiseksi (Vrat 2014, 179). Varastonohjaus muodostuu haasteelliseksi, kun määritellään optimaalista määrää kalliita varalla pidettäviä osia mahdollisten isojen tuotannon menetysten välttämiseksi.

Tyypillisesti tämän tyyppisten varaosien kysyntä on sattumanvaraista, joten kysynnän mallintamiseksi voidaan soveltaa Poisson-jakaumaa (Vrat 2014, 180). Poisson-jakaumaa käytetään sattumanvaraisten tapahtumien todennäköisyyden laskemiseen (Holopainen & Pulkkinen 2002, 130). Vrat (2014) esittää todennäköisyyden laskemiseksi  $n$  määrän varaosien tarpeelle keskimääräisen täydennysajan aikana kaavaa 11, jossa:

- $P(n)$  = Todennäköisyys, että  $n$  määrä osia tarvitaan täydennysajan keskiarvon aikana
- $\bar{L}$  = Täydennysajan keskiarvo
- $t$  = Kahden tarpeen välisen ajan keskiarvo
- $e$  = Neperin luku

**Kaava 11** Osien määrän  $n$  tarpeen todennäköisyys täydennysaikana (Vrat 2014, 180)

$$P(n) = \frac{(\bar{L} + t)^n \times e^{-\frac{\bar{L}}{t}}}{n!}$$

Todennäköisyydet Poisson-jakauman mukaisesti voidaan laskea myös helposti Excel taulukkolaskentaohjelmistoa hyödyntäen funktiolla POISSON.DIST. Varaosien vuotuiset kokonaiskustannukset voidaan laskea kaavalla 12, jossa:

- $C_N$  = Varaosien kokonaiskustannukset
- $C_h$  = Varaosien pitokustannus
- $C_s$  = Varaosien puutekustannukset
- $C_o$  = Varaosien tilauskustannukset
- $L$  = Täydennysajan keskiarvo
- $T$  = Kysynnän välinen aika
- $P(n)$  = Todennäköisyys, että  $n$  määrä osia tarvitaan täydennysajan keskiarvon aikana
- $N$  = Varaosien maksimimäärä

**Kaava 12** Varaosien vuotuiset kokonaiskustannukset (Shenoy & Rosas 2018, 256)

$$C_N = C_h \left[ N - \frac{L}{T} \left\{ \frac{\sum_{n=0}^{N-1} P(n)}{\sum_{n=0}^N P(n)} \right\} \right] + \frac{C_s}{T} \left\{ \frac{P(N)}{\sum_{n=0}^N P(n)} \right\} + \frac{C_o}{T} \left\{ \frac{1 - P(N)}{\sum_{n=0}^N P(n)} \right\}$$



Kaavaa 12 voidaan hyödyntää laskemalla varaosien maksimimäärä (N), jolla kokonaiskustannukset jäävät pienimmäksi. Taulukossa 8 on esitetty Shenoy & Rosasin (2018) esimerkki laskelmat kokonaiskustannuksille ( $C_n$ ). Laskennassa on käytetty parametreina:

- Pitokustannukset ( $C_h$ ) on 50 000 dollaria vuodessa osaa kohti
- Puutekustannukset ( $C_s$ ) on 250 000 dollaria osaa kohti
- Täydennysajan keskiarvo (L) on 1 vuosi
- Kysynnän välinen aika (T) on 1 vuosi

Esimerkissä ei ole tiedossa tilauskustannuksia, joten laskelmissa huomioidaan vain pito- ja puutekustannukset. Pitokustannukset ovat prosenttiosuus osan hankintakustannuksesta, kuten kappaleessa 2.2 todettiin.

**Taulukko 8** Varaosien kokonaiskustannukset esimerkki (Shenoy & Rosas 2018, 257)

N	Pitokustannukset ( $C_h$ )	Puutekustannukset ( $C_s$ )	Kokonaiskustannukset ( $C_n$ )
0	\$ 0	\$ 250 000	\$ 250 000
1	\$ 25 000	\$ 125 000	\$ 150 000
2	\$ 60 000	\$ 50 000	\$ 110 000
3	\$ 103 125	\$ 15 625	\$ 118 750
4	\$ 150 769	\$ 3 846	\$ 154 615

Esitetyssä esimerkissä kokonaiskustannuksiltaan pienin skenaario on näin ollen pitää kaksi kappaletta varaosia varastossa.

## 2.7 Menetelmät varaston supistamiseksi

Ensimmäisen teoriaosuuden lopuksi käsitellään strategioita ja tapoja joilla yritys voi vähentää varastotasojaan ja vapauttaa varastoon sitoutunutta pääomaa. Kaavassa 7 esitetyssä varmuusvaraston laskentakaavassa kysynnän ja toimitusajan keskihajonta vaikuttaa tarvittavan varmuusvaraston määrään. Kysynnän keskihajontaa voidaan vähentää tarkemmilla kysyntäennusteilla ja tehokkaammalla tarvelaskennalla. Toimitusajan keskihajontaan yritys voi vaikuttaa vallitsevien toimittajiensa kautta. Varmuusvarastoa pidetään nimensä mukaisesti

varmuuden vuoksi, joten epävarmuuden vähentämisellä voidaan vaikuttaa tarvittavaan varmuusvarastoon. (Vrat 2014, 165-166)

Kaavassa 7 valitulla varmuuskertoimella (K) vaikutetaan myös suoraan varmuusvaraston määrään. Varmuuskerroin valitaan tavoitellun palvelutason mukaan. Palvelutasoa valittaessa päätösten tulisi olla perusteltuja ja välttää turhan korkeaa palvelutasoa. 99 prosenttinen palvelutaso ei ole tarkoituksenmukaista jokaiselle nimikkeelle, varsinkin kun varmuuskerroin kasvaa eksponentiaalisesti palvelutason noustessa. (Vrat 2014, 167)

Kolmas komponentti varmuusvaraston laskentakaavassa, johon yritys voi vaikuttaa, on keskimääräinen täydennysaika. Yritys voi kehittää toimittajasuhteita ja suosia lähellä olevia paikallisia toimijoita saadakseen lyhyempiä toimitusaikoja toimittajilta. Luotettavien toimittajien kanssa yritys voi antaa varastonsa toimittajan hallinnoitavaksi. Vendor Managed Inventory (VMI) jättää varaston hallinnan toimittajan vastuulle, jolloin toimittaja itsenäisesti huolehtii varaston täydennyksestä ja vastaa, että yrityksellä on sovitusti varastoitavia nimikkeitä saatavilla. Kuten aikaisemmin todettiin, täydennysaika sisältää toimitusajan lisäksi tilauksen tekemiseen ja vastaanottamiseen kuluvan ajan. Yritys voi esimerkiksi suoraviivaistaa hankintaprosessejaan, jolloin säästetään tilauksen tekemiseen kuluvaa aikaa. (Vrat 2014, 167-168)

Yritys voi myös vähentää varastoitavan nimikkeistön monimuotoisuutta standardisoimalla nimikkeittä, jotta yhtä nimikettä voidaan käyttää useammassa käyttökohteessa. Jo kahden nimikkeen yhdistämisellä yhdeksi voidaan saavuttaa 30 prosentin vähennys varastossa. Samaa periaatetta hyödyntäen yritys, jolla on useampia varastoja, voi yhdistämällä hitaasti liikkuvia nimikkeitä yhteen varastoon ja näin supistaa varastojensa kokonaismäärää. (Vrat 2014, 167-168)

### 3 NIMIKKEIDEN KATEGORISOINTI

Tässä kappaleessa käsitellään teoriaa liittyen varastoitavien nimikkeiden kategorisoimiseen. Ensin käsitellään yleisempiä tapoja analysoida ja kategorisoida nimikkeitä. Kappaleen loppuosa käsittelee tarkemmin nimikkeiden monikriteeristä kategorisointia erityisesti kunnossapidon näkökulmasta.

Monet varastot sisältävät tuhansittain varastoitavia varastonimikkeitä. Jokaisen nimikkeen ohjaaminen ja hallitseminen erikseen on työlästä ja usein käytännössä mahdotonta. Varastonimikkeitä ryhmitellään kategorioihin tehokkaampaa hallinnointia varten, jotta kategorisoituja nimikkeitä voidaan hallita yleisemmillä kategorioille soveltuvilla ohjausmenetelmillä. (Cohen & Ernst 1988)

Valikoivalla varastonhallinnalla (Selective Inventory Management, SIM) tarkoitetaan kyseistä menettelyä, jossa nimikkeitä kategorisoidaan tehokkaan varastonhallinnan tukemiseksi. Kategorisointi mahdollistaa johdon huomion ja panoksen keskittämisen tärkeimpiin nimikkeisiin. (Shenoy & Rosas 2018, 211)

#### 3.1 Yleisimmät kategorisointi menetelmät

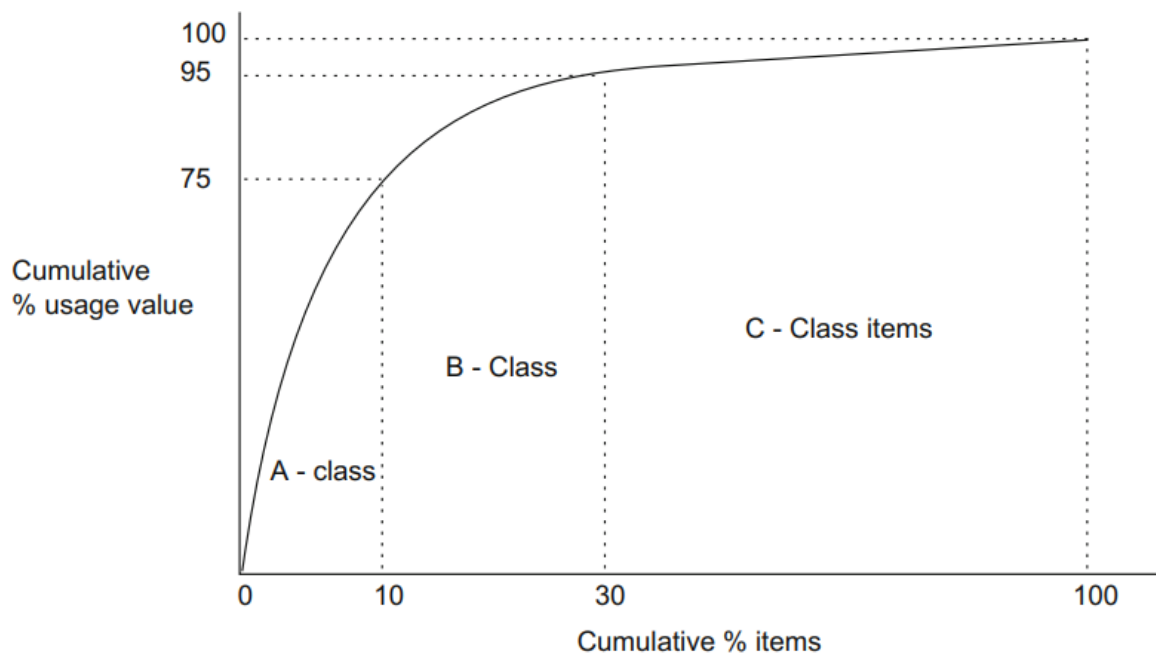
Yleisimmissä kategorisointi menetelmissä varastonimikkeet luokitellaan 3-4 kategoriaan analysoimalla nimikkeistöä yhden kriteerin, kuten vuotuisen menekin mukaan tai tuotteen kriittisyyden mukaan. Yleinen kategorisointi menetelmiä yhdistävä periaate on 80/20-sääntönäkin tunnettu Pareton periaate. Pareton periaatteen mukaan suuressa määrässä ominaisuudet jakautuvat epätasaisesti muodostaen pienen, mutta merkityksellisen ryhmän nimikkeitä, sekä suuren ryhmän merkityksettömiä nimikkeitä. Seuraavaksi tarkastellaan yleisempiä kirjallisuudessa esitettyjä kategorisointimenetelmiä. (Vrat 2014, 38)

##### 3.1.1 ABC-analyysi

ABC-analyysi on kenties tunnetuin varaston analysointi- ja kategorisointimenetelmä. ABC-analyysissa varastonimikkeet kategorisoidaan nimensä mukaisesti kolmeen Pareto periaatteen

mukaiseen A-, B- ja C-kategoriaan. Kategorisoinnin perusteena käytetään vuotuista rahallista volyyymiä, joka saadaan kertomalla nimikkeen hinta vuotuisella kulutuksella. (Vrat 2014, 40)

ABC-analyysia havainnollistaa Vrat (2014) esimerkillään kuvassa 12 esittämällä käyrän lasketusta kumulatiivisesta arvosta ja nimikkeiden määrästä. Esimerkissä A-kategoria muodostaa 10 prosenttia nimikkeiden lukumäärästä, mutta 75 prosenttia rahallisesta arvosta. B-kategoria muodostaa 20 prosentti nimikkeistä ja 20 prosenttia arvosta. C-kategoria muodostaa vain 5 prosenttia rahallisesta arvosta, mutta sisältää 70 prosenttia nimikkeistä.



**Kuva 12** ABC-analyysi (Vrat 2014, 41)

Keskittymällä A-kategorian nimikkeisiin pystytään pientä nimike määrää kontrolloimalla vaikuttamaan suureen osaan varastoon sitoutuneesta pääomasta. ABC-kategorioiden perusteella varastohallinnasta vastaavat henkilöt pystyvät keskittämään aikansa ja resurssinsa nimikkeisiin, joilla saadaan aikaan isoin vaikutus. (Shenoy & Rosas 2018, 213)

Taulukossa 9 on Shenoy ja Rosasin yhteenveto ABC-analyysin perusteella kategorisoitu varastohallinnan strategia.

**Taulukko 9** ABC-kategorisoinnin ohjaus-strategiat. (Shenoy & Rosas 2018, 212)

Kategoria	Määrä	Arvo	Ohjauskontrolli
A-kategoria	20 % nimikkeistä	80 % varaston arvosta	Tiukka
B-kategoria	30 % nimikkeistä	15 % varaston arvosta	Kohtalainen
C-kategoria	50 % nimikkeistä	5 % varaston arvosta	Yksinkertainen

A-kategoria muodostaessa suurimman osan varastonarvosta, joten kyseisen kategorian nimikkeitä tulisi kontrolloida tiukimmin ja suurimmilla panostuksilla. B-kategorian nimikkeet eivät muodosta läheskään yhtä suurta osaa varastonarvosta, joten kohtuullisen yksinkertaiset ja vaivattomat ohjausmenetelmät ovat riittäviä. C-kategorian nimikkeiden taloudellinen vaikutus on pieni, joten tarkan kontrollin pitäminen ei ole tarkoituksenmukaista. Yksinkertaisimmat ja vaivattomat "peukalo säännöt" ovat yleensä riittävä kontrollin taso. (Vrat 2014, 41-42)

ABC-analyysi on helppokäyttöinen kategorisointi menetelmä, mutta sen heikkouksena on sen yksipuolisuus. ABC-analyysi olettaa nimikkeiden olevan kohtuullisen samanlaisia ja eroavan toisistaan vain hinnan ja kysynnän volyymin mukaan. (Çelebi ym. 2008)

### 3.1.2 VED-analyysi

VED-analyysissä nimikkeet kategorisoidaan ABC-analyysin mukaisesti kolmeen kategoriaan, mutta kategorisoinnin kriteerinä on nimikkeiden kriittisyys. VED-analyysin kolme kategoriaa ovat: Vital, Essential ja Desirable. Vital-kategorian nimikkeet ovat kriittisimpiä nimikkeitä, joita on pakko pitää varastossa. Vital, eli V-kategorian, nimikkeiden puutoksista aiheutuu vakavia vaikutuksia yrityksen toiminnoille, kuten tuotannon pysäytyksiä tai turvallisuusriskejä. Essential, eli E-kategorian, nimikkeet ovat sellaisia, jotka ovat kohtuullisen kriittisiä, mutta eivät aiheuta yhtä isoa riskiä yrityksen toiminnalle, kun V-kategorian. Desirable, eli D-kategorian, nimikkeet ovat nimikkeitä, joita olisi hyvä olla saatavilla, mutta edelleen riskit yrityksen toiminnalle ovat V- ja E-kategorian nimikkeitä pienemmät. (Shenoy & Rosas 2018, 219-220)

Shenoy ja Rosas (2018) esittää kategorisoinnin perusteeksi pisteytys järjestelmää toimitusajan, toimittajan sijainnin, kustomointi asteen ja puutteen vaikutusten vakavuuden perusteella. Pisteytys perusteet on esitetty taulukossa 10.

