

# **Materiaalilogistiikan mallinnus ja optimointi**

**Case LNGTainer Oy**

Juhani Sjöman

Opinnäytetyö

Syyskuu 2016

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), logistiikan tutkinto-ohjelma

Materiaalinkäsittely

Tekijä(t) Sjöman, Juhani	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Syyskuu 2016
	Sivumäärä 87	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Materiaalilogistiikan mallinnus ja optimointi</b> Case LNGTainer Oy		
Tutkinto-ohjelma Logistiikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaajat Juha Sipilä ja Hannu Lähdevaara		
Toimeksiantajat Risto Toivanen ja Heikki Ollikainen, LNGTainer Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>LNGTainer Oy valmistaa nesteytetyn maakaasun kuljetukseen soveltuvaa 40 jalan LNG-konttia, jolla on merkittäviä etuja kilpailijoihinsa nähden. Tutkimuksen tavoitteena oli hahmotella LNG-kontin tuoterakenne, osaluettelo ja nimikerekisteri. Lisäksi tutkimuksessa rakennettiin materiaalinhallintamalli, joka sisältää toimitusketjun hallintaa ja sen optimointia.</p> <p>LNG-kontin rakenteeseen tutustuttiin haastatteluiden, palavereiden ja piirustusten avulla. Lähtötietojen perusteella laadittiin materiaalinhallintamalli taulukkolaskentaohjelmalla. Materiaalinhallintamallin optimointi suoritettiin makroilla Microsoft Excel® Visual Basic -ohjelmoinnin avulla. Muodostettiin kolme erilaista materiaalinhallintamallia: tilausohjautuva, varasto-ohjautuva ja hybridi. Optimointimenetelmänä käytettiin lineaarista optimointia ja PERT/CPM-menetelmää.</p> <p>Tutkimustuloksena materiaalinhallintamallilla kyetään tulostamaan LNG-kontin tuoterakenne ja mallin avulla pystytään visualisoimaan toimitusketjun ja valmistuksen pullonkaulat. Malli mahdollistaa myös simuloinnin eri parametreja muuttamalla. Mallin tulostama Gantt-kaavio näyttää työvaiheiden optimaalisen aloituskohdan ja kunkin työvaiheen keston myös toimitusajan osalta. Nimikerekisteristä esitettiin kaksi ehdotelmää, mutta lopullinen nimikerekisterin valinta tehdään myöhemmin.</p> <p>Materiaalinhallintamalli pystyy mukautumaan eri olosuhteisiin. Tämän johdosta sillä voidaan simuloida minkä tahansa tuotteen tuoterakennetta ja toimitusketjua. Malli mahdollistaa toimitusketjun optimoinnin ennen kuin tarvittavat tiedot implementoidaan ERP-järjestelmään. Mallin avulla voidaan simuloida eteen tulleet ongelmatilanteet ja kehittää niihin ratkaisu, jonka jälkeen korjaukset voidaan kirjata ERP-järjestelmään.</p>		
<p>Avainsanat (<a href="#">asiasanat</a>) LNG, nesteytetty maakaasu, tuoterakenne, osaluettelo, nimikerekisteri, lineaarinen optimointi, toimitusketju, tuotetiedonhallinta, PDM, PERT/CPM</p>		
Muut tiedot		

Author(s) Sjöman, Juhani	Type of publication Bachelor's thesis	Date September 2016 Language of publication: Finnish
	Number of pages 87	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Material Logistics Modeling and Optimization</b> Case LNGTainer Ltd.		
Degree programme Degree Programme in Logistics		
Supervisors Sipilä, Juha and Lähdevaara, Hannu		
Assigned by Risto Toivanen and Heikki Ollikainen, LNGTainer Ltd.		
Abstract  <p>LNGTainer Ltd. manufactures a 40-foot LNG container which has significant advantages over its competitors. The aim of this study was to outline the LNG container bill, bill of materials and item register. In addition, a material management model was constructed, which includes supply chain management and the optimization of the supply chain.</p> <p>The data and information for bill of materials is based on product specification as well as interviews of the company's leaders. The material management model was constructed in Microsoft Excel<sup>®</sup> software with Visual Basic for Applications (VBA), which is included in Excel. Specifically optimization part in the model uses VBA-code capabilities. Three different models were formed: order-based, inventory-based and a hybrid. For optimization, linear optimization with PERT/CPM method was used.</p> <p>As a study result the LNG-container bill can be easily printed and the bottlenecks of the supply chain and manufacturing can be revealed. The model also allows simulation by changing different parameters. The Gantt chart formed by the model shows the optimal starting point for operations and the duration of the operations and delivery time. There were two different suggestions for the item register, but the final decision will be made later.</p> <p>The material management model can adapt for different conditions. Because of that it can be used to simulate any other product's bill and supply chain. The model allows the optimization of the supply chain before the required information is implemented into ERP system. With the help of the model, simulation can be done for problematic situations and it is possible to develop a solution for problems. After the solution is found, corrections can be made into ERP system.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) LNG, liquefied natural gas, bill, bill of materials, item register, linear optimization, supply chain, product data management, PDM, PERT/CPM		
Miscellaneous		

## Sisältö

1	Kohti vihreämpää logistiikkaa .....	5
1.1	LNGTainer Oy yrityksenä .....	6
1.2	Nesteytetyn maakaasun kuljetuskontti .....	7
1.3	Nesteytetty maakaasu (LNG) energianlähteenä .....	8
2	Tutkimuksen tarkoitus ja tavoitteet .....	11
2.1	Tutkimusmenetelmät .....	12
2.1.1	Kvalitatiivinen tutkimus .....	12
2.1.2	Kvantitatiivinen tutkimus .....	13
2.1.3	Kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen tutkimuksen eroja .....	14
2.2	Tutkimuskysymykset .....	15
2.3	Tutkimusstrategiat ja -aineisto sekä tutkimusmenetelmän valinta.....	16
2.4	Aineiston analyysi.....	16
2.5	Tutkimuksen rajaukset .....	17
3	Toimintojen ohjaus.....	18
3.1	Toimintojen ohjauksen suunnittelu .....	18
3.2	Toimintojen ohjauksen laatu.....	20
3.3	Toimintojen ohjauksen mittarit ja jatkuva parantaminen .....	20
4	Toimitusketjun ja materiaalin hallinta .....	22
4.1	Hankinta .....	22
4.1.1	Määrittely .....	22
4.1.2	Toimittajan valinta.....	23
4.1.3	Sopimus ja tilaaminen .....	25
4.1.4	Hankintaportfolioanalyysi .....	28
4.2	Varastointi ja varastonhallinta .....	31
4.2.1	Varastoinnin tunnuslukuja.....	33
4.2.2	ABC-analyysi .....	37

	2
4.3 Tuotetiedonhallinta.....	39
4.3.1 Osaluettelo ja tuoterakenne.....	39
4.3.2 Nimikerekisteri .....	42
4.3.3 Massaräätälöinti .....	48
4.3.4 Lean ja make-or-buy-päätökset.....	51
5 Optimointi .....	53
5.1 Lineaarinen optimointi.....	53
5.2 Herkkyysanalyysi .....	56
5.3 PERT/CPM-menetelmä.....	57
6 Tutkimuksen toteuttaminen ja tutkimustulokset .....	64
6.1 Osaluettelon ja nimikerekisterin muodostaminen .....	64
6.2 Materiaalinhallintamallin muodostaminen ja tuoterakenne.....	66
6.3 Materiaalinhallintamallin optimointi .....	67
7 Johtopäätökset ja pohdinta .....	75
7.1 Materiaalinhallintamalli .....	75
7.2 LNG-kontin monipuolisuus.....	77
7.3 Maakaasun tulevaisuus .....	77
7.4 LNGTainer Oy:n tulevaisuus .....	78
8 Loppusanat.....	79
Lähteet.....	80
Liitteet .....	83
Liite 1. Materiaalinhallintamallilla tulostettu tuoterakennepuu. ....	83
Liite 2. Mallin tulostama numeerinen tuoterakennepuu.....	84
Liite 3. Mallilla tulostettu varasto-ohjauksen Gantt-kaavio.....	85
Liite 4. Mallilla tulostettu tilausohjauksen Gantt-kaavio. ....	86
Liite 5. Mallilla tulostettu hybridiohjauksen Gantt-kaavio.....	87

## Kuviot

Kuvio 1. Kaasutankkausasemat Suomessa elokuussa 2016.....	5
Kuvio 2. LNG-kuljetuskontin prototyyppi.....	7
Kuvio 3. Varoitusmerkit syttyvä (vas.) ja paineen alaiset kaasut.....	11
Kuvio 4. Maakaasun 1971 ja LNG:n 1972 numerokilvet kuljetuksissa.....	11
Kuvio 5. Hankintaprosessin eteneminen. ....	22
Kuvio 6. Hankintaportfolioanalyysi tuotteille ja toimittajille. ....	30
Kuvio 7. Varastot jaetaan aktiivi- ja passiivivarastoihin.....	33
Kuvio 8. Esimerkki usean tason ( <i>multi-level</i> ) tuoterakenteesta, johon on merkitty komponentti B:n valmistamiseen tarvittavat osat ja niiden määrät. ....	41
Kuvio 9. Usean tason ( <i>multi-level</i> ) puurakenne eriteltynä yhden tason ( <i>single-level</i> ) tuoterakenteiksi. ....	42
Kuvio 10. Esimerkki hierarkkisen koodin muodostumisesta.....	45
Kuvio 11. Esimerkki polykoodin muodostumisesta. ....	45
Kuvio 12. Päätöksentekokaaviokoodausesimerkki metallilevyjen kiinnikkeelle. ....	46
Kuvio 13. Make-or-buy-päätösten analysointi.....	52
Kuvio 14. Lineaarisen optimointitehtävän rajoitteet koordinaatistoon piirrettynä. ....	54
Kuvio 15. Tavoitefunktio $f(x)$ (sininen väri) sijoitettuna maksimikohtaan.....	55
Kuvio 16. Herkkyyksianalyysin perusosat ovat sidoksissa toisiinsa. ....	56
Kuvio 17. Projektiverkon eri piirtämistavat samalle verkolle. ....	59
Kuvio 18. Esimerkki projektiverkosta. ....	60
Kuvio 19. Projektiverkon merkinnät selitettynä. ....	61
Kuvio 20. Aikaisin ja myöhäisin aloitus- ja lopetuskohta aktiviteeteittain esimerkkiprojektiin sekä kriittinen polku.....	62
Kuvio 21. Varasto-ohjautuvan materiaalinhallintamallin optimointia. Vasemmalla tilanne ennen optimointia ja oikealla optimoinnin jälkeen. ....	70
Kuvio 22. Materiaalinhallintamallin optimointialgoritmi.....	71
Kuvio 23. Materiaalinhallintamallin pullonkaulan herkkyyksianalyysi värikoodattuna ja Gantt-kaavio rinnakkain. ....	72
Kuvio 24. Materiaalinhallintamallin toiminnallinen kokonaisuus.....	73
Kuvio 25. Materiaalinhallintamallin painikkeet. ....	74
Kuvio 26. LNG-laiva Porin terminaalissa. ....	78

## Taulukot

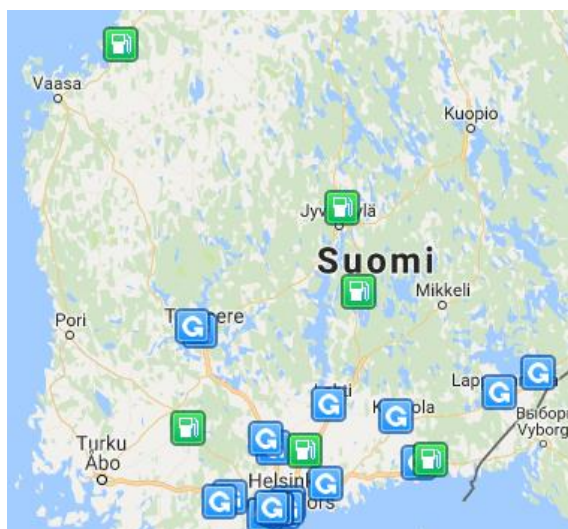
Taulukko 1. Fossiilisten polttoaineiden palamisen hiilidioksidipäästöt.....	8
Taulukko 2. Laadullisen ja määrällisen tutkimuksen eroja. ....	15
Taulukko 3. Joitakin tyypillisiä toiminnan tavoitteen mittareita. ....	21
Taulukko 4. Alihankintamenetelmien vertailu.....	24
Taulukko 5. Toimituslausekkeet 2010 tyypeittäin. ....	27
Taulukko 6. Palvelutason avulla määriteltäviä palvelukertoimia <i>k</i> . ....	35
Taulukko 7. Varmuusvaraston koon määrittäminen eri tilanteissa.....	36
Taulukko 8. Usean kriteerin ABC-analyysi. ....	38
Taulukko 9. Varastonhallinnan parametrit useiden kriteerien ABC-analyysille. ....	38
Taulukko 10. Esimerkki osaluettelosta. ....	40
Taulukko 11. PERT/CPM-menetelmän esimerkkiprojektin alkutiedot. ....	58
Taulukko 12. Esimerkin eri polut ja niiden pituudet. Kriittisen polun pituus on 44 viikkoa.....	60
Taulukko 13. Pelivara ja kriittisyys aktiviteeteittain. ....	63
Taulukko 14. LNG-kontin esimerkinimiketunnukset ehdotuksessa 1. ....	65

## 1 Kohti vihreämpää logistiikkaa

Logistiikassa tavoitteena on, että tuote on oikeassa paikassa, oikeaan aikaan ja oikeassa kunnossa. Nykyään tätä listaa voitaisiin laajentaa lisäämällä siihen *oikealla tavalla* eli ympäristöystävällisemmin. Logistiikasta saadaan ympäristöystävällisempää lisäämällä kuljetusvolyymiä, parantamalla energiatehokkuutta tai pienentämällä päästöjä (McKinnon, Browne & Whiteing 2012, 146).

Yritysten on syytä huomioida jo tuotantosuunnittelussa vihreiden arvojen näkyvyys. Tuotteet tulee valmistaa ympäristöystävällisistä raaka-aineista, ja valmiit tuotteet on voitava kierrättää, kun ne ovat tulleet elinkaarensa päähän. Myös tuotteen käytöstä aiheutuvat ympäristöpäästöt on huomioitava. Kun koko toimitusketju on suunniteltu ympäristön kannalta mieleiseksi, liiketoiminta voi sujua tuottavammin, sillä ympäristöystävällisyys voi tarkoittaa myös säästöjä. (Burt, Dobler & Starling 2003, 346; Slack, Chambers & Johnston 2001, 100–101.)

EU:n ympäristödirektiivit pakottavat kehittämään uusia, vihreämpiä energiamuotoja. Suomessa on alettu rakentaa maa- ja biokaasun käyttöön tarvittavaa infrastruktuuria, ja elokuussa 2016 Suomesta löytyy 24 maa- ja biokaasun tankkausasemaa (ks. Kuvio 1) ("Tankkausasemien sijainnit Suomessa" 2016).



Kuvio 1. Kaasutankkausasemat Suomessa elokuussa 2016 ("Tankkausasemien sijainnit Suomessa" 2016).



Suomalaisyritys LNGTainer Oy:n tavoitteena on tulla markkinajohtajaksi nesteytetyn maakaasun kuljettamiseen tarkoitettujen konttien valmistajana (Toivanen 2016). Tässä opinnäytetyössä rakennetaan pohjaa tälle tavoitteelle Suomen tehtaalla osalta. Työn tarkoituksena on laatia kuvaus tuoterakenteesta ja suunnitella toimitusketju, joka palvelee parhaiten LNGTainerin tarkoitusta. Tutkimusaineisto kerätään valmiista piirustuksista ja keskustelemalla tuotantosuunnitteluhenkilöstön kanssa. Epäselvyyksien välttämiseksi teoriaosuuksiin on lisätty myös niissä esiteltävien käsitteiden alkuperäinen termi, sillä virallista suomennosta ei välttämättä ole olemassa tai suomennos ei kuvaa asiaa tarpeeksi hyvin.

## 1.1 LNGTainer Oy yrityksenä

Insinööri ja keksijä Tom Sommardal perusti LNGTainerin vuonna 2011 ("About us: Shipping industry experience and know-how" 2014). LNG on lyhenne englanninkielisistä sanoista *liquefied natural gas*, nesteytetty maakaasu. Tainer on johdannainen sanasta container, joka tarkoittaa säiliötä tai konttia. LNGTainerilla on pääkonttori Helsingissä ja sivutoimipiste Karstulassa. Sivutoimipiste toimii yrityksen kehitystyönä ja siellä rakennetaan prototyyppiä LNG-kontista. Elokuussa 2016 yritys työllistää neljä toimihenkilöä, joista kaksi on Helsingissä ja kaksi Karstulassa. Yrityksellä ei ole vielä liikevaihtoa, sillä meneillään on tuotekehitysvaihe. Aikomuksena on saada ensimmäiset valmiit tuotteet asiakkaille vuoden 2016 aikana. (Toivanen 2016.)

LNGTainerin kehittämä nesteytetyn maakaasun kuljetuskontti on volyymiltään suurempi ja rakenteeltaan kevyempi kuin kilpailijoidensa tuotteet. Maakaasu polttoaineena on vähäpäästöisempi kuin öljyperäiset polttoaineet. Voidaan siis puhua vihreästä logistiikasta LNGTainerin valmistaman kuljetuskontin osalta. Lisäksi LNGTainer pyrkii jatkuvasti kehittämään omia prosessejaan toimitusketjussa ja etsimään ratkaisuja, jotka takaavat kestävä kehityksen. (Toivanen 2016.)

## 1.2 Nesteytetyn maakaasun kuljetuskontti

LNGTainerin perustaja Sommardal kehitti vuosia uudenlaista nesteytetyn maakaasun kuljetuskonttia. Hän aloitti pienoismalleista ja prototyypeistä ja lopulta vuosina 2012–2013 teki lisätestejä, jotka jalostivat tuotteen sarjatuotantoon sopivaksi. ("About us: Shipping industry experience and know-how" 2014.) Patentoidulla ratkaisulla saavutetaan kilpailuetua mm. kontin painon, tilavuuden, materiaalikustannusten, seurannan ja kylmäkestoisuuden suhteen ("Uusi suomalaiskeksintö: älykäs kaasun kuljetusjärjestelmä" 2015). Kontti on standardisoitu 40 jalan kuljetuskontti (ks. Kuvio 2), jota voidaan kuljettaa meri-, rauta- ja maanteitse. Maakaasu jäädytetään tankissa nestemäiseksi  $-164\text{ °C}$ :n lämpötilaan, ja loppukäyttäjä saa käyttöönsä lämmitetyn kaasumaisessa olomuodossa olevan maakaasun. Sommardal kutsuu tankkia "virtuaaliseksi kaasuputkeksi", joka helpottaa maakaasun kuljetusta kaasuputkien ohella. ("Mullistava suomalaiskeksintö tähtää Venäjän kautta maailmanmarkkinoille" 2015.)

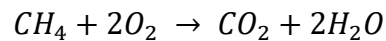


Kuvio 2. LNG-kuljetuskontin prototyyppi.

### 1.3 Nesteytetty maakaasu (LNG) energianlähteenä

Nesteytetty maakaasu, engl. liquefied natural gas (LNG), on maakaasua, joka on jäädytetty  $-162\text{ °C}$ :n lämpötilaan ("Nesteytetty maakaasu LNG" 2014). LNG:n koostumus vaihtelee toimittajasta riippuen ja esimerkiksi Länsi-Siperiasta tuotava maakaasu on erittäin puhdasta ja tasalaatuista. Maakaasun koostumus on pääasiassa metaania. Lisäksi maakaasussa esiintyy pieniä määriä typpeä, propaania ja muita raskaampia hiilivetyjä. ("Maakaasu" N. d.)

Hiilivetyjen palaessa syntyy hiilidioksidia ja vettä. Jos jätetään huomiotta pienet epäpuhtaudet, maakaasun palamista voidaan kuvata metaanin ja hapen reaktioyhtälöllä:



Kun kuutio maakaasua palaa, siitä vapautuu 10 kWh energiaa, 2 kg hiilidioksidia ja 1,6 kg vesihöyryä ("Hiilidioksidipäästöt" 2014). Taulukko 1 sisältää fossiilisten polttoaineiden hiilidioksidipäästöt vapautuvaa 10 kWh energiaa kohti. Laskennallisesti maakaasun käyttö vähentää hiilidioksidipäästöjä 25–50 % muihin fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna.

Taulukko 1. Fossiilisten polttoaineiden palamisen hiilidioksidipäästöt. (Muokattu lähteestä Hippinen & Suomi 2012, 6.)

Polttoaine	Hiilidioksidipäästöt, CO <sub>2</sub> /10 kWh
<b>Maakaasu</b>	1,98 kg
<b>Kivihiili</b>	3,41 kg
<b>Turve</b>	3,81 kg
<b>Raskas polttoöljy</b>	2,84 kg
<b>Kevyt polttoöljy</b>	2,61 kg

Maakaasun nesteytykseen on loogiset syyt. Kun maakaasu jäädytetään neste-mäiseksi, sen tilavuus pienenee kuudessadasosaan. Näin saavutetaan kuljetussääs-tää, kun maakaasua voidaan kuljettaa 600-kertainen määrä luonnollisen kaasumai-sen olomuodon sijaan. Täten maakaasusta saadaan myös varteenotettava kilpailija öljyperäisille polttoaineille liikenteessä ja teollisuudessa. Lisäksi nesteytetty maa-kaasu on hajuton, mauton ja myrkytön, sillä se ei sisällä rikkiä tai raskasmetalleja ja näin ilma säästyy haitallisilta pienhiukkaspäästöiltä. ("Nesteytetty maakaasu LNG" 2014.)

### **Kritiikkiä maakaasun puhtaudesta**

Vaikka maakaasun polttaminen on teoriassa puhdasta, niin täysin kritiikittömästi ei-ivät kaikki maakaasuun suhtaudu. Kukaan ei tosin kiistä itse puhdasta palamista, mutta maakaasun hankintaan ja polttomoottoreiden laatua kohtaan on osoitettu kri-tiikkiä.

Ylioppilaslehdessä (2000) julkaistun artikkelin mukaan ekosysteemeissä tapahtuu py-syvää muutosta maakaasun porauksen ja kuljetuksen seurauksena. Lehdessä siteera-taan Rovaniemen yliopiston biologi Bruce Forbesia, jonka mukaan Länsi-Siperian iki-roudin sulaessa maa vajoaa ja saattaa huuhtoutua kokonaan pois. Ikiroutaan sitou-tuneilla kasvihuonekaasuvarastoilla uskotaan olevan merkittävästi potentiaalia no-peuttamaan ilmastonmuutosta (Evengård, Larsen & Paasche 2015, 121). Forbesin (2016) mukaan myös kaasuputkista ilmaan vuotava metaani on potentiaalisesti mer-kittävä kasvihuonekaasujen lähde: "*...methane leaking from natural gas pipelines is a potentially major source of greenhouse gas*".

Ylioppilaslehden (2000) kirjoituksessa ollaan edelleen huolissaan maakaasukenttien paikalla asuneiden alkuperäiskansojen Nenetsien kohtalosta. Nenetsien porolaitumia on takavarikoitu noin 11 miljoonaa hehtaaria kaasuteollisuuden käyttöön 1960–1980-luvuilla. Lisäksi lehdessä mainitaan yhdysvaltalaisen Charles Kolbin (1997) tutki-musryhmän arvioineen, että kaasuputkista vuotaa noin 1–2 % maakaasua suoraan il-makehään. ("Maakaasu tuhoaa elämää pohjoisessa" 2000.) Forbesin (2016) mukaan Venäjän kaasuputkien hyötysuhde on parantunut huomattavasti sitten 1990-luvun lopun. Vuoden 2012 metaanipäästöt olivat 0,5 % siirretyn maakaasun määrästä.

Maakaasu on ilmastovaikutuksiltaan edullisempi kuin kivihiili, jos päästömäärä pysyy alle 3,2 %:n. (Venäjältä Suomeen tuodun maakaasun tuotanto- ja käyttöketjun ympäristövaikutukset 2014, 2.)

Tekniikka & Talous -lehdessä (2011) kirjoitetaan kanadalaisten ympäristötieteilijöiden Conor Reynoldsin (2011) johdolla suoritetusta tutkimuksesta kaksi- ja nelitahtimoottorien polttoaineen kulutuksesta ja päästöistä. Tutkimuksen mukaan kokonaiskasvihuonepäästöt olivat noin 2,5-kertaiset maakaasulla toimivilla kaksitahtimoottoreilla verrattuna bensiinillä toimiviin nelitahtimoottoreihin. Tutkimuksessa muistutetaan, että päästöjen hillitsemisessä moottoritekniikalla voi olla huomattavasti tärkeämpi asema kuin polttoaineen valinnalla. Tutkijoiden mukaan poliittisten päätösten perustana tulisikin olla konkreettiset mittaukset, eikä teoreettiset oletukset puhtaasta polttoaineesta. ("Maakaasu ei ole aina 'puhdasta': Kasvihuonepäästöt voivat olla yhtä suuret kuin bensalla" 2011.)

### **Nesteytetyn maakaasun konttikäsittelyn vaarat**

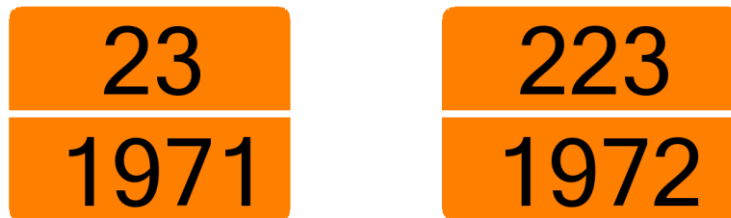
LNGTainer ei itse täytä valmistamiaan kuljetuskontteja LNG:llä. Tankin valmistuksessa on kuitenkin otettava huomioon sellaiset LNG:n ominaisuudet, jotka aiheuttavat vaaraa: kylmyys, tulenarkuus ja laajentuminen. Mikäli tankin sisäinen lämpötila pysyy alle -162-asteisena ja paine tankin sisällä ei nouse, ongelmilta vältytään.

Lämpötilaa ja painetta tarkkaillaan mittareilla. Tankkiin on asennettu varoventtiili, joka päästää ylimääräisen kaasun ilmaan paineen noustessa tankin sisällä liian korkeaksi. Tankissa pystytään varastoimaan hävikittä 60 päivän ajan maakaasua nestemäisessä muodossa. Jos tankki jostain syystä hajoaisi, nestemäinen maakaasu höyrystyisi saman tien ja sekoittuisi ilmaan ("Nesteytetty maakaasu LNG" 2014). Maakaasun syttymislämpötila on 650 °C ja syttymisalue ilmassa 20 °C:n lämpötilassa on 5–15 tilavuusprosenttia (Maakaasukäsikirja 2014).

Kuljetuskonttiin merkitään metaanin varoitusmerkit *syttyvä* ja *paineen alaiset kaasut* (ks. Kuvio 3). Lisäksi konttiin tulee merkitä aineen YK-numero, jonka eteen tulee merkitä kirjaimet "UN". Nestemäisen maakaasun YK-numero on 1972 ja kaasumaisen 1971 (ks. Kuvio 4). ("Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: METAANI" 2015.)



Kuvio 3. Varoitusmerkit syttyvä (vas.) ja paineen alaiset kaasut. (Muokattu lähteestä "Uudet varoitusmerkit" 2014.)



Kuvio 4. Maakaasun 1971 ja LNG:n 1972 numerokilvet kuljetuksissa.

## 2 Tutkimuksen tarkoitus ja tavoitteet

Tutkimus voi olla *kartoittava, kuvaileva, selittävä tai ennustava* ja sillä tulee olla myös kysyntää, eikä tutkimusta tule tehdä vain itse tutkimuksen takia (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2004, 129). Tämä tutkimus on osa suurempaa projektia, jossa toimeksiantaja LNGTainer Oy haluaa tutkia nesteytettyä maakaasua sisältävän kuljetuskontin tuotannon edellytyksiä. Tässä työssä tutkitaan tuotannon edellytyksiä tuoterakenteen, nimikerekisterin, osaluettelon ja materiaalinhallintamallin avulla. Tämän tutkimuksen luonne on kartoittava, mikä tarkoittaa sitä, että se etsii uusia näkökulmia ja katsoo, mitä tapahtuu (Hirsjärvi ym. 2004, 129). Hypoteesin esittäminen tälle tutkimukselle ei ole tarkoituksenmukaista. Jos jokin hypoteesi tutkimukselle kuitenkin haluttaisiin antaa, niin se voisi olla "Liiketoiminta on kannattavaa tietyillä parametreilla".

