



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

TUOTANTOTALOUDEN TIEDEKUNTA

Toimitusketjun johtaminen

Epävarmuuksien hallinta MRP- ympäristössä

Managing uncertainties in MRP-environment

Kandidaatintyö

Tommi Sisso

Tuomas Sorsa

TIIVISTELMÄ

Tekijä: Tommi Sisso, Tuomas Sorsa

Työn nimi: Epävarmuuksien hallinta MRP-ympäristössä

Vuosi: 2014

Paikka: Lappeenranta

Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, tuotantotalous.

34 sivua, 9 kuvaa ja 2 taulukkoa

Tarkastaja: Professori Timo Pirttilä

Hakusanat: MRP, Tuotannosuunnittelu, Epävarmuudet

Keywords: MRP, Production planning, Uncertainties

Tämä kandidaatintyö käsittelee MRP-ympäristöön liittyviä epävarmuuksia ja niiden hallintaa. Työssä esitellään MRP ja sen suhde tuotannosuunnitteluun. Tämän jälkeen MRP:hen liittyvät epävarmuudet jaetaan loogisiin kokonaisuuksiin ja eritellään kirjallisuuden perusteella niiden vaikutuksia yrityksen ja MRP:n suorituskykyyn. Viimeisenä esitellään keinoja, joilla epävarmuuksia voidaan hallita.

MRP-ympäristön epävarmuudet voidaan jakaa ulkoisiin ja sisäisiin epävarmuuksiin. Ulkoiset epävarmuudet johtuvat yrityksen ulkopuolisista tekijöistä kuten kysynnästä ja toimituksista. Sisäiset epävarmuudet puolestaan johtuvat yrityksen sisäisistä tekijöistä kuten saannosta tai läpimenoajoista. Nämä epävarmuudet johtavat kustannusten kasvamiseen, toimitusten viivästymiseen ja tuotannon ja tuotantosuunnitelmien *hermostuneisuuteen*.

Epävarmuuksien hallintaan on tunnistettu useita eri menetelmiä: *varmuusvarastot, varmuusläpimenoajat, MPS:n jäädyttäminen ja suunnitteluhorisontin valinta, hedging, saantotekijät, ylituotanto ja täydennyserien sopiva valinta*. Kukin näistä hallintakeinoista soveltuu parhaiten tietyn epävarmuuden hallintaan. Kullakin hallintakeinolla on myös haitallisia vaikutuksia MRP-järjestelmän toiminnalle.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	3
1.1	Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset	3
1.2	Työn rakenne	4
2	MRP-JÄRJESTELMÄ.....	5
3	MRP-YMPÄRISTÖN EPÄVARMUUDET.....	9
3.1	Epävarmuuden määritelmät ja luokittelu	9
3.2	Epävarmuuden luokittelu	10
3.3	Ulkoiset epävarmuudet	11
3.4	Sisäiset epävarmuudet.....	11
3.5	Epävarmuuksien seurauksia MRP järjestelmässä.....	14
4	EPÄVARMUUKSIEN HALLINTA	16
4.1	Hallintakeinot.....	16
4.1.1	Varmuusvarastot.....	17
4.1.2	Varmuusläpimenoajat.....	18
4.1.3	Täydennyserämenetelmät.....	20
4.1.4	Suunnitteluhorisontti	21
4.1.5	MPS:n jäädyttäminen	21
4.1.6	MPS hedging, saantokertoimet ja ylituotanto	24
4.2	Hallintakeinojen luokittelu.....	25
4.3	Ulkoisen kysynnän epävarmuuksien hallinta.....	26
4.4	Ulkoisen tarjonnan epävarmuuksien hallinta.....	27
4.5	Sisäisten epävarmuuksien hallinta	28
4.5.1	Läpimenoaikojen epävarmuuksien hallinta.....	28
4.5.2	Saannon epävarmuuden hallinta.....	29
5	YHTEENVETO JA LOPPUPÄÄTELMÄT.....	30
5.1	Nykyisen tieteellisen tutkimuksen tila	32
6	LÄHTEET.....	33

LYHENNELUETTELO

MRP	Materials Requirement Planning, Materiaalitarvelaskenta
ERP	Enterprise Resource Planning, Toiminnanohjausjärjestelmä
MPS	Master Production Schedule, Tuotantosuunnitelma
POR	Planned Order Release, Materiaalitarvesuunnitelma
BOM	Bill of Materials, Osaluettelo
MTS	Manufacture to Stock, Varasto-ohjautuva tuotanto
MTO	Manufacture to Order, Tilausohjautuva tuotanto
EOQ	Economic Order Quantity, Taloudellinen täydennyseräkkö
L4L	Lot for Lot
POQ	Periodic Order Quantity
PPB	Part Period Balancing
SM	Silver-Meal
LUC	Least Unit Cost

1 JOHDANTO

Materiaalitarvelaskentajärjestelmät eli niin sanotut MRP-järjestelmät (Material Requirements Planning) ovat hyvin laajalti levinneitä ja käytettyjä. Iso osa valmistavista yrityksistä käyttää MRP:tä tuotantonsa suunnitteluun. Vaikka yritysten tietojärjestelmät ovat kehittyneet ensin MRP:n, MRP II:n ja ERP:n kautta nykyisiin ERP II järjestelmiin, on perinteinen MRP edelleen näiden järjestelmien keskeisimpiä moduuleita.

Kuten kaikki deterministiset järjestelmät, perinteinen materiaalitarvelaskenta on kuitenkin hyvin riippuvainen lähtöarvojen tarkkuudesta ja oikeellisuudesta. Järjestelmä luo aikataulut olettaen, että toimitukset tulevan ajallaan ja sovitun kokoisina, lopputuotteen kysyntä on ennusteen mukainen ja tuotannon koneet toimivat suunnitellulla tehokkuudella ja käytettävyydellä. MRP:n tuloksena syntyvä materiaalitarvelaskelma on ennusteiden mukaisessa tilanteessa täydellinen ja eksakti suunnitelma.

Todellisuudessa MRP:n käyttämiin muuttujiin liittyy useita epävarmuuksia. Esimerkiksi toimittaja voi olla kykenemätön toimittamaan tiettyä päivänä tai valmistuksen kannalta keskeinen kone tai laite voi olla rikki. Myös yrityksen asiakas saattaa vaikeuttaa tilannetta esimerkiksi muuttamalla tilaustaan. Nämä muutokset johtavat MRP:n epäonnistumiseen; tavoiteltuun tuotantosuunnitelmaan ei päästä tai luotu tuotantosuunnitelma ei vastaa todellista tarvetta. Epävarmuuden realisoituessa yrityksen täytyy joko luoda täysin uusi suunnitelma tai sopeuttaa toimintaansa. Epävarmuuksista yrityksille aiheutuvat kustannukset ovat merkittäviä.

Epävarmuuksiin ja muuttujien epätarkkuuksiin voidaan kuitenkin pyrkiä vastaamaan. Tunnistamalla tiettyyn järjestelmään liittyvät epävarmuudet etukäteen, voidaan tuotannonsuunnittelun keinoilla varautua mahdollisten epävarmuuksien varalle. Tuotantosysteemiin voidaan esimerkiksi luoda puskuroivia varmuusvarastoja tai varata tuotteille niiden laskennallisia aikoja pidemmät läpimenoajat.

1.1 Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tämän kandidaatintyön tarkoitus on tutkia MRP-ympäristöön liittyviä epävarmuuksia ja niiden hallintaa. Työn keskeisenä tavoitteena on tuoda yhteen eri epävarmuuksista tehtyä tutkimusta ja esittää kokoelma tutkijoiden esittämiä keinoja, joilla MRP:n epävarmuuksia voidaan hallita.

Tutkimuksen tavoitteet johtavat tutkimuskysymyksen muodostamiseen:

Kuinka MRP ympäristön epävarmuuksia voidaan hallita?

Tutkimuskysymyksestä voidaan johtaa joukko alikysymyksiä, joihin vastaaminen johtaa päätutkimuskysymykseen vastaamiseen. Nämä alitutkimuskysymykset ovat:

1. Mitä tarkoitetaan MRP:llä?
2. Minkälaisia epävarmuuksia MRP ympäristössä ilmenee?
3. Millä keinoilla epävarmuuksia voidaan hallita?
4. Mitkä hallintakeinot soveltuvat mihinkin epävarmuuteen?

1.2 Työn rakenne

Tämä kandidaatintyö on jaettu kolmeen osaan. Ensimmäisessä osassa määritellään, mitä tarkoitetaan MRP:llä eli materiaalitarvelaskennalla. Tässä osassa esitellään MRP:n keskeisiä osia ja toimintaperiaatteita. Nämä määritelmät luovat pohjan myöhemmälle epävarmuuksien määrittelylle ja luokittelulle. Työn ensimmäinen osa vastaa ensimmäiseen alitutkimuskysymykseen.

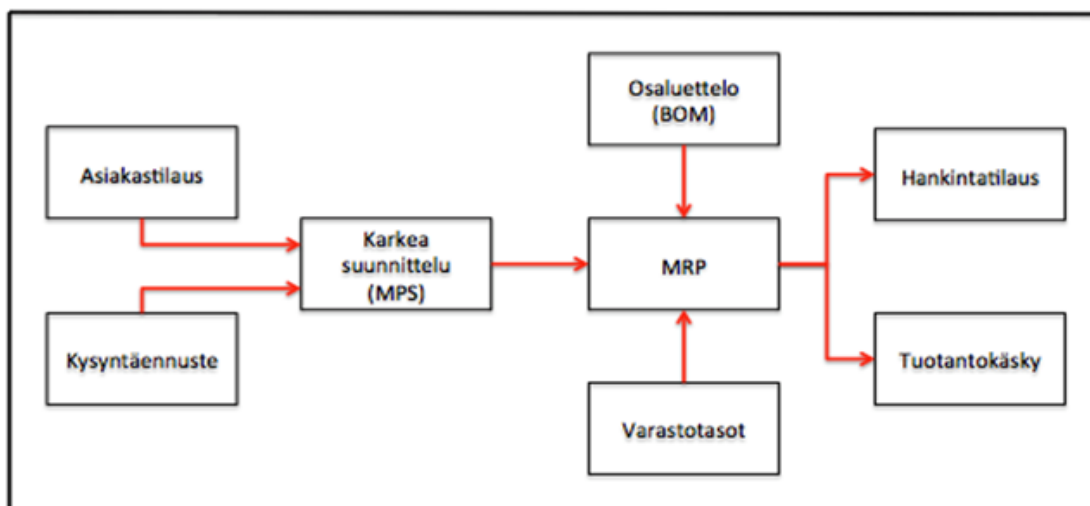
Työn toisessa osassa pohditaan materiaalitarvelaskentajärjestelmiin liittyviä epävarmuuksia. Työssä esitellään ja vertaillaan kirjallisuudessa esitettyjä epävarmuuksien määritelmiä, nimeämisiä ja jaotteluja. Työn toisen vaiheen tarkoitus on muodostaa viitekehys, jonka avulla eri hallintakeinoja voidaan jäsentää. Toisella osalla vastataan toiseen alitutkimuskysymykseen.

Työn kolmas ja viimeinen osa vastaa kolmanteen ja neljänteen alitutkimuskysymykseen. Tässä osassa muodostetaan viitekehys epävarmuuksien hallintakeinoille. Tämän lisäksi esitetään eri hallintakeinojen toimintaperiaatteet ja vertaillaan kirjallisuuden perusteella eri hallintakeinojen vaikutuksia ja toimivuutta eri epävarmuuksien hallinnassa. Työn lopussa pohditaan myös nykyisen tieteellisen tutkimuksen tilaa.

2 MRP-JÄRJESTELMÄ

MRP-järjestelmällä (Material Requirements Planning) tarkoitetaan toimintojen, päättelysääntöjen ja tietueiden loogista kokonaisuutta, jonka tehtävänä on muuntaa tuotannon karkea suunnitelma eli MPS-suunnitelma (Master Production Schedule) aikariippuvaisiksi materiaaltarpeiksi. MRP ajon tuotosta kutsutaan POR (Planned Order Release) suunnitelmaksi, joka kuvaa kuinka paljon ja millä ajanhetkillä kutakin tuotetta tuotetaan. Käytännössä tämä suunnitelma ilmenee hankintatilaus- ja tuotantomääräyksinä. (Orlicky 1975, s. 21-22; Koh et al. 2002). MRP-järjestelmä on alkuperältään tarkoitettu valmistusteollisuuden yhteyteen helpottamaan ja optimoimaan tuotannon läpivientiä. MRP-ympäristö on esitetty kuvassa 1.