**Taulukko 10** VED-kategorisoinnin riskitekijät. (Shenoy & Rosas 2018, 220)

Riski tekijä	Korkea (3 pts)	Keskiverto (2 pts)	Matala (1pts)
Toimitusaika	Yli 5 viikkoa	1-5 viikkoa	Alle 1 viikkoa
Toimittajan sijainti	Kansainvälinen	Kotimainen	Paikallinen
Kustomointiaste	Korkea kustomointiaste	Matala kustomointiaste	Standardisoitu nimike
Puute vaikutukset	Mittavat tuotannon menetykset	Kohtuulliset tuotannon menetykset	Pienet tai ei ollenkaan tuotannon menetyksiä

Taulukossa 11 Shenoy ja Rosas esittävät pisterajat kategorisointia varten.

**Taulukko 11** VED-kategorisoinnin pisteyttäminen. (Shenoy & Rosas 2018, 220)

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

VED-analyysin perusteella voidaan tehdä päätöksiä nimikkeiden tavoitellusta palvelutasosta, mitkä vaikuttavat varmuusvarastoihin ja ohjausmenetelmiin. (Vrat 2014, 43)

### 3.1.3 FSN-analyysi

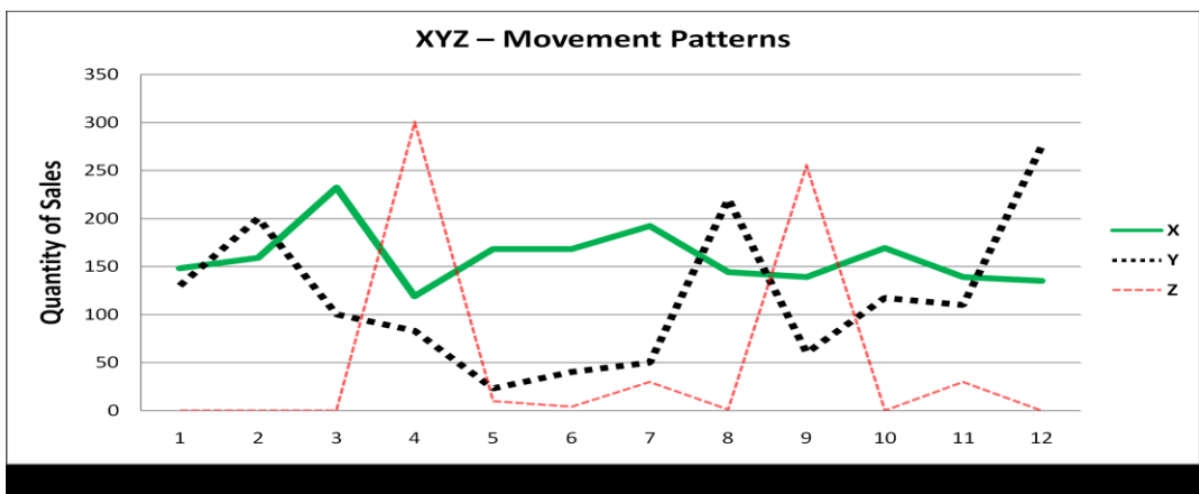
FSN-analyysissa nimikkeet kategorisoidaan kolmeen kategoriaan nimikkeiden kysynnän frekvenssin mukaan (Vrat 2014, 44). Kategorioiden nimitys tulee englannin kielisistä käännöksistä:

- F - Fast-moving
- S - Slow-moving
- N - Non-moving

F-kategorian nimikkeitä tarvitaan kuvauksensa mukaisesti usein ja ne kiertävät nopeasti. S-kategorian nimikkeitä tarvitaan satunnaisesti ja ovat yleensä harvoin tarvittavia varaosia tai projektien toteutuksessa käytettäviä nimikkeitä. N-kategorian nimikkeitä ovat nimikkeet, joita ei ole liikkunut varastosta pitkään aikaan. F-kategorian nimikkeille toimivat yleisesti varastonohjaus teoriassa käytetyt menetelmät, mutta S-nimikkeille vaaditaan erilaista lähestymistä. N-kategorian nimikkeiden hallinnassa kysymys ei ole niinkään tilauspisteistä ja -määristä, vaan tarpeettomien nimikkeiden poistamisesta ja turhasta varastosta eroon hankkiutumisesta. (Vrat 2014, 44-45)

### 3.1.4 XYZ-analyysi

XYZ-analyysissä nimikkeet kategorisoidaan kysynnän vaihtelun mukaan. X-kategorian tuotteilla on yhtenäinen kohtuullisen tasainen kysyntä ja Y-kategorian nimikkeillä on vaihteleva kysyntä. Z-kategorian nimikkeillä kysyntä on erittäin epätasaista ja hajanaista. Dhoka ja Choudary (2013) esittävät kuvassa 13 esimerkin tyypillisistä kysynnän vaihteluista X-, Y- ja Z-kategorioille



Kuva 13 X-, Y- ja Z-kategorioiden kysynnän vaihtelu (Dhoka & Choudary 2013)

Nimikkeiden kategorisointiin käytetään variaatiokerrointa (CV). Variaatiokerroin lasketaan kysynnän keskihajonnan ( $\sigma$ ) avulla, jota on käsitelty luvussa 2.4.1. Variaatiokerroin lasketaan jakamalla keskihajonta keskiarvolla ( $\mu$ ) kaavan 10 mukaisesti. (Holopainen & Pulkkinen 2002, 88)

**Kaava 10** Variaatiokerroin (Holopainen & Pulkkinen 2002, 88)

$$CV = \frac{\sigma}{\mu}$$

Bernd ym. (2011) ehdottavat artikkelissaan kategorisoimiseksi seuraavia variaatiokertoimia:

- X-kategoria variaatiokerroin  $<0,5$ .
- Y-kategoria variaatiokerroin  $>0,5$  ja  $<1$ .
- Z-kategoria variaatiokerroin  $>1$ .

Uusien varastonimikkeiden analysointi XYZ-analyysissä on haasteellista, koska niille ei ole aikaisempaa historiaa kysynnästä, jonka perusteella variaatiokertoimet lasketaan. Myös kausiluonteiset nimikkeet voivat saada XYZ-analyysissä, tarkastelujaksosta riippuen, kohtuuttoman suuren variaatiokertoimen. (Dhoka & Choudary 2013)

### 3.2 Monikriteerinen kategorisointi

Monissa varastonhallinnan tapauksissa pelkästään yksi kriteeri ei tuota tarpeeksi tarkkaa kategorisointia varastonohjaamisen päätöksentekoa varten. Tässä kappaleessa käsitellään esimerkkinä yksi tapa, jossa yhdistetään kaksi edellisessä kappaleessa esitettyä kategorisointi menetelmää.

Yleisesti käytetty metodi on yhdistää ABC- ja VED-analyysi. Kyseisellä kategorisointi menetelmällä yhdistetään ABC-analyysin taloudellinen ulottuvuus VED-analyysin nimikkeiden kriittisyys luokittelulla. VED-analyysi täydentää ABC-analyysin heikkouksia, sillä ABC-analyysissä C-kategoriaan luokiteltu nimike voi olla kriittinen V-kategorian nimike.



ABC-VED -kategorisoinnissa saadaan yhdeksän eri kategoriaa, joiden perusteella voidaan tehdä päätöksiä varastohallinnasta. (Vrat 2014, 43-44)

Taulukossa 12 on esitetty Vrat (2014) esimerkki ABC-VED -kategorisoinnin perusteella valituista palvelutasoista prosentteina, jotka lopulta vaikuttavat varastonimikkeiden varmuusvarastoihin.

**Taulukko 12** ABC-VED -kategorisoinnin tavoitellut varaston palvelutasot (Vrat 2014)

	<b>V</b>	<b>E</b>	<b>D</b>
<b>A</b>	97 %	85 %	60 %
<b>B</b>	99 %	90 %	70 %
<b>C</b>	99,99 %	95 %	90 %

Taulukon 5 esimerkissä AV-kategorian nimikkeet ovat kriittisiä ja arvokkaita rahallisesti. Ymmärrettävästi kyseisillä nimikkeillä tulisi olla korkea palveluaste. Taloudelliset rajoitteet voivat, kuitenkin tähän vaikuttaa. CV-kategorian nimikkeillä palveluaste on korkeampi juuri taloudellisista syistä. Tapaus jossa tuotanto seisoo halvan nimikkeen, esimerkiksi mutterin, vuoksi halutaan välttää, jonka vuoksi palveluaste on erittäin korkea 99,99 prosenttia. AD-kategorian tuotteille 60 prosentin palveluaste on riittävä, sillä nimikkeet ovat kalliita, mutta VED-kategorisoinnin osalta vähiten kriittisiä D-luokan nimikkeitä. Vratin esittämän esimerkin logiikkana onkin, että pääomaa sidotaan kriittisiin nimikkeisiin enemmän ja samalla pidetään korkeaa palveluastetta rahallisesti edullisissa nimikkeissä. (Vrat 2014, 44)

### 3.3 Varaosien kategorisointi kunnossapidon varastohjauksessa

Tässä kappaleessa käsitellään varastohallintaa tuotannon kunnossapidon näkökulmasta. Tuotannon käyttöaste ja toiminta on merkittävä tekijä monella teollisuuden alalla. Tästä johtuen tarvittavien varaosien varastojen hallinta on tärkeää, jotta tuotanto ja sen kunnossapito voi toimia tehokkaasti. Varaosien saatavuudella voi olla tähän merkittävä vaikutus, että tuotantolaitteet saadaan nopeasti toimimaan mahdollisissa vikatilanteissa. (Braglia ym. 2004)

Varaosat tuovat varastonohjaukseen erityisiä haasteita, koska puutekustannukset voivat olla merkittäviä, kysyntä on usein hyvin epäsäännöllistä ja vaikeasti ennustettavaa, sekä varaosien hankintahinta voi olla korkea. Kunnossapidon varaosien hallinnassa oleellimmat ohjaukseen vaikuttavat arvot ovat nimikkeen kriittisyys, spesifisyys, kysyntä ja rahallinen arvo. (Huiskonen 2001)

Varaosista puhuttaessa ensimmäisenä esille nousee osan kriittisyys. Kriittisyydellä voidaan tarkoittaa osan prosessi kriittisyyttä, eli miten iso vaikutus osalla on yhtiön toiminnalle osan tai laitteen rikkoutuessa. Osan kriittisyyteen voi vaikuttaa myös osan kontrolloimiseen ja ohjaamiseen vaikuttavat tekijät, kuten saatavuus toimittajilta, toimitusaika ja rikkoutumisen ennakoitavuus. Varastohallinnan kannalta tärkein tekijä on käytettävissä oleva aika kysyntään vastaamiseen. (Huiskonen 2001)

Spesifisyydellä tarkoitetaan osan kustomointiastetta. Yrityksessä varastoitavat osat muodostuvat yleensä käyttäjä spesifisistä, sekä standardiosista. Standardiosat ovat yleisesti käytettyjä useammalta toimittajalta saatavissa olevia osia. Standardiosia on saatavissa yleensä toimittajan varastoista. Käyttäjä spesifiset osat ovat kustomoituja, joita saattaa käyttää vain yksi tietty käyttäjä. Käyttäjä spesifien osien menekki on yleensä pientä ja niitä ei ole saatavilla suoraan toimittajan varastosta toimittajien ollessa haluttomia varastoimaan huonosti liikkuvia osia. (Huiskonen 2001)

Kysynnän osalta varaosien ohjaukseen vaikuttaa kysynnän määrä ja ennakoitavuus. Varaosien kysynnän volyyymi on usein hyvin pientä ja vaihtelevaa. Varaosille ominaista on myös usein korkea kriittisyys ja hankintahinta. Tämä tekee ohjauksesta haasteellista ja tarvittavista varmuusvarastoista suuria. Pienellä kysynnällä on myös vaikea houkutella toimittajia varastoimaan osia ja tarjoamaan palveluita, kuten pikaisia toimituksia tarpeen ilmetessä. Kysynnän ennakoitavuudella tarkoitetaan, miten osan rikkoutumiseen voidaan varautua. Osat voidaan yleensä jaotella satunnaisesti tapahtuviin rikkoutumisiin ja osiin, joiden kulumista ja siitä seuraavaa rikkoutumista on mahdollista ennakoida. Tämä kysynnän ennakoitavuus liittyy kappaleessa 2.6 käsiteltyihin hitaasti kiertävien nimikkeiden ohjaukseen. (Huiskonen 2001)

Osien arvo on yleinen varaston kontrollointi kriteeri. Korkean arvon osien varastoiminen ei ole houkuttelevaa kenellekään toimitusketjun osapuolille. Kuitenkin varastointi jää ainoaksi vaihtoehdoksi, jos osaa ei voida valmistaa tilauksesta riittävän nopeasti. Halpojen osien kohdalla ohjauksen haasteeksi tulee täydennysprosessin yksinkertaistaminen, jotta käsittelykustannukset eivät nouse liian korkeiksi osien arvoon nähden. (Huiskonen 2001)

Mikäli kaikkia edellä mainittuja kriteerejä sovelletaan nimikkeiden kategorisoinnissa, saadaan iso määrä eri kategorioita. Tämä ei kuitenkaan yleensä ole nimikkeiden hallinnan kannalta optimaalista, kun hallittavien kategorioiden määrä paisuu hallitsemattoman suureksi. Huiskonen (2001) esittää varaosien kategorisointia varaosien kriittisyyden, spesifisyyden ja rahallisen arvon perusteella. Taulukossa 13 esitetty on Huiskosen (2001) ehdottama kategorisointi ja eri kategorioille soveltuva varastointistrategia.

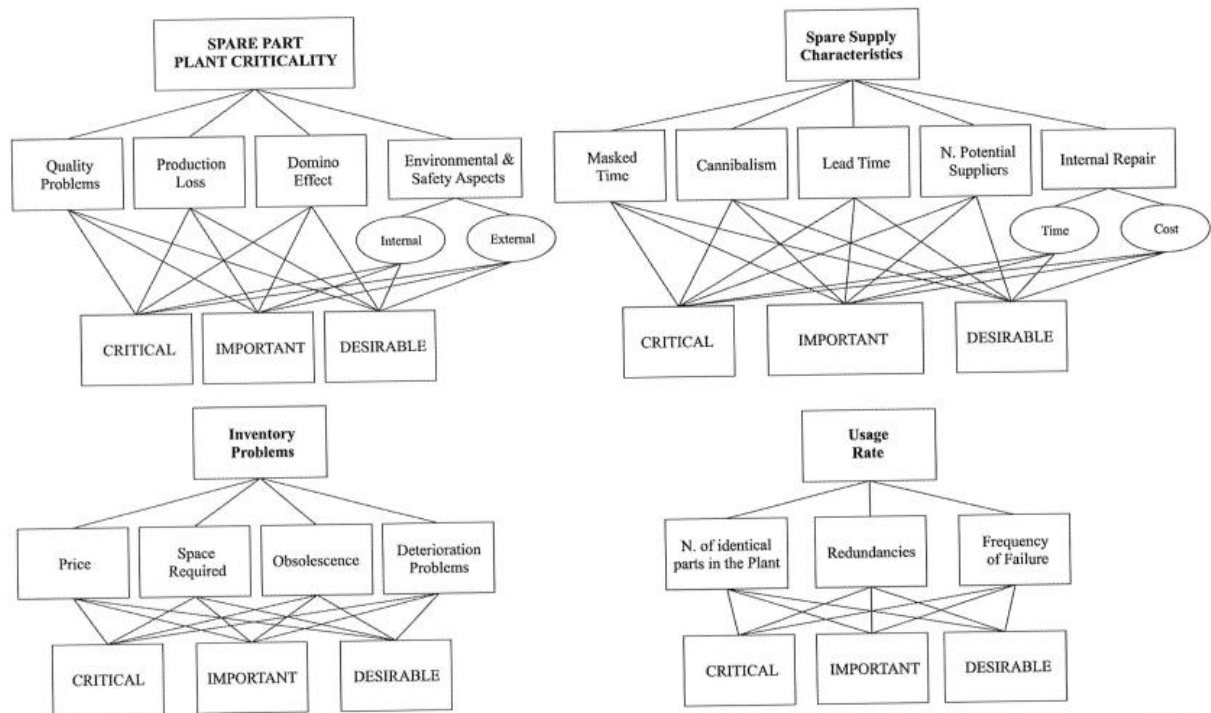
**Taulukko 13** Varaosien kategorisointi ja varastointistrategiat (Huiskonen 2001)