## 2.1 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelmiä pyritään kuvaamaan kahdella tavalla: *kvalitatiivinen ja kvantitatiivinen*. Näiden kahden menetelmän erot ovat jatkuvasti keskustelun kohteena, eikä kaikkia tutkimuksia voida suoraan erotella kahteen eri kategoriaan. Voidaankin ajatella, että menetelmät erojen sijasta täydentävät toisiaan. Kvalitatiivinen tutkimus voi toimia esikokeena kvantitatiiviselle tutkimukselle tai päinvastoin, mutta ne voivat toimia myös rinnakkain. (Hirsjärvi ym. 2004, 126–28; Denscombe 2003, 231–32.)

### 2.1.1 Kvalitatiivinen tutkimus

Kvalitatiiviselle eli laadulliselle tutkimukselle on tyypillistä se, että tutkija käyttää tiedonlähteenä ihmisiä: omat havainnot ja keskustelut ovat luotettavampia kuin mittausvälineillä hankittu tieto. Tutkijan tarkoitus on paljastaa odottamattomia seikkoja, minkä takia tutkimuksen perustana ei ole hypoteesin testaaminen vaan aineistoa analysoiva yksityiskohtainen tulkinta. Laadulliselle tutkimukselle on tärkeää, että tutkittavien näkökulmat otetaan huomioon. Kohdejoukko valitaan tarkasti eikä satunnaisotannalla. Kvalitatiivisen tutkimuksen tutkimussuunnitelma on joustava ja sitä voidaan muuttaa tutkimuksen edetessä. Tutkittavat kohteet ovat ainutlaatuisia, ja aineisto tulkitaan tapauskohtaisesti. (Hirsjärvi ym. 2004, 155.)

#### **Kvalitatiivisen tutkimuksen hyvät ja huonot puolet**

Laadullisen tutkimuksen hyvänä puolena voidaan pitää sitä, että tieto on realistisesti olemassa ja tästä tehtävät analyysit ja teorit juurtuvat konkreettisiksi asioiksi, joita voidaan hyödyntää oikeassa elämässä. Tutkimustuloksia ei ole ”vedetty hatusta”, vaan ne ovat oikeasti olemassa ja niille on vankat perusteet. Tietoaineisto on rikasta ja yksityiskohtaista, ja se keskittyy syvällisen tarkasti juuri kyseisen ilmiön tutkimiseen. Laadullinen tutkimus pystyy käsittelemään epäselvyyksiä ja ristiriitoja paremmin kuin määrällinen tutkimus. Kvalitatiivinen tutkimus antaa tutkijalle mahdollisuuden selittää ilmiötä useammalla kuin yhdellä ainoalla oikealla tavalla. Hypoteesin puuttuessa tavoitteena ei ole löytää määrättyä tutkimustulosta. Sen sijaan eri tutkijat

voivat päätyä toisistaan poikkeaviin tuloksiin, vaikka he käyttäisivätkin samoja tutkimusmenetelmiä. (Denscombe 2003, 280–81.)

Laadullisen tutkimuksen huonona puolena on tulosten yleistettävyyden puute. Joitakin tuloksia voidaan yleistää pätemään muissakin tapauksissa, mutta määrällinen tutkimus antaa selkeästi paremman mahdollisuuden yleistykseen. Haittapuolena on myös tutkijan oma aineiston keruu ja tulkinta tutkimustuloksista, sillä jokaisella tutkijalla on oma identiteettinsä, taustansa ja uskomuksensa. Tämä kädenjälki saattaa näkyä laadullisessa tutkimuksessa ja tutkimustulos voikin olla tutkijan oma luomus eikä faktatietoon perustuva päätelmä. Kvalitatiivisen tutkimuksen tiedonkeruussa on mahdollisuus, että kerätään väärää informaatiota. Tieto voi hävitä, muuttua, se voidaan kirjata väärin tai se voi olla kokonaan irrotettu asiayhteydestään. Vaarana on myös selityksen yliyksinkertaistaminen. Teemojen tunnistamisessa tutkija voi tuntea houkutusta jättää huomioimatta data, joka ”ei sovi” muuhun aineistoon. Esimerkiksi sosiaaliset ilmiöt ovat täynnä ristiriitoja ja epäselvyyksiä, minkä vuoksi tulkintojen moniulotteisuus voidaan kokea häiritsevänä tekijänä. Tästä syystä tutkija saattaa tehdä liian yksinkertaisia päätelmiä. (Denscombe 2003, 281–82.)

### 2.1.2 Kvantitatiivinen tutkimus

Keskeisiä kvantitatiivisen eli määrällisen tutkimuksen piirteitä ovat Hirsjärven ym. (2004, 131) mukaan johtopäätökset aiemmista tutkimuksista, aiemmat teoriat, hypoteesien esittäminen ja käsitteiden määrittely. Aineiston keruu tai koejärjestelyt ovat suunniteltuja ja niille on tärkeää havaintoaineiston soveltuminen määrälliseen, numeeriseen mittaamiseen. Tutkittavat ilmiöt, henkilöt tai koehenkilöt ovat otoksia perusjoukosta, johon tutkimustulosten tulee päteä. Muuttujista tehdään taulukko, ja aineisto ilmaistaan tilastollisesti käsiteltävässä muodossa. Päätelmät tehdään perustuen havaintoaineiston tilastolliseen analysointiin. Tuloksia voidaan kuvata mm. prosenttilukoiden avulla. Testaamalla selvitetään, ovatko tulokset tilastollisesti merkitseviä. (Hirsjärvi ym. 2004, 131.)



### **Kvantitatiivisen tutkimuksen hyvät ja huonot puolet**

Määrällisen tutkimuksen etuina ovat tieteellisyys, uskottavuus, mittaus, analysointi ja tiedottaminen. Määrällisen tutkimuksen data mahdollistaa tieteellisen lähestymistavan hyödyntäen matematiikkaa ja todennäköisyyksiä. Analysointi perustuu objektiivisiin lakeihin eikä tutkijan arvoihin. Tilastollisesti merkitsevät testit lisäävät lopputulosten tulkintojen uskottavuutta. Runsaan aineiston analysointi luo varman pohjan selityksille ja analyyseille, sillä aineisto voidaan varmistaa ja todentaa oikeaksi. Analyysi on nopeaa, sillä vaikka aineistoa on paljon, on se etukäteen valmisteltu kerättäväksi sellaisessa muodossa, jossa tulosten tulkinta on suhteellisen nopeaa. Taulukot ja kaaviot mahdollistavat tiiviin ja tehokkaan tavan organisoida ja julkistaa johtopäätökset. Valmiit tietokoneohjelmat tekevät raskaan työn tutkijan puolesta ja mahdollistavat tilastollisen analyysin. (Denscombe 2003, 264.)

Huonona puolena määrällisessä tutkimuksessa on datan laadun varmistus. Lopputulos on yhtä hyvää kuin kerätty tietokin. Jos kysymykset ovat huonoja, sitä ovat vastauksetkin. Tietokoneanalyyseistä voi tulla pakkomielle. Tutkimuksen tarkoitus voi hämärtyä, jos tutkija on mieltynyt vain ajamaan erilaisia testejä tietokoneella. Liika tieto voi aiheuttaa tietoähkyn. Vaikka määrällisen tutkimuksen vahvuus on datan suuruus, voi siitä muodostua liian monimutkaisia analyysejä. Muuttujia voi olla liikaa, jolloin tutkija joutuu umpikujaan. Määrällisen tutkimuksen haittana voivat olla myös väärät lupaukset. Tieteellisesti objektiiviselta näyttävä tutkimus voi ollakin järjestetty tulos. Kategorioiden ja rajoitusten manipulointi voi antaa erilaisen tuloksen, mitä toisenlaisilla yhdistelmillä saavutettaisiin. (Denscombe 2003, 264–65.)

#### **2.1.3 Kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen tutkimuksen eroja**

Laadullisen ja määrällisen tutkimuksen eroja tarkasteltaessa täytyy muistaa, että eroavaisuudet ovat hyvin yksinkertaistettuja ja karikatyyrisiä, kuten Taulukko 2 osoittaa. Ne eivät ole kuvaus reaalimaailman kahdesta eri tutkimussuuntauksesta, jotka taistelevat keskenään. Laadullisessa tutkimuksessa tutkija kuvailee ilmiötä ja analysoi sanallisesti, kun taas määrällinen analyysi tehdään numerojen perusteella. Laadullinen tutkimus on pienimuotoinen, mutta kokonaisvaltainen. Lisäksi tutkija kerää ja

tuottaa itse aineiston. Määrällinen tutkimus on laaja, jossa tutkitaan jotain määrättyä ilmiötä tai asiaa. Tutkimusaineisto kerätään suurelta joukolta, eikä tutkija itse pääse sitä muokkaamaan. Lopputuloksena laadullisessa tutkimuksessa saavutetaan uutta tietoa, kun taas määrällisessä tutkimuksessa lopputulos ennustetaan hypoteesilla. (Denscombe 2003, 231–35.)

Taulukko 2. Laadullisen ja määrällisen tutkimuksen eroja. (Muokattu lähteestä Denscombe 2003, 232–34.)

	Laadullinen tutkimus	Määrällinen tutkimus
<b>Analyysikeino</b>	<i>Sanallinen</i>	<i>Numerot</i>
<b>Tutkijan tulkinta</b>	<i>Kuvaileva</i>	<i>Analysoiva</i>
<b>Tutkimuksen laajuus</b>	<i>Pienimuotoinen</i>	<i>Laaja</i>
<b>Tutkimuksen fokus</b>	<i>Kokonaisvaltainen lähestymistapa</i>	<i>Tarkoin määrätty</i>
<b>Tutkijan osallisuus</b>	<i>Mukana tutkimuksessa</i>	<i>Irrallaan tutkimuksesta</i>
<b>Lopputulos</b>	<i>Uutta tietoa</i>	<i>Ennustettavissa oleva</i>

## 2.2 Tutkimuskysymykset

Tämän tutkimuksen tarkoitus on vastata seuraaviin kolmeen kysymykseen:

1. Millainen on tuotteen tuoterakenne, osaluettelo ja nimikerekisteri Suomen tehtaan osalta?
2. Millainen yrityksen liiketoimintastrategiaa palveleva materiaalinhallintamalli saadaan luotua tuoterakenteen perusteella?
3. Miten materiaalinhallintamalli voidaan optimoida rajoitteet huomioon ottaen?

Kysymyksiin on vastattava kronologisesti, ja ensimmäisen tuloksista seuraa toinen ja siitä kolmas. Ensimmäinen kysymys liittyy suoraan materiaalilogistiikkaan, toinen mallintamiseen ja kolmas optimointiin. Tästä syystä työn otsikkona on ”Materiaalilogistiikan mallinnus ja optimointi”.

### 2.3 Tutkimusstrategiat ja -aineisto sekä tutkimusmenetelmän valinta

Perinteiset tutkimusstrategiat voidaan jaotella kolmeen osaan:

1. kokeellinen tutkimus,
2. survey-tutkimus ja
3. tapaustutkimus (Hirsjärvi ym. 2004, 125).

Tässä työssä aineiston keruu toteutetaan havainnointia ja haastattelua hyväksi käyttäen tapaustutkimuksena. Tutkimuksessa kirjataan kaikki tutkittavana olevat kuljetuskontin osat ja niiden perusteella suoritetaan jatkotutkimuksia toimitusketjun mallintamiseksi ja optimoimiseksi. Kokeelliselle tutkimukselle ja Survey-tutkimukselle, jossa aineistoa kerätään suurelta joukolta ihmisiä, ei tässä yhteydessä ole käyttöä.

Tutkimusote on ensimmäisen ja toisen kysymyksen osalta pääasiassa kvalitatiivinen. Optimointivaiheessa, kun aineisto on soveltuvassa numeerisessa muodossa, tutkimus on lähempänä kvantitatiivista. Tästä tutkimuksesta voidaankin sanoa, että kvalitatiivinen tutkimus toimii esitutkimuksena kvantitatiiviselle tutkimukselle.

### 2.4 Aineiston analyysi

Tutkimusaineiston oikeellisuuden vahvistamiseksi tehdään tietojen tarkistus ja tarvittaessa niiden täydennys. Aineiston analysointi tapahtuu selittämällä tai ymmärtämällä. Ensimmäinen tapa liittyy kvantitatiiviseen ja jälkimmäinen kvalitatiiviseen tutkimukseen. Niitä voi käyttää myös rinnakkain. (Hirsjärvi ym. 2004, 209–13.)

Tutkittavan aineiston tulee aina antaa sama tulos, jotta sitä voidaan pitää reliabelina. Reliaabelius tarkoittaa sitä, että mittarit ovat luotettavia eivätkä anna sattumanvaraisia tuloksia. Tutkimusmenetelmän kyky vastata juuri niihin kysymyksiin, mihin pitääkin, kutsutaan validiteetiksi. Validius eli pätevyys heikkenee, mikäli jokin asia on ymmärretty väärin joko tutkijan tai tutkittavan puolesta. (Hirsjärvi ym. 2004, 216–17.)

Tässä tutkimuksessa pääpaino on ymmärtämisellä – tavoitteena on hahmottaa kontin eri osien merkitys ja linkitys toisiinsa osaluettelon ja tuoterakenteen kautta. Tämän jälkeen osat on ryhmiteltävä tai annettava erilaisia vaihtoehtoja ryhmityksille, jotta nimikerekisteri voidaan muodostaa järkevästi. Tärkeintä on analysoida, millainen ryhmitys parhaiten palvelee lopputulosta.

## 2.5 Tutkimuksen rajaukset

Tutkimus rajataan koskemaan Suomen operaatioita. Yrityksen liiketoimintastrategioita ei käsitellä lainkaan. Tuoterakennetta ei rajata, vaan kaikki maakaasukuljetuskontin osat kuuluvat osaluetteloon ja nimikerekisteriin. Materiaalinhallintamallista suunnitellaan ensimmäinen versio, josta käy ilmi oleelliset asiat, mutta sen ulkoasuun ei tässä työssä esitetä vaatimuksia. Materiaalinhallintamallilla tarkoitetaan tässä yhteydessä toimitusketjun hankintastrategioita ja arvoketjua – keitä toimittajia kannattaa ottaa mukaan ja mikä on materiaalivirran kannalta järkevin vaihtoehto, missä varastot sijaitsevat ja kuinka isoja ne ovat. Materiaalinhallintamallin optimoinnista niin ikään esitetään ensimmäinen versio. Tavoitteena on, että optimoinnilla saavutetaan tulos, joka on annettujen parametrien valossa suuntaa antava. Toiminnan jatkuvan parantamisen mahdollistamiseksi luodaan optimointimalli, jota voidaan jatkossa kehittää. Toimeksiannon mukaisesti työkaluiksi määritetään Microsoft Visio, Microsoft Excel ja SolidWorks.

Teoriaosuuteen on toimeksiantajan pyynnöstä sisällytetty varastointia yleisellä tasolla. Pääpaino teoriassa on hankinnassa ja tuotetiedon hallinnassa, joka käsittelee osaluetteloa, tuoterakennetta ja nimikerekisteriä. Muut teorieemat, kuten toimintojen ohjaus, käsitellään yleisellä tasolla. Optimoinnin osalta käsitellään lineaarinen

optimointi ja herkkyysanalyysi. Toiminnanohjausjärjestelmä (ERP) rajataan tutkimuksen ulkopuolelle.

### 3 Toimintojen ohjaus

Toimintojen ohjauksella (*operations management*) tarkoitetaan kaikkia niitä toimintoja, joita tehdään, jotta yritys pääsee asettamiinsa tavoitteisiin. Toimintojen ohjaukseen kuuluvat kaikki toiminnot, päätökset ja vastuut, joita varten on palkattu operaatiojohtajia. Operaatiojohtaja on yleisnimitys henkilölle, jolla on jokin vastuualue. Esimerkiksi myymäläpäällikkö on operaatiojohtaja. (Slack ym. 2001, 3–33.)

#### 3.1 Toimintojen ohjauksen suunnittelu

Suunnittelun (*design*) tarkoituksena on asiakkaiden tarpeiden tyydyttäminen. Suunnittelu alkaa ideasta, joka muotoutuu joksikin erilaisten vaatimusten mukaisesti. Suunnittelu toimintojen ohjauksessa jaetaan kahteen kategoriaan: tuotteiden ja palveluiden suunnitteluun ja prosessien suunnitteluun. Nämä kahden kategorian suunnittelut liittyvät toisiinsa, sillä valmistusprosessia ei kannata pitää irrallisena tuotteen suunnittelusta. Pieni muutos rakenteessa voi tarkoittaa muutosta myös valmistusprosessissa. Esimerkiksi ensimmäisiä lentokoneita suunniteltaessa insinöörit joutuivat testilentäjiksi, jolloin turvallisuus muodostui tärkeimmäksi tuotteen suunnittelu-toiminnassa. Tärkeimpään asiaan keskittyminen voi herpaantua, mikäli tuotteiden ja niiden prosessien suunnittelun pitää kategorisesti irrallisena. (Slack ym. 2001, 91–95.)

Kun suunnittelu etenee, vaatimuksetkin tarkentuvat. Alussa erilaisia suunnittelumahdollisuuksia voi olla runsaasti, mutta lopulta päädytään yhteen. Tällaista muutosprosessia kuvataan suunnittelusuppilolla. Suppilossa ideat, luovuus, arviointi ja mahdollisuudet muotoutuvat erilaisten kriteerien mukaan yhdeksi vaihtoehdoksi, jota aletaan toteuttaa. Arvio tulevasta voidaan tehdä simuloinnin avulla. Simulointi ei ole optimointia, vaan se pikemminkin ennustaa, mitä tapahtuu. (Slack ym. 2001, 96–99.)

## Vihreät arvot suunnittelussa

Peruskysymykset ympäristöystävällisyydessä liittyvät energian kulutukseen, jätteen määrään ja hiilijalanjälkeen. Vihreässä suunnittelussa joudutaan kiinnittämään huomiota raaka-aineiden alkuperään: Hankitaanko niitä sademetsien kustannuksella? Kulutetaanko harvinaisia luonnonvaroja? Hyväksikäytetäänkö köyhiä tai käytetäänkö jopa lapsityövoimaa? Energianlähteillä ja energian määrällä on merkitystä: Mitä tapahtuu hukkalämmölle? Miten valmistusjätteen kanssa toimitaan? Kuinka pitkä on tuotteen elinkaari, ja kuinka paljon tuote sinä aikana rasittaa luontoa? Mitä tuotteelle tapahtuu, kun se on käytetty loppuun? Onko tuote kierrätettävissä? (Slack ym. 2001, 100–101.)

Näiden kysymysten kanssa joudutaan kamppailemaan ja tekemään kompromisseja, jotta paras mahdollinen ratkaisu saavutettaisiin. Järkevien valintojen tueksi voidaan käyttää elinkaarianalyysiä. Sillä selvitetään tuotteen luontoa kuormittava vaikutus sen valmistuksesta hävitykseen. (Slack ym. 2001, 101.)

Kekseliäs yrittäjä yhdistää bisneksen ja vihreät arvot. Hyvä esimerkki tästä on Henry Ford, joka vaati toimittajilta, että Fordin osat tulee pakata puulaatikkoon, joka on valmistettu ensiluokkaisesta puutavarasta tarkkojen laatukriteereiden mukaan. Fordin ajatuksena ei ollut pelkästään varmistaa tuotteidensa vahingoton kuljetus, vaan hyödyntää pakkausmateriaali lattialautoina eräässä automallissaan. Ympäristöystävällisyydessä ajatellaan ostettujen materiaalien kierrätystä ja vaarallisten materiaalien käytön ja hävityksen ympäristö- ja vastuukysymyksiä. (Burt ym. 2003, 346.)

## Yrityksen yhteiskuntavastuu

Yrityksen yhteiskuntavastuu luokitellaan kolmeen osaan: **taloudellinen vastuu**, **ympäristövastuu** ja **sosiaalinen vastuu**. Taloudellinen vastuu merkitsee sitä, että yritys on kannattava ja kilpailukykyinen. Tarkoituksena on taata yrityksen olemassaolo pitkällä aikavälillä. Lainsäädäntö velvoittaa yritystä toimimaan ympäristöystävällisesti. Ympäristövastuu on luonnonvarojen tehokasta ja säästeliästä käyttöä, jätteen minimoimista, kierrätystä ja yrityksen toiminnallisia ratkaisuja, jotka eivät turhaan kuormita luontoa. Sosiaalinen vastuu huolehtii ihmisistä, joiden hyvinvointiin liiketoiminta

vaikuttaa. Se käsittää mm. henkilöstön, asiakkaat, toimittajat ja paikalliset asukkaat. (Nieminen 2016, 144–45.)

Vastuullisuudella saavutetaan kilpailuetua, kun yritys tekee enemmän kuin laki vaatii. Asiakas pystyy omilla valinnoillaan suosimaan ympäristöystävällisempiä ratkaisuja, varsinkin, jos yritys pystyy niitä markkinoimaan sellaisina. Vastuullisuuden liittäminen yrityksen liiketoimintaan tarkoittaa päätöksenteossa eettisesti kestävien tuotteiden tai palveluiden tarjoamista. (”Yritysvastuu” 2015.)

### 3.2 Toimintojen ohjauksen laatu

Laadulla erotutaan joukosta. Laatu on tärkein yksittäinen tekijä, joka vaikuttaa organisaation suorituskykyyn suhteessa kilpailijoihin. Laatu merkitsee eri asioita riippuen siitä, kuka tai mikä sen määrittelee. Ylivertaisuusnäkökulmasta katsottuna laatu tarkoittaa sitä, että tuote tai palvelu on parasta, mitä on tarjolla. Valmistuksen kannalta laatu on sitä, että tuotteessa tai palvelussa ei ole virheitä ja se vastaa täysin odotettuihin teknisiin vaatimuksiin. Asiakkaalle laatu merkitsee tuotteen tai palvelun sopivuutta sen käyttötarkoitukseen. Tuotteen näkökulmasta laatua voidaan tarkastella sen huoltovapaudella tai jollakin muulla mittarilla, joka vastaa kuluttajan odotuksiin. Laatua voidaan myös ajatella kustannusten ja myyntihinnan tasapainona. Toimintojen ohjauksen laadusta voidaan sanoa, että se on johdonmukaista mukautumista asiakkaiden odotuksiin. (Slack ym. 2001, 553–55.)

### 3.3 Toimintojen ohjauksen mittarit ja jatkuva parantaminen

Toimintojen ohjaus ei lopu siihen, että kaikki on suunniteltu ja toiminnot rullaavat niin kuin pitääkin. Jokaista toimintoa voidaan parantaa. Kuitenkin ennen kuin voidaan sanoa, mitä tulee parantaa, täytyy mitata, missä ollaan hyviä ja missä huonoja. Mittarina toimii viisi toiminnan tavoitetta (*performance objectives*): laatu, nopeus, luotettavuus, joustavuus ja kustannukset (ks. Taulukko 3). (Slack ym. 2001, 597–99.)

Yleisesti käytössä on neljä erilaista suorituskykystandardia. Historiallinen standardi vertaa tämän päivän suorituskykyä menneisyyden tulokseen. Tavoitestandardilla pyritään pääsemään johonkin ennalta-asetettuun tavoitteeseen. Kolmantena mitataan omaa suorituskykyä kilpailijoihin nähden ja neljäs standardi on nykytilanteen vertailua teoreettiseen maksimiin. (Slack ym. 2001, 601.)

Taulukko 3. Joitakin tyypillisiä toiminnan tavoitteen mittareita. (Muokattu lähteestä Slack ym. 2001, 599.)

Toiminnan tavoite	Joitain tyypillisiä mittareita
<b>Laatu</b>	Vikojen määrä, reklamaatiot, romun määrä, takuukorjaukset, vikaantumisväli, asiakastyytyväisyys
<b>Nopeus</b>	Odotusaika, tilauksen läpimenoaika, jakelutaajuus, todellinen vs. teoreettinen läpimenoaika, syklin aika
<b>Luotettavuus</b>	Myöhästymiset, tuotteiden osuus varastossa, keskihajonta luvatussa saapumisesta, aikataulun noudattaminen
<b>Joustavuus</b>	Suunnittelu-aika uusille tuotteille, tuotevalikoiman laajuus, koneiden muutostöiden ajat, keskimääräinen erä koko, tuotannon nostamiseen vaadittava aika, keskimääräinen/maksimaalinen kapasiteetti, aikataulumuutoksiin tarvittava aika
<b>Kustannukset</b>	Minimi-/keskimääräinen toimitusaika, budjetin varianssi, resurssien käyttö, työn tuottavuus, lisäarvo, tehokkuus, toiminnan tuntikustannukset



## 4 Toimitusketjun ja materiaalin hallinta

### 4.1 Hankinta

Hankintaprosessia (*purchasing/procurement process*) (ks. Kuvio 5) kuvataan kuudella askeleella:

1. Määrittely (*Define specification*)
2. Toimittajan valinta (*Select supplier*)
3. Sopimus (*Contract agreement*)
4. Tilaaminen (*Ordering*)
5. Seuranta (*Expediting*)
6. Arviointi (*Evaluation*). (van Weele 2010, 29.)

Tässä työssä keskitytään perusteellisemmin neljään ensimmäiseen askeleeseen, mutta tarkempi käsittely seurannasta ja arvioinnista jätetään myöhempiin projektitöihin.



Kuvio 5. Hankintaprosessin eteneminen. (Muokattu lähteestä van Weele 2010, 29.)

#### 4.1.1 Määrittely

Hankinnan määrittely alkaa siitä, kun yritys laatii omaa liiketoimintasuunnitelmaansa. Ratkaistavaksi tulee kysymys, tehdäänkö itse vai ostetaanko. Yrityksen tulee määrittellä, mitkä tuotteet tai toiminnot ulkoistetaan ja mitkä valmistetaan tai suoritetaan itse. Uuden tuotteen valmistukseen liittyy usein testausta. Vaihtoehtoisesti yritys voi

ulkoistaa testaamisen, mutta jos päätetään testata itse, täytyy määrittellä vaatimukset, jotka uuden tuotteen tulee täyttää. Yleensä ostopäälliköt tekevät eron toiminnallisten ja teknisten tietojen määrittelyjen välille. Toiminnalliset määrittelyt tarkoittavat niitä toimintoja, joita tuotteessa tai palvelussa täytyy olla tilaajan näkökulmasta katsottuna. Kun hankinnassa huomioidaan toiminnalliset määrittelyt, saadaan toimitajan kanssa parempi yhteisymmärrys siitä, millainen tekninen ratkaisu palvelee parhaiten valmistettavaa tuotetta. Näin toimittaja saa mahdollisuuden hyödyntää omaa ammattitaitoaan ja uutta teknologiaa, josta ostaja ei välttämättä ole tietoinen. (van Weele 2010, 32–33.)

Hankintaspesifikaatio (*purchase order specification*) on dokumentti, josta nähdään teknisten ja toiminnallisten tietojen määrittelyt. Se sisältää laatuvaatimukset, logistiikkatiedot, ylläpito- ja huoltomäärittelyt, laki- ja ympäristövaatimukset sekä tavoitebudjetin. Logistiikkatiedot pitävät sisällään tilausmäärät, toimituspaikan ja -ajan sekä fyysiset olosuhteet, joita on noudatettava. (van Weele 2010, 33.)

#### 4.1.2 Toimittajan valinta

Toimittajan valinta on sidoksissa tietojen määrittelyyn ja jo silloin kartoitetaan eri toimittajavaihtoehtoja. Lopullinen valinta suoritetaan seuraavin askelin: 1) alihankintamenetelmän määrittäminen, 2) toimittajakentän kartoittaminen ja esivalinta, 3) lisäkilpailutus tai tarjouspyyntöjen kerääminen sekä 4) toimittajan valinta. (van Weele 2010, 33–34.)

#### **Alihankintamenetelmät**

Alihankinta voidaan tehdä joko avaimet käteen -toimituksena tai osittaisena alihankintana. Avaimet käteen -toimituksessa kaikki vastuu tuotteen toimivuudesta on alihankkijalla. Etuna saavutetaan helppo ratkaisuvaihtoehto, mutta yleensä toimittaja pyytää liian suurta hintaa suhteessa kustannuksiin. Osittainen alihankinta jakaa toimeksiannon osiin, jolloin mukana voi olla useita eri toimittajia, mutta vastuun esimerkiksi osien yhteensopivuudesta kantaa ostaja. Tällainen menettely tuo usein

säästöjä, mutta sillä on myös haittapuolensa. Ostaja tarvitsee paljon aikaa, työtä, tietoa ja kokemusta pitääkseen osittaisen alihankinnan kannattavana. Taulukko 4 vertailee tarkemmin alihankintamenetelmien hyötyjä ja haittoja. (van Weele 2010, 34.)

