



VARMUUSVARASTOT TUTKIMUSKOHTEENA 2000-LUVULLA

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Tuotantotalouden kandidaatintyö

2022

Kalle Orelma

Tarkastaja: Annastiina Rintala

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT School of Engineering Science

Tuotantotalous

Kalle Orelma

Varmuusvarastot tutkimuskohteena 2000-luvulla

Tuotantotalouden kandidaatintyö

2022

37 sivua, 5 kuvaa, 2 taulukkoa

Tarkastaja: Annastiina Rintala

Avainsanat: toimitusketjun johtaminen, varastonhallinta, varmuusvarastot

Työn tavoitteena oli selvittää, miksi ja miten varmuusvarastot ovat olleet tutkimuskohteena. Työn aineisto koostui Scopus-tietokannasta kerätystä 84 tieteellisestä artikkelista. Työn menetelmänä oli systemaattinen kirjallisuuskatsaus ja kerättyä aineistoa analysoitiin sekä määrällisesti sekä laadullisesti. Varmuusvarastoja koskevat tieteelliset artikkelit jakautuivat 54 eri lehteen, ja tarkastelujakson aikana (2000 – helmikuu 2022) artikkeleiden määrä oli kasvussa.

Yleisimpänä syynä varmuusvarastoja koskeville tutkimuksille on tarve löytää ratkaisuja, joilla minimoidaan kustannuksia. Toimitusketjujen muutokset ja kompleksisuus ovat vaikuttaneet siihen, etteivät entiset mallit enää sellaisenaan sovellu monimutkaistuneisiin toimitusketjuihin vaan tarvitaan vanhojen mallien jatkokehittelyä tai uusia malleja. Varmuusvarastoja koskevia tutkimuksia perustellaan myös sillä, että johto tarvitsee uusia työkaluja tehokkaaseen varastonhallintaan.

Työssä käsiteltiin tarkemmin seuraavat aineistosta esiinnousseet teemat: varmuusvarastojen sijoittaminen, varmuusvarastojen mitoitus, läpimenoajat ja varastojen johtaminen. Nämä teemat liittyvät kiinteästi toisiinsa. Varmuusvarastoja pidetään sopivana strategiana, kun pyritään hallitsemaan kysynnän ja tarjonnan vaihteluita ja estämään varastojen loppuminen. Tehokkaan varastonhallinnan ja varmuusvarastojen merkitys on kasvanut entisestään ja varmuusvarastoja pidetään tärkeänä tutkimuskohteena. Edelleen tarvitaan jatkokehitystyötä, uusia malleja ja sovelluksia johdon päätöksenteon tueksi ja muuttuvan toimintaympäristön haasteisiin vastaamiseksi.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

1	Johdanto.....	1
1.1	Tutkimuksen tavoite, tutkimuskysymykset ja rajaukset	1
1.2	Aineisto ja tutkimusmenetelmät.....	2
2	Tutkimuksen viitekehys.....	4
2.1	Toimitusketjun johtaminen	4
2.2	Varastonhallinta toimitusketjun osana	5
2.2.1	Erilaiset varastotyypit ja varaston ohjausmallit	7
2.2.2	Varmuusvarastot varastonhallinnassa.....	10
3	Aineiston kuvaaminen ja luokittelu.....	12
4	Varmuusvarastot tutkimuskohteena	15
4.1	Miksi varmuusvarastoja on tutkittu?.....	15
4.2	Mitä teemoja varmuusvarastoja koskevissa tutkimuksissa?	16
4.2.1	Varmuusvarastojen sijoittaminen	18
4.2.2	Varmuusvarastojen mitoitus	20
4.2.3	Läpimenoajat	23
4.2.4	Varastonhallinta/varaston johtaminen	25
4.2.5	Muita huomioita.....	25
5	Yhteenveto ja johtopäätökset	27
	Lähteet	31

1 Johdanto

Toimitusketjun johtamisen peruslähtökohtana on oikeiden tuotteiden toimittaminen oikeaan paikkaan oikeaan aikaan ja vielä mahdollisimman pienin kokonaiskustannuksin. Varastokustannukset vaikuttavat toimitusketjun kilpailukykyyn, sillä varastot muodostavat usein suurimman osan yrityksen varoista. Yksi varastotyypeistä on varmuusvarasto, jolla pyritään varautumaan kysynnän ja tarjonnan vaihteluihin ja turvaamaan toiminnan jatkuvuus.

Toimintaympäristön muutokset haastavat toimitusketjun johtamista ja varastonhallintaa. Varmuusvarastojen merkitys on vahvistunut entisestään pitkittyneen koronapandemian aikana, kun yhteiskunta meni osittain täysin kiinni ja toimitusketjujen toiminta häiriintyi pahasti. Ongelmia on ollut satamissa eri puolilla maailmaa, kun kontit ovat seisseet paikallaan ja on pitänyt etsiä vaihtoehtoisia logistisia ratkaisuja. Uusimpana haasteena on maailmanpoliittinen epävakaa tilanne, jonka vaikutukset ulottuvat yhteiskunnan monille eri osa-alueille, myös toimitusketjuihin ja varastojen riittävyyteen.

Yritysten johto on haastavien päätösten äärellä alati muuttuvissa tilanteissa. Epävarmuudesta selviytyminen on yksi toimitusketjun johtamisen ja varastonhallinnan keskeisistä kysymyksistä. Tutkimusten avulla pyritään kehittämään ratkaisuja, joilla pystytään hallitsemaan epävarmuuksia ja niiden vaikutuksia. Varmuusvarastoja koskeva tutkimus ja kehitys on tässä tärkeässä roolissa.

1.1 Tutkimuksen tavoite, tutkimuskysymykset ja rajaukset

Tässä kandidaatintyössä selvitetään, miksi ja miten varmuusvarastot ovat olleet tutkimuksen kohteena 2000-luvulla. Tavoitteena on lisätä ymmärrystä varmuusvarastojen toiminnasta, tärkeydestä ja niihin liittyvistä haasteista.

Tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

- 1) Miksi varmuusvarastoja on tutkittu? Mitä syitä nousee esille varmuusvarastoja koskevien tutkimusten taustalta?
- 2) Mitä teemoja nousee esille varmuusvarastoja koskevissa tutkimuksissa?
 - *Onko löydettävissä erityisiä teemoja tai painotuksia eri aikakausina?*
- 3) Miten keskeisiä teemoja on käsitelty/mitä näkökulmia nousee esille teemoissa?

Tutkimus rajattiin 2000-luvulle. Matemaattisia malleja, algoritmeja ja sovelluksia ei eritelty työssä tarkemmin. Matemaattisten mallien, ohjelmointimallien ja algoritmien analysointi on haastava osa-alue ja se olisi ihan oma tutkimuskohteensa. Yhtenä rajauksena oli myös se, että aineisto kerättiin yhdestä tietokannasta.

1.2 Aineisto ja tutkimusmenetelmät

Tutkimusaineisto kerättiin Scopus-tietokannasta. Haku tehtiin seuraavilla rajauksilla:

- 1) otsikossa hakusanana ”safety stock” tai ”safety inventory” tai ”buffer stock” tai ”reserve stock”
- 2) otsikossa, tiivistelmässä tai avainsanana ”supply chain”.
- 3) aikaväli 2000–2022 (tilanne 3.2.2022)

Näillä hakukriteereillä löytyi 81 tieteellisissä aikakauslehdissä julkaistua artikkelia ja kolme kokoomateoksessa julkaistua artikkelia.

Scopus-tietokannasta artikkelit vietiin Exceeliin, johon tallennettiin julkaisun nimi, vuosi, kirjoittajat, viittausten määrä, tiivistelmä ja artikkelin linkki. Lisäksi kaikki artikkelit tallennettiin kokonaisuudessaan tarkempaa analyysiä varten. Kahdeksasta artikkelista ei ollut saatavilla täyttä tekstiä, mutta tiivistelmät löytyivät ja nämä artikkelit ovat mukana aineistossa.

Tämä työ perustui systemaattiseen kirjallisuuskatsaukseen. Kirjallisuuskatsausta voidaan käyttää, kun halutaan kehittää tai arvioida olemassa olevaa teoriaa tai kehittää uutta.

Kirjallisuuskatsauksen avulla voidaan myös hahmottaa kokonaiskuvaa jostain aihealueesta tai tunnistaa ongelmia (Salminen 2011, 3, Bauermeister ja Leyry 1997 mukaan).

Systemaattinen kirjallisuuskatsaus on yksi kirjallisuuskatsauksen tyypeistä. Tavallaan kyse on tietyn aihepiirin aiemmista tutkimuksista ja niiden sisällöistä tehdyistä tiivistelmistä. Katsaus voi tuoda esille aiempien tutkimuksien puutteita ja nostaa esille uusia tutkimustarpeita. (Salminen 2011, 6–10). Tässä kandidaatintyössä tavoitteet eivät ole näin kunnianhimoisia, vaan tavoitteena on yleisesti hahmottaa varmuusvarastoja tutkimuskohteena sekä luoda kokonaiskuvaa ja ymmärrystä varmuusvarastoista ja niitä koskevien tutkimusten sisällöistä tietyinä rajattuna aikakautena tietyn aineiston avulla.

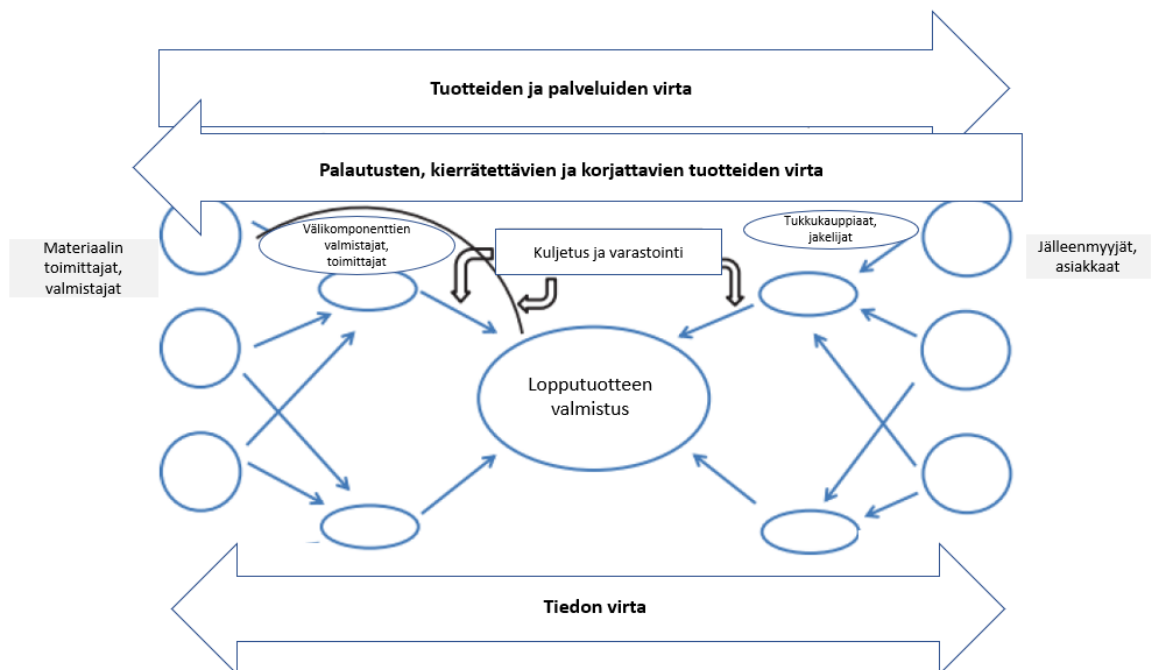
Aineisto pyrittiin keräämään systemaattisesti työssä esitettyjen kriteerien mukaisesti ja löytämään aineistosta näyttöä/vastauksia asetettuihin tutkimuskysymyksiin. Aineistoa analysoitiin sekä määrällisesti (aineiston määrällinen luokittelu) että laadullisesti (teemojen analysointi) teoreettisen viitekehyksen näkökulmasta. Kaikkien valittujen artikkeleiden tiivistelmät käytiin läpi teemojen hahmottumiseksi ja luokittelemiseksi. Teemojen lukumäärät laskettiin aineiston artikkelien otsikoista ja tiivistelmistä Excelin avulla.

