



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

KONEPAJAN TYÖKALUJÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN

Kandidaatintyö

Tarkastaja: Mikko Vanhatalo
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
11. tammikuuta 2018

TIIVISTELMÄ

MIKKO SIREN: Konepajan työkalujärjestelmän kehittäminen/ Development of workshop's tool system.

Kandidaatintyö, 24 sivua

Toukokuu 2018

Konetekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Konetekniikka

Tarkastaja: Mikko Vanhatalo

Avainsanat: konepaja, työkalujärjestelmä, varastohallinta

Työssä tarkastellaan kohdeyrityksen työkalujärjestelmää ja tutkitaan, kuinka sitä voisi kehittää. Kohdeyrityksessä ei alun perin ollut käytössä kunnollista työkalujärjestelmää, vaan uusia työkaluja tilatessa tarkasteltiin työkalujen kysyntää tilausmäärää valittaessa, sekä tuotteille ei ollut määritelty tilauspistettä, jolloin työkaluja on tilattu liian tiheään tahtiin kasvattaen varastoja. Vastaavasti työkaluja on voitu tilata liian harvoin, jolloin työkalut ovat voineet, jopa loppua.

Tutkimuksissa tarkasteltiin varastohallinnan teoriaa, koska työkalujärjestelmä perustuu vahvasti varastohallintaan. Työn alussa tutkittiin varastohallintaa yleisesti. Tarkastelemalla, mitä etuja eri varastokoot tuovat, varastohallinnan tuomia etuja ja ohjelmistojen ja teknologian hyödyntämistä varastohallinnassa. Lisäksi tutkittiin varastohallinnan hankintaparametrien määrittämistä ja niihin sovellettuja periaatteita, sekä kaavoja.

Lopulta tutkimusten perusteella kohdeyritykselle saatiin järkevä työkalujärjestelmä, johon saatiin varastohallinnan analyysien avulla sisällettyä vain kriittisimmät työkalut, jotta työkalujärjestelmä on selkeä. Tutkimusten perusteella työkalujärjestelmän työkaluille määritettiin hankintaparametrit ja varastointiratkaisu, jolla työkalujärjestelmä saatiin toimimaan koko yrityksen sisällä.

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	VARASTONHALLINTA.....	2
2.1	Varaston tehtävät.....	2
2.2	Tehokkaan varastonhallinnan vaatimukset	4
2.3	Varastonimikkeiden hallinta	4
2.3.1	5S periaate.....	4
2.3.2	ABC-analyysi.....	5
2.4	Pienen- ja suurenvarastokoon etuja.....	6
2.5	Ohjelmistojen hyödyntäminen	6
2.5.1	Elektroninen varastonhallinta	7
2.5.2	Automatisoidut varastot	7
3.	HANKINTAPARAMETRIEN MÄÄRITYS	9
3.1	Palvelutaso	9
3.2	Varastointikustannukset	10
3.3	Kysynnän ennustaminen	10
3.4	Tilausmäärä	11
3.4.1	Taloudellinen ostoerä.....	11
3.4.2	Jaksollinen tilausmäärä	12
3.4.3	Osa-aikatasapainotus.....	13
3.5	Tilauspiste	13
3.5.1	Tilauspisteperiaate	13
3.5.2	MCR algoritmi	15
3.5.3	Kahden laatikon systeemi	15
3.5.4	Jaksollisen tarkastelun periaate.....	16
4.	KEHITYSRATKAISU	17
4.1	Työkalujärjestelmän rajaus	17
4.2	Tilauspisteen määrittäminen.....	18
4.2.1	Jaksollisen tarkastelun periaatteen hyödyntäminen	19
4.3	Tilausmäärän määrittäminen	21
4.4	Työkalujen standardointi.....	22
5.	YHTEENVETO	24
	LÄHTEET.....	25

1. JOHDANTO

Työkalujärjestelmät luovat valmiuden konepajan toiminnalle. Valmiudella tarkoitetaan kykyä saada tilaus valmistukseen mahdollisimman pienellä asetusajalla. Asetusaika eli koneistuskeskuksen asettaminen kuntoon, jotta voidaan valmistaa tilauksen vaatimat aihiot, riippuu ratkaisevasti työkalujärjestelmästä. Työkalujärjestelmä kattaa kaikki suunnittelutasot. Tuotetasolla työkalujärjestelmä on olennainen osa tuotesuunnittelua, sekä operatiivisella tasolla työkalujärjestelmä on sujuvan valmistuksen edellytys (Lapinleimu et al. 1997, s. 172).

Työkalujärjestelmän johtoajatus on luoda työkalukokonaisuus, jolla voidaan suorittaa konepajan tilauskirjan vaatimat tuotantotoiminnot. Järjestelmästä tehdään yksi dokumentti, joka kattaa mitat ja varastokoot (Lapinleimu et al. 1997, s. 178). Konepajan valmistamat tuotteet tulisi suunnitella siten, että ne voidaan valmistaa työkalujärjestelmän välineillä.

Työkalujärjestelmän tavoitteet yksikertaisuudessaan on ylläpitää työkalujen varastointia, tehokkaana kokonaisuutena. Toimivassa työkalujärjestelmässä on siis varastossa koko ajan sopivat työkalut, jotta konepaja voi valmistaa tilauskirjan vaatimat tuotteet aina ajallaan. Työkalujen hankinnan tulisi olla yksinkertainen standardoitu työtehtävä, johon on määritetty tilauspiste eli piste jonka jälkeen tilataan uusia työkaluja. Lisäksi ostajalla tulisi olla selvillä tilausmäärä, eli kuinka monta kappaletta tilataan varastoon (Jacobs 2011, p. 133).

Työn tavoitteena on selvittää kohdeyritykselle sopiva työkalujärjestelmä. Tarkemmin tavoite on selvittää sopivat kaavat, joilla voidaan määrittää tilaushistorian perusteella sopiva tilausmäärä, sekä sopiva tilauspiste. Työssä tutkitaan varastointihallinnan ominaisuuksia ja tavoitteita, lisäksi hankintaparametrien määrittämisessä käytettyjä menetelmiä, joita voidaan hyödyntää työkalujärjestelmässä.

2. VARASTONHALLINTA

Työkalujärjestelmän hallinta sivuaa vahvasti varastohallintaa, joten on järkevää tarkastella varastohallintaan liittyviä ominaisuuksia ja tavoitteita. Varastoja esiintyy kysynnän ja tarjonnan epäsuhdanteiden vuoksi (Chopra & Meindl 2007, p. 50). Työkalujärjestelmässä kysyntä on työkalujen kuluminen, jota on vaikeaa ennustaa, joten työkaluvarastot ovat välttämättömiä.

Tyypillisesti yritysten varoista noin 30 % on sidottuna varastoissa, joka kuvaa hyvin varastojen tärkeyttä. Yleinen yritysten arvioinnissa käytetty arvo on ROI, joka tarkoittaa tuottoa verojen jälkeen jaettuna pääomalla, koska varastot voivat edustaa suurta osuttua pääomasta varastojen supistaminen voi kasvattaa ROI arvoa merkittävästi (Stevenson 2014, p. 548). Voidaan siis todeta, että varastohallinta on yrityksen talouden ja houkuttelevuuden kannalta huomattavan tärkeää.

Varaosavaraston tehokashallinta helpottaa ratkaisevasti huoltotoimia koneiden rikkoutuessa. Käytännössä tämä parantaa tuotannon tehokkuutta ja valmiiden tuotteidenvarastotasoa. (Baykasoğlu et al. 2016) Työkalujärjestelmä vaikuttaa tuotantoon varaosavaraston tavoin, joten voidaan todeta, että työkalujärjestelmän tehokashallinta vaikuttaa myös muihin varastoihin.

2.1 Varaston tehtävät

Varaston tehtävät riippuvat varastontyypistä. Varastotyyppinä on yleisesti neljä:

- Raakamateriaalivarasto
- Keskeneräisen tuotannon varasto
- Ylläpito-, huolto- ja käyttövarasto (YHK)
- Valmiiden tuotteidenvarasto (Heizer & Render 2006, p. 476).

Työkalujärjestelmän varasto sijoittuu ylläpito-, huolto ja käyttövarastoihin, joiden tehtävänä on ylläpitää koneistuskeskukset ja prosessi tuottavana. YHK varastot ovat välttämättömiä, koska prosessissa tapahtuvat vikaantumiset ovat yllättäviä ja niiden aiheuttamat prosessin seisahdukset ovat kalliita yritykselle. Prosessin seisahdukset aiheuttavat puutoksia valmiidentuotteiden varastossa, minkä tulisi vastata kysyntään, jotta yritys on kannattava.

YHK varastojen hallinta on yllättävän usein unohdettu, tai niille on annettu hyvin vähän huomiota. Huomion vähäisyys voi johtua, koska YHK varastot eivät suoraan ole yritykselle tuottavaa toimintaa, vaan ovat usein ylimääräisiä kuluja, joita pyritään kattamaan tehostamalla muuta toimintaa. Levitt (How Well Do You Know Your Current Spare Parts Inventory Operation? 2017) esittelee artikkelissaan kolmiosaisen työkalun, minkä avulla voi selvittää oman YHK varaston tehokkuuden ja onko YHK varastonhallinnassa parannettavaa.

Varastoille voidaan määrittää neljä päätehtävää:

1. Erottaa erituotantoprosessit
2. Erottaa yritys kysynnänvaihtelusta
3. Hyödyntää määrälennuksia
4. Suojata yritystä hintakorotuksilta (Heizer & Render 2006, p. 476).

Erituotantoprosesseja erotetaan varastojen avulla jatkuvuuden säilyttämiseksi. Varastojen avulla voidaan ylläpitää tuotannon jatkuvuutta, esimerkiksi vaikka jokin tuotantoprosessi vikaantuu koko tuotantoprosessin ei tarvitse seisahtua, vaan muut tuotantoprosessit voivat hyödyntää välivarastoja.