MRP tarvitsee toimiakseen kolme syötettä. Nämä syötteet ovat tuotannon karkeasuunnittelu (MPS), osaluettelo (Bill of Materials eli BOM) sekä varastotasot (Inventory records). (Orlicky 1975, s. 21-22; Krajewski et al., 2007, s. 629) Materiaalitarvelaskenta lähtee liikkeelle takaperoisesti. Järjestelmä aloittaa laskennan tuotteen vaaditusta valmistuspäivästä ja laskee materiaaltarpeet lisäämällä tähän arvioidun tuotannon läpimenoajan. Tämä toimenpide tehdään osaluettelon jokaiselle komponentille ja osakokoonpanolle. (Ould-Louly ja Dolgui 2004,s. 369)



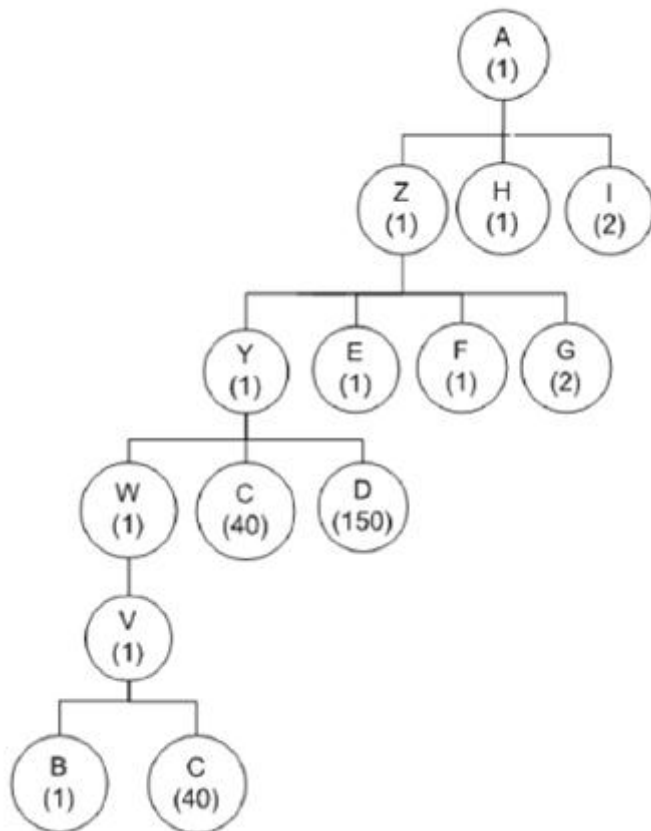
Kuva 1. MRP-ympäristön prosessikuvaus (Koh 2001)

MPS kuvaa lopputuotekysynnän vastaamiseen tarvittavat tuotantomäärät. Suunnitelman luomisessa hyödynnetään kysyntätietoja, varastoinformaatiota, läpimenoaikoja,

tuotantokapasiteettia sekä erityyppisiä kustannustietoja (Dolgui ja Prodhon 2007). Tämän avulla saadaan aikaan tuotantoaikataulus, mistä nähdään valmistettavien tuotteiden määrä tietyssä aikayksikössä (Krajewski et al., 2007, s. 630-631). Karkea suunnittelu kuuluu tuotannonohjauksessa niin sanottuihin ”Front end”-toimenpiteisiin eli ne ovat osa esivalmisteluja, jotka suoritetaan ennen varsinaista materiaalityöskentää. (Vollman et al. 2005, s. 7-8)

MPS-suunnitelman muuntamiseksi komponenttikohtaisiksi tarpeiksi MRP tarvitsee tiedon, kuinka kukin lopputuote koostuu komponenteista ja välikokoonpanoista. Tästä osaluettelosta käytetään usein lyhennettä BOM eli Bill of Materials. Tarvittavien komponenttien lisäksi järjestelmä tarvitsee tiedon komponenttien välisistä suhteista. Kirjallisuudessa tästä suhteesta puhutaan usein parent/child suhteena. BOM havainnollistetaan usein puu-rakenteena, jossa kukin taso vastaa välikokoonpanoa. Puussa yläpuolella oleva komponentti on ”parent” ja alapuolinen komponentti puolestaan ”child”. Kunkin haaran viimeiset komponentit puolestaan ovat lähtökomponentteja tai raaka-aineita. (Krajewski et al., 2007, s. 629-630; Aydin ja Güngör 2005)

Kuvassa 2 on esitetty mielivaltaisen tuotteen A BOM. Rakenne kertoo, että tuote koostuu neljästä osasta: komponenteista Z ja H sekä kahdesta yksiköstä komponenttia I. Kuvan BOM kertoo myös, että komponentit H ja I ovat yrityksen kannalta lähtöaineita, ja ne todennäköisesti hankitaan toimittajilta. Komponentti Z puolestaan rakentuu useista alikomponenteista.

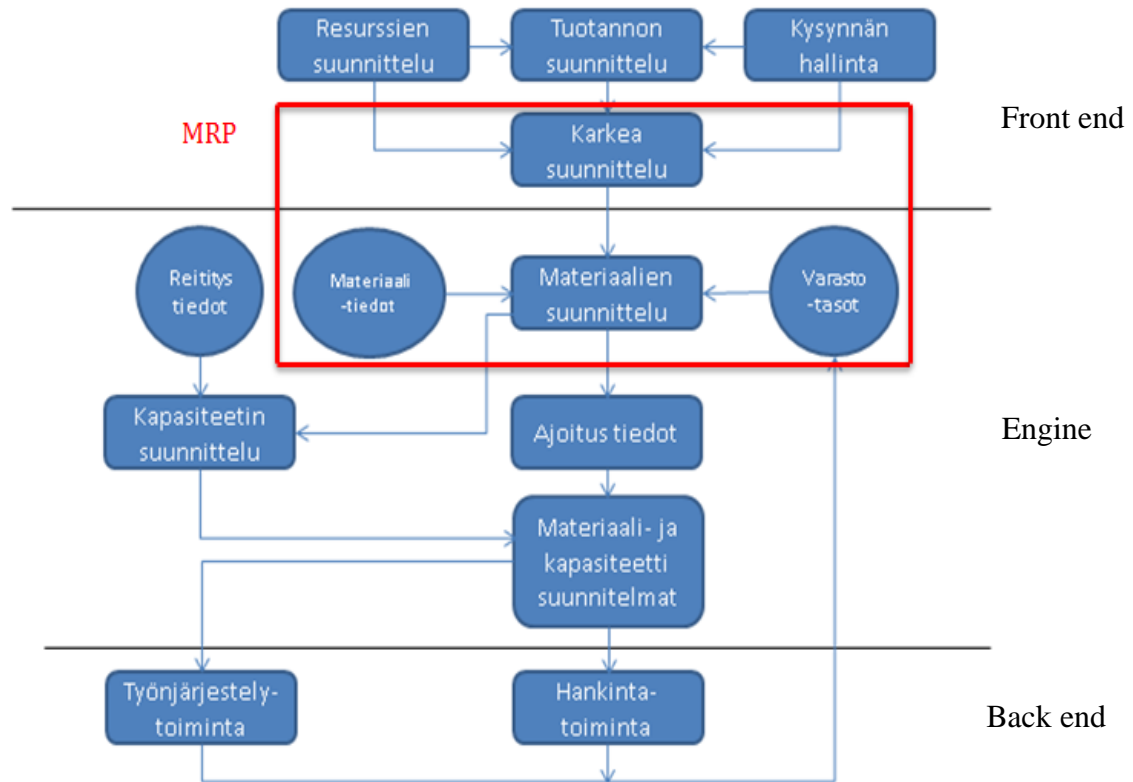


Kuva 2. Tuotteen A monitasoinen osaluettelo (Aydin ja Güngör 2005)

MPS:n ja BOM:n lisäksi materiaalitovelaskenta tarvitsee kolmantena syötteenä varastotiedot, joista kirjallisuudessa puhutaan termillä ”Inventory records”. Näihin tietoihin kuuluvat mm. komponenttien hinnat, tilauspisteet, toimitusajat, varmuusvarastot ja tuotteen varastosaldo tietyllä ajanhetkellä. (Fogarty et al. 1991, s. 316 – 317) Näiden tietojen avulla MRP päättelee komponenttien valmistus tai tilaustarpeet. Nämä tilaus- ja valmistustarpeet määritetään vertaamalla MPS:stä BOM:n avulla laskettuja komponenttikohtaisia tarpeita ja kunkin komponentin varastotietoja.

MRP on yksi osa suurempaa kokonaisuutta, jota kutsutaan tuotannonohjaukseksi. Tuotannonohjauksen tehtävänä on optimoida saatavilla olevien resurssien käyttö ja näin ollen maksimoida tuotannon sujuvuus ja varmistaa halutun tuotantoaikataulun pitävyys. Kuvassa 3 on esitetty MRP osana laajempaa tuotannonohjausta. Tuotantosunnitelma luodaan valmistavassa eli niin sanotussa ”Front end”-vaiheessa. Itse laskenta ja MRP:n logiikka tapahtuvat ”Engine” vaiheessa. Tässä vaiheessa tapahtuu myös MRP:n ulkopuolisia toimintoja kuten kapasiteetin suunnittelua. ”Back end” vaiheeseen kuuluvat MRP:n ja

tuotannonohjauksen konkreettiset tulokset eli tuotanto- ja hankintamääräykset, jota toteuttavat luodut suunnitelma käytännössä. (Vollman et al. 2005, s. 7 – 9, 188 – 193)



Kuva 3. Tuotannonohjaus ja sen hallinta (Vollman et al. 2005, s. 189; Koh 2001)

3 MRP-YMPÄRISTÖN EPÄVARMUUDET

MRP-ympäristöön liittyvät epävarmuudet ovat seurausta kaikille ohjausjärjestelmille tyypillisestä tarpeesta toimia tunnetussa ja tiedetyssä ympäristössä (Koh 2001). Tämä tarkoittaa sitä, että optimaalista toimintaa varten syötteenä annettavien tietojen tulisi olla paikkansapitäviä. Jos järjestelmän tekemät oletukset ja ennusteet toteutuvat, tuotantosuunnitelma olisi tähän ympäristöön täydellinen suunnitelma. Koh (2001) mukaan tuotantojärjestelmiin usein liittyy kuitenkin vaihtelua esimerkiksi läpäisyajoissa, laadussa, kapasiteetissa ja saannossa. Nämä muutokset aiheuttavat haasteita MRP:n toiminnalle, sillä ne johtavat luodun tuotantoaikataulun ja materiaalarvelaskelman epäonnistumiseen.

3.1 Epävarmuuden määritelmät ja luokittelu

Oxford English Dictionaryn (2014) yleisen määritelmän mukaan sana epävarma (uncertain) tarkoittaa: "a) ei tapahdu määrättynä tai tiettyinä ajanhetkenä b) ei määrätty tai tietty määrällisesti". Yleisesti johtamisen kannalta Galbraith (1973) on määritellyt epävarmuuden tehtävän suorittamiseen tarvittavan tiedon ja jo tunnetun tiedon erotuksena. Tällaisten epävarmuuksien vaikutuksia MRP:n toimintaan on tutkittu varsin laajalti. Myös näissä tutkimuksissa puhutaan yleisesti tiedon puuttumisesta. Esimerkiksi Arshinder et al. (2011, s. 40) mukaan "epävarmuudella viitataan mahdolliseen tapahtumaan liittyvän tiedon tai tietoisuuden puuttumiseen".

Gupta ja Brennan (1995) tekevät epävarmuuden määritelmässä lisäksi eron muuttuvien tekijöiden ja epävarmojen tekijöiden välillä. He jakavat tekijät vakioihin, tunnettuihin muuttujiin ja tuntemattomiin muuttujiin. Vain viimeistä ryhmää voidaan heidän mukaansa pitää epävarmoina. Tämän ennustamattoman vaihtelun voidaan ajatella johtuvan sekä lyhyen aikavälin ennustevirheestä että pitkän aikavälin keskiarvon muutoksesta (Feng et al. 2011). Esimerkiksi lopputuotteen kysyntä vaihtelee satunnaisesti keskiarvon ympärillä ja toisaalta kysynnän keskiarvo muuttuu tuntemattomalla tavalla pitkällä aikavälillä.

MRP:n kannalta epävarmuus voidaan siis ymmärtää tärkeään muuttujaan liittyvänä tiedon puuttumisena. Valmistava yritys esimerkiksi tietää tarkasti tuotannon läpäisyajat ja mahdollisesti myös keskihajonnat. Yritys ei kuitenkaan voi varmuudella tietää, milloin läpäisy aikaan ei päästä tai kuinka paljon aikataulusta poiketaan. Tiedon puutteesta huolimatta komponenttien läpäisyajat ovat tuotannonsuunnittelun kannalta keskeisiä. MRP joutuu

tekemään tuotantopäätökset vajavaisilla tiedoilla, jolloin saatavilla oleva ja tarvittava tieto ovat erisuuret. MRP:n kannalta tuotantojärjestelmän läpäisy aika on siis epävarma; se vaihtelee järjestelmälle tuntemattomalla tavalla.