		Matala kriittisyys	Korkea kriittisyys
Standardiosat	Matala arvo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tehokas ja yksinkertainen täydennysprosessi</li> <li>• Varastonhallinnan ulkoistaminen toimittajalle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Käyttäjän varmuusvarastot ja isot täydennyserät</li> </ul>
	Korkea arvo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Varaston työntäminen toimittajalle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimoidut käyttäjän omat varmuusvarastot (korkealla ja tasaisella kysynnällä)</li> <li>• Toimittajan tarjoama pikatoimitus palvelu (matalalla ja epäsäännöllisellä kysynnällä)</li> <li>• Useamman loppukäyttäjän varastopooli (erittäin pienellä kysynnällä)</li> </ul>
Käyttäjä spesifiset osa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Käyttäjän oma varmuusvarasto, sekä kumppanuus paikallisen toimittajan kanssa toimitusaikojen lyhentämiseksi, toimittajan sitouttamiseksi ja prioriteetin saavuttamiseksi hätätapauksissa</li> <li>• Osien standardisointi pitkällä aikavälillä, mikäli mahdollista</li> </ul>		

Braglia ym. (2004) esittävät monikriteeristä päätöspuuanalyysia (MASTA, Multi attribute spare tree analysis) varaosien kategorisoinniseksi. MASTA-menetelmä perustuu luotettavuus keskeiseen kunnossapitoon (RCM) ja analyttiseen hierarkia prosessiin (AHP). RCM-analyysi on käytännöllinen ja järjestelmällinen metodi määrittää sopiva kunnossapitostrategia. RCM-analyysi ottaa huomioon usean aspektin, kuten turvallisuuden, kunnossapidon kustannukset, laadun ja tuotannon menetyksen arvon. (Braglia ym. 2004)

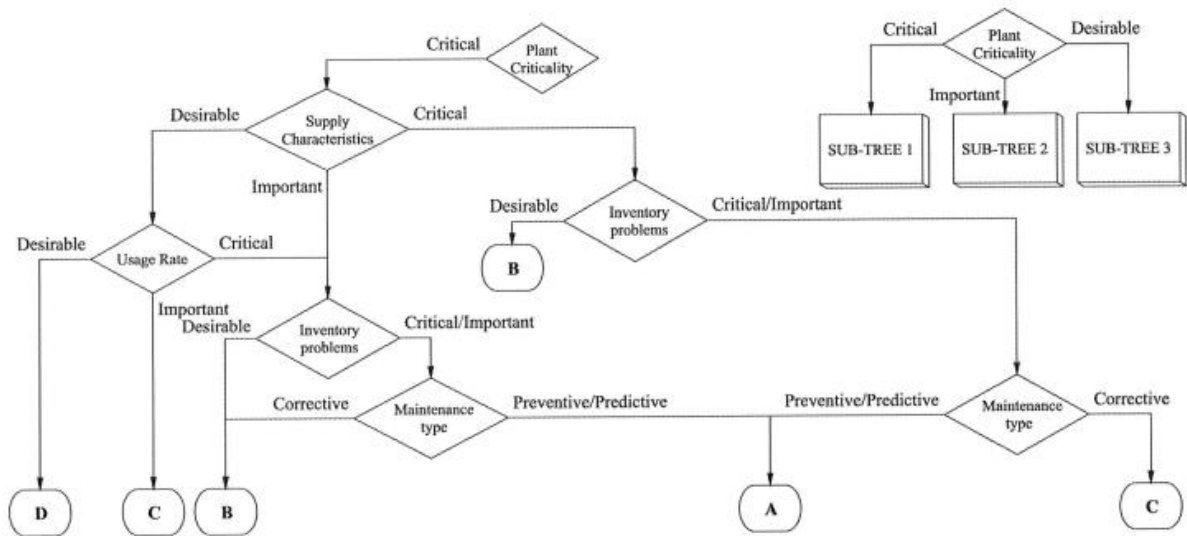
AHP on päätöksenteko työkalu, joka pilkkoo ongelman monitasoiseksi hierarkkiseksi päätöksentekopuuksi (Saaty 1990). Braglian ym. (2004) mallissa päätöksenteossa käytetään

kuvassa 14 esitetyjä kriteerejä ja alakriteerejä, jotka voivat olla kvantitatiivisia tai kvalitatiivisia kriteereitä, jakaa varaosanimikkeet kriittisiin (critical), tärkeisiin (important) ja toivottaviin (desireble) vaihtoehtoihin.



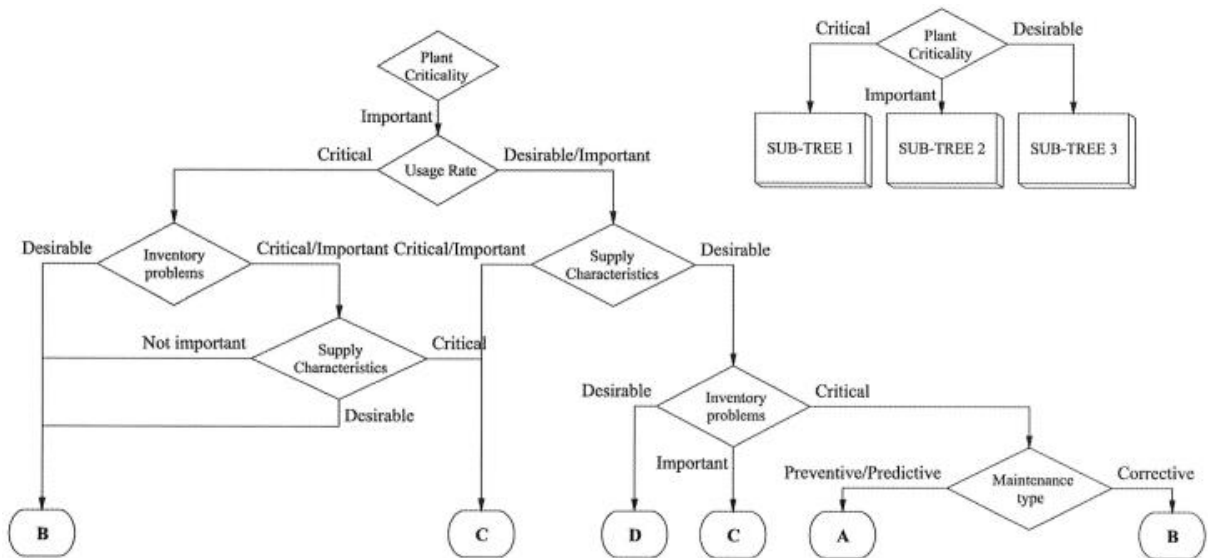
**Kuva 14** AHP mallin päätöskriteerit (Braglia ym. 2004)

Braglian (2004) mallissa varaosat jaotellaan neljään kategoriaan A, B, C ja D. Kuvassa 14 esitettyjen kriteerien lisäksi kunnossapidon tyyppiä käytetään muodostamaan päätöspuu, jonka perusteella kategorisointi tehdään. Kategorisointi aloitetaan varaosan kriittisyydellä ("Spare part plant criticality"), josta päätöspuu jaetaan kolmeen alapuuhun 1-3. Kuvassa 15 on alapuu 1 kriittisen luokan varaosille. (Braglia 2004)



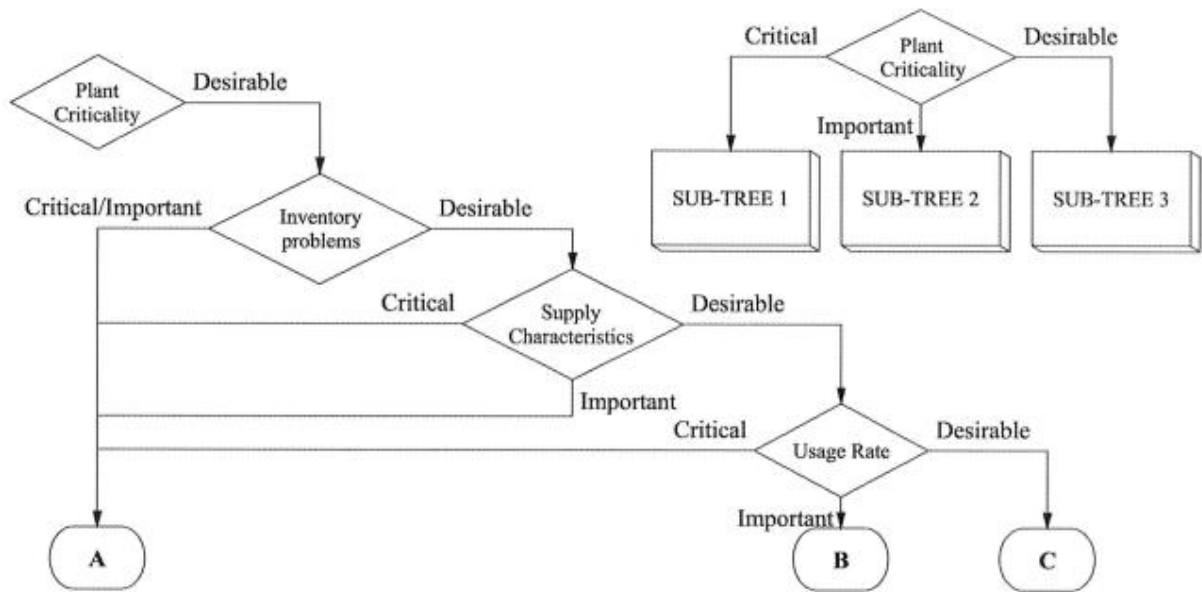
Kuva 15 Päättöpuu kriittisille (critical) varaosille (Braglia ym. 2004)

Kuvassa 16 on Braglian ym. (2004) päättöpuu tärkeän (important) luokan varaosille.



Kuva 16 Päättöpuu tärkeän (important) luokan varaosille

Kuvassa 17 on päättöpuu toivottavan (desirable) kriittisyysluokituksen saaneille varaosille.



**Kuva 17** Päättöpuu toivottavan (desirable) luokan varaosille (Braglia ym.. 2004)

Päättöpuun solmukohtien päätös tehdään alakriteerien perusteella. Alakriteereille annetaan raja-arvot, jotka jakavat tulokset kriittisiin, tärkeisiin ja toivottaviin päätösvaihtoehtoihin. Esimerkiksi ”Spare Supply Charectaristics” kriteerin alakriteerinä on toimitusaika, jonka perusteella voidaan jakaa varaosa kriittiseksi, jos toimitusaika on yli neljä kuukautta, tärkeäksi, jos toimitusaika on yhden ja neljän kuukauden välillä, tai toivottavaksi toimitusajan ollessa alle yksi kuukausi. Alakriteereiden painotusten perusteella varaosat jaotellaan erikriteerien osalta kriittiseksi, tärkeäksi tai toivottavaksi. Tämän perusteella varaosat kategorisoidaan A, B, C tai D kategoriaan noudattamalla päätöspuuta. Kyseisten kategorisointien perusteella eri varaosille voidaan valita sopiva varastointistrategia. Taulukossa 14 on Braglian ym. (2004) esittämät varastointistrategiat eri kategorioille. (Braglia ym. 2004)

**Taulukko 14** Varastointistrategiat varaosille MASTA esimerkissä (Braglia ym. 2004)

Varastointi strategia	Varaosa kategoria			
	A	B	C	D
Ei varastoa	X	X		
Yhden osan varastoiminen	X	X		
JIT-strategia		X	X	
Useamman osan varastoiminen				X

## 4 NIMIKKEIDEN KATEGORISOINTI KOHDEYRITYKSESSÄ

Tässä kappaleessa sovelletaan nimikkeiden kategorisoinnin teoriaa kohdeyrityksessä. Aluksi analysoidaan nykytilaa, miten nimikkeitä on hallittu ja kategorisoitu. Nykytilan analyysissa on käytetty yrityksen toiminnanohjausjärjestelmästä saatua dataa sekä haastateltu työntekijöitä. Toiminnanohjausjärjestelmästä saadaan yrityksen varastojen nykyarvo, jota käytetään nykytilan analysoimiseen. Toiminnanohjausjärjestelmästä saadaan myös historia dataa nimikkeiden kysynnän volyymin ja frekvenssistä, joka toimii lähtökohtana uuden kategorisointimallin luomiselle. Nimikkeiden kriittisyysluokittelusta ei saada tietoa toiminnanohjausjärjestelmästä, vaan tietoa on kerätty haastattelemalla.

Nykytilan kartoittamisen jälkeen työssä aikaisemmin esitettyä teoriaa sovelletaan kohdeyrityksen tapauksessa. Kappaleen tavoitteena on vastata ensimmäiseen tutkimuskysymykseen: Miten varastonimikkeitä tulisi kategorisoida varastonohjausta varten?

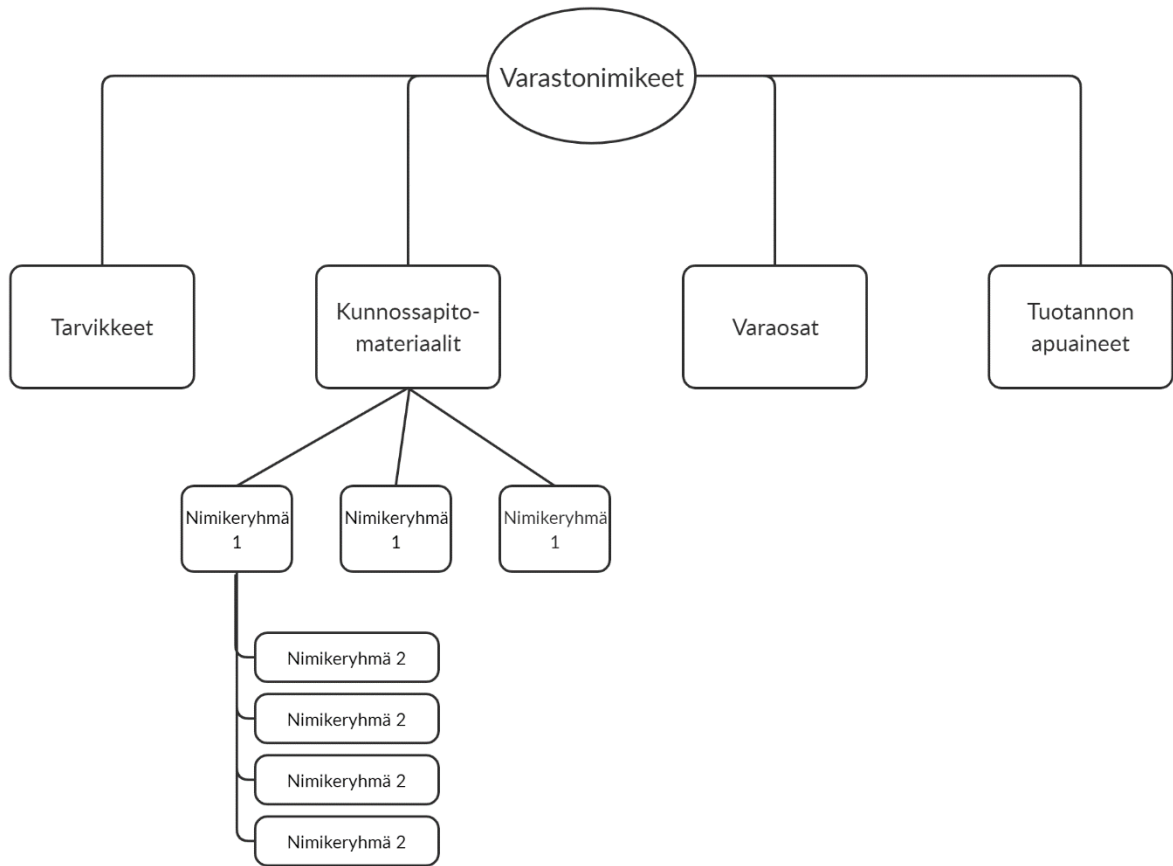
### 4.1 Nykytilan analysointi

Työssä käsitellään kahta yrityksen varastoa, jotka sijaitsevat tuotantolaitosten yhteydessä Suomessa. Varastoissa varastoidaan yhteensä 57951 erilaista nimikettä, joista 44657 nimikettä varastoidaan isommassa varastossa ja 17852 pienemmässä. 4558 nimikettä varastoidaan kummassakin varastossa. Varastoitavat nimikkeet on jaoteltu karkeasti neljään ryhmään, jotka ovat:

- Tarvikkeet
- Kunnossapitomateriaalit
- Varaosat
- Tuotannon apuaineet

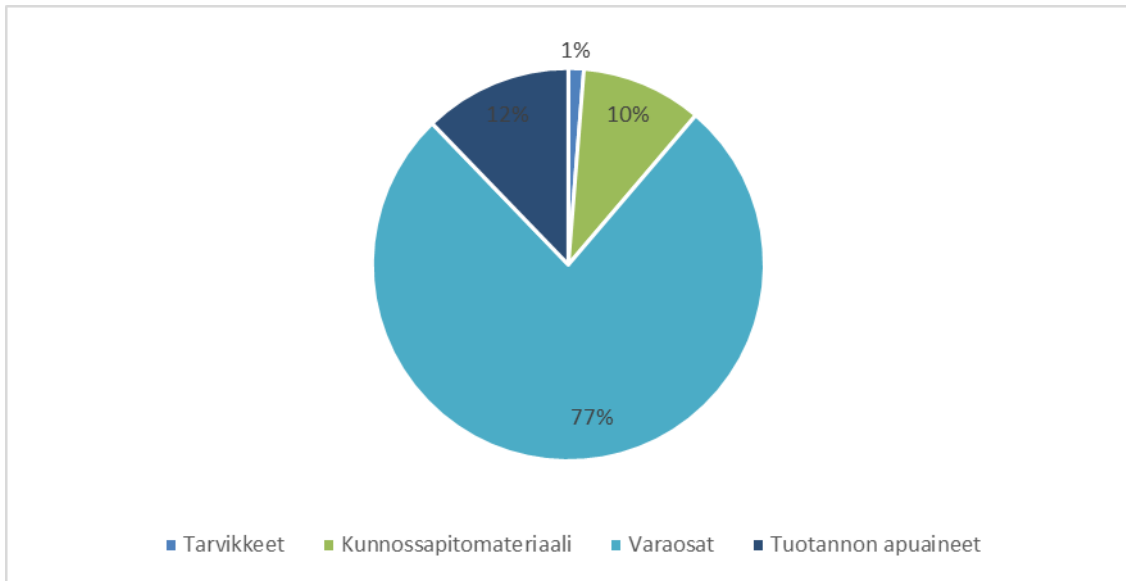
Nämä ryhmät on jaettu edelleen nimikeryhmiin (nimikeryhmä 1) ja alanimikeryhmiin (nimikeryhmä 2), nimikkeen tyyppin mukaan. Ylemmän tason nimikeryhmiä 1 on 55 kappaletta ja alemman tason nimikeryhmiä 2 on 542 kappaletta. Työssä keskitytään tarvikkeisiin, kunnossapitomateriaaleihin ja varaosiin. Tuotannon apuaineet ovat rajattu työstä ulkopuolelle. Kuvassa 18 on havainnollistettu yrityksen nimikkeistön kategorisoinnin hierarkiaa.