Taulukko 4. Alihankintamenetelmien vertailu. (Muokattu lähteestä van Weele 2010, 34.)

	Hyödyt	Haitat
<b>Avaimet käteen</b>	Hankkeen toteutuksen aikana ostajan puuttuminen asioihin on rajallista. Ei vaadi suuria ponnisteluja eikä kokemusta samankaltaisista projekteista.	Ei käsitystä projektin kustannusten ja hinnan suhteesta. Materiaalivalintoihin vaikuttaminen rajallista, vain laatuun ja määrään voidaan vaikuttaa.
<b>Osittainen alihankinta</b>	Parempi käsitys projektin kustannusten ja hinnan suhteesta. Parempi tuntuma toimittajista ja käytettävistä materiaaleista ja yleensä pienemmät projekti-kustannukset.	Ostajalta tarvitaan syvällistä tietoa ja kokemusta. Vaatii paljon aikaa ja työtä projektin koordinoimiseen ja seurantaan. Kommunikointiongelmassa hanketoiminnan viivästyminen riski on suuri.

Oma kysymyksensä toimittajan valinnassa on se, miten työstä maksetaan. Vaihtoehtoina ovat kiinteä hinta, kertakorvaus tai materiaalien sekä aikaperusteisesti hinnoitellun työn maksaminen erikseen. Mikäli toiminto on standardisoitu, mutta on vaikea arvioida raaka-aineiden määriä ja valmistusaikoja, voidaan käyttää yksikköhinnointia. Tällainen menettely on tyypillistä esimerkiksi petrokemian yrityksille, jotka laskevat työstään asennettujen putkien metrimäärän mukaan. (van Weele 2010, 34–36.)

### **Toimittajakentän kartoittaminen, lista tarjoajista ja tarjouspyyntöjen kerääminen**

Mahdollisista toimittajista, jotka täyttävät tietojen määrittämissä asetetut ehdot, laaditaan lista tarjoajista (*bidders' long list*). Niille lähetetään tietopyyntö (*request for information, RFI*). Tarkoituksena on selvittää, mitkä toimittajat ovat oikeasti päteviä ja mitkä ovat niiden todelliset kykynsä. Tässä vaiheessa on tarpeellista tehdä myös yritysvierailuja, jotta kunkin ehdokkaan soveltuvuudesta saadaan tarkka kuva. Soveltuvimmat toimittajat listataan (*short list*) ja niille lähetetään tarjouspyyntö (*request for quotation, RFQ*). Yleisenä käytäntönä on, että nimetään kolmesta viiteen potentiaalista toimittajaa lyhyelle listalle. Tällainen etukäteen valittujen toimittajien kilpailutus on nimeltään suljettu kilpailutus. Avoin kilpailutus ei vaadi etukäteistyötä, jossa pois suljetaan eri toimittajavaihtoehtoja. (van Weele 2010, 36.)

### **Saatujen tarjousten analysointi ja lopullinen valinta**

Kun kaikki tarjoukset on saatu, tehdään tekninen ja kaupallinen arviointi kaikkien olennaisten näkökohtien osalta. Painoarvoa annetaan teknisille, logistisille, laadullisille, taloudellisille ja oikeudellisille näkökulmille. Huomio kiinnittyy mm. toimitus sopimuksen pituuteen, kokonaiskustannuksiin (*total cost of ownership, TCO*) koko sopimusajalta ja toimitusten määrään, laatuun ja joustavuuteen. Lopulta valitaan yksi toimittaja, jonka kanssa aloitetaan neuvottelut ja ei-valituille ilmoitetaan tarjouksen hylkäämisen syyt. Hankintastrategian mukaan voi myös käyttää useampaa kuin yhtä toimittajaa. (van Weele 2010, 8–10, 36–37.)

#### **4.1.3 Sopimus ja tilaaminen**

Yleistä hankintasopimusstandardia ei yleensä ole olemassa, sillä sopimusehdot vaihtelevat mm. hankintapolitiikasta, yrityskulttuurista, markkinatilanteesta ja tuotteen ominaisuuksista riippuen. Kustannusten hallinnan kannalta on parasta, jos hankinnalle saadaan neuvoteltua kiinteä hinta. Hinta voi sisältää myös erilaisia palkkioita. Palkkio voidaan sopia esimerkiksi paremmasta laadusta, toimitusvarmuudesta tai aikaisemmasta toimituksesta. Näin toimittajalla on motivaatio ylittää sovitut standar-

dit. Palkkion maksimimäärästä tulee tehdä sopimukseen merkintä ja se voi olla prosentuaalinen tai kiinteä summa. Hinta voidaan sitoa myös materiaalikustannuksiin tai työvoiman kustannuksiin. Näin toimitaan pitkäaikaissopimuksissa, kun kyseessä on markkinaherkkä materiaali. Laitteita ostettaessa on suositeltavaa neuvotella varosista ja kirjata niiden hinta sopimukseen. Ulkomailta ostettaessa tulee huomioida mahdolliset valuuttojen kurssivaihtelut. Aikaväli sopimuksen kirjoittamisen ja tilauksen saapumisen välillä voi olla vuosia, jolloin hinta eri valuutassa saattaa olla muuttunut epäedulliseen suuntaan. Tämän välttämiseksi voidaan sopia, että hinta maksetaan samassa valuutassa, jossa ostaja saa maksun. Toinen vaihtoehto on tehdä valuuttakurssimuutoslauseke, joka määrittelee hyvitykset eri valuuttojen kurssien muuttuessa. (van Weele 2010, 37–38.)

Koskenpään Huopatehtaan toimitusjohtaja Emilia Koikkalainen (2015) muistuttaa, että mikäli yksikin sopimusehto muuttuu, täytyy tehdä kokonaan uusi sopimus. Yrityksen tulee huomioida kerrannaisvaikutukset, mikäli jotakin ehtoa muutetaan. Koikkalainen varoittaa toimitusketjun herkkyydestä, mikäli esimerkiksi sovittua maksuaikaa muutetaan yhdelläkin päivällä. Vaihtoehtoisesti hyväksytty muutos sopimukseen voidaan tehdä liitteellä.

### **Maksuehdot**

Toimittaja saattaa joutua tekemään suuria investointeja saadakseen tilatun tuotteen valmiiksi. Maksuihin voi joutua tämän takia tekemään useita ehtoja. Yleisesti isoissa hankinnoissa halutaan maksuehto, joka riippuu toimittajan suorituskyvystä. Esimerkiksi voidaan sopia, että kun 25 % työstä on tehty, maksetaan 20 % kokonaishinnasta. Loput 5 tai 10 % voidaan maksaa vasta sitten, kun tiedetään asiakkaan olevan absoluuttisen tyytyväinen tuotteeseen. (van Weele 2010, 38–39.)

### **Toimituslausekkeet**

Kaupankäyntitermejä on pyritty standardisoimaan ja tästä esimerkkinä ovat toimituslausekkeet (*the Incoterms*). Ne määrittelevät tarkasti toimitukseen ja kuljetukseen

liittyvät ehdot. Toimituslausekkeitä käyttämällä pyritään välttymään väärinkäsityksiltä toimittajan ja ostajan välillä. Toimituslausekkeitä (ks. Taulukko 5) on neljää eri tyyppiä: lähtö E (*departure*), ilmainen päärahti F (*main carriage unpaid*), maksettu päärahti C (*main carriage paid*) ja saapuminen D (*arrival*). (van Weele 2010, 40.)

Taulukko 5. Toimituslausekkeet 2010 tyypeittäin. (Muokattu lähteestä Incoterms 2010 FIN-ENG 2010, 7.)

TOIMITUSLAUSEKKEET KAIKKIIN KULJETUSMUOTOIHIN	
<b>EXW</b> Ex Works Noudettuna lähettäjältä	<b>FCA</b> Free Carrier Vapaasti rahdinkuljettajalla
<b>Vain vesikuljetuksiin sopivat lausekkeet:</b>	<b>CPT</b> Carriage Paid To Kuljetus maksettuna
	<b>CIP</b> Carriage and Insurance Paid To Kuljetus ja vakuutus maksettuna
	<b>FAS</b> Free Alongside Ship Vapaasti aluksen sivulla
	<b>FOB</b> Free On Board Vapaasti aluksessa
	<b>CFR</b> Cost and Freight Kulut ja rahti maksettuna
	<b>CIF</b> Cost, insurance, Freight Kulut, vakuutus ja rahti maksettuna
	<b>DAT</b> Delivered at Terminal Toimitettuna terminaalissa
	<b>DAP</b> Delivered at Place Toimitettuna määräpaikalle
	<b>DDP</b> Delivered Duty Paid Toimitettuna tullattuna

### Sopimussakkolausekkeet ja takuuehdot

Yleisten maksuehtojen mukaan tuotteen on oltava sovitun mukainen ja virheetön. Mikäli tuotteessa ilmenee joitain puutteita, tulee aloittaa keskustelu korjaustoimenpiteistä. Mikäli keskustelu ei tuota haluttua lopputulosta, voidaan vioista vaatia rahallista korvausta, jos asia on kirjattu sopimukseen. Sakkolauseke ei estä ongelmien syntyä, mutta se voi rajoittaa myöhemmin ilmenevien vahinkojen määrää. Sakkolau-

seke ei ole tehokas, jos tuotteessa on enemmän kuin 5 % vikoja halutusta standardista. Tällöin on parempi kokonaan olla ottamatta tuotetta vastaan ja palauttaa se takaisin toimittajalle. Sopimukseen on hyvä kirjata tuotteen takuu-aika, jolloin tuotteen luvataan toimivan sovitusti. Takuu-aika on esimerkiksi 12 kuukautta ja se voidaan määrittää alkamaan toimitusajasta tai siitä hetkestä, kun tuote otetaan käyttöön. Vastuullinen toimittaja takaa, että tuotteen eliniän ajaksi on saatavilla varaosia ja huoltoa. (van Weele 2010, 39.)

### **Tilaaminen**

Joissain tapauksissa sopimus on sama asia kuin tilaus. Mikäli sopimus on tehty pidemmälle aikavälille, esimerkiksi vuodeksi, neuvotellaan tilaaminen rutiiniostotoiminnoksi. Tämä tarkoittaa sellaista tilannetta, jossa toimittaja tuntee tuotteen ja siitä tehdään kotiinkutsu sopimuksen mukaisesti. Muissa tapauksissa tilaaminen sisältää yleensä useita eri tietoja mm. yksikköhinta, tilausmäärä, toimitusajankohta, -osoite ja laskutusosoite sekä tarkat tuotetiedot. Yleensä toimittajalta pyydetään tilausvahvistus tilauksen vastaanottamisesta. (van Weele 2010, 42.)

#### **4.1.4 Hankintaportfolioanalyysi**

Hankintaportfolioanalyysissä tuotteet on jaettu neljään ryhmään: strategiset tuotteet, massa-, rutiini- ja pullonkaulatuotteet. Analyysin avulla pyritään selvittämään, mitkä tuotteet ovat riskituotteita ja millä on suurin vaikutus yrityksen tulokseen. Analyysi auttaa parantamaan eri tuotteiden hankintastrategioita ja säästämään rahaa. (van Weele 2010, 195–98.)

Strategiset (*strategic*) tuotteet ovat korkealaatuisia, tarkkaan määriteltyjä ja useimmiten niillä on vain yksi tarjoaja. Toimittajan vaihtaminen lyhyellä varoitusaajalla tulee kalliiksi. Nämä tuotteet määrittelevät yrityksen lopputuotteen hinnan. (van Weele 2010, 196.)

Massatuotteilla (*leverage*) tarkoitetaan suuria määriä tilattavia vakiolaatuisia tuotteita, joilla on useita toimittajia. Nämä tuotteet ovat kilpailutettavia ja pienikin alennus yksikköhinnassa tuottaa valtavat säästöt. (van Weele 2010, 197–98.)

Pullonkaulatuotteet (*bottleneck*) ovat suhteellisen edullisia, mutta äärimmäisen hankalasti saatavia. Strategisten tuotteiden tavoin, pullonkaulatuotteillakin on useimmiten vain yksi toimittaja. Mikäli toimittaja tiedostaa olevansa avainasemassa, voi tuotteiden hinta nousta korkeaksi, toimitusajat pitkittyä ja palvelu huonontua. (van Weele 2010, 198.)

Rutiinituotteilla (*routine*) on suhteellisen halpa hinta ja useita toimittajia. Käytännössä useimmat varastonimikkeet kuuluvat tähän kategoriaan. Rutiinituotteiden ongelmana on kuitenkin se, että käsittelykustannukset ylittävät tuotteen oman arvon. Yleensä kaikista ostotoimista 80 % ajasta kuluu näiden tuotteiden hankintaan. Rutiinituotteiden hankinta tulisikin organisoida tehokkaasti, jotta aikaa jää tärkeämmille tuotteille. (van Weele 2010, 198.)

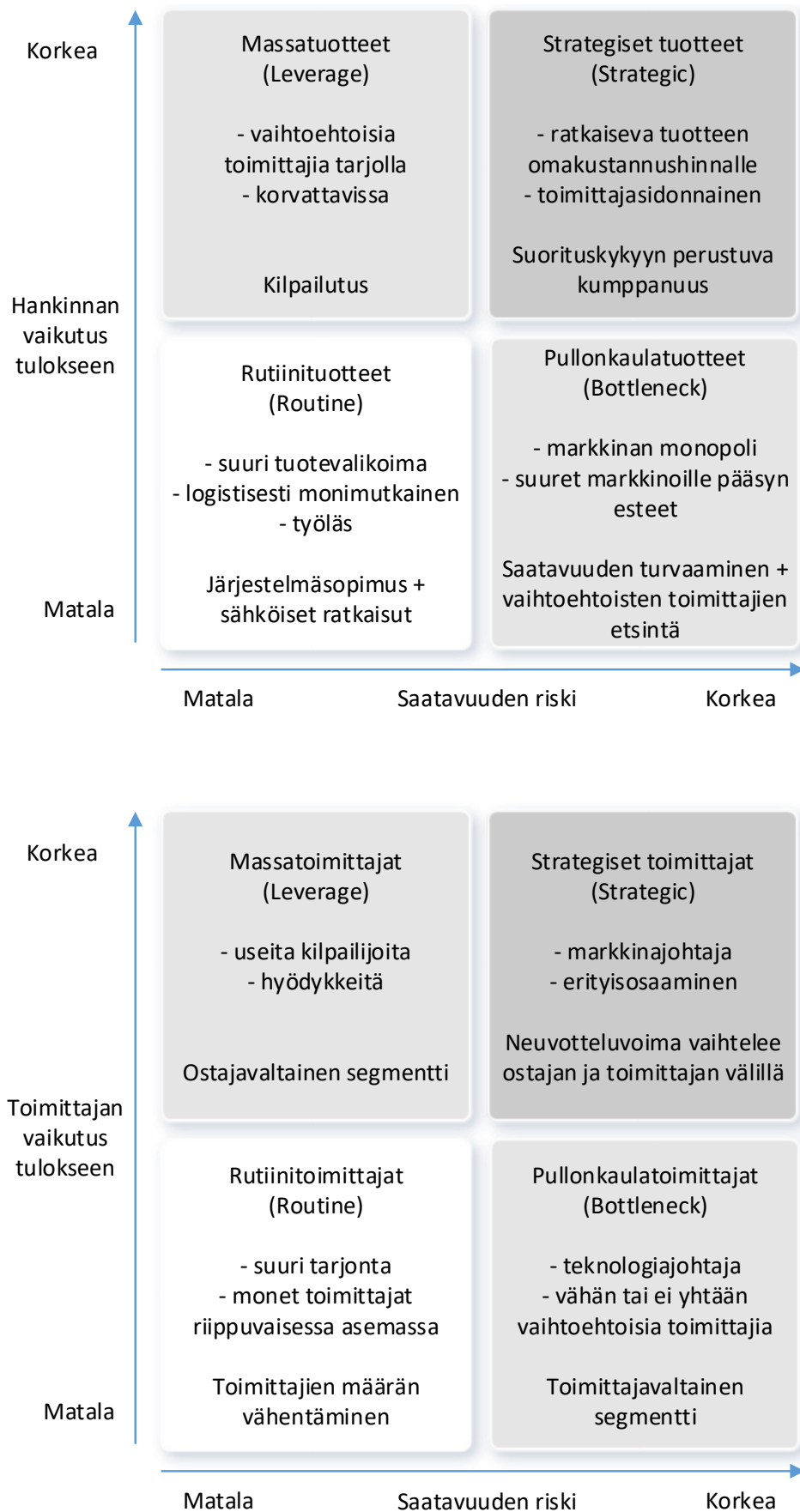
### **Hankintastrategiat**

Hankintaportfoliolla ryhmitetyille tuotteille on olemassa niitä vastaavat neljä perustrategiaa, jotka ovat suorituskykyyn perustuva kumppanuus (*performance-based partnership*), kilpailutus (*competitive bidding*), jatkuvan saatavuuden turvaaminen (*securing continuity of supply*), tavararyhmähallinta ja sähköisen hankinnan ratkaisut (*category management and e-procurement solutions*) (van Weele 2010, 198–99). Kuvio 6 havainnollistaa hankintastrategioiden ja tuoteryhmien välistä riippuvuutta.

Strategisiin tuotteisiin käytetään yhteistyöhön perustuvaa hankintastrategiaa. Kumppanuuden tarkoituksena on saavuttaa molemminpuolinen hyöty ostettavasta tuotteesta. Yhteistyö voi tarkoittaa esimerkiksi tutkimus- ja kehitysyhteistyötä, rahoitusvakautta, toimintakapasiteetin ylläpitämistä tai logistiikan ja laatujärjestelmien yhtenäistämistä. (van Weele 2010, 198–99.)

Kilpailutus on usein massatuotteiden hankintastrategia. Massatuotteiden kanssa ei välttämättä kannata sopia pitkäaikaisia sopimuksia. Tärkeintä on saada riittävä laatu mahdollisimman halvalla. Kilpailutus vaatii jatkuvaa markkinoiden tarkkailua. Tarkoituksena on säästää ostohinnassa pienikin summa, sillä suurilla hankintavolyymeilla saadaan aikaiseksi isot säästöt. (van Weele 2010, 199.)





Kuvio 6. Hankintaportfolioanalyysi tuotteille ja toimittajille. (Muokattu lähteestä van Weele 2010, 197.)

Pullonkaulatuotteiden hankinnassa käytetään jatkuvan saatavuuden turvaamisen strategiaa. Näiden tuotteiden saatavuus on taattava esimerkiksi etsimällä uusia toimittajia ja uusia korvaavia tuotteita. Riskianalyysin avulla kartoitetaan lyhyen, keskipitkän ja pitkän aikavälin saatavuutta kaikkein tärkeimpien pullonkaulatuotteiden osalta. (van Weele 2010, 199.)

Rutiinituotteet ostoarvoonsa verrattuna ovat suuri kustannuserä niiden hallinnollisen ja logistisen monimutkaisuuden takia. Näiden tuotteiden hankinnassa tulee kiinnittää huomiota tilaamisen helppouteen. Hankintastrategiana on syytä hyödyntää sähköisiä katalogeja ja tilaustapoja. Rutiinituotteiden tilauksen voi myös ulkoistaa. (van Weele 2010, 199.)

### **Hankinnan laatukriteerit**

Hankinnan laatua arvioidaan kokonaisvaltaisesti koko hankintaprosessin ajalta. Hankinnassa laatu ei siis tarkoita pelkästään tuotteen tai palvelun laatua (van Weele 2010, 238). Hankintaprosessi on laadukas, mikäli koko hankintaprosessi on sulava. Kommunikoinnin sujuvuus viivästyksissä tai ongelmatilanteissa tuo lisäarvoa hankintaan. Pelkkä tuotteen erinomaisuus ei riitä, jos tavarantoimittaja ei ilmoita toimituskatkoksista tai -ongelmista.

Ostajan valmistaman lopputuotteen laatu määritellään esimerkiksi käytettyjen raaka-aineiden ja komponenttien laadun mukaan. Osien laadun varmistamiseksi solmitaan laatusopimus (*supplier quality assurance, SQA*) toimittajan kanssa. Laatusopimuksella pyritään takaamaan se, että tilattu tuote on laadukasta myös tulevaisuudessa. (van Weele 2010, 241.)

## **4.2 Varastointi ja varastonhallinta**

### **Varastoinnin syyt**

Vaikka varastointi on kustannuserä, sillä voidaan myös säästää rahaa. Hokkanen, Karhunen ja Luukkainen (2011, 125) toteavat varastoinnin syiksi kuljetus- ja tuotanto-

kustannusten alentaminen, suurten hankintaerien edullisuus, toimitusten varmistaminen, yrityksen asiakaspalvelupolitiikan tukeminen, markkinatilanteen muutosten tasaaminen, tuottajien ja kuluttajien välisten aika- ja tilaerojen tasaaminen, halutun asiakaspalvelutason saavuttaminen pienemmillä logistisilla kokonaiskustannuksilla ja myyjien, toimittajien ja asiakkaiden JIT-ohjelmien (*Just-in-time*) tukeminen.

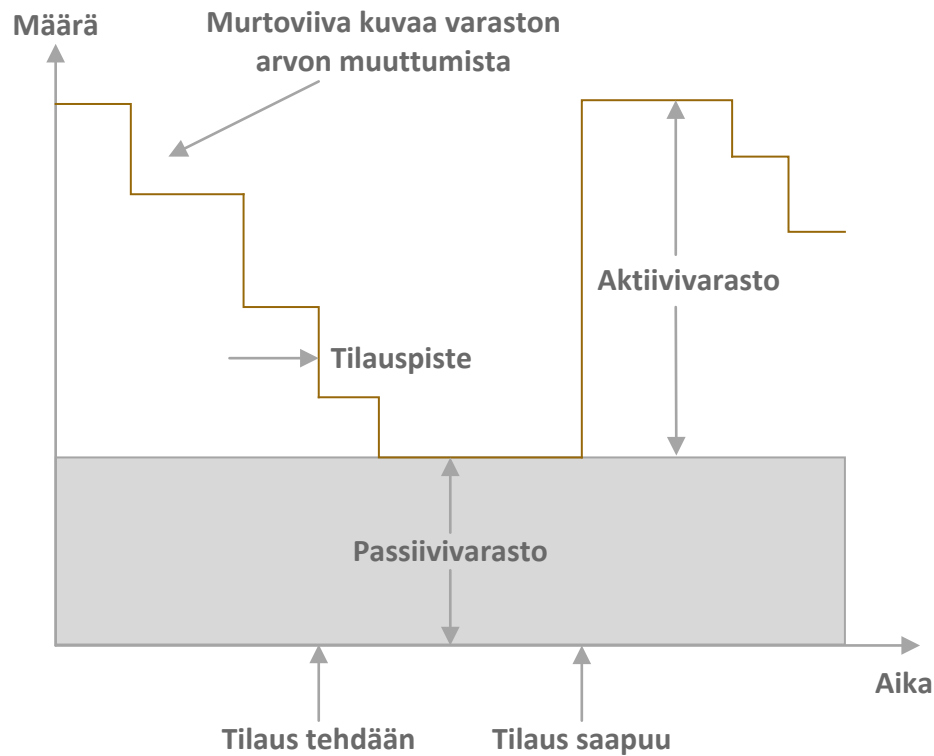
Asiakas maksaa harvoin siitä, että tuote on ollut pitkään varastossa. Usein liian pitkään varastoitu tavara onkin asiakkaan kannalta haitta. Tuote saattaa pilaantua tai haurastua varastoinnin seurauksena. Varastoijan kannalta paras tilanne on sellainen, missä varastointi lisää tuotteen arvoa. (Sakki 2001, 86–87.) Hyvä esimerkkituote lisäarvon saamiseksi varastoimalla on viini.

### **Varastoinnin muodot**

Varastot jaetaan usein *aktiivi- ja passiivivarastoihin* (ks. Kuvio 7). Aktiivivarastoa tarvitaan varastoimaan ne tavarat, jotka ovat varastossa kulutusta varten. Teollisuudessa aktiivivarasto jaetaan kolmeen osaan: raaka-aine-, puolivalmiste- ja valmistevalmistevarasto. Raaka-ainevarasto koostuu tavaroista, jotka eivät ole vielä tuotantoprosessissa. Puolivalmistevarastossa on keskeneräisiä töitä, jotka odottavat käsittelyä tai ovat jo olleet käsiteltävinä. Valmistevalmistevarastossa säilytetään myyntivalmiita tuotteita. Kulutuksen äkillisen lisääntymisen ja toimitusepävarmuuden vuoksi varastoidaan myös yli oletetun kulutuksen. Tätä varastointia kutsutaan nimellä *passiivivarasto tai varmuusvarasto (safety stock)*. (Arnold, Chapman & Clive 2007, 256, 258; Sakki 2001, 82.)

Hokkanen ja muut (2011, 127) lisäävät aktiivivarastoihin vielä tarvikevaraston – jossa säilytetään apuaineita ja tarvikkeita, esimerkiksi voiteluaineita ja pakkaustarvikkeita – ja työvälineille työvälinevaraston.

Passiivivaraston nimi voi antaa sellaisen kuvan, että passiivivarasto on tietty varaston osa, johon kukaan ei koske. Todellisuudessa passiivivarasto elää. Tuotteet ikään kuin liikkuvat passiivivaraston läpi ja näin estetään varmuusvarastossa olevien tuotteiden vanheneminen.



Kuvio 7. Varastot jaetaan aktiivi- ja passiivarastoihin. (Muokattu lähteestä Sakki 2001, 84.)

#### 4.2.1 Varastoinnin tunnuslukuja

Varastoinnissa käytetään tunnuslukuja varastonhallinnan helpottamiseksi ja kustannusten laskemiseksi. Yleisimpiä tunnuslukuja ovat keskivarasto, läpimenoaika (*lead time*), tilauspiste (*re-order point*) ja optimiostoerä eli EOQ (*Economic Order Quantity*).

Keskivarasto tarkoittaa varastossa keskimäärin olevaa tavaran määrää. Se lasketaan varmuusvaraston *SS* ja puolikkaan toimituserän summana:

$$\text{keskivarasto} = SS + \frac{\text{toimituserä}}{2}$$

(Sakki 2001, 83).

Kun tilaus on tehty, tuote ei ole heti saatavilla. Tilauksen ja toimituksen välistä aikaa kutsutaan nimellä läpimenoaika *L*. Tilauspiste tarkoittaa hetkeä, jolloin uusi tilaus on asetettava, jotta kysyntään pystytään vastaamaan ilman katkoksia. Tilauspiste lasketaan seuraavasti:

$$\text{tilauspiste} = SS + \text{kysyntä aikayksikössä} \cdot L$$

(Jonsson 2008, 273.)

### Harrisin/Wilsonin kaava

Kuinka paljon tavaraa sitten tulee tilata varastoon, jotta se olisi kustannustehokkainta? Optimiostoerän (EOQ) määrittämiseksi voi käyttää Wilsonin kaavaa:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot O}{i \cdot c}}$$

missä

$D$  = kysyntä aikayksikössä,

$O$  = toimituserän kustannus,

$i$  = varastoimisen yksikkökustannus prosentteissa desimaalilukuna ja

$c$  = tuotteen yksikköhinta (Jonsson 2008, 281).

Wilsonin kaava olettaa, että

- a) kysyntä, tilauskustannukset, tuotteen hinta ja varastointikustannukset ovat vakaat ja tunnetut,
- b) tuote valmistetaan tai ostetaan erissä ja
- c) varastotäydennys tapahtuu kaikki kerralla (Arnold ym. 2007, 282–83; Jonsson 2008, 281).

Vaikka EOQ tunnetaan yleisesti Wilsonin kaavana, sen esitti alun perin **Ford Whitman Harris** vuonna 1913. Samasta kaavasta käytetään myös nimeä Campin kaava. (Erlenkotter 1990.)

### Vastaako EOQ oikeaan kysymykseen?

Sen sijaan, että vastattaisiin optimaalisen eräkoon kysymykseen, tulisi joidenkin kriitikkojen mielestä kysyä ”Miten operaatiot muutetaan niin, että tarvitaan mahdollisimman vähän varastoja toiminnan ylläpitämiseen?” (Slack ym. 2001, 392). Matemaattisesti Wilsonin kaava on optimaalinen, sillä se on derivaatan nollakohta varastointi- ja tilauskustannusten summasta (Jonsson 2008, 433). Mutta ottaako Wilsonin

kaava huomioon kaikkia tarvittavia muuttujia? Esimerkiksi toimitusajan tuoma vaikutus puuttuu kaavasta kokonaan. Todellisuudessa muuttujia onkin enemmän kuin Wilsonin kaavassa on otettu huomioon. Näitä muuttujia on haasteellista ennakoita matemaattiseen kaavaan. Toimitusaika voi venähtää, erässä voi olla viallinen tai kokonaan väärä tuote, toimituskustannukset muuttuvat, kysyntä voi yllättäen muuttua jne. Epävarmoja muuttujia varten tarvitaan varmuusvarasto. (King 2011.)

