

Piia Kalliokoski

**Työkaluhuollon layout ja toiminnanohjauksen
kehittäminen**

Mäkelä Alu Oy

Opinnäytetyö
Kevät 2016
SeAMK Tekniikka
Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Koneautomaatio

Tekijä: Piia Kalliokoski

Työn nimi: Työkaluhuollon layout ja toiminnanohjauksen kehittäminen

Ohjaaja: Jorma Mettälä

Vuosi: 2016

Sivumäärä: 89

Liitteiden lukumäärä: 5

Tämä opinnäytetyö toteutettiin yhdessä Alajärvellä toimivan alumiiniteollisuusyritys Mäkelä Alu Oy:n kanssa. Mäkelä Alu Oy:n tuotantotiloihin tulevien muutosten sekä osittain työturvallisuuden takia piti tuotannon tiloista poistaa puristussuulakkeiden varastoinnissa nykyisin käytettävät korkeat oksahyllyt. Sen seurauksena tarvittiin muutoksia niin työkaluhuollon, kun puristinhallinkin tiloihin. Opinnäytetyön tarkoitus oli suunnitella puristussuulakkeille uusi varastointialue, joka koostuisi automaattivarastoista nykyisten oksahyllyjen sijaan. Lisäksi tarkoitus oli kehittää työkaluhuollon toiminnanohjausta.

Työn teoriaosuuden alussa tutustutaan materiaalivirtojen merkityksiin tuotannossa, varastoteknologian valintaan vaikuttaviin tekijöihin sekä toiminnanohjaukseen. Työn teoriaosuuden toisessa vaiheessa tuodaan esille layouttyypit sekä layoutsuunnittelun perusteet.

Työn toteutusosassa käydään läpi automaattivarastojen kustannuslaskelma, työkaluhuollon toiminnanohjauksen kehitysehdotukset, materiaalivirtaukset tuotannossa sekä lopullisen layoutvaihtoehdon valinta. Suunnittelutyössä käytettiin layoutsuunnittelun avuksi kehitettyjä erilaisia apuvälineitä, kuten R. Mutherin riippuvuussuhdeteoriaa sekä sen työkaluja että hyötyarvomatriisia. Layoutista luotiin neljä erilaista versiota sekä hyötyarvomatriisi, jonka avulla saatuja arvoja vertailemalla saatiin valittua ominaisuudet parhaiten täyttävä layoutvaihtoehto.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin toteutuskelpoinen layoutsuunnitelma, joka toteutti työssä vaaditut tavoitteet. Tarjouspyyntöjen ja yksityiskohtaisen layoutsuunnitelman jälkeen voidaan aloittaa lopullisten layoutmuutosten toteutus.

Avainsanat: Lean, läpäisy aika, layoutsuunnittelu, materiaalivirta, riippuvuussuhdeteoria, toiminnanohjaus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Machine Automation

Author: Piia Kalliokoski

Title of thesis: Layout of the die shop and development of the enterprise resource planning

Supervisor: Jorma Mettälä

Year: 2016

Number of pages: 89

Number of appendices: 5

This thesis was done together with Mäkelä Alu Oy, an aluminium production company in Alajärvi. The bracing shelves currently used for storing dies had to be removed from the production facilities because of the upcoming changes in there and partly because of work safety. Many changes were needed both in the die shop and the factory. The aim of this thesis was to plan a new storage area for dies which would consist of automatic storages instead of bracing shelves. The other aim was to develop the enterprise resource planning of the die shop.

The theory section of this thesis contains information on the meaning of material flows in production, the factors influencing the selection of storage technology and enterprise resource planning. In the other part of the theory layout-types and the basics of layout planning are introduced.

The cost calculation of automatic storages, the developing suggestions for the enterprise resource planning of the die shop, the material flow of die shop and the final choosing of the layout are introduced in the empirical part of the thesis. The layout planning was based on a value matrix and the dependency theory of R.Muther and the tools provided by it. Four different versions of layout and value matrix were planned. The best layout could then be found by comparing these versions.

As a result of this thesis a viable layout plan, which could fulfill the requirements of this work, was found. The implementation of the final layout changes can be started after making requests for quotations and drafting a detailed layout plan.

Keywords: lean, lead time, layout planning, material flow, dependency theory, enterprise resource planning

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo.....	7
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	9
1 JOHDANTO.....	11
1.1 Työn lähtökohdat.....	11
1.2 Työn tavoite.....	11
1.3 Työn rakenne.....	12
1.4 Työn rajaukset.....	13
1.5 Yritys.....	13
1.5.1 Mäkelä Alu Oy.....	13
1.5.2 Mäkelä Alu Oy:n historia.....	15
2 VALMISTUSPROSESSEISTA.....	18
2.1 Valmistusprosessi yleisesti.....	18
2.1.1 Billetin kuumapuristus.....	20
2.1.2 Puristussuulakkeen puhdistus ja varastointi.....	21
2.2 Pintakäsittelyprosessi yleisesti.....	22
2.3 Valuprosessi yleisesti.....	23
3 MATERIAALIVIRRAT JA VARASTOT.....	25
3.1 Materiaalivirran merkitys tuotannossa.....	25
3.2 Materiaalinohjaus.....	26
3.3 Varastojen suunnittelu.....	27
3.3.1 Varaston teknologian valinta.....	28
3.3.2 Hissityyppinen varastoautomaatti.....	30
4 TOIMINNANOHJAUS.....	34
4.1 Tavoitteet.....	34
4.2 Tunnusluvut ja mittarit.....	35
4.2.1 Kapasiteetti.....	35
4.2.2 Lämpöaika.....	36