**Kuva 18** Varastonimikkeiden kategorisointi nimikeryhmiin

Varaosat muodostavat molemmissa varastoissa ison osan varastonimikkeiden määrästä, kuin myös varastonarvosta. Yhteensä yrityksen kunnossapidon kokonaisvarastoarvosta 77 prosenttia muodostuu varaosista. Kuvassa 19 on esitetty varastonarvon jakautuminen tarvikkeiden, kunnossapitomateriaalien, varaosien ja tuotannon apuaineiden kesken.



**Kuva 19** Varastonarvon jakautuminen

Varastonimikkeellä on merkintä, mikäli nimike kuuluu laitteen varaosalistaan. Kaikki varaosaksi merkityt nimikkeet eivät välttämättä ole kategorisoitu varaosien kategoriaan, sillä laitteen varaosalistoilla voi olla myös kunnossapitomateriaalia, mitä tarvitaan laitteen huoltamiseen.

Varaosille yrityksellä on menetelmä kategorisoida nimikkeet kolmeen kriittisyysluokkaan: kriittiset (K-luokka), tärkeät (T-luokka) ja normaalit (N-luokka). Kategorisointi tapahtuu puutteesta aiheutuvien tuotannonmenetysten, varaosan toimitusajan, hankinta-arvon, sekä laitteen kriittisyysindeksin mukaan. Jokaiselle kriteerille on annettu oma painoarvo, jonka perusteella osalle muodostuu kriittisyysindeksi asteikolla 0-800. Taulukossa 15 on esitetty kriittisyysindeksirajat, joilla nimikkeet kategorisoidaan K-, T- ja N-luokkiin.

**Taulukko 15** Varaosien kriittisyysluokittelu yrityksessä

Kriittisyysluokka	Kriittisyysindeksi
K	700-800
T	500-699
N	0-499

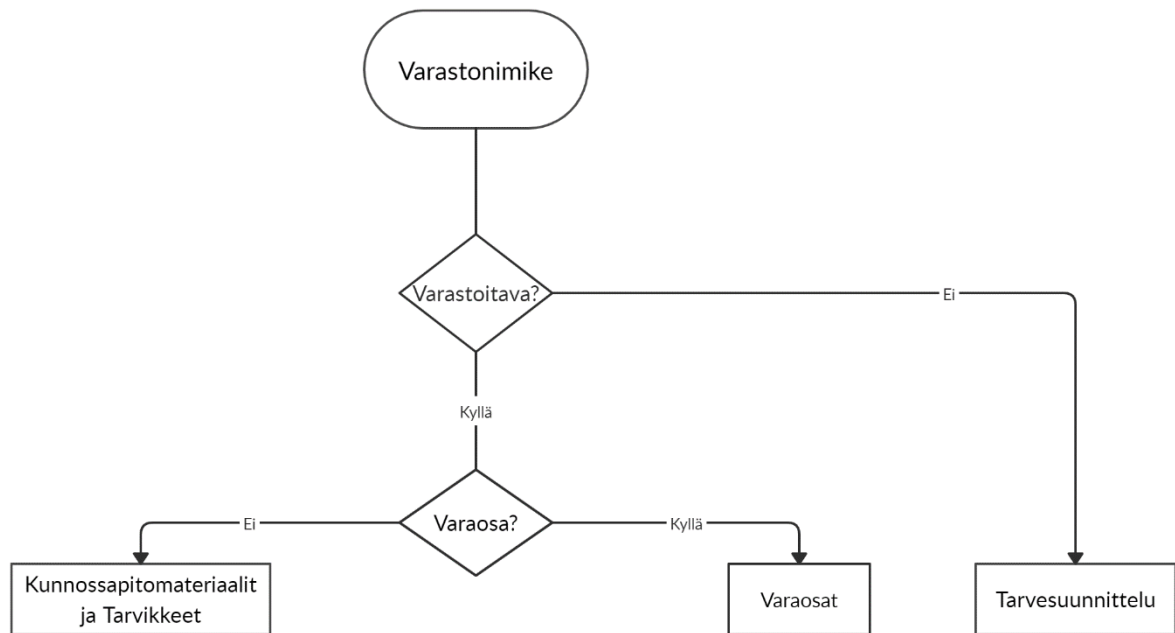
Varaosien kriittisyysluokittelu ei ole integroituna yrityksen järjestelmään, vaan niiden hallinta tapahtuu tällä hetkellä erillisten tiedostojen ja dokumenttien avulla. Yrityksen järjestelmässä on varastonimikkeillä mahdollisuus kategorisoida nimikkeet kiertonopeuden sekä ABC-analyysin mukaisesti, mutta näitä ominaisuuksia ei tällä hetkellä hyödynnetä.

## **4.2 Kategorisointimallin luonti teorian pohjalta**

Seuraavaksi esitetyn teorian pohjalta luodaan malli kategorisoida nimikkeitä tehokasta varastonohjausta varten. Malli auttaa päätöksenteossa löytämään nimikkeelle sopivin varastonohjausstrategia.

Vaikka yrityksellä on varaosalle tai materiaalille varastonimike, nimike ei välttämättä ole varastoitava. Yrityksen varastonimikkeistä yli 27000 nimikettä tilataan nykyisten varastonohjausparametrien mukaan vain tarpeen syntyessä. Varastoidaanko nimikettä ilman tiedossa olevaa tarvetta on varastonohjausta ajatellen yksinkertainen, mutta perustavanlaatuisen kriteeri. Näin ollen oikeaa varastonohjaustapaa ajatellen ensimmäinen tehtävä päätös on: varastoidaanko nimikettä vai ei?

Kuten nykytila-analyysissa todettiin, yrityksessä nimikkeet on jaoteltu kunnossapitomateriaaleihin, tarvikkeisiin ja varaosiin. Varaosien varastonohjaus sisältää omat haasteensa nimikkeiden kriittisyyden ja yleensä korkean hankintahinnan ohella. Edellisessä kappaleessa todettiin, että varaosat muodostavat suurimman osan varastonarvosta. Näin ollen nimikkeiden jako varaosiin sekä tarvikkeisiin ja materiaaleihin on perusteltua. Varastonimikkeet voidaan jakaa kolmeen ylätasoon kategoriaan tarkempaa analyysia varten, jota on havainnollistettu päätöspuun muodossa kuvassa 20.

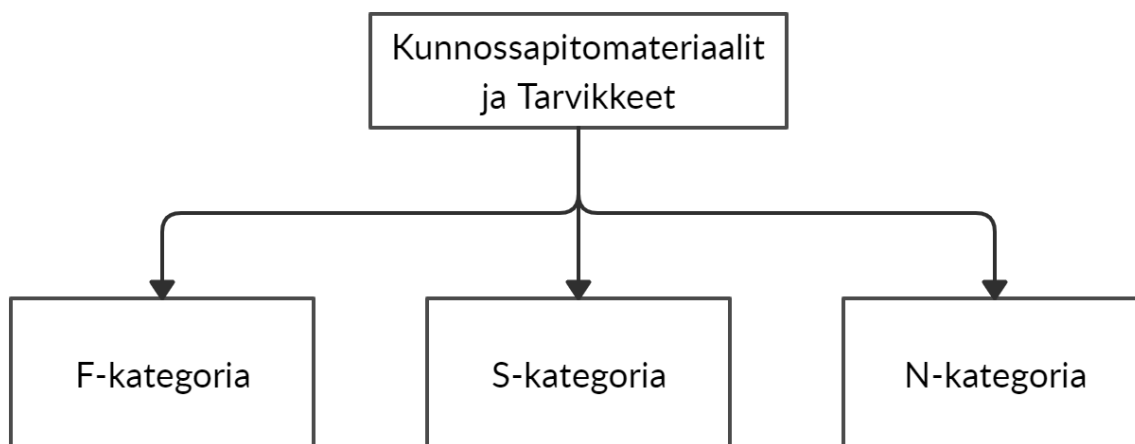


**Kuva 20** Varastonimikkeiden ylätasoinen kategorisointi

#### 4.2.1 Kunnossapitomateriaalit ja tarvikkeet

Kunnossapitomateriaalit ja tarvikkeet muodostavat karkeasti yhteensä 11 prosenttia yrityksen varaston arvosta, josta kunnossapitomateriaalit muodostavat selkeästi suurimman osan. Kunnossapitomateriaaleissa ja tarvikkeissa on 25 kappaletta erilaisia ylemmän tason nimikeryhmiä, jotka jakautuvat vielä useampiin alanimikeryhmiin.

Materiaalien ja tarvikkeiden kategorisoinniksi varastonohjausta varten valitaan FSN-analyysi. FSN-analyysillä pystytään kategorisoimaan nimikkeitä tarpeen frekvenssin mukaan. Tarpeiden ollessa kohtalaisen usein tapahtuvaa, niin nimikkeiden ohjaus onnistuu perinteisemmillä laskennallisilla metodeilla. Hitaasti kiertävien nimikkeiden ohjaus vaatii erilaista lähestymistapaa. Näin ollen varastonohjausta varten nimikkeiden kategorisointi kysynnän frekvenssin mukaan auttaa varastonohjausmenetelmän valinnassa. FSN-analyysi on myös yksinkertainen toteuttaa, sillä siinä nimikkeitä tarkastellaan vain yhden kriteerin perusteella. Yksikriteerinen kategorisointi ei ole liian monimutkaista ja aikaa vievää nimikkeille, jotka muodostavat kuitenkin vain 11 prosenttia varaston kokonaisarvosta. Kuvan 20 kategorisointia jatketaan kunnossapitomateriaalien ja tarvikkeiden osalta kuvan 21 mukaisesti.

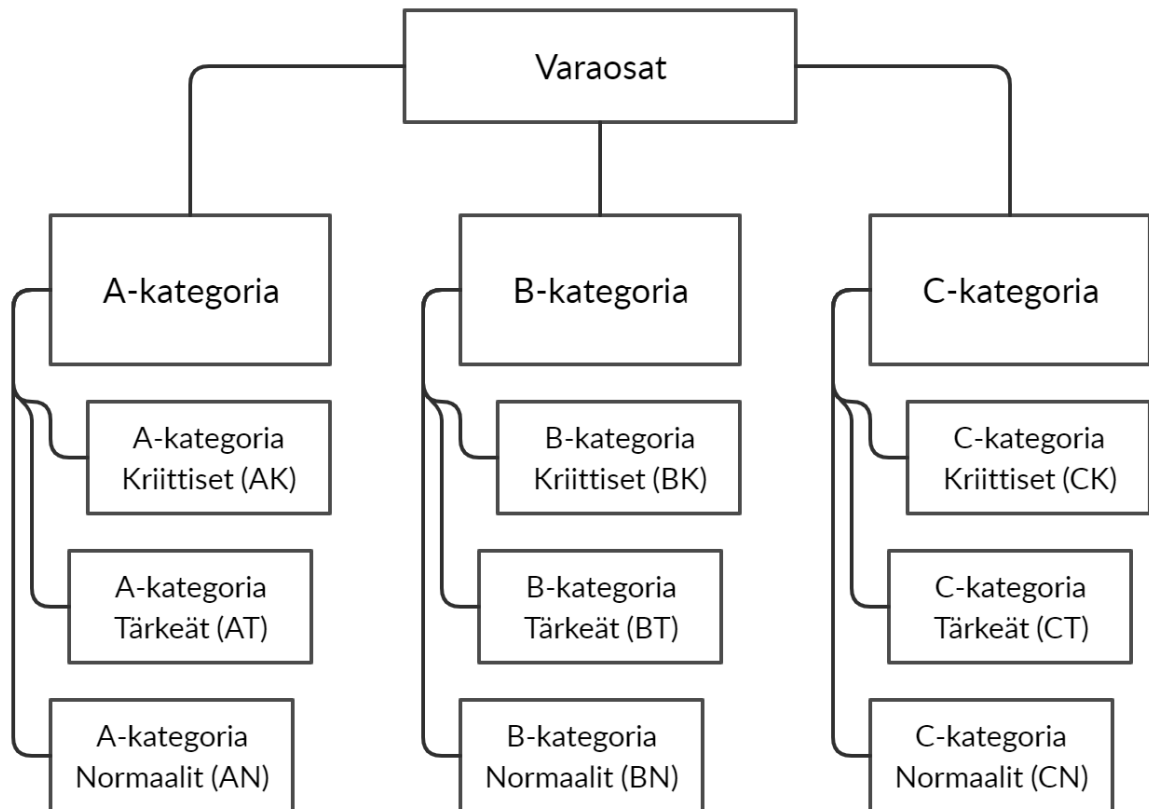


**Kuva 21** Kunnossapitomateriaalien ja tarvikkeiden kategorisointi

#### 4.2.2 Varaosat

Varaosat muodostavat ylivoimaisesti suurimman osuuden yrityksen varastoon sitoutuneesta pääomasta. Varaosien saatavuudella on myös vaikutusta tuotannonmenetyksiin, mikäli tuotantolaitteet rikkoutuvat. Kun varastonimikkeitä jaotellaan varastoitaviin ja tarvesuunnittelun mukaan tarvittaessa tilattaviin, tulee varaosien osalta ottaa huomioon kappaleessa 2.6 käsitelty varaosan varoitusaajan riittävyys. Varaosien varaston ohjaukseen on perusteltua panostaa aikaa ja vaivaa enemmän, kuin esimerkiksi aikaisemmin käsiteltyihin kunnossapitomateriaaleihin ja tarvikkeisiin, koska varaosilla on yleensä korkea rahallinen arvo ja iso merkitys yrityksen toiminnalle. Näin ollen monikriteerisen kategorisointimenetelmän käyttö on perusteltua varaosille.

Varaosien suuren varastoon sitoutuneen pääoman vuoksi osien rahallinen arvo ABC-analyysin muodossa soveltuu toiseksi kategorisointi kriteeriksi. Osien kriittisyys on toinen tärkeä kriteeri varaosille, joten kriittisyysluokittelu soveltuu toiseksi kriteeriksi. Näin ollen kappaleessa 3.2 esitetty ABC-VED – kategorisointi soveltuu käytettäväksi yrityksen varastonohjausta varten. ABC-VED – kategorisointi toteutetaan kategorisoimalla nimikkeet ABC-analyysin mukaisesti A-, B- ja C-kategoriaan. A-, B- ja C-kategorian nimikkeet kategorisoidaan kriittisyyden mukaan vielä kolmeen kategoriaan kuvan 22 mukaisesti. V-, E- ja D-kategorioiden sijasta käytetään yrityksen omaa kategorisointia Kriittiset, Tärkeät ja Normaalit. Näin saadaan yhteensä yhdeksän kategoriaa.