### Varmuusvarasto

Jotkut operaatiojohtajat määrittelevät varmuusvaraston koon ”sormituntumalla” tai ”fiiliksen mukaan”. Toisinaan varmuusvarasto on 10–20 % tilauserän koosta. Yleisesti tällaiset määrittelyt johtavat huonoihin tuloksiin. Matemaattinen lähestymistapa tyydyttää bisnesjohtajia tasapainottamalla varastointikustannukset ja asiakaspalvelun. (King 2011.) Varmuusvaraston  $SS$  koko määritellään palvelukertoimen  $k$  (ks. Taulukko 6), aikavälin kysynnän keskihajonnan  $\sigma_D$  ja tilauksen läpimenoajan  $L$  avulla:

$$SS = k \cdot \sigma_D \cdot \sqrt{L}$$

(Jonsson 2008, 288–89; King 2011; Talluri, Cetin & Gardner 2004, 65).

Taulukko 6. Palvelutason avulla määriteltäviä palvelukertoimia  $k$ .

Palvelutaso	$k$	Palvelutaso	$k$	Palvelutaso	$k$
99,99 %	3,719	95 %	1,645	84 %	0,994
99,9 %	3,090	94 %	1,555	83 %	0,954
99,8 %	2,878	93 %	1,476	82 %	0,915
99,7 %	2,748	92 %	1,405	81 %	0,878
99,6 %	2,652	91 %	1,341	80 %	0,842
99,5 %	2,576	90 %	1,282	75 %	0,674
99 %	2,326	89 %	1,227	70 %	0,524
98,5 %	2,170	88 %	1,175	65 %	0,385
98 %	2,054	87 %	1,126	60 %	0,253
97 %	1,881	86 %	1,080	55 %	0,126
96 %	1,751	85 %	1,036	50 %	0,000

Jos tilauksen läpimenoaika ei olekaan vakio, saadaan kaksi uutta kaavaa varmuusvaraston laskemiseksi. Oletetaan, että kysyntä  $D_{avg}$  on vakio ja tilauksen läpimenoajalle on olemassa keskihajonta  $\sigma_{LT}$ , tällöin varmuusvarasto  $SS$  lasketaan kaavalla:

$$SS = k \cdot \sigma_{LT} \cdot D_{avg}$$

(Talluri ym. 2004, 65; King 2011.)

Jos sekä tilauksen läpimenoaika että kysyntä ovat muuttujia, saadaan varmuusvarastolle kaava:

$$SS = k \cdot \sqrt{(L \cdot \sigma_D^2) + (\sigma_{LT} \cdot D_{avg})^2}$$

(Talluri ym. 2004, 65; King 2011).

Jos kysynnän ja tilauksen läpimenoajan muuttujat eivät ole riippumattomia eo. kaavaa ei voida käyttää, vaan silloin varmuusvaraston koko lasketaan summana erillisistä kaavoista:

$$SS = (k \cdot \sigma_D \cdot \sqrt{L}) + (k \cdot \sigma_{LT} \cdot D_{avg})$$

(King 2011).

Varmuusvaraston koko voidaan siis määrittellä matemaattisesti vaihtelevuuden mukaan. Erilaiset varmuusvaraston laskukaavat näkyvät taulukosta (ks. Taulukko 7).

Taulukko 7. Varmuusvaraston koon määrittäminen eri tilanteissa. (Muokattu lähteestä Talluri ym. 2004, 65.)

*Tilauksen läpimenoaika*

		Vakio	Vaihtelee
Kysyntä	Vakio	Ei varmuusvarastoa	$SS = k \cdot \sigma_{LT} \cdot D_{avg}$
	Vaihtelee	$SS = k \cdot \sigma_D \cdot \sqrt{L}$	$SS = k \cdot \sqrt{(L \cdot \sigma_D^2) + (\sigma_{LT} \cdot D_{avg})^2}$

Varmuusvaraston kokoon vaikuttaa enemmän kysynnän kuin tilauksen läpimenoajan vaihtelu. Mitä stabiilimpi kysyntä sitä pienempi varmuusvarasto tarvitaan. Vaihtoehto varmuusvarastolle on valmistaa tuotteet tilauksia vastaan (*make-to-order*). (King 2011.)

#### 4.2.2 ABC-analyysi

ABC-analyysi on tapa luokitella varastossa olevat esineet niiden hankinta-arvon mukaan. ABC-analyysissä jokainen nimike listataan ja niiden hankinta-arvo ja vuosimennekki kerrotaan keskenään. Näin saadaan selville kunkin nimikkeen vuotuinen investointiarvo. Tämän jälkeen nimikkeet järjestetään suurimmasta arvosta pienimpään ja lasketaan niiden kumulatiivinen kertymä rahamääränä ja prosenteissa. Valitaan A tuotteet niin, että niiden kumulatiivinen kertymä on noin 80 %, B-tuotteiden 80–95 % ja C-tuotteiden 95–100 %. Prosenttiosuudet voivat vaihdella jonkin verran, mutta yleisesti ABC-analyysi noudattaa italialaisen Vilfredo Paretin mukaan nimettyä 80/20-ilmiötä, Paretin periaatetta. ABC-analyysi perustuu vain yhteen kriteeriin ja siksi on syytä laajentaa analyysiä käsittämään useita kriteerejä. (Vollmann, Berry & Whybark 1997, 720–22; Dobler & Burt 1996, 520–23.)

Yksi tapa laajentaa ABC-analyysiä on määritellä tuotteille niiden kriittisyysarvo. Kriittinen osa saa arvon 1, ja ei-kriittinen arvon 3. Loput nimikkeet saavat arvon 2. Näin saadaan yhdeksän uutta kategoriaa A1-C3 entisen kolmen sijaan. Tämän jälkeen määritellään ryhmät uudelleen kolmeen kategoriaan AA-, BB- ja CC-esineiksi. Määrittely tapahtuu niin, että AA-luokka käsittää nimikkeet A1, B1 ja A2, BB-luokka nimikkeet A3, B2 ja C1 ja CC-luokka B3, C2 ja C3 (ks. Taulukko 8). Näin toimien voidaan määritellä varastohallinnan parametrit kullekin ABC-analyysin tuotteelle (ks. Taulukko 9): Arvokkaat AA-nimikkeet tilataan pienissä erissä ja niiden varmuusvaraston koko on suuri kriittisille osille. BB-nimikkeiden tilausmäärät voidaan tilata EOQ:ta hyväksi käyttäen ja varmuusvarasto pidetään suurena kriittisille tuotteille. CC-nimikkeet tilataan isoissa tilauserissä ja varmuusvaraston koko on pieni tai olematon. (Vollmann ym. 1997, 722–25.)



Taulukko 8. Usean kriteerin ABC-analyysi. (Muokattu lähteestä Vollmann ym. 1997, 723–24.)

ABC-luokittelu usealle kriteerille						
Investointiarvo	Kriittisyys			Yhteensä	Yhdistetty kategoria	
	1	2	3			
<b>A</b>	1	12	3	16	<b>AA</b>	1 + 2 + 12 = 15
<b>B</b>	2	19	5	26	<b>BB</b>	4 + 19 + 3 = 26
<b>C</b>	4	17	69	90	<b>CC</b>	17 + 5 + 69 = 91
<b>Yhteensä</b>	7	48	77	132		132

Taulukko 9. Varastonhallinnan parametrit useiden kriteerien ABC-analyysille. (Muokattu lähteestä Vollmann ym. 1997, 725.)

Kategoriaparametrit			
	<b>AA</b>	<b>BB</b>	<b>CC</b>
<b>Inventaariotarve</b>	Kuukausittain	Puolivuositain	Vuosittain
<b>Tiluserän koko</b>	Pieni	EOQ:n mukainen	Suuri
<b>Varmuusvarasto</b>	Suuri kriittisille	Suuri kriittisille	Vähän tai olematon
<b>Uudelleen luokitus</b>	Puolivuositain	Puolivuositain	Vuosittain

### Onko ABC-analyysi vanhentunut?

ABC-analyysi on ollut käytössä jo yli 60 vuotta. Sinä aikana informaatioteknologia on kehittynyt huomattavasti ja tänä päivänä on olemassa erilaisia kehittyneitä varastonhallintaohjelmia ja muita materiaalinhallintaohjelmistoja. Tosin monet ohjelmistot ovat keskittyneet palvelemaan asiakasta, joka haluaa ABC-analyysin eikä ratkaisua varastonhallintaongelmaansa. Nykypäivänä tietokoneet pystyvät kuitenkin suoriutumaan monimuuttujaoptimoinnista, jota 1950-luvulla ei käsin välttämättä osattu tehdä. ABC-analyysi onkin yksinkertainen tapa hallita varastoa, kun informaatiokapasiteetin on ajateltu olevan rajallista. Tietokoneohjelmalla pystytään kuitenkin analysoimaan kysyntä ja läpimenoaika jokaiselle nimikkeelle valmistuskomponenteittain.

Tämä aiheuttaa parhaimmassa tapauksessa sellaisen tilanteen, että asiakkaalle sovittu toimitusaika on pidempi kuin tuotteen valmistukseen tarvittavien komponenttien läpimenoaika. Näin ollen varastossa säilytettävää tavaraa ei tarvitse olla lainkaan! Harkittavaksi jää, tulisiko ABC-analyysin sijaan muodostaa neljä kategoriaa, jotka ovat riippuvaisia läpimenoajasta ja kysynnästä: 1) suuri kysyntä, pitkä läpimenoaika; 2) suuri kysyntä, lyhyt läpimenoaika; 3) vähäinen kysyntä, pitkä läpimenoaika; 4) vähäinen kysyntä, lyhyt läpimenoaika. Näistä ryhmistä varaston korkean täyttösuhteen tarvitsee vain 1) suuri kysyntä, pitkä läpimenoaika. Tällainen luokittelu soveltuu hyvin mm. komponenteista valmistettaville tuotteille, jotka kootaan tilauksesta (*assemble-to-order*). (Spearman 2015.)

## 4.3 Tuotetiedonhallinta

### 4.3.1 Osaluettelo ja tuoterakenne

Osaluettelo (*bill of materials, BOM*) toimii reseptinä valmistettavalle tuotteelle. Osaluetteloon merkitään kaikki osat ja niiden lukumäärä, mikä valmiin tuotteen valmistamiseen tarvitaan. Jokaisella osalla on oma osanumeronsa. Kunkin käytettävän numeron tulee linkittyä vain yhteen osaan. Jos kahdella osalla on sama numero, ne ovat sama osa. Osa nimetään muodon (*form*), sopivuuden (*fit*) tai toiminnon (*function*) mukaan. Jos sama osa on saatavilla eri väreissä, jokaiselle versiolle tulee olla oma osanumeronsa. Osaluettelo (ks. Taulukko 10) näyttää osat, joista tehdään komponentteja ja näistä edelleen valmistuote, mutta se ei kuvaa miten osat liitetään toisiinsa. (Arnold ym. 2007, 81–82.)

Osaluetteloinnilla saavutetaan runsaasti etuja:

- Se kertoo, mitkä komponentit vaaditaan valmiiseen tuotteeseen.
- Insinöörien tekemät suunnittelun muutokset voidaan helposti kirjata osaluetteloon.
- Osaluettelosta nähdään, mitkä osat tulee vaihtaa rikkoutuneesta komponentista.
- Tuotannon aikataulut ja suunnittelu helpottuvat.
- Valmistuskustannukset voidaan selvittää niin hankintojen kuin työnteonkin osalta. (Arnold ym. 2007, 88–89.)

Taulukko 10. Esimerkki osaluettelosta. (Muokattu lähteestä Arnold ym. 2007, 81.)

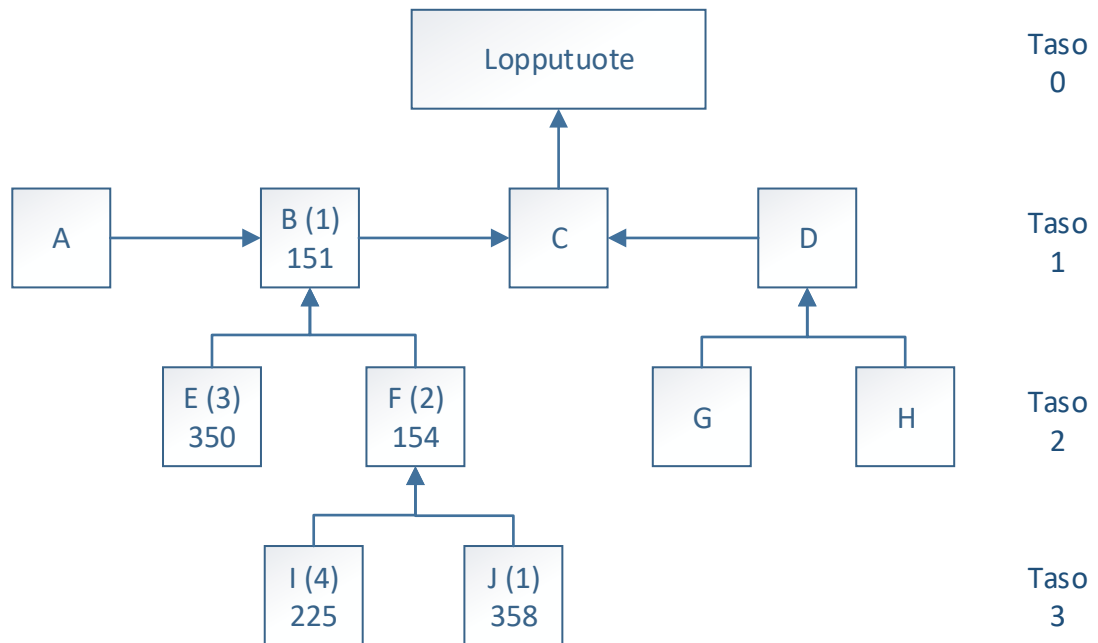
Lopputuote		
Osanumero	Kuvaus	Kappalemäärä
151	B	1
350	E	3
154	F	2
225	I	4
358	J	1

### Super bill

Super bill on nimitys osaluetteloiden osien keskiarvomääristä. Esimerkiksi jonkun automerkin autoissa voi olla keskimäärin 0,6 Chevroletin alkuperäisosaa, 2,6 ovea, 4,3 sylinteriä ja 0,4 ilmastointia. Tätä lopputulosta on mahdotonta rakentaa, mutta se antaa kuvan kuinka paljon mitäkin osia tarvitaan ja kuinka suunnitella tuotantoa. Lisäksi super bill on hyödyllinen varmuusvaraston koon määrittelyssä. (Vollmann ym. 1997, 227–29.)

### Tuoterakenne

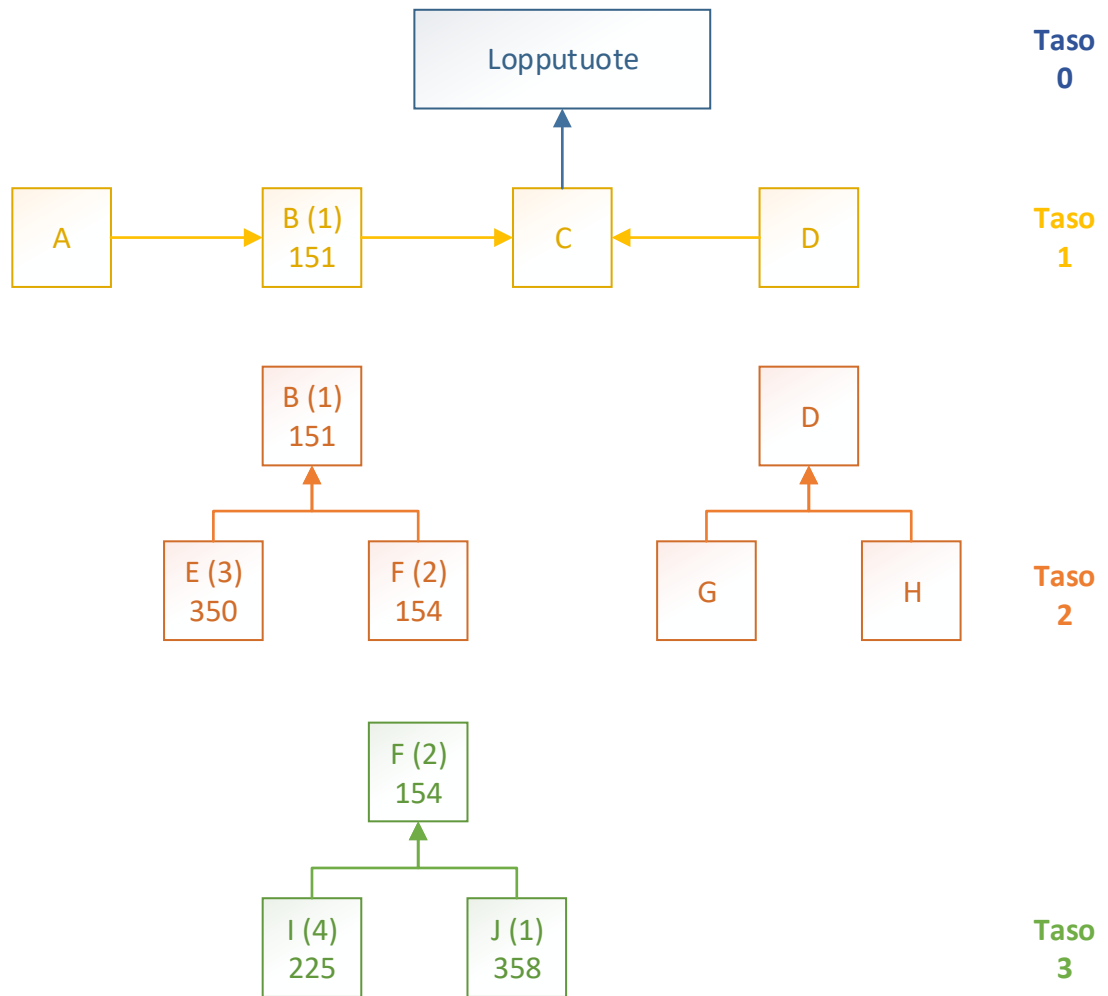
Osaluetteloa kuvataan tuoterakenteella, jota voidaan havainnollistaa puurakenteella (ks. Kuvio 8). Tuoterakenteesta nähdään selkeästi eri komponenttivaiheiden tasot. Tuoterakennetta voidaan kuvata useassa tasossa (*multi-level bill*) tai yhdessä tasossa (*single-level bill*). Usean tason tuoterakenne auttaa havainnollistamaan kokonaiskuvan tuotteesta ja sitä käytetäänkin esimerkiksi tuoterakenteen testaamiseen. (Arnold ym. 2007, 82–83.)



Kuvio 8. Esimerkki usean tason (*multi-level*) tuoterakenteesta, johon on merkitty komponentti B:n valmistamiseen tarvittavat osat ja niiden määrät. (Muokattu lähteestä Arnold ym. 2007, 83–85.)

Yleensä tietokoneohjelma tallentaa informaatiota sarjana yhden tason tuoterakenteita (ks. Kuvio 9), sillä yksitasoiset tuoterakenteet voidaan helposti ketjuttaa monitasoiseksi tuoterakenteeksi. Jos valmistustuotteesta muuttuu yksi osa, ei koko tuoterakennetta tarvitse muodostaa uudelleen. Riittää, että tämän yhden osan tuoterakenne lisätään tietokantaan. Näin voidaan nopeasti ja helposti valmistaa myös kustomoituja tuotteita asiakkaille, jotka haluavat yhden tai useamman erilaisen lisäkomponentin tuotteeseensa. (Arnold ym. 2007, 82–83.)

Monimutkainen tai -tasoinen tuoterakenne saattaa johtaa pitkiin läpimenoaikoihin. Oletetaan, että tuote valmistetaan kymmenestä eri komponentista. Jos jokaisen komponentin saatavuus (palvelutaso) varastosta on 95 %, tällöin todennäköisyys kaikkien komponenttien saatavuudelle on  $(0,95)^{10} = 0,60$  eli vain 60 %. Mitä alhaisemmat varastosaldot ja mitä enemmän osia tarvitaan, sitä todennäköisemmin tuotteen valmistamiseen tulee katkoksia. Monivaiheisia komponentteja valmistettaessa onkin syytä pohtia, tulisiko komponentti hankkia jostain muualta kuin valmistaa se itse? (Jonsson 2008, 150–51.)



Kuvio 9. Usean tason (*multi-level*) puurakenne eriteltynä yhden tason (*single-level*) tuoterakenteiksi. (Muokattu lähteestä Arnold ym. 2007, 83–85.)

#### 4.3.2 Nimikerekisteri

Kun osaluettelo numeroi osat ja kertoo montako osaa komponenttiin tarvitaan, nimikerekisterin tarkoituksena on kuvata, millaisia nämä osat ovat ja mihin tuoteperheeseen ne kuuluvat. Nimikerekisterissä kullekin osalle annetaan oma nimiketunnus, joka voi koostua numeroista, kirjaimista tai näiden yhdistelmästä. (Kalpakjian & Schmid 2010, 1112.)

## Ryhmäteknologia

Ryhmäteknologiassa (*group technology*) osat ryhmitellään kahden kategorian, muotoilu- (*design attributes*) ja valmistusominaisuuden (*manufacturing attributes*), mukaan. **Muotoiluominaisuudet** tarkoittavat määritteitä, jotka kuvaavat osan geometrisia ominaisuuksia:

- sisäiset ja ulkoiset muodot ja mitat,
- kokosuhte, kuten pituus-leveys-suhde tai pituus-halkaisija-suhde,
- toleranssit, pintakäsittely ja osatoiminnot.

Valmistus- ja muotoiluominaisuudet menevät osittain limittäin, sillä valmistusominaisuudetkin sisältävät geometrisiä muotoja ja mittoja. Osat voidaan luokitella **valmistusominaisuuden** mukaan seuraavasti:

- prosessin mukaan joko ensisijainen, toissijainen tai valmis,
- mittatoleranssit ja pintakäsittely,
- suoritettujen toimintojen sekvenssi,
- työkalut, muotit, kiinnikkeet ja koneet,
- valmistusmäärät ja -nopeus. (Kalpakjian & Schmid 2010, 1111.)

Jokaiselle osalle yksilöity tunniste helpottaa varastonhallintaa. Ihmiset voivat puhua samoista osista eri nimillä, mutta mikäli tuotteella on nimikekoodi, epäselvyyksiltä vältytään. Varastonhallintajärjestelmään saadaan kirjattua tarkka tieto osista ja niiden lukumäärästä, eikä hallintajärjestelmään jää haamukopioita samasta osasta. Haamukopio voi syntyä, jos samasta esineestä puhutaan kahdella tai useammalla eri nimellä. Ylimääräisiä esineitä taas syntyy siten, että kahdelle eri esineelle annetaan sama nimi. Ruuveja on esimerkiksi erikokoisia ja jos kaikkien ruuvien nimike on ”ruuvi”, niin kukaan ei tiedä millaista ruuvia tulisi käyttää tai tilata lisää, vaikka niitä olisikin saatavilla. (Rama Rao 2008.)

## Nimikkeiden koodaus

*Termien määrittelyä:* Tässä yhteydessä nimikkeiden koodauksella tarkoitetaan loogista tapaa järjestää kirjaimet ja numerot siten, että kullekin nimikkeelle muodostuu sen yksilöivä nimiketunnus, esimerkiksi LNG2408. Nimiketunnus voidaan jakaa kiinteään osaan ja koodisanaan. Edellisessä esimerkissä kiinteä osa on LNG ja koodisana 2408. Mikäli kiinteää osaa ei ole, koodisana tarkoittaa samaa kuin nimiketunnus.

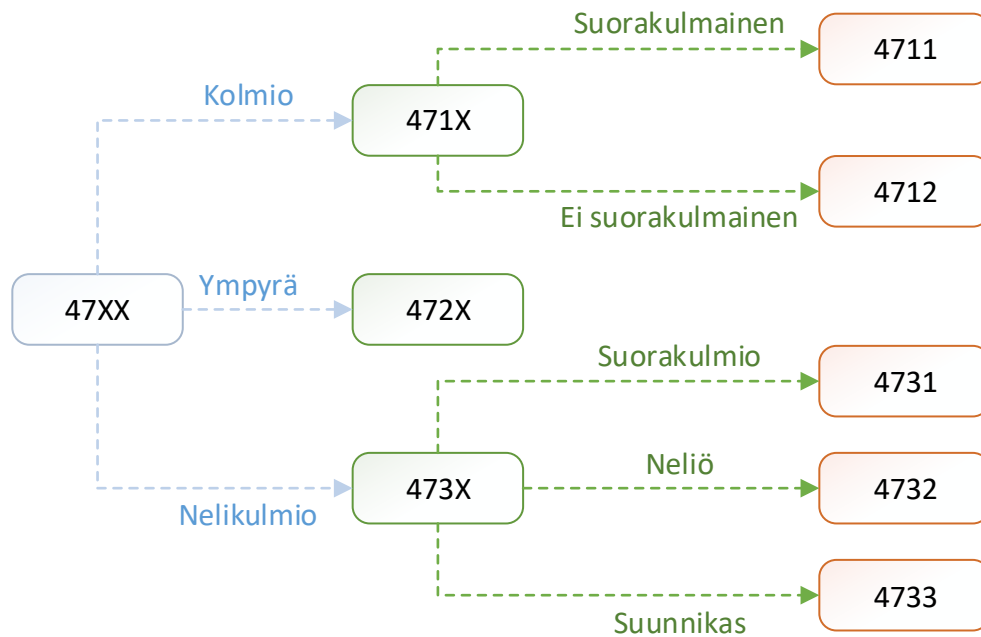
Yritys voi suunnitella nimikerekisterin koodausjärjestelmänsä itse tai käyttää olemassa olevia valmiita tietokoneohjelmia, jotka toteuttavat koodauksen annettujen tietojen perusteella. Koodisanan pituus vaihtelee ja yleensä se on alle 12 merkkiä pitkä, kun se on luotu joko muotoilu- tai valmistusominaisuuksien mukaan. Mikäli molemmat ominaisuudet halutaan koodata, voi koodisanasta muodostua jopa 30 merkkiä pitkä. (Kalpakjian & Schmid 2010, 1112.)

Koodauksessa käytetään kolmea perustasoa, jotka vaihtelevat koodin monimutkaisuuden mukaan. Perustasot ovat nimeltään

1. hierarkkinen koodaus (*hierarchical coding*),
2. polykoodit (*polycodes*) ja
3. päätöksentekokaaviokoodaus (*decision-tree coding*). (Kalpakjian & Schmid 2010, 1112.)

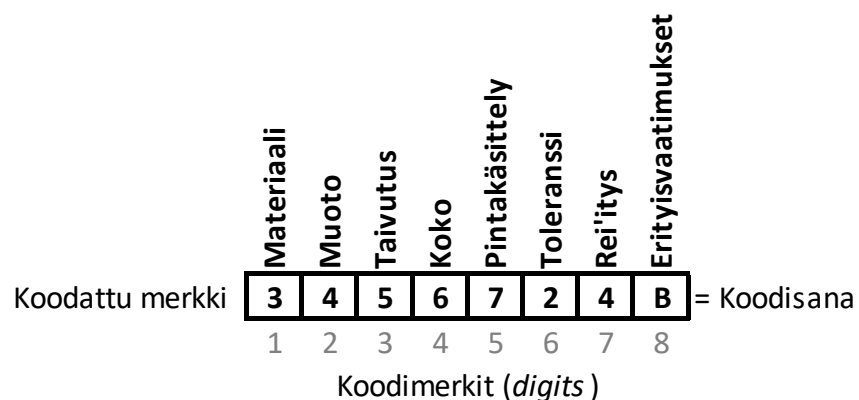
**Hierarkkinen koodi** tai monokoodi tulkitsee seuraavan koodimerkin sen edellisen merkin perusteella. Näin yksittäisen merkin informaatiota ei voida selittää erikseen. Etuna saavutetaan lyhyt koodisana, joka sisältää paljon informaatiota. Tätä järjestelmää on kuitenkin hankala sovittaa tietokoneelle. (Kalpakjian & Schmid 2010, 1112.)