4.3	Toimintamallit.....	38
4.3.1	Työntöohjaus	38
4.3.2	Imuohjaus	39
4.4	Erialaisten tuotannonohjausperiaatteiden vertailu.....	40
4.4.1	MRP II.....	40
4.4.2	JIT	41
4.4.3	Lean-toiminta.....	42
4.5	Toiminnanohjauksen tietojärjestelmät.....	44
5	LAYOUT	47
5.1	Layoutsuunnittelu.....	47
5.2	Layouttyypit.....	49
5.2.1	Tuotantolinjalayout.....	49
5.2.2	Funktionaalinen layout.....	50
5.2.3	Solulayout.....	52
5.2.4	Tuotetehtaat ja verstaat	53
5.3	Layoutin suunnittelu ja valinta	54
5.3.1	Layouttyypin valinta	55
5.3.2	Tuotantolinjalayoutin suunnittelu.....	56
5.3.3	Funktionaalisen layoutin suunnittelu	57
5.3.4	Solulayoutin suunnittelu.....	60
5.3.5	Hyötyarvomatriisi	61
5.4	Simulointi	62
6	SUUNNITTELUPROSESSI.....	64
6.1	Tehtävän kuvaus.....	64
6.2	Työkaluvarastoinnin suunnittelu.....	64
6.2.1	Layoutversio 1	67
6.2.2	Layoutversio 2	69
6.2.3	Layoutversio 3	70
6.2.4	Layoutversio 4	71
6.3	Toiminnanohjauksen kehitysnäkökohtia	73
6.4	Työkaluhuollon tehokkuuden parantaminen	73
6.4.1	Puristussuuttimien läpäisyajan parantaminen.....	73
6.4.2	Tuotantotilojen järjestys	74

6.4.3 Työntekijöiden motivointi, työergonomia ja -ajat	74
6.5 Materiaalivirtaukset	77
7 YHTEENVETO.....	80
7.1 Layoutmallin valinta	80
7.2 Toiminnanohjauksen jatkokehitys	82
8 POHDINTA	84
LÄHTEET	86
LIITTEET.....	89

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Mäkelä Alu Oy:n ilmakekuva.....	14
Kuvio 2. Alumiinin tuotantoketju	15
Kuvio 3. Ilmakekuva vuonna 1950 rakennetusta Fredrik Mäkelän omakotitalosta sekä vuonna 1963 talon viereen rakennetusta hallista. Takana näkyy nykyinen Vimpelintie, jonka toiselle puolelle on rakennettu Mäkelä Alu Oy:n nykyiset hallit.	16
Kuvio 4. Mäkelä Alu Oy:n logon kehitys on pysynyt melko yksinkertaisena.....	17
Kuvio 5. Puristussuulakkeen rakenne.	18
Kuvio 6. Puristussuulakkeen tukipinnan vaikutus profiilin pinnankarheuteen.....	19
Kuvio 7. Alumiinialio menossa uuniin.	20
Kuvio 8. Valmis billetti hetki ennen puristusta.	20
Kuvio 9. Lipeään menossa olevia työkaluja	21
Kuvio 10. Materiaaliohjouksen päätavoitteet.....	26
Kuvio 11. Teknologioita erilaisiin varastojärjestelmiin	29
Kuvio 12. Pystysuuntainen hissijärjestelmä varastointiin	31
Kuvio 13. Mäkelä Alu Oy:n tuotannossa käytössä oleva Kardexin automaattivarastojärjestelmä.	32
Kuvio 14. Tuotteen läpäisyajan kaaviokuva	37
Kuvio 15. Työntöohjouksen periaate.....	39
Kuvio 16. Imuohjouksen periaate.....	40
Kuvio 17. Jatkuvan parantamisen rakenne eli PDCA-sykli.	44
Kuvio 18. Tuotantolinjalayout.....	49

Kuvio 19. Funktionaalinen layout	51
Kuvio 20. Solulayout	52
Kuvio 21. Tuotantomäärän ja tuotevalikoiman yhteisvaikutus layouttyypin valintaan	55
Kuvio 22. Työpisteiden kuormituksen tasapainotus ja sen vaikutukset tuotannon vaiheikaan nähden	57
Kuvio 23. Mutherin yhteyssuhdepiirros	59
Kuvio 24. Tuotantovirta-analyysi resurssien sijoittamiseksi soluihin	60
Kuvio 25. Hyötyarvomatriisi.....	61
Kuvio 26. Mahdolliset alustamallit puristussuulakkeiden varastointiin Kardex XP 1000 ja XP 700	65
Kuvio 27. Varastokustannusten vertailu.....	66
Kuvio 28. Mutherin menetelmän mukaisesti muodostettu riippuvuussuhdekaavio	67
Kuvio 29. Layoutvaihtoehto 1	68
Kuvio 30. Layoutvaihtoehto 2.....	69
Kuvio 31. Layoutvaihtoehto 3.....	71
Kuvio 32. Layoutvaihtoehto 4.....	72
Kuvio 33. Vanhat työkalusuulakkeiden varastoinnissa käytettävät oksahyllyt.....	76
Kuvio 34. Ensimmäisen layoutvaihtoehdon materiaalivirtauskuva	78
Kuvio 35. Viilaamon materiaalivirtauskuva.....	79
Kuvio 36. Hyötyarvomatriisi.....	80

Käytetyt termit ja lyhenteet

5S	5S on leanin käytännön työkalu, joka pyrkii ylläpitämään ja kehittämään siisteyttä, järjestystä ja viimekädessä kurinalaisuutta. Viisi s-kirjainta tulevat Japanin sanoista: Seiri (lajittele), Seiton (järjestä), Seiso (puhdistusta ja huolla), Seiketsu (vakiinnuta) sekä Shitsuke (ylläpidä).
Aihio	Sulasta alumiinista valettu aihio, jonka pituus on n. 6 m ja halkaisija 8".
Anodisointi	Alumiinin pintakäsittelymenetelmä, jossa käytetään elektrolyyttejä saamaan profiilille kestävä ja halutun värinen pinta.
Billetti	Alumiiniaihioista katkaistu osa, joka puristetaan.
ERP	Toiminnanohjausjärjestelmä (Enterprise Resource Planning).
JIT	Juuri oikeaan aikaan (Just In Time), tämä on imuohjauksesta käytetty lyhenne.
JOT	Juuri oikeaan tarpeeseen. JIT:n suomenkielinen versio, jota käytetään yleensä JIT:n tilalla sen taipuessa hyvin suomen kielen kyseisiin alkukirjaimiin.
Kanban	Imuohjaukortti JIT-tuotannossa seuraavalle vaiheelle.
Lean	Hoikka tai solakka tuotanto. Alun perin Japanissa kehitetty tuotannon johtamisfilosofia, jossa prosessista karsitaan kaikki turha sekä toiminnassa keskitytään asiakasarvon tuottamiseen.
MPa	MegaPascal (10^6 N/m ²).
MRP II	Materiaali- ja resurssitarvesuunnittelu (Manufacturing Resource Planning).