Tutkimuskirjallisuudessa epävarmuudesta ja epävarmoista tekijöistä käytetään useita eri nimityksiä ja termejä. Suurin osa kirjallisuudesta (esimerkiksi Gupta ja Brennan (1995)) puhuvat epävarmuuksista termillä uncertainty. Tämän lisäksi osa artikkeleista (esimerkiksi Aytug et al. (2005)) puhuu ajoittain myös häiriöistä (disruptions tai perturbations); erityisesti puhuttaessa tuotantojärjestelmän sisäisistä epävarmuuksista.

3.2 Epävarmuuden luokittelu

Tuotannosuunnitteluun ja MRP:hen liittyviä epävarmuuksia luokitellaan kirjallisuudessa usealla eri tavalla. Yleisin tapa luokitella epävarmuuksia on jakaa ne syötteiden- ja prosessin epävarmuuksiin (esimerkiksi Koh et al. 2002, s.2401; Ho 1989, s. 1115). Syötteet voidaan ymmärtää yrityksen ulkoisina tekijöinä ja prosessin epävarmuudet liittyvät MRP:n ja yrityksen sisäiseen toimintaan. Koh (2001) perustaa väitöskirjassaan tämän jaon systeemiteoreettiseen tarkasteluun. Hänen mukaansa jokainen systeemi perustuu kolmeen osaan: syötteet, prosessi ja tuotos. Tuotannosuunnittelun ja MRP:n tapauksessa tuotos voidaan kuitenkin jättää, ja tässä työssä jätetään, huomiotta, sillä valmiisiin tuotteisiin liittyviin epävarmuuksiin ei sinänsä voida vaikuttaa tuotannosuunnittelun keinoin eivätkä nämä epävarmuudet vaikuta yrityksen valmistuskykyyn (Koh et al, 2002 s. 2401).

Epävarmuuksien jakamisesta ei kuitenkaan olla täysin yksimielisiä. Koh:n ulkoisten ja sisäisten epävarmuuksien lisäksi kirjallisuudessa puhutaan muun muassa ympäristön- ja järjestelmän- (Ho, 1989) ja kysynnän- ja tarjonnan epävarmuuksista (Gupta ja Brennan, 1995). Ho:n (1989) määritelmää, joka perustuu yrityksen fyysiseen rajaan, voidaan pitää Koh:n määritelmää vastaavana mutta eri tavalla nimettynä. Kysyntään ja tarjontaan perustuva jako on kuitenkin lähtökohdiltaan eriävä. Tällöin luokkiin kuuluu epävarmuuksia, jotka toisissa luokitteluissa kuuluvat eri ryhmiin.

Epävarmuudet ja toisaalta epävarmuuksien seuraukset eivät ole kuitenkaan täysin yhtenäisiä tutkimuskirjallisuudessa. Osa artikkeleista puhuu epävarmuuksina tekijöistä, joita toiset tutkijat pitävät epävarmuuksien seurauksina. Esimerkiksi Koh (2002) jakaa epävarmuudet sisäisiin ja ulkoisiin, joiden seurauksena syntyy laatuun, määrään ja läpäisy aikaan liittyviä

puutostiloja. Toisaalta esimerkiksi Inderfurth (2009) määrittelee epävarmuuden yläkäsitteiksi määrä- ja aikataulun epävarmuudet. Erityisesti läpäisyajkojen epävarmuudet on määritelty kirjallisuudessa useilla eri tavoilla.

3.3 Ulkoiset epävarmuudet

Ulkoiset epävarmuudet voidaan edelleen jakaa kahteen osaan. Yleisesti käytetty luokittelu (katso esimerkiksi Koh et al. 2002 tai Mula et al. 2006) jakaa nämä epävarmuudet ulkoisten toimitusten ja ulkoisen kysynnän epävarmuuksiin. Gupta ja Maranas (2003) mukaan ulkoiseen kysyntään liittyvä epävarmuus on tuotantojärjestelmän keskeisimpiä epävarmuuksia. Kysynnän epävarmuudella tarkoitetaan valmiiden tuotteiden tarpeen eroamista ennustetusta tarpeesta (Dolgui ja Prodhon 2007). Koh ja Saad (2003) mukaan tämä epävarmuus voi johtua kysyntäennusteen epätarkkuuksista ja virheistä tai asiakkaan mahdollisesti suunnittelu- tai tuotantajakson aikana tekemistä muutoksista tilausvolyymissa tai tuotespesifikaatioissa. Myös yrityksen sisäisessä tuoterakenteessa voi tapahtua muutoksia tuotannonsuunnittelun aikana (Koh et al. 2005).

Toimitusten epävarmuus tarkoittaa toimittajien kyvyttömyyttä toimittaa sovitusti. Toimituksiin liittyvät epävarmuudet voivat liittyä esimerkiksi toimitusten ajankohtaan, toimitusten laatuun, toimitettavaan määrään tai toimitettavien komponenttien oikeellisuuteen (Koh et al. 2002; Koh et al. 2005)

3.4 Sisäiset epävarmuudet

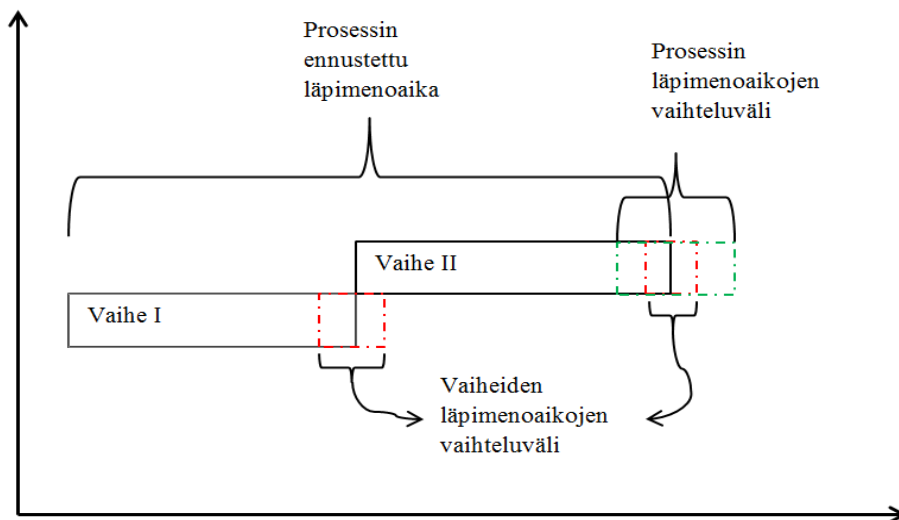
Sisäiset epävarmuudet liittyvät ja johtuvat tarkasteltavan tuotanto- tai suunnittelujärjestelmän ja yrityksen omista ominaisuuksista, prosesseista ja tekijöistä. Mula et al. (2006) mukaan näitä ovat esimerkiksi tuotannon läpimenoajan epävarmuus, saannon epävarmuus, laadun epävarmuus, mahdolliset koneiden rikkoutumiset ja tuoterakenteessa mahdollisesti tapahtuvat muutokset.

Krajewski et al. (2007) mukaan läpimenoajalla tarkoitetaan sitä aikaa, joka tarkasteltavan tuotteen osalta kuluu tuotantolaitteiden asetuksiin, itse tuotteen prosessointiin, materiaalitoimintoihin operaatioiden välillä ja odottamiseen. Läpimenoaika on siis aika tuotteen tilaamisen ja tuotteen valmistumisen välillä (Krajewski et al. 2007, s. 639). Läpimenoajan tarkka tunteminen on tärkeää, koska MRP -järjestelmä käyttää sitä

tilauspäästösten tekemisessä ja prioriteettien asettamisessa (Melnik ja Piper 1985). MRP käyttää laskelmissaan suunniteltua läpimenoaikaa, koska todellinen läpimenoaika on tuntematon ja epävarma (Ould-Louly ja Dolgui 2004). Läpimenoaikojen epävarmuus on yksi MRP-ympäristöjen suurimmista häiriölähteistä ja ylimääräisten kustannusten aiheuttajista (Ould-Louly ja Dolgui 2004; Gupta ja Brennan 1995)

Ho ja Lau (1994) mukaan syitä läpimenoaikojen epävarmuuksille ovat muun muassa konerikot ja toimittajien myöhästyneet toimitukset. Tässä suhteessa määritelmä poikkeaa kirjallisuuden yleisestä määritelmästä, jonka mukaan toimittajien prosessit ja niiden vaikutukset liittyvät ulkoisiin epävarmuuksiin. Lisäksi läpimenoaikojen vaihtelut voivat johtua esimerkiksi ruuhkasta (kapasiteetin puute) tai huonosta priorisoinnista (Melnik ja Piper, 1985).

Läpimenoaikojen tuntematon vaihtelu on keskeinen ongelma erityisesti pitkissä tuotantoketjuissa, joissa seuraava vaihe tarvitsee edellisen vaiheen tuotosta. Jos tietty vaihe valmistuu suunniteltua aikataulua myöhässä, kaikki seuraavat vaihteet tulevat myöhästymään suunnitelmasta. Tämä vaikutus on esitetty kuvassa 4, jossa koko prosessin läpimenoaikojen vaihteluväli on yksittäisten vaiheiden läpimenoaikojen vaihteluvälien summa.



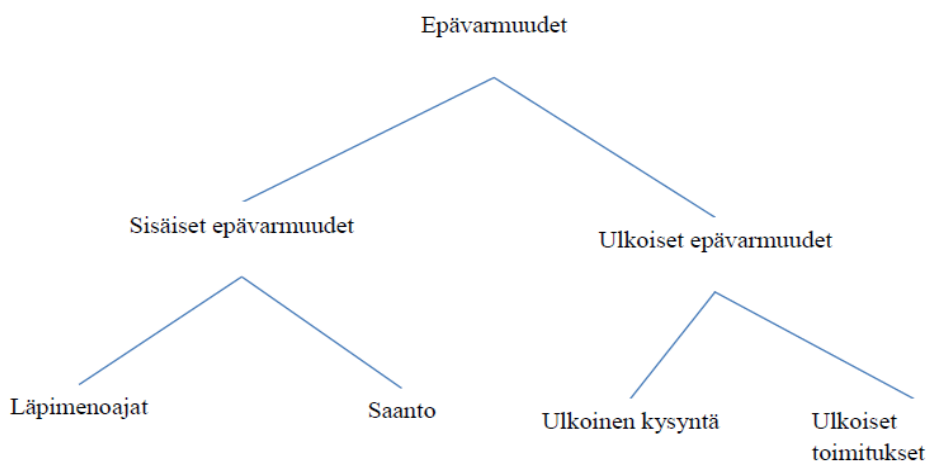
Kuva 4. Läpimenoaikojen vaihtelu ja vaihtelun vaikutus prosessin läpimenoaikaan.

Saannolla tarkoitetaan sitä määrää, joka tuotantoprosessista saadaan tuloksena tietyllä määrällä syötettä (Investopedia 2013), ja toisaalta saannon epävarmuudella tarkoitetaan saannon ennustamatonta vaihtelua tuotantoprosessissa. Hegseth (1984) mukaan saannon vaihtelua tapahtuu kaikissa valmistavissa yrityksissä ja se on tuotannosuunnittelun kannalta

keskeinen muuttuja - varsinkin pitkissä tuotantoketjuissa, joissa seuraava tuotantovaihe tarvitsee edellisen vaiheen tuloksia. Saannon epävarmuuden syitä ovat tuotantoprosessin joustamattomuus - tuotteen on käytävä tietyt määrät tuotantovaiheet tietyssä järjestyksessä - ja tiukat tuotannon toleranssit, mikä tarkoittaa esimerkiksi tuotteiden laatuun liittyviä hylkäyspäätöksiä.

Läpimenoaikojen epävarmuudet voidaan myös nähdä saannon ja hukan epävarmuuksien seurauksena. Pandey ja Hasin (1998) esittävät, että läpimenoaikojen vaihtelut johtuvat nimenomaan saannon vaihteluista. Kun tuotantovaiheella on tietty kapasiteetti, ja saanto putoaa, täytyy vaadittuun määrään pääsemiseksi valmistusta ajaa pidempään, mikä puolestaan johtaa viivästymiseen. Tällöin prosessin seuraava vaihe aloittaa aikataulusta jäljessä.