Kysynnän vaihteluja voidaan pyrkiä tasoittamaan varastojen avulla. Yritykset joiden kysynnässä on havaittavissa sesonkivaihtelua voivat täydentää varastoja hiljaisemmän kysynnän aikana. Suuremman kysynnän aikana yritys voi vastata kysyntään varastojen avulla, eikä yrityksen tarvitse mukauttaa kapasiteettiaan jokaisen sesonkivaihtelun aikana.

Määrälennuksia voidaan hyödyntää varastojen avulla tilaamalla varastoihin suuria määriä nimikkeitä kerrallaan, jolloin toimittaja voi myydä nimikkeitä yritykselle pienemällä kappalehinnalla, sekä toimituskulut ovat pienempiä yhtä nimikettä kohden suurilla tilausmäärillä. Suuria määriä tilatessa kuitenkin varastoinnin tarve kasvaa, joka kasvattaa varastointikuluja. Tilauseräkoon määrittämistä käsitellään tarkemmin kappaleessa 2.

Varastot voivat suojata yritystä hinnankorotuksilta. Silloin tällöin yritys voi havaita hintojen nousun tulon ja ostaa normaalia suuremman erän hintojen nousun voittamiseksi (Stevenson 2014, p. 550). Parhaiten hintojen nousuun valmistautunut yritys voi myydä tuotteita kilpailijoita halvemmalla tai kasvattaa tuotteiden katetta. Hintojen nousu voi johtua, esimerkiksi verojen noususta tai raaka-aineiden hintojen noususta.

2.2 Tehokkaan varastonhallinnan vaatimukset

Tehokas varastonhallinta on kannattavan liiketoiminnan kannalta tärkeässä roolissa, kuten edellä mainittiin varastojen supistaminen voi kasvattaa yrityksen ROI arvoa merkittävästi. Tehokkaan varastonhallinnan avulla voidaan supistaa yrityksen varastoja vaikuttamatta yrityksen tuotantoon. Tehokkaalle varastonhallinnalle voidaan määrittää viisi vaatimusta:

- Varaston seuranta
- Kysynnän ennustaminen
- Toimitusaikojen ja niiden poikkeamien tunteminen
- Varastointi-, tilaus- ja vajuuskulujen riittävän tarkka arvio
- Varastonimikkeiden hallinta (Stevenson 2014, p. 551).

Työkalujärjestelmässä pätee lähes kaikki vaatimukset lukuun ottamatta kysynnän ennustamista. Toimitusaikojen ja varsinkaan niiden poikkeamien tunteminen ei ole myöskään työkalujärjestelmässä kriittinen, sillä usein työkaluilla toimitusaika on huomattavan nopea verrattuna kysyntään, eli kulutukseen.

2.3 Varastonimikkeiden hallinta

Työkalujärjestelmässä eri nimikkeillä on pienempi tai suurempi kulutus kuin toisilla. Pienemmällä kulutuksella olevilla erikoistyökaluilla voi olla suuremmat varastointikustannukset, minkä takia on hyvä tarkastella eri nimikkeiden vaatimaa huomioinnin määrää.

2.3.1 5S periaate

5S on osa lean ajattelua, joka pyrkii minimoimaan kaiken hukkan. 5S tulee sanoista:

- Seiri – Erottele
- Seiton – Yksinkertaista
- Seiso – Puhdista
- Seiketsu – Standardoi
- Shitsuke – Systematisoi (Goldsby et al. 2005, p. 235).

5S periaatetta voi hyödyntää myös varastonhallinnassa eritoten varastonimikkeiden hallinnassa. Työkalujärjestelmässä erinimikkeiden erottelu toisistaan on tärkeää, jotta samat työkalut ovat samassa paikassa koon perusteella eroteltuna, jolloin työkalut ovat helposti löydettävissä ja aina samassa paikassa. Toinen kohta yksinkertaista jatkaa edellistä ja tarkoittaa varaston ja hyllyköiden yksinkertaistamista sellaiseksi, että nimikkeiden löytämi-

nen on helppoa. Puhdista tarkoittaa varaston siisteyden ylläpitoa. Työkaluvarastossa, esimerkiksi nimikkeet voivat olla valmiiksi rasvaisia, jota ei saisi antaa kertyä liikaa varastotasolle. Standardoi tulee huomioida työkalujärjestelmässä, koska useat työkalut voivat olla huomattavan saman näköisiä. Nimikkeiden standardointi nopeuttaa myös varaston täydennys tilauksen tekemistä, kun koneistaja voi tehdä tilauspyynnön käyttäen nimikkeelle standardoitua koodia. Systematisoi tarkoittaa edellisten vaiheiden kehittämistä toimintatavaksi, jota on helppo noudattaa.

2.3.2 ABC-analyysi

1800-luvulla tutkija Vilfredo Pareto havaitsi, että 20 % ihmisistä hallitsi 80 % varallisuudesta. Tämä havainto tunnetaan nykyään Pareton periaatteena. Myöhemmin Pareton periaate on levinnyt laajalti myös muihin tilanteisiin. (Chu et al. 2008, p. 842) Varastonhallinnassa Pareton periaatetta käytetään ABC-analyysin yhteydessä.

ABC-analyysissa tuotteet jaetaan kolmeen eriluokkaan A, B ja C. A-luokkaan sisältyy tyypillisesti 10–20 % tuotteista, jotka sitovat suurimmat kustannukset varastossa. C-luokkaan sisältyy tyypillisesti 50–60 % tuotteista, jotka sitovat pienimmät kustannukset varastossa. B-luokkaan sisältyy A- ja C-luokkien väliin jäävät tuotteet. Luokkien suuruudet vaihtelevat usein yrityksittäin, mutta usein A-luokkaan sisältyvät tuotteet ovat vain pieni osuus yrityksen muista tuotteista. (Stevenson 2014, p. 555) Analyysista on esitelty myös tarkempi analyysi, jossa varastossa olevia tuotteita tutkitaan useamman kuin yhden kriteerin perusteella (Jacobs 2011, p. 157).

Analyysissa arvioidaan varaston vuotuisia kustannuksia jokaisen tuotteen kohdalla erikseen laskemalla vuotuisen tarpeen ja tuotteen kustannuksien tulo. Kustannukset järjestetään laskevaan järjestykseen, jolloin kaikkien tuotteiden kustannuksista voidaan löytää jokaiseen eri luokkaan kuuluvat tuotteet.

Työkalujärjestelmässä ABC-analyysin käyttäminen on perusteltua, sillä työkalujen hinnoissa on suurta vaihtelua, kuten työkalujen kulumisessa. Erikoistyökalut, joita käytetään vain harvojen tuotteiden koneistamisessa, kuluvat vähemmän vähäisemmän käytön vuoksi. Suuremmissa käytössä olevia työkaluja, kuten poranteriä ja jyrsimiä, kannattaa puolestaan pitää varastossa useampia kappaleita, sillä niiden kuluminen on suurempaa ja ostokustannukset ovat pienemmät kuin erikoistyökaluilla.

ABC-analyysi ei kuitenkaan välttämättä tuota luotettavia ja tehokkaita luokkia epävarmassa ympäristössä. Analyysissa jotkin C-luokan osat voivat olla tärkeitä saatavuuden ja kriittisyyden kannalta. (Baykasoğlu et al. 2016, p. 9) ABC-analyysia on kritisoitu, että analyysi voi itsessään olla rajoite ensiluokkaisella varastotehokkuudelle (Yang et al. 2017, p. 86). Työkalujärjestelmän ympäristö on usein kuitenkin riittävän varma, joten monokriittinen ABC-analyysi on riittävän luotettava.

2.4 Pienen- ja suurenvarastokoon etuja

Tavallisessa varastohallinnassa päätehtävä on löytää sopiva tasapaino pienen ja suuren varaston väliltä hyödyntäen mahdollisimman paljon kummankin varastokoon etuja (Krajewski et al. 2007, p. 463). Pienen varaston edut ovat lähinnä rahallisia. Pienempi varasto sitoo vähemmän pääomaa, kuin suurivarasto. Pääomasäästön lisäksi pienen varaston hallintokulut ovat pienemmät, kun varastossa on vähemmän tavaraa, mitä tarvitsee liikutella, lisäksi pienen varaston verotus ja vakuutuskulut ovat edullisemmat, kuin suurella varastolla (Krajewski et al. 2007, p. 463).

Suuren varaston avulla voidaan puolestaan tehostaa yrityksen toimintoja, jolloin on kannattavaa sitoa pääomaa varastoon. Varaston avulla voidaan muun muassa parantaa asiakaspalvelua, jos yrityksellä on varastossa asiakkaan haluamat tuotteet, jolloin asiakas saa tuotteet nopeammin. Tilauskustannusten lisäksi valmistavassa teollisuudessa voidaan vähentää asetuskustannuksia valmistamalla tuotetta kysyntää suurempi erä, jolloin koneiden asetuksia ei tarvitse vaihtaa kannattamattoman paljon (Krajewski et al. 2007, p. 464). Suuren varastokoon avulla voidaan myös tehostaa työvoiman ja laitteiden käyttö vastavalla periaatteella, kuin koneiden asetusajoja minimoimalla.

Työkalujärjestelmässä suuren varastokoon ylläpitäminen ei ole kannattavaa lukuun ottamatta tilauskoossa, jolloin työkaluja tulisi tilata taloudellisesti kannattava määrä, jotta työkalujärjestelmän varastohallintokulut ovat mahdollisimman pienet. Uusia työkaluja tulisi siis tilata useita, koska tilauskustannuksiin verrattuna varastointi kulut ovat huomattavan pienet.

2.5 Ohjelmistojen hyödyntäminen

Varastohallinnan tueksi on kehitetty ohjelmistoja, kuten esimerkiksi MRP I, MRP II ja ERP. MRP tulee englanninkielisistä sanoista ”Material Requirements Planning” ja sisältää lähinnä materiaalivirran hallinnan. MRP järjestelmät kertovat mitä tuotteita tulee valmistaa, milloin tuotteiden tulisi olla valmiita ja kuinka paljon tuotteita tulisi valmistaa (Stevenson 2014, p. 496). MRP II on kehittyneempi versio MRP I:stä. MRP II:ssa tarkastellaan lisäksi yrityksen muuta toimintaa ja huomioidaan kapasiteetti rajoitukset (Stevenson 2014, p. 511). MRP järjestelmät kohdistuvat lähinnä tuotannosuunnitteluun eivätkä toimi työkalujen varastohallintaan, joten tässä työssä niiden syvällisempi tarkastelu on turhaa.