2 Tutkimuksen viitekehys

Varmuusvarastojen laajempi viitekehys rakentuu toimitusketjujen johtamisesta ja varastohallinnasta. Varastohallinta on olennainen osa toimitusketjua ja varmuusvarastot osa varastohallintaa.

2.1 Toimitusketjun johtaminen

Toimitusketjulla tarkoitetaan verkostoa, joka ulottuu alkuperäisiltä toimittajilta aina loppukäyttäjille saakka. Verkostossa toisiinsa kytkeytyvät yritykset tekevät yhteistyötä materiaali- ja informaatiovirtojen ohjaamiseksi (ks. kuva 1). Toimitusketjun johtamisella tarkoitetaan kaikkia hankintaan ja hankintoihin liittyvien toimintojen suunnittelua, koordinointia ja hallintaa. (Ks. esim. Khan & Yu 2019, 414) Toimitusketjun johtamisen haastavuutta lisää se, että toimitusketjuun kuuluu toimittajien, valmistajien ja asiakkaiden lisäksi varastot, rahdin kuljetus, jälleenmyynti (Chopra 2019, 15).



KUVA 1. Yleiskuva toimitusketjusta (mukaiillen Khan & Yu 2019, 4)

Lambertin et al. (1998, 1) mukaan toimitusketjun johtaminen on keskeisten liiketoimintaprosessien integrointia raaka-aineen hankinnasta valmiin tuotteen kuljettamiseksi loppuasiakkaalle asti. Kyse on tuotteen, palvelun tai informaation toimittamisesta niin, että se tuottaa lisäarvoa asiakkaille ja kaikille muille yrityksen sidosryhmille. Toimitusketjun johtamisella pyritään hallitsemaan tehokkaasti ja tuloksellisesti kaikkia toimitusketjun eri osapuolia (Khan & Yu 2019, 414). Pyrkimyksenä on kustannusten minimointi. Yritykset ovat ymmärtäneet, että kilpailuedun saaminen riippuu omien kyvykkyyksien lisäksi toimitusketjuun kuuluvien toimijoiden resurssien hyödyntämisestä. (Ross 2015, 28)

Logistiikkaa ja toimitusketjujen johtamista käytetään joskus lähes synonyymeinä. Logistiikka on enemmän materiaalivirran ohjausta, jonka tavoitteena on varastointi- ja kuljetusresurssien kustannustehokas käyttö niin, että pystytään vastaamaan yritysten päivittäisiin tarpeisiin. Toimitusketjun johtaminen on logistiikkaa laajempi ja kokonaisvaltaisempi käsite ja ulottuu pidemmälle toimitusketjussa. Logistiikan käsite onkin osin korvautunut toimitusketjun johtamisella. (Ross 2015, 29–30, 43)

Toimitusketjun johtaminen on entistä haastavampaa lukuisten muutosten takia. Globalisoituminen, digitalisaatio, uusien teknologioiden räjähdysmäinen kasvu ja lisääntynyt ulkoistaminen ovat pakottaneet yritykset katsomaan omien ydinosamaisalueidensa ulkopuolelle (Ross 2015, 43). Globaaleissa toimitusketjuissa on mukana useita yrityksiä ja toimijoita, jolloin logistiikkaketju on pitkä, monimutkainen ja samalla entistä haavoittuvaisempi. Tämä vaikeuttaa toimitusketjun hallintaa ja esimerkiksi riskien tunnistamista. (Vilko & Hallikas 2011, 58) Toimitusketjuihin kohdistuu monenlaisia riskejä, esimerkiksi tarjonnan ja kysynnän heilahtelut, epävarmat läpimenoajat, luonnonkatastrofit ja ihmisen aiheuttamat katastrofit. Varmuusvarastot ovat yksi keino suojautua riskeiltä. (Boulaksil 2016)

2.2 Varastonhallinta toimitusketjun osana

Varastonhallinta on osa toimitusketjun johtamista. Kyse on jatkuvasta varastojen suunnittelu-, organisointi- ja valvontaprosessista, jolla pyritään minimoimaan varastoinvestoinnit ja tasapainottamaan kysyntä ja tarjonta. (Singh & Verma 2018, 3868) Varastoilla ja varastonhallinnalla on keskeinen rooli toimitusketjussa, ja varastoja koskevia päätöksiä ei voi tehdä

erillään toimitusketjun johtamisesta. Varastot eivät vaikuta vain yksittäisiin yrityksiin, vaan niiden merkitys ulottuu koko toimitusketjuun. (Ross 2015, 373) Varastonhallintaa haastaa uusien tuotteiden kysynnän nopeus ja toisaalta asiakkaiden vaatimukset tuotteista, joiden elinkaari on pitkä. Kilpailussa pärjätäkseen yrityksen on toimitettava oikea tuote oikeaan paikkaan oikeaan aikaan hyvässä kunnossa. (Shah & al. 2021, 1–2)

Varastoja pidetään eräänlaisina puskureina, joiden avulla selviydytään toisaalta asiakkaiden kysynnän vaihteluista ja toisaalta toimittajien mahdollisista toimitukseen liittyvistä rajoituksista (Ross 2015, 373). Varastonhallinnan merkitystä korostaa se, että varastot ovat yleensä yrityksen kallein omaisuuserä, tavallisesti vähintään 10–15 % yrityksen omaisuudesta (Khan & Yu 2019, 109), teollisuusyrityksillä huomattavasti suurempi. Tehokkaan varastonhallinnan kehittäminen on erittäin haasteellista, siinä voi joko onnistua tai epäonnistua:

"The right quantity of inventory supports logistics, production and other functions. On the other hand, excessive inventory is a "killer and dangerous" for companies and it is a sign of poor management of inventory that builds unnecessary waste of scarce resources."
(Khan & Yu 2019, 109)

Varastoon kuuluvat kaikki ostetut, täysin valmiit sekä keskeneräiset tuotteet. Ilman tehokasta varastonhallintaa, toimitusketjun toiminta häiriintyy ja kustannukset nousevat. Varastonhallintaan sisältyy monenlaisia ohjaus- ja valvontatyökaluja. Varastopäälliköiden tehtäviin kuuluu varmistaa, että varastossa olevia tuotteita on saatavilla oikeaan aikaan ja tarvittavissa määrin. (Shenoy & Rosas 2018, 5)

Varastonhallinnan ja varaston johtamisen ohella puhutaan paljon varastojen optimoinnista. Optimoinnilla pyritään etsimään paras mahdollinen vaihtoehto ja varastojen näkökulmasta siihen liittyy palvelutason nostaminen, mutta samanaikaisesti myös kustannusten vähentäminen (ks. esim. Kumar & Aouam 2018).

Varastokustannuksilla on suora vaikutus toimitusketjun kilpailukykyyn, ja kyky laskea kustannusten tasapaino varastoinvestointien ja palvelutasojen välillä on olennaista. (Ross 2015, 326) Varastokustannukset jaetaan tyypillisesti kolmeen osaan (Shenoy & Rosas 2018, 19; ks. myös Arnold 2008, 264):

- varastonpitokustannukset (carrying costs or inventory holding costs)
- täydennys/tilauskustannukset (ordering costs)
- puutekustannukset (shortage costs, stockout costs).

2.2.1 Erilaiset varastotyypit ja varaston ohjausmallit

Yritysten varastot voidaan jaotella varaston toiminnan/funktion mukaan (ks. Shenoy & Rosas 2018, 5; Ross 2015, 324):

- 1) kiertovarasto/eräkokovarasto (cycle stock, lot-size inventory)
- 2) prosessivarasto (pipeline stock)
- 3) tuotannosta irrotettu varasto (decoupling inventory)
- 4) kausivarasto (seasonal stock)
- 5) varmuusvarasto (safety stock)

Kiertovaraston idea on se, että yritys ei hanki kaikkia materiaalejaan kerralla. Useimmissa tapauksissa yritykset täydentävät varastojaan isommissa, kulutusta suuremmissa erissä. Kiertovarasto on keskimäärin puolet täydennyserästä. Yritykset suosivat suurempia tilauskokoja, koska ne saavat niistä kustannussäästöjä. (Shenoy & Rosas 2018, 5; Arnold & al. 2008, 258)

Prosessivaraston tehtävänä on ottaa huomioon toimitusten läpimenoaikaan liittyvät epävarmuustekijät. Prosessissa oleva varasto sijoittuu kuljetukseen tai jakelukanavaan. Esimerkiksi rekoissa tai laivoissa voi olla prosessivarasto. Prosessivarasto voidaan laskea kysynnän ja läpimenoajan tulona, kun esimerkiksi kysynnän yksikkö on määrä/päivä ja läpimenoajan yksikkö on päivä. (Shenoy & Rosas 2018, 6)

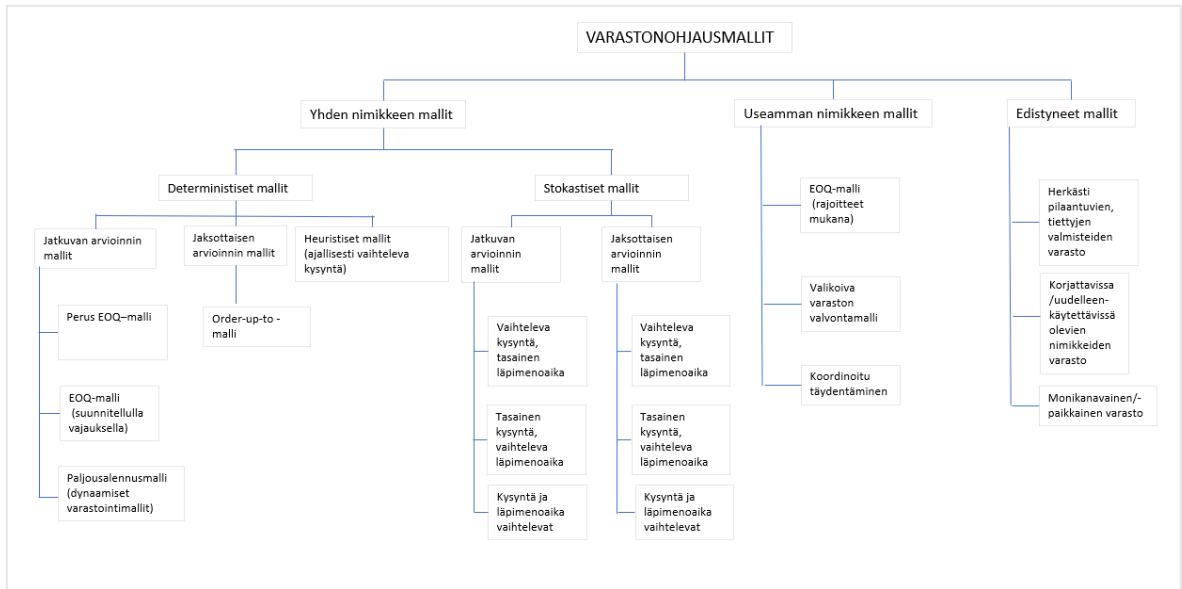
Tuotannosta irrotettu varasto on eräänlainen välivarasto, joka irrottaa valmistusprosessin toisesta prosessista. Tuotannosta irrotettu varasto on kahden työaseman välillä ylläpidettävä välivarasto, jonka tehtävänä on auttaa sujuvoittamaan työnkulkua työasemien välillä, jos esimerkiksi jollain työasemalla ilmenee prosessia hankaloittavia epävarmuuksia. (Shenoy & Rosas 2018, 5)