Hierarkkiselle koodille ominaista oleva koodimerkkien linkitys edelliseen merkkiin käy hyvin ilmi esimerkkikuviosta (ks. Kuvio 10). Siinä suorakulmainen kolmio on koodattu koodisanaksi 4711 ja suorakulmio 4731. Vaikka molemmat koodatut sanat päättyvät numeroon 1, neljättä koodimerkkiä ei voida tulkita samaksi informaatioksi.



Kuvio 10. Esimerkki hierarkkisen koodin muodostumisesta.

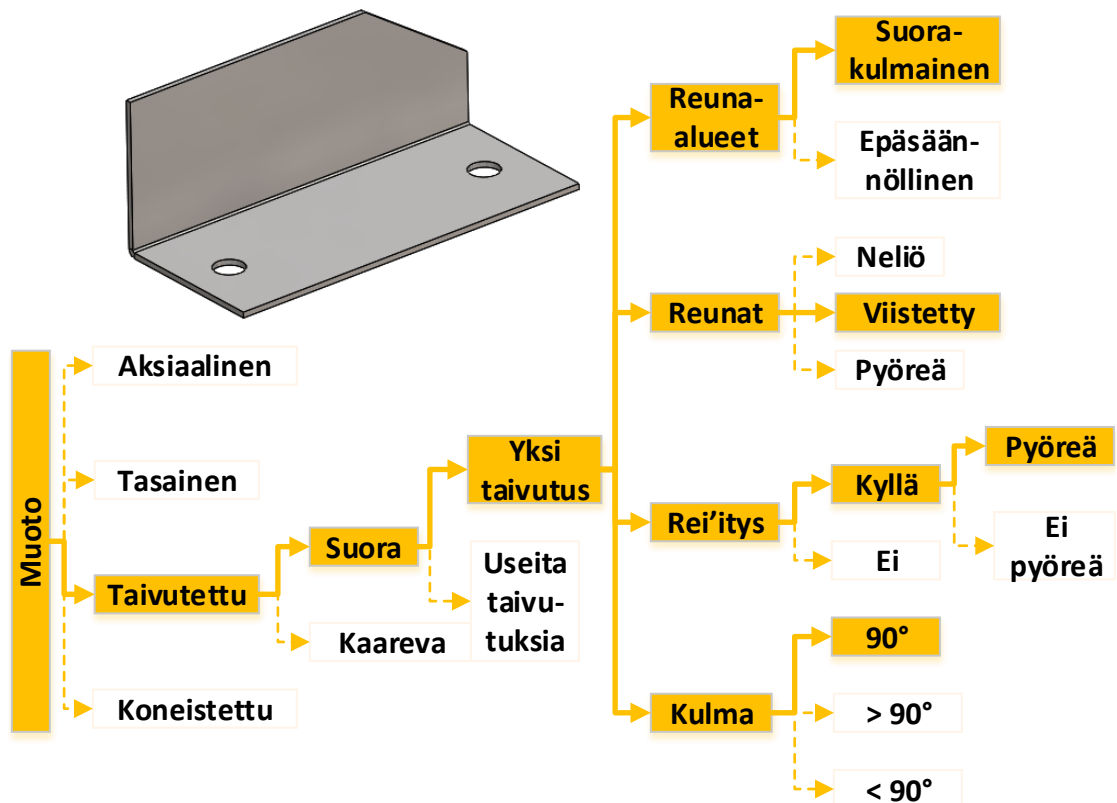
**Polykoodit** ovat ketjukoodeja, joissa jokainen merkki tulkitaan erikseen ja on riippumaton edellisestä merkistä (ks. Kuvio 11). Tämän hyötynä on osan helppo tunnistettavuus ja soveltuminen tietokonejärjestelmään. Ketjukoodeista saattaa muodostua hyvin pitkiä. (Kalpakjian & Schmid 2010, 1112.)



Kuvio 11. Esimerkki polykoodin muodostumisesta.



**Päätöksentekokaaviokoodaus** (ks. Kuvio 12) tai hybridikoodaus yhdistää muotoilu- ja valmistusominaisuudet ja on kaikkein edistynein koodaussysteemi. (Kalpakjian & Schmid 2010, 1112.)



Kuvio 12. Päätöksentekokaaviokoodausesimerkki metallilevyjen kiinnikkeelle. (Muokattu lähteestä Kalpakjian & Schmid 2010, 1112.)

### Koodauksessa huomioitavaa

Lopullisen nimikerekisterin koodiston määrittelyssä tulee huomioida se, ettei mitään osaa koodata samaksi koodisanaksi tai samalle kappaleelle synny kahta eri koodisanaa. Määrittelyperusteiden on oltava niin vahvat, ettei tällaista virhettä pääse syntymään. Opitz system on koodaussysteemi, jolle nämä edellä mainitut virhetilanteet ovat mahdollisia. Opitz system koostuu pohjimmiltaan yhdeksästä merkistä, joista

viisi ensimmäistä (12345) kuvaavat muotoiluoimaisuuksia ja neljä seuraavaa valmistusominaisuuksia (6789). Neljä lisämerkkiä (1234 tai ABCD) voidaan lisätä tunnistamaan valmistusprosessin järjestystä. Muita tärkeimpiä teollisuuden koodaussysteemejä ovat 30 merkkiä sisältävä multiClass system ja 21-merkkinen KK-3 system. (Kalpakjian & Schmid 2010, 1113–15.)

Koodisanan voi koodata myös käyttämällä hyväksi osaluetteloa ja tuoterakenteen eri tasoja. Valmiin tuotteen osaluettelonumeron eteen liitetään numero 0. Tuoterakenteen seuraavalla tasolla olevien komponenttien tai osien eteen liitetään numero 1 ja näin jatketaan, kunnes jokainen taso on numeroitu. Tällainen menettely on nimeltään Low-level Coding. Mikäli samaa osaa käytetään useilla eri tasoilla, se koodataan alimman tason numeron mukaan. (Vollmann ym. 1997, 33.)

Jos esimerkkinä käytetään aikaisempaa tuoterakennekuviota (ks. Kuvio 8) niin eri osille saadaan koodisanat B: 1151, E: 2350, F: 2154, I: 3225 ja J: 3358 tasojensa mukaisesti. Lopputuote olisi koodattuna 0XXX, jossa XXX tarkoittaa lopputuotteelle annettua numeroa osaluettelossa.

### **Koodisanojen lukumäärä**

Koodisanojen erilaisten yhdistelmien määrä voidaan laskea yksinkertaisella potenssilaskulla  $x^n$ , missä  $x$  on käytettävien merkkien määrä ja  $n$  on koodisanan pituus. Esimerkiksi pelkkiä numeroita 0–9 käyttävällä 4-pituisella koodilla saadaan  $10^4 = 10\,000$  erilaista koodisanaa. Jos samaan koodiin lisätään 26 aakkosta A-Z mukaan, saadaan yhteensä  $36^4 = 1\,679\,616$  erilaista koodisanaa. Numeroiden ja kirjainten yhdistämisessä on kuitenkin tulkitsemisvaaroja, esimerkiksi O-kirjain voidaan sotkea numeroksi 0 (nolla). Kaikkia koodisanoja ei välttämättä tulla koskaan käyttämään ja vaikka koodisanan pituus olisi kahdeksan merkkiä, voivat ne loppua kesken. Hyvä esimerkki tästä on ketjukoodin muodostuminen, missä jokaista merkkiä vastaa jokin koodattu arvo. Koodattavia arvoja voi olla määritelty vain neljä kappaletta kuhunkin koodimerkkiin, vaikka käytössä olisi kymmenen numeroa. Tällöin 8-pituisen koodistoon mahtuu ainoastaan  $4^8 = 65\,536$  koodisanaa, vaikka tilaa olisi  $10^8 = 100\,000\,000$  koodisanalle.

### 4.3.3 Massaräätälöinti

Asiakkailla on yksilöllisiä tarpeita. Massaräätälöinnin (*mass customization*) ideana on tehdä mahdollisimman paljon variaatioita mahdollisimman pienillä moduulimäärillä. Asiakkaan tarpeet tulee voida täyttää nopeasti ja kustannustehokkaasti. Tämä tarkoittaa sitä, että standardituote ja räätälöity tuote saavat maksaa lähes saman verran eikä toimitusaikakaan saa olla liian pitkä. Jos tuotteelle ei ole asetettu selkeää tuoterakennetta ja selkeitä räätälöintivaihtoehtoja, lopputuloksena voi olla se, että myydään tuote, jota on mahdotonta valmistaa. Myyntihenkilöstö ei välttämättä tiedä ratkaisuvia, myytävään tuotteeseen liittyviä yksityiskohtia. Asiakaskaan ei välttämättä tiedä, mitä hän on tilannut. Myynnin kasvattamisen paineesta johtuen kauppaa täytyy kuitenkin tehdä välittämättä tuotannolle tärkeistä yksityiskohdista. Näin saataan myydä katteettomia tai epätasällisiä lupauksia. (Tuominen & Lahti 2012, 6–9.)

Myynnin ja tuotannon välisen kommunikaation on toimittava. Myynnin tiedossa tulisi olla esimerkiksi tuotteen valmistustapaa koskevat rajoitukset. Tämän LNGTainer ottaa huomioon valitessaan toiminnanohjausjärjestelmänsä (*Enterprise Resource Planning, ERP*).

#### **Massaräätälöinnin lähestymistavat**

Massakustomointi epäonnistuu helposti, jos etukäteen ei ole selvitetty, mitä asiakas haluaa. Räätälöintiin voidaan tunnistaa neljä erilaista lähestymistapaa: yhteistyö, mukautuva, kosmeettinen ja läpinäkyvä. Joissain tapauksissa vain yksi lähestymistapa on paras palvelemaan asiakasta. Useimmiten tarvitaan kuitenkin useampaa tai jopa kaikkia lähestymistapoja tyydyttämään asiakkaan tarpeet. (Gilmore & Pine II 1997, 91–92.)

**Yhteistyö** (*collaboration*) tarkoittaa sitä, että asiakkaan kanssa käydään keskustelu, jonka aikana kartoitetaan tarpeet. Tämän jälkeen tuote kustomoidaan asiakkaan toiveiden mukaan. Yhteistyötä käytetään välineenä esimerkiksi silloin, kun asiakas ei osaa valita valmiista vaihtoehtoista mieleistään. (Gilmore & Pine II 1997, 92.)

**Mukautuva** (*adaptive*) lähestymistapa sopii asiakkaalle, joka haluaa standardituotteen, mutta kustomoi sitä itse myöhemmin. Tarkoituksena on käyttää tuotetta eri tavalla eri tilanteissa ja käytössä oleva tekniikka mahdollistaa omakohtaisen räätälöinnin. Valaistuksen säätäminen on eräs tapa toteuttaa itsenäistä räätälöintiä. Valmiit ohjelmoinnit takaavat sopivan valaistuksen esimerkiksi juhliin, lukemiseen, hiljaisiin iltoihin tai romanttisiin hetkiin. Sen sijaan, että asiakas säätäisi monta eri kytkintä, hänelle riittää tallennetut asetukset haluamaansa valaistukseen. (Gilmore & Pine II 1997, 93.)

**Kosmeettinen** (*cosmetic*) lähestymistapa on asiakkaalle, joka haluaa tuotteensa samaan käyttötarkoitukseen, mutta se täytyy esitellä hänelle eri tavoin. Esimerkiksi tuotetta voidaan markkinoida erilaisten hyötyjen kautta, asiakkaan nimi painetaan tuotteeseen tai menekinedistämishjelmat ovat erilaisia. Vaikka tuotteen räätälöinti on kosmeettista, se antaa silti lisäarvoa monille asiakkaille. (Gilmore & Pine II 1997, 93.)

**Läpinäkyvä** (*transparent*) lähestymistapa on asiakkaille, joiden erityistarpeet ovat enustettavissa tai helposti pääteltävissä ja erityisesti silloin, kun he eivät halua todeta tarpeitaan toistuvasti. Asiakaskäyttäytymistä tarkkaillaan ilman suoraa vuorovaikutusta ja sitten huomaamatta räätälöidään asiakkaalle hänen tarpeitaan vastaava standardipaketti. (Gilmore & Pine II 1997, 94.)

### **Myöhäistäminen ja tehokas massaräätälöinti**

Hewlett-Packard on onnistunut räätälöimään tietokoneet, tulostimet ja lääkevalmisteet niin, että tuotteiden toimitus on nopeaa ja edullista. Avainsana tehokkaaseen massaräätälöintiin on myöhäistäminen (*postponement*). Tuotteen erilaistaminen on tehokkainta jättää mahdollisimman myöhäiseksi toimitusketjussa, sillä näin säästetään varastokustannuksissa ja toimitusajoissa. Tehokas massaräätälöinti koostuu kolmesta periaatteesta:

1. Tuote suunnitellaan rakennettavaksi erillisistä moduuleista, jotka voidaan asentaa paikoilleen helposti ja edullisesti.
2. Valmistusprosessi suunnitellaan myös koostuvaksi erillisistä moduuleista, joita voidaan liikuttaa ja uudelleen järjestää helposti tukien erilaisia jakeluverkkoja.

3. Koko toimitusketju suunnitellaan niin, että se pystyy tarjoamaan perustuotteen kustomoinnin edullisesti ja on joustava sekä reagoi herkästi asiakkaiden tilauksiin pystyen toimittamaan valmiit räätälöidyt tuotteet nopeasti. (Feitzinger & Lee 1997, 117.)

### **Modulaarinen tuotesuunnittelu**

Modulaarinen tuotesuunnittelu erottaa lopputuotteen koostumuksen osiin tai osakokonaisuuksiin, joista osa on yleistä kaikille tuotteille ja osa kustomoituja osia. Tällaisella suunnittelulla voidaan maksimoida standardikomponentit, jotka tulevat jokaiseen tuotteeseen ja ne voidaan koota yhteen kokoonpanolinjalla aikaisessa vaiheessa. Tuotteen erilaistaminen tapahtuu vasta lopuksi. Modulaarinen tuotesuunnittelu lyhentää tuotteen valmistusaikaa, sillä eri moduuleita voidaan valmistaa samanaikaisesti. Lisäksi yritys pystyy diagnosoimaan helposti potentiaaliset laatu- ja tuotanto-ongelmat. (Feitzinger & Lee 1997, 117.)

### **Modulaarinen prosessisuunnittelu**

Modulaarisella prosessisuunnittelulla saavutetaan joustavuutta, jota tarvitaan tehokkaaseen massaräätelöintiin. Tällainen lähestymistapa perustuu kolmeen periaatteeseen, joita ovat prosessin myöhäistäminen, uudelleen sekvensointi ja standardointi. Prosessin myöhäistämisestä malliesimerkki on maalit. Rautakaupat ja maalikaupat varastoivat vain tiettyjä väripigmentejä ja sekoittavat niistä asiakkaalle hänen halumansa värin. Näin varastoitavan maalin määrä on minimoitu, mutta silti pystytään tyydyttämään kaikkien asiakkaiden tarpeet. Prosessin uudelleen sekvensointi järjestää toimenpiteet niin, että tuotteen erilaistaminen tapahtuu lopuksi. Vaateyritys Bennetton värjäsi ensin langat ja kutoi erivärisistä langoista villapaitoja. Vaihtamalla prosessi toisinpäin, voitiin kutoa värjäämättömiä villapaitoja, jotka värjättiin vasta lopuksi kutakin tilausta tai sesonkia varten. Näin prosessien paikkaa muuttamalla ja erilaistamisen myöhäistämällä saavutettiin miljoonien dollareiden säästöt, kun varastot eivät täyttyneet vanhentuneista myymättä jääneistä villapaidoista. Standardoimalla tuotantoprosessin ensivaiheet ja lykkäämällä erilaistamista saavutetaan joustavuutta toimitusverkostoon. (Feitzinger & Lee 1997, 119–20.)

#### 4.3.4 Lean ja make-or-buy-päätökset

Lean-periaate tarkoittaa systeemissä olevan turhan asian, ”jätteen” (*waste*), eliminointia tai vähentämistä. Leanin lopullinen päämäärä on maksimoitu asiakaspalvelu, joka on saavutettu minimoimalla systeemissä oleva ”jäte”. (Arnold ym. 2007, 455.) Leania käyttävä yritys ostaa enemmän kuin valmistaa itse. Kun halutaan ratkaista, kannattaako tuote valmistaa itse, voidaan apuna käyttää kolmea sääntöä:

1. Tuote on kriittinen lopputuotteen menestymisen kannalta, myös asiakkaan näkökulmasta.
2. Tuote, joka tarvitsee erityisiä muotoilu- ja valmistustaitoja tai kykeneviä ja luotettavia toimittajia on erittäin vähän.
3. Tuote sopii yrityksen erityisosaamiseen tai tuotetta kehitetään täyttämään tulevaisuuden suunnitelmia. (Burt ym. 2003, 307.)

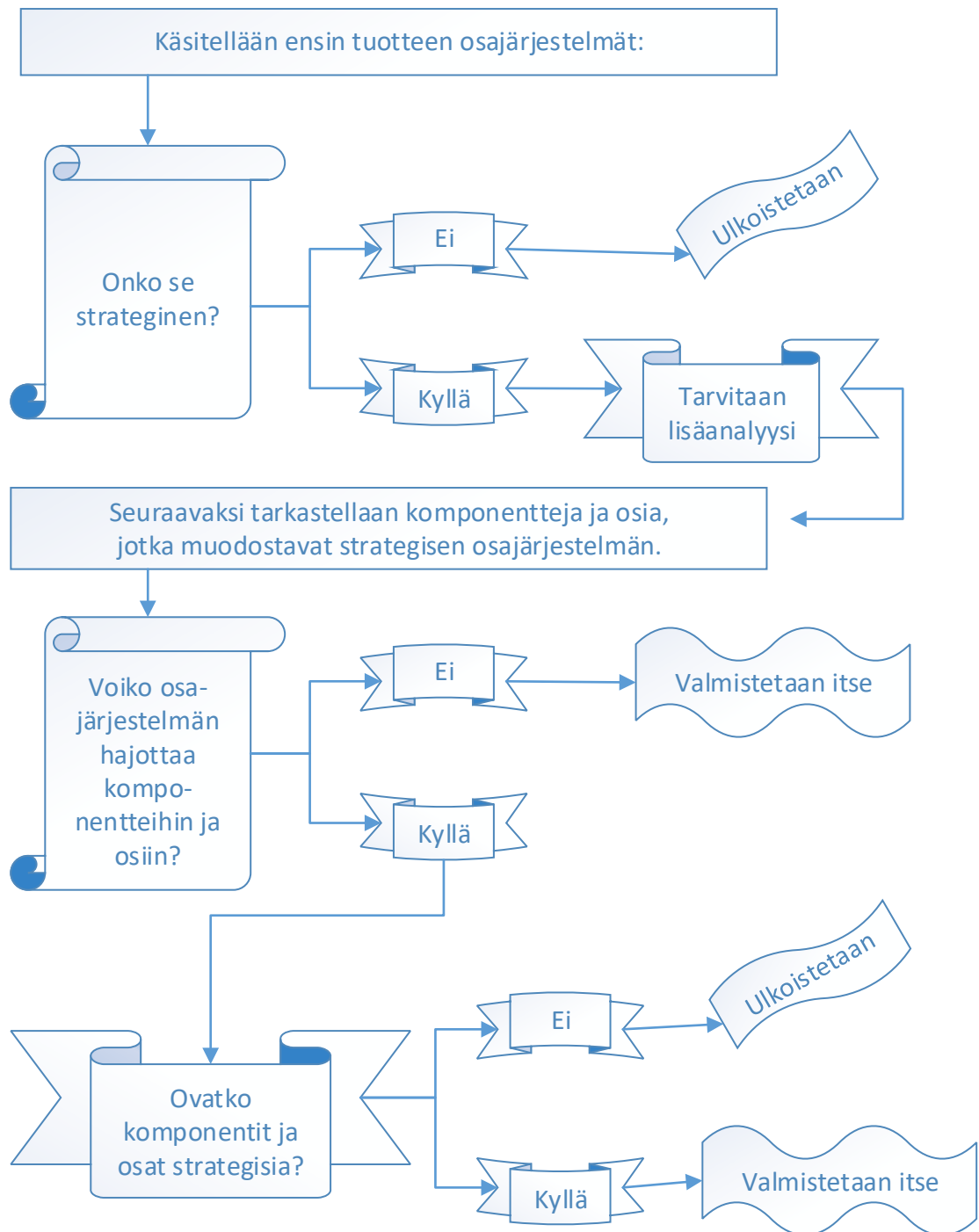
Komponentit tai osajärjestelmät, jotka sopivat näihin luokkiin ovat strategisia ja jos mahdollista, ne valmistetaan itse. Make-or-buy-päätöksiä voidaan havainnollistaa analyyttisellä päättelyketjulla (ks. Kuvio 13). (Burt ym. 2003, 307.)

Kaksi tekijää erottuvat muista, kun harkitaan make-or-buy-päätöksiä: kokonaiskustannukset ja tuotannon kapasiteetti. Hyvä make-or-buy-päätös tarvitsee näiden kahden lisäksi muitakin arviointikriteerejä. Itsetekemistä suosivia tekijöitä on mm.:

1. Kustannustekijät. (*Tuote on halvempi valmistaa itse kuin ostaa.*)
2. Halu integroida tehtaan operaatioita.
3. Tehtaan ylimääräisen tilan hyötykäyttö.
4. Tarve kontrolloida tuotantoa tai laatua.
5. Tuotesuunnittelu on salaista.
6. Epäluotettavat toimittajat.
7. Halu tasapainottaa työvoiman tarve, esimerkiksi myynnin laskiessa.

Vastaavasti ostamista suosivia tekijöitä on mm.:

1. Rajalliset tuotantolaitokset.
2. Kustannustekijät. (*Tuote on halvempi ostaa kuin valmistaa itse.*)
3. Pienet volyymit.
4. Toimittajien tutkimus ja erityisosaaminen.
5. Halu tasapainottaa työvoiman tarve, esimerkiksi myynnin kasvaessa.
6. Halu ylläpitää monilähteistä toimittajapolitiikkaa.
7. Hankinnan ja varastoinnin näkökohdat. (Burt ym. 2003, 309.)



Kuvio 13. Make-or-buy-päätösten analysointi. (Muokattu lähteestä Burt ym. 2003, 308.)

## 5 Optimointi

### 5.1 Lineaarinen optimointi

Tässä työssä optimointia tehdään tuotteen toimitusketjun ja valmistuksen osalta. Optimoinnilla pyritään etsimään sellainen toimitusketju, joka tuottaa parhaimman lopputuloksen vallitsevien ehtojen puitteissa. Tarkoituksena on mm. suunnitella, kannattaako tietty yksittäinen komponentti valmistaa itse, vai onko edullisempaa tilata se kokonaisena. Optimointia käytetään apuvälineenä löytämään se rajapiste, milloin eri valmistusmäärät tukevat komponentin tilaamista ja milloin sen valmistamista itse. Tällaiseen raja-arvo-optimointiin sopii lineaarinen optimointi, jonka tarkoituksena on löytää ratkaisu ääritilanteisiin. Ääritilanne tarkoittaa mallin minimin tai maksimin etsintää. Matemaattinen malli lineaarisesta optimoinnista muodostuu seuraavien periaatteiden mukaisesti:

1. Määritellään muuttujat.
2. Muodostetaan tavoitefunktio.
3. Huomioidaan rajoitteet. (Laaksonen 2011, 181–84; Eremin 2002; Häkkinen 2002.)

Jos tavoitefunktio on lineaarinen, rajoitteet ovat lineaarisia yhtälöitä tai lineaarisia epäyhtälöitä ja kaikki muuttujat saavat vain ei-negatiivisia arvoja, sanotaan mallia LP-malliksi (Laaksonen 2011, 183). LP tulee sanoista *linear programming*, lineaarinen ohjelmointi (Eremin 2002).

LP-mallilla pyritään lähestymään todellista tilannetta, joten pienet erot todellisuuden ja mallin välillä ovat merkityksettömiä. LP-mallille tehdään neljä oletusta mallin yksinkertaistamiseksi:

1. Suhteellisuusoletus.
2. Additiivisuusoletus.
3. Jaollisuusoletus.
4. Varmuusoletus.

Suhteellisuusoletus tarkoittaa sitä, että jokaisen muuttujan arvo on suoraan verrannollinen tavoitefunktion arvoon. Additiivisuusoletus tarkoittaa sitä, että jokaisen muuttujan arvo on riippumaton muiden muuttujien arvoista. Jaollisuusoletus sallii



kokonaisluvuisista poikkeavat arvot ja varmuusoletus tarkoittaa sitä, että kaikki mallin parametrit tunnetaan varmuudella. (Laaksonen 2011, 183.)

Lineaarisen optimointitehtävän voi ratkaista graafisesti tai laskemalla. Tietokoneelle on olemassa erilaisia sovelluksia lineaarisen optimointitehtävän ratkaisemiseen. Microsoft Exceliin on saatavilla solver-lisäosa, joka osaa ratkaista LP-mallin mukaisia lineaarisia optimointitehtäviä. LP-mallilla on neljä erilaista tyyppiratkaisua:

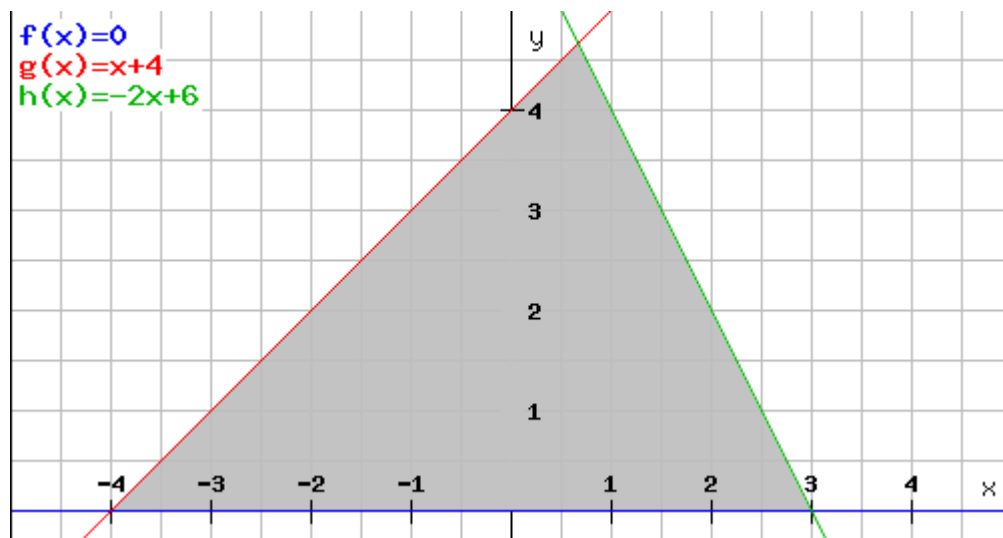
- Yksikäsitteinen optimiratkaisu, joka on käyvän alueen nurkkapiste.
- Useita optimiratkaisuja, jotka ovat käyvän alueen reunan osa.
- Ratkaisu on ääretön, mutta ei optimaalista ratkaisua.
- Ei ratkaisua, jolloin rajoitteet ovat ristiriitaiset. (Laaksonen 2011, 191–92.)

### Esimerkkitehtävä

Laske lausekkeen  $x + 2y$  suurin arvo alueessa, jota rajoittavat epäyhtälöt:

$$\begin{cases} y \geq 0 \\ y \leq x + 4 \\ y \leq -2x + 6 \end{cases}$$

(Lineaarinen optimointi 2013).



Kuvio 14. Lineaarisen optimointitehtävän rajoitteet koordinaatistoon piirrettynä.