ERP tulee englannin kielisistä sanoista ”Enterprise Resource Planning”. ERP-järjestelmä kattaa koko yrityksen toiminnan, kuten talouden, tuotannon, logistiikan, myynnin, markkinoinnin ja henkilöstön. Merkittävimmät ERP-ohjelmistojen toimittajat tarjoavat huipputeknisiä järjestelmiä reaaliaikaisen tiedon tarjontaan tukemaan rutiinipäätöksiä, parantamaan tapahtumien käsittelyjen tehokkuutta, edistää ristitoimintojen integrointia ja tarjota parempia oivalluksia yrityksen johtamiseen (Jacobs 2011, p. 108). ERP-järjestelmiä

voidaan hyödyntää työkalujärjestelmässä, koska järjestelmä kattaa myynnin ja tuotannon. Järjestelmästä tulisi siis löytyä jo valmiiksi jokainen työkalu ja niiden ostohinnat, joten järjestelmästä löytyviä tietoja voidaan hyödyntää hankintaparametrien määrittämisessä. Ohjelmistojen tuleminen varastohallinnan tueksi on parantanut varastojen palvelutasoa, sekä vähentänyt varastojen kokoa. Suurin ohjelmistojen tuoma parannus on ollut varastojen hallinta koko toimitusketjun sisällä, eikä vain yhden varaston sisällä. (Chopra & Meindl 2007, p. 333) Työkalujärjestelmissä varastohallinnassa kysyntää on hankala mallintaa, koska työkaluja voi kulua useita kappaleita kerralla vaihdettaessa, esimerkiksi kuluneita jyrsimiä.

2.5.1 Elektroninen varastohallinta

Nykyään varastohallintaan on kehitetty elektronisia ratkaisuja, jotka voidaan yhdistää suoraan ohjelmistoihin, jolloin varastotasoa voidaan seurata reaaliaikaisesti. Kaupoissa on jo pitkään käytetty viivakoodeja varastotasojen seurannassa (Stevenson 2014, p. 552). Jokaiselta myydyltä tuotteelta luetaan ostohetkellä viivakoodi, jolloin ohjelmistot osaavat vähentää myydyt tuotteet varastosta ja säilyttävät reaaliaikaisen seurannan. Valmistavateollisuudessa viivakoodit voivat vähentää varastonlaskenta ja -seuranta työtä.

Toinen elektroninen varastohallinnassa käytetty teknologia on RFID teknologia, joka tarkoittaa radiotaajuudella tunnistamista. Eräs RFID:n hyödyistä on, että sen avulla voidaan myöskin paikallistaa jokaisen tuotteen sijainti varastossa (Dolgui & Proth 2010, p. 433). Tao et. al. (2017) tutkivat RFID:n hyödyntämistä varastohallinnassa ja sen vaikutuksia myyntihinnoissa, väärinkäyttöön, varastonloppumisasteeseen, varastonloppumisesta palautumiseen ja merkintähintaan. Tutkimuksen numeerinen tarkastelu osoittaa, että RFID:n hyödyntäminen on turhaa, kun varastonloppumisaste on vähemmän kuin riippumaton kynnyksarvo on. Dolgui & Proth (2010) toteavat, että RFID on ratkaisu, kun tuotteita seurataan kuormalavoittain tai tuotteet ovat riittävän kalliita, että RFID merkin hinta per tuote on suhteellisen pieni, joka tekee RFID:sta taloudellisesti kannattavaa. de Souza et. al. (2011) soveltavat tutkimuksessaan ROI laskuria eräälle RFID:n käyttöön ottaneelle yritykselle. Tutkimuksessa RFID:n käyttöönoton jälkeinen ROI oli negatiivinen, mutta RFID:n ansiosta yrityksen pakkausprosessi yksinkertaistui niin paljon, että tutkimusta jatkettiin, jotta ROI saatiin positiiviseksi. Voidaan kuitenkin todeta, että RFID:n hyödyntäminen työkalujärjestelmässä, jossa varastokoot ovat pieniä, on hyödyntä teknologian tuomien lisäkustannusten vuoksi.

2.5.2 Automatisoidut varastot

Nykyään on kehitetty automatisoituja varastointiratkaisuja, jossa käyttäjä tilaa tietyt tuotteet, jotka varasto kerää käyttäjälle. Käyttäjä ei välttämättä itse edes tiedä, missä tuotteet sijaitsevat varastossa, mutta näkee tietokoneelta mitä varastossa on. Automatisoidut varastot minimoivat varastoinnin vaatiman tilan ja työvoiman. Systemit ovat yleisiä

maissa, joissa työvoima on kallista ja tilaa on rajoitetusti. (Dolgui & Proth 2010, p. 427)
Automatisoitujen varastojen hyötyjä ovat:

- Käyttäjän tehokkuuden ja varastontiheyden jatkuva parantaminen
- Keskeneräisen varaston väheneminen
- Laadun ja JIT suorituskyvyn paraneminen
- Reaaliaikaisen varastoseurannan ja jatkuvan raportoinnin takaaminen (Dolgui & Proth 2010, p. 427).

3. HANKINTAPARAMETRIEN MÄÄRITYS

Hankintaparametrit määrittävät varastohallinnan kaksi tärkeintä arvoa: tilausten määrän ja tilausten ajankohdan. Varastohallinnassa on yleensä kulutusvarasto, jonka tulisi riittää, jos tilauksien toimituksessa tai kysynnässä ei ole poikkeamia. Käytännössä usein on havaittavissa kysynnässä ja toimitusajoissa vaihtelua, minkä takia on hyvä määrittää tuotteelle varmuusvarasto, jonka tarkoitus on varmistaa, että varastot pystyvät vastaamaan kysyntään. Tunc et. al. (2011) osoittaa tutkimuksessa, että kysynnän oletaminen taseiseksi tilanteessa, jossa kysynnässä on vaihtelua voi olla hyvin kalliit seuraukset.

3.1 Palvelutaso

Varastojen tarkoitus on ylläpitää tuotteiden saatavuutta (Wild 2017, p. 17). Tuotteiden saatavuuden mittaamisessa toimivin parametri on palvelutason mittaaminen. Tuotteen palvelutason mittaaminen on todennäköisesti yleisin toimitusketjussa käytetty asiakaspalvelumittari. Tällä mittarilla on 2 etua, sitä on helppo seurata ja verrata tavoitteeseen, sekä varmuusvarastoille on jo valmiina valmiita kaavoja useille eri tilanteille. (Albrecht 2017, p. 1)

Palvelutaso lasketaan laskemalla kysynnänosuus, mikä voidaan palvella suoraan varastosta (Chakraborty & Bhuiya 2017, p. 3161). Varmuusvarastojen avulla voidaan ylläpitää palvelutasoa kysynnänvaihtelusta tai toimitusajanvaihtelusta huolimatta. Kuitenkin on huomioitava, että 100 %:n palvelutaso ei ole käytännössä mahdollinen, sillä se vaatisi äärettömän suuren varaston, mutta 99,99 %:n palvelutaso on mahdollinen (Wild 2017, p. 18).

Palvelutasolle korvaavaluku on varastonloppumiskulut, jonka takia useat tutkijat korvaavat varastonloppumiskulut ehdollisella palvelutasolla stokastisissa ympäristöissä. Palvelutason määrittäminen voi olla usein mukavampaa määrittellä epätarkasti palvelutasorajoitteiden puitteissa. (Chakraborty & Bhuiya 2017, p. 3161)

Työkalujärjestelmissä palvelutaso tulisi huomioida, koska huono palvelutaso voi luoda hyvin paljon lisäkuluja tuotannon erivaiheissa, jos koneistusvaihe muodostaa tuotantoon viiveitä ja pullonkaulan työkalupuutteen takia. Edellä on mainittu jo, että on mahdotonta luoda 100 %:n palvelutaso, mutta työkalujärjestelmässä tulisi kuitenkin pyrkiä 99,99 %:n palvelutasoon. Varmuusvarastot työkalujärjestelmässä ovat usein muuhun varastoon suhteutettuna hyvin pieni investointi, joka mahdollistaa 99,99 %:n palvelutason.

3.2 Varastointikustannukset

Yksittäisille tuotteille tulisi määrittää vuotuiset varastointikustannukset, jotta voidaan selvittää jokaiselle tuotteelle taloudellisesti kannattava tilauseräkoko. Joissakin tapauksissa, missä varastointikustannukset ovat riittävän pieniä, että voidaan vaatia, että varastontyhjenemiset eivät ole sallittuja (Udayakumar & Geetha 2016, p. 735). Yksittäisen tuotteen vuotuisia varastointikustannuksia määrittäessä tulisi huomioida seuraavia vaatimuksia:

- Tila
- Investointi
- Haihtumishäviöt, koskee nesteiden varastointia
- Säilyvyysaika
- Tarkemmat varastointi vaatimukset
- Muut säilytyskustannukset (Sharma 2017, p. 72).

Ennen yksittäisen tuotteen varastointikulujen määrittämistä tulisi siis tarkastella tuotteen vaatimuksia, mitkä vaikuttavat tuotteen varastointikuluihin. Työkalujärjestelmän varastointi vaatimukset ovat hyvin minimaaliset, koska työkaluvarastot vaativat huomiota vain kolmessa kohtaa edellä mainitulta listalta, mitkä ovat tila, investointi ja muut säilytyskustannukset. Useat työkalut vievät kuitenkin hyvin pienen tilan, joten sen taloudellinen tarkastelu yhtä tuotetta kohden on turhaa. Työkaluvarasto ei myöskään vaadi myöskään erityistä valaistusta tai ilmanvaihtoa. Kuten edellä mainittiin, työkaluvaraston vaatima tila on hyvin pieni ja yleensä on kannattavaa sijoittaa koneistuskeskukset kanssa samaan tilaan, jolloin työkaluvarastoon ei kohdistu muita kustannuksia.

$$H = C \times V \tag{1}$$

kaavassa 1 on esitetty yksinkertaisin tapa laskea, yksittäisen tuotteen varastointikulut H saadaan kertomalla tuotteen yksikkökustannus V korkokannalla C (Krajewski et al. 2007, p. 472). Korkokanta huomio investoinnin sitoman pääoman kustannukset (Suomala et al. 2011, s. 154).