Kausivaraston avulla varaudutaan kausittaisiin kysyntähuippuihin. Niiden avulla tasoitetaan tuotantoa. Tavallisesti kausivarasto muodostetaan alhaisen kysynnän aikana ja kulutetaan korkean kysynnän aikana. (Ross 2015, 324)

Varmuusvarastoa yritys pitää puskurina toimitusten viivästymisen tai asiakkaiden kysynnän muutosten varalta (Khan & Yu 2019, 404). Varmuusvaraston tarkoituksena on kattaa ennalta-arvaamattomat tilanteet ja turvata toiminnan jatkuminen. Mitä suurempi varmuusvarasto on, sitä paremmin pystytään palvelemaan asiakkaita. Eri varastotyypit linkittyvät toisiinsa. Esimerkiksi kiertovarasto toimii parhaiten silloin, kun siinä on puskurina varmuusvarasto. (Ross 2015, 319)

Varaston ohjausmalleilla pyritään systematisoimaan varaston ohjausta, optimoimaan varastotaso ja minimoimaan kustannuksia. Ohjausmalleja on monenlaisia (ks. kuva 2) ja niihin liittyy runsaasti matemaattisia malleja. Varastonhallinta edellyttää kykyä soveltaa malleja ja tilastollisia menetelmiä. Ohjausmallien avulla pyritään vastaamaan seuraavaan kolmeen kysymykseen (Shenoy & Rosas 2018, 13):

- 1) Miten usein varaston tilanne on tarkistettava?
- 2) Milloin varastoa on täydennettävä?
- 3) Mikä on tilauksen koko?



KUVA 2. Varastonohjausmallien luokittelu (mukaihen Ross 2015, 319)

Kuten kuvasta 2 näkyy, on olemassa erilaisia malleja ja niiden yhdistelmiä. Puhutaan esimerkiksi yhden nimikkeen tai useamman nimikkeen varastonohjausmalleista ja ns. edistyneemmistä malleista, joista esimerkkinä monikanavaisiin toimitusketjuihin perustuva ohjausmalli (multi-location/echelon). Yksi jako voidaan tehdä determinististen ja stokastisten (satunnaisuuden matemaattinen mallintaminen) mallien välillä. Ohjausmallit voidaan jakaa myös jatkuvaan arviointiin ja jaksottaiseen: jatkuvasta yhtenä esimerkkinä EOQ-malli (economic order quantity). Ohjausmalli voi perustua myös pysyvään vs. vaihtelevaan kysyntään ja kysynnän vaihteluihin pohjautuviin läpimenoaikoihin (Ks. myös Mondal & al. 2020, 137)

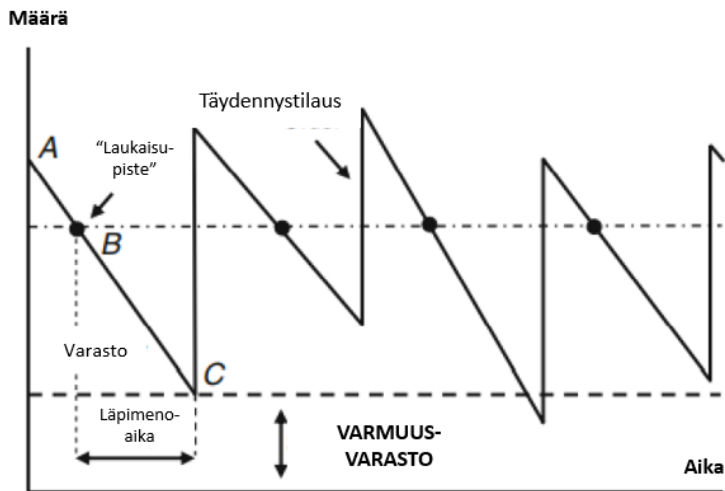
Varastohallinnan ja -ohjauksen näkökulmasta keskeisiä käsitteitä ovat mm. varaston taso (stock level), läpimenoaika (lead time), kiertonopeus (inventory turns), riitto (DOS), tilaus-ten määrä (order quantity), täydennystilauksen määrä (replenishment order), tilauspiste (order point) ja eräkkö (lot size, batch size).

2.2.2 Varmuusvarastot varastonhallinnassa

Varmuusvarastoa tarvitaan suojaamaan yritystä kysynnän tai tarjonnan vaihteluilta. Varmuusvarastoja pidetään yleisesti varastonhallinnassa sopivana strategiana, jolla hallitaan epävarmuutta ja estetään varaston loppuminen (Gonçalves & al. 2020, 1). On sanottu, että toimitusketjut eivät pysty toimimaan ilman varmuusvarastoja (Syntetos & al. 2016, 11). Varmuusvarastot eivät tietenkään yksinään riitä turvaamaan toimintaa, ja ne toimivat usein kiertovarastojen tukena. Varmuusvaraston suuruus riippuu siitä, kuinka paljon kysyntä vaihtelee ja kuinka kauan varaston täydentäminen vie aikaa. Esimerkiksi kiertovarasto toimii parhaiten, kun sillä on tukena varmuusvarasto. (Ross 2015, 319)

Varmuusvaraston merkitys korostuu, kun on vaikeaa arvioida kysynnän muutoksia ja täydennystilauksen saatavuutta. On tilanteita, joissa joudutaan turvautumaan varmuusvarastoon, mutta täydennystilauksen saavuttua varmuusvarasto saadaan täytettyä. (Ross 2015, 362) Jos tuotteiden täsmällinen kysyntä olisi aina tiedossa ja vaihtelisi harvoin, kiertovarastot riittäisivät yksinään tyydyttämään kysynnän. Todellisuudessa kysyntä kuitenkin vaihtelee ja tilanteet muuttuvat yllättäen. Varmuusvarastolla varaudutaan odotettua suuremman kysynnän mahdollisuuteen, joka voi aiheuttaa varaston loppumisen. (Ross 2015, 364)

Kuva 3 kertoo, missä vaiheessa tietyn nimikkeen (A) varastomäärän vähentyessä on tehtävä täydennystilaus (trigger point B), jotta perusvarasto ei kulu loppuun eikä jouduta käyttämään varmuusvarastoa. Kuvassa esitetty läpimenoaika riittää siihen, että varasto saadaan täydennettyä ennen kuin siirrytään varmuusvaraston puolelle. Kolmannessa syklissä varastomäärä laskee niin, että joudutaan käyttämään varmuusvarastoa tukena. (Ross 2015, 361–362)



KUVA 3. Varaston täydentämismalli (mukaiillen Ross 2015, 361)

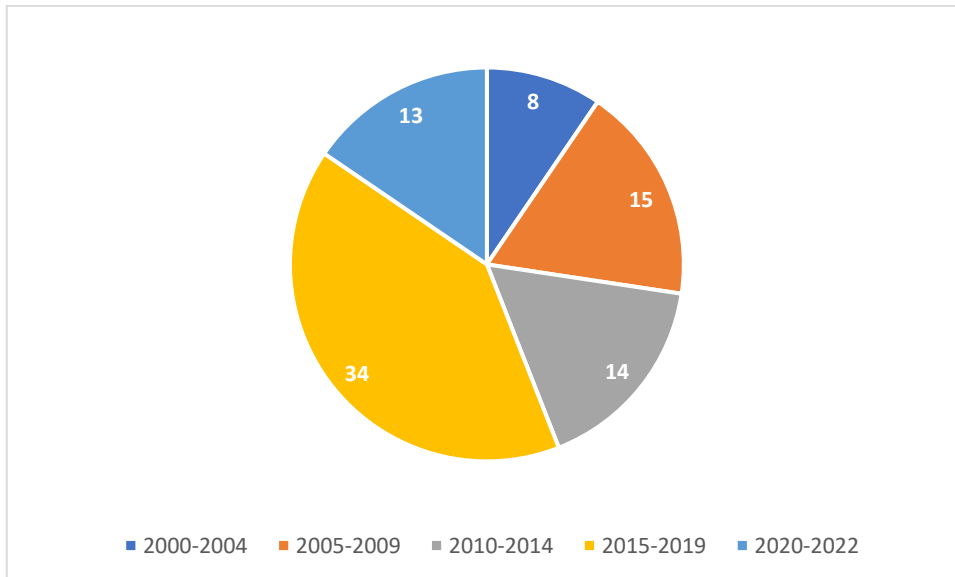
Toimitusketjun joustavuutta ja toimintakykyä vahvistetaan optimoimalla varmuusvarastojen taso ja määrittelemällä niiden sijainti järkevästi (Ross 2015, 137). Arunmozhin & al. mukaan (2021, 13) toimitusketjujen riskienhallinnan näkökulmasta on tärkeää kehittää vaihtoehtoisia hankintalähteitä. Olennaista on myös arvioida, kuinka paljon varmuusvarastoa tarvitaan eri tilanteissa.

3 Aineiston kuvaaminen ja luokittelu

Aineistoon kerätyt artikkelit luokiteltiin seuraavien kriteerien avulla:

- artikkelien määrät tiettyinä ajanjaksoina
- artikkeleista esiinnousseiden teemojen määrät
- yleisimmät lehdet, joissa artikkelit julkaistu
- artikkelien viittaukset (10 eniten siteerattua)
- artikkelit, joissa jokin case/sovelluskohde

Artikkelit jaettiin viiden vuoden aikajaksoihin, viimeinen jakso on hieman yli kaksi vuotta. Kuten kuvasta 4 näkyy, vuosina 2015–2019 julkaistiin 40 % (yhteensä 34) kaikista artikkeleista. Koska viimeiseen ajanjaksoon kuuluu vain reilut kaksi vuotta ja artikkeleita on kuitenkin julkaistu jo 13, voidaan olettaa, että artikkeleiden määrä on kasvussa.



KUVA 4. Artikkelien jakautuminen (N) eri jaksoina

Artikkelit jakautuivat 54 eri lehteen, joista yleisimmät olivat:

- International Journal of Production Economics (8 artikkelia)
- European Journal of Operational Research (7 artikkelia)
- Manufacturing and Service Operations Management (7)
- Computers and Operations Research (4)
- International Journal of Production Research (4)

36 prosenttia hakukriteereillä löytyneistä tieteellisistä artikkeleista oli julkaistu yllä mainituissa lehdissä. Suluissa on esitetty lehdissä julkaistujen artikkeleiden määrä.