Saannon ja läpimenoaikojen lisäksi tuotantoprosessiin liittyy useita muitakin sisäisiä epävarmuuksia. Näitä ovat esimerkiksi konerikot (Koh et al. 2002), työvoiman epävarmuudet (kuten sairastumiset ja poissaolot) (Koh 2001) sekä laadun epävarmuudet (Mula et al. 2006). Näitä epävarmuuksia tai niiden hallintaa ei ole juurikaan käsitelty kirjallisuudessa. Toisaalta nämä epävarmuudet voidaan ymmärtää aikaisemmin esitettyjen epävarmuuksien syinä. Koh (2001) mainitsevat työvoiman epävarmuudet johtavat läpimenoaikojen vaihteluihin ja toisaalta esimerkiksi laadun epävarmuudet voidaan nähdä saannon epävarmuuksien osana. Tässä työssä sisäisinä epävarmuuksina pidetään läpimenoaikojen- ja saannon epävarmuuksia. Kokonaisuudessaan tässä työssä käytetty epävarmuuksien jako on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Työssä käytetty epävarmuuksien luokittelu.

3.5 Epävarmuuksien seurauksia MRP järjestelmässä

Edellä mainitut epävarmuudet aiheuttavat deterministiselle MRP:lle ylitsepääsemättömiä ongelmia. Lähtöarvoille tehtyjen ennusteiden ollessa väärässä, tehdyt laskelmat eivät enää voi pitää paikkaansa. Tätä MRP:n kyvyttömyyttä ottaa epävarmuudet huomioon alkuperäisessä laskennassa pidetään yleisesti MRP:n keskeisenä ongelmana (Inderfurth, 2009). Epävarmuuksien realisoituminen johtaa tarpeeseen suunnitella materiaalitardeet uudelleen (rescheduling) eli muuttaa aikaisemmin luotu suunnitelma vastaamaan nykyistä tilannetta (Aytug et al. 2005).

Ho (1989) mukaan juuri jatkuva uudelleen suunnittelun tarve on jäykästi toimivan MRP:n keskeisin toiminnallinen haaste. Koska ympäristö muuttuu jatkuvasti, täytyy myös tuotantosuunnitelmia ja tarvelaskelmia päivittää jatkuvasti. Tätä suunnitelmien jatkuvaa muuttamista ja järjestelmän yleistä epästabiilisuutta kutsutaan kirjallisuudessa yleisesti MRP:n tai MPS:n ”hermostuneisuudeksi” (MRP nervousness) (Ho 1989; Aytug et al. 2005). Tämä ilmiö on haasteellinen sillä useampivaiheisessa tuotantojärjestelmässä hermostuneisuus toistuu seuraavissa vaiheissa (Blackburn et al. 1986).

MRP:n hermostuneisuus aiheuttaa tuotantojärjestelmällä useita haasteita. Ensinnäkin useat tutkimukset mainitsevat seurauksena kokonaiskustannusten kasvamisen ja kapasiteetin vaihtelevan käytön (Ho 1989; Yeung et al. 1998). Kustannusten kasvaminen johtuu esimerkiksi tuotantolaitteiston asetuskustannusten kasvusta. Tämän lisäksi jatkuvasti muuttuvat tuotantosuunnitelmat ja aikataulut voivat aiheuttaa käytännön ongelmia tuotantolinjalla ja -henkilöstölle (Ho 1989).

Murthy ja Ma (1991) pitävät MRP:n hermostuneisuutta vain MPS:n ominaisuutena ja siten ulkoisen kysynnän ja tarjonnan epävarmuuksista johtuvana. Heidän mukaansa sisäiset epävarmuudet puolestaan johtavat suunnitelluista tuotantomääristä poikkeamiseen, mikä johtaa kyvyttömyyteen vastata asiakkaiden kysyntään täydellisesti tai ajallaan. Koko MRP-järjestelmän kannalta nämä seuraukset johtavat tilausten tehottomaan täyttämiseen, suunnittelelmattomiin asetuskustannuksiin, myynnin menettämiseen, ylimääräisiin tai puutteellisiin varastoihin ja jatkuvaan uudelleen suunnitteluun.

Aytug et al. (2005) jakaa epävarmuuksista aiheutuvat kustannukset kolmeen osaan. Nämä ryhmät ovat:

1. kustannukset, jotka hukataan varautumalla epävarmuuksiin, jotka eivät koskaan toteutuneet
2. kustannukset, jotka johtuvat epävarmuuksiin varautumisesta häiriöiden aikana
3. kustannukset, jotka syntyvät häiriöiden aikana tai niiden jälkeen, kun järjestelmä joudutaan konfiguroimaan uudestaan (rescheduling)

Aytug et al. (2005) mukaan epävarmuuksista johtuvia kustannuksia syntyy siis aina. Sekä varautuminen ja puskurointi että epävarmuuksien realisoituminen aiheuttavat kustannuksia. Periaatteessa yritys voi kasvattaa varautumiskustannuksia ja pienentää epävarmuuksien seurauksien kustannuksia tai olla varautumatta ja kärsiä seurauksista. Käytännössä kaikki tutkimukset lähtevät liikkeelle oletuksesta, että varautuminen kannattaa ja tulee pitkällä aikavälillä halvemmaksi.

4 EPÄVARMUUKSIEN HALLINTA

MRP-järjestelmään liittyy monia epävarmuuksia ja nämä epävarmuudet aiheuttavat ongelmia ja haasteita tuotannosuunnittelulle. Epävarmuudet esimerkiksi nostavat kustannuksia ja aiheuttavat jatkuvan uudelleensuunnittelun tarpeen. Epävarmuuksien hallinta voidaan siten ymmärtää toimintana, jolla pyritään minimoimaan tuotantojärjestelmälle aiheutuvat haitat kuten järjestelmän epävakaas ja kustannusten kasvu. Samanaikaisesti tulee pyrkiä myös maksimoimaan yrityksen tavoitteet kuten toimitusvarmuus ja -nopeus.

Epävarmuuksia ja niiden vaikutuksia vastaan täytyy varautua ja toisaalta niiden realisoituessa vaikutukset pitää minimoida. MRP ei kuitenkaan deterministisen luonteensa vuoksi pysty itse huomioimaan näitä epävarmuuksia (Wacker 1985). Tästä johtuen tuotannosuunnittelun tulee luoda MRP järjestelmään mekanismeja, joilla voidaan hallita epävarmuuksia joko ennen niiden realisoitumista tai niiden realisoitumisen jälkeen. (Aytug et al. 2005). Perinteisesti tuotannosuunnittelussa näitä keinoja ovat olleet esimerkiksi varmuusvarastojen pitäminen, niin sanottujen ”varmuusaikojen” lisääminen tuotteiden läpimenoaikoihin ja täydennyseräkokojen säätäminen.

Tässä työssä rajoitutaan tarkastelemaan vain jo olemassa olevien ja jo tunnistettujen epävarmuuksien hallintaa. Pitkällä aikavälillä yrityksen tulisi kuitenkin pyrkiä vähentämään ja poistamaan järjestelmänsä epävarmuuksia. Epävarmuuksien poistaminen vaatisi esimerkiksi toimenpiteitä liittyen koko toimitusketjuun, kuten aliurakointia ja JIT ratkaisuja, eikä näiden tarkastelu ole relevanttia MRP:n kannalta. Tässä osiossa tarkastellaan, kuinka aikaisemmin tunnistettuihin ja eriteltyihin epävarmuuksiin voidaan vastata tuotannosuunnittelun keinoin.

4.1 Hallintakeinot

Usein epävarmuuksista tehdyt tutkimukset keskittyvät yhteen epävarmuuteen tai yhteen hallintakeinoon. Tämän jälkeen tutkimukset yleensä tarkastelevat simuloinnin avulla tiettyjen mittareiden, esimerkiksi kokonais- tai varastointikustannusten, käyttäytymistä. Epävarmuuksista ja niiden hallintakeinoista tehty tutkimus onkin varsin hajallaan.

Muutamit tutkimukset ovat koonneet yhteen epävarmuuksista tehtyä tutkimusta ja esittäneet listauksia eri hallintakeinoista. Yksi selkeimmistä esityksistä on Murthy ja Ma (1991) kokoama lista. Heidän mukaan MRP-ympäristön epävarmuuksien hallintakeinoja ovat:

- Varmuusvarastojen käyttö
- Varmuusläpimenoaikojen käyttö
- Hedging
- Ylituotanto
- Saantotekijöiden käyttö

Nämä hallintakeinot toistuvat kirjallisuudessa (esimerkiksi Mula et al. 2006). Kuitenkin Dolgui ja Prodhon (2007) mielestä MRP:n toimintaan voidaan vaikuttaa niin sanottujen MRP:n parametrien kautta. Näitä parametreja ovat varmuusvarastot, varmuusläpimenoajat, täydennyseräkoot, MPS:n “jäädyyttäminen” ja MPS:n suunnitteluhorisontti. Myös Yeung et al. (1998) päätyy lähes vastaavaan listaan.

Edellä esitetyt hallintamenetelmät eivät kuitenkaan ole välttämättä ristiriidassa. Murthy ja Ma (1991) esittävät keinoja, joita voidaan pitää suunnittelun lähtökohtina tai periaatteina. Esimerkiksi Mula et al. 2006 puhuu näistä menetelmistä “konseptuaalisina” (conceptual) menetelminä. MRP:n parametrien säätäminen puolestaan on näiden konseptien käytännön toteuttamista.

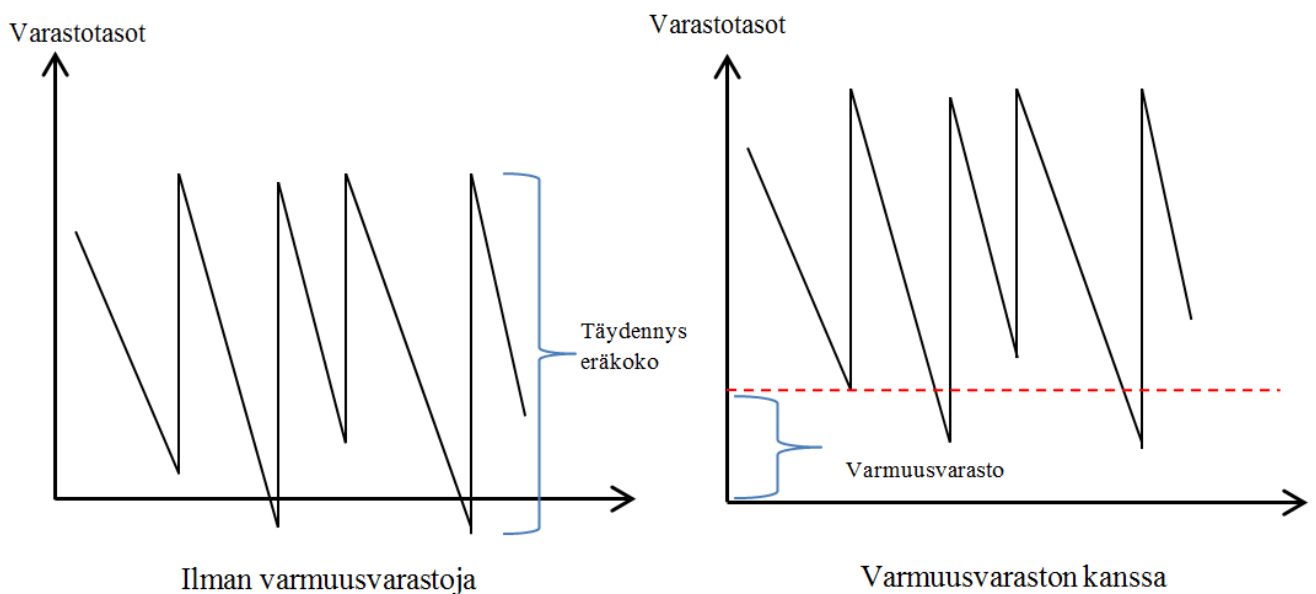
4.1.1 Varmuusvarastot

Krajewski et al. (2007) mukaan varmuusvarastolla tarkoitetaan tuotteiden varastoitavaa ylimäärää, jolla pyritään varautumaan epävarmuuksiin kysynnässä, läpimenoajoissa ja toimituksissa. Perinteisesti varmuusvaraston koko lasketaan kertomalla kysynnän keskihajonta jollakin positiivisella yhtä suuremmalla luvulla (Dolgui ja Prodhon 2007). Varmuusvarastoja yritys voi pitää tuotantoprosessin eri vaiheissa; voidaan esimerkiksi varastoida raaka-aineita, välituotteita tai lopullisia kokoonpanoja.

Varmuusvarastojen pitäminen on ehkä perinteisin ja käytetyin menetelmä vastata epävarmuuksiin. Sen toiminnasta ja käytettävyydestä eri epävarmuuksien hallinnassa ei kirjallisuudessa olla kuitenkaan yhtä mieltä. Lisäksi varmuusvarastojen käyttäminen epävarmuuksia vastaan puskuroinnissa riippuu yrityksen tuotannonohjausmuodosta. Wacker (1985) mukaan MTS-järjestelmä (varasto-ohjautuva) voi varautua kysynnän epävarmuuksiin yksinkertaisesti lopputuotteiden varmuusvarastolla. MTO ympäristössä puolestaan yrityksen tulisi pyrkiä modularisoimaan tuotteen BOM ja määrittää varmuusvarastot ulkoisesti

tilattaville tuotteille.