3.3 Kysynnän ennustaminen

Varastohallinnassa kysynnän ennustamista voidaan hyödyntää, kun tarkastellaan tuotteiden vuotuista tarvetta, jonka lyhyt aiheen käsittely on myös olennaista tässä työssä. Ajoittaiset kysynät ovat haastavia ennustaa ja niitä esiintyy yleisimmin YHK varastoissa, joihin työkaluvarastot lukeutuvat (Altay & Litteral 2014, p. 1).

Tavallisimpia kysynnän ennustamisen tapoja on esimerkiksi: Naiivi ennustaminen, liukuva keskiarvo ja eksponentiaalinen tasaus. Naiivi ennustaminen olettaa, että seuraavan jakson kysyntä on yhtä suurta, kuin edellisellä. liukuva keskiarvo laskee edellisten jakso-

jen keskiarvon, joka on seuraavan jakson ennuste. (Heizer & Render 2006, p. 111) Eksponentiaalinen tasaus on painotettu liukuva keskiarvo ennuste tekniikka, jossa datapisteet painotetaan eksponentiaalisella funktiolla (Heizer & Render 2006, p. 112).

$$F_t = F_{t-1} + \alpha \times (A_{t-1} + F_{t-1}) \quad (2)$$

Kaavassa 2 F_t on ennustettu kysyntä ja F_{t-1} on edellisen jakson ennustettu kysyntä. A_{t-1} on edellisen jakson toteutunut todellinen kysyntä, ja α on eksponentiaalinen tasoitusvakio.

Croston esitti uuden metodin YHK varastojen kaltaisille varastoille, joissa tuotteiden kysyntä ei ole jatkuvaa. Crostonin metodin kaavassa:

$$E(Y'_t) = E\left(\frac{Z'_t}{p'_t}\right) \quad (3)$$

Y'_t esittää ennustettua kysyntää ajanjaksoa kohden, Z'_t on eksponentiaalisesti tasattu kysyntä ja p'_t eksponentiaalisesti tasattu kysynnän aikaväli (Altay & Litteral 2014, p. 4). Kaavasta voidaan havaita, että jos kysyntä on jatkuvaa niin metodi vastaa eksponentiaalista tasausta.

3.4 Tilausmäärä

Uusia tuotteita tilattaessa tulisi tietää tuotteen kysyntä ja toimitusaika. Tilausmäärän tulisi olla riittävän suuri, jotta tuotteiden saapuessa niitä on riittävästi vastamaan kysyntään, mutta varastointikulujen takia tuotteita ei ole kannattavaa tilata yli kysynnän, koska varastointikustannukset lisäävät yrityksen kokonaiskuluja. Yang et. al. (2017) tutkivat varastonhallintaa tuoton maksimoinnin näkökulmasta, mutta huomauttivat myös, että tuotonmaksimoiva varastoninvestointi ei välttämättä ole kuitenkaan yritykselle kannattavaa. Tuotonmaksimointi voi siis kasvattaa varastoinvestoinnin hyvinkin suureksi, mikä ei ole välttämättä käytännössä yritykselle kannattavaa.

3.4.1 Taloudellinen ostoerä

Yleisin tilausmäärän laskennassa käytetty kaava on Wilsonin kehittämä kaava. Wilson ehdotti, jo vuonna 1934, että tilausmäärää arvioimalla voidaan vähentää vuotuisia varastointikuluja. (Lewis 2012, p. 94) Wilsonin taloudellisen ostoerän kaavan avulla voidaan määrittää kiinteä tilausmäärä, joka minimoi vuosittaiset varastointikulut ja tilausvaraston. Kaavaan ei ole yleisesti sisällytetty ostohintaa, koska ostohinta ei vaikuta tilausmäärään, ellei ostohintaa ole alennettu (Stevenson 2014, p. 557).

Taloudellisen ostoerän kaava koostuu kahdesta kaavasta, vuotuisten varastointikustannusten ja vuotuisten tilauskustannusten kaavasta. Vuotuiset varastointikustannukset kasvavat lineaarisesti määrään nähden, kun taas tilauskustannukset laskevat eksponentiaali-

sesti määrään nähden. Tilauskustannukset koostuvat tilaukseen kohdistuvasta työstä, kuten tilauksen purkamisesta, hyllyttämisestä, laadun tarkastamisesta ja ostotyöstä, joten suuremmat tilaukset vaativat vähemmän työtä yhtä tuotetta kohden kuin pienet. Vuotuiset kokonaiskustannukset TC saadaan siis summaamalla vuotuiset tilauskustannukset ja varastointikustannukset (Stevenson 2014, p. 559) seuraavasti:

$$TC = \frac{Q}{2} \times H + \frac{D}{Q} \times S. \quad (4)$$

Kaavassa 4 Q on tilausmäärä, H varastointikustannukset yhtä tuotetta kohden, D tuotteen vuotuinen tarve ja S tilauskustannukset jokaista tilausta kohden. Taloudellisen ostoerän kaava saadaan derivoimalla kokonaiskustannusten kaavaa tilausmäärään suhteen, jolloin saadaan optimaalinen tilausmäärä, joka sijoittuu kokonaiskustannuksien tilauskustannuksien ja varastointikustannuksien leikkauspisteeseen

$$Q = \sqrt{\frac{2 \times D \times S}{H}}. \quad (5)$$

Taloudellisen tilauseräkoon kaavaa voidaan käyttää työkalujärjestelmässä, sillä työkaluvarastojen kiertonopeus on pieni. Taloudellisen tilauseräkoon kaava ei kuitenkaan aukottomasti sovi työkalujärjestelmään, koska kaavassa oletetaan kulutuksen olevan tasaista. Työkalujärjestelmän kulutus on kuitenkin vaihtelevaa, joten kaavan lisäksi tulee määrittää varmuusvarasto, joka varmistaa, että varasto pystyy vastaamaan kysyntään tilauksen käsittelyn ajan.

3.4.2 Jaksollinen tilausmäärä

Taloudellista tilauseräkkoa voidaan soveltaa laskemalla tilausten välinen aika jakamalla taloudellinen tilauserä keskikysynnällä (Jacobs 2011, p. 481). Tätä sovellusta kutsutaan jaksolliseksi tilauseräksi. Jaksollisen tilauserän menettelytavassa tilaukset ryhmitellään peräkkäisinä jaksoina (Louly & Dolgui 2011, p. 36). Jaksollisella tilauserämenettelytavalla voidaan parantaa varastointikuluja, mutta taloudellisen tilauseräkoon kaavan tavoin menettelytapa karsii paljon jaksottamisen kannalta tärkeää tietoa. Uudet tilaukset tulisi tehdä tasaisin jaksoin, mikä rajoittaa mahdollisuuden yhdistellä tilauksia (Jacobs 2011, p. 481).

Jaksollisen tilamäärän laskennassa tulisi tietää, kuinka paljon tuotteita on varastossa kunakin jakson lopussa. Varastotason laskeminen yhdelle tuotteelle, kun kysynnässä ei ole vaihtelua voidaan laskea Guillaumme et. al. (2017, p. 6829) esittämällä kaavalla:

$$B_t - I_t = D_t - \sum_{i=1}^t x_i. \quad (6)$$

Kaavassa B_t osoittaa jälkitilausten tason ja I_t osoittaa varastotason, joiden erotus on yhtä suuri kuin kysynnän D_t ja ajanjaksolla valmistuneiden tuotteiden summan erotus. Työkalujärjestelmässä menettelytapa on toimiva, koska usein uusia työkaluja vaihdetaan koneistuskeskuksiin suhteellisen harvoin, minkä takia tasainen varaston seuranta voi riittää ylläpitämään riittävää käyttövarmuutta.

3.4.3 Osa-aikatasapainotus

Osa-aikatasapainotusmenetelmä on dynaaminen tekniikka, joka laskee tuotannon eräkoon tarkastelemalla seuraavan tai edellisen jakson tarvetta eräkoon määrittelyssä, ja hyödyntää kaikkea tarvelaskennasta saatuja tietoja. Menetelmä rinnastaa tilauskustannukset ja varastointikustannukset tilausmäärän laskennassa. Menetelmän vahvuus on, että menetelmä sallii eräkoon vaihtelun ja tilausten välisen ajan vaihtelun. (Jacobs 2011, p. 481)

Menetelmän soveltaminen työkalujärjestelmässä vaatii paljon suunnittelutyötä ennustaa työkalujen tarvetta tilauskirjan perusteella. Työkalujen kulumisen hitaudesta johtuen ennustaminen vaatisi kuitenkin tilauskirjan tuntemisen hyvin pitkälle aikajaksolle. Menetelmän soveltaminen voisi olla mahdollista, jos valmistettavat tuotteet olisivat hyvin samankaltaisia ja työkalutarvetta voitaisi ennustaa tilausennusteiden avulla.

Osa-aikatasapainotuksesta on kehitetty uusia dynaamisia sovellutuksia. Ensimmäisen dynaamisen ohjelmoinnin algoritmia ehdotti Wagner ja Whitin vuonna 1958, johon yleensä viitataan nimellä Wagner-Whitin algoritmi (Lewis 2012, p. 63). Yang et. al. (2017) puolestaan esittelee tutkimuksessaan uuden dynaamisen varastohallinta kaavan, joka yhdistää varastonimikkeiden hallinnan ja varastohallinnan. Tutkimuksessa Yang et. al. (2017) kritisoi ABC-analyysia, koska sitä käyttävät yritykset erottavat nimikkeiden hallinnan ja palvelutason määrittämisen, mihin heidän tutkimus esittelee nämä tekijät yhdistävää ratkaisua. Hyödyntämällä sekalaisen kokonaisluvun lineaarista ohjelmointia ja diskretisoimalla palvelutasomalli laskee varmuusvaraston ja perusvaraston suuruuden.