Nitraus	Puristussuulakkeen pintakäsittelymenetelmä, jossa typpeä siirretään teräkseen.
PDCA-sykli	Jatkuvan parantamisen menetelmä (Plan-Do-Check-Act).
PFA	Tuotantovirta-analyysi (Production Flow Analysis).
Pulleri	Pursotuslinjan kone, joka vetää valmistuvan profiilin ulos puristimesta.
Puristussuulake	Alumiinin puristuksessa käytettävä työkalu, joka koostuu tuurnaosasta, profiilin ulkokehän muodostavasta osasta ja takaraudasta.
Takarauta	Puristussuulakkeen tukiosa.
Työkalu	Alumiinin pursotuksessa käytettävä puristussuulake.

1 JOHDANTO

1.1 Työn lähtökohdat

Mäkelä Alu Oy:n tuotantolaitoksen tulevien uusien investointien takia nykyisen puristinhallin tila on alkanut tuotantolaitoksen sisältä loppumaan. Kuitenkin tilaa tarvittaisiin samalla jatkossa yhä enemmän.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella Alajärvellä toimivalle alumiiniteollisuusyritys Mäkelä Alu Oy:lle ja sen työkaluhuollon osastolle uusi layout puristussuulakkeiden varastointiin. Lisäksi työhön kuuluu viilaamon sisällä kulkevan materiaalivirran ohjauksen suunnittelu.

Työn taustalla on myös työturvallisuuteen vaikuttava tekijä, jolla halutaan parantaa työntekijöiden ergonomisuutta ja tuotantolaitoksen tilanhallintaa tuomalla yrityksen tiloihin kahdeksan metriä korkeita automaattivarastoja puristussuuttimien varastointiin. Nykyiset oksahyllyt ovat vaarallisia ja hankalia, koska yksi suutinosapainaa noin 40 kg ja niitä joudutaan nostelemaan monta kertaa päivässä jopa 3 m korkeuteen. Huolta herättää myös viilaamon käyntiovi, joka sijaitsee kohtuullisesti liikennöidyllä trukkikäytävällä. Muutoksia layoutiin tarvittiin siis myös työkaluhuollon viilaamossa.

1.2 Työn tavoite

Mäkelä Alu Oy:n profiilin tuotannossa käytetään työkaluja, joiden läpi puristetaan uunissa lämmitetty billetti. Työkalu eli niin sanottu puristussuulake kiertää tuotannossa puristimelta lipeään, hiekkapuhaltimen kautta työkaluhuollon viilaamoon ja nitrauksen kautta takaisin varastohyllyyn tai suoraan puristimelle.

Viilaamo on tällä hetkellä tuotantolaitoksessa huonolla sijainnilla työkalukierron kannalta. Työkalut kuljetetaan pursotuksen jälkeen ensin hallin toiseen nurkkaan lipeään, josta ne puhdistuksen jälkeen haetaan kärryillä trukkikäytävän toiselle puolelle viilaamoon. Työkalujen kunnostushuone viilaamo alkaa käydä henkilöstön kasvavan tarpeen vuoksi pieneksi, tämä otetaan layoutsuunnittelussa myös huo-

mioon. Viilaamosta työkalut viedään takaisin trukkikäytävän yli automaattivarastoihin tai oksahyllyihin.

Tutkimuksen tavoitteena on parantaa työskentely-ympäristön turvallisuutta poistamalla niin sanotut oksahyllyt kokonaan käytöstä sekä layoutin avulla parannetaan tuotantolaitoksen tavaravirtauksen sujuvuutta. Työssä haetaan parempaa tilanhallintaa ja kaikkien näiden toimenpiteiden kautta syntyviä tilasäästöjä.

1.3 Työn rakenne

Työ alkaa johdannolla, jossa käydään läpi opinnäytetyön taustat sekä keskeisimmät tavoitteet. Työn rakenne -osiossa käydään opinnäytetyön kirjallisen osuuden otsikkotasot läpi yksitellen. Selvyyden vuoksi myös opinnäytetyön rajaukset on tuotu esille omana osionaan. Tätä seuraa laaja katselmus yrityksen menestyksekkäästä historiasta nykypäivään.

Toisessa luvussa tutustutaan Mäkelä Alu Oy:n toimintaan puristussuulakkeen suunnittelusta profiilin puristukseen sekä työn jälkeiseen puristussuulakkeiden puhdistukseen ja varastointiin. Luvussa käydään myös yleisesti läpi yrityksen pintakäsittelyprosessi sekä alumiinin valuprosessi.

Kolmas, neljäs ja viides luku kertovat työssä käsiteltävien teorioiden osuutta. Kolmannessa luvussa käydään läpi materiaalinohjauksen perusteet ja vaikutukset tuotannossa, hieman varastoinnin teoriaa sekä varastoteknologian valintaan vaikuttavia tekijöitä. Neljäs luku käsittelee toiminnanohjauksen perusteita eli mitkä ovat toiminnanohjauksen tavoitteet sekä tärkeimmät tunnusluvut ja mittarit tuotannossa. Lisäksi selvitetään käytettävät toimintamallit sekä tuotannonohjaustekniikat, joita sovelletaan työkaluhuollon toiminnanohjaamisessa. Viides luku sisältää layoutsuunnittelun vaiheet ja layouttyypit sekä simuloinnin teorian.