Kuva 6 esittelee varmuusvarastojen toimintaperiaatteen. Kun varmuusvarastoja ei pidetä, satunnaisesti käyttäytyvä kysyntä ja täydennyserätkoko johtavat puutostiloihin. Näissä tilanteissa tuotantojärjestelmän varastot eivät pysty vastaamaan niille kohdistuvaan kysyntään. Varmuusvarastoilla voidaan kasvattaa keskimääräistä varastotasoa, mikä mahdollistaa puutostilojen välttämisen. Kuvan tilanteessa identtisellä kysynnällä puutostilojen määrä putoaa kahdesta nolnaan, kun järjestelmään lisätään varmuusvarasto.



Kuva 6. Varmuusvarastoinnin vaikutus varastotasoihin.

Varmuusvarastojen käytön keskeinen haittapuoli on luonnollisesti kasvaneet varastotasot. Tämä johtaa varastointi kustannusten kasvuun, kun varaston fyysinen koko kasvaa ja hävikki sekä pilaantuminen lisääntyvät. Lisäksi varmuusvarastojen hyödyntämistä haittaa se, että tutkimuskirjallisuus ei ole yksimielinen siitä, missä tuotantoprosessin vaiheessa (raaka-aine, komponentti, välituote tai lopputuote) varmuusvarastoja kannattaa pitää. Varmuusvarastojen koko voidaan myös määrittää usealla eri tavalla. (Murthy ja Ma, 1991)

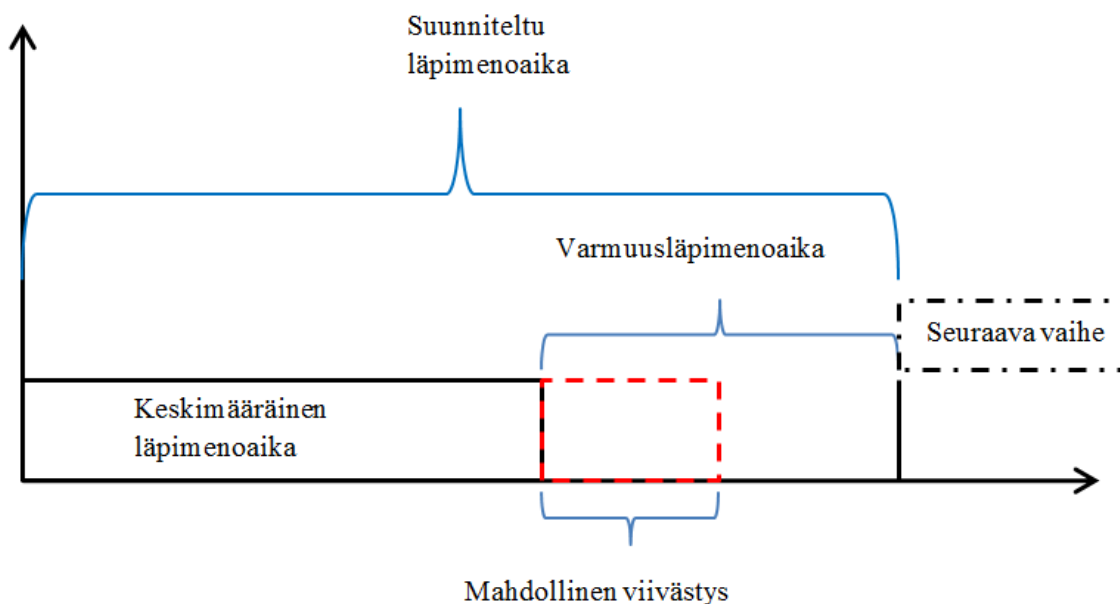
4.1.2 Varmuusläpimenoajat

Varmuusläpimenoajat (Safety lead time) voidaan ymmärtää ylimääräisen valmistusajan antamisena tuotteille. Toiminta vastaa pitkälti varmuusvaraston toimintaa - tuotteelle annetaan hieman todellista enemmän aikaa kulkea prosessin läpi, jolloin pienet vaihtelut

läpimenoajoissa eivät johda koko tuotantosuunnitelman epäonnistumiseen ja uudelleen aikataulutukseen. Ould-Louly ja Dolgui (2003) esittävät, että varmuusläpimenoajat voidaan määrittää samalla tavalla kuin varmuusvarastot eli lisäämällä keskimääräiseen läpimenoaikaan jokin läpimenoaikojen keskihajonnan positiivinen monikerta. He kuitenkin huomauttavat, ettei optimaalisen läpimenoajan määrittämiselle ole muodostettu eksaktia matemaattista mallia ja muut tutkimukset lähestyvät asiaa vain simulointien kautta.

Kuten varmuusvarastojen tapauksessa, myös läpimenoaikojen pidentämisen vaikutuksista ja toimivuudesta ei ole täyttä yksimielisyyttä. Ould-Louly ja Dolgui (2003) viittaavat esimerkiksi kahteen tutkimukseen, jotka ovat päätyneet täysin vastakkaisiin tuloksiin. Toisen tutkimuksen mukaan varmuusläpimenoajat toimivat tehokkaammin kuin varmuusvarastot (Whybark ja Williams 1976), kun taas toisen tutkimuksen (Grasso ja Taylor 1984) mukaan varmuusvarastot puskuroivat paremmin epävarmuuksia vastaan.

Varmuusläpimenoaikojen toiminta on esitetty kuvassa 7. Vaikka kuvan tilanteessa ensimmäisessä tuotantovaiheessa syntyy viivästys, joka on merkitty punaisella värillä, ei tuotantoprosessin suunnitellulle läpiviennille aiheudu ongelmia. Ongelmia ei synny, koska syntynyt viivästys on lyhyempi kuin tuotantovaiheelle määritetty varmuusläpimenoaika.



Kuva 7. Varmuusläpimenoaikojen toiminta.

Varmuusläpimenoaikojen käyttö ei kuitenkaan ole täysin ongelmaton. Jos läpimenoajat asetetaan todellisia läpimenoaikoja korkeammiksi, tuotannon kokonaisläpimenoaika venyy.

Tuotannonläpimenoajan venyminen puolestaan heikentää yrityksen kykyä vastata markkinoiden tarpeisiin. (Enns 2001) Tämä ilmiö on erityisen ongelmallinen pitkissä tuotantoketjuissa, joissa mahdollisesti jokaisessa vaiheessa suunniteltu läpimenoaika on todellista läpimenoaikaa suurempi. Enns (2001) huomauttaa lisäksi, että varmuusläpimenoajat voivat toimia itseään vastaan aiheuttamalla työmäärän kasvun ja todellistenkin läpimenoaikojen venymisen. Enns (2001) pitää tätä tuotannonläpimenoaikojen venymistä yhtenä MRP:n keskeisistä heikkouksista.

4.1.3 Täydennyserämenetelmät

MRP:n kolmas parametri, jota muuttamalla voidaan mahdollisesti vaikuttaa epävarmuuksiin, on täydennyserien määrittäminen ja siihen käytettävä menetelmä (Lot-Sizing rules). Tällä tarkoitetaan sekä täydennyserän koon että täydennysvälin ja tiheyden määrittämistä (Melnik ja Piper, 1985). Täydennyserällä tarkoitetaan kerralla tilattavaa tai valmistettavaa määrää. Täydennyseräkoolla on keskeinen merkitys esimerkiksi varastotasoihin. Tämä on esitetty kuvassa 6.

Perinteisiä täydennyseräkoon määrittämisen menetelmiä ovat esimerkiksi taloudellinen täydennyseräkoko (EOQ), täsmälleen kulutusta vastaava Lot for lot ja kiinteät täydennyseräkoot (Orlicky, 1975). Muita kirjallisuuden mainitsemia menetelmiä ovat esimerkiksi Periodic Order Quantity (POQ), Newsboy, Silver-Meal ja Wagner-Whitin algoritmi (Ould-Loyly ja Dolgui 2004; Yeung et al. 1998). Menetelmät voidaan jakaa staattisiin (esim. EOQ) ja dynaamisiin (esim. Wagner-Whitin algoritmi). Staattiset menetelmät laskevat yhden täydennyseräkoon ja käyttävät sitä, kun taas dynaamiset järjestelmät, joita kutsutaan usein heuristiikoiksi, laskevat jatkuvasti optimaalista eräkokoa. (Orlicky, 1975)

Yeung et al. (1998) on koontanut yhteen eri tutkimusten tuloksia eri parametrien vaikutuksista MRP:n kustannuksiin ja toimivuuteen. Näiden havaintojen perusteella eri täydennyserämenetelmillä ei vaikuta olevan juurikaan vaikutusta MRP:n suorituskykyyn. Myös Orlicky (1975) on päätenyt tähän lopputulokseen. Yeung et al. (1998) huomauttaa lisäksi, että yleisimmin yrityksissä käytetään hyvin yksinkertaisia menetelmiä täydennyserien määrittämiseksi.

Toisaalta osa tutkimuksista pitää täydennysmenetelmän valintaa merkityksellisenä. Esimerkiksi Melnykin ja Piperin (1985) mukaan eri menetelmät optimoivat eri tekijöitä. Jotkin menetelmät minimoivat varastonpitokustannukset mutta kärsivät läpimenoaikojen venymisestä. Toisilla menetelmillä voidaan puolestaan minimoida läpimenoaikojen kasvaminen, mutta varjopuolena varastonpitokustannukset voivat nousta. Esimerkiksi Bodt (1982), johon Koh et al. (2002) viittaa, päätyy tulokseen, jonka mukaan staattinen EOQ pärjää dynaamisia menetelmiä paremmin kysynnän ennustevirheiden ollessa suuria.

4.1.4 Suunnitteluhorisontti

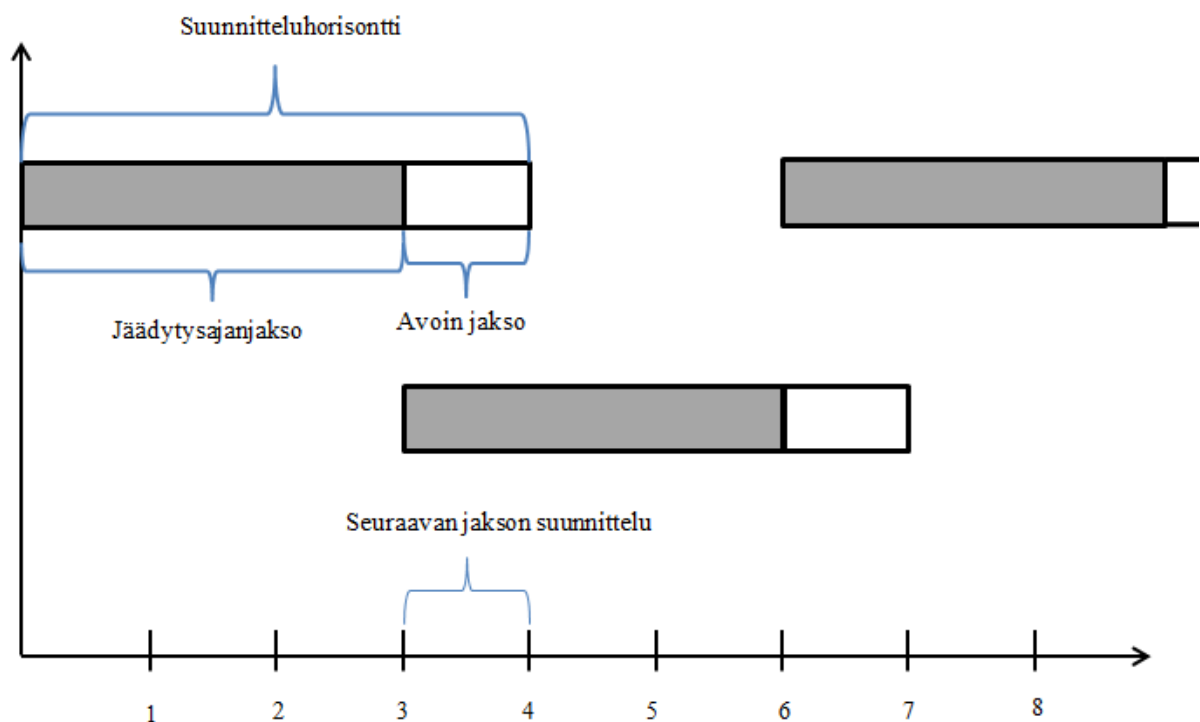
Suunnitteluhorisontti (Planning Horizon) tarkoittaa sitä aikaa, jolle tuotantosuunnitelmat ja materiaalitarvelaskelmat luodaan. Näin ollen siis suunnitteluhorisontti muotoutuu yksittäisten tuotantoperiodien muodostamasta kokonaisuudesta. Suunnitteluhorisontin tuotantoperiodit voivat olla joko jäädytettyjä tai avoimia. Avoimella periodilla tarkoitetaan sellaista tuotantoperiodia, jota on mahdollista muokata vielä sen suunnittelun jälkeen. Esimerkiksi kysyntäennusteen epätarkkuus voi vaikuttaa päätökseen muuttaa alkuperäistä tuotantoperiodia. Suunnitteluhorisontin jäädyttäminen mahdollistaa vakaamman tuotannon läpiviennin, mutta toisaalta se voi laskea yrityksen kokonaistulosta. Tämä johtuu siitä syystä, että mahdolliseen ennalta arvaamattomaan kysynnän kasvuun ei ole jäädyttämisestä johtuen mahdollista vastata. (Xie et al., 2002) Suunnitteluhorisontti on havainnollistettu kuvassa 8.