## Graafinen ratkaisu

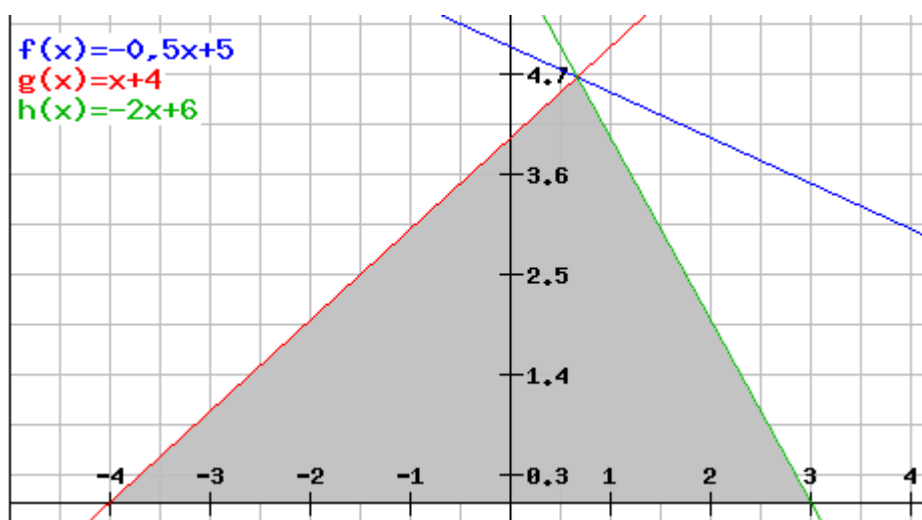
Piirretään rajoittavien suorien yhtälöt koordinaatistoon ja väritetään niiden väliin jäävä alue (ks. Kuvio 14). Ratkaisu löydetään alueen leikkauspisteistä  $(-4, 0)$ ,  $(3, 0)$  tai  $(\frac{2}{3}, 4\frac{2}{3})$ , sillä ne ovat ääriarvoja. Sijoitetaan kukin leikkauspiste lausekkeeseen  $x + 2y$  ja saadaan arvot  $-4$ ,  $3$  ja  $10$ . Näistä  $10$  on maksimiarvo eli kysytty suurin arvo.

Tilannetta voidaan tarkastella myös tavoitefunktion avulla. Annetaan lausekkeelle  $x + 2y$  suurin arvo  $c$ , jolloin tavoitefunktiksi saadaan:

$$x + 2y = c \Leftrightarrow y = -\frac{1}{2}x + \frac{1}{2}c$$

Nyt laskeva suora  $y$  sijoitetaan koordinaatiston (ks. Kuvio 15) siihen kohtaan, jossa se leikkaa rajoitetun alueen korkeimmalta kohdaltaan. Leikkauspisteeksi tulee  $(\frac{2}{3}, 4\frac{2}{3})$ . Koordinaatistosta lukemalla tätä ei voi näin tarkasti nähdä, vaan leikkauspiste on määritelty laskemalla. Laskemalla selviää myös, että suurin arvo  $c = 10$ , jolloin lopulliseksi tavoitefunktiksi saadaan:

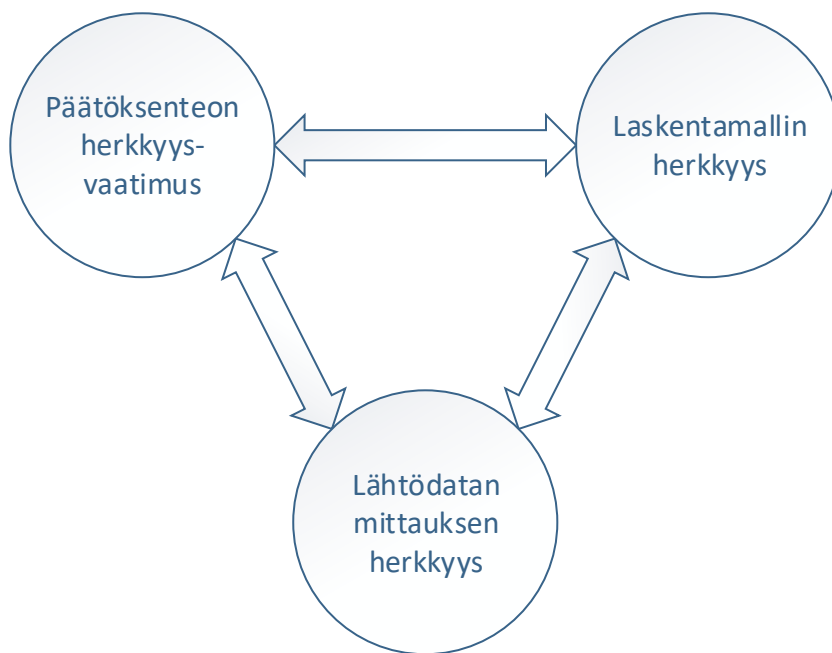
$$y = -\frac{1}{2}x + 5$$



Kuvio 15. Tavoitefunktio  $f(x)$  (sininen väri) sijoitettuna maksimikohtaan.

## 5.2 Herkkyysanalyysi

Herkkyysanalyysillä pyritään esimerkiksi selvittämään miten laskenta- tai simulaatiomallin lopputulos muuttuu, kun lähtödataa muutetaan ja miten nämä tulokset huomioidaan päätöksenteossa. Herkkyysanalyysi koostuu siis kolmesta osasta: lähtödatan, mallin ja päätöksenteon herkkyydestä. Nämä kolme ovat sidoksissa toisiinsa (ks. Kuvio 16). Jos ajatellaan herkkyysanalyysin tarkoituksena olevan suurten linjausten kartoittaminen, riittää tieto ratkaisujen edullisuudesta tai epäedullisuudesta. Tällöin tarkkojen matemaattisten mallien luominen ei ole tarkoituksenmukaista eikä lähtödatankaan tarvitse olla kuin suuntaa antava. Vastaavasti tarkat tutkimukset edellyttävät huolellisesti rakennettuja laskentamalleja ja virheetöntä dataa. (Eskelinen & Karsikas 2014, 133–34.)



Kuvio 16. Herkkyysanalyysin perusosat ovat sidoksissa toisiinsa. (Muokattu lähteestä Eskelinen & Karsikas 2014, 133.)

Tieteen näkökulmasta tutkimus on useimmiten heikkoa, mikäli herkkyysanalyysi puuttuu kvantitatiivisesta tutkimuksesta. Stokastisilla eli satunnaisuuteen ja todennäköisyyksiin perustuvilla malleilla tehdyt mallinnukset voivat antaa tulkinnanvaraisia tuloksia tai tuloksia, jotka ovat epärealistisia, mikäli alkuarvot ja ehtoasetelmat on huonosti määritetty. Tällöin on vaarana tulosten manipulointi. Herkkyysanalyysillä varmistetaan stokastisten mallien luotettavuus, mutta herkkyysanalyysi ei kuitenkaan ole virhetarkastelua vaan luotettavuustyökalu, jolla helpotetaan päätöksentekoa. (Eskelinen & Karsikas 2014, 135.)

### Saturaatio

Saturaatio (*saturation*) eli kylläntyminen tarkoittaa terminä sellaista tutkimusaineistoa, jota on riittävästi tai aineiston lisääminen ei ole mielekästä, sillä uutta tietoa ei enää saavuteta aineistoa lisäämällä. Kylläntymisen voi saavuttaa vasta sitten, kun tiedetään, mitä aineistosta etsitään. Siksi saturaatiokohdan asettaminen etukäteen on hankalaa. (Eskelinen & Karsikas 2014, 136.)

## 5.3 PERT/CPM-menetelmä

PERT (*program evaluation and review technique*) ja CPM (*critical path method*) ovat menetelmiä, joita käytetään mm. uuden tehtaan perustamisessa tai uuden tuotteen tutkimuksessa ja kehittämisessä. Menetelmät ovat lähtöisin 1950-luvulta ja nykyisin ne ovat sulautuneet yhteen ja niistä käytetäänkin yhtä akronyymiä PERT/CPM. Menetelmän avulla pyritään optimoimaan osaprojektit siten, että jokainen aktiviteetti alkaa oikeaan aikaan ja projekti saadaan valmiiksi annetussa aikataulussa. Menetelmä vastaa mm. seuraaviin kysymyksiin:

1. Kuinka projekti ja osaprojektit voidaan kuvata visuaalisesti?
2. Paljonko projekti vie aikaa valmistukseen ilman viivästyksiä?
3. Milloin kukin aktiviteetti tulee viimeistään aloittaa ja lopettaa, jotta projekti valmistuu aikataulussa?
4. Milloin aktiviteetit voidaan aloittaa ja lopettaa aikaisintaan ilman viiväytyksiä?
5. Mitkä ovat kriittiset pullonkaulat projektin valmistumisen kannalta?
6. Kuinka paljon osaprojektit voivat viivästyä, jotta koko projekti voisi valmistua aikataulussaan?

7. Millä todennäköisyydellä projekti valmistuu aikatauluun mennessä, kun epävarmuustekijät tunnetaan?
8. Mikä on halvin tapa saavuttaa tavoiteltu valmistusaika, jos ylimääräistä rahaa käytetään projektin nopeuttamiseen?
9. Kuinka kustannuksia seurataan, jotta hankkeen budjettia ei ylitetä? (Hillier & Lieberman 2005, 22: 1-3.)

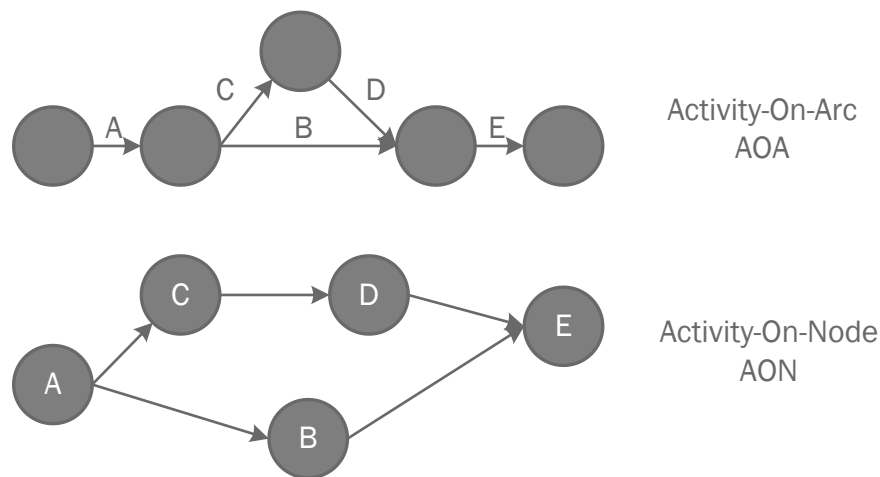
Menetelmän tarkastelu rajataan tässä työssä kysymyksiin 1–6.

Tarkastellaan PERT/CPM-menetelmän periaatteita esimerkin avulla. Tehdään taulukko, joka sisältää aktiviteetit, aktiviteetin kuvauksen, välittömät edeltäjät ja aktiviteetin arvioitu kesto (ks. Taulukko 11). (Hillier & Lieberman 2005, 22: 2.)

Taulukko 11. PERT/CPM-menetelmän esimerkkiprojektin alkutiedot. (Muokattu lähteestä Hillier & Lieberman 2005, 22: 2.)

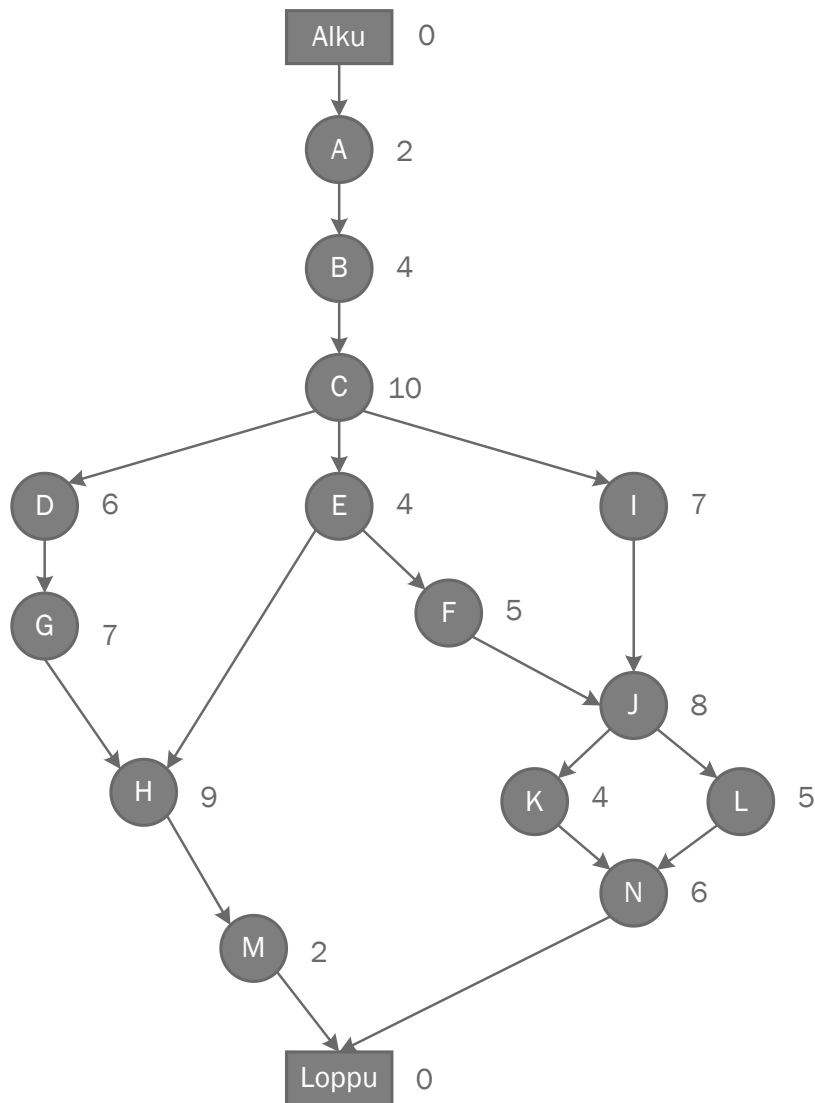
<b>Aktiviteetti</b>	<b>Aktiviteetin kuvaus</b>	<b>Välittömät edeltäjät</b>	<b>Arvioitu kesto (viikkoa)</b>
<b>A</b>	Osaprojekti 1	-	2
<b>B</b>	Osaprojekti 2	A	4
<b>C</b>	Osaprojekti 3	B	10
<b>D</b>	Osaprojekti 4	C	6
<b>E</b>	Osaprojekti 5	C	4
<b>F</b>	Osaprojekti 6	E	5
<b>G</b>	Osaprojekti 7	D	7
<b>H</b>	Osaprojekti 8	E, G	9
<b>I</b>	Osaprojekti 9	C	7
<b>J</b>	Osaprojekti 10	F, I	8
<b>K</b>	Osaprojekti 11	J	4
<b>L</b>	Osaprojekti 12	J	5
<b>M</b>	Osaprojekti 13	H	2
<b>N</b>	Osaprojekti 14	K, L	6

Seuraavaksi piirretään taulukon avulla projektiverkko, josta välittyy tieto kustakin osaprojektista, niiden välisistä suhteista ja kestosta. Piirtämisessä käytetään kahta tapaa: Activity-On-Arc (AOA) tai Activity-On-Node (AON). AOA:ssa jokainen aktiviteetti kuvataan kaarella tai nuolella, ja solmulla eristetään kukin aktiviteetti toisistaan. AON:ssä vastaavasti solmukohtaa merkitään aktiviteetilla ja nuolet kuvaavat aktiviteettien välisiä suhteita (ks. Kuvio 17). AON-tapa on syrjäyttänyt AOA:n, sillä AON on huomattavasti helpompi rakentaa ja ymmärtää sekä sen rakennetta voidaan helpommin muuttaa. (Hillier & Lieberman 2005, 22: 4.)



Kuvio 17. Projektiverkon eri piirtämistavat samalle verkolle.

Esimerkkiprojektin projektiverkosta (ks. Kuvio 18) huomataan helposti, kuinka erilaiset polut rakentuvat. Seuraavaksi merkitään jokainen erilainen polku taulukkoon ja näistä pisin on nimeltään kriittinen polku (*the Critical Path*). Kaikki yhtä pitkät pisimmät polut ovat myös kriittisiä polkuja. Esimerkkiprojektin kriittinen polku on "Alku → A → B → C → E → F → J → L → N → Loppu" ja sen pituus on 44 viikkoa (ks. Taulukko 12). (Hillier & Lieberman 2005, 22: 5-6.)



Kuvio 18. Esimerkki projektiverkosta. (Muokattu lähteestä Hillier & Lieberman 2005, 22: 5.)

Taulukko 12. Esimerkin eri polut ja niiden pituudet. Kriittisen polun pituus on 44 viikkoa. (Muokattu lähteestä Hillier & Lieberman 2005, 22: 6.)

Polku	Pituus
<b>Alku → A → B → C → D → G → H → M → Loppu</b>	$2 + 4 + 10 + 6 + 7 + 9 + 2 = 40$ (vk)
<b>Alku → A → B → C → E → H → M → Loppu</b>	$2 + 4 + 10 + 4 + 9 + 2 = 31$ (vk)
<b>Alku → A → B → C → E → F → J → K → N → Loppu</b>	$2 + 4 + 10 + 4 + 5 + 8 + 4 + 6 = 43$ (vk)
<b>Alku → A → B → C → E → F → J → L → N → Loppu</b>	$2 + 4 + 10 + 4 + 5 + 8 + 5 + 6 = 44$ (vk)
<b>Alku → A → B → C → I → J → K → N → Loppu</b>	$2 + 4 + 10 + 7 + 8 + 4 + 6 = 41$ (vk)
<b>Alku → A → B → C → I → J → L → N → Loppu</b>	$2 + 4 + 10 + 7 + 8 + 5 + 6 = 42$ (vk)

## Projektin aikataulut

Projektin aikataulut tehdään kolmessa vaiheessa. Ensin selvitetään kunkin aktiviteetin aikaisin aloituskohta *ES* (*Earliest Start*) ja aikaisin lopetuskohta *EF* (*Earliest Finish*). Määritellään laskutoimitus aikaisimmalle lopetuskohdalle:

$$EF = ES + \text{aktiviteetin kesto}$$

Projektin aloituskohta määritellään nollassa. Täten aktiviteetti A:lle  $ES = 0$  ja kaavasta saadaan  $EF = 0 + 2 = 2$  (viikkoa). Seuraaville aktiviteeteille määritellään aikaisin aloituskohta *ES* säännöllä:

$$ES = \text{välittömien edeltäjien suurin EF}$$

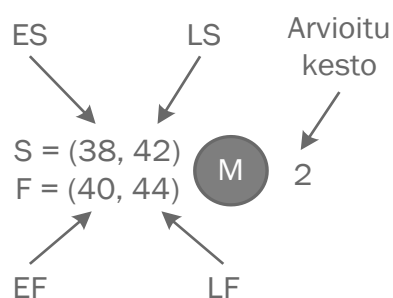
Toisessa vaiheessa määritellään kunkin aktiviteetin myöhäisin aloituskohta *LS* (*Latest Start*) ja myöhäisin lopetuskohta *LF* (*Latest Finish*). Määritellään laskutoimitus myöhäisimmälle aloituskohdalle:

$$LS = LF - \text{aktiviteetin kesto}$$

Myöhäisimmälle lopetuskohdalle *LF* määritellään sääntö:

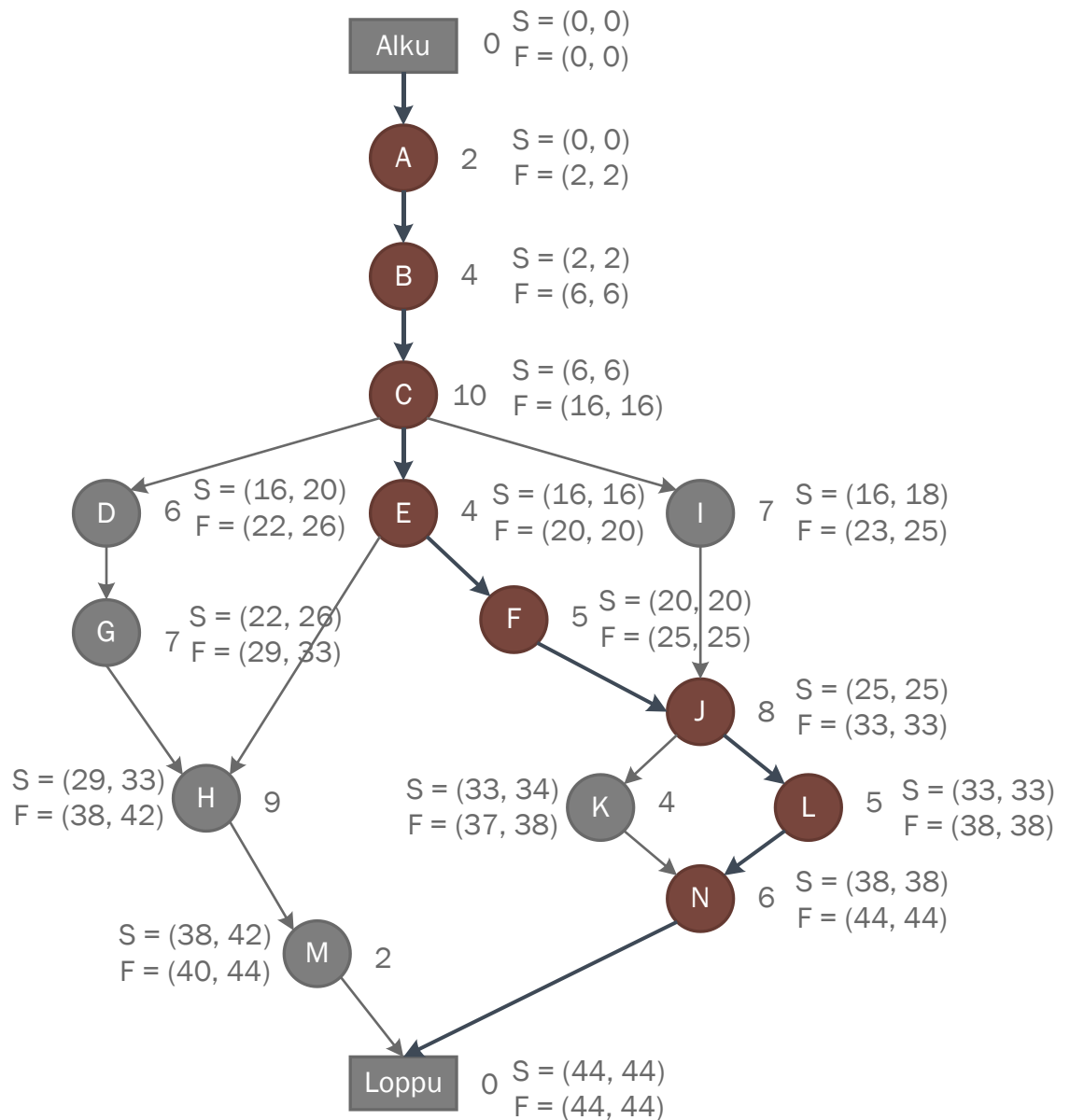
$$LF = \text{välittömien seuraajien pienin LS}$$

Saadut tulokset merkitään projektiverkkoon kunkin aktiviteetin kohdalle (ks. Kuvio 19). Aikaisin ja myöhäisin aloituskohta sekä aikaisin ja myöhäisin lopetuskohta kullekin aktiviteetille projektiverkkoon on laskettu kuvioon. Lisäksi kriittinen polku on esitetty korostettuna samassa kuviossa (ks. Kuvio 20). (Hillier & Lieberman 2005, 22: 7-13.)



Kuvio 19. Projektiverkon merkinnät selitettynä. (Muokattu lähteestä Hillier & Lieberman 2005, 22: 12.)





Kuvio 20. Aikaisin ja myöhäisin aloitus- ja lopetuskohta aktiviteeteittäin esimerkkiprojektiin sekä kriittinen polku. (Muokattu lähteestä Hillier & Lieberman 2005, 22: 13.)

Kolmannessa vaiheessa lasketaan pelivara *Slack* ja sen laskukaava on:

$$Slack = LF - EF \quad \text{tai}$$

$$Slack = LS - ES$$

Pelivara kertoo kuinka paljon kutakin aktiviteettia voidaan viivästyttää, ja silti saada koko projekti päätökseen aikataulussaan. Jos pelivara  $Slack = 0$ , niin kyseinen aktiviteetti on kriittisellä polulla. Pelivara ja kriittisyys kullekin aktiviteetille on esitetty taulukossa (ks. Taulukko 13). Kuten taulukosta huomataan, kriittinen polku "Alku  $\rightarrow$  A  $\rightarrow$  B  $\rightarrow$  C  $\rightarrow$  E  $\rightarrow$  F  $\rightarrow$  J  $\rightarrow$  L  $\rightarrow$  N  $\rightarrow$  Loppu" voidaan etsiä myös pelivaran avulla. (Hillier & Lieberman 2005, 22: 12-14.)

Taulukko 13. Pelivara ja kriittisyys aktiviteeteittain. (Muokattu lähteestä Hillier & Lieberman 2005, 22: 14.)

Aktiviteetti	Slack (LF – EF)	Kriittisellä polulla?
<b>A</b>	0	Kyllä
<b>B</b>	0	Kyllä
<b>C</b>	0	Kyllä
<b>D</b>	4	Ei
<b>E</b>	0	Kyllä
<b>F</b>	0	Kyllä
<b>G</b>	4	Ei
<b>H</b>	4	Ei
<b>I</b>	2	Ei
<b>J</b>	0	Kyllä
<b>K</b>	1	Ei
<b>L</b>	0	Kyllä
<b>M</b>	4	Ei
<b>N</b>	0	Kyllä

## 6 Tutkimuksen toteuttaminen ja tutkimustulokset

Varsinainen tutkimusosa opinnäytetyöstä on tehty Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmalla. Tutkimustyössä hyödynnettiin Excelin Visual Basicin makro-ohjelmointia. Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkimuskysymysten mukaisesti määrittää LNG-kontin osaluettelo, nimikerekisteri ja tuoterakenne sekä muodostaa materiaalinhallintamalli ja optimoida sitä.

Koska tutkimustulokset ovat salaisia, esitetään ne tässä yhteydessä muutettuina ja ei-tunnistettavina. Oikeat tutkimustulokset on näytetty työn ohjaajille. Tutkimustuloksiin oltiin tyytyväisiä, etenkin sen graafiseen esitykseen. Tutkimustulos toi esille uutta tietoa ja saatiin luotua sellainen malli, jota aikaisemmin ei tiettävästi ole ollut kenenkään käytössä. Tutkimustulosten pohjalta voidaan aloittaa tuotteen toimitusketjun rakentaminen simuloimalla erilaisia vaihtoehtoja.

### 6.1 Osaluettelon ja nimikerekisterin muodostaminen

LNGTainerilla on aluksi yksi tuote, jota yritys alkaa valmistaa. Suunnitelmissa on, että myöhemmin tuotteiden määrää lisätään ja asiakkaille tarjotaan räätälöityjä LNG-kuljetuskontteja. Yrityksen tuotekehitysvaihe toi haastetta tuoterakenteen ja osaluettelon tekemiseen LNG-kontista. Tuotteen ollessa pilotti, sen osat ja materiaalit vaihtuvat. Osaluettelo valmistettiin pilottituotteesta ja on ensimmäinen versio, jossa ei vielä ole kaikkia osia lueteltu, mutta se on suuntaa antava ja siitä kyetään jo hahmottamaan tuoterakennetta. Tuoterakenne saa lopullisen muotonsa, kun pilottivaihe on ohi.

#### **Nimikerekisteri**

Nimikerekisteristä tehtiin kaksi ehdotusta. LNGTainer ei katso hyötyvänsä siitä, että tuotteen nimiketunnus välittäisi informaatiota valmistus- tai muotoiluominaisuuksista. Yleisesti sovittiin, että nimiketunnus koostuu kolmen merkin pituisesta kirjainosasta ja seitsemän merkkiä pitkästä numerosarjasta. Eri osat erotetaan toisistaan

juoksevilla numeroinnilla. Kun kolme ensimmäistä merkkiä on kiinnitetty, koodistoon mahtuu  $10^7$  eli kymmenen miljoonaa nimikettä.

### Nimikerekisteriehdotus 1

Ehdotuksessa 1 eritellään itsevalmistettavat piirustukselliset ja ostettavat nimikkeet. Piirustuksellisten numero-osuus alkaa numerolla 1 ja ostettavien tuotteiden numerolla 2. Piirustuksellisiin osiin lisätään piste, jonka jälkeen tulee kahden merkin pituinen versionumero. Nimiketunnuksen kokonaispituus on siis kymmenen merkkiä ostettaville ja kolmetoista merkkiä piirustuksellisille osille. Piirustuksellisille osille nimiketunnus on muotoa LNG1000000.00 ja ostettaville LNG2000000. Lisäksi muodostettiin varaosille (*After Sales*) ja valmistuslinjan komponenteille (*Production Line*) omat nimikkeet. Ehdotuksessa 1 luotiin kahdeksan nimikerekisteriä (ks. Taulukko 14).

Taulukko 14. LNG-kontin esimerkinimiketunnukset ehdotuksessa 1.