Taulukossa 1 on nähtävillä eniten siteeratut artikkelit vuosilta 2000–2022. Artikkelien siteerausten määrät on poimittu Scopus-tietokannasta. Kaikkein siteeratuin artikkeli ”*Optimizing strategic safety stock placement in supply chains*” löytyy vuodelta 2000. Sen ovat kirjoittaneet S. Graves. ja S. Willem, ja viittausten lukumäärä on 254. On ymmärrettävää, että eniten siteeratut artikkelit löytyvät ajanjakson alusta. Kuitenkin yksi vuonna 2018 julkaistuista, hii- lipäästöt huomioivista artikkeleista mahtui kymmenen siteeratuimman joukkoon: ”*An inventory model of supply chain disruption recovery with safety stock and carbon emission consideration*” (Darom & al. 2018).

TAULUKKO 1. Kymmenen eniten siteerattua artikkelia

	Tekijät	Viittausten lkm	Journal/Vuosi
Optimizing strategic safety stock placement in supply chains	Graves S.C., Willems S.P.	254	Manufacturing and Service Operations Management/2000
Stochastic inventory systems in a supply chain with asymmetric information: Cycle stocks, safety stocks, and consignment stock	Corbett C.J.	197	Operations Research/2001
Strategic safety stocks in reverse logistics supply chains	Minner S.	118	International Journal of Production Economics/2001
An integrated production-distribution model for the dynamic location and allocation problem with safety stock optimization	Gebennini E., Gamberini R., Manzini R.	112	International Journal of Production Economics/2009
A genetic algorithm for a single product network design model with lead time and safety stock considerations	Sourirajan K., Ozsen L., Uzsoy R.	83	European Journal of Operational Research/2009
The effect of lead time uncertainty on safety stocks	Chopra S., Reinhardt G., Dada M.	76	Decision Sciences/2004
A single-product network design model with lead time and safety stock considerations	Sourirajan K., Ozsen L., Uzsoy R.	70	IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)/2007
Safety stock positioning in supply chains with stochastic lead times	Simchi-Levi D., Zhao Y.	57	Manufacturing and Service Operations Management/2005
Integrated safety stock management for multi-stage supply chains under production capacity constraints	Jung J.Y., Blau G., Pekny J.F., Reklaitis G.V., Eversdyk D.	50	Computers and Chemical Engineering/2008
An inventory model of supply chain disruption recovery with safety stock and carbon emission consideration	Darom N.A., Hishamuddin H., Ramli R., Mat Nopiah Z.	38	Journal of Cleaner Production/2018

Artikkelit analysoitiin myös sen perusteella, onko niissä sovellettu case-tutkimusta. Peräti 60 artikkelia oli sellaisia, joissa ei ollut mukana tosielämän tapaustutkimusta. Lopuissa

artikkeleissa (29 %) oli sovellettu case-tutkimusta, esimerkiksi mallinuksissa käytettiin olemassa olevaa dataa, joka oli kerätty jostain yrityksestä/toimialalta. Caseyritykset edustivat eri toimialoja, pääasiassa teollisuusalan yrityksiä.

Lähes poikkeuksetta kaikissa artikkeleissa käytettiin/kehitettiin matemaattisia malleja ja algoritmeja. Ainoastaan kolmessa artikkelissa ei käytetty matemaattisia malleja. Vrbova, Cempirek ja Alina (2016) tarkastelevat artikkelissaan Tsekissä käytössä olevia logistisia malleja kehittääkseen viitekehyksen varmuusvaraston käyttöönotolle. Leaven, Wang, Coley ja Udoka (2017) tutkivat öljy-yhtiöiden korkeisiin varmuusvarastotasoihin liittyviä haasteita ja kolmannessa artikkelissa Chung, Talluri ja Kovács (2018) tutkivat läpimenoaikojen vaihtelevuuden ja varmuusvarastojen vaikutusta logistiseen suorituskykyyn USA:n ja Meksikon välisellä vapaakauppa-alueella.

Kuvaan 5 on kerätty artikkeleissa käytettyjä avainsanoja sanapilveen Scopusin SciVal-työkalun avulla. Varmuusvarastot ja toimitusketjut ovat luonnollisesti eniten esillä, koska niitä käytettiin hakusanoina. Mitä isommalla sana on kuvattu, sitä useammin se esiintyy artikkeleissa. Vihreä väri kertoo siitä, että sana on yleistynyt ja sininen väri kertoo siitä, että sanan käyttö on vähentynyt tarkastelujakson aikana. Kuvassa on mukana artikkelit vuosina 2008–2020. Sanapilvi kertoo sen, että avainsanojen käyttö vaihtelee paljon. Kaikista artikkeleista ei löytynyt avainsanoja.



KUVA 5. Sanapilvi aineiston artikkeleiden avainsanoista

4 Varmuusvarastot tutkimuskohteena

4.1 Miksi varmuusvarastoja on tutkittu?

Artikkeleissa nousee esille kiristynyt kilpailutilanne, toimintaympäristössä tapahtuvat muutokset sekä kuluttajien tietoisuuden ja laatuvaatimusten lisääntyminen varmuusvarastoja koskevien tutkimusten taustalla. Tehokas varastonhallinta on yksi tärkeimmistä alueista toimitusketjun johtamisessa. Varastot sitovat suuren osan yrityksen käyttöpääomasta ja ovat suurimpia kustannuseriä. Useimmiten artikkeleissa nouseekin esille kustannustehokkuus ja tarve minimoida kustannuksia siten, että palvelun laatutaso pystytään takaamaan. Varmuusvarastot ovat yksi keskeisimpiä keinoja toimitusketjun kysynnän ja tarjonnan heilahteluihin varautumisessa. Puhutaan varastojen määrän, sijoittamisen ja varastotasojen optimoinnin tarpeellisuudesta.

Toimitusketjujen merkittävydestä ja toiminnan kriittisyydestä kertoo se, että yritysten välisen kilpailun painopisteen on sanottu siirtyneen toimitusketjujen väliseen kilpailuun (Hua & Willems 2016, 107). Kilpailuedun saavuttamiseksi/säilyttämiseksi toimitusketjuihin kohdistuu valtavia paineita. Nopeasti muuttuvassa toimintaympäristössä etsitään aktiivisesti keinoja, joilla ollaan kilpailijoita edellä. Ilman toimivaa varastonhallintaa on mahdotonta pärjätä.

Varmuusvarastoja koskevat tutkimukset sisältävät paljon matemaattisia malleja, algoritmeja ja simulaatioita. Joissain artikkeleissa motiivina on se, että halutaan kehittää jotain joko omaa tai yleisemmin toisen kehittämää teoreettista mallia tai algoritmia pidemmälle. Halutaan kehittää myös kokonaan uusia menetelmiä, joilla pyritään estämään varastojen loppuminen ja parantamaan toimitusketjun luotettavuutta. Esimerkiksi Ducharme, Agard ja Trépanier esittelevät vuonna 2021 julkaistussa artikkelissaan uuden ennustemallin ja virheenmittausmenetelmän nimeltä ”*Next Time Under Safety Stock*”.

Yhtenä motiivina on myös uusien näkökulmien tuominen varmuusvarastoja koskeviin tutkimuksiin. Esimerkiksi kysynnän heilahtelun sijaan tai sen lisäksi tarkastellaan tarjonnan

vaihtelua varmuusvarastojen sijoittamisen yhtenä lähtökohtana (Li & Jiang 2012; Humair & al. 2013; Urlu & Erkip 2020). Kirjoittajien mukaan aiemmat tutkimukset ja kehitetyt mallit ovat keskittyneet kysynnän vaihteluun, mutta tarjonnan/tarjontaan liittyvän läpimenoajan vaihtelun tutkimus on jäänyt vähemmälle. Tarjonnan vaihtelun hallintaan pyritään löytämään ratkaisua esimerkiksi kehittämällä uutta toimittajan valintamallia, joka perustuu toimitusten luotettavuuteen. (Ruiz & Torres 2010). Lisäksi Goncalves & al. (2020, 12) nostavat uutena trendinä esille data-analytiikan käytön tarjonnan häiriöiden ennustamisessa.

Kirjoittavat saattavat viitata myös siihen, että eivät ole löytäneet riittävästi tutkimuksia, jotka käsittelevät heitä kiinnostavaa aihetta. *"To the best of authors' knowledge, this is the first attempt to..."* (Accorsi & al. 2018, 243; ks. myös Boute & al. 2014; Tempelmaier & Bantel, 2015; Zahraei & Teo 2017; Trapero & al. 2019) Eli heidän lähestymistapansa on uusi. Esimerkiksi Accorsi & al. (2018) yhdistävät tutkimuksessaan sään ja kysynnän kausiluonteisuuden, tuotteiden poiminnan optimoinnin ja varaston laadun säilyttämisen varaston toimintoihin. Tempelmeier & Bantel (2015) puolestaan tutkivat varmuusvarastojen optimoinnin lähtökohtana varastonhallinnan ja lähtevän kuljetuksen vuorovaikutusta saapuvan kuljetuksen sijaan. Zahraei (2017) mainitsee artikkelissaan ottaneensa uudenlaisen näkökulman Gravesin ja Willemsin (2003) esittämään *guaranteed service* -malliin.

Ylivoimaisesti suurin motiivi varmuusvarastoja koskevien tutkimusten taustalla on tarve löytää ratkaisuja kustannusten vähentämiseen. Miten minimoidaan kustannuksia ilman, että joudutaan tinkimään palvelutasosta?

4.2 Mitä teemoja varmuusvarastoja koskevissa tutkimuksissa?

Varmuusvarastoja koskevissa tutkimuksissa korostuu epävarmuus ja kysynnän ja tarjonnan heilahtelut. Epävarmuudesta selviytyminen onkin yksi toimitusketjun ja varastonhallinnan keskeisistä kysymyksistä. Useat tutkimukset ovat keskittyneet kehittämään erilaisia tekniikoita ja malleja, joilla nimenomaan yritetään hallita epävarmuuksia toimitusketjussa. Toinen yleinen näkökulma, joka artikkeleista nousee esille, liittyy varmuusvarastojen optimointiin.

Forbesin raportin mukaan (ks. Goncalves 2020) yritykset suhtautuvat riskeihin ja epävarmuuksiin entistä huolellisemmin. Raportissa tuodaan myös esille varmuusvarastojen merkitys toimitusketjua koskevien yllättävien riskien hallinnassa. Näitä riskejä ovat luonnonkatastrofit (esim. hurrikaanit, tsunamit, tulvat) tai epidemiat (esim. koronapandemia). Luonnonkatastrofien määrä on lisääntynyt viime vuosina.

Gonçalvesin & al. (2020) mukaan varmuusvarastoja on viime vuosikymmeninä tutkittu aktiivisesti ja tutkimus on usein kohdistunut varmuusvarastojen mitoitukseen (dimensioning), asemointiin (positioning), hallintaan (managing) ja sijoittamiseen (placement). Artikkelissa ei määritelty asemoinnin ja sijoittamisen eroa.