Suunnitteluhorisontin pituus vaikuttaa tuotannosuunnittelun eri tunnuslukuihin. Xie et al., (2002) ovat simulaatiotutkimuksissaan havainneet, että mitä pidempi suunnitteluhorisontin ajanjakso on, sitä korkeampaan palveluasteeseen on mahdollista yltää. Kokonaiskustannukset ovat tällöin myös matalammat. Toisaalta suunnitteluhorisontin pidentäminen vaikuttaa negatiivisesti tuotantosuunnitelman stabiiliuteen ja näin ollen epävarmuus ja häiriöt lisääntyvät.

4.1.5 MPS:n jäädyttäminen

MPS:n eli tuotantosuunnitelman jäädyttämisellä tarkoitetaan sellaista tilannetta, jossa tuotantosuunnitelma sidotaan ennalta määräytyksi ajanjaksoksi kiinni ilman, että tähän pystytään tekemään kyseisen ajanjakson aikana muutoksia. Tämän jäädytyksen tarkoituksena on vähentää tuotannossa esiintyviä häiriöitä ja poikkeustilanteita, jotka johtuvat äkillisistä muutoksista tuotantosuunnitelmassa. Jäädyttäminen siis stabilisoi tuotantoa ja sen läpivientä.

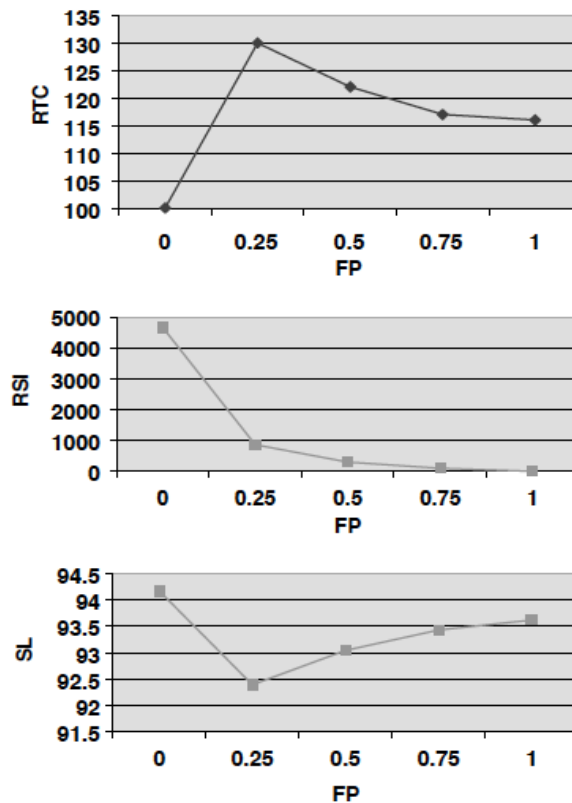
Tuotantosuunnitelmassa huomioidaan aikaisempaa kysyntäinformaatiota, jonka avulla luodaan ennuste ja tämän ennusteen avulla kulloinenkin tuotantomäärä määritetään. Kyseisen ajanjakson jälkeen omaa ennustetta verrataan todelliseen kysyntäinformatiikkaan ja tämän avulla pystytään jälleen määrittämään seuraavalle jäädytettävälle periodille uusi ennuste ja näin saadaan määritetyksi uusi tuotantomäärä. Ajanjakson pituus voi vaihdella riippuen esimerkiksi valmistussuunnitelman luonteesta. Tuotantosuunnitelman jäädyttämisen ajanjakso voi olla pituudeltaan esimerkiksi neljä viikkoa. (Sridharan ja Berry 1990) MPS:n jäädyttäminen osana suunnitteluhorisonttia on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Suunnitteluhorisontti ja jäädyttäminen

Kuvassa 8 on esitetty suunnitteluhorisontti ja sen jäädyttäminen. Kuvan tilanteessa suunnitteluhorisontti on pituudeltaan neljä viikkoa ja tästä MPS:n jäädytysajanjakso on kolme viikkoa. Näiden kolmen viikon jälkeen on viikon mittainen avoin jakso, jonka aikana on mahdollista suorittaa suunnitteluhorisontin uudelleensuunnittelu. Kuvan tapauksessa uudelleensuunnittelu suoritetaan ja näin ollen uusi suunnitteluhorisontti alkaa viikosta kolme. Näin ei tarvitse olla; mikäli tuotantosuunnitelma osuu ennusteeseen nähden hyvin ja uudelleensuunnittelua ei tarvita, seuraava MPS voisi alkaa alkuperäisen suunnitelman mukaisesti viikolla 4.

Xie et al. (2002) ovat simulaatiotutkimuksessaan vertailleet MPS:n jäädyttämisosuuden vaikutuksia kolmella eri mittarilla. Nämä mittarit ovat suhteellinen kokonaiskustannus (kuvassa RTC eli Relative Total Costs), suhteellinen aikataulutuksen epävakaas (kuvassa RSI eli Relative Schedule Instability) ja palveluaste (kuvassa SL eli Service Level). Kuvassa 9 on esitetty näiden mittareiden suhteellinen käyttäytyminen, kun jäädyttämisen osuutta muutetaan nollan ja yhden välillä. Nolla tarkoittaa sitä, että jäädyttämistä ei käytetä suunnitteluhorisontissa lainkaan ja yksi tarkoittaa sitä, että koko suunnitteluhorisontti on täysin jäädytetty ja näin ollen siihen ei pystytä mahdollisista toimintaympäristön muutoksista huolimatta tekemään muutoksia.



Kuva 9. Tuotantosuunnitelman jäädyttämisen suhteelliset vaikutukset (Xie et al., 2002)

Kuvasta 9 nähdään, että suhteelliset kustannukset ovat suurimmat silloin, kun neljännes suunnitteluhorisontista on jäädytetty. Tämän jälkeen suhteelliset kokonaiskustannukset pienenevät, kun suunnitteluhorisontista jäädytetään suurempi osuus. Tuotannon epävakaas puolestaan on suurimmillaan silloin, kun jäädyttämistä ei ole tuotannonohjauksessa lainkaan. Tällöin mikä tahansa muutos johtaa koko tuotantosuunnitelman uusimiseen. Neljänneksen

jäädyttäminen laskee merkittävästi tuotannon epävakausta (indeksi 5000 -> 1000). Tämän jälkeen tuotannon epävakausta laskee, kun jäädyttämisen osuutta kasvatetaan. Näin ollen tuotannon epävakausta ei esiinny lainkaan, mikäli koko suunnitteluhorisontti jäädytetään.

Palveluasteen kohdalla tapahtuu laskua, mikäli neljännes suunnitteluhorisontista jäädytetään. Palveluaste kuitenkin paranee, kun jäädyttämisosuutta suunnitteluhorisontissa kasvatetaan kohti arvoa yksi. Suunnitteluhorisontin totaalinen jäädyttäminen ei kuitenkaan palauta palveluastetta samalle tasolle, mitä se on silloin, kun jäädyttämistä ei tuotannosuunnittelussa esiinny lainkaan.

4.1.6 MPS hedging, saantokertoimet ja ylituotanto

Hallintakeinojen viimeisen ryhmän muodostavat MPS hedging, saantokertoimet ja ylituotanto. Kaikkia näitä menetelmiä yhdistää kysyntää suurempi tuotanto. Ylituotannon toteutustavassa on kuitenkin menetelmien välillä eroja.

MPS hedging liittyy läheisesti samannimiseen yleiseen riskienhallintastrategiaan, jolla pyritään rajoittamaan tiettyjen tapahtumien vaikutuksia yrityksen toimintaan (BusinessDictionary, 2014). MPS hedgellä tarkoitetaan jatkuvan ylimäärän luomista tuotannosuunnitelmaan. Kun jokaisessa tuotantovaiheessa tuotetaan hieman ylimääräistä, on varmuusvarastointi sisäänrakennettu järjestelmään. Kussakin vaiheessa tuotettava määrä perustuu yli- tai alituotannon arvioituihin todennäköisyyksiin ja näistä aiheutuviin kustannuksiin. Tällöin tuotantomäärän valinta perustuu kustannusten odotusarvoon, joka minimoi tuotantojärjestelmälle koituvat riskit. (Miller, 1979)

Saantokertoimella tarkoitetaan tietyn operaation odotetun saannon ja syötteen suhdetta (Murthy ja Ma 1991). Tällöin jo tuotantoa suunniteltaessa voidaan varautua saannon menetyksiin antamalla prosessin syötteenä tuotosta suurempi määrä. Saantokerroin voidaan laskea tietyn tuotteen osalta myös koko tuotantoprosessille, jolloin otetaan huomioon useita eri operaatioita saantokertoimeen. Termin luoja Hegseth (1984) huomauttaa kuitenkin, että saantokertoimet täytyy laskea tarpeeksi suuresta tilastollisesta datasta. Lisäksi saannon tietyssä prosessissa täytyy olla johdonmukainen. Esimerkki saantokertoimien toiminnasta on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Prosessin saantokertoimen määrittäminen.

Operaatio	Saanto	Prosessin saanto	Prosessin saantokerroin
1	0,9	0,66	1,52
2	0,88	0,74	1,35
3	0,95	0,84	1,19
4	0,9	0,88	1,14
5	0,98	0,98	1,02

Taulukon 1 tilanteessa tuotantoprosessi koostuu viidestä operaatiosta, jossa kunkin yksittäisen operaation saanto vaihtelee 0,88 ja 0,98 välillä. Tällöin koko prosessin saannoksi saadaan yksittäisten operaatioiden saantojen tulo 0,66. Koko prosessin saantokertoimeksi saadaan tällöin 1,52. Tällöin suunnitteluvaiheessa tuotantoprosessin syötteenä annettaisiin halutun tuotoksen määrä kerrottuna 1,52:lla.

Ylituotannossa (overplanning) MPS:n laskemia tuotantomääriä yksinkertaisesti kasvatetaan. Tällöin tuotetaan enemmän kuin ennustettu tarve on. Koska tuotannossa tapahtuu hävikkiä esimerkiksi laadun vaihtelusta johtuen, lopullinen saanto on lähellä ennustettua kysyntää. Ylituotannon keskeinen haaste on löytää sopiva ylituotannon määrä. Liian pieni tuotannon lisäys johtaa puutostiloihin. Liian suuri ylituotanto puolestaan johtaa ylisuuriin varastoihin ja varastointikustannusten kasvamiseen. (Murthy ja Ma 1991)

Vaikka hedging, saantokertoimet ja ylituotanto vaikuttavat täsmälleen samankaltaisilta menetelmiltä, on niillä keskeinen ero. Hedging perustuu jatkuvaan todennäköisyyksien ja kustannuksien analysointiin. Saantokertoimien ja ylituotannon ero puolestaan on niiden sijainti MRP:ssä. Ylituotanto toteutetaan MPS:n lukuja kasvattamalla, mutta saantokertoimet sijoitetaan suoraan tuotteen osaluetteloon, jolloin tarvittava ylituotanto toteutuu vasta materiaalarvelaskelmissa.