**Kuva 22** Varaosien kategorisointi

### 4.3 Mallin soveltaminen kohdeyrityksessä

Tässä kappaleessa edellisen kappaleen kategorisointimenetelmiä sovelletaan yrityksen esimerkki nimikeryhmissä.

#### 4.3.1 Kunnossapitomateriaalit ja tarvikkeet

FSN-analyysiin valitaan esimerkki nimikkeiksi AI nimikeryhmä 1 ja tarkasteltavaksi varastoksi toinen varastoista. Analyysissä käytetään tarkasteluajanjaksona kahta edellistä vuotta. Nimikeryhmä 1 AI sisältää 1443 nimikettä, jotka kategorisoidaan F-, S- ja N-kategorioihin seuraavin kriteerein:

- F-kategorian nimikkeitä on tarvittu 24 päivänä viimeisen kahden vuoden aikana eli keskimäärin kerran kuussa.

- S-kategorian nimikkeille on ollut kysyntää alle 24 kertaa, mutta vähintään kerran viimeisen kahden vuoden aikana.
- N-kategorian nimikkeillä ei ole ollut yhtään kysyntää viimeisen kahden vuoden aikana.

FSN-analyysin tulokset AI nimikeryhmälle on esitetty taulukossa 16.

**Taulukko 16** FSN-analyysin tulokset AI-nimikeryhmälle

	Nimikkeitä	Prosenttia
F-kategoria	94	7 %
S-kategoria	798	55 %
N-kategoria	551	38 %
Yhteensä	1443	100 %

F-kategoriaan valituilla kriteereillä saadaan seitsemän prosenttia nimikkeistä. Jopa 38 prosentilla nimikkeistä ei ole ollut yhtään kysyntää viimeisen kahden vuoden aikana, joten ne kategorisoidaan N-kategoriaan. Loput 55 prosenttia nimikkeistä kategorisoidaan S-kategoriaan.

#### 4.3.2 Varaosat

Kuvan 22 mukainen kategorisointi aloitetaan ABC-analyysillä, jossa kategorisoinnin perusteena käytetään vuotuista rahallista volyymiä (Vrat 2014, 40). Vuotuisen volyymin laskemisessa käytetään historiallista kysynnän keskiarvoa, joka kerrotaan nimikkeen hinnalla. ABC-analyysi tehdään jokaiselle nimikkeelle, joka on yrityksessä luokiteltu varaosanimikkeeksi. Analyysissä käytetään jälleen esimerkkinä toisen kunnossapitovaraston nimikkeitä. Taulukkoon 17 on koottu ABC-analyysin tulokset.

**Taulukko 17** Varaosien ABC-analyysi

Kategoria	Osuus rahallisesta volyymista, %	Nimikkeitä, kpl	Nimikkeitä, %
A	80 %	1095 kpl	9 %
B	15 %	2195 kpl	17 %
C	5 %	9288 kpl	74 %

Tuloksissa huomattavaa on, että vain 9 prosenttia nimikkeistä muodostaa 80 prosentin osuuden rahallisesta osuudesta. ABC-analyysissä tarkasteltiin nimikkeitä, joilla on ollut kulutusta viimeisen viiden vuoden aikana. Kyseisiä nimikkeitä on 12578 kappaletta. Yhteensä aktiivisia varaosanimikkeitä on 34874, joten monella nimikkeellä ei ole ollut kulutusta pitkään aikaan. Näitä nimikkeitä ei voida kategorisoida ABC-analyysillä, koska vuotuista kulutusta ei ole. Nämä nimikkeet, joilla ei ole ollut kulutusta, muodostaa kuitenkin 47,2 prosenttia yrityksen varaosiin sitoutuneesta pääomasta.

Tällä hetkellä kriittisyysluokittelu kriittisiin (K), tärkeisiin (T) ja normaaleihin (N) on tehty 2426 nimikkeelle, joista 1426 nimikkeellä on ollut kulutusta viime vuosien aikana ja näin saanut ABC-luokituksen aikaisemmin. Taulukossa 18 on yhdistetty ABC-analyysin ja kriittisyysluokittelun tulokset matriisina. Yhtään nimikettä ei tällä hetkellä ole luokiteltu kriittiseksi.

**Taulukko 18** ABC- KTN- matriisi

	Kriittiset	Tärkeät	Normaalit
A-kategoria	0	3	267
B-kategoria	0	5	462
C-kategoria	0	18	671

ABC-KTN- matriisin nimikkeistä 225 nimikkeellä on tilauspisteenä 0, joten niitä tilataan vain tarvittaessa. Taulukossa 19 on varastoitavat nimikkeet ABC-KTN – matriisissa.



**Taulukko 19** ABC- KTN- matriisi, ilman MRP-tarvelaskennalla ohjattavia nimikkeitä

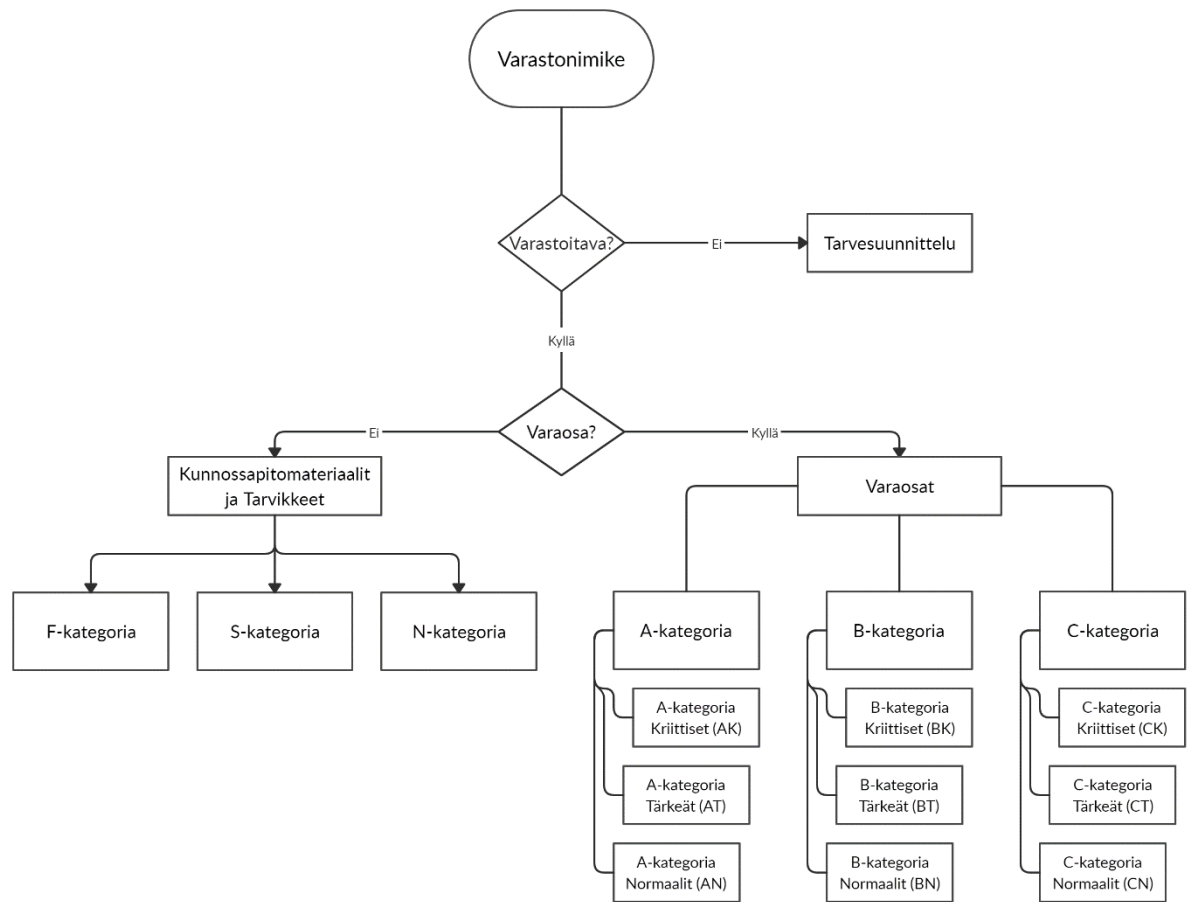
	Kriittiset	Tärkeät	Normaalit
A-kategoria	0	1	191
B-kategoria	0	3	397
C-kategoria	0	13	596

Taulukon 19 nimikkeiden ohjausta tarkastellaan kappaleessa 5.2.2.

#### 4.4 Yhteenveto

Varastonimikkeet jaotellaan yhteensä 12 varastoitavaan nimikekategoriaan. Mikäli varastonimikettä ei varastoida nimike kuuluu tarvesuunnittelun piiriin, jolloin nimikettä tilataan tarvittaessa varastoon. Varastoitavat nimikkeet jaetaan edelleen varaosiin ja muihin kunnossapitomateriaaleihin ja tarvikkeisiin. Varaosat muodostavat merkittävästi suuremman osan varastonarvosta, sekä ovat useimmiten kriittisempiä tuotannon jatkuvuuden kannalta. Näin ollen varaosien kategorisointiin on perusteltua kiinnittää enemmän huomiota, sekä käyttää enemmän aikaa ja vaivaa. Varaosat kategorisoidaan kahden kriteerin, rahallisen volyymin ja kriittisyyden, perusteella yhdeksään kategoriaan.

Kunnossapitomateriaalit ja tarvikkeet muodostavat 11 prosenttia yrityksen kokonaisvarastonarvosta, joten kyseisten nimikkeiden kategorisointi moneen kategoriaan usean kriteerin mukaa ei ole kokonaisuus huomioiden perusteltavissa. Kunnossapitomateriaalit ja tarvikkeet kategorisoidaan FSN-analyysillä kolmeen kategoriaan kysynnän frekvenssin mukaan. FSN-analyysin perusteella voidaan varastonohjauksessa huomio keskittää useimmin tarvittaviin materiaaleihin ja tarvikkeisiin. Nimikkeiden kategorisoinnin kokonaisuus on vedetty yhteen kuvassa 23.



**Kuva 23** Nimikkeiden kategorisoinnin yhteenveto

## 5 VARASTONOHJAUS KOHDEYRITYKSESSÄ

Tässä kappaleessa esitetään yritykselle uutta varastonohjausstrategiaa. Ensimmäiseksi tarkastellaan nykyistä varastonohjauksen tilaa yrityksessä. Seuraavaksi esitetään teorian pohjalta soveltuvaa varastonohjausmenetelmää edellisessä kappaleessa luoduille kategorioille. Lopuksi esimerkki nimikeryhmille sovelletaan esitettyä varastonohjausmenetelmää. Kappaleen tavoitteena on vastata toiseen tutkimuskysymykseen: Millä varastonohjaus menetelmillä kyseisiä kategorioita tulisi ohjata?

Yrityksen toiminnanohjausjärjestelmästä voidaan tarkastella nykyisiä varastonohjausparametrejä, joiden perusteella voidaan vertailla nykyisten ja ehdotettujen varastonohjausmenetelmien vaikutuksia yrityksen varastonarvoon. Historiadataa käytetään uusien parametrien luomiseen. Toiminnanohjausjärjestelmästä saadaan aikaisempia varasto-ottoja, joista saadaan tietoa varastonimikkeiden kysynnän käyttäytymisestä, kuten keskihajonnasta.

### 5.1 Varastonohjauksen nykytila

Yrityksessä varastoitavia nimikkeitä ohjataan tilauspisteiden ja kiinteiden tilauserien menetelmällä. Yritys on automatisoinut osan tilauksistaan, joten kyseisten nimikkeiden täydennys tapahtuu ilman nimikkeen ostajan vaikutusta. Automaattitilaukset toimivat kiinteän tilausvälin menetelmällä, kun tilausten lähetysajot on ajastettu tapahtuvan esimerkiksi kerran viikossa. Tilauspisteiden ja -erien määrittelyyn ei ole olemassa yhteistä toimintatapaa tai logiikkaa, vaan uusia nimikkeitä luotaessa tarvitsijat asettavat parametrit omien henkilökohtaisten arvioiden mukaan.

Tarpeet varastolle kertyvät kunnossapitotöiden suunnittelusta tai tarvitsijoiden tekemien varaston poimintalistojen kautta. Näiden perusteella järjestelmä laskee tulevat täydennystarpeet. Täydennystarve muodostuu, kun suunniteltu varastosaldo menee tilauspisteen alle. Mikäli tilauspiste on 10 kappaletta ja saldo samat 10 kappaletta järjestelmä ei vielä katso täydennyksen olevan ajankohtaista, vaan saldon on mentävä tilauspisteen alle. Osaa varastonimikkeistä ei varastoida, vaan niitä tilataan tarpeen mukaan. Varastonimikkeille

on määritelty ostonläpimenoaika, joka määrittää kuinka pitkälle tulevaisuuteen nimikkeiden tarvelaskenta suunnittelee. Kun täydennystarve tulee ostonläpimenoajan piiriin, järjestelmä antaa täydennysimpulssin.

Yrityksen järjestelmässä on varastonohjausta varten palveluaste, varmuusvarasto, tilauskustannukset yms. ominaisuudet, mutta niitä ei tällä hetkellä hyödynnetä. Varastonohjaus toimii siis ainoastaan tilauspisteen ja -määrän mukaan, joiden määrittelyyn ei ole selkeää menetelmää.

## 5.2 Varastonohjauksen soveltaminen

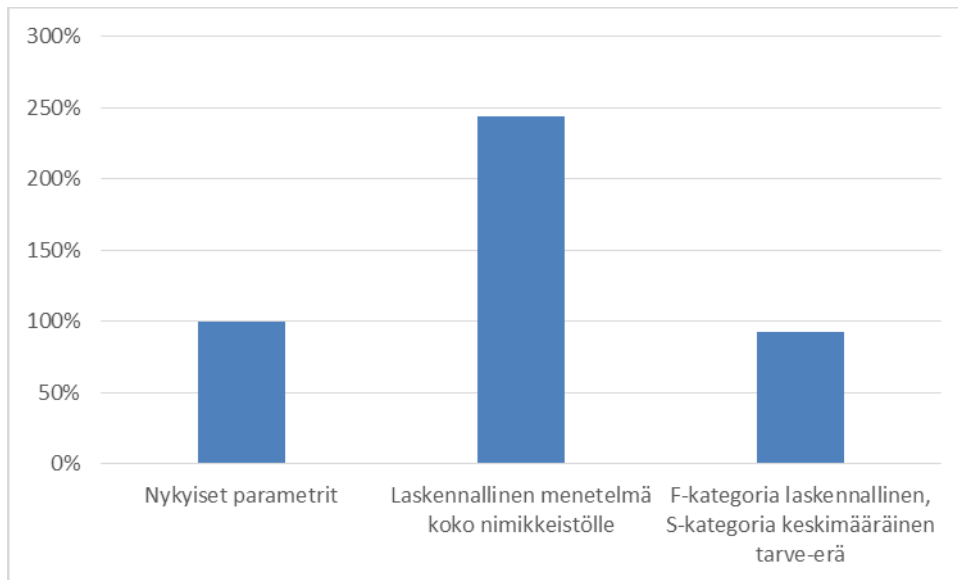
Seuraavaksi esitetään sovellettavat varastonohjausmenetelmät sekä sovelletaan kyseisiä menetelmiä esimerkki nimikeryhmille.

### 5.2.1 Kunnossapitomateriaalit ja tarvikkeet

Kappaleessa 4.2.1 kunnossapitomateriaalit ja tarvikkeet kategorisoitiin FSN-analyysin mukaisesti kolmeen kategoriaan. Nimikkeet kategorisoidaan näin ollen kolmeen kategoriaan nimikkeiden kysynnän frekvenssin mukaan (Vrat 2014, 44). Useammin tarvittavien F-kategorian nimikkeille soveltuu erilainen varastonohjausmenetelmä, kuin harvoin tarvittavien S-kategorian nimikkeille. F-kategorian nimikkeille voidaan soveltaa laskennallisia menetelmiä joiden avulla määritetään varmuusvarastot, tilausmäärät sekä tilauspisteet (Vrat 2014, 44). S- ja N-kategorian nimikkeet vaativat erilaista lähestymistapaa.