Tämän tutkimuksen aineistosta nousee esille useita toimitusketjun johtamiseen, varastonhallintaan ja varastonohjaukseen sisältyviä teemoja. Keskeiset teemat on valittu ja niiden määrät laskettu otsikoiden ja tiivistelmien pohjalta. Tällöin voitaneen olettaa, että teema on artikkelissa keskeisessä asemassa. Taulukossa 2 on nähtävissä useimmiten esiinnoituneet teemat. Varmuusvarastojen sijoittamiseen keskittyviä artikkeleita oli 28, mitoitukseen 26 ja läpimenoaikoihin 24. Varastonhallinta/johtaminen oli keskeisessä roolissa 34 artikkelissa. Tässä työssä yhdistettiin varmuusvarastojen asemointuminen (positioning) ja sijoittaminen (placement) samaan teemaan. Näiden käsitteiden yhtäläisyydestä on maininta Lin ja Jiangin (2012, 1333) kirjoittamassa artikkelissa.

TAULUKKO 2. Teemat varmuusvarastotutkimuksissa

Teemat	Hakusanat	Artikkelien määrät (hakusana otsikossa ja/tai tiivistelmässä)
varmuusvarastojen sijoittaminen/sijainti	placement, positioning, location	28
varmuusvarastojen mitoitus/varastotasot	dimensioning, stock levels	26
läpimenoaika	lead time	24
varastonhallinta/johtaminen/päätöksenteko	managing, management, managers, decision mak*	34

Seuraavaksi käsitellään tarkemmin yleisimmät teemat ja nostetaan esimerkkejä tai havain-
toja teemaa koskevista artikkeleista.

4.2.1 Varmuusvarastojen sijoittaminen

Artikkeleissa nousee esille muun muassa varmuusvarastojen sijoittamisen strategisuus ja si-
joittamisen optimointi. Toimitusketjut ovat monimutkaistuneet, eikä aina ole selvää, mihin
varmuusvarastot kannattaisi sijoittaa. Päätös siitä, mihin varmuusvarastot sijoitetaan, on yri-
tyksen näkökulmasta merkityksellinen ja strateginen luonteeltaan. (Graves & Willems 2000,
69) Varmuusvarastojen sijoittaminen on tehokkaan varastohallinnan osa. Optimoinnilla
tarkoitetaan sitä, että toimitusketjuissa on oikea määrä varmuusvarastoja ja ne sijaitsevat
oikeassa paikassa. Varmuusvarastoja koskevat optimointimallit ovat lisääntyneet ja niissä
pyritään optimoimaan varaston tasoa ja sijaintia muun muassa monikanavaisissa (multi-
echelon) toimitusketjuissa. (Klosterhalfen & al. 2014, 204)

Toimitusketjun rakenne vaikuttaa varmuusvaraston sijoittamiseen toimitusketjun sisällä.
Usein artikkeleissa esille noussut monikanavainen toimitusketju on erilaisten systeemien yh-
distelmä. Perinteisesti varmuusvarastot on sijoitettu toimitusketjun loppupäähän. Todelli-
suudessa se ei kuitenkaan riitä, vaan Sitompulin & al. (2007, 1–2) mukaan varmuusvarastot
on sijoitettava toimitusketjun useampaan kriittiseen kohtaan. Varmuusvarastoissa pitää olla
lopputuotteiden lisäksi myös keskeneräisiä tuotteita. Myös Amirjabbari & Bhuiyan (2014)
vertailevat artikkelissaan raaka-aineiden varmuusvarastoja ja lopputuotevarastojen tarpeel-
lisuutta ja kustannuksia.

Myös varmuusvaraston sijoittamista koskevissa tutkimuksissa kehitetään ja testataan erilai-
sia matemaattisia malleja ja algoritmeja varastohallinnan ja päätöksenteon tueksi. Var-
muusvarastojen sijoittamisen mallinuksissa tarkastellaan usein esimerkiksi läpimeno-
aikoja, täydennysaikoja ja kustannuksia. (Vanteddu & al. 2007, 474) Keskeistä kaikissa rat-
kaisuissa on riittävän palvelutason ylläpitäminen. Tyypillisimmät varmuusvarastojen opti-
mointimallit, joita artikkeleissa käytetään ovat stokastinen palvelumalli ja guaranteed-

service -malli (GS, taattu palvelumalli). Optimointimallien tarpeellisuutta voidaan perustella yritysten kiristyneen kilpailutilanteen vuoksi.

"Firms are aggressively working to improve supply chain performance to balance evolving customer preferences of shorter lead times and higher service levels with a need for profitable growth" (Aouam & Kumar 2019, 1).

Graves ja Willems (2003) vertailevat artikkelissaan stokastista palvelumallia ja guaranteed service -mallia varmuusvarastojen sijoittamisessa. Kirjoittajien mukaan stokastinen malli olettaa, että toimitus- ja palveluaika vaihtelee riippuen materiaalin saatavuudesta toimittajavaiheessa. Stokastista mallia pidetään käytännönläheisempänä, koska se ottaa huomioon riskin (Braglia & al. 2016, 100). GS-malli puolestaan olettaa, että jokainen toimitusketjun vaihe pystyy vastaamaan sille määriteltyyn toimitus- tai palveluaikaan riippumatta materiaalin saatavuudesta toimittajavaiheessa. Tämä pystytään varmistamaan riittävän suurilla varmuusvarastoilla. (Graves & Willems 2003) Erityisesti GS-malli näyttää olevan suosittu varmuusvarastoja koskevissa tutkimuksissa. (Aouam & al. 2021, 2), ja useissa muissakin varmuusvarastojen sijoittamista tarkastelevissa artikkeleissa on hyödynnetty ja kehitetty GS-mallia pidemmälle (ks. esim. Humair & Willem 2011; Funaki 2012; Kumar & Aouam 2019).

Graves ja Willem (2000) ovat aiemmassa, tämän aineiston eniten viitatussa julkaisussa kehittäneet optimointialgoritmin varmuusvarastojen sijoittamiselle löytääkseen palveluajat, jotka minimoivat varmuusvarastojen pitokustannukset. He mallintavat toimitusketjua verkostona ja kehittävät ”spanning tree”-optimointialgoritmin. Tätä samaa verkostomaista mallia on käytetty myöhemminkin (Humair & Willem 2011; Ghadimi & al. 2020).

Jos kysynnän vaihtelevuuteen yhdistetään toimitusketjun kapasiteettirajoitukset, varmuusvarastojen sijoittamispäätökset monimutkaistuvat entisestään. Sitompul & al. (2007) pyrkivät mallintamaan Monte Carlo simulaation avulla toimitusketjujen sijoittamista tilanteessa, jossa toimitusketjut toimivat täydellä kapasiteetilla. Artikkelissa nostetaan esille varmuusvarastojen sijoittamisen haastavuus. Tarkat ratkaisut eivät ole kovin lupaavia laajan mittakaavan ongelmissa.

Varmuusvarastojen optimaalisessa sijoittamisessa on hyödynnetty ennustamista/ennakointiprosessia, kun on kehitetty erilaisia malleja ja algoritmeja. Schoenmeyer & al. (2009) nostaa esille kolme erilaista periaatetta, joiden tulisi ohjata varmuusvarastojen sijoittamispäätöksiä.

Nämä periaatteet, jotka ovat keskenään osittain ristiriitaisia, ovat seuraavat: 1) tilastolliset mittakaavaedut ohjaavat käyttämään määrällisesti vähemmän mutta isompia varmuusvarastoja, 2) lisäarvoa tuottavat toiminnot (pitokustannukset kasvavat toimitusketjun loppupäässä) kannustavat käyttämään useampia, pienempiä ja hajautetumpia varmuusvarastoja, 3) ennusteisiin perustuva tilausperiaate, jossa oletetaan, että ennustusvirheet ovat pienempiä kuin kysynnän heilahtelu, johtaa varmuusvarastojen määrän vähentämiseen etenkin toimitusketjun loppupäässä.

Kustannusten vähentäminen on vahvasti varmuusvarastojen optimoinnin taustalla. Amirjabbari ja Bhuiyan (2014) tarkastelevat artikkelissaan varmuusvarastojen tasoja kustannusten minimoimiseksi, mutta havaitsevat että tasojen lisäksi myös varmuusvarastojen sijainnilla on erittäin suuri merkitys. He tekevät mm. kustannusvertailuja toimitusketjun alkupään (raakamateriaalit) ja loppupään (valmiit tuotteet) välillä. Varmuusvarastojen sijoituksessa tuotantoketjun alkupäähän säästetään varastonpitokustannuksissa. Sitä vastoin, kun sijoitetaan varmuusvarastot tuotantoketjun loppupäähän, läpimenoajat lyhenevät.

Varmuusvarastojen sijoittamisessa tarkastellaan usein kysynnän heilahtelua, mutta sen lisäksi on alettu kiinnittää enemmän huomiota myös tarjonnan ja läpimenoajan vaihteluun (ks. esim. Humair & al. 2013; Osman & Demirli 2012; Urlu & Erkip 2020).

4.2.2 Varmuusvarastojen mitoitus

Useissa artikkeleissa on käsitelty myös varmuusvarastojen mitoitusta ja tasoa. Varastotasojen arvioinnilla ja optimoinnilla pyritään vähentämään varastoinnin kustannuksia. Puhutaan toimitusketjun uudelleensuunnittelusta, jolla tavoitellaan optimaalista varastotasoa. Varastojen mitoitus liittyy kiinteästi varmuusvarastojen määriin ja sijoittamispäätöksiin. (Ks. esim. Yan & al. 2002; Amirjabbari & Bhuiyan 2011; Amirjabbari & Bhuiyan 2014)

Mitä korkeampi varmuusvarastotaso on, sitä varmemmin pystytään takaamaan hyvä ja laadukas palvelu. Varmuusvarastot pitää kuitenkin mitoittaa oikeankokoisiksi, jotta toimitusketjun kokonaiskustannukset eivät kasva liian suuriksi. (Jung & al. 2008) Varastotason ja varaston loppumisen suhdetta on tutkittu (esim. Korponai & al. 2017), ja pitää laskea

palvelutaso, joka määrittää hyväksyttävän todennäköisyyden varaston loppumiselle. Kirjoittajien mukaan varmuusvaraston tason nostaminen laskee ymmärrettävästi varaston loppumisen todennäköisyyttä. Mutta tosiasiasa täydellinen varmuus voidaan saavuttaa vain äärettömällä varmuusvarastotasolla.

Erilaisten menetelmien ja algoritmien avulla pyritään luomaan mallia kustannusten minimoimiseksi ja halutun palvelutason ylläpitämiseksi, jotta voidaan saavuttaa optimaalinen varastotaso. Yue (2007) toteaa artikkelissaan, että on ainakin kaksi koulukuntaa varastotason määrittämisessä. Ensimmäisessä lähestymistavassa jokaisen tuotantoketjussa sijaitsevan varmuusvaraston taso määritellään itsenäisesti. Toisessa, suojatussa lähestymistavassa (pipeline hedging method) varmuusvarastojen tasot määritetään ottaen huomioon olemassa olevat tuotantoketjun loppupään varmuusvarastot. Yuen mukaan ensimmäinen lähestymistapa on ollut paljon laajemmin käytössä sekä käytännössä että kirjallisuudessa.

Vuonna 2020 julkaistussa artikkelissa (Goncalves & al. 2020) keskitytään varmuusvarastoja koskeviin artikkeleihin vuodesta 1977 vuoteen 2019. Fokuksena on nimenomaan varmuusvarastojen mitoitus ja optimaalisen varmuusvarastotason löytäminen. Goncalves, Carvalho ja Gomez (2020) ovat kiinnostuneita siitä, miten varmuusvarastojen mitoituksen haasteita on eri artikkeleissa tarkasteltu. He havaitsivat, että mitoitusta on tarkasteltu käyttämällä erilaisia optimointi- ja ohjelmointimalleja, simulaatiomalleja ja hybridimalleja. Suurin osa (88 %) käytetyistä malleista on analyttisiä/optimointimalleja. Noin joka kolmannessa artikkelissa on jonkinlainen case-tutkimus.