Kuudennessa, seitsemännessä ja kahdeksannessa luvussa käsitellään fyysisen työn osuutta. Kuudes luku kertoo suunnitteluprosessista, jossa käsitellään tutkimustyötä. Osiossa käydään jokainen layoutvaihtoehto yksitellen läpi, esitellään mahdolliset tuotannon tehokkuuden parantamisen vaikuttavat tekijät sekä valitun layoutin ja työkaluhuollon materiaalivirtaukset. Seitsemännessä luvussa perehdy-

tään valittuun layoutmalliin, kuinka valintaan päädyttiin sekä toiminnanohjauksen jatkokehitysehdotuksiin. Kahdeksas luku on opinnäytetyön tulosten pohdintaa.

Viimeisissä osioissa on nähtävillä tutkimustyön teoriaosioissa käytetyt lähteet sekä tutkimustyön liitteet.

1.4 Työn rajaukset

Työ on rajattu koskemaan vain työkaluhuollon toiminnanohjausta sekä tuotannossa käytettävien puristussuuttimien varastointia koskevaa layoutmuutosta.

1.5 Yritys

Mäkelä Alu Oy on Peltisepänliike Fredrik Mäkelän -nimellä vuonna 1937 perustettu perheyriety, joka tarjosi vuonna 2014 työpaikan jo 175 hengelle. Yrityksen liikevaihto vuonna 2014 oli noin 60 miljoonan euron paikkeilla. (Taloussanomat 2015.)

Seuraavissa luvuissa kerrotaan Mäkelä Alu Oy:n yritystoiminnasta yleisesti sekä yrityksen menestyksekkäästä historiasta nykypäivään.

1.5.1 Mäkelä Alu Oy

Mäkelä Alu Oy tarjoaa pääasiassa asiakkaiden tarpeisiin räätälöityjen alumiiniprofiilien valmistusta, jatkojalostusta ja suunnittelupalveluja. Valmistus ja pintakäsittely toteutetaan omassa tehtaassa, muu jatkojalostus ostetaan lähialueen alihankkijoilta. Mäkelä Alu Oy on rakentanut toimivan yritysperheen, jossa markkinointi ja tuotantoyhteistyö kulkevat sujuvasti rinta rinnan. (Mäkelä Alu Oy, [viitattu 8.12.2015].)

Kuviossa 1 näkyy Mäkelä Alu Oy:n tämän hetkinen tuotantolaitos kaikkine halleineen. Vasemmalla sijaitsevat puristinhallit ja keskellä sijaitsevassa pitkässä hallissa sijaitsevat pakkaamo ja logistiikka. Niiden vieressä oikealla on korkeavarasto, pystyamaalaamo sekä valimo. Pitkä vihreä halli oikealla on vaakamaalaamo, oikealla yläalaidassa näkyy konttori ja edessä on anodisointilaitos.

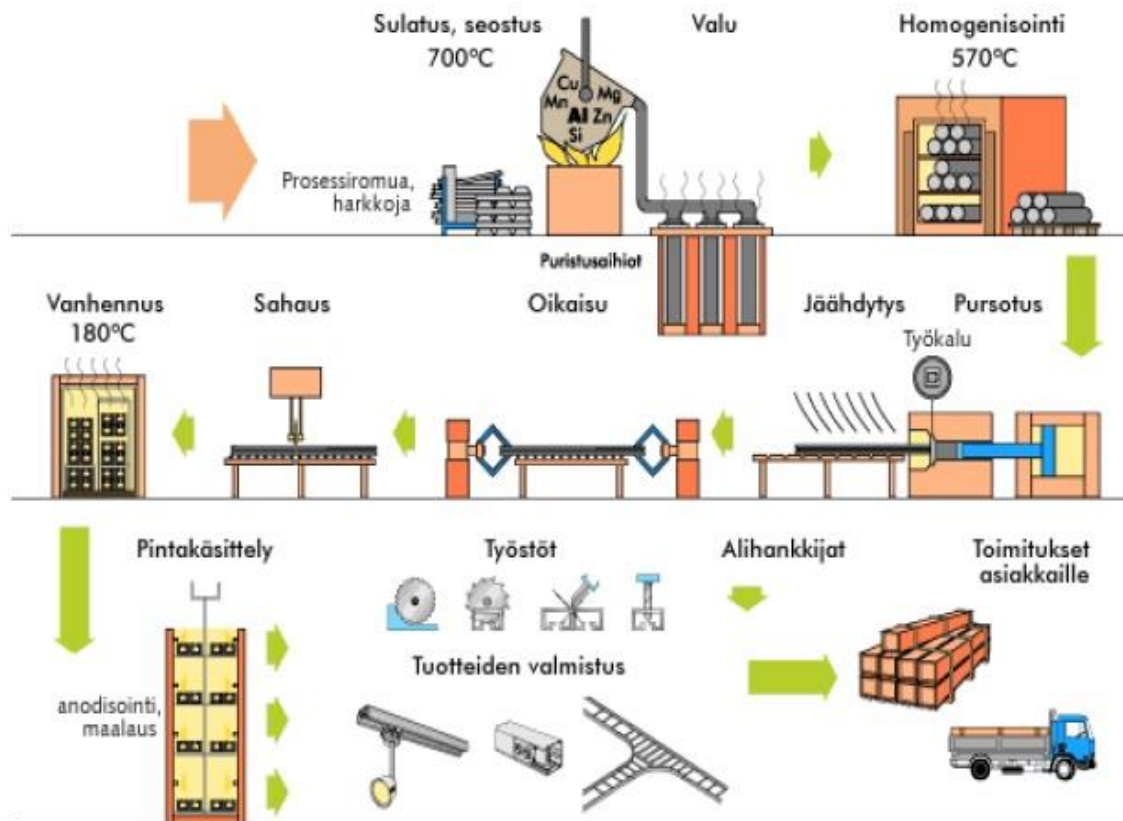


Kuvio 1. Mäkelä Alu Oy:n ilmakekuva.
(Mäkelä Alu Oy, [viitattu 28.11.2015])

Alumiiniprofiileiden valmistukseen käytetään pääosin primäärialumiinista valmistettuja puristinaihioita, jotka osittain valmistetaan itse valamalla vuonna 1996 valmistuneessa valimossa (Mäkelä Alu Oy, [viitattu 7.12.2015]).