F-kategorian nimikkeille varmuusvarasto voidaan laskea kappaleessa 2.4 esitetyn kaavan 7 mukaisesti. Kyseisen nimikeryhmän nimikkeiden toimitusaika on kohtuullisen hyvin tiedossa, joten valitaan yksinkertaisempi kaava ja lasketaan varmuusvarasto ainoastaan kysynnänvaihtelu huomioiden. S-kategorian nimikkeille, joiden kysyntä on hajanaista, laskennallinen menetelmä nostaa varmuusvarastoja paljon, koska kysynnän keskihajonta on suurta. Nimikkeiden ollessa suhteellisen edullisia, niin varmuusvarastoksi keskimääräinen tarvittava eräkkö on yksinkertainen tapa määrittää kohtuullinen varmuusvarasto S-kategorian nimikkeille. Kuvassa 24 on esitetty varmuusvaraston arvojen vertailu nykyisten parametrien

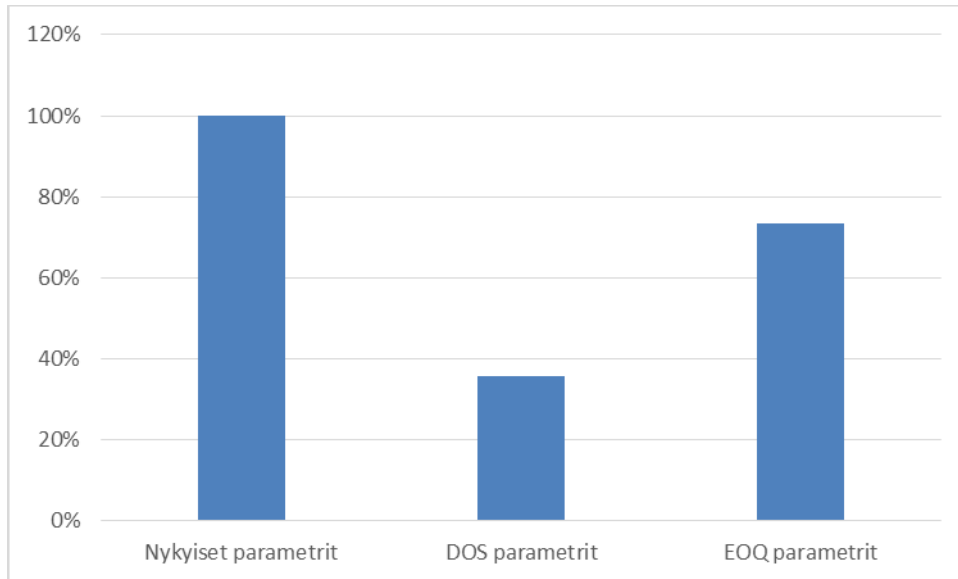
mukaisesti laskettuna, laskennallisen menetelmän mukaan laskettuna F- ja S-kategorioille, sekä F-kategorialle laskennallisella menetelmällä ja S-kategorialle keskimääräisen tarve-erän mukaisesti laskettuna. Palveluasteena on esimerkissä käytetty 95 prosenttia. N-kategorian nimikkeille ei pidetä varmuusvarastoa.



**Kuva 24** Varmuusvaraston arvojen vertailu eri laskenta menetelmillä

Kuten todettua, kaikille nimikkeille kaavan 7 mukaan laskemalla varmuusvaraston arvo nousee yli kaksinkertaiseksi, sillä S-kategorian nimikkeillä on iso keskihajonta. S-kategorian nimikkeillä on myös yrityksen järjestelmässä pitkä täydennysaika, kun toimitusajasta on epävarmaa tietoa. Määrittämällä varmuusvarasto hitaasti kiertäville S-kategorian nimikkeille keskimääräisen tarve-erän mukaan varmuusvaraston arvo laskee noin 7 prosenttia nykyisiin ohjausparametreihin verrattuna.

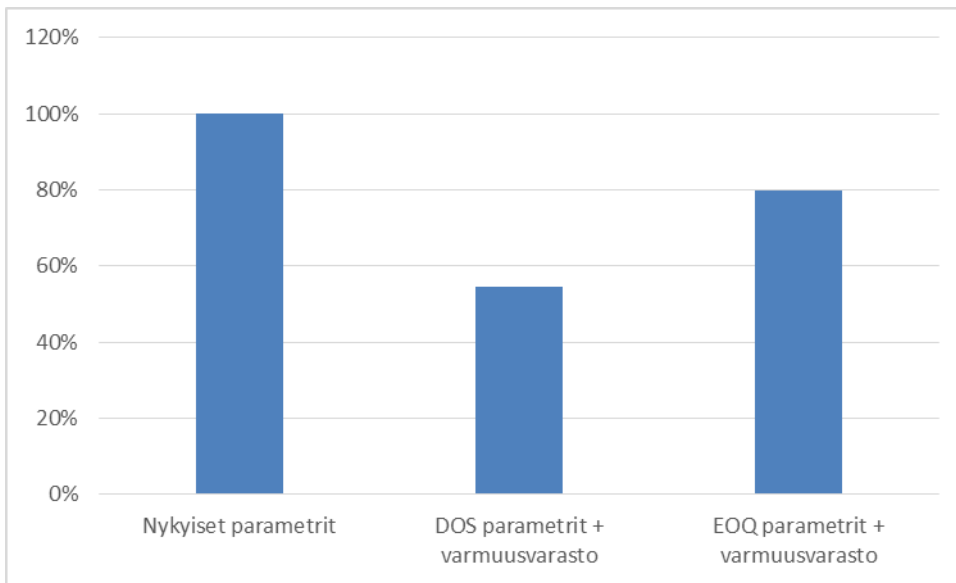
Kiinteä tilausmäärä voidaan määrittellä taloudellisen tilauserän (EOQ) kaavaa 5 hyödyntäen, mutta yrityksessä ei ole määritelty tilauskustannuksia eikä varastonpitokustannuksia. Näin ollen varaston riiton (DOS) perusteella laskettu tilausmäärä sopii yrityksen käyttöön. Vertailun vuoksi lasketaan taloudellisen tilauserän kaavalla tilausmäärät käyttämällä 30 prosentin varastonpitokustannusta ja 50 euron tilauskustannusta. Kuvassa 25 on kiertovaraston arvon vertailu nykyisten parametrien, taloudellisen tilauserä esimerkin, sekä 12 viikon varaston riiton mukaan laskettuna.



**Kuva 25** Kiertovaraston arvojen vertailu eri menetelmillä

Varaston 12 viikon riitolla kiertovaraston arvo laskee noin 64 prosenttia nykyisiin tilausmääriin verrattuna. EOQ menetelmillä kiertovarastonarvo ei vähene yhtä paljon, mutta menetelmän luotettavuus ei ole riittävällä tasolla arvioiduilla kustannuksilla. Kiertovarastonarvo pienenee suoraan verrannollisesti halutun varaston riittoajan mukaan, mutta liian pienellä riittoajalla tilausmäärät voivat laskea liian pieniksi tehden tilausten käsittelystä työlästä. N-kategorian nimikkeille ei muodostu kiertovarastoa, koska niitä ohjataan MRP tarvelaskennan mukaisesti.

Kokonaisvarastoarvon vertailuun valitaan varmuusvaraston muodostaminen S-kategorian keskimääräisen tarve-erän mukaan ja F-kategorialle varmuusvaraston kaavan mukaisesti, koska kokonaan laskennallisesti kaavan 7 mukaisesti varmuusvarastot nousevat erittäin korkeiksi. Kuvassa 26 vertaillaan varaston kokonaisarvoa nykyisiä parametreja sekä uusia parametreja käyttäen.



**Kuva 26** Kokonaisvarastonarvojen vertailu

Uusista menetelmistä varastonohjaus varaston riiton mukaan määritellyllä kiertovarastolla mahdollistaa noin 45 % laskun varaston kokonaisarvoon tarkastellulla nimikeryhmällä. Taulukossa 20 on yhteenvetona ehdotetut varastonohjaus menetelmät kunnossapitomateriaalit ja tarvikkeet kategorioille.

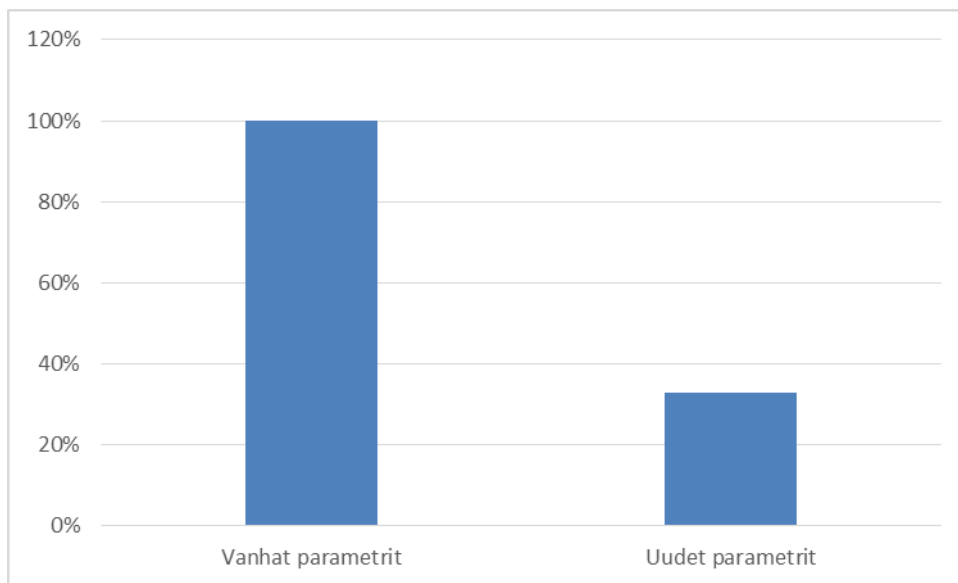
**Taulukko 20** Varastonohjaus menetelmät kunnossapitomateriaaleille ja tarvikkeille

Kategoria	F-kategoria	S-kategoria	N-kategoria
Varastonohjaus menetelmä	Varmuusvaraston määrittäminen laskennallisella menetelmällä kaavan 7 mukaisesti. Tilausmäärän määrittäminen halutun varaston riiton mukaan.	Varmuusvarastona pidetään keskimääräinen tarve-erä. Tilausmäärä määritellään halutun varaston riiton mukaan	MRP-tarvelaskenta

### 5.2.2 Varaosat

Kappaleessa 4.3.2 varaosanimikkeet kategorisoitiin kriittisyyden ja rahallisen volyymin mukaan yhdeksään eri kategoriaan. Taulukossa 9 Vrat (2014) esittää esimerkin ABC-VED -kategorisoinnin perusteella valituista palvelutasoista. Kyseistä taulukon 9 esimerkkiä käytetään varmuusvarastoparametrien luomiseen kappaleessa 4.3.2 luoduille kategorioille.

Varmuusvarasto lasketaan kaavan 7 mukaisesti, mutta käytetty palvelutaso vaihtelee taulukon 9 mukaisesti, jossa kriittisyyden noustessa palvelutaso nousee. Vastaavasti taloudellisen volyymin pienentyessä palvelutaso nousee. Kuvassa 27 on varmuusvarastoon sitoutuneen pääoman vertailu uusien parametrien sekä vanhojen varmuusvarasto määrien välillä.



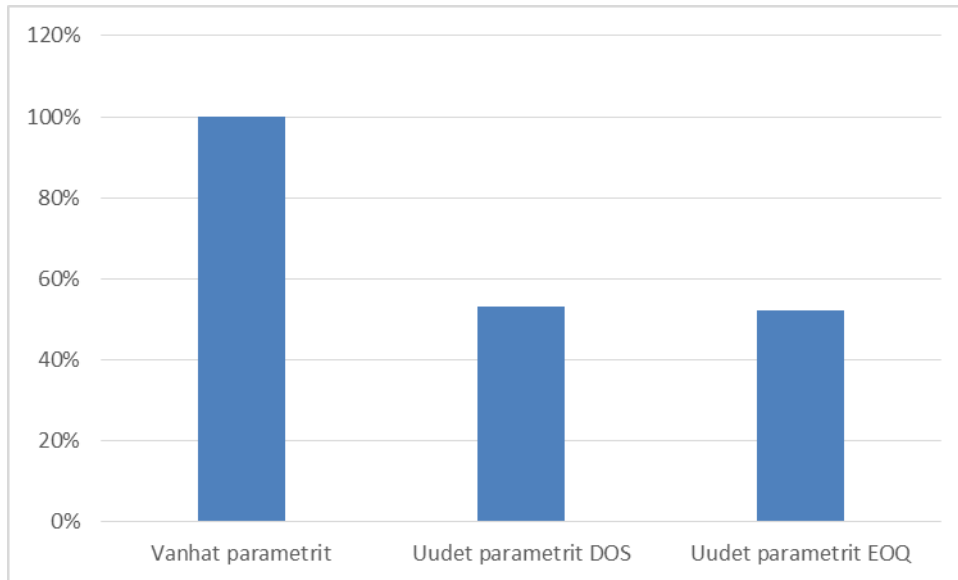
**Kuva 27** Varaosien varmuusvarastoon sitoutunut pääoma

Uusilla varmuusvaraston parametreilla on saavutettavissa merkittävä noin 67 prosentin lasku varaosien varmuusvarastoon sitoutuneessa pääomassa. Vaikka varaosille on ominaista suuri kysynnän keskihajonta, niin laskennallinen menetelmä ei nostanut varmuusvarastoon sitoutunutta pääomaa kuten kunnossapitomateriaalien ja tarvikkeiden kohdalla.

Kiertovarasto määritellään taloudellisen tilauserän (EOQ) kaavalla 5 käyttämällä edellisessä kappaleessa käytettyjä varastonpito- ja tilauskustannuksia sekä varaston riiton (DOS) mukaan.

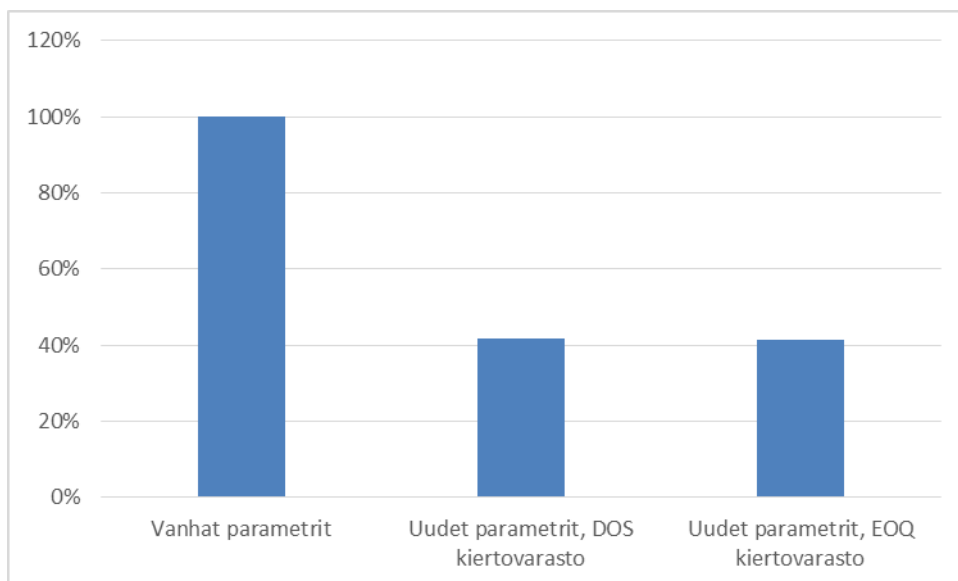


Kuvassa 28 on vertailtu tarkasteltavien varaosanimikkeiden varastoon sitoutunutta pääomaa vanhoihin parametreihin, jossa kiertovarasto on laskettu 12 viikon varaston keskimääräisen riiton sekä taloudellisen tilauserä malleilla.



**Kuva 28** Varaosien kiertovarastoon sitoutunut pääoma

Kiertovarastoissa ei muodostu suurta eroa uusien parametrien laskentamenetelmien välillä, mutta vanhoihin parametreihin verrattaessa saavutetaan 47–48 prosentin lasku varastoon sitoutuneessa pääomassa. Kuvassa 29 on esitetty vertailu kokonaisvarastoarvojen välillä.



**Kuva 29** Varaosiin sitoutuneen pääoman vertailu

Yhteensä tarkasteltavien nimikkeiden varastoon sitoutunutta pääomaa saadaan laskettua 58 prosenttia varaston riiton mukaan laskettuna. Tarkisteltavissa nimikkeissä ei ollut yhtään kriittisenluokan nimikettä. Kriittisille A-luokan nimikkeille olisi mahdollisesti hyödyllistä käyttää kappaleessa 2.6.3 esitettyä menetelmää määrittää taloudellisin varastonpitomäärä. Tämän menetelmän käyttö edellyttää tietoa puute- sekä varastonpitokustannuksista. Yrityksellä ei ole tälle hetkellä varastonpitokustannuksia määritelty, joten kyseisen menetelmän käyttö vaatii lisäselvityksiä.