Kirjoittajat jakavat valitsemansa 95 artikkelia neljään kategoriaan:

- Artikkelit, joissa varmuusvaraston mitoitusta koskevat päätökset perustuvat kysynnän vaihteluun, joka useimmiten esitetään normaalijakaumana.
- Artikkelit, joissa varmuusvaraston mitoitusta koskevat päätökset perustuvat ennustevirheiden vaihteluun.
- Artikkelit, joissa varmuusvarastojen mitoitukseen vaikuttaa tuotteiden rakenne ja komponenttien standardisointi.

- Artikkelit, jotka eivät kuulu mihinkään edellä mainittuun luokkaan, ns. muut mallit (esim. stokastiset mallit, matemaattiset ohjelmointimallit, simulaatiopohjaiset optimointimallit) (Goncalves & al. 2020)

Edellä mainitun artikkelin kirjoittajat (emt., 12–13) nostavat esille mielenkiintoisia näkökulmia varmuusvarastojen mitoitus koskevista tutkimuksista ja jatkotarpeista. On selvää, että varastonhallinta on todella riippuvainen kysynnän ennustamisesta. Varmuusvarastojen mitoituksessa kysynnän ennustamista tärkeämpää on kuitenkin läpimenoaikojen vaihtelun ennustaminen ja heidän mukaansa tässä olisi vielä paljon tutkittavaa. Läpimenoaikaa pidetään kriittisenä tekijänä varmuusvarastojen optimoinnissa. Uutena trendinä mainitaan data-analytiikan käyttö erityisesti toimitushäiriöiden ennustamisessa, ja tulevaisuudessa pitäisi keskittyä koneoppimisen hyödyntämiseen päätöksenteon tukena toimitushäiriöissä.

Yksi artikkelin havainnoista on, että varmuusvarastojen mitoittamista koskevien matemaattisten mallien laatimisessa tulisi kiinnittää enemmän huomioita datan laatuun ja siihen liittyviin ongelmiin. Johdon on saatava kustannustehokkaiden varmuusvarastojen määrittelyn tueksi luotettavaa dataa.

”... *an informed decision-making process is only as good as the data on which it is based*”. (emt. 12)

Kirjoittajien mukaan tulevaisuudessa pitäisi enemmän kehittää ja tutkia yhtä nimikettä sisältävän varastomallin sijaan malleja, jotka soveltuvat useita nimikkeitä sisältäviin varastoihin. Lisäksi pitäisi olla enemmän mukana aitoja case-tutkimuksia. Yhtenä kehittämiskohteena kirjoittavat nostavat esille mallit, jotka kuvaavat valmistajien komponenttien kysyntää toimitusketjun alkupäässä sen sijaan, että turvauduttaisiin loppuasiakkaisiin kohdistuviin ennustemalleihin. Toimitusketjun loppupään ennustaminen voi häiriintyä mahdollisen virheellisen markkinatiedon vuoksi. (emt. 12)

4.2.3 Läpimenoajat

Läpimenoaika liittyy vahvasti varmuusvarastojen sijoittamiseen ja/tai mitoittamiseen eikä se sinällään ole erillinen teema. Se on kuitenkin keskeinen muuttuja varastonohjausmalleissa ja se on vahvasti esillä varmuusvaraston sijoittamis- ja mitoituspäätöksiä koskevissa artikkeleissa. Viime vuosina useat tutkijat ovat kehittäneet varastonohjausmalleja, joissa läpimenoaika on olennaisessa roolissa (Tharani & Uthayakumar 2020).

Kiristynyt kilpailu ja asiakkaiden tiukentuneet odotukset paremman palvelun suhteen ovat vaikuttaneet siihen, että yritykset pyrkivät kaikkiin keinoin etsimään ratkaisuja vastataksaan kustannustehokkaasti odotuksiin ja saavuttaakseen kilpailuedun suhteessa muihin. Läpimenoaikojen lyhentäminen on yksi keino asiakkaiden tarpeiden vastaamiseen. (Kumar & Aouam 2018)

Sarkar & Giri (2020) määrittelevät läpimenoajan tilauksen asettamisen ja saamisen väliseksi ajaksi. He kehittävät mallia, jossa läpimenoaika koostuu kahdesta komponentista: tuotantoon kuuluvasta ajasta ja kuljetusajasta. Yksi heidän havainnoistaan on se, että läpimenoajan lyhentäminen on erityisen hyödyllistä tilanteissa, joissa toimitusketjuissa on suuria asiakkaasta johtuvia läpimenoajan poikkeamia. Läpimenoajan merkittävydestä varastonhallinnassa kertoo se, että tässä yhteydessä puhutaan läpimenoajan johtamisesta (*“lead-time management”*).

Tutkimuksissa on noussut esille, että tarjouskilpailussa menestyneet ovat erottautuneet kustannustehokkuuden lisäksi reagoitokyvyllä, josta yhtenä esimerkkinä on juuri toimitusketjun läpimenoaika. Reagoitokyvyllä/herkkyydellä tarkoitetaan kykyä vastata nopeasti asiakkaiden muuttuviin tarpeisiin, mitä läpimenoajalla pystytään kuvaamaan. Siitä huolimatta varmuusvarastoja käsittelevässä kirjallisuudessa keskitytään reagoitokyvyn sijaan useimmin kustannusten minimointiin. (Vanteddu 2007, 464)

On haastavaa löytää ratkaisuja varastojen vähentämiseksi ilman, että joutuu heikentämään tarjotun palvelun tasoa. Chopra, Reinhardt ja Dada (2004) tarkastelevat artikkelissaan läpimenoajan vaihtelevuuden vaikutusta varmuusvarastoihin. Heidän mukaansa johto keskittyy erityisesti varaston täydennysajan (toimittajalta varastolle) ja läpimenoaikojen vaihtelun

vähentämiseen. Normaaliapproksimaatio osoittaa, että läpimenoaikojen vaihtelun vähentämisellä on suurempi vaikutus varmuusvarastojen määrään kuin itse läpimenoajan vähentämisellä, varsinkin jos vaihtelu on suurta. Kirjoittajat päätyivät omissa laskelmissaan toisenlaiseen tulokseen. Jos johto haluaa vähentää varmuusvarastoja, sen tulisikin keskittyä lyhentämään läpimenoaikaa vaihtelun sijaan.

Boute, Disney, Lambrecht and Houdt (2014) tarkastelevat artikkelissaan vähittäismyyjän varastopäätösten ja toimittajan läpimenoaikojen/toimitusaikojen yhteensovittamista. Toimittajien toimitusajoilla on suora vaikutus varmuusvarastoihin, sillä pidemmät ja vaihtelevat toimitusajat edellyttävät suurempia varmuusvarastoja. Make-to-order-tilanteessa vaikutus on päinvastainen, ja toimitusajat vaihtelevat vähittäismyyjän tilausvirran ja sen vaihtelun mukaan. Kirjoittajat puhuvat tilausten ja läpimenoaikojen keskinäisestä riippuvaisuudesta.

Läpimenoajat ja niiden vaihtelevuuden merkitys nousee esille useissa artikkeleissa. Tehokkaassa ja kokonaisvaltaisessa toimitusketjun hallinnassa on huomioitava palvelutasot ja kysynnän volatilitteetti läpimenoaikojen lisäksi. Useimmat varastomallit sisältävät kysynnän vaihtelun, mutta läpimenoajan vaihtelun tarkastelu on jäänyt vähemmälle huomiolle erityisesti monikanavaisissa toimitusketjuissa. (Humair & al. 2013)

Toimitusketjua suunniteltaessa varmuusvaraston optimaalinen sijoittaminen on tärkeä päätös. Läpimenoaika vaikuttaa varmuusvarastojen sijoittamiseen. Matemaattisen mallin avulla tarkastellaan läpimenoaikoja. Kun läpimenoajat/toimitusajat jakelukeskuksesta vähittäiskauppiaille ovat lyhyet, varmuusvarastot sijaitsevat tyypillisemmin jakelukeskuksissa. Jos läpimenoajat/toimitusajat ovat pitkät, vähittäiskauppiat pitävät varmuusvarastoa. Myös kysynnän vaihtelu vaikuttaa sijoittamispäätöksiin. Esimerkiksi jos vähittäiskauppiaan tuotteella on runsaasti kysyntää, kauppias hyötyy varmuusvarastoista. Toisaalta jos jakelukeskukset palvelevat lukuisia vähittäiskauppiaita, kannattaa niiden pitää varmuusvarastoja. (Puga & al. 2019)

4.2.4 Varastonhallinta/varaston johtaminen

Varastonhallinta, varaston johtaminen ja päätöksenteko liittyvät kiinteästi varmuusvarastoja koskeviin artikkeleihin. Varaston tehokasta johtamista pidetään yhtenä toimitusketjun hallinnan kulmakivenä. Jo 2000-luvun alussa todetaan, että varastonhallinta on yhä enemmän alkanut kiinnostaa sekä tutkijoita että käytännön toimijoita. Johdon tueksi on kehitetty ja sovellettu lukuisia työkaluja, tekniikoita ja malleja tavoitteena kustannusten vähentäminen ja tehokkuuden lisääminen. (Talluri & al. 2004, 62) Johdon haastavana tehtävänä on kustannusten vähentäminen siten, että pystytään pitämään kiinni korkeasta/halutusta palvelutasosta (ks. esim. Chopra & al. 2004, 1).

Varmuusvarastoja koskevista artikkeleista käy ilmi se, että varastonhallinta on muuttunut yhä merkityksellisemmäksi ja vaikeammaksi, koska toimitusketjut ovat pidentyneet, monimutkaistuneet, digitalisoituneet ja muuttuneet verkostomaisemmiksi, ja erilaisia toimijoita on yhä enemmän ja kilpailu on kiristynyt. Lisäksi ennalta-arvaamattomat riskit ovat lisääntyneet ja varastonhallintaan kytkeytyy läheisesti myös riskien johtaminen ja ennakointitiedon sekä ennusteiden hyödyntäminen. Varastonhallintaan liittyy myös vastuullisuus- ja ympäristöasioiden huomioiminen, mikä nostetaan esille joissakin artikkeleissa (Darom & al. 2018). Myös lean-metodologia on osa varastonhallintaa, mutta leaniin keskittyviä artikkeleita löytyi tästä aineistosta vain kolme (Amirjabbari & Bhuiyan 2011; Amirjabbari & Bhuiyan 2014; Leaven & al. 2017).

Toimitusketjun johtamisessa ei kyseenalaisteta sitä, etteivätkö varmuusvarastot olisi sopiva strategia kysynnän ja tarjonnan epävarmuuksien hallitsemiseen, kun tavoitteena on estää varaston loppuminen (Goncalves & al., 2020). Edelleen kuitenkin tarvitaan jatkokehitystyötä, uusia malleja, sovelluksia ja työkaluja muuttuneen ja muuttuvan toimintaympäristön haasteisiin vastaamiseen.