3.5 Tilauspiste

Tilauspisteen määrittämisessä tarvitsee tietää tuotteen toimitusaika ja huomioida mahdollinen poikkeama toimitusajassa tai kysynnässä toimitusaikana. Palvelutason ylläpitämiseksi on määriteltävä varmuusvarasto, jonka avulla voidaan vastata kysyntään toimitusaikana. Esimerkiksi jos tilauspiste on määriteltä 10 tuotteen kohdalle ja toimitusaika on kaksi viikkoa, tulisi kysynnän olla alle 10 tuotetta kahdessa viikossa.

3.5.1 Tilauspisteperiaate

Yleisin varastohallintaperiaate on tilauspisteen periaate, jossa uusi tilaus tehdään, kun varaston määrä laskee tietylle tasolle tai tietyn tason alapuolelle. Uuden tilauksen suuruus on usein vakio, joka voidaan laskea esimerkiksi edellä mainitulla tilausmäärän kaavalla.

Tilauksen ja tavaran vastaanoton välillä on viive, jota kutsutaan toimitusajaksi, joka täytyy huomioida tilauspisteen määrittämisessä (Lewis 2012, p. 82). Toimitusaikana on riski varaston tyhjenemisestä ennen kuin uusi tilaus on vastaanotettu.

Tilauksen kustannukset määräytyvät:

- Varastointikulut
- Tilauskulut
- Varastonloppumisesta johtuvat kulut (Lewis 2012, p. 84).

Varastointikuluilla tarkoitetaan, kuinka paljon kustannuksia tuotteet aiheuttavat varastossa esimerkiksi tila, jonka tuotteet vievät varastossa. Tilauskustannukset sisältävät kaikki kulut, joita kuuluu tilaukseen, kuten ostotilauksen tekeminen ja tilauksen vastaanottamiseen kohdistuvat työkulut. Varaston loppumisesta johtuvia kuluja ovat esimerkiksi menetetty myynti tai työkalujärjestelmässä tuotteiden valmistumisen myöhästyminen työkalujen puutteen vuoksi.

Tilauspisteen määrittämisessä tulee huomioida mahdolliset poikkeamat kysynnässä toimitusaikana tai toimitusajan poikkeama.

$$ROP = d \times LT \quad (7)$$

Kaavassa 7 on laskettu tilauspiste ROP , kun kysynnässä d ja toimitusajassa LT ei ole poikkeamia (Stevenson 2014, p. 569).

$$ROP = \bar{d} \times LT + z \times \sigma_d \times \sqrt{LT} \quad (8)$$

Kaavassa 8 on laskettu tilauspiste, kun kysynnässä esiintyy poikkeamaa. Kaavassa käytetään kysynnän sijasta keskimääräistä kysyntää \bar{d} . Kaavassa käytetään myös kysynnän keskihajontaa σ_d ja palvelutason normaalijakauman kertymäfunktion arvoa z (Stevenson 2014, p. 572).

$$ROP = d \times \overline{LT} + z \times \sigma_{LT} \times d \quad (9)$$

Kun toimitusajassa esiintyy poikkeamaa, voidaan tilauspiste laskea kaavalla 9. Kaavan 8 tavoin kaavassa 9 käytetään toimitusajan tilalla keskimääräistä toimitusaikaa \overline{LT} ja toimitusajan keskihajontaa σ_{LT} (Stevenson 2014, p. 572)

$$ROP = \bar{d} \times \overline{LT} + z \times \sqrt{\overline{LT} \times \sigma_d^2 + \bar{d}^2 \times \sigma_{LT}^2} \quad (10)$$

Kun toimitusajassa ja kysynnässä esiintyy poikkeamaa, tilauspiste voidaan laskea kaavalla 10 (Stevenson 2014, p. 572). Työkalujärjestelmän tilauspisteen laskemisessa voidaan olettaa toimitusaika vakioksi, mutta kysynnässä esiintyy usein poikkeamaa, joten

työkalujärjestelmän tilauspiste tulisi laskea kaavalla 8. Toimitusaika voidaan olettaa vakioksi, koska toimitusaika on lyhyt suhteutettuna kulutukseen, eli kysyntään.

3.5.2 MCR algoritmi

MCR algoritmi tulee englannin kielisistä sanoista ”modification of the continuous review method”, eli suomennettuna muokattu jatkuvan tarkastelun metodi. MCR algoritmissa tilausmäärän laskenta pohjautuu pitkälti taloudellisen tilauseräkoon kaavaan, mutta huomio myös jälkitoimituskulut (Kiesmüller & Inderfurth 2017, p. 10).

Jaksollisen tarkastelun tapauksessa MCR algoritmi pyrkii minimoimaan puutoksen, kun tehdään uusi tilaus tilauspisteen ROP kohdalla, jotta tilauksen saapuessa varastotaso olisi mahdollisimman lähellä varaston maksimitavoite tasoa. Algoritmi pyrkii tähän vertaamalla tilausmäärään ja ennustetun kysynnän osamäärää. (Kiesmüller & Inderfurth 2017, p. 10) Osamäärän ollessa pienempää tai yhtä suurta kuin 1.5 maksimi varastotason laske- misessa käytetään kumulatiivista jakaumafunktiota, jos osamäärä on suurempaa kuin 1.5, maksimivarastotason määrittäessä tilausmäärästä vähennetään oletettu kysyntä.

3.5.3 Kahden laatikon systeemi

Kahden laatikon systeemissä tuotenimikkeet varastoidaan kahteen laatikkoon, kun ensisijainen laatikko on tyhjä, tilataan uusi erä tuotteita. Toinen laatikko puolestaan toimii varmuusvarastona ennen uuden erän saapumista. Kahden laatikon systeemi on tilauspisteperiaatteesta yhdistetty visuaalinen systeemi. Visuaaliset systeemit ovat helppoja hallittavia, koska varaston tilanteesta ei pidetä tarkkaa kirjaa. Visuaalisia systeemeitä hyödynnetään matalan arvon tuotteissa, joiden kysyntä on vakaata (Krajewski et al. 2007, p. 484). Kahden laatikon systeemin odotukset ovat:

- Varastointikulut perustuvat keskimääräiseen varastotasoon
- Tilaus- ja järjestelykulut ovat vakiot
- Tuotteen koko kysyntä tyydytetään (Cheng 2017, p. 28).

Kahden laatikon systeemin odotukset sopivat hyvin vähintään osana työkalujärjestelmää, koska työkalujärjestelmässä koko kysynnän tyydyttäminen on tärkeää ja osalla työkaluista kysyntä on suurta, jolloin tilaus- ja järjestelyn tulisi olla mahdollisimman automatisoitua kustannusten minimoimiseksi. Systeemiä voisi hyödyntää työkalujärjestelmissä halpojen ja suurella kulutuksella olevien työkalujen kohdalla, kuten teräpalojen kohdalla. Teräpalojen varastointi on halpaa ja kysyntä on suurta, koska teräpaloja voidaan vaihtaa useita yhteen koneistuskeskukseen.

3.5.4 Jaksollisen tarkastelun periaate

Toinen tilausvälin määrittämisessä käytetty periaate on jaksollisen tarkastelun periaate, jossa uusi tilaus tehdään tasaisinväliajoin. Jaksollisen tarkastelun periaatteessa kysyntä on muuttuva parametri, joka vaihtelee tilauskohtaisesti. Periaatteeseen kohdistuu neljä oletusta, jotka ovat:

- Eräkokoon ei kohdistu rajoitteita
- Merkittävät kustannukset ovat varastointi- ja tilauskustannukset
- Päätökset yhden tuotteen osalta ovat riippumattomia muista tuotteista
- Toimitusajat ovat vakiota ja tarjonta tiedetään (Krajewski et al. 2007, p. 484).

Jaksollisen tarkastelun periaate on hyödyllinen, sillä periaatteella tuotteita ei tarvitse laskea fyysisesti tilauksen jälkeen ennen seuraavaa tarkastelua. Ongelma ilmenee kuitenkin, koska tuotteiden määrää ei seurata jaksojen välillä ilmenee riski varastontyhjenemiselle (Heizer & Render 2006, p. 498).

Jaksojen määrittelyyn vaikuttaa tarkastelujen välinen aika, sekä varaston tavoitetaso. Tavoitetason laskemisessa tulee huomioida, että varastotaso riittää vastamaan kysyntään toimitusajan lisäksi tarkastelujakson ajan.

$$T = d \times (P + L) + z \times \sigma_t \times \sqrt{P + L} \quad (11)$$

Kaavassa 11 on laskettu varastontavoitetaso, kun kysynnässä on poikkeamaa. Kaavassa P on tarkastelujakso, L on toimitusaika (Krajewski et al. 2007, p. 485). Jaksollisen tarkastelun periaatteen lasketa muistuttaa hyvin paljon taloudellisen eräköön laskentaa, mutta eroaa kuitenkin, koska jaksollisessa tarkastelussa täytyy huomioida toimitusajan lisäksi tarkastelujaksojen kysyntä.

Jaksollisen tarkastelun periaatetta voisi soveltaa esimerkiksi halpojen tuotteiden kohdalla, missä varaston täyttö on ulkoistettu, jolloin toimittaja kiertää viikoittain asiakkaiden luona laskemassa varastotasot ja täydentää niitä vastamaan kysyntään ja varmuusvaraston tasolle. Tilaukset ovat usein kiinteitä, joten jaksollisen tarkastelun periaatteessa kannattaa määritellä myös tilauspiste (Kiesmüller & Inderfurth 2017, p. 7).

4. KEHITYSRATKAISU

Edellä mainittujen tutkimusten ja menetelmien pohjalta voidaan tarkastella kohde yritykselle sopivaa työkalujärjestelmää ja siihen liittyvien parametrien ja varastointiratkaisujen määrittäystä. Hankintaparametrien määrittämisessä hyödynnetään konepajan ERP-järjestelmään tallennettua ostotilaushistoriaa, jonka avulla voidaan päätellä työkalujen kulutusta ja voidaan selvittää työkalujen yksikköhinta ja varastointi kustannukset.