Kappaleessa 2.6.3 esiteltyä menetelmään voidaan havainnollistaa esimerkkinimikkeellä, jonka hankintahinta on 105 000 €. Esimerkkinimikettä on yksi kappale kolmessa eri laitteessa, joten osien maksimimäärä on kolme kappaletta. Esimerkkilaskennassa käytetään 20 prosentin varastonpitokustannusta. Kahden tarpeen välisen ajan keskiarvo ( $t$ ) on 375 päivää ja täydennysajan keskiarvo ( $\bar{L}$ ) on 253 päivää. Puutekustannuksena esimerkissä pidetään 200 000 euroa. Kysynnän oletetaan noudattavan Poissonin jakaumaa. Tilauskustannusten on oletettu olevan tässä esimerkkitapauksessa pienet, joten ne on jätetty huomioimatta. Kaavan 12 mukaan voidaan laskea pito- ja puutekustannukset, jotka on esitetty taulukossa 21.

**Taulukko 21** Esimerkki varaosan varastointi- ja puutekustannuksen

Osien määrä	Varastointikustannus	Puutekustannus	Kustannukset yhteensä
0	0,00 €	194 926,57 €	194 926,57 €
1	12 529,07 €	78 628,97 €	91 158,05 €
2	29 505,63 €	23 390,95 €	52 896,57 €
3	49 175,73 €	5 132,74 €	54 308,47 €

Kyseisellä laskentatavalla edullisimmaksi skenaarioksi tulee varastoida 2 kappaletta. Mikäli puutekustannukset olisivat hieman korkeammat, kannattaisi varastoida maksimi kolme kappaletta osia. Kyseinen laskentatapa on aikaa vievää, joten suositeltavaan vain kriittisille korkean hankintahinnan nimikkeille.

### 5.2.3 Tarvesuunnittelu

Materiaalit ja osat, joiden tarve ei muodostu yllättäen tai ovat tarvittaessa saatavissa riittävän nopeasti toimittajilta, eivät vaadi varastointia yrityksen omassa varastossa. Kyseisten nimikkeiden tilaaminen voidaan suunnitella tarpeen mukaan MRP-tarvesuunnittelun mukaisesti. MRP-tarvesuunnittelussa yrityksen kannalta kriittistä on oikea data nimikkeiden täydennysajoista, jotta nimikkeet saapuvat ajoissa. Täydennysaikaan olisi järkevää lisätä varmuuskerrointa kuvan 11 mukaisesti, jotta nimikkeet saapuvat ajoissa täydennysajan muutoksista huolimatta.

Tarkastellaan esimerkkinä MRP-tarvesuunnittelulla ohjattavaa varaosanimikettä, jolla on järjestelmässä ostonläpimenoaika 80 päivää. Järjestelmässä on kyseisellä nimikkeellä tilaushistoriaa seitsemän ostotilauksen verran, joiden toteutuneet toimitusajat vaihtelevat 27 päivän ja 196 päivän välillä. Toteutuneista toimitusajoista voidaan laskea, että toimitusajan keskihajonta on 58 päivää. Käytetään varmuuskertoimen valintaan 95 prosentin palveluastetta, jolla saadaan liitteen 1 taulukosta varmuuskertoimeksi 1,64. Toimitusaikojen keskiarvo on 86 päivää ja uusimman tarjouksen mukaan kyseisten osien toimitusaika on 84-98 päivää. Toimitusajassa ei ole huomioitu tilauksen käsittelyyn kuluva aikaa, mutta keskiarvossa on mukana varaston vastaanottokäsittelyyn kuluva aika. Jos tilauksen käsittelyyn yrityksessä ja toimittajalla lasketaan aikaa 14 päivää, niin kokonaistäydennysajaksi saadaan 100 päivää. Käytetään esimerkkilaskennassa tätä 100 päivän täydennysaikaa. Kuvan 11 mukaista kaavaa 11 soveltamalla voidaan laskea tarvittava ostonläpimenoaika.

**Kaava 11** Ostonläpimenoajan määrittäminen (mukailtu Vrat 2014, 178)

$$\text{Ostonläpimenoaika} = \text{Toimitusaika} + \text{Varmuuskerroin} \times \text{keskihajonta}$$

Näin ollen tarvittavaksi ostonläpimenoajaksi saadaan:

$$100 \text{ pvä} + 1,64 \times 58 \text{ pvä} \approx 195 \text{ pvä}$$

195 päivää on huomattavasti pidempi kuin nykyinen 80 päivää. Laskennallista läpimenoaikaa nostaa yksi toteutunut 196 päivän täydennysaika. Jos kyseinen tapaus jätetään ulos keskihajonnan laskemisesta, keskihajonta laskee 35 päivään ja laskennallinen läpimenoaika 158 päivään. 158 päivää on joka tapauksessa huomattavasti pidempi kuin nykyinen 80 päivää. Täydennysaika, yrityksen tapauksessa ostonläpimenoaika, on kriittinen tieto, jotta MRP-laskentaa voidaan tehokkaasti hyödyntää ja täydennystilaus saapuu ajoissa. Näin ollen ostoläpimenoajan tulisi olla todenmukainen ja varmuuskertoimen käyttö on perusteltua, kun täydennysajat eivät ole täysin tiedossa.

### **5.3 Yhteenveto**

Edellä esitettiin varastonohjausmenetelmä jokaiselle kappaleen 4 nimikekategorialle. Ensimmäiseksi käsiteltiin kunnossapitomateriaalien ja tarvikkeiden F-, S- ja N-kategorioiden varastonohjausta. F- ja S-kategorioille saatiin korkea varmuusvarastonarvo, kun se määriteltiin laskennallisella menetelmällä. Tämä johtuu todennäköisesti S-kategorian suuresta kysynnän hajonnasta. Näin ollen ehdotettiin, että S-kategorian varmuusvarasto määritellään tarve-erän keskiarvon mukaan. Kiertovarasto määritellään varaston riiton mukaan puutteellisten varastonpito- ja tilauskustannus tietojen vuoksi.

Varaosanimikkeille varmuusvarasto määritellään laskennallisella menetelmällä, mutta haluttua palvelutasoa säädetään nimikkeiden arvon ja kriittisyyden mukaan eri kategorioille. Kiertovarasto määritellään jälleen varaston keskimääräisen riiton mukaan. Kriittisimmille ja arvokkaille AK-kategorian nimikkeille voidaan soveltaa kappaleessa 2.6.3 esitettyä menetelmää määrittää optimaalinen varastointimäärä, mikäli tarvittavat lähtötiedot saadaan määritettyä. Kyseinen menetelmä vaatii tietoa varastointi- ja puutekustannuksista ja laskenta on työlästä, jonka vuoksi tätä menetelmää ei suositella halvoille ja ei kriittisille nimikkeille.

## 6 TULOSTEN ARVIOINTI JA JATKOKEHITYS

Tässä kappaleessa vedetään yhteen työn tuloksia sekä arvioidaan miten ne vastaavat aluksi määritettyihin tutkimuskysymyksiin. Lopuksi esitetään jatkotutkimus- ja kehitysaiheita työn perusteella.

### 6.1 Tulosten arviointi

Ensimmäisenä tutkimuskysymyksenä työssä haluttiin selvittää, miten varastonimikkeitä tulisi kategorisoida varastonohjausta varten. Nykytilassa yritys kategorisoi nimikkeitä niiden käyttökohteen ja toiminnallisuuden mukaan tarvikkeisiin, kunnossapitomateriaaleihin, varaosiin ja tuotannonapuaineisiin. Tuotannonapuaineiden jäädessä työn tarkastelun ulkopuolelle voidaan keskittyä varaosien, sekä kunnossapitomateriaalien ja tarvikkeiden kategorisointiin. Varaston nykytilaa analysoitaessa varaosat erottuivat isoimpana osana varastonarvosta, joten varastonimikkeiden kategorisointiin on perusteltua käyttää eniten resursseja. Kunnossapitomateriaalit ja tarvikkeet voidaan kategorisoida yhden kriteerin perusteella, kun taas varaosat on perusteltua kategorisoida kahden kriteerin perusteella.

Kunnossapitomateriaalien ja tarvikkeiden kategorisoimisen perusteeksi ehdotetaan kysynnän frekvenssin mukaan tapahtuvaa FSN-analyysiä, jossa nimikkeet kategorisoidaan nopeasti (F), hitaasti (S) ja ei ollenkaan kiertäviin (N) nimikkeisiin. Kunnossapitomateriaalien ja tarvikkeiden vaikutus yrityksen kokonaisvarastonarvoon on pieni, joten ABC-analyysin mukainen kategorisointi rahallisen volyymin mukaan ei ole perusteltua. Kunnossapitomateriaalit ja tarvikkeet ovat yleensä hyvin saatavilla olevia standardituotteita, joten niiden kriittisyysluokittelu ei ole tarpeellista. Näin ollen kysynnän frekvenssi auttaa eniten varastonohjaustavan valinnassa, kun tunnistetaan, mitkä nimikkeet kiertävät varastossa ja joita tarvitaan useasti. Hitaasti kiertävien nimikkeiden kohdalla voidaan arvioida, miten tarpeellista niiden varastointi on ja erityisesti kiertämättömien nimikkeiden varastointia tulisi välttää.

Varaosat muodostavat ison osan varastonarvosta, joten ABC-kategorisointi rahallisen volyymin perusteella on perusteltavissa. A-kategorian nimikkeiden ohjauksella voidaan vaikuttaa merkittävästi kokonaisvarastonarvoon. Varaosissa merkittävä tekijä on niiden

kriittisyys (Huiskonen 2001). Yritys kategorisoi kriittisimpien laitteiden varaosia kolmeen kriittisyysluokkaan K, T ja N, joita voidaan hyödyntää toisena kategorisointi kriteerinä varaosille. Yrityksen varaosien kriittisyysluokittelu kostuu pienellä painolla myös osan hankinta-arvosta, joka on osittain päällekkäinen ominaisuus ABC-luokittelun kanssa. Monikriteerinen kategorisointi kuitenkin mahdollistaa paremmin erilaisen lähestymistavan varastonohjaukseen eriarvoisten ja kriittisyysluokkien nimikkeille, kuin yksikriteerinen kategorisointi indeksiluvun perusteella, joka sisältää hankinta-arvon. Esimerkiksi kriittisille nimikkeille soveltuu erilainen varastonohjausstrategia, jos nimike on hyvin arvokas tai hyvin edullinen.

Kuvassa 23 esitettiin nimikkeiden kategorisoinnin yhteenveto. Esitetyt kategorisointi menetelmät ja kategoriat toimivat pohjana, jolle voidaan soveltaa varastonohjaus strategiaa. Näin onnistutaan vastaamaan ensimmäiseen tutkimuskysymykseen: Miten varastonimikkeitä tulisi kategorisoida varastonohjausta varten? Toinen tutkimuskysymys, johon työssä pyrittiin vastaamaan, on: millä varastonohjaus menetelmillä kyseisiä kategorioita tulisi ohjata?

Nykytilanteessa yrityksellä ei ole yhtenäistä tapaa luoda varastonohjausparametreja vaan monet käyttäjät luovat niitä parhaalla katsomallaan tavalla omien arvioiden perusteella. Ensimmäisenä tarkasteltiin kunnossapitomateriaalien ja tarvikkeiden varastonohjausta. Kyseiset nimikkeet kategorisoitiin FSN-analyysin perusteella kolmeen kategoriaan, joille jokaiselle ehdotettiin parhaiten soveltuvaa varastonohjausmenetelmää kysyntähistorian tarkastelun perusteella. Varmuusvarastojen määrittäminen F-kategorian nopeasti kiertäville materiaaleille ja tarvikkeille voidaan laskea kaavan 7 mukaisesti kysyntähistorian perusteella. Hitaasti kiertävien S-kategorian nimikkeille laskennallisella menetelmällä saadaan korkeat varastotasot epäsäännöllisen kysynnän vuoksi. Varastoimalla vain keskimääräinen kysyntäerä varmuusvarastona, voidaan vastata keskimääräiseen satunnaisesti tapahtuvaan kysyntään pienemmällä varmuusvarastotasolla. Materiaalien ja tarvikkeiden ollessa vähemmän kriittisiä, kuin esimerkiksi varaosat, kyseinen palvelutaso voidaan olettaa riittäväksi. Tällä menetelmällä varmuusvarastoihin sitoutunut pääoma laskee noin 7 prosenttia. Toisaalta S-kategorian varmuusvaraston määrittäminen laskennallisella menetelmällä voi olla perusteltua, jos halutaan pitää varastonohjaus menetelmät yhtenäisenä. S-kategorian nimikkeille voitaisiin antaa pienempi palveluaste, jotta varmuusvaraston arvo ei nouse liian suureksi, mutta kategorian

nimikkeiden kysynnänvaihtelut tulee huomioitua varmuusvaraston määrässä. N-kategorian nimikkeiden, jotka eivät kierrä varastossa ollenkaan tai kiertävät hyvin hitaasti, varastointia tulisi välttää ja tilata vain tarvittaessa MRP-tarvelaskentaan perustuvan ohjauksen mukaisesti. Tilauserän määrittelyyn käytettiin keskimääräistä varaston riittoa (DOS). Kyseisellä menetelmällä kiertovaraston arvo laskee jopa 64 prosenttia. Kokonaisvarastonarvo laskee noin 45 prosenttia ehdotetulla varmuusvaraston laskentatavalla ja varaston riiton mukaan lasketulla kiertovarastolla. Taloudellisen (EOQ) tilauserän määrittämiselle yrityksessä ei ole tarvittavia tietoja selvitettyinä, mutta näiden selvittäminen olisi suositeltavaa, jotta voidaan tehdä parempia päätöksiä kiertovaraston hallinnassa tulevaisuudessa. Tämä olisi erityisen tärkeää kunnossapitomateriaaleille ja tarvikkeille, koska halpojen nimikkeiden liian pienet täydennyserät tekevät tilauskustannuksista merkittävän osan kokonaiskustannuksista.

Varaosat kategorisoitiin yhdeksään kategoriaan osan kriittisyysindeksin ja ABC-analyysin mukaisen rahallisen volyymin perusteella. Näille kategorioille sovellettiin Vratin (2014) logiikkaa laskennallisen varmuusvaraston palvelutason valitsemiseksi, joka on esitetty taulukossa 12. Kriittisyyden osalta palvelutaso kasvaa kriittisyyden mukana. Rahallisen volyymin kasvaessa tavoiteltua palvelutasoa toisaalta lasketaan. Näin ollen kalliit, mutta vähiten kriittiset AN-kategorian nimikkeet saavat pienimmän palvelutason, jolloin pääomaa ei sitoudu kalliisiin, mutta ei kriittisiin nimikkeisiin. Kriittiset, mutta pienen rahallisen volyymin, CK-kategorian nimikkeet saavat toisaalta suurimman palvelutason. Näin pyritään välttämään, että kunnossapito- ja tuotanto-operaatiot pysähtyisivät edullisen, mutta kriittisen osan takia. Kyseistä menetelmää noudattaen saavutetaan jopa 67 prosentin lasku varmuusvarastoihin sitoutuneessa pääomassa nykyisiin varastonohjausparametreihin verrattuna. Näin suuresta pudotuksesta voidaan päätellä, että nykyisissä parametreit ovat kenties perusteettoman korkeat. Kriittisimmille ja arvokkaille AK-kategorian nimikkeille optimaalisen varastointimäärän laskeminen kappaleessa 2.6.3 esitetyllä menetelmällä voidaan nähdä perusteltuna, mutta menetelmän hyödyntäminen edellyttää tietoa kyseisen nimikkeen varastonpito- sekä puutekustannuksista. Kyseisen laskennan hyödyntäminen on työlästä ja vaatii resursseja, joten tämän menetelmän hyödyntäminen muille kategorioille ei mielestäni ole perusteltua. Työssä onnistuttiin näin vastaamaan myös toiseen tutkimuskysymykseen, miten varastonimikekategorioita tulisi ohjata.