4.2.5 Muita huomioita

Varmuusvarastoja koskevissa artikkeleissa nousee usein esille palvelutason käsite. Sitä käytetään sijoittamiseen, mitoittamiseen ja läpimenoaikoihin liittyvissä päätöksissä.

Tehostamispäätösten taustalle määritellään tietty palvelutaso, josta ei haluta tinkiä. (Ks. esim. Yan & al. 2002; Chopra & al. 2004; Louly & al. 2009) Palvelutasolla viitataan nimenomaan lopputuotteen asiakastyytyväisyyteen (esim. Louly & al. 2009, 723; Osman & Demirli 2012, 302).

Palvelutaso voidaan määritellä esimerkiksi tuotteeseen tyytyväisten asiakkaiden osuudella (Louly & al. 2009, 723). Palvelutaso on myös yksi keino mitata toimitusketjun suorituskykyä. Silloin palvelutaso kuvaa sitä osuutta kysynnästä, johon toimitusketju pystyy vastaamaan ennalta määritellyn ja sallitun toimitusajan puitteissa. (Jung & al. 2008, 2570) Palvelutaso määritellään hieman eri tavoin. Braglia, Castellano ja Frosilini (2016) määrittelevät palvelutason funktiona, jossa muuttujina ovat varaston hyväksyttävissä oleva loppumismäärä tietyssä aikayksikössä sekä tilausmäärä.

5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tämän työn aineisto koostui 84 varmuusvarastoa käsittelevästä tieteellisestä artikkelista, jotka haettiin Scopus-tietokannasta. Tarkastelujakso rajattiin vuodesta 2000 vuoden 2022 helmikuuhun. Artikkelit jakaantuivat yli 50 eri aikakausilehteen eikä yksikään lehdistä nousut ylivoimaisesti muita suosittumaksi. Varmuusvarastot ovat olleet jo pitkään tutkimuskohteena. Vaikka tarkasteltava ajanjakso on vain 22 vuotta, on nähtävissä, että varmuusvarastoja koskevien tieteellisten artikkeleiden määrä on ollut kasvussa. Tässä työssä pyrittiin selvittämään, miksi varmuusvarastoja on tutkittu ja mitä teemoja nousee esille varmuusvarastoja koskevissa tutkimuksissa.

Tutkimusten taustalla olevat syyt

Varmuusvarastoja koskevien artikkeleiden taustalta löytyy lähes aina kustannusten minimointi, koska varastot ovat yksi yritysten suurimmista kustannuseristä. Kustannuksia pyritään vähentämään ja kustannustehokkuutta lisäämään niin, että palvelun laatu pysytään takaamaan. Varmuusvarastot on merkittävä tutkimuskohde, koska niiden avulla voidaan suojautua kysynnän ja tarjonnan heilahtelulta ja turvata yrityksen toiminta. Nopeasti muuttuva toimintaympäristö ja kilpailun kiristyminen haastaa etsimään uusia keinoja varastonhallintaan. Yritysten välisen kilpailun onkin sanottu siirtyneen toimitusketjujen välille. Varmuusvarastoja koskevia tutkimuksia perustellaan sillä, että johto tarvitsee työkaluja ja malleja tehokkaaseen varastonhallintaan.

Joissakin tutkimuksissa motiivina on se, että halutaan kehittää olemassa olevaa teoreettista mallia tai algoritmia pidemmälle. Toimitusketjun kompleksisuus on vaikuttanut siihen, että entiset mallit eivät enää sellaisenaan sovellu monimutkaistuneisiin toimitusketjuihin. Tarvi- taan uusia malleja ja näkökulmia varmuusvarastojen tarkasteluun. Uusien mallien avulla pyritään estämään varastojen loppuminen ja parantamaan toimitusketjun luotettavuutta. Osa kirjoittajista perustelee aihettaan sillä, että siitä löytyy vain vähän aiempaa kirjallisuutta tai sitä ei ole juuri lainkaan tutkittu.

Varmuusvarastotutkimusten teemat

Kuten sivun 15 sanapilvestä näkyy, varmuusvarastoja koskevissa tutkimuksissa nousee esille erilaisia teemoja ja käsitteitä. Aineiston artikkelien otsikoiden ja tiivistelmien perusteella valikoitui seuraavat teemat: varmuusvarastojen sijoittaminen, varastotasot/mitoitus, läpimenoaika ja varastonhallinta/johtaminen. Nämä teemat liittyvät kiinteästi toisiinsa.

Varmuusvarastojen sijoittaminen on merkittävä strateginen päätös. Monet eri tekijät vaikuttavat siihen, mihin kohtaan toimitusketjussa varmuusvarastot sijoitetaan. Perinteisesti ne ovat sijoitettu toimitusketjun loppupäähän, mutta tutkimusten mukaan varmuusvarastoja pitäisi olla jokaisessa toimitusketjun kriittisessä kohdassa. Sijoittamiseen vaikuttaa mm. läpimenoajat, täydennysajat, välimatkat ja toimitusketjun rakenne. Yksi näkökulma sijoittamispäätösten taustalla on se, että tarvitaanko toimitusketjussa raaka-aineiden/komponenttien varmuusvarastoja, lopputuotteiden varmuusvarastoja vai molempia.

Varaston kustannuksia pyritään vähentämään sijoittamispäätösten lisäksi varastotasojen arvioinnilla ja optimoinnilla, joka nousi esille toisena teemana. Varmuusvarastot on osattava mitoittaa oikean kokoisiksi, jotta toimitusketjun kokonaiskustannukset eivät kasvaisi liian suuriksi. Varastotasoa nostamalla varaston loppumisen todennäköisyys pienenee, mutta täydellistä varmuutta on mahdotonta saavuttaa. Varmuusvaraston mitoitusta koskevat päätökset perustuvat useimmiten kysynnän vaihteluun ja ennustevirheiden vaihteluun.

Kolmantena teemana nousi esille läpimenoaika, jota pidetään kriittisenä tekijänä varmuusvarastojen optimoinnissa ja varastonohjausmalleissa. Läpimenoajan merkittävyys näkyy myös siinä, että puhutaan jopa läpimenoajan johtamisesta. Läpimenoaika vaikuttaa vahvasti myös varmuusvarastojen sijoittamispäätöksiin. Kirjoittajilla on ristiriitaisia näkemyksiä siitä, onko läpimenoajan vaihtelun lyhentäminen merkityksellisempää kuin itse läpimenoajan lyhentäminen. Tämä kertoo osaltaan aihealueen haastavuudesta.

Varastonhallinta/varaston johtaminen on yleinen näkökulma varmuusvarastoja koskevissa tutkimuksissa. Useissa artikkeleissa korostetaan johdon haastavaa tehtävää varmuusvarastoja koskevien päätösten tekemisessä, ja erilaisten mallien ja ratkaisujen avulla pyritään tukemaan johtoa. Tavoitteena on löytää uusia, innovatiivisia tapoja ja menetelmiä varastonhallintaan ja johtamiseen.

Muutokset ja näkökulmat tarkasteltavan ajanjakson aikana

Tarkasteltava ajanjakso (2000–2022) on sen verran lyhyt, ettei ole löydettävissä selkeää näyttöä teemojen muutoksista ajan kuluessa. Muutamia havaintoja voidaan kuitenkin nostaa esille. Riskienhallinta korostuu vahvemmin vuoden 2016 jälkeen julkaistuissa artikkeleissa. Joissakin aikaisemmissa artikkeleissa on käytetty ”risk pooling” -käsitettä. Esimerkiksi jos keskitetyssä jakelukeskuksessa vähittäiskauppiaille on yhteinen varmuusvarasto, riskien yhdistämisestä on saavutettavissa hyötyjä (Sourirajan & al. 2009). Toisaalta yksi varastonhallinnan ja toimitusketjun johtamisen keskeisistä kysymyksistä on epävarmuudesta selviytyminen, joka liittyy riskienhallintaan.

Myös ympäristöteema (hiilipäästöt, vastuullisuus) nousee esille vasta muutamissa 2015 jälkeen julkaistuissa artikkeleissa. Jo aiemmin on muutamia mainintoja paluulogistiikasta, johon sisältyy tuotteiden uudelleenkäyttö ja kierrätys. On oletettavaa, että vastuullisuus ja ympäristönäkökulmat nousevat jatkossa enemmän esille myös varmuusvarastoja koskevilla tutkimuksilla. Lisäksi hieman yllättävää on se, että lean käsitteenä on vahvasti esillä vain kolmessa artikkelissa, mutta toisaalta artikkeleissa puhutaan paljon optimoinnista, jolla on yhtymäkohtia leaniin. Myöskään covid-pandemian vaikutukset eivät näy artikkeleissa tällä ajanjaksolla, todennäköisesti nousevat myöhemmin esille.

Tarkastelujakson aikana on havaittavissa, että Guaranteed service -näkökulman käyttö on lisääntynyt. Yleensäkin palvelutason käsite on vahvasti esillä varmuusvarastoja koskevilla tutkimuksilla, kun halutaan määritellä tietty palvelutaso, josta ei tingitä. Myös monikanavaiset toimitusketjut (multi-echelon/multistage) ovat yhä useammin esillä. Yksinkertaiset mallinnukset eivät enää toimi monimutkaisemmissa toimitusketjuissa ja siksi pitää kehittää uusia malleja. Lisäksi on havaittavissa, että kysynnän vaihtelusta on siirrytty tarkastelemaan yhä enemmän tarjonnan vaihtelua ja myös läpimenoajan vaihtelun merkitystä korostetaan. Myös ennustevirheet ja niiden vaihtelun tarkastelu ovat yksi keskeinen näkökulma.

Tyypillistä varmuusvarastoja koskeville tutkimuksille on, että niissä kehitetään matemaattisia malleja, algoritmeja ja testataan erilaisia simulaatioita ja tämä on nähtävissä koko tarkastelujakson ajan. Ainoastaan kolmessa artikkelissa ei ollut sovellettu matemaattisia malleja. Case-tutkimusten osuus on tämän aineiston perusteella vain 30 prosenttia. Tyypillisesti case-

tutkimuksessa on testattu kehitteillä olevaa mallia jossain yrityksessä tai käytettyä dataa on kerätty oikeasta yrityksestä.

Mitä jatkossa?

Varmuusvarastoja pidetään sopivana strategiana, kun pyritään hallitsemaan kysynnän ja tarjonnan epävarmuudet ja estämään varastojen loppuminen. Aineistosta käy ilmi, että edelleen kuitenkin tarvitaan jatkokehitystyötä, uusia malleja ja sovelluksia muuttuvan toimintaympäristön haasteisiin vastaamiseksi. Artikkelin kirjoittajat (Goncalves & al. 2020) toivovat lisää aitoja case-tutkimuksia ja nostavat esille data-analytiikan hyödyntämisen ja datan luotettavuuden tärkeyden. Viime vuosina tehokkaan varastonhallinnan ja varmuusvarastojen merkitys on kasvanut entisestään pitkittyneen koronapandemian ja vuoden 2022 alussa alkaneen epävarman maailmanpoliittisen tilanteen vuoksi. Yritykset joutuvat kohtaamaan uusia epävarmuustekijöitä. Toimintaympäristö muuttuu nopeasti ja yllättäen eikä kaikkiin muutoksiin osata varautua. Logistiset haasteet ovat lisääntyneet ja yritykset tarvitsevat lisää varastoja toimintansa turvaamiseen. Samalla myös riskienhallinnan ja ennakkoinnin merkitys kasvaa. Varastonhallinnassa ja varmuusvarastoissa riittää jatkossakin tutkittavaa.