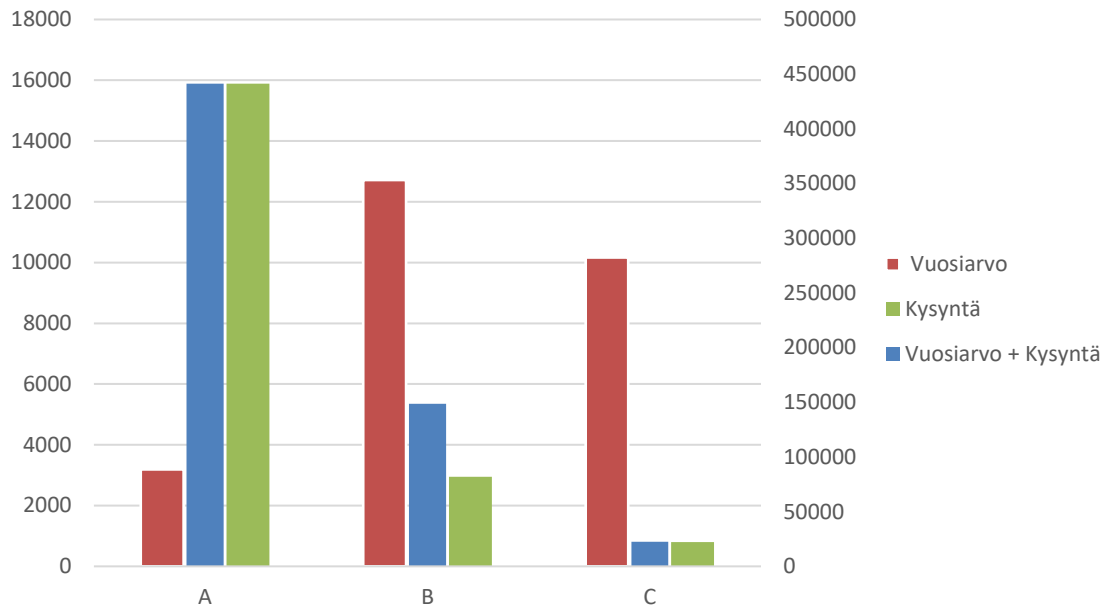
4.1 Työkalujärjestelmän rajaus

Työkalujärjestelmään ei ole kannattavaa sisällyttää kaikkia konepajan tietokannassa olevia työkaluja, koska tietokannassa hyvin paljon työkaluja, joiden kulutus vuodessa on alle 3 kappaletta. Näiden työkalujen kohdalla on kannattavampaa tarkastella tilausmäärää tapauskohtaisesti, jotta vähällä kulutuksella olevia työkaluja ei ole turhaan varastossa. Vähällä kulutuksella olevien tuotteiden tilauspisteeksi voidaan määrittää nolla tai yksi, koska toimitusajan voidaan olettaa olevan maksimissaan kaksi viikkoa.

Työkalujärjestelmälle tehtiin raakarajaus ennen tilastollista tarkastelua, jossa järjestelmästä poistettiin tuotteet, joiden tilaustarve ei synny kulutuksesta. Rajauksessa poistettiin esimerkiksi käsityökalut ja kiinnittimet, joiden tilaustarve syntyy muista syistä, kuin kulutuksesta. Satunnaisuuden vuoksi työkaluja ei ole kannattavaa pitää varastossa yhtä tai kahta enempää, jolloin työkaluille ei ole kannattavaa määrittää tilauspistettä tai tilausmäärää.

Työkalujärjestelmään puolestaan sisällytetään työkaluja, joiden kulutus on riittävän suurta ja joille on kannattavaa määrittää tilauspiste ja tilausmäärä. Järjestelmän tavoite on automatisoida suurella kulutuksella olevien työkalujen varastonkiertoa, jotta tilauksenkäsitteilykustannukset laskevat, kun jokaisen työkalun kohdalla ei tarvitse erikseen arvioida mahdollista kulutusta. Järjestelmässä olevien työkalujen varastotason laskiessa tilauspisteeseen tai sen alle koneistajat tekevät tilauspyynnön. Ostohenkilöstö vastaanottaa tilauspyynnön ja tilaavat uuden tilausmäärän suuruisen erän ilman erillistä tarvetta arvioida mahdollista kulusta.

Järjestelmään valittavia tuotteita vertailtiin kolmella eri kriteerillä vuosiarvo, kysyntä ja vuosiarvon ja kysynnän summa. Vertailun tulokset ovat esitelty kuvassa 1, jossa työkalut ovat jaoteltu ABC-luokkiin kysynnän perusteella. Kysynnän perusteella työkalut on jaoteltu luokkiin, jossa A-luokkaan sisältyy 14 % tuotteista ja C-luokkaan sisältyy 55 % tuotteista.



Kuva 1. Työkalujen luokitus

Kuvassa 1 vuosi-arvon ja kysynnän summan arvot ovat oikealla, koska arvot ovat huomattavasti suurempia, kuin kysynnän ja vuosi-arvon. Kuvasta 1 voidaan päätellä, että A-luokan työkalut edustavat suurinta osuutta tuotteiden kysynnästä 81 %. B-luokan ja C-luokan työkaluilla vuosi-arvo on puolestaan suurempi kuin A-luokan työkaluilla, joka voi johtua siitä, että suuret työkalut ja muiden erikoistyökalujen yksikkökustannukset voivat olla huomattavasti suurempia, kuin tavallisilla poranterillä ja teräpaloilla. Kun vertaillaan vuosi-arvon ja vuotuisenkysynnän summaa voidaan havaita kuitenkin, että A tuotteet edustavat suurta osuutta 72 % kustannuksista suuren kysyntänsä vuoksi.

Vertailun perusteella voidaan rajata työkalujärjestelmä A-luokan tuotteisiin, joiden varastonkierto nopeus on suurin. A-luokan tuotteille on siis kriittisintä määrittää standardoidut hankintaparametrit hankintakustannusten minimoinniksi. B- ja C-luokan tuotteiden kysyntä on hyvin pientä alle kolme kappaletta vuodessa, joten edellä mainituin perusteiden tuotteet voidaan jättää työkalujärjestelmän ulkopuolelle.

4.2 Tilauspisteen määrittäminen

Työkalujärjestelmässä varastonkierto nopeus on pieni, joten dynaamisten mallien hyödyntämisestä saatu hyöty on huomattavan pieni. Sen sijaan järjestelmässä voidaan soveltaa tilauspisteen periaatteen ja jaksollisen tarkastelun periaatetta. Tarkemmin siis sovelutuksessa koneistaja tekee tilauspyynnön, kun havaitsee, että jonkin työkalun varastotaso on laskenut alle tilauspisteen tai tilauspisteen tasolle. Käytännössä kun koneistaja vaihtaa uusia työkaluja koneistuskeskukseen ja havaitsee vaihdon jälkeen varastotason tippumisen tilauspisteen alapuolelle. Tilauspyynnöt kerätään tietokoneelle, josta ostaja käy jaksollisesti tietyn ajanjakson välein tarkastamassa mahdolliset tilauspyynnöt.

Järjestelmässä tilausmäärän laskentaan käytettiin tilauspisteen kaavaa 6, koska järjestelmän kysynnässä on havaittavissa vaihtelua, mutta toimitusaika voidaan olettaa vakioksi. Kaavan laskentaa varten selvitettiin kolmen vuoden ostotilaushistorian perusteella jokaiselle työkalulle vuotuinen keskikysyntä ja keskihajonta. Keskiarvoksi määritettiin 3 vuotta, koska yrityksen konekanta on vakiintunut neljään vasta 2014, joka vaikuttaa tilastoihin.

Toimitusajan vaihtelevuudessa hajonta on vähäistä ja hajonnasta ei ole saatavilla tilastoja, jotta toimitusajalle voitaisiin määrittää keskihajontaa. Toimitusaika on kuitenkin hyvin pieni varastonkiertonopeuteen verrattuna, joten toimitusaika voidaan olettaa vakioksi laskentakaavaan yksinkertaistuksen vuoksi. Laskuissa toimitusajan on oletettu olevan 2 viikkoa, vaikka todellisuudessa useiden tuotteiden toimitusaika voi vaihdella päivästä muutamaankin päivään. Järjestelmän palvelutaso määritellään lähes 100 %:ksi, koska työkalujen puutos voi aiheuttaa koko tuotantoprosessissa viivästyksiä. Työkalujen varastointikulut ovat huomattavan pieniä verrattuna tilausten myöhästymiskuluihin.

Tilauspisteen laskennassa tutkittiin kahta eri vaihtoehtoa, jossa kysyntä määritettiin eksponentiaalisen tasauksen menetelmällä vuodelle 2018 ja toinen käytetty tilastollinen menetelmä oli 3 vuoden liukuva keskiarvo. Tilauspiste laskettiin kaavalla 6, jossa toimitusajana oleva ennustettu kysyntä lisätään varmuusvarastoon. Saatavilla olevien ostotilastojen data on hyvin suppeaa, joten jotta tuloksista saadaan työkalujärjestelmään sopivia ja järkeviä niin käytetään kaavan tulosten lisäksi ehtoja.

Ensimmäinen käytetty ehto on, jos työkalun vuotuinen kysyntä on 10 kappaletta vuodessa tai enemmän. Käytetään toimitusajan ennustetun kysynnän laskennassa kuukausittaisia keskiarvoja, jolloin tarkastellaan nimikkeiden kulutusta kuukausitasolla. Ehto voidaan todeta mahdolliseksi, koska työkalujen vuotuisessa kulutuksessa ei ole sesonkivaihtelua. Toinen tilauspisteessä käytetty ehto on, kun tilauspiste on suuruudeltaan kaksi tai yksi tilauspisteeseen lisätään kuukauden varmuusvarasto, muuten varmuusvarasto jätetään pois, koska laskennallisesti tilauspiste jää muuten turhan korkeaksi, eikä palvele työkalujärjestelmän varastointia.

Lopullisessa tilauspisteen määrittämisessä tulee vielä tarkastaa varmuusvaraston suuruudet, jotta ne palvelevat kulutusta. Esimerkiksi joidenkin teräpalojen kulutus voi olla kahdeksan kappaletta kerralla, jolloin tilauspiste tulee määrittää siten, että varmuusvaraston suuruus on vähintään kahdeksan, jotta teräpaloja on aina saatavilla vähintään yhteen koneeseen.