Työn ehdotukset perustuvat pääosin kysynnän historiadataan, jota työssä tutkittiin. Tietoa kysynnän volyymista ja frekvenssistä käytettiin kategorisoinnissa ABC- ja FSN-analyysin pohjana, sekä kysynnän keskihajonta on keskeinen varmuusvarastoa määriteltäessä. Uusilla nimikkeillä ei luonnollisesti ole tarvittavaa historiadataa, joten työ ei suoraan tarjoa vastausta varastonohjausarvojen luontiin varaston uusille nimikkeille. Varaosien kriittisyysluokittelu on toisaalta mahdollista ilman kysyntähistoriaa sekä tarvikkeiden ja kunnossapitomateriaalien keskimääräinen tai yleinen poimintaerä voidaan pystyä pääättelemään. Varaosien kriittisyysluokka sekä yksikköhintaa voidaan käyttää perusteena varmuusvaraston määrittelyyn, kunnes historiadataa on saatavilla tarkempien ohjausarvojen luomiseen. Myös tarvikkeiden ja kunnossapitomateriaalien keskimääräisen poimintaerän arvioiminen ja käyttäminen varmuusvarastona voi olla tarvikkeiden ja materiaalien osalta riittävä, kunnes historiadataa on käytettävissä. Näin arvioimalla nimikkeiden ohjausarvoja on luotu aikaisemminkin, mutta arvoja ei ole systemaattisesti päivitetty ja tarkasteltu myöhemmin.

## **6.2 Kehitysehdotukset**

Työssä esitettyjen menetelmien käyttöönottamiseksi ensimmäisenä tulisi olemassa olevaa kriittisyysluokittelua laajentaa. Tällä hetkellä kriittisyysluokitus on varsin suppealla osalla varaosien nimikkeistöä. Varaosien kriittisyysluokittelu on ehto työssä ehdotetulle ABC- ja kriittisyyskategorisointimatriisille ja tärkeä osa varaosien varastonohjausparametrien valinnalle. Kunnossapitomateriaaleille ja tarvikkeille FSN-analyysi voidaan suorittaa olemassa olevilla tiedoilla ja ehdotettuja varastonohjausmenetelmiä testata ensin pienemmällä nimikemäärällä.

Suosittelavaa olisi myös selvittää varastonpito- ja tilauskustannukset, jotta kiertovaraston määrittelyssä voidaan siirtyä varaston riittoon perustuvasta menetelmästä taloudellisen tilauserän malliin. Varaston riiton mukaan laskettuna tilausmäärät voivat jäädä liian pieniksi, joka ei ole kokonaisuuden kannalta taloudellisin vaihtoehto. Esimerkiksi liian pienet tilauserät edullisille nimikkeille nostavat tilauksen käsittelykulut suhteellisen isoiksi. Varastonarvon pientyminen pystytään esittämään myös selkeästi rahallisina säästöinä, kun myös varastonpitokustannus on tiedossa.



Menetelmien toimivuus yrityksen ympäristössä käytännössä voidaan todentaa aloittamalla ohjausparametrien uudistaminen valitsemalla testaukseen nimikeryhmä kunnossapitomateriaaleista ja tarvikkeista sekä varaosista. Vaikka menetelmien toimivuus on teoriassa todistettu, voidaan toimivuus todentaa käytännössä testaamalla toimivuutta ensin osalla nimikkeistä. Testauksen pohjalta tulisi luoda ohjeet ja toimintatavat yrityksessä nimikkeiden ohjauksesta vastaaville henkilöille. Yhtenäiset ohjeet ja toimintatavat ovat erityisen tärkeitä yritykselle, jossa nimikkeiden varastonohjausparametreista vastaa iso ryhmä työntekijöitä. Kehitysehdotukset ovat siis:

1. Kriittisyysluokitteluiden laajentaminen kategorisoinnin pohjaksi
2. Varastonpito- ja tilauskustannusten määrittäminen EOQ-tilauseriä varten
3. Menetelmien testaaminen testiin valitulla suppeammalla nimikekannalla
4. Ohjeistuksen tekeminen varastonimikkeiden ohjauksesta ja parametrien luonnista sekä päivittämisestä

Yleisenä viitekehyksenä yrityksen kunnossapidon varaston kehittämiseksi voidaan suositella Huiskosen (2001) esittämiä strategioita, jotka on esitetty taulukossa 13.

### **6.3 Jatkotutkimusaiheet**

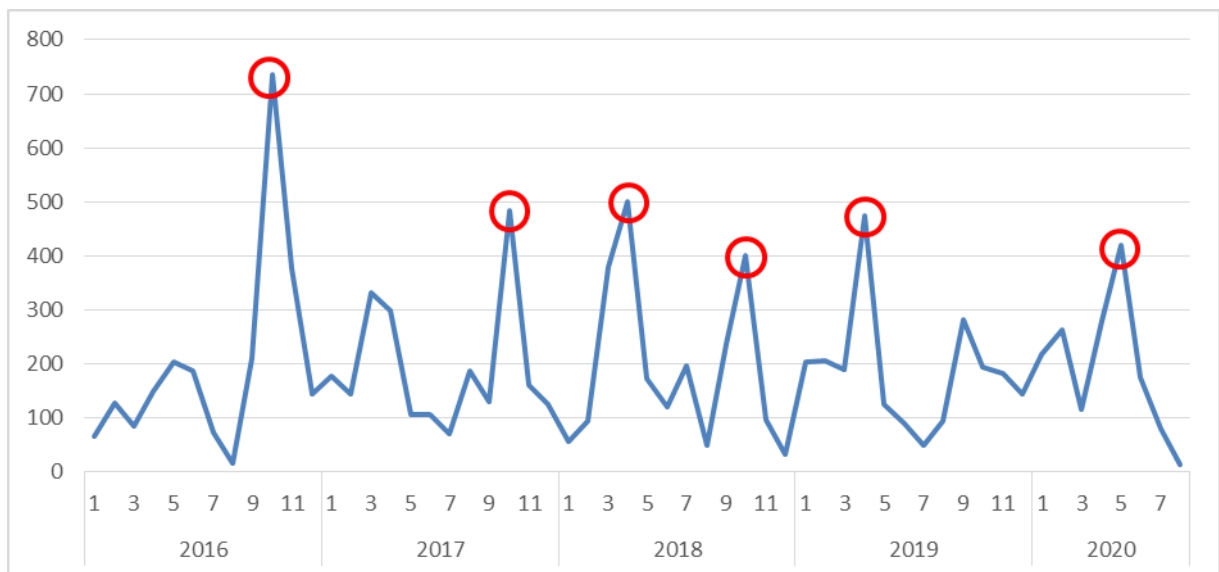
Kappaleessa 2.7 on esitetty strategioita, joilla yritys voi supistaa varastoon sitoutunutta pääomaansa. Näistä aiheista VMI-malli, paremmat kysyntäennusteet sekä nimikkeistön monimuotoisuuden karsiminen sopivat jatkotutkimusaiheiksi yrityksen varastonohjauksen kehittämiseksi ja varastoon sitoutuneen pääoman supistamiseksi.

VMI-mallissa toimittaja vastaa varastotasojen ylläpidosta ja hallinnasta yrityksen varastossa. VMI-malli vaatii tiedon kulkua yritykseltä toimittajalle tulevista tarpeista ja olemassa olevasta varastotasosta. Näin toimittaja voi suunnitella varastotäydennykset, jotta asiakasyrityksellä on tarvittavat materiaalit varastossa sovitusti. VMI-mallissa varasto voi toimia kaupintavarasto periaatteella, jolloin materiaalit ovat toimittajan omistuksessa ja omistus siirtyy asiakkaalle vasta, kun materiaalit otetaan varastosta. VMI-mallissa toimittaja voi suunnitella omaa tuotantoa tai varastotäydennyksiään tehokkaammin ja tasaisemmin ja asiakas hyötyy

paremmasta palvelutasosta ja omien varastointi- ja tilauskustannusten pienenemisestä. (Jespersen & Skjøtt-Larsen 2005, 94-95)

Kysyntäennusteilla yritys voi valmistautua muutoksiin kysynnässä ja saada tietoa tulevista tarpeista. Kyseinen ennusteista saatu tieto on erityisen tärkeää yrityksen toimittajille, jotta he osaavat varautua tulevaan kysyntään. Osalla nimikkeillä kysyntä voi olla trendin omaista, jossa kysyntä nousee tai laskee. Joidenkin nimikkeiden kysyntä on kausittaista, jossa tiettyinä aikoina kysyntä on korkeampaa ja tiettyinä aikoina vähäistä. Tämä tieto on arvokasta erityisesti toimittajille, jotka parhaansa mukaan haluavat varautua asiakkaittensa tulevaan kysyntään. (Thomopoulos 2015, 1, 41, 59)

Kysyntäennusteet ovat tärkeitä yritykselle varsinkin edellä mainitussa VMI-mallissa, jotta toimittajilla on mahdollisuus täyttää kysyntäpiikkien tarpeet. Kuvassa 30 on esitetty esimerkkinimikkeen kysynnän jakautuminen kuukausittain. Kuvaan on merkitty kuusi suurinta kysyntäpiikkiä. Kolme kuudesta kysyntäpiikistä osuu lokakuulle ja kaksi muuta huhtikuulle viimeisimmän osuessa toukokuulle. Tästä voidaan huomata kyseisen nimikkeen kysynnän olevan kausittaista. Kysynnän kausittaisuus johtuu yrityksen kunnossapitotöiden ajoituksella, jotka yleensä ovat keväisin ja syksyisin.



**Kuva 30** Esimerkkinimikkeen kysynnän muodostuminen kuukausittain

Kysyntäpiikit tunnistamalla ja niihin varautumalla voidaan vähentää kysynnän keskihajontaa ja näin vaikuttaa tarvittaviin varmuusvarastojen määrään normaalitilanteessa. Jos esimerkinimikkeen osalta kysyntäpiikit otetaan tarkastelusta pois, niin kuukausittainen kysynnän keskihajonta laskee 140 kappaleesta 93 kappaleeseen. Tutkittavan arvoista olisi, miten kysyntäennusteilla voidaan paremmin valmistautua tulevaan kysyntään ja näin vähentää yrityksen varastossa tarvittavan varmuusvaraston määrää.

Viimeisenä jatkotutkimusaiheena yritys voisi tutkia nimikkeistönsä monimuotoisuuden karsimisen mahdollisuuksia. Kuten kappaleessa 2.7 mainittiin, jo kahden nimikkeen yhdistämisellä yhdeksi voidaan saavuttaa 30 prosentin vähennys varastossa (Vrat 2014, 167). Yrityksen tapauksessa tämä voisi tarkoittaa esimerkiksi useamman materiaalivariaation korvaamista yhdellä, joka sopii useampaan käyttötarkoitukseen. Usein tämä todennäköisesti tarkoittaa parempaa ja samalla kalliimpaa materiaalia. Jos varastonpito- ja tilauskustannukset ovat tiedossa, voidaan vertailla korkeamman hankintahinnan ja varaston supistamisen säästöjen vaikutuksia ja näin mahdollisesti saavuttaa säästöjä kokonaiskustannuksissa.

## LÄHTEET

Arnold, J. R. T., Chapman, S. N. & Clive, L. M. 2014. Introduction to materials management. 7. painos. Harlow: Pearson Education Limited

Axsäter, S. 2015. Inventory Control. Sveitsi, Springer. [Viitattu 19.3.2020]. Saatavissa: <https://link-springer-com.ezproxy.cc.lut.fi/book/10.1007%2F978-3-319-15729-0>

Braglia, M. Grassi, A. Montanari, R. 2004. Multi-attribute classification method for spare parts inventory management. Journal of Quality in Maintenance Engineering. Vol. 10 nro. 1, s. 55-65. [Viitattu 17.3.2020]. Saatavissa: <https://search-proquest-com.ezproxy.cc.lut.fi/docview/215551021>

Çelebi, D. Bayraktar, D. Aykaç, D.S.Ö. 2008. Multi criteria classification for spare parts inventory. Paper Presented At The 38th Computer And Industrial Engineering Conference, Beijing, China, October 31-November 2, 2008 s. 1780-1787. [Viitattu 13.3.2020]. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1362575>

Cohen, M.A. & Ernst, R. 1987. Multi-item classification and generic inventory stock control policies. Production and Inventory Management Journal. Vol. 29 nro. 3, s. 6-8. [Viitattu 11.3.2020]. Saatavissa: <https://search-proquest-com.ezproxy.cc.lut.fi/docview/199938629/?pq-origsite=primo>

Dhoka, K. D. & Choudary Y. L. 2013. “XYZ” Inventory Classification & Challenges. IOSR Journal of Economics and Finance. Vol. 2 nro. 2, s. 23-26. [Viitattu 16.3.2020]. Saatavissa: <https://pdfs.semanticscholar.org/2718/b690095200b74e21e8f7f37e9b041bf973cf.pdf>

Happonen, A. 2011. Muuttuvaan kysyntään sopeutuva varastonohjausmalli. Väitöskirja. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknistaloudellinen tiedekunta Tietotekniikka. Lappeenranta. [Viitattu 1.4.2020]. Saatavissa: <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/72646>

Holopainen, M. & Pulkkinen, P. 2002. Tilastolliset menetelmät. 1. painos. Helsinki: Werner Söderström Osakeyhtiö.

Huiskonen, J. 2001. Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices. *International Journal of Production Economics*. Vol. 71 nro. 1, s. 125-133. [Viitattu 17.3.2020]. Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.cc.lut.fi/science/article/pii/S0925527300001122?via%3Dihub>

Jespersen, B. D. Skjøtt-Larsen, T. 2005. *Supply Chain Management - In Theory and Practice*. Tanska. Copenhagen Business School Press. [Viitattu 16.9.2020] Saatavissa: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00ASY081/supply-chain-management/vendor-managed-inventory>

Namit, K. & Chen, J. 1999. Solutions to the  $\langle Q,r \rangle$  inventory model for gamma lead-time demand. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. Vol. 29 nro. 2, s. 138-151. [Viitattu 19.3.2020]. Saatavissa: <https://www-emerald-com.ezproxy.cc.lut.fi/insight/content/doi/10.1108/09600039910264713/full/html>

Mèuller, M. 2003. *Essentials of Inventory Management*. Amerikan Yhdysvallat. American Management Association International. [Viitattu 19.3.2020]. Saatavissa: <http://web.b.ebscohost.com.ezproxy.cc.lut.fi/ehost/command/detail?vid=0&sid=a1ec50cd-cda2-4aae-b95f-e655b1676005%40pdc-v-sessmgr03&bdata=JnNpdGU9ZWwhvc3QtbG12ZQ%3d%3d#jid=3C9M&db=bth>

Saaty, T. L. 1990. AN EXPOSITION OF THE AHP IN REPLY TO THE PAPER "REMARKS ON THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS". *Management Science*. Vol. 36 nro. 3, s. 259-268. [Viitattu 20.4.2020]. Saatavissa: <https://search-proquest-com.ezproxy.cc.lut.fi/docview/213313791?accountid=27292>

Shenoy, D. & Rosas, R. 2018. *Problems & Solutions in Inventory Management*. Sveitsi, Springer. [Viitattu 12.3.2020]. Saatavissa: <https://link-springer-com.ezproxy.cc.lut.fi/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-65696-0.pdf>

Thomopoulos, N.T. 2015 Demand Forecasting for Inventory Control. Sveitsi, Springer. [Viitattu 18.9.]. Saatavissa: <https://link-springer-com.ezproxy.cc.lut.fi/book/10.1007%2F978-3-319-11976-2>

Vrat, P. 2014. Materials Management – An Integrated Systems Approach. Intia, Springer. [Viitattu 12.3.2020]. Saatavissa: <https://link-springer-com.ezproxy.cc.lut.fi/content/pdf/10.1007%2F978-81-322-1970-5.pdf>

Liite 1. Varmuuskerroin

Palveluaste	Varmuuskerroin (K)	Palveluaste	Varmuuskerroin (K)
99,9 %	3,09	74 %	0,64
99 %	2,33	73 %	0,61
98 %	2,05	72 %	0,58
97 %	1,88	71 %	0,55
96 %	1,75	70 %	0,52
95 %	1,64	69 %	0,50
94 %	1,55	68 %	0,47
93 %	1,48	67 %	0,44
92 %	1,41	66 %	0,41
91 %	1,34	65 %	0,39
90 %	1,28	64 %	0,36
89 %	1,23	63 %	0,33
88 %	1,17	62 %	0,31
87 %	1,13	61 %	0,28
86 %	1,08	60 %	0,25
85 %	1,04	59 %	0,23
84 %	0,99	58 %	0,20
83 %	0,95	57 %	0,18
82 %	0,92	56 %	0,15
81 %	0,88	55 %	0,13
80 %	0,84	54 %	0,10
79 %	0,81	53 %	0,08
78 %	0,77	52 %	0,05
77 %	0,74	51 %	0,03
76 %	0,71	50 %	0,00
75 %	0,67		