Mäkelässä vuonna 1991 aloitettu alumiiniprofiilien puristus on tuonut Luoma-aholle kattavan alihankintaverkoston. Yritykset pystyvät jatkojalostamaan Mäkelän valmistamia tuotteita suhteellisen nopeasti ja kilpailukykyisesti. Esimerkiksi Al-Men Oy, Anla Oy ja Vivadec Oy ovat Luoma-aholla alumiinin jatkojalostukseen erikoistuneita yrityksiä. Mäkelä Alu oy hoitaa itse maalaamisen ja anodisoinnin, mutta muut kuten hionnat, reikimiset, katkaisut, pinottamiset ja taivutukset hoitavat alihankkijat.

Mäkelä Alu Oy toimittaa asiakkailleen räätälöityjä alumiiniprofiileita jo yli 20 maahan. Jopa 50 % Mäkelä Alu Oy:n tuotteista menee vientiin. Tärkeimmät vientimaat ovat Ruotsi, Norja, Tanska, Saksa ja Venäjä. (Mäkelä Alu Oy, [viitattu 27.11.2015].) Kuviossa 2 nähdään alumiinin tuotantoketju.



Kuvio 2. Alumiinin tuotantoketju
(Mäkelä Alu Oy, [viitattu 9.12.2015])

1.5.2 Mäkelä Alu Oy:n historia

Yrityksen perustaja Fredrik "Reeti" Mäkelä toteutti unelmansa vuonna 1937, jolloin hän perusti oman yrityksen läkkipeltien työstäjänä vain 20-vuotiaana. Ensimmäiseksi työkaluikseen Mäkelä osti Helsingistä sikkikoneen, kanttisakset ja sirkkelisakset, joilla hän teki ensimmäiset muurinkuoret omaan lapsuudenkotiinsa. Muita Mäkelän valmistamia tuotteita siihen aikaan olivat mm. erikokoiset maitokannut, maitovadit, ämpärit, kiulut, naput ja mukit. (Kivipelto 2000, 16–17.)

1950-luvun lopulla Mäkelä osti vaasalaisen alumiinitehtaan koneet ja aloitti alumiinin painosorvaamisen peltiastioiden rinnalla. Kysyntä alumiinistöille oli hyvä ja sittemmin, vuonna 1963 valmistettiin peltisepäntuotteissa einaustuotteita täysin automaattisesti 0,1 mm:n alumiinifoliosta jopa 20 000 kappaletta päivässä. (Kivipelto 2000, 25.)

Vähitellen läkkipelleistä siirryttiin maitotonkkien tinaukseen, kiukaisiin, ilmastointijärjestelmiin ja kattopelteihin. Vuosikymmenten aikana yritys tarttui uusiin haasteisiin ja investointeja tehtiin jopa laman kynnyksellä. (Mäkelä Alu Oy, [viitattu 27.11.2015].)



Kuvio 3. Ilmakuva vuonna 1950 rakennetusta Fredrik Mäkelän omakotitalosta sekä vuonna 1963 talon viereen rakennetusta hallista. Takana näkyy nykyinen Vimpehintie, jonka toiselle puolelle on rakennettu Mäkelä Alu Oy:n nykyiset hallit. (Mäkelä Alu Oy, [viitattu 27.11.2015])

1960-luvun alussa yrityksestä päätettiin tehdä kommandiittiyhtiö ja nimi muutettiin Mäkelän Peltituote Ky:ksi (kivipelto 2000, 37). Vuonna 1965 ostettiin ensimmäinen konesaumakone, joka käänsi yrityksen tuotantosuunnan profiilin tuotantoon. Silloin alettiin valmistamaan katto- ja seinäprofiileja, joiden kauaskantoisuutta ei osattu yrityksessä aavistaa. Vuonna 1977 kommandiittiyhtiöstä päätettiin tehdä osakeyhtiö tulevaa sukupolvenvaihdosta helpottamaan. (Kivipelto 2000, 41, 57.)

Osake-enemmistön myynnin jälkeen vuonna 1988 nimen vaihdos tuli taas ajan-kohtaiseksi ja nimi Mäkelän Peltituote Oy vaihdettiin vuonna 1990 kotimaahan sopivaksi Mäkelä Metals Oy:ksi ja ulkomaille sopivaksi Mäkelä Metals Ltd:ksi (Kivipelto 2000, 80).

Huhtikuussa 1993 Mäkelä Metals Oy irrottautui peltien ohutlevytuotannosta ja teki sen historian suurimman muutoksen yrityksen toiminnassa keskittyen pelkästään alumiiniprofiilien tuotantoon, mikä osoittautui jälleen viisaaksi päätökseksi. Teräs-

teollisuudessa ajaututtiin 1990-luvun laman takia lomautuksiin kun taas alumiiniteollisuus kasvoi huimasti 1990-luvulla. Nimi vaihdettiin viimeisen kerran vielä samana vuonna 1993, jolloin pelkästään alumiiniprofiileja valmistavan yrityksen nimeksi tuli Mäkelä Alu Oy. (Kivipelto 2000, 88–90.)



Kuvio 4. Mäkelä Alu Oy:n logon kehitys on pysynyt melko yksinkertaisena (Kivipelto 2000, 109).