4.2 Hallintakeinojen luokittelu

Hallintakeinojen vaikutusperiaatteet voidaan jakaa kahteen osaan. Koh et al. (2002) jakavat epävarmuuksien hallinnan puskurointiin (buffering) ja vaimentamiseen (dampening). Puskuroinnilla tarkoitetaan ylimääräistä resurssia, esimerkiksi työvoimaa tai raaka-ainetta, joka odottaa prosessointia. Nämä resurssit mahdollistavat epävarmuuksien vaikutusten

välttämisen, sillä ne voidaan aktivoida käyttöön, jos jokin epävarmuus uhkaa toteutua. Vaimentamisella tarkoitetaan toimia, joilla vähennetään jo toteutuneiden tai mahdollisesti toteutuvien epävarmuuksien vaikutuksia. (Koh et al. 2002)

Edellä esitetyistä hallintakeinoista puskuroivia menetelmiä ovat varmuusvarastot, varmuusläpimenoajat, ylituotanto ja hedging. Kussakin hallintamenetelmässä pidetään jotain resurssia varalla. Ylituotanto ja hedging menetelmät luovat tuotantosuunnitelmaan ylimäärän tuotantoa ja varmuusvarastot pitävät yllä varastoa, josta voidaan tarvittaessa ottaa käyttöön esimerkiksi raaka-aineita tai lopputuotteita. Vaikka saantokertoimien käyttö voidaan nähdä eräänlaisena puskurointina, on vaikutusperiaate erilainen, koska tuotannonylimäärä toteutetaan jo osaluettelossa.

Vaimentavia menetelmiä ovat puolestaan täydennyserämenetelmät, suunnitteluhorisontin ja MPS:n jäädyttämiskäytön valinta. Näissä menetelmissä ei sinänsä varata mitään resurssia mahdollista tarvetta varten, vaan menetelmät pyrkivät vaimentamaan vaikutuksia. Esimerkiksi valitsemalla staattinen täydennyserämenetelmä tai pitkä MPS:n jäädytysjakso voidaan vähentää aikataulujen epästabiiliutta.

4.3 Ulkoisen kysynnän epävarmuuksien hallinta

Ulkoisen kysyntä on eniten tutkittu epävarmuuksien osa-alue (esimerkiksi Dolgui ja Prodhon, 2007). Kuitenkaan kirjallisuus ei ole täysin yksimielinen kysynnän hallintaan käytettävistä keinoista. Lisäksi Dolgui ja Prodhon (2007) huomauttavat, että ennustevirheet ja kysynnän epävarmuus eivät välttämättä ole ongelma. Jos toteutunut kysyntä on useammin ennustettua kysyntää pienempi kuin suurempi, epävarmuus johtaa automaattisesti varmuusvarastojen syntymiseen. Tämä puolestaan vaimentaa epävarmuuden vaikutuksia automaattisesti.

Ulkoisen kysynnän hallintaan voidaan käyttää varmuusvarastoja, varmuusläpimenoaikoja sekä niin sanottua hedging -menetelmää. Yleisessä tapauksessa epävarmuutta voidaan puskuroida pitämällä varmuusvarastoja, jotka toimivat läpimenoaikoja varmemmin kysynnän muutosten puskurina. Kuitenkin, jos voidaan tehdä tarkkoja ennusteita tulevaisuuden toimituksista, tulisi käyttää varmuusläpimenoaikoja. Varmuusvarastojen käytössä olisi hyödyllistä käyttää niin sanottua "kaksoispuskuria". Tällöin varmuusvarastolla on kaksi tasoa: ensimmäinen varastotaso aloittaa tuotannon ja toinen varaston sisäisen täydennyksen. (Koh et al. 2002)

Perinteisten varmuusvarastojen lisäksi Koh et al. (2002) ja Murthy ja Ma (1991) mainitsevat kysynnän epävarmuuksien mahdolliseksi hallintamenetelmäksi myös niin sanotun MPS hedgen. Tällä menetelmällä varmuusvarastot kulkevat ikään kuin koko prosessin mukana ja voidaan luopua ainakin osittain perinteisistä varmuusvarastoista. Lisäksi tehtävät ylituotantopäätökset pyrkivät jatkuvasti minimoimaan syntyviä kustannuksia. (Miller, 1979; Koh et al., 2002) Lagodimos ja Anderson (1993) ovat kuitenkin Millerin ja Koh et al. päätelmien kanssa eri mieltä ja heidän mukaansa perinteiset varmuusvarastot ovat kustannustehokkaampi ratkaisu ulkoisen kysynnän epävarmuuksien hallitsemiseen.

Epävarmuuksia voidaan hallita myös suunnitteluhorisonttiin vaikuttamalla. Tutkimuksissa on osoitettu, että epävarman kysynnän vallitessa ei ole järkevää venyttää suunnitteluhorisonttia, vaan pyrkimyksenä tulee olla mahdollisimman lyhyt suunnitteluhorisontti. Kuitenkin kysynnän ollessa hyvin ennustettavissa on järkevää pyrkiä mahdollisimman pitkään suunnitteluhorisonttiin (Yeung et al., 1998). Esimerkiksi Zhao ja Lee (1993) ovat vertailleet kokonaiskustannusten muutosta, tuotannon epävakautta ja palveluastetta suunnitteluhorisontin kannalta epävarman kysynnän ja tunnetun kysynnän välillä. Heidän mukaansa epävarman kysynnän aikana kokonaiskustannukset kasvavat, palveluaste heikkenee ja tuotannon epävakaus lisääntyy, mikäli suunnitteluhorisontin pituutta kasvatetaan. Vastaavasti tunnetun kysynnän aikana vaikutukset ovat päinvastaiset.

Tutkimuksissa on myös käsitelty MPS:n jäädyttämisen mahdollisuutta ulkoisesta kysynnästä johtuvan järjestelmän epästabiiliuden hallintaan. Esimerkiksi Sridharan ja Berry (1990) tarjoavat MPS:n jäädyttämistä keinoksi kysyntäepävarmuuden hallintaan. Jäädyttämisellä pystytään vähentämään kysynnän epävarmuudesta johtuvia häiriöitä, joita mahdollisesti ilman jäädyttämistä tuotannossa esiintyisi. Jäädytettävän ajanjakson kasvaessa riittävän suureksi alkaa tämä kasvattaa varmuusvarastoja sekä täydennyskustannuksia, mikäli palveluaste halutaan säilyttää alkuperäisellä tasolla. Koh et al. (2002) mukaan palveluaste putoaa automaattisesti jäädyttämisen seurauksena. Muutos on kuitenkin ennustettavissa eikä sitä pidetä merkityksellisenä.

4.4 Ulkoisen tarjonnan epävarmuuksien hallinta

Ulkoisen tarjonnan epävarmuuksia ja niiden hallintaa on tutkittu huomattavasti kysynnän epävarmuuksia vähemmän. Siinä missä Koh et al. (2002) listaa 12 artikkelia, joissa käsitellään

ulkoiseen kysyntään liittyviä epävarmuuksia, listauksessa mainitaan vain yksi artikkeli, joka liittyy ulkoisen tarjonnan epävarmuuksien hallintaan.

Laajimmin ulkoiseen tarjontaan liittyviä epävarmuuksia on tutkinut Grasso ja Taylor (1984). Heidän simulointiin perustuva tutkimus tutkii vain toimitusten ajoitukseen liittyviä vaihteluita ja niitä vastaan puskurointia. Toimitusten määrälliset epävarmuudet ja vaihtelut on jätetty huomiotta. Tutkimuksen johtopäätökset ovat seuraavat:

- Toimitusaikojen vaihtelua tulee pyrkiä hallitsemaan ja vähentämään
- Varmuusvaraston pitäminen on tehokkaampaa kuin varmuusaikojen asettaminen hankittaville komponenteille
- Täydennyksiin tulisi käyttää Lot-for-lot menetelmää, jos toimitusaikojen jakauma noudattaa diskreettiä tasajakaumaa
- Täydennyksiin tulisi käyttää Lot-for-lot tai POQ (periodic order quantity) menetelmää, jos toimitusajat noudattavat symmetristä tai epäsymmetristä diskreettiä jakaumaa
- EOQ:ta ei tulisi käyttää; tutkimuksen simulaatiossa EOQ johti korkeimpiin kokonaiskustannuksiin.
- Toimittajille tulisi asettaa virhemaksut mahdollisten myöhästymisten varalle

4.5 Sisäisten epävarmuuksien hallinta

Kuten ulkoisen tarjonnan tapauksessa, tutkimuksia läpimenoaikojen epävarmuuksista ja yleisemminkin tuotantojärjestelmän sisäisistä epävarmuuksista on tehty huomattavasti vähemmän kuin vastaavia tutkimuksia kysynnän epävarmuuksista. Jo Murthy ja Ma (1991) huomauttaa tästä ongelmasta. Huomio toistuu uudemmassakin tutkimuksessa (Dolgui ja Prodhon, 2007).

4.5.1 Läpimenoaikojen epävarmuuksien hallinta

Useimmat tutkimukset läpimenoaikojen epävarmuuden hallintaan ovat kohdistuneet varmuusläpimenoajan käyttöön osana tuotannosuunnittelua. Esimerkiksi Whybark ja Williams (1976), johon Dolgui ja Prodhon (2007) tutkimuksissaan viittaavat sanovat, että varmuusläpimenoaikojen käyttö onärkevin tapa vastata epävarmuuteen, joka liittyy tuotannon läpimenoaikoihin. Tämän jälkeen tehdyt tutkimukset ovat pitkälti tukeutuneet Whybarkin ja Williamsin tutkimuksiin ja näistä saatuihin tuloksiin. Tutkimuksissa ei ole huomioitu kovinkaan tarkasti sitä, olisiko varmuusvarastoinnilla mahdollista vastata

läpimenoaikojen epävarmuuteen. Lisäksi MPS:n parametreja kuten suunnitteluhorisonttia tai jäädyttämistä läpimenoaikojen hallintakeinona ei ole tutkittu lainkaan. (Dolgui ja Prodhon 2007)

Vaikka varmuusläpimenoaikaa pidetään toimivimpana tapana vastata läpimenoaikojen epävarmuuksiin, Dolguin ja Prodhonin (2007) mukaan kannattaa kuitenkin valita tehokas täydennyserämenetelmä. Viittaamiinsa tutkimuksiin perustuen he ehdottavat sopivaksi menetelmäksi PPB:tä (Part Period Balancing), SM:ää (Silver-Meal), LUC:tä (Least Unit Cost) ja EOQ:ta.

4.5.2 Saannon epävarmuuden hallinta

Saannon epävarmuuden hallinta on erityisen tärkeää monivaiheisessa tuotantoprosessissa. Koska saanto putoaa jokaisessa vaiheessa, lopullinen saanto on syötettä huomattavasti pienempi. Saannon epävarmuuksiin esitetään hallintakeinoina sekä niin sanottujen saantokertoimien käyttöä että yksinkertaista ylituotantoa (Koh et al., 2002; Hegseth, 1984; Murthy ja Ma, 1991). Tällöin tuotetaan kysyntää enemmän, mikä mahdollistaa saannon putoamisen ilman toimitusvaikeuksia tai myöhästymisiä. Saantokertoimet huomioidaan jo osaluettelossa ja ylituotanto yksinkertaisesti lisää tuotantosuunnitelman tuotantotarpeita. Tällöin luodaan puskuri, joka suojaaa MRP:tä saannon vaihteluilta vastaan.

Saantotekijöiden käyttöä hallintakeinona voidaan kuitenkin pitää kyseenalaisena. Tekijät lasketaan keskiarvoina prosessien pitkän aikavälin saannoista. Kuitenkin yksi MRP:n keskeisistä ongelmista on oletus, että kaikki tekijät käyttäytyvät pitkän aikavälin keskiarvojen mukaisesti. Tarve epävarmuuksien hallinnalle syntyy, koska lyhyellä aikavälillä eri tekijät poikkeavat keskiarvoistaan, mutta saantokertoimien käyttö ei huomioi tai varaudu näihin lyhyen aikavälin muutoksiin.

5 YHTEENVETO JA LOPPUPÄÄTELMÄT

Materiaalitarvelaskenta eli MRP on keskeisessä osassa yritysten tuotannosuunnittelua. Järjestelmä luotiin valmistusteollisuuden käyttöön 1960-luvulla. Vaikka tietokoneet ja tuotannon tietojärjestelmät ovat kehittyneet, on MRP edelleen nykyisten ERP-järjestelmien keskeisin moduuli.

MRP on lähtökohtaisesti deterministinen järjestelmä. Annettujen lähtöarvojen perusteella lasketaan täsmällinen ja täydellinen tuotannosuunnitelma. Tämä tarkoittaa sitä, että MRP ei kykene huomioimaan lähtöarvoissa mahdollisesti tapahtuvia poikkeuksia. Koska kaikkia syötteitä ei kuitenkaan pystytä tarkasti määrittämään tai tuntemaan, on MRP-ympäristössä epävarmuuksia, jotka voivat johtaa tehdyn tuotannosuunnitelman epäonnistumiseen. Epävarmuuksilla MRP:n tapauksessa tarkoitetaan mahdollisia muutoksia koskevaa tiedon puutetta.