LNG-kontin nimikerekisteri, ehdotus 1		
Nimikerekisteri	Piirustukselliset	Ostettavat
<b>LNGTainer</b>	LNG1000000.00	LNG2000000
<b>LNG After Sales</b>	LAS1000000.00	LAS2000000
<b>Production Line Karvinen</b>	PLK1000000.00	PLK2000000
<b>Production Line After Sales</b>	PAS1000000.00	PAS2000000

### Nimikerekisteriehdotus 2

Ensimmäinen ehdotus herätti paljon keskustelua, sillä yrityksen tavoite on tehdä kaikki yksinkertaisesti. Toinen ehdotus yhdistää kaikki ensimmäisen ehdotuksen eri nimikerekisterit yhdeksi nimikerekisteriksi muotoon LNG0000001. Versionumerosta ja useista nimikerekistereistä haluttiin luopua. Saman kirjainyhdistelmän alle saadaan

mahtumaan kaikki tarvittavat osat, eikä nimiketunnuksen tarvitse antaa mitään ylimääräistä informaatiota. ERP-järjestelmään tallennetaan tarvittavat tiedot ja ne löytyvät nimiketunnuksen avulla. Ehdotus 2 on juokseva numerointi kaikille osille, riippumatta niiden käyttötarkoituksesta. Juokseva numerointi päätettiin aloittaa sarjalla LNG0000001.

### **Nimikerekisterin valinta**

Kahdesta ehdotuksesta jälkimmäinen on todennäköisin vaihtoehto LNGTainerin nimikerekisteriksi. On mahdollista, että nimikerekisteristä tehdään vielä kahden esitetyn version yhdistelmä, joka sisältää juoksevan numeroinnin versionumerolla. Nimikerekisterin valinta on syytä tehdä huolellisesti, ja lopullinen päätös vaatii vielä lisätutkimusta ja -perusteluita tuekseen.

## **6.2 Materiaalinhallintamallin muodostaminen ja tuoterakenne**

LNGTainerin tuotantomalli on aluksi tilausohjautuva ja myöhemmin varasto-ohjautuva tai näiden yhdistelmä. Tilausohjautuvuus tarkoittaa sitä, että tuotteen valmistukseen tarvittavat osat hankitaan, kun tilaus on saatu eikä varastoja ole. Varasto-ohjautuvuudessa kaikki komponentit ja osat ovat valmiina varastossa. Tämä tarkoittaa lyhyitä valmistus- ja toimitusaikoja, mutta systeemi on kalliimpi ylläpitää. Tässä työssä materiaalinhallintamallista muodostettiin kolme erilaista versiota: varasto-ohjautuva, tilausohjautuva ja hybridi, joka on kahden edellisen yhdistelmä siten, että nimikkeet ovat joko varasto-ohjautuvia tai tilausohjautuvia.

Mallin rakentaminen aloitettiin tasonumeroiden avulla selvittävästä työjärjestyksestä. Ensin muodostettiin osaluettelon avulla komponenttien koontijärjestys edeltäjien avulla PERT/CPM-menetelmän mukaisesti. Alimmalla tasolla oleva komponentti tulee valmistaa ensin, jotta ylemmän tason komponentin rakentaminen voidaan aloittaa. Ylintä tasoa, jolla valmistuote sijaitsee, merkittiin numerolla 0.

## **Tuoterakenne**

Tuoterakenne muodostettiin suoraan tasonumeroiden avulla. Tuoterakenteesta tehtiin graafinen ja numeerinen versio. Luotu materiaalinhallintamalli tulostaa napin painalluksella automaattisesti tuoterakennepuun. Tämä on toteutettu Excelin Visual Basic -ohjelmointia hyväksi käyttäen. Mallin tulostama graafinen ja numeerinen tuoterakennepuuesimerkki on nähtävissä liitteenä (ks. Liite 1 ja Liite 2).

### **6.3 Materiaalinhallintamallin optimointi**

Materiaalinhallintamallin optimointi tarkoittaa työvaiheiden myöhäistämistä siten, että jokainen työvaihe valmistuu juuri ajoissa seuraavaa vaihetta varten. Optimoinnin tavoitteena on varmistaa optimaalisin aloituskohta kullekin työvaiheelle ja tilausohjautuvassa mallissa kunkin komponentin optimaalisimman tilauspisteen määrittäminen. Optimaalisuus määräytyy siten, että sitoutunut pääoma on mahdollisimman pieni, toisin sanoen välivarastoja ei synny. Optimointi on suoritettu LP-mallilla PERT/CPM-menetelmää soveltaen.

#### **Muuttujien määrittely**

Materiaalinhallintamalleille yhteisiä muuttujia ovat eri osien tasonumero, valmistusaika ja läpimenoaika. Tasonumero kertoo mallille, millä tuoterakenteen tasolla kyseinen komponentti tai osa on. Valmistusaika ilmaisee kuinka kauan komponenttia prosessoidaan ja läpimenoaika tarkoittaa aikaa, joka kuluu tilauksesta osan vastaanottamiseen. Hybridimallissa on lisäksi valittavana, ovatko osat tai komponentit varastovai tilausohjautuvia.

#### **Tavoitefunktio**

Materiaalihallintamallin optimoinnissa tavoitefunktio on yksinkertainen kaikissa kolmessa tapauksessa. Malli on rakennettu siten, että se hyödyntää tiedon pelivaran

(*slack*) suurimmasta määrästä ja siirtää kutakin vaihetta suurimman sallitun pelivaran verran eteenpäin. Tavoitefunktio  $y$  voidaan kuvata eri osien  $n$  pelivaran  $x$  summana:

$$y = \sum_{n=1}^k x_n$$

Funktiossa  $y$  muuttuja  $k$  on osien lukumäärä ja tavoitefunktio optimoidaan mahdollisimman suureksi. Kun tavoitefunktio on maksimaalinen, pelivaran maksimimäärä voidaan lisätä kunkin komponentin tai osan kohdalle ja lopullinen pelivara optimoinnin jälkeen on nolla jokaiselle työvaiheelle.

### Rajoitteet

Materiaalinhallintamallin optimointi oli suunniteltu tehtäväksi Excelin Solver-lisäosan avulla. Ongelmaksi Solverille muodostui lineaarisen optimoinnin rajoitukset. Solver ei ääriarvototehtävästä huolimatta pystynyt käsittelemään Excelin MAX- ja MIN-komentoa lineaarisena funktiona, sillä komennot asettavat funktioon rajoitteen, jolloin se muuttuu epäjatkuvaksi ja siten epälineaariseksi. Näin ollen ongelmaa ei kyetty ratkaisemaan LP-mallina Solverin avulla. Solver kykeni kuitenkin ratkaisemaan ongelman ei-lineaarisenä, mutta vasta useamman iterointikerran jälkeen. Lisäksi optimaalisimpaan ratkaisuun saattoi kulua useita minuutteja aikaa. Osasyynä Solverin hitautteen voidaan pitää tuotantolinjojen läpimeno rajoitteita, jotka jouduttiin tietoisesti valitsemaan käytännön syistä liian suuriksi. Mallin tuli olla yleismaailmallinen eikä vain tiettyä yksittäistä tapausta varten suunniteltu, joten osa rajoitteista elää mallin sisällä ja ne ovat riippuvia toisistaan. Kuitenkin näille rajoitteille voitiin antaa maksimiarvo, joka valittiin olevan yhtä suuri tai pienempi kuin kokonaisläpimenoaika.

Toinen syy Solverin sivuuttamiseen oli ohjelmointitekniset ratkaisut. Malli haluttiin lopulta luoda Solverista riippumattomaksi ja rajoitteet asetettiin ohjelmallisesti tavoitefunktion sisälle. Ohjelmoinnilla saatiin helposti selville, mikä on kunkin työvaiheen maksimipelivara, joten rajoite voitiin asettaa suoraan Excelin ohjelmakoodiin MAX-funktiolla. Tämä nopeutti ja helpotti LP-mallin ratkaisemista sekä mahdollisti optimoinnin itsekirjoitetulla ohjelmakoodilla.

## Optimointialgoritmi

Koska Excel ei ole pelkkä ohjelmointialusta, sen taulukkolaskentaominaisuuksia voidaan hyödyntää ohjelmoinnin apuna. Optimointialgoritmi onkin yhdistelmä Excelin taulukkolaskentaominaisuuksista ja Visual Basic -makro-ohjelmoinnista.

Algoritmin aluksi ohjelmakoodilla kirjoitetaan Excel-tilin tätä tarkoitusta varten olevan sarakkeen soluihin tuoterakenteen mukaiset ”tasoyhtälöt”. Tasoyhtälö tarkoittaa, että ohjelma-algoritmi selvittää kunkin aktiviteetin edeltäjät ja merkitsee Excel-soluun MAX-funktiolla edeltäjien maksimikeston ja lisää tähän aktiviteetin oman keston ja pelivaran. Tarkoituksena on selvittää, millä ajan hetkellä ko. aktiviteetti tulee valmiiksi. Esimerkiksi soluun voidaan kirjoittaa komento ”=D13+MAX(0;L14;L15;L18;L19;L20;L23;L24;L28)+M13”, jossa D13 viittaa aktiviteetin omaan keston ja M13 pelivaraan. MAX-funktion sisällä on soluviittaukset ko. aktiviteetin edeltäjien kestoihin. Tuloksena soluun kirjautuu aktiviteetin valmistumisaika. MAX-funktion sisällä on vakioasetuksena nolla, sillä jos aktiviteetilla ei ole edeltäjiä, MAX-funktio saa maksimin arvosta nolla.

Kun kukin työvaihe on näin määritelty alkamaan heti edeltäjänsä jälkeen, saadaan selville valmistuksen kokonaiskesto- ja aika. Koska viimeinen työvaihe – valmistus- tasolla 0 – halutaan saada valmiiksi mahdollisimman nopeasti, on sen pelivara asetettava nollassa. Tämän jälkeen optimointialgoritmi käy läpi tasorakenteen alemmat tasot ja näiden edeltäjät. Algoritmi laskee kullekin edeltäjälle maksimipelivaran määrän, jotta aktiviteetti valmistuu ilman odotuksia. Pelivara kirjoitetaan sille varattuun sarakkeeseen Exceliin. Exceliin valmiiksi kirjoitetut laskentayhtälöt kertovat kunkin aktiviteetin valmistusajan ja tuloksena syntyy työjärjestystuloste Gantt-kaaviona.

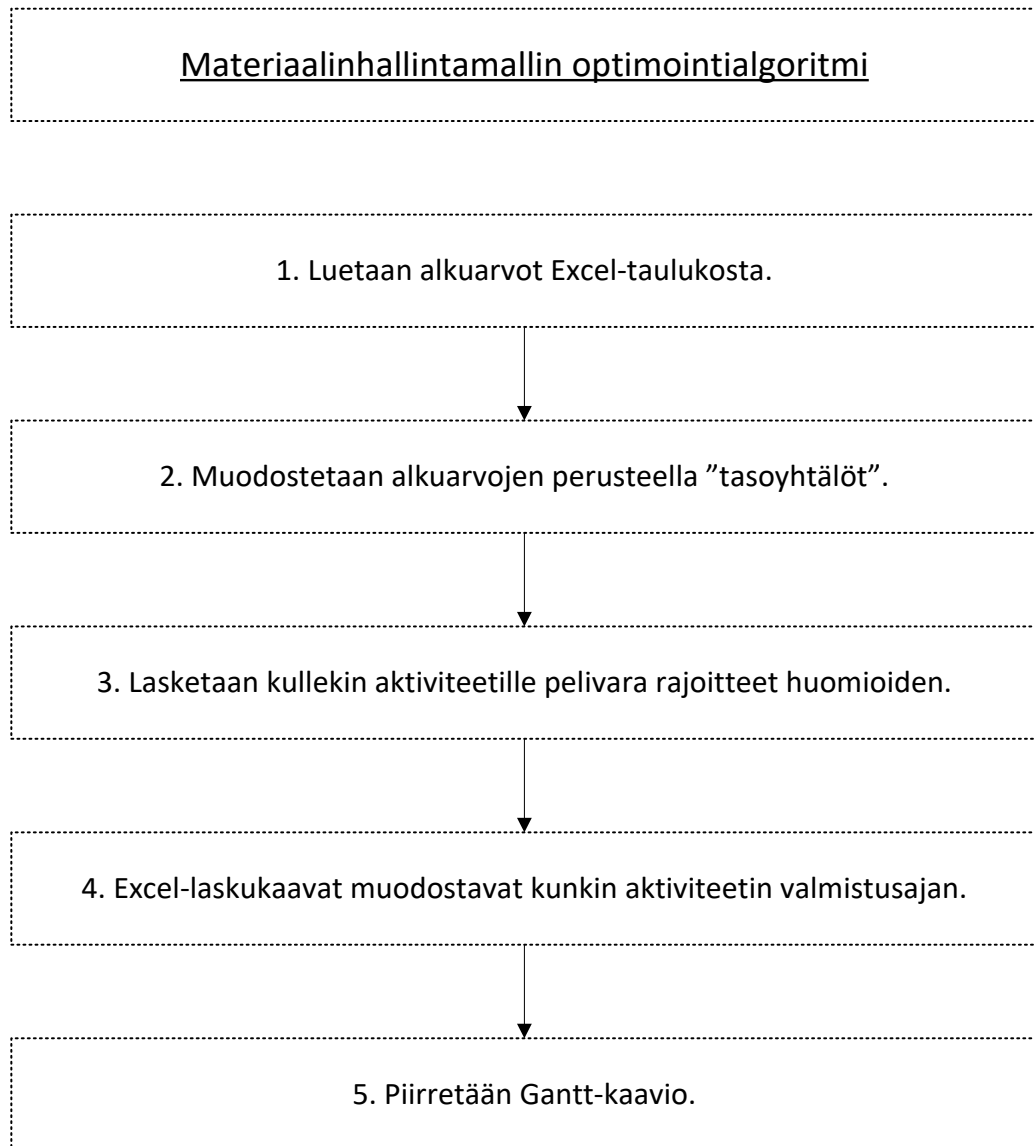
Esimerkkikuviossa (ks. Kuvio 21) tasolla 2 olevan työvaiheen alatasoista myöhäisin valmistuu neljäntenä päivänä. Optimoidaan muutkin alatasoilla 3 olevat työvaiheet valmistumaan samaan aikaan, jolloin pelivaraa on lisättävä optimointialgoritmin laskema määrä kunkin 3. tason ja näiden alatasojen kohdalle. Huomataan, että ohjelmoinnin jälkeen kaikki edeltäjät ovat valmistumassa neljäntenä päivänä, kuten oli tarkoituskin.



Taso-Numero	Aika + Pelivara = Valmis	Pelivara & Siirtymä	Taso-Numero	Aika + Pelivara = Valmis	Pelivara & Siirtymä
2	1		2	7	6
2	=D13+MAX		2	=D13+MAX	0
3	1		3	4	3
3	3		3	4	0
4	2		4	3	1
4	2		4	3	1
3	2		3	4	2
3	2		3	4	2
3	3		3	4	0
4	2		4	3	1
4	1		4	3	2
3	2		3	4	2
3	4		3	4	0
4	3		4	3	0
5	1		5	1	0
5	1		5	1	0
3	4		3	4	0
4	3		4	3	0

Kuvio 21. Varasto-ohjautuvan materiaalinhallintamallin optimointia. Vasemmalla tilanne ennen optimointia ja oikealla optimoinnin jälkeen.

Optimointialgoritmi ei siis tutki jokaista vaihtoehtoa ja valitse näistä parasta, vaan optimointi aloitetaan osaluettelon ylimmältä tasolta ja viivästytetään sen alapuolella olevat alatasot maksimipelivaran mukaisesti. Optimointialgoritmin kulkua hahmotetaan kuviossa (ks. Kuvio 22). Yksityiskohtaisempaa algoritmia ja ohjelmakoodia ei julkaista.



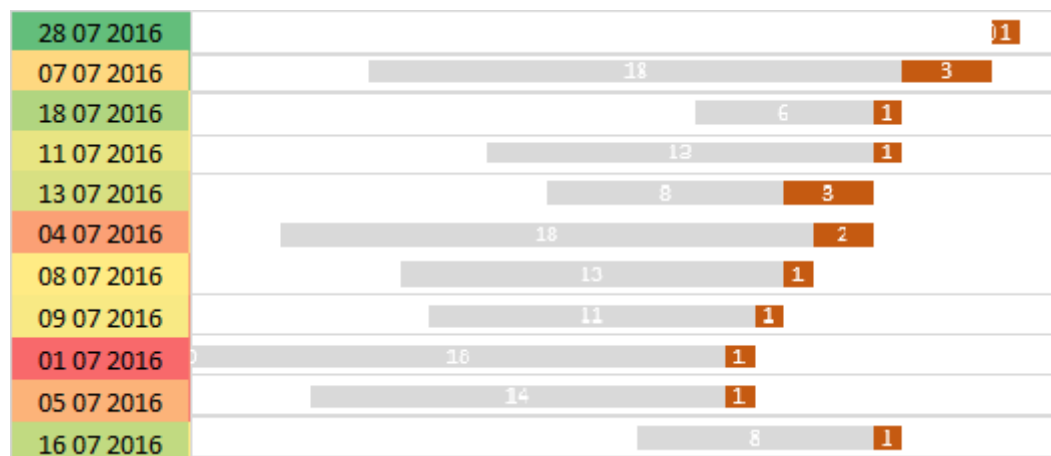
Kuvio 22. Materiaalinhallintamallin optimointialgoritmi.

### **Gantt-kaavio**

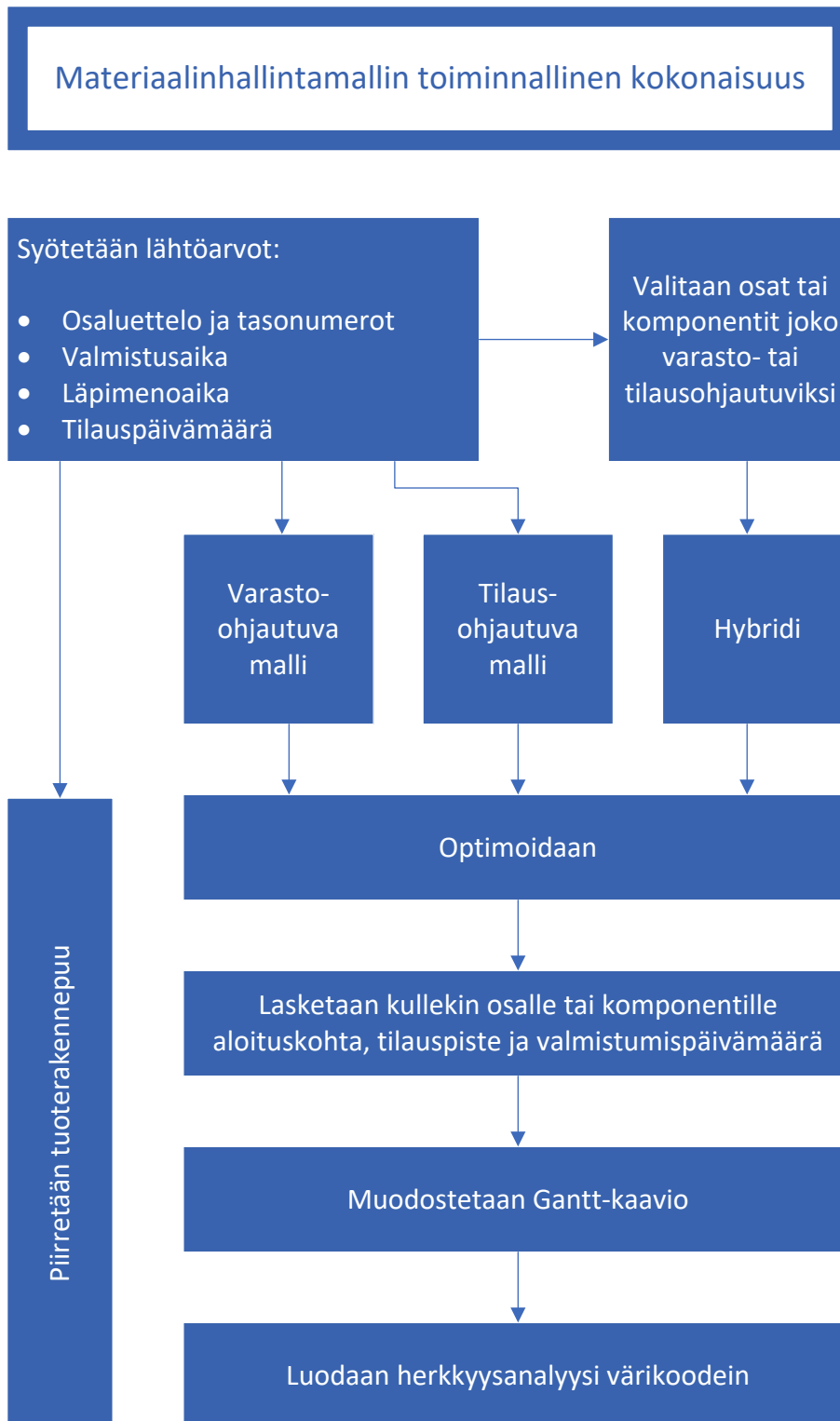
Gantt-kaavion avulla kuvataan työjärjestystä ensimmäisestä työvaiheesta viimeiseen. Mallin tulostama Gantt-kaavio ei ole lajiteltu ensimmäisestä aktiviteetista viimeiseen, vaan se näyttää työvaiheiden aloituksen ja keston osaluettelon järjestyksen mukaisesti. Mallin tulostamat Gantt-kaavioesimerkit kullekin ohjautuvuudelle on nähtävissä liitteenä (ks. Liite 3, Liite 4 ja Liite 5).

## Herkkyysanalyysi

Malli ei generoi varsinaista numeerista herkkyysanalyysiä, mutta se pystyy visuaalisesti havainnollistamaan pullonkaulakohtat. Malli värittää pullonkaulakohtan punaisella värillä automaattisesti. Lisäksi Gantt-kaaviosta nähdään helposti pullonkaulana toimiva prosessi (ks. Kuvio 23). Mallin antama visuaalinen herkkyysanalyysi on kattava ja se antaa tarvittavan tiedon lisäoptimointikohdista. Sitä, miten tilanne muuttuu korjauksen jälkeen, ei malli osaa ennustaa, mutta mallin avulla voidaan simuloida seurauksia uusilla muuttujien arvoilla. Solverin käytön etuna olisi saavutettu automaattisesti generoitava herkkyysanalyysi. Materiaalinhallintamalli on kuitenkin käytännöllisempää käyttää ilman Solveria ja herkkyysanalyysi on mallissa riittäväällä tasolla. Kuvio 24 hahmottaa materiaalinhallintamallin toiminnallista kokonaisuutta.



Kuvio 23. Materiaalinhallintamallin pullonkaulan herkkyysanalyysi värikoodattuna ja Gantt-kaavio rinnakkain.



Kuvio 24. Materiaalinhallintamallin toiminnallinen kokonaisuus.

### Mallin ominaisuudet

Lopulliseen opinnäytetyöhön rajatussa materiaalinhallintamallin versiossa on seuraavat ominaisuudet:

1. Malli tulostaa tuoterakenteen.
2. Optimoii tuotteen valmistuksen halutun ohjautuvuuden mukaan.
3. Luo Gantt-kaavion.
4. Ilmoittaa valmistukseen kuluvan ajan ja valmistuspäivämäärän komponenteittain.
5. Ilmoittaa pelivaran määrän (*slack*).
6. Visuaalinen herkkyyshanalyysi värikoodein ja kaavioina.

Lisäominaisuutena mallissa on myös mahdollista selvittää monituotannon valmistusaika tilausmäärien ja tuotantolinjojen määrän mukaan, mutta tämä ominaisuus lisätään myöhemmin. Malliin syötetään käsin osien tasonumero, valmistusaika, läpimenoaika ja ohjautuvuus. Halutun ohjautuvuuden optimointi ja tuoterakenteen muodostaminen tapahtuu painikkeiden avulla (ks. Kuvio 25).

<i>Optimoii Varasto- ohjautuva</i>	<i>Optimoii Tilaus- ohjautuva</i>
<i>Hybridi</i>	<i>Tuoterakenne</i>

Kuvio 25. Materiaalinhallintamallin painikkeet.

## 7 Johtopäätökset ja pohdinta

### 7.1 Materiaalinhallintamalli

Nyt rakennettu malli luo edellytykset toiminnan aloittamisen huolelliselle suunnittelulle. Mallilla pystytään optimoimaan ja simuloimaan toimitusketjua ja mallin kehittyessä sillä voidaan simuloida myös kassavirtaa sekä sitoutunutta pääomaa. Mallin kehitystyö jatkuu ja seuraavaksi mallin avulla halutaan selvittää keskivarasto, varmuusvarasto, käyttöpääoma ja muita yrityksen liiketoiminnan kannalta välttämättömiä tietoja. Täyttä hyötyä mallista ei kuitenkaan välttämättä tulla saamaan yhdessä tiedostossa, sillä Excelin toiminnot hidastuvat, jos ajettavat makrot muuttavat tietoja, jotka haetaan toisiin välilehtiin (*sheets*). Hitauden voi kuitenkin kiertää lisäämällä uusia makroja, jotka suorittavat tietojen hakutoiminnot napin painalluksella. Tulevaisuudessa tuleekin pohtia, käytetäänkö aikaa mallin ulkoasuun ja toimintojen yhtenäistämiseen vai tehdäänkö useita eri tiedostoja eri toiminnoille. Visuaalisuus ja helppokäyttöisyys ovat usein haluttuja ominaisuuksia, mutta niiden yhteensovittaminen voi viedä paljon aikaa. Ensimmäinen versio mallista on tarvittavien tietojen osalta kattava, mutta mallissa on myös paljon puutteita ja asioita, jotka kannattaisi tehdä toisin:

#### **Osaluettelo ja tuoterakenne**

Vaikka osaluettelo jäi puutteelliseksi, voidaan sitä myöhemmin täydentää. Malli on suunniteltu yleispäteväksi ja siihen voidaan lisätä osia tai komponentteja jopa yli miljoona kappaletta Excelin rajoitukset huomioiden. Samoin tuoterakennetta voidaan muuttaa ”lennosta” ja mallilla voidaan simuloida minkä tahansa tuotteen toimitusketjua. Numeerisessa muodossa oleva tuoterakennepuu tulostuu nopeasti, mutta graafinen tuoterakennepuu on ajallisesti mallin pullonkaula. Noin 50 osan tuoterakenteen visualisointi on kestoaltaan lähes minuutti nykyisillä tietokoneilla. Tämä ei kuitenkaan ole ylitsepääsemätön ongelma, sillä tuoterakennetta ei tarvitse simuloida, vaan se on yleensä muuttumaton, kertaluonteinen tuloste. Muut mallin toiminnot ovat kestoaltaan alle kaksi sekuntia.

## Gantt-kaavio

Malli kykenee tulostamaan vain yhden Gantt-kaavion kerrallaan, ja käyttäjän on tiedettävä, mitä kohtaa tulee katsoa löytääkseen haluamansa tiedon. Parempi ratkaisu olisi, jos Gantt-kaaviot sijaitsisivat esimerkiksi uudella välilehdellä rinnakkain, jotta tehtyjen muutosten vaikutus olisi selkeämmin nähtävissä. Nykyiselläänkin Gantt-kaavio osoittaa kuitenkin tuotannon pullonkaulat, minkä johdosta toimitusketjua kyetään optimoimaan jo ennen kuin tuote implementoidaan ERP-järjestelmään.

## Ohjelmointi

Ohjelmointi on virhealtista, joten malliin on jäänyt paljon ylimääräisiä tarkistuslaskelmia, joita on hyödynnetty ohjelmakoodia kirjoitettaessa ja toimintojen oikeellisuuden tarkistamisessa. Malli tulisi siistiä tarpeettomista tiedoista ja tehdä siitä visuaalisesti selkeämpi, jotta se olisi ymmärrettävämpi ja helppokäyttöisempi.

Optimointialgoritmi ei ole optimaalinen. Optimointi ohjelmakoodissa suoritetaan kahdessa tai kolmessa vaiheessa pala kerrallaan ja algoritmin silmukat tekevät paljon ylimääräistä työtä. Algoritmi on kuitenkin toimiva eikä optimaalisuuden puute ohjelmakoodissa ole merkittävä tekijä ajassa mitattuna, paitsi graafisen tuoterakennepuun kohdalla. Toistaiseksi aikaa ei ole kuitenkaan käytetty paremman ratkaisun etsimiseen toiminnon kertaluonteisuuden vuoksi.