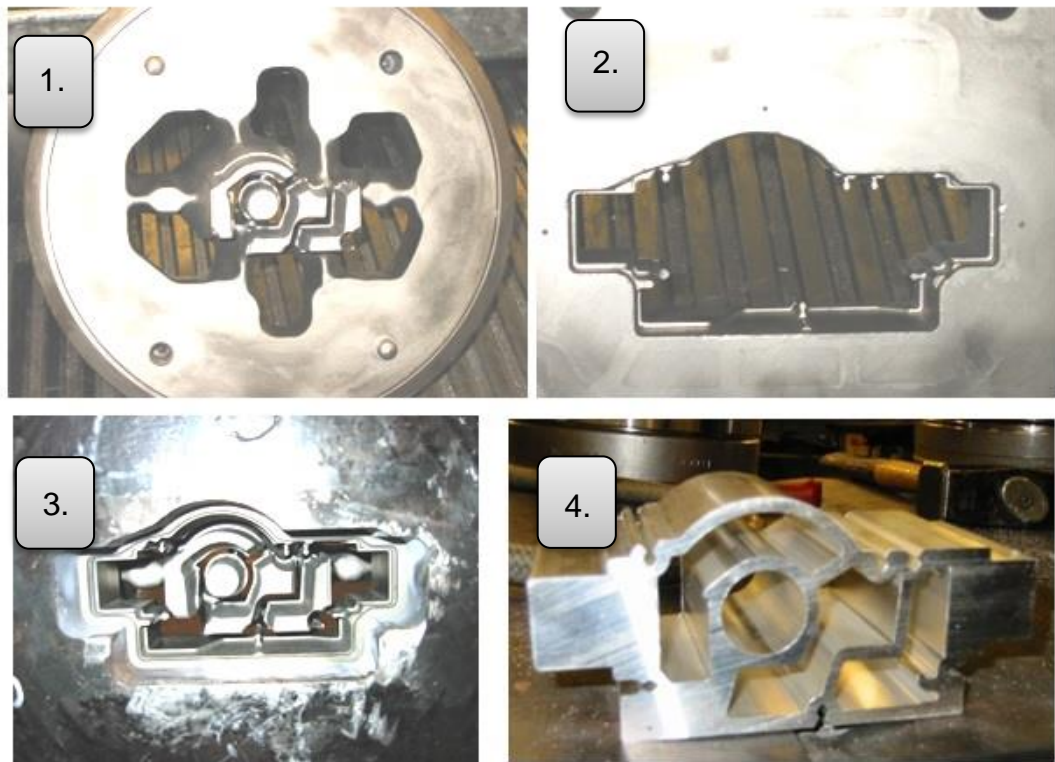
Seuraavina vuosina Mäkelä Alu laajeni reippaasti, kun vuonna 1996 valmistui uudelle kaava-alueelle oma valimo, vuonna 1997 valmistui uudet konttoritilat, vuonna 1998 pulverimaalaamo ja vuonna 1999 kaikkien aikojen suurin, 9600 neliömetrin hallitila toiselle puristinlinjalle, jolla tuotannon kapasiteettia pystyttiin nostamaan jopa puolella. (Kivipelto 2000, 95–102.)

Vielä vuonna 2003 rakennettiin korkeavarasto ja vuonna 2004 valmistui tilat anodointilaitokselle. Tiloja vuokrattiin aluksi alihankkijalle, mutta toiminta ostettiin myöhemmin Mäkelälle. Vuonna 2004 valmistui myös toinen konttorirakennus vanhan konttorin viereen. Alkuvuodesta 2008 valmistui toinen maalaamo ns. pysty-maalaamo ja loppuvuodesta 2008 valmistui jo kolmas puristinlinjasto. (Mäkelä Alu Oy, [Viitattu 9.12.2015].)

2 VALMISTUSPROSESSEISTA

2.1 Valmistusprosessi yleisesti

Valmistusprosessi alkaa profiilin suunnittelulla. Mäkelä Alu Oy:n tuotteista 90 % valmistetaan räätälöitynä asiakkaan toiveiden mukaan. Suunnittelulla pyritään luomaan mahdollisimman oikeat profiilit asiakkaille vaikuttamalla lopputuotteeseen kekseliäillä ratkaisuilla, jolloin saadaan kustannukset pienemmiksi ja tuotannon tehokkuus maksimiin. (Mäkelä Alu Oy, [viitattu 28.11.2015].)



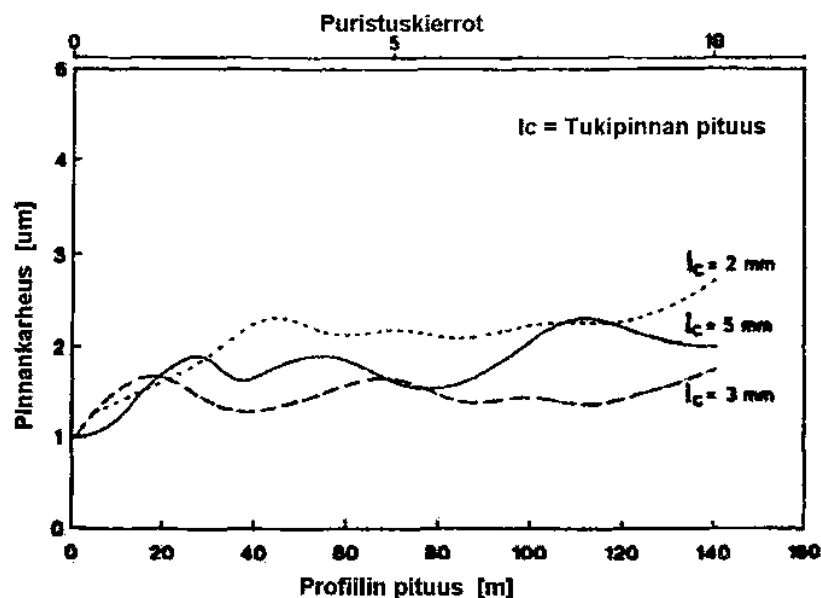
Kuvio 5. Puristussuulakkeen rakenne.
(Korhonen 2004, muokattu)

Kuviossa 5 on esitetty puristussuulakkeen rakenne sekä valmis profiili. Ensimmäisessä kuvassa on suulakkeen tuurnaosa, toisessa kuvassa on profiilin ulkokehän muodostava osa, kuvassa kolme on puristussuulake kasattuna ja neljäs kuva on otettu valmiista profiilista.