MRP:n epävarmuudet on tutkimuksissa jaettu perinteisesti sisäisiin ja ulkoisiin epävarmuuksiin, jolloin jaon rajana käytetään yrityksen fyysisiä rajoja. Ulkoiset epävarmuudet ovat kokonaisuudessaan tuotantojärjestelmän ulkopuolisista tekijöistä. Näitä epävarmuuksia ovat ulkoinen kysyntä sekä ulkoiset toimitukset. Näistä epävarmuuksista ulkoista kysyntää on tutkittu huomattavasti enemmän. Sisäisiin epävarmuuksiin luetaan saantoon ja läpimenoaikoihin liittyvät epävarmuudet eli nämä ovat tuotantojärjestelmän sisäisiä epävarmuuksia. Tutkimuksissa näistä on käytetty myös nimitystä prosessiepävarmuudet. Taulukossa 2 on koottu yhteen epävarmuuksia, niiden syitä ja seurauksia.

MRP-ympäristön epävarmuuksille on kirjallisuudessa tunnistettu useita eri hallintakeinoja. Nämä keinot voidaan karkeasti jakaa MRP:n parametreihin ja MPS:n parametreihin. MRP:n parametreja, joilla voidaan pyrkiä vaikuttamaan epävarmuuksiin ja niiden seurauksiin ovat varmuusvarastot, varmuusläpimenoajat ja täydennysmenetelmät. MPS:n parametreja puolestaan ovat jäädyttäminen, suunnitteluhorisontti, hedging ja ylituotanto. Näiden menetelmien lisäksi tuotantojärjestelmässä tulee määrittää myös niin sanotut saantotekijät. Näiden hallintakeinojen käyttö eri epävarmuuksien hallintaan on esitetty taulukossa 2.

Hallintakeinojen osalta on kuitenkin huomattava, että tutkimukset eivät ole täysin samaa mieltä kulloisenkin hallintakeinon käytöstä tietyn epävarmuuden hallintaan. Selvä ristiriita on

löydettävissä esimerkiksi läpimenoaikojen hallintaan käytettävien keinojen osalta. Osa tutkimuksista suosittelee varmuusläpimenoaikojen käyttöä ja osa tutkimuksista esittää varmuusvarastoinnin puskuroivan paremmin läpimenoaikoihin liittyvää epävarmuutta.

Taulukko 2. Yhteenveto epävarmuuksista, epävarmuuksien syistä ja hallintakeinoista

Epävarmuus	Syyt	Seuraukset	Hallintakeinot
Ulkoisen kysyntä	<ul style="list-style-type: none"> • Kysynnän vaihtelu <ul style="list-style-type: none"> ○ määrä ○ tuotteet ○ ajoitus 	<ul style="list-style-type: none"> • Varastotasojen heittely • MPS:n epästabiilisuus 	<ul style="list-style-type: none"> • Varmuusvarastot • MPS:n hedging • MPS:n jäädytys • Suunnitteluhorisontin pituus
Ulkoiset toimitukset	<ul style="list-style-type: none"> • Toimittajien kyvyttömyys toimittaa sovitusti <ul style="list-style-type: none"> ○ määrät ○ oikeat tuotteet ○ laatu ○ ajoitus 	<ul style="list-style-type: none"> • Varastotasojen heittely 	<ul style="list-style-type: none"> • Varmuusvarastot • Täydennyseräkoon valinta <ul style="list-style-type: none"> ○ Lot for lot ○ Lot for lot tai POQ ○ EOQ:ta ei tulisi käyttää • Toimittajien parempi hallinta
Läpimenoajat	<ul style="list-style-type: none"> • Työvoiman epävarmuudet • Kapasiteetin vaihtelut • Laiterikot 	<ul style="list-style-type: none"> • Myöhästymiset • Ylimääräiset varastot 	<ul style="list-style-type: none"> • Varmuusläpimenoajat • Tehokas täydennyserämenetelmä <ul style="list-style-type: none"> ○ PPB ○ SM ○ LUC ○ EOQ
Saanto	<ul style="list-style-type: none"> • Laadun vaihtelut • Tuotannon tiukat toleranssit 	<ul style="list-style-type: none"> • Saannon menetys 	<ul style="list-style-type: none"> • Saantokertoimien käyttö • Ylituotanto

5.1 Nykyisen tieteellisen tutkimuksen tila

Nykyinen tieteellinen tutkimus MRP:n epävarmuuksista ja niiden hallinnasta on riittämätöntä. Suurin osa julkaistuista artikkeleista keskittyy vain ulkoisen kysynnän epävarmuuksien hallintaan. Ulkoisten toimitusten epävarmuus, läpimenoaikojen epävarmuus ja saannon epävarmuus jäävät vähemmälle huomiolle. Tämän lisäksi osaa hallintakeinoista ei ole käsitelty tiettyjen epävarmuuksien osalta lainkaan. Epävarmuuksia ja niiden hallintakeinoja myös käsitellään usein yksitellen, eikä eri epävarmuuksien yhteisvaikutuksia ole analysoitu juuri lainkaan.

Toinen nykyisen tutkimuksen haaste on, että suurin osa tutkimuksista on tehty simuloimalla. Analyttisiä ja yleispäteviä tuloksia ei ole juurikaan esitetty. Tämä on luonnollisesti seurausta käsiteltävän aiheen monimutkaisuudesta. Simulaatiotutkimusten ongelmana on lisäksi se, että useat tutkimukset simuloivat järjestelmiä, jotka eivät kovin hyvin kuvaa todellista tilannetta. Usein käytetään esimerkiksi vain yhdestä komponentista koostuvia tuotteita tai vain yhdestä tuotantovaiheesta koostuvia tuotantoprosesseja.

6 LÄHTEET

Arshinder, K., Kanda, A. ja Deshmukh, S.G. (2011). A Review on Supply Chain Coordination: Coordination Mechanisms, Managing Uncertainty and Research Directions. Teoksessa Choi, T-M. ja Cheng, T.C. Supply Chain Coordination under Uncertainty. Springer. 652 s.

Aydin, A.O. ja Güngör, A. (2005). Effective relational database approach to represent bills-of-materials. International Journal of Production Research. Vol. 43, nro. 6. s. 1143 .- 1170.

Aytug, H., Lawley, M.A., McKay, K., Mohan, S. ja Uzsoy, R. (2005). Executing production schedules in the face of uncertainties: A review and some future directions. European Journal of Operations Research. Vol. 161. s. 86 – 110.

Blackburn, J.D, Kropp, D.H. ja Millen, R.A. (1986). A comparison of strategies to dampen nervousness in MRP systems. Management Science. Vol. 32, nro 4. s. 413 – 429.

BusinessDictionary. (2014). Hedging. [www-sanakirja]. [viitattu 15.4.2014]. Saatavissa <<http://www.businessdictionary.com/definition/hedging.html>>

Dolgui, A. ja Prodhon C. (2007). Supply planning under uncertainties in MRP environments: A state of the art. Annual Reviews in Control. Vol. 31. s. 269 – 279.

Feng, K., Rao, U.S. ja Raturi, A. (2011). Setting planned orders in master production scheduling under demand uncertainty. International Journal of Production Research. Vol. 49, nro 13. s. 4007 – 4025.

Fogarty, D.W., Blackstone, J.H. ja Hoffmann, T.R. (1991). Production & Inventory Management. 2nd edition. Cincinnati, South-Western Publishing Co. 870 s.

Enns, S.T. (2001). MRP performance effects due to lot size and planned lead time settings. International Journal of Production Research. Vol 39, nro. 3. s. 461 – 480.

Galbraith, J.R. (1973). Designing complex organizations. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. 150 s.

Gupta, A. ja Maranas, C.D. (2003). Managing demand uncertainty in supply chains planning. Computers and Chemical Engineering. Vol. 27. s. 1219 – 1227.

Gupta, S.M. ja Brennan, L. (1995). MRP systems under supply and process uncertainty in an integrated shop floor control environment. *International Journal of Production Research*. Vol. 33, nro 1. s. 205 – 220.

Grasso, E.T. ja Taylor, B.W. (1984). A simulation-based experimental investigation of supply/timing uncertainty in MRP systems. *International Journal of Production Research*. Vol. 22, nro. 3. s. 485 – 497.

Hegseth, M.A. (1984). The challenge of operational yield. *Production and Inventory Management* 1984. Vol. 25, nro 1. s. 4 – 9.

Ho, C-J. (1989). Evaluating the impact of operating environments on MRP system nervousness. *International Journal of Production Research*. Vol. 27, nro 7. s. 1115 – 1135.

Ho, C-J. ja Lau, H-S. (1994). Evaluating the impact of lead time uncertainty in material requirements planning systems. *European Journal of Operational Research*. Vol. 75. s. 89 – 99.

Inderfurth, K. (2009). How to protect against demand and yield risks in MRP systems. *International Journal of Production Economics*. Vol. 121. s. 474 – 481.

Investopedia (2014). Yield Variance. [www sanakirja]. [viitattu 19.3.2014]. Saatavissa: www.investopedia.com/terms/y/yield-variance.asp.

Koh, S.C.L. (2001). Development of a business model for diagnosing uncertainty in MRP environments. [Väitöskirja].

Koh, S.C.L ja Saad, S.M. (2003). MRP-controlled manufacturing environment disturbed by uncertainty . *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 19. s. 157 – 171.

Koh, S.C.L, Saad, S.M. ja Jones, M.H. (2002). Uncertainty under MRP-planned manufacture: review and categorization. *International Journal of Production Research*. Vol. 40, nro. 10. s. 2399 – 2421.

Koh, S.C.L., Gunasekeran, A. ja Saad, S.M. (2005). A business model for uncertainty management. *Benchmarking: An International Journal*. Vol. 12, nro. 4. s. 383 – 400.

Krajewski, L., Ritzman, L. ja Malhotra, M. (2007). *Operations Management; Process and Value Chains*. 8th edition. Pearson Education Inc. 728 s.

Lagodimos, A.G. ja Anderson, E.J. (1993). Optimal positioning of safety stocks in MRP. *International Journal of Production Research*. Vol. 31, nro. 80. s. 1797 – 1813.

Melnyk, S.A. ja Piper, C.J. (1985). Leadtime errors in MRP: the lot-sizing effect. *International Journal of Production Research*. Vol. 23, nro. 2. s. 253 – 264.

Miller, J.G. (1979). Hedging the master schedule. Teoksessa Ritzman, L.P, Krajewski, L.J, Berry, W.L, Goodman, S.H, Hardy, S.T ja Vitt, L.D. *Disaggregation: Problems in manufacturing and service organizations*. Martinus Nijhoff Publishing. 736 s.

Mula, J., Poler, R., García-Sabater, J.P. ja Lario, F.C. (2006). Models for production planning under uncertainty: A review. *International Journal of Production Economics*. Vol. 103. s. 271 – 285.

Murthy, D.N.P ja Ma, L. (1991). MRP with uncertainty: a review and some extensions. *International Journal of Production Economics*. Vol. 25. s. 51 – 64.

Orlicky, J. (1975). *Material Requirements Planning The New Way of Life in Production and Inventory Management*. McGraw-Hill Book Company. 292 s.

Ould-Louly, M-A ja Dolgui, A. (2004). The MPS parameterization under lead time uncertainty. *International Journal of Production Economics*. Vol. 90. s. 369 – 376.

Oxford English Dictionary. (2014). Uncertain. [www sanakirja]. [viitattu 18.3.2014]. Saatavissa: www.oed.com/view/Entry/210207.

Pandey, P.C. ja Hasin, H.A.A. (1998). Lead time adjustment through scrap management. *Production Planning & Control*. Vol. 9, nro. 2. s. 138 – 142.

Sridharan, V. ja Berry, W.L. (1990). Freezing the Master Production Schedule Under Demand Uncertainty. *Decision Sciences*. Vol. 21, nro. 1. s. 97 – 120.

Vollman, T.E., Berry, W.L., Whybark, D.C. ja Jacobs, F.R. (2005). *Manufacturing Planning and Control Systems for Supply Chain Management*. 5th edition. McGraw-Hill. 598 s.

Wacker, J.G. (1985). A theory of material requirements planning (MRP): an empirical methodology to reduce uncertainty in MRP systems. *International Journal of Production Research*. Vol. 23, nro. 4. s. 807 – 824.

Whybark, D.C. ja Williams, J.G. (1976). Material requirements planning under uncertainty. *Decision Sciences* 7, nro. 4. s. 595 – 606.

Xie, J., Zhao, X. ja Lee, T.S. (2003). Freezing the master production schedule under single resource constraint and demand uncertainty. *International Journal of Production Economics*. Vol. 83. s. 65 – 84.

Yeung, J.H.Y, Wong, W.C.K. ja Ma, L. (1998). Parameters affecting the effectiveness of MRP systems: a review. *International Journal of Production Research*. Vol. 36, nro. 2. s. 313 – 331.

Zhao, X. ja Lee, T.S. (1993). Freezing the master production schedule for material requirements planning systems under demand uncertainty. *Journal of Operations Management*. Vol. 11. s. 185 – 205.