Lähteet

Accorsi R., Baruffaldi G. & Manzini R. 2018. Picking efficiency and stock safety: A bi-objective storage assignment policy for temperature-sensitive products. *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 115, 240-252.

Amirjabbari, B. & Bhuiyan, N. 2011. An application of a cost minimization model in determining safety stock level and location. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. Vol. 79. 797-806.

Amirjabbari B. & Bhuiyan N. 2014. Determining supply chain safety stock level and location. *Journal of Industrial Engineering and Management*. Vol. 7 (1), 42-71.

Aouam, T., Ghadimi, F. & Vanhoucke, M. 2021. Finite inventory budgets in production capacity and safety stock placement under the guaranteed service approach. *Computers and Operations Research*. Vol. 131.

Aouam, T. & Kumar, K. 2019. On the effect of overtime and subcontracting on supply chain safety stocks. *Omega (United Kingdom)*. Vol. 89, 1-20.

Arnold, T., Chapman, S. & Clive, L. 2008. *Introduction to Materials Management*. 6th ed. Pearson/Prentice Hall, NJ.

Arunmozhi, M., Kumar, K.R. & Srinivasa, A.B. 2021. Impact of COVID-19 on Global Supply Chain Management. In A.R.Sakthivel, J.Kandasamy & J.P.Davim (eds.) *Managing Supply Chain Risk and Disruptions: Post COVID-19*. Management and Industrial Engineering. Springer, 1-18.

Boulaksil, Y. 2016. Safety Stock Placement in Supply Chains with Demand Forecast Updates. *Operations Research Perspectives*. Vol. 3, 27-31

Boute, R.N., Disney, S.M., Lambrecht, M.C. & Van Houdt, B. 2014. Coordinating lead times and safety stocks under autocorrelated demand. *European Journal of Operational Research*. Vol. 232 (1), 52-63.

Braglia, M., Castellano, D. & Frosolini, M. 2016. A novel approach to safety stock management in a coordinated supply chain with controllable lead time using present value. *Applied Stochastic Models in Business and Industry*. Vol. 32 (1), 99-112.

Chopra, S. 2019. *Supply chain management: strategy, planning and operation*. 7th ed. Harlow: Pearson Education.

Chopra S., Reinhardt G. & Dada M. 2004. The effect of lead time uncertainty on safety stocks. *Decision Sciences*. Vol 35 (1), 1-24.

Chung, W., Talluri, S. & Kovács G. 2018. Investigating the effects of lead-time uncertainties and safety stocks on logistical performance in a border-crossing JIT supply chain. *Computers and Industrial Engineering*. Vol. 188, 440-450.

Darom, N.A., Hishamuddin, H., Ramli, R., Mat, Nopiah Z. 2018. An inventory model of supply chain disruption recovery with safety stock and carbon emission consideration. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 197 (1), 1011-1021.

Ducharme, C., Agard, B. & Trépanier M. 2021. Forecasting a customer's Next Time Under Safety Stock. *International Journal of Production Economics*. Vol. 234.

Funaki K. 2012. Strategic safety stock placement in supply chain design with due-date based demand. *International Journal of Production Economics*. Vol. 135 (1), 4-13.

Gonçalves, J.N.C., Sameiro Carvalho, M. & Cortez, P. 2020. Operations research models and methods for safety stock determination: A review. *Operations Research Perspectives*, vol. 7.

Ghadimi F., Aouam T. & Vanhoucke M. 2020. Optimizing production capacity and safety stocks in general acyclic supply chains. *Computers and Operations Research*. Vol. 120.

Graves, S.C. & Willems, S.P. 2000. Optimizing Strategic Safety Stock Placement in Supply Chains. *Manufacturing & Service Operations Management*. Vol. 2 (1), 68-83.

Graves, S.C. & Willems, S.P. 2003. Supply Chain Design: Safety Stock Placement and Supply Chain Configuration. A.G. de Kok and S.C. Graves, Eds., *Handbooks in Operational Research & Management Science*. Vol. 11, 95-132.

Hua, N.G. & Willems, S.P. 2016. Analytical insights into two-stage serial line supply chain safety stock. *International Journal of Production Economics*.

Humair S. & Willems S.P. 2011. Optimizing strategic safety stock placement in general acyclic networks. *Operations Research*. Vol. 59 (3), 781-787.

Humair, S., Ruark, J.D., Tomlin, B. & Willems, S.P. 2013. Incorporating Stochastic Lead Times into the Guaranteed Service Model of Safety Stock Optimization. *Interfaces*. Vol. 43 (5), 421-434.

Jung, J.Y., Blau, G., Pekny, J.F., Reklaitis, G.V. & Eversdyk, D. 2008. Integrated safety stock management for multi-stage supply chains under production capacity constraints. *Computers and Chemical Engineering*. Vol. 32, 2570-2581.

Khan, S.A.R. & Yu, Z. 2019. *Strategic Supply Chain Management*. EAI/Springer Innovations in Communication and Computing.

Klosterhalfen S.T., Minner S. & Willems S.P. 2014. Manufacturing and Service Operations Management. Strategic safety stock placement in supply networks with static dual supply. Vol 16 (2), 204-219

Korponai, J., Tóth, A. & Illes, B. 2017. The Effect Of The Safety Stock On The Occurrence Probability Of The Stock Shortage. *Management and Production Engineering Review*. Vol. 8 (1), 69-77.

Kumar, K. & Aouam, T. 2018. Effect of setup time reduction on supply chain safety stocks. *Effect of setup time reduction on supply chain safety stocks. Journal of Manufacturing Systems*. Vol. 49, 1-15.

Kumar, K. & Aouam, T. 2019. Extending the strategic safety stock placement model to consider tactical production smoothing. *Journal of Manufacturing Systems*. 279, 429-448.

Lambert, D.M., Cooper, M.C. & Pagh, J.D. 1998. Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities. *The International Journal of Logistics Management*. Vol.9 (2), 1-20.

Leaven, L., Wang, S., Coley, L. & Udoka, S. 2017. Achieving optimal safety inventory levels for oil companies using the CONWIP approach. *International Journal of Supply Chain Management*. Vol. 6 (4), 17-21.

Li, H. & Jiang, D. 2012. New model and heuristics for safety stock placement in general acyclic supply chain networks. *Computers and Operations Research*. Vol. 39 (7), 1333-1344.

Louly M.-A.O. & Dolgui A. 2009. Calculating safety stocks for assembly systems with random component procurement lead times: A branch and bound algorithm. *European Journal of Operational Research*. Vol. 199 (3), 723-731.

Minner, S. 2001. Strategic safety stocks in reverse logistics supply chains. *International Journal of Production Economics*. Vol.71 (1-3), 417-428.

Mondal, S., Khatoon, A. & Poria, S. 2020. Inventory Modeling and Inventory Control Application. In K.Kumar & J.P.Davim (eds.) *Supply Chain Intelligence. Application and Optimization. Management and Industrial Engineering*. Springer, 137-154.

Osman, H. & Demirli, K. 2012. Integrated safety stock optimization for multiple sourced stockpoints facing variable demand and lead time. *International Journal of Production Economics*. 135, 299–307.

Puga, M.S., Minner, S. & Tancrez, J-S. 2019. Two-stage supply chain design with safety stock placement decisions. *International Journal of Production Economics*. Vol. 209, 183–193.

Ross, D. 2015. *Distribution Planning and Control. Managing in the Era of Supply Chain Management*. 3rd edition. Springer, Boston.

Ruiz-Torres, A.J., Mahmoodi, F. & López, F.J. 2010 Supplier allocation and safety stock determination based on supplier reliability. *International Journal of Logistics Systems and Management*. Vol. 7 (4).

Salminen, A. 2011. Mikä kirjallisuuskatsaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin. *Vaasan yliopiston julkaisuja, opetusjulkaisuja* 62.

Sarkar S. & Giri B.C. 2020. Safety stock management in a supply chain model with waiting time and price discount dependent backlogging rate in stochastic environment. *Operational Research*. Vol. 22 (2), 917-946.

Schoenmeyer T. & Graves S.C. 2009. Strategic safety stocks in supply chains with evolving forecasts. *Manufacturing and Service Operations Management*. Vol. 11 (4), 657-673.

Shah, N.H., Patel, E. & Rabari, K. 2021. Upper-Lower Bounds for the Profit of an Inventory System Under Price-Stock Life Time Dependent Demand. In N.H.Shah, M.Mittal & L.E.Cárdenas-Barrón (eds.) *Decision Making in Inventory Management. Inventory Optimization*. Springer, 1-16.

Shenoy, D. & Rosas, R. 2018. *Problems & Solutions in Inventory Management*. Springer.

Singh, D. & Verma, A. 2018. Inventory Management in Supply Chain. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 5, p. 3867-3872.

Sitompul C., Aghezzaf E.-H., Dullaert W. & Van Landeghem H. 2007. Safety stock placement problem in capacitated supply chains. *International Journal of Production Research*, 1–19.

Sourirajan K., Ozsen L., Uzsoy R. 2009. A genetic algorithm for a single product network design model with lead time and safety stock considerations. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*.

Syntetos, A.A., Babai, Z., Boylan, J.E. Kolassa, S. & Nikolopoulos, K. 2016. Supply chain forecasting: Theory, practice, their gap and the future. *European journal of operational research*. Vol. 252 (1), 1-26

Talluri S., Cetin K. & Gardner A.J. 2004. Integrating demand and supply variability into safety stock evaluations. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*. Vol. 34 (1), 62-69.

Tempelmeier H. & Bantel O. 2015. Integrated optimization of safety stock and transportation capacity. *European Journal of Operational Research*. Vol. 247 (1), 101-112.

Tharani, S. & Uthayakumar, R. 2020. A novel approach to safety stock management in an integrated supply chain with controllable lead time and ordering cost reduction using present value. *RAIRO - Operations Research*. Vol. 54 (5), 1327-1346.

Trapero J.R., Cardós M., Kourentzes N. 2019. Empirical safety stock estimation based on kernel and GARCH models. *Omega (United Kingdom)*. Vol. 84. 199-211.

Urlu, B. & Erkip, N.K. 2020. Safety stock placement for serial systems under supply process uncertainty. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. 32, 395–424.

Vanteddu G., Chinnam R.B., Yang K & Gushikin O. 2007. Supply chain focus dependent safety stock placement. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*. Vol. 19 (4), 463-485.

Vilko, J. & Hallikas, J. (2011). Risk assessment in multimodal supply chains. *Int. J. Production Economics* 140 (2012) 586-595.

Vrbova P., Cempirek V. & Alina J. 2016. Buffer stock implementation in the regional context. *Actual Problems of Economics*. Vol. 185 (11), 248-257.

Yan, H., Sriskandarajah, C., Sethi, S.P. & Yue, X. 2002. Supply-Chain Redesign to Reduce Safety Stock Levels: Sequencing and Merging Operations. *Ieee Transactions on Engineering Management*. Vol. 49 (3).

Yue X. 2007. The impact of operations redesign on the safety stock investment in supply chains. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*. Vol. 19 (4), 516-532.

Zahraei, S.M. & Teo, C.C. 2017. Optimizing a supply network with production smoothing, freight expediting and safety stocks: An analysis of tactical trade-offs. *European Journal of Operational Research*. Vol. 262 (1), 75-88.