Uutta profiilia suunniteltaessa on oltava erityisen tarkkana. On useita tekijöitä, jotka vaikuttavat puristussuulakkeen kestoon, profiilin pinnanlaatuun tai profiilin puristamisen onnistumiseen. (Korhonen 2004, 16.)

Eniten puristussuulakkeen kestoon vaikuttaa niiden tuurnien koko. Jos tuurnat ovat liian pienet, ne ovat alttiita katkeamaan suulakkeen avaus- sekä kasausvaiheessa. Toinen suulakkeen kestoon vaikuttava seikka lähinnä avoimissa profiileissa on erimuotoisten kolojen valmistaminen. Puristussuulakkeeseen kohdistuva voima kykenee katkaisemaan kolon muodostavan osan suulakkeesta, jos niiden leveyden suhde pituuteen ei ole vähintään 1:3. (Korhonen 2004, 17.)

Profiilin pinnanlaatuun vaikuttavat mm. puristussuulakkeen sisäseinämät, puristettava seos ja puristussuulakkeen tukipinnan pituus. Seinämien kohdalta profiili jäähtyy eri nopeudella, mikä johtuu massaeroista. Tämä aiheuttaa profiilin pinnalle tumman juovan, joka on peitettävissä, mutta ainoastaan maalaamalla. Nostettaessa tukipinnan pituutta nolasta sen maksimiin, joka on n. 3 mm, profiilin pinnankarheus laskee. Jos tukipintaa tästä vielä pidennetään, lähtee profiilin pinnankarheus suurentuvan kitkan takia uudelleen nousuun, kuten kuviossa 6 on esitetty. (Korhonen 2004, 17; Valberg & Malvik 1996, Harvisalon 2002, 31 mukaan.)



Kuvio 6. Puristussuulakkeen tukipinnan vaikutus profiilin pinnankarheuteen (Thedja, Müller & Ruppın 1992, Harvisalon 2002, 31 mukaan.)

Pursotuksen onnistumisen tärkein seikka on se, että profiili olisi mahdollisimman symmetrinen. Tällöin alumiinin virtaus on helpommin hallittavissa sekä puristus-suulakkeeseen kohdistuva paine on tasaisempi. Profiili myös jäähtyy tasaisemmin, joten se pysyy suorassa jäähdytysprosessin aikana. (Korhonen 2004, 17.)

Puristussuulakkeen saavuttua Mäkelään sille suoritetaan koepuristus, jonka aikana viilarit tutkivat puristussuulakkeen käyttäytymistä pursotustilanteessa. Moni reikäisessä puristussuulakkeessa rei'illä on usein nopeuseroja ja puristussuulaketta joudutaan muokkaamaan ennen suulakkeen nitrausta ja uutta koepuristusta.

2.1.1 Billetin kuumapuristus

Pursotusprosessi alkaa aihoiden lämmittämällä (kuvio 7). Ahiosta katkaistaan puristimen logiikalta tulleen käskyn mittainen pätkä, jota kutsutaan billettiksi (kuvio 8).



Kuvio 7. Alumiiniahio menossa uuniin.



Kuvio 8. Valmis billetti hetki ennen puristusta.

Noin 420–520 °C:een kuumennettu billetti asetetaan puristinpesään männän eteen, joka puristaa billetin pursotussuulakkeen läpi. Puristimen suuaukolla oleva pulleri ottaa valmistuvaa profiilia vastaan. Pullerin nopeus säädetään profiilin valmistumisvauhdin mukaisesti. Kun profiilia on vedetty pullerilla jäähdytyspöydälle sen salliman mitan verran, sahataan profiili poikki ja pulleri päästää profiilin jäähdytymään jäähdytyspöydälle. Valmistua profiilia saadaan yleensä 25–50 metriä pöydän pituudesta riippuen (Harvisalo 2002, 9).

Billetin kuumapuristus tapahtuu noin 5–50 m/min profiilin ulostulolämpötilan ollessa n. 550 °C:tta. Puristimen kapasiteetista riippuen puristusaine on 500–700 MPa. (Harvisalo 2002, 9.)

2.1.2 Puristussuulakkeen puhdistus ja varastointi

Pursotuksen jälkeen puristussuulake jää täyteen alumiinia, mikä täytyy poistaa ensin puristimella piikkaamalla alumiinin vielä ollessa kuumaa, jonka jälkeen se siirretään telineelle odottamaan käsittelyyn viemistä (kuvio 8).



Kuvio 9. Lipeään menossa olevia työkaluja

Ensiksi lipeässä avataan puristussuulakkeen koossa pitävät pulitit ja se erotellaan osiin, joko kahteen tai kolmeen osaan riippuen työkalusta. Puristussuulakkeen ns. takarauta pysyy yleensä aina puhtaana ja niitä ei käytetä lipeän kautta, vaan ne

laitetaan telineelle odottamaan työkalun uudelleen kasausta. Puristussuulake avataan talttaa ja vasaraa käyttämällä, koska alumiini on ehtinyt jäähtyä ja jämähtää paikalleen, mikä vaikeuttaa avaamista.

Jos alumiinia ei saada poistettua kokonaan, työkalu laitetaan alumiinia liottavaan aineeseen eli lipeään, joka ei vahingoita työkalua, vaan se reagoi pelkästään alumiinin kanssa. Työkalujen liuotus lipeässä kestää tunnista vuorokauteen riippuen puristussuuttimen koosta ja muodoista.

Lipeästä työkalut laitetaan hiekkapuhalluslaitteeseen, joka puhalttaa puristussuulakkeen pinnan ja välit puhtaiksi lipeäjäämistä. Puhallus kestää noin kaksi tuntia, jonka jälkeen puristussuulake nostetaan viilaamoon menevään kärryyn.

Jokaiselle puristussuulakkeelle on oma työkalunumeronsa. Alkuosa koostuu numerosarjasta ja jälkimmäinen osa osoittaa, monesko työkalu on kyseessä. Työkalunumerolla nähdään mitä kyseiselle puristussuulakkeelle täytyy viilaamossa tehdä. Puristussuulakkeelle määritellään tietty ajomäärä kiloina, jonka jälkeen suulake on nitrittävä työkalun lujuuden takaamiseksi. Työkalurikko on yritykselle kallis, sillä se vaikuttaa suoraan toimitusvarmuuteen. Jos työkalulle ei ole olemassa varasuutinta, uusi työkalu on tilattava ulkomailta, ja sen toimitusaika on yleensä useita viikkoja.