4.2.1 Jaksollisen tarkastelun periaatteen hyödyntäminen

Lopullisessa ratkaisussa olisi hyvä myös soveltaa jaksollisen tarkastelun periaatetta. Jaksollisen tarkastelun periaatetta voitaisiin soveltaa esimerkiksi inventaario laskelmien te-

kemisessä neljännesvuosi, puolivuosi tai vuosi tasolla. Inventaario laskelmien tarkoituksena on kartoittaa varastoja, jotta olisi tiedossa mitä varastoissa on. B- ja C-luokkien työkalujen kulutuksessa, jotka eivät kuulu suoraan työkalujärjestelmään, ei ole minkäänlaista seurantaa. Inventaario laskennat voisivat pitää huolen, että varastoihin ei tilata turhaan uusia työkaluja, joiden kulutus on erittäin pientä.

Jaksollisen tarkastelun periaatetta kannattaisi myös soveltaa ostajan tehtävissä. Uusille tilauspyynnöille tulisi tehdä pilvipohjainen alusta, josta ostohenkilöstö voi käydä tarkastamassa jaksollisesti uudet tilauspyynnöt. Tarkastuksien jaksot kannattaisi kuitenkin pitää lyhyinä, esimerkiksi viikon tai muutaman päivän välein. Jaksoille on hankala määrittää laskennallisesti optimaalista pituutta, ja koska uusien tilauspyyntöjen tarkastamiseen kuluva aika on suhteellisen pieni, voidaan olettaa, että lyhyet tarkasteluvälit ovat kannattavia.

Taulukko 1. *Esimerkki tilauspyyntöjen pilvipohjasta*

Nimike	Päivämäärä	Allekirjoitus

Taulukossa 1 on esitelty eräs ratkaisu tilauspyyntöjen luomispohjasta. Taulukon nimike sarakkeeseen tulee tilattavan työkalujen standardinimike, jonka avulla ostajan on helppo löytää työkalu ERP-järjestelmästä ja tehdä ostotilaus. Päivämäärä sarakkeeseen tulee päivämäärä, jolloin tilauspyyntö on jätetty. Allekirjoitus sarakkeeseen tulee tilauspyynnön jättäneen koneistajan nimi, josta nähdään, kuka tilauspyynnön on jättänyt. Allekirjoitus sarakkeen avulla ostajan on helppo hankkia lisätietoja tilauspyynnöstä, jos pyyntöön liittyy epäselvyyksiä. Taulukko voi olla paperinen versio, joka sijaitsee työkaluvaraston lähellä, josta ostaja käy aikajaksojen välein tarkistamassa uudet tilauspyynnöt ja vaihtaa uuden taulukon vanhan tilalle sekaannusten välttämiseksi. Taulukko voi olla myös pilvessä, johon koneistajat käyvät tekemässä tilauspyynnöt ja josta ostaja käy aikajaksojen välein tarkistamassa uudet tilauspyynnöt. Pilvipohjaisessa versiossa voisi olla myös esimerkki sarakkeiden lisäksi tilattu sarake, johon ostaja voi lisätä päivämäärä, jolloin tilaus on tehty. Tilattu sarakkeen avulla koneistajat tietävät, milloin uusien työkalujen voidaan olettaa saapuvan. Työkalujen saavuttua vanhat tilaukset tulisi poistaa taulukosta, jotta taulukko on helppo lukuinen. Pilvipohjainen palvelu on hieman työlämpi ylläpitää, mutta mahdollistaa reaaliaikaisemman tilausten seurannan laajemmalla alueella.

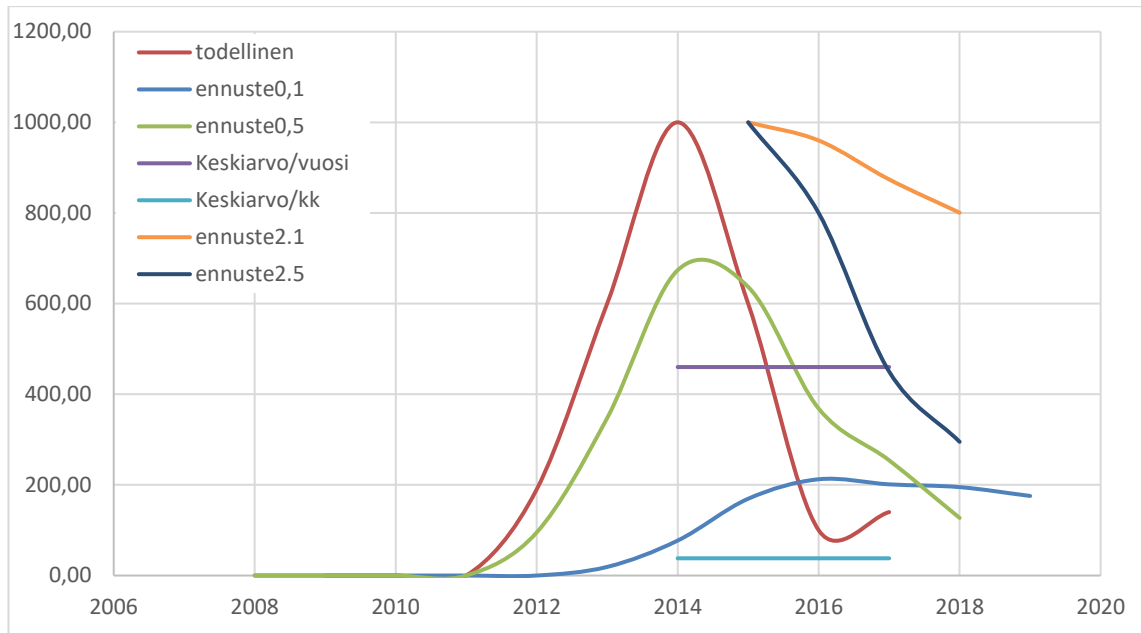
4.3 Tilausmäärän määrittäminen

Taloudellisen ostoerän laskentaa varten jokaiselle työkalulle tarvitsee selvittää ostotilaushistorian perusteella keskimääräinen kysyntä ja yksittäisen työkalun varastointikulut. Tilauskustannuksiin sisältyy ostotilauksen tekeminen ja tilauksen vastaanottaminen ja hyllyttäminen, jonka kokonaiskuluiksi arvioidaan 50 €. Vuotuinen keskiarvo saadaan laskemalla 3 vuoden tilaushistorian keskiarvosta. Varastointikulut saadaan kaavan 1 avulla käyttämällä 10 % korkokantaa.

Vuotuisella kysynnällä saadaan tuotteille sopiva tilausmäärä täyttämään koko vuoden kysynnän. Tuloksia tarkastellessa voidaan kuitenkin havaita, että joidenkin työkalujen tilausmäärät ovat huomattavan korkeita, joka lisää varastointikuluja ja vaikeuttaa varastonhallintaa. Varastonhallinnan yksinkertaistamiseksi asetetaan ehdoksi, jos tuotteen keskiarvo kysyntä vuodessa on 10 kappaletta vuodessa tai enemmän, lasketaan tilausmäärä täyttämään kuukauden kysyntä, jolloin taloudellisen ostoerän kaavassa 3 käytetään kuukauden keskiarvoa. Tällöin suurella kysynnällä olevien tuotteiden varastonkierto nopeus suurenee ja varaston sitoma pääoma pienenee.

Taloudellisen ostoerän käytön oletuksena on, että tuotteiden kysyntä on tasaista. Ostotilaushistorian data on hyvin hajaantunut ja vuotuinen hajonta voi olla hyvinkin suurta, joten selvitetään tuotteiden vuotuinen kysyntä käyttämällä kysynnän ennustamisen menetelmiä. Taloudellisen ostoerän laskentaa varten laskettiin vuodelle 2018 ennuste kahdella eri menetelmällä. Ensimmäisenä menetelmänä käytettiin liukuvan keskiarvon menetelmää. Liukuvassa keskiarvon menetelmällä ennustettiin vuoden 2018 kysyntä kolmen vuoden liukuvana keskiarvona, koska käytettävää ostotilaushistoria dataa ei ole suuremmalta ajalta. Toisena menetelmänä käytettiin eksponentiaalisen tasapainotuksen menetelmää. Eksponentiaalisen tasapainotuksen menetelmän painokertoimen määrittämisessä tutkittiin muutamia työkalua, joilla on suuri keskihajonta.

Erillisesti tutkittujen työkalujen kuvaajista voidaan havaita kysynnän määrittämisen haastavuus. Kuvaajat paljastavat visuaalisesti, kuinka hajanaista kysyntä tuotteilla on.



Kuva 2. Yhden nimikkeen ostotilaushistoria.

Kuvasta 2 voidaan tarkastella erään nimikkeen, jonka datassa on suuri hajonta, ostotilaushistoriaa. Kuvaan on myös piirretty eksponentiaalisella tasauksella tehdyt neljä ennuste käyrää. Eksponentiaalisien tasauksien ennustekäyrät on laskettu kahdella eri painokertoimella 0,1 ja 0,5. Ennuste2.1 ja ennuste2.5 käyrät ovat tehty ostohistoriadatasta, kun työstökoneiden määrä vakiintunut. Ennuste0.1 ja ennuste0.5 ovat kokohistorian datasta, jolloin niiden käyttö ei ole vertailu kelpoista, kun huomioidaan, että työstökoneiden määrä on kasvanut yhdestä koneesta neljään vuodesta 2008 vuoteen 2014.

Kuvassa 2 vertailukelpoisia tuloksia ovat siis eksponentiaalisien tasauksien ennustekäyrät ennuste2.1 ja ennuste2.5, sekä keskiarvojen käyrät keskiarvo/vuosi ja keskiarvo/kk. Vertaillen käyriä voidaan heti havaita, että eksponentiaalisien ennusteen painokertoimella 0,1 ennustama kysyntä on hyvin paljon yläkanttiin vuonna 2018. Kuukausikysynnälle tasatun keskiarvon käyrä jää alimmaisiksi, ja on lähimpänä todellista käyrää, joten voidaan havaita, että keskiarvon perusteella arvioitua kysyntää on kannattavinta käyttää ostoeräkoon määrittämisessä. Ostotilaushistoria dataa tarkastella tulisi myös huomioida, että kysyntää ei ole ennustettu ennen mitenkään, joten voidaan olettaa, että työkalujärjestelmän käyttöönotto tasaa ostotilaushistorian tilauskantaa.