Ohjelma-algoritmi löytää kriittisen polun, ja toiminnot myöhäistetään sen mukaan. Kriittistä polkua ei kuitenkaan tallenneta, vaan tieto katoaa optimoinnin jälkeen. Mikäli kriittinen polku olisi otettu ohjelmallisesti talteen, voitaisiin herkkyyksianalyysi tehdä tarkemmin. Nyt herkkyyksianalyysi jää katsottavaksi Gantt-kaaviosta ja käyttäjä havainnoi parhaiten vain ensimmäisenä olevan prosessin pullonkaulakohdan. Jos malli rakennettaisiin uudelleen, ohjelmointiin tulisi kiinnittää huomiota ja siitä tulisi mahdollisesti tehdä Excelin laskentataulukoista riippumattomampi. Nyt ohjelmoinnissa on oikaistu ja hyödynnetty Excelin taulukkolaskentaominaisuuksia, jolloin kirjoitettavaa ohjelmakoodia voidaan helpottaa valmiilla datalla. Kuten aiemmin todettiin, Excelin generoima data häviää optimointimatalla, eikä se tallennu herkkyyksianalyysin

käyttöön. Seuraavaan versioon materiaalinhallintamallista voisikin harkita optimointialgoritmia PERT/CPM-mallin mukaisesti kaikki polut listaamalla ja muodostaa herkkyysanalyysi kriittisen polun kautta.

## 7.2 LNG-kontin monipuolisuus

Valmistettava LNG-kontti soveltuu kaikkiin nestemäisiin kylmäkuljetuksiin. Sillä voidaan kuljettaa nesteytetyn maakaasun lisäksi nesteytettyä biokaasua, typpeä, happea tai muita nestekaasuja. Monipuolinen soveltuvuus voidaan hyödyntää liiketoiminnassa, sillä vaikka tuotevalikoima on yksipuolinen, kontin eri käyttötarkoitukset lisäävät kilpailukykyä. Sisätankille on suunniteltu myös kierrätys muihin tarkoituksiin, kun LNG-kontti on tullut elinkaarensa päähän. Tuotteen koko elinkaari sen valmistuksesta hävitykseen on suunniteltu yrityksessä kokonaisvaltaisesti ja tarkasti etukäteen.

## 7.3 Maakaasun tulevaisuus

Maakaasun tuotanto ja kulutus on 25 vuodessa kasvanut noin 75 % ja sitä tuotetaan eniten Pohjois-Amerikassa ja Euraasiassa. Koko maailman energiankulutuksesta maakaasua kulutetaan kolmanneksi eniten öljyn ja kivihiilen jälkeen. ("BP Statistical Review of World Energy June 2016" 2016, 26, 42.) Maakaasun käyttöönoton helpottamiseksi tarvitaan infrastruktuuri, joka tukee saatavuutta riittävällä varmuudella. Elokuussa 2016 Suomeen on rakennettu jo 24 maa- ja biokaasun tankkausasemaa. Poriin valmistuu Suomen ensimmäinen LNG-tuontiterminaali (ks. Kuvio 26) ja kaupalliset toimitukset alkavat syyskuussa 2016. ("Tankkausasemien sijainnit Suomessa" 2016; "Nesteytettyä maakaasua toimitettiin ensimmäistä kertaa laivalla Suomeen Poriin LNG-tuontiterminaaliin" 2016.) Mikäli tulevaisuudessa infrastruktuuria saadaan laajennettua koko maan ja maailman kattavaksi verkostoksi, maakaasusta tulee varteenotettava kilpailija öljylle ja kivihielelle. Kun maakaasu ei ole enää putkiriippuvainen, sen käyttäjäkunta kasvaa ja käyttösäde laajenee.





Kuvio 26. LNG-laiva Porin terminaalissa ("Nesteytettyä maakaasua toimitettiin ensimmäistä kertaa laivalla Suomeen Porin LNG-tuontiterminaliin" 2016).

#### 7.4 LNGTainer Oy:n tulevaisuus

LNGTainer on pilotin onnistuessa vakavasti otettava yritys maailmanmarkkinoilla. LNGTainerin liiketoimintasuunnitelma on perusteellisesti laadittu ja yrityksellä on selkeä näky tulevaisuudesta. Yhtiön osakeanti päättyi 30.6.2016 ja vaadittava rahoitus pilotin rakentamiseen saatiin kerättyä. Tulevat kuukaudet ovat toiminnan käynnistämisen kannalta ratkaisevat. Mikäli pilotti onnistuu, tuotantolinjan rakentaminen alkaa ja ensimmäiset tankit saadaan asiakkaille jo vuoden 2016 aikana. Yrityksellä on potentiaalia lähteä nopeaan kasvuun, sillä kaikki toiminnot ovat monistettavissa. Yksi kasvua rajoittava tekijä on raaka-aineiden saatavuus ja toimitus. Tuotteelle on kasvavaa kysyntää biokaasun yleistyessä vaihtoehtona fossiilisille polttoaineille. Tulevaisuudessa toiminnan vakiintuessa yrityksen tulee miettiä mm. toimittajien arviointia, pisteytystä ja kustannusten analysointia (*spend analysis*). Menestys vaatii luotettavia

toimijoita ja niiden jatkuvaa etsintää. Mitä enemmän dataa yritys tulee saamaan toiminnastaan, sitä tarkemmin yrityksen toimintaa kyetään optimoimaan. Materiaalinhallintamallille on siis jatkuvaa kysyntää ja tietojen tarkentuessa sekä mallin kehittyessä sillä pystytään suunnitellusti reagoimaan oikeisiin asioihin. ERP-järjestelmän sisällä ei voida simuloida, vaan sinne syötetty data on pysyvää. Tähän ongelmaan materiaalinhallintamalli tuo ratkaisun. Kun ongelma on tiedostettu, voidaan sitä simuloida mallin avulla ja ratkaisun löydyttyä se muutetaan pysyväksi käytännöksi yrityksen ERP-järjestelmään.

## 8 Loppusanat

Aloitin logistiikkainsinöörin tutkintoon tähtäävät opintoni Jyväskylän ammattikorkeakoulussa syksyllä 2012. Ensimmäisinä opiskelupäivinä tutustuin opinnäytetyöni toiseen ohjaajaan Juha Sipilään ja käydessämme tutustumiskeskustelua, hän tarjosi minulle varmuusvarastoihin liittyvää opinnäytetyön aihetta. Ajatus aloittaa opintoni lopputyöstä oli yllättävä, mutta samalla rohkaisu ja luottamuksen osoitus siitä, miten osaamiseeni luotettiin jo pelkän ensivaikutelman perusteella. Kolme vuotta myöhemmin syksyllä 2015 Sipilä kysyi minulta uudelleen, olisinko kiinnostunut tekemään optimointitehtävän opinnäytetyönäni. Tapasimme 26.1.2016 LNGTainerin Heikki Ollikaisen ja Risto Toivasen kanssa ja sain aloittaa opinnäytetyöni tekemisen LNGTainerille.

Seitsemän kuukautta kestänyt opinnäytetyöni on vihdoinkin tullut päätökseensä ja olen saanut syventää koulussa opittuja asioita. Haluan kiittää JAMKin opinnäytetyön ohjaajiani Juha Sipilää ja Hannu Lähdevaaraa erinomaisesta kannustuksesta ja ohjauksesta opinnäytetyöprosessin aikana. Samoin haluan kiittää LNGTainerin Risto Toivasta ja Heikki Ollikaista heidän antaessaan minulle mahdollisuuden osallistua LNGkontin mielenkiintoiseen rakentamisprojektiin. Myös heidän kannustuksensa ja ohjaava palautteensa on ollut äärimmäisen arvokasta opinnäytetyöni onnistumisen kannalta. Lisäksi kiitoksen ansaitsee koko JAMKin logistiikan henkilökunta opiskelujaltani. Suuret kiitokset!

Juhani Sjöman

## Lähteet

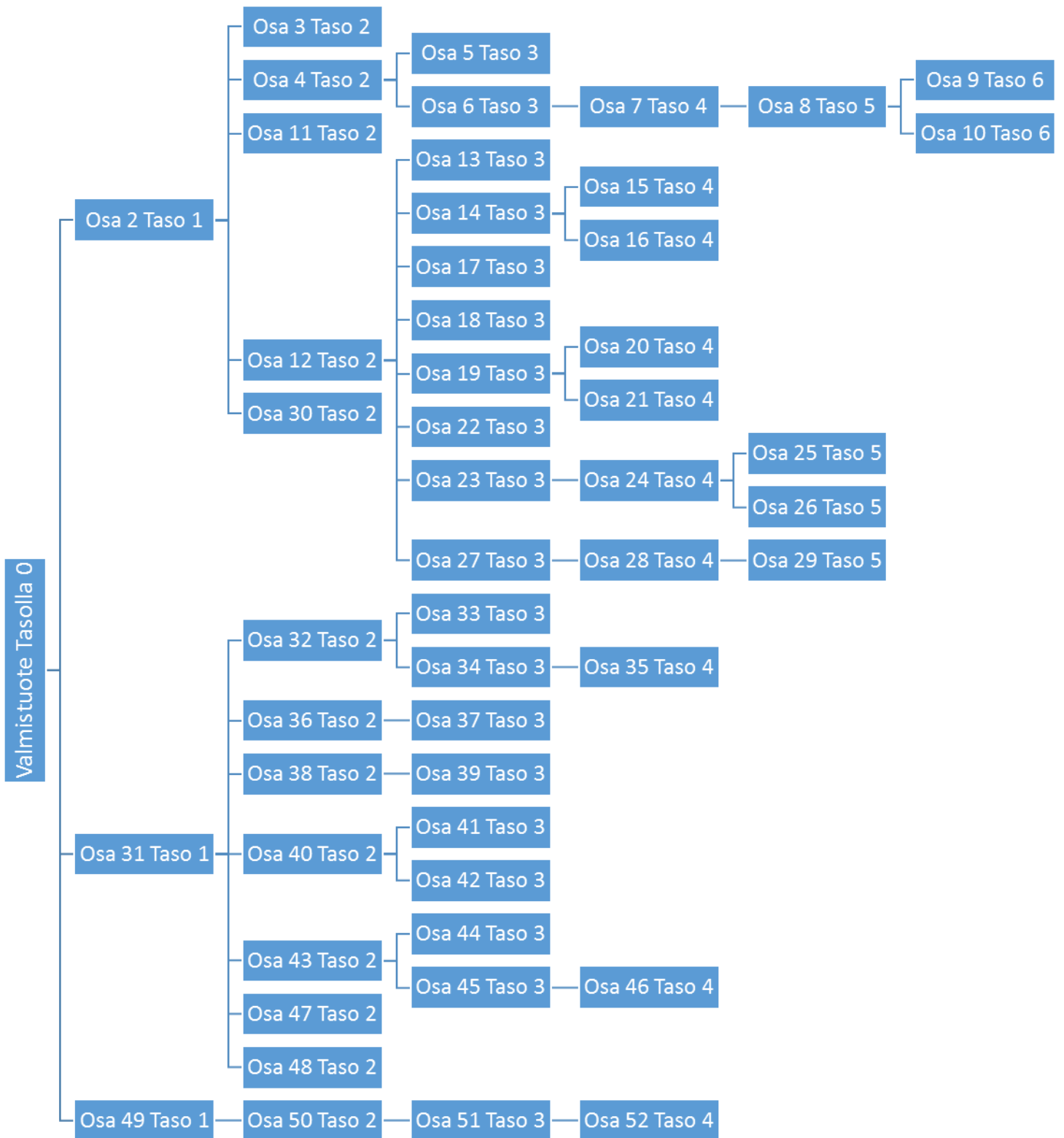
- "About us: Shipping industry experience and know-how". 2014. LNGTainer Oy:n [www-sivut](http://www.lngtainer.com/about.html). Viitattu 22.2.2016. <http://www.lngtainer.com/about.html>.
- Arnold, J. R. Tony, Stephen N. Chapman & Lloyd M. Clive. 2007. Introduction to Materials Management. 6th p. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- "BP Statistical Review of World Energy June 2016". 2016. London: BP. Viitattu 15.8.2016. <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>.
- Burt, David N., Donald W. Dobler & Stephen L. Starling. 2003. World Class Supply Management: The Key to Supply Chain Management. 7th edition. New York: McGraw-Hill/Irwin.
- Denscombe, Martyn. 2003. The Good Research Guide: For Small-Scale Social Research Projects. 2nd edition. Maidenhead: Open University Press.
- Dobler, Donald W. & David N. Burt. 1996. Purchasing and Supply Management: Text and Cases. 6th edition. New York: McGraw-Hill.
- Eremin, Ivan Ivanovich. 2002. Theory of Linear Optimization. Utrecht: VSP.
- Erlenkotter, Donald. 1990. Ford Whitman Harris and the Economic Order Quantity Model. Los Angeles: Western Management Science Institute, University of California.
- Eskelinen, Harri & Sami Karsikas. 2014. Tutkimusmetodiikan perusteet. Tampere: Tammertekniikka.
- Evengård, Birgitta, Joan Nymand Larsen & Øyvind Paasche. 2015. The New Arctic. New York: Springer.
- Feitzinger, Edward & Hau L. Lee. 1997. "Mass Customization at Hewlett-Packard: The Power of Postponement". Harvard Business Review 1997 (1–2).
- Forbes, Bruce. 2016. "Question about Natural Gas Production in West Siberia." Sähköpostiviesti 9.3.2016. Vastaanottaja J. Sjöman. Vastaus Länsi-Siperian maakaasuputkien vuodoista.
- Gilmore, James H. & B. Joseph Pine II. 1997. "The Four Faces of Mass Customization". Harvard Business Review 1997 (1–2).
- "Hiilidioksidipäästöt". 2014. Gasum Oy:n [www-sivut](http://gasum.fi/Kaasutietoutta/Ymparistovaikutukset/Hiilidioksidipaastot/). Viitattu 2.3.2016. <http://gasum.fi/Kaasutietoutta/Ymparistovaikutukset/Hiilidioksidipaastot/>.
- Hillier, Frederick S. & Gerald J. Lieberman. 2005. Introduction to Operations Research. 8th p. McGraw-Hill.
- Hippinen, Ilkka & Ulla Suomi. 2012. Yksittäisen kohteen CO<sub>2</sub>-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO<sub>2</sub>-päästökertoimet. Helsinki: Motiva Oy.
- Hirsjärvi, Sirkka, Pirkko Remes & Paula Sajavaara. 2004. Tutki ja kirjoita. 10. osin uudistettu laitos. Jyväskylä: Tammi.
- Hokkanen, Simo, Jouni Karhunen & Martti Luukkainen. 2011. Johdatus logistiseen ajatteluun. Jyväskylä: Sho Business Development Oy.
- Häkkinen, Kaija. 2002. Matematiikan peruskurssi, talousmatematiikan osio. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, Matematiikan ja tilastotieteen laitos.
- Incoterms 2010 FIN-ENG. 2010. Helsinki: ICC Palvelu Oy.
- Jonsson, Patrik. 2008. Logistics and Supply Chain Management. Maidenhead: McGraw-Hill Higher Education.

- Kalpakjian, Serope & Stephen Schmid. 2010. Manufacturing, Engineering and Technology SI 6th Edition. 6th Edition. Singapore: Prentice Hall.
- King, Peter L. 2011. "Crack the Code". Apics 2011 (7–8).
- Koikkalainen, Emilia. 2015. General Manager, Koskenpään Huopatehdas. Koskenpään Huopatehtaan yritysvierailu 13.3.2015.
- Laaksonen, M. 2011. Talousmatematiikan perusteet orms.1030. Vaasa: Vaasan Yliopisto. Teknillinen tiedekunta, Matemaattisten tieteiden laitos.
- Lineaarinen optimointi. 2013. Opetusvideo. Käyttäjältä mafy NUK. Viitattu 22.3.2016. <https://www.youtube.com/watch?v=ZO9fm9Tkx4c>.
- "Maakaasu". N. d. Energiateollisuus. Viitattu 2.3.2016. <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/maakaasu>.
- "Maakaasu ei ole aina 'puhdasta': Kasvihuonepäästöt voivat olla yhtä suuret kuin bensalla". 2011. Tekniikka ja Talous -lehden www-sivut. Viitattu 2.3.2016. <http://www.tekniikkatalous.fi/arkisto/2011-03-03/Maakaasu-ei-ole-aina-puhdasta-Kasvihuonep%C3%A4st%C3%A4st%C3%B6t-voivat-olla-yht%C3%A4-suuret-kuin-bensalla-3300350.html>.
- Maakaasukäsikirja. 2014. Helsinki: Suomen Kaasuyhdistys.
- "Maakaasu tuhoaa elämää pohjoisessa". 2000. Ylioppilaslehti.fi. Viitattu 2.3.2016. <http://ylioppilaslehti.fi/2000/11/maakaasu-tuhoaa-elamaa-pohjoisessa/>.
- McKinnon, Alan, Michael Browne & Anthony Whiteing. 2012. Green Logistics: Improving the Environmental Sustainability of Logistics. 2nd edition. London: Kogan Page Publishers.
- "Mullistava suomalaiskeksintö tähtää Venäjän kautta maailmanmarkkinoille". 2015. Ylen www-sivut. Viitattu 22.2.2016. [http://yle.fi/uutiset/mullistava-suomalaiskeksinto\\_tahtaa\\_venajan\\_kautta\\_maailmanmarkkinoille/8046238](http://yle.fi/uutiset/mullistava-suomalaiskeksinto_tahtaa_venajan_kautta_maailmanmarkkinoille/8046238).
- "Nesteytetty maakaasu LNG". 2014. Gasum Oy:n www-sivut. Viitattu 2.3.2016. <http://gasum.fi/Kaasutietoutta/Nesteytetty-maakaasu-LNG/>.
- "Nesteytettyä maakaasua toimitettiin ensimmäistä kertaa laivalla Suomeen Porin LNG-tuontiterminaaliin". 2016. Gasum Oy:n www-sivut. Viitattu 15.8.2016. heinäkuuta 10. [http://www.gasum.fi/Tietoa\\_Gasumista/Uutiset/2016/Ing-laiva\\_porinterminaaliin/](http://www.gasum.fi/Tietoa_Gasumista/Uutiset/2016/Ing-laiva_porinterminaaliin/).
- Nieminen, Sanna. 2016. Hyvä hankinta – parempi bisnes. Helsinki: Talentum Pro.
- "Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: METAANI". 2015. Työterveyslaitos. Viitattu 9.3.2016. <http://www.ttl.fi/ova/metaani.html>.
- Rama Rao, Sree. 2008. "Codification in Materials Management". CiteManagement Article Repository Of Cite.Co. Viitattu 14.3.2016. <http://www.citeman.com/4466-codification-in-materials-management.html>.
- Sakki, Jouni. 2001. Tilaus-toimitusketjun hallinta: logistinen b to b -prosessi. 5. painos. Espoo: Jouni Sakki oy.
- Slack, Nigel, Stuart Chambers & Robert Johnston. 2001. Operations Management. Third edition. Edinburgh Gate: Pearson Education.
- Spearman, Mark L. 2015. "Beyond ABC". Factory Physics Inc.
- Talluri, Srinivas, Kemal Cetin & A.J. Gardner. 2004. "Integrating demand and supply variability into safety stock evaluations". International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, nro 1.
- "Tankkausasemien sijainnit Suomessa". 2016. Gasum Oy:n www-sivut. Viitattu 9.8.2016. <http://gasum.fi/Kaasun-tankkausasemat/Tankkausasemien-sijainnit/>.
- Toivanen, Risto. 2016. Vice president, LNGTainer Oy. Haastattelut 2016.

- Tuominen, Kari & Sami Lahti. 2012. Competitive Advantage through Mass-Customization. Turku: Benchmarking.
- "Uudet varoitusmerkit". 2014. Tukes.fi. Viitattu 23.8.2016. <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kemikaalit-biosidit-ja-kasvinsuojeluaineet/Luokituspakkaaminen-ja-merkinnat/Uudet-varoitusmerkit/>.
- "Uusi suomalaiskeksintö: älykäs kaasun kuljetusjärjestelmä". 2015. Maaseudun Tulevaisuus -lehden www-sivut. Viitattu 22.2.2016. <http://www.maaseuduntulevaisuus.fi/politiikka-ja-talous/uusi-suomalaiskeksint%C3%B6-%C3%A4lyk%C3%A4s-kaasun-kuljetusj%C3%A4rjestelm%C3%A4-1.123562>.
- van Weele, Arjan J. 2010. Purchasing and Supply Chain Management: Analysis, Strategy, Planning and Practice. Andover: Cengage Learning EMEA.
- Venäjäältä Suomeen tuodun maakaasun tuotanto- ja käyttöketjun ympäristövaikutukset. 2014. Porvoo: Neste Jacobs Oy.
- Vollmann, Thomas E., William L. Berry & D. Clay Whybark. 1997. Manufacturing Planning and Control Systems. Fourth Edition. Boston: Mcgraw-Hill Publ.Comp.
- "Yritysvastuu". 2015. FIBS. Viitattu 24.5.2016. <http://www.fibsry.fi/fi/yritysvastuu>.

## Liitteet

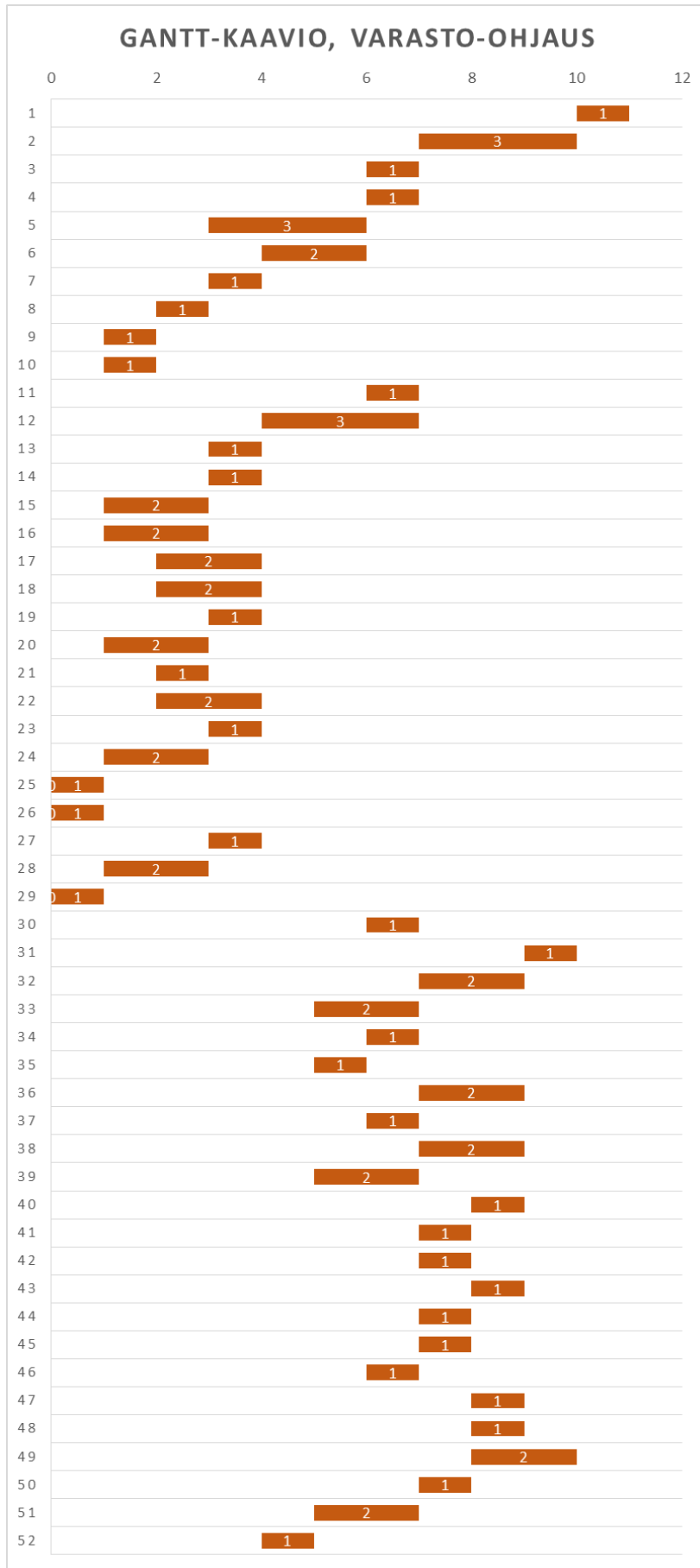
Liite 1. Materiaalinhallintamallilla tulostettu tuoterakennepuu.



## Liite 2. Mallin tulostama numeerinen tuoterakennepuu.

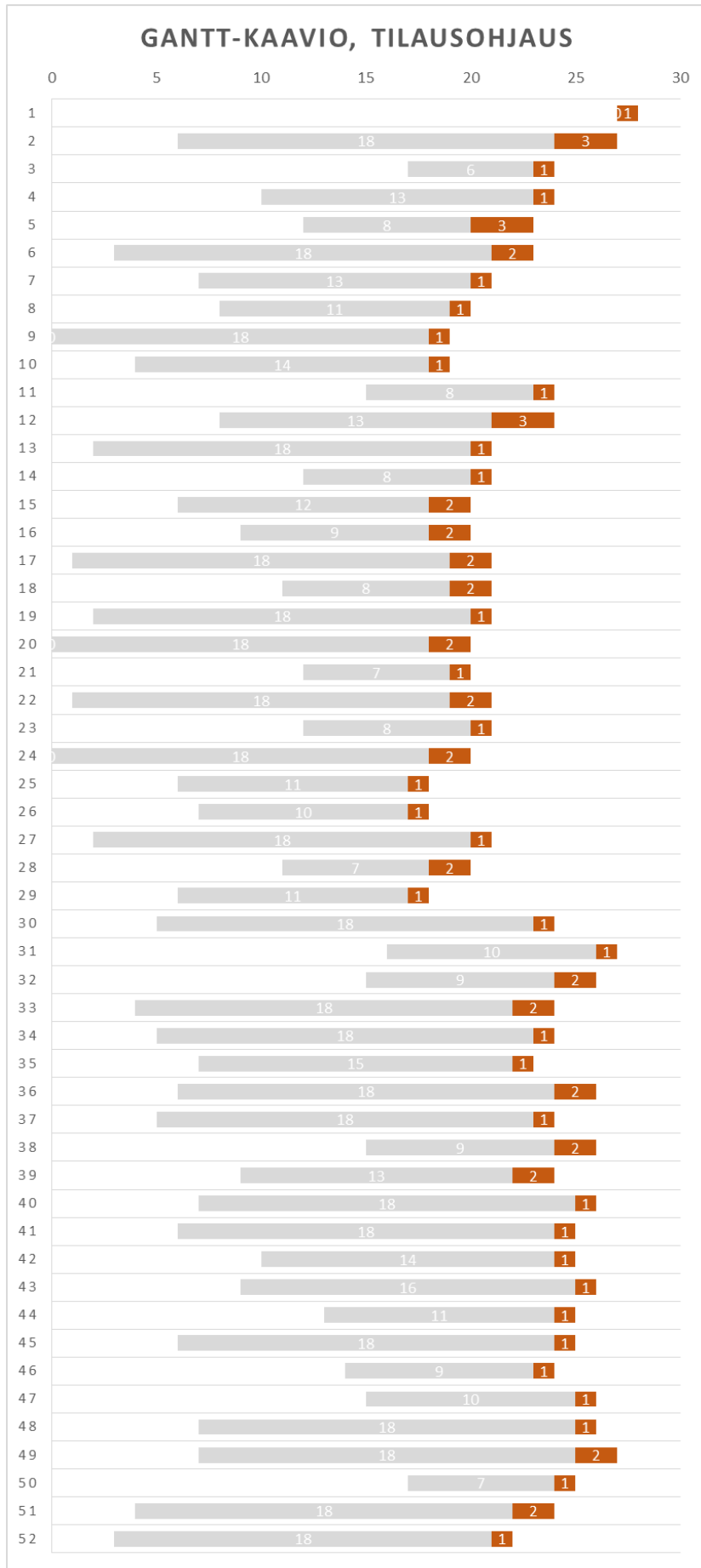
0						
	1					
		2				
		2				
			3			
			3			
				4		
					5	
						6
						6
		2				
		2				
			3			
			3			
				4		
				4		
			3			
			3			
			3			
				4		
				4		
			3			
			3			
				4		
					5	
					5	
			3			
				4		
					5	
		2				
	1					
		2				
			3			
			3			
				4		
		2				
			3			
		2				
			3			
		2				
			3			
			3			
		2				
			3			
			3			
				4		
		2				
		2				
	1					
		2				
			3			
				4		

Liite 3. Mallilla tulostettu varasto-ohjauksen Gantt-kaavio.





Liite 4. Mallilla tulostettu tilausohjauksen Gantt-kaavio.



Liite 5. Mallilla tulostettu hybridiohjauksen Gantt-kaavio.