4.4 Työkalujen standardointi

Työkalujärjestämisen hyödyn maksimoinniksi jokainen järjestelmässä oleva työkalu olisi hyvä standardoida 5S periaatteen mukaan. Käytännössä tämä tarkoittaa, että jokaisella järjestelmässä olevalla työkalulla on jokin oma nimike, jonka avulla työkalu on tunnistettavissa. Nimikkeiden käyttäminen järjestelmässä vähentää väärinymmärryksiä, joita voi syntyä, jos käytetään mittoja tai pahimmassa tapauksessa kansainomaisten nimekkeiden käyttöä.

5S:n ensimmäistä kohtaa erottele, voidaan käytännössä soveltaa työkalujärjestelmässä erottelemalla suurella käytöllä olevat työkalut harvemmalla käytöllä olevista. Toinen tärkeämpi erottelu on erotella eri nimikkeet toisista, sekä erotella erimittayksiköissä olevat työkalut, esimerkiksi kierrettyökalut, jotka ovat helppo sekoittaa toistensa kesken.

Toisen kohdan yksinkertaista, soveltaminen käytännössä tarkoittaa, että varastoitavat työkalut säilytetään yksinkertaisissa lokeroissa joiden käyttö helppoa ja työkalujen löytäminen on helppoa. Kolmas kohta puhdistusta on samoilla linjoilla, kuin edellinenkin, mutta kohdan noudattaminen käytännössä tarkoittaa, että ylläpidetään varastotasot ja -hyllyt siisteinä ja puhtaina.

Neljäs kohta standardoi ja viides kohta systematisoi tarkoittavat, että varastoinnista tulee tehdä systemaattinen toistuva prosessi, joka ylläpitää kolmen edellisen kohdan toimintoja tasaisin väliajoin.

Työkalujen nimeämisessä tulisi myös olla hyvät standardoidut nimikkeet, josta jokaisen yrityksen työntekijän on mahdollisuus tunnistaa työkalut. Kohde yrityksessä jokaiselle työkalulle on jo valmiina hyvät standardoidut nimikkeet, mutta niiden käytön systematisointia tulisi vielä parantaa. Helpoin lähestymistapa systematisoinnille on lisätä varastoon jokaisen työkalun varastopaikalle myös niiden standardoitu nimike, jotta koneistajien ei tarvitse nähdä ylimääräistä vaivaa etsiä työkalun nimike uutta tilauspyyntöä tehdessä.

5. YHTEENVETO

Työkalujärjestelmän tavoite, on minimoida työkalujen varastointiin kuuluva työpanos. Työkalujärjestelmän ei tarvitse välttämättä kattaa kaikkia työkaluja, ainoastaan työkalut, joiden kulutus on suurta ja työkaluja, joita kuluu useita vuodessa. Työkalujärjestelmässä on käytännössä siis kyse varastohallinnasta, jossa uusia työkaluja tilataan vakiintuneen prosessin avulla ja ylläpidetään työkaluvarastoja siisteinä ja järjestyksessä.

Varastohallinnassa työkalujen varmuusvaraston tulisi kattaa vähintään yhden koneistuskeskuksen tarpeet, kun jonkin työkalun kysyntä voi olla useita kappaleita kerralla yhteen koneistuskeskukseen. Tilausmäärät tulisi myös olla riittävän suuria, jotta tilauskustannukset eivät toistu liian usein, mutta riittävän pieniä, että varastointi kustannukset eivät nouse.

Työssä käsitellyt asiat parantavat yrityksen työkalujärjestelmän tehokkuutta, koska työtä varten on tutkittu, mihin työkaluista kohdistuu suurin kulutus. Yleensä varaston hallinnassa tutkitaan varastointikuluja, mutta työkalujärjestelmän suurimmat varastointikulut kattavien työkalujen kulutus on turhan pientä tilauspisteen ja -määrän määrittystä. Suurimmalla kulutuksella olevilla työkaluilla on suurimmat käsittelykulut.

Työn avulla yrityksen työkalujärjestelmä on siis tehokkaampi, koska suurella kulutuksella olevien työkalujen tilauksista saadaan rutiininomaisempia. Tilaukset helpottavat, koska jokaisen uuden tilauksen kohdalla ei tarvitse tarkastella uudestaan tilausmäärää, vaan tilausmäärät on laskettu jo valmiiksi yrityksen ERP-järjestelmään. Valmiin työkalujärjestelmä pohjan avulla järjestelmään kuuluvien työkalujen tilausmäärä on helppo päivittää, jolloin tilausmäärät seuraavat suhdanteita. Lisäksi työkalujärjestelmä parantaa työkalujen saatavuuden varmuutta tilauspisteen avulla, koska tilauspiste ylläpitää riittävän suurta varmuusvarastoa, jotta työkaluja on riittävästi myös toimituksen aikana.

Työkalujärjestelmien kehittämisessä voisi jatkossa hyödyntää digitalisaatiota. Digitalisaation avulla voisi esimerkiksi tutkia koneistusdataa ja seurata työkalujen kulumista, jonka avulla työkalujen kysynnän ennustaminen olisi huomattavasti tarkempaa. Lisäksi koneoppivan ohjelman hyödyntämistä varastohallinnassa olisi kannattavaa tutkia jatkossa.

LÄHTEET

Albrecht, M. (2017). Optimization of safety stocks in models with an order service level objective or constraint, *European Journal of Operational Research*, Vol. 263(3), pp. 900-909.

Altay, N. & Litteral, L.A. (2014). *Service parts management: demand forecasting and inventory control*, 1st ed. Springer Verlag, London,

Baykasoğlu, A., Subulan, K. & Karaslan, F.S. (2016). A new fuzzy linear assignment method for multi-attribute decision making with an application to spare parts inventory classification, *Applied Soft Computing*, Vol. 42 pp. 1-17.

Chakraborty, D. & Bhuiya, S.K. (2017). A Continuous Review Inventory Model with Fuzzy Service Level Constraint and Fuzzy Random Variable Parameters, *International Journal of Applied and Computational Mathematics*, Vol. 3(4), pp. 3159-3174.

Cheng, J. (2017). Improving Inventory Performance Through Lean Six Sigma Approaches, *IUP Journal of Operations Management*, Vol. 16(3),

Chopra, S. & Meindl, P. (2007). *Supply chain management: strategy, planning, and operation*, 3rd ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J,

Chu, C., Liang, G. & Liao, C. (2008). Controlling inventory by combining ABC analysis and fuzzy classification, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 55(4), pp. 841-851.

de Souza, R., Goh, M., Sundarakani, B., Wai, W.T., Toh, K. & Yong, W. (2011). Return on investment calculator for RFID ecosystem of high tech company, *Computers in Industry*, Vol. 62(8), pp. 820-829.

Dolgui, A. & Proth, J. (2010). *Supply chain engineering: Useful methods and techniques*, in: Anonymous (ed.),

Goldsby, T., Martichenko, R. & Books24x7, I. (2005). *Lean Six Sigma Logistics: Strategic Development to Operational Success*, J. Ross Publishing, Boca Raton, Fla,

Guillaume, R., Thierry, C. & Zieliński, P. (2017). Robust material requirement planning with cumulative demand under uncertainty, *International Journal of Production Research*, Vol. 55(22), pp. 6824-6845.

Heizer, J. & Render, B. (2006). *Operations management*, 8th ed. Pearson Education, Upper Saddle River (NJ),

Jacobs, F.R. (2011). *Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management*, APICS/CPIM Certification ed. McGraw-Hill Professional, US,

- Kiesmüller, G.P. & Inderfurth, K. (2017). Approaches for periodic inventory control under random production yield and fixed setup cost, *OR Spectrum*, pp. 1-29.
- Krajewski, L.J., Ritzman, L.P. & Malhotra, M.K. (2007). *Operations management: processes and value chains*, 8th ed. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ,
- Lapinleimu, I., Kauppinen, V. & Torvinen, S. (1997). *Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät*, WSOY, Helsinki; Juva; Porvoo,
- How Well Do You Know Your Current Spare Parts Inventory Operation?(2017). in: *Fleet Maintenance*, Cygnus Business Media, Fort Atkinson, pp. 36.
- Lewis, C. (2012). *Demand Forecasting and Inventory Control*, Routledge, Florence,
- Louly, M. & Dolgui, A. (2011). Optimal MRP parameters for a single item inventory with random replenishment lead time, POQ policy and service level constraint, *International Journal of Production Economics*, Vol. 143(1), pp. 35-40.
- Sharma, S. (2017). *Inventory Parameters*, 1st 2017 ed. Springer Verlag, Singapore,
- Stevenson, W.J. (2014). *Operations management*, 12th, global ed. McGraw Hill/Irwin, New York, NY,
- Suomala, P., Manninen, O. & Lyly-Yrjänäinen, J. (2011). *Laskentatoimi johtamisen tukena*, Edita, Helsinki,
- Tao, F., Fan, T.J., Lai, K.K. & Li, L. (2017). Impact of RFID technology on inventory control policy, *JOURNAL OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY*, Vol. 68(2), pp. 207-220.
- Tunc, H., Kilic, O.A., Tarim, S.A. & Eksioglu, B. (2011). The cost of using stationary inventory policies when demand is non-stationary, *Omega*, Vol. 39(4), pp. 410-415.
- Udayakumar, R. & Geetha, K.V. (2016). Economic ordering policy for single item inventory model over finite time horizon, *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, Vol. 8(S2), pp. 734-757.
- Wild, T. (2017). *Best Practice in Inventory Management*, Third; 3 ed. Routledge Ltd, Milton,
- Yang, L., Li, H., Campbell, J.F. & Sweeney, D.C. (2017). Integrated multi-period dynamic inventory classification and control, *International Journal of Production Economics*, Vol. 189 pp. 86-96.