Viilaamossa työkalun pinnat, jotka ovat kosketuksessa alumiinin kanssa pursotustilanteessa, hiotaan, jotta vältetään rönkyjen aiheuttamilta pintavaurioilta. Puristussuulakkeet, joiden ajo on keskeytetty syystä tai toisesta, korjataan koulutettujen viilareiden toimesta. Yleisimpiä vikoja ovat ajossa tapahtuvat muotoepäkohat sekä alumiinin virtausvääristymät. Puhdistuksen ja korjauksen jälkeen puristussuuttimet merkataan huolletuiksi, ja ne kasataan ja asetetaan kärryille odottamaan uudelleen varastointia.

2.2 Pintakäsittelyprosessi yleisesti

Mäkelä Alu Oy toteuttaa kahta eri pintakäsittelymenetelmää, anodisointia ja pulverimaalausta.

Anodisointi on sähkökemiallinen alumiinin pinnan vahvennusmenetelmä, joka luo profiilin pintaan paksun ja näyttävän suojakerroksen. Mäkelässä harjoitetaan vain luonnonväristä alumiinin värjäystä anodisoimalla, mutta alihankkijoiden kautta on saatavissa myös värillisiä profiileja, mikäli asiakas niin tahtoo. Jatkojalostukseen menevät profiilit yleensä suojataan anodisoimalla, jolloin vähennetään pintaan muodostuvien naarmujen syntyä. (Mäkelä Alu Oy, [viitattu 29.11.2015].)

Pulverimaalaus on edistynein maalaustekniikka, ja maalipinta on lähes yhtä kestävä kuin anodisoitu pinta. Ennen maalausta profiilit puhdistetaan ja käsitellään siten, että profiilin pinta saa aikaan reaktion pulverimaalin kanssa. Värejä on valittavana laaja skaala. Alihankkijoiden kautta on saatavilla myös puukuviointeja ym. maalipintaan. Mäkelässä on kolme maalauslinjaa, joissa on edistynein laitteisto: kaksi vaakamaalaamolinjaa ja yksi pystyalaamo. Ne takaavat myös pienten maalauserien kustannustehokkaan hyödyn. (Mäkelä Alu Oy, [viitattu 29.11.2015].)

2.3 Valuprosessi yleisesti

Valmistusprosessin aikana syntyvä ylijäämä kierrätetään tehtaassa sisällä ja viedään uusiksi puristusaihioksi. Sulattaminen ei heikennä lopputuotetta lainkaan, joten romua voi kierrättää yhä uudestaan ja uudestaan. (Mäkelä Alu Oy, [viitattu 8.12.2015].)

Viiden ensimmäisen vuoden aikana, Mäkelä Alu lähetti alumiiniprofiilien valmistuksessa syntyneet alumiinijätteet Ruotsiin. Sieltä ne tuotiin sulatuksen jälkeen billetteinä Suomeen. (Kivipelto 2000, 95.)

Mäkelän oma valimo valmistui ensimmäisenä tekeillä olevalle kaava-alueelle Vimpelintien toiselle puolelle vuonna 1996. Korkeutta hallilla on 12 m ja lattiapinta-alaa 1600 neliometriä. Valimossa sulatettavasta romusta 90 prosenttia saadaan tehtaasta sisäältä ja loput tuodaan muualta.

Oman valimon kierrätysprosessissa pystytään helposti myös valmistamaan profiilin loppukäyttöön soveltuva alumiiniseos. Oma valimo on myös siinä määrin tärkeä, että kolmannes tarvittavasta alumiiniraaka-aineesta saadaan omana tuot-

tona. Se takaa hyvän jalostusarvon ja raaka-aineen saannin markkinatilanteesta riippumatta. (Kivipelto 2000, 96.)

3 MATERIAALIVIR RAT JA VARASTOT

3.1 Materiaalivirran merkitys tuotannossa

Konkreettisesti materiaalivirralla tarkoitetaan Sakin (2009, 23) mukaan tavaroiden fyysistä kuljettamista ja varastoimista. Materiaalivirtojen analysointi ja lopulta suunnittelu on yksi layoutsuunnittelun peruslähtökohdista (Muther 1973, 5–1). Suotuisinta on suunnitella materiaalivirrat kulkemaan mahdollisimman sujuvasti ja lyhyitä matkoja kerrallaan (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri & Miettinen 2009, 482). Hankintojen ja varastoinnin suunnitteluun on käytettävä yhä enemmän aikaa, sillä turhaan ei tavaraa kannata kuljettaa eikä varastoida (Sakki 2009, 23).

Tuotannossa joudutaan kuitenkin lähes aina varastoimaan joitakin nimikkeitä. Karruksen (2003, 77) mukaan materiaalin varastoinnilla pyritään varmistamaan tuotannon häiriöttömyys, joka johtuisi materiaalivajauksista. Toisaalta materiaalin varastoinnilla pystytään myös takaamaan suotuisampi hankintahinta (Karrus 2003, 77).

Yritysten kustannusrakenteeseen vaikuttavat varastointi sekä kuljetukset aina merkittävillä kustannuksilla. Varastointi sitoo teollisuusyrityksen pääomasta merkittävän suuren osuuden. Nämä tekijät yhdessä ovat aiheuttaneet sen, että varastojen kokoa on pyritty teollisuusyrityksissä huomattavasti pienentämään entisestään. Sen ohella tilaus-toimitusprosessin aikajäniteitä on kuitenkin huomattavasti lyhennetty. Jotta tavoitteet toteutuisivat, edellytetään yrityksiltä todella hyvää materiaalinhallintaa sekä organisointia. (Karrus 2003, 77; Haverila ym. 2009, 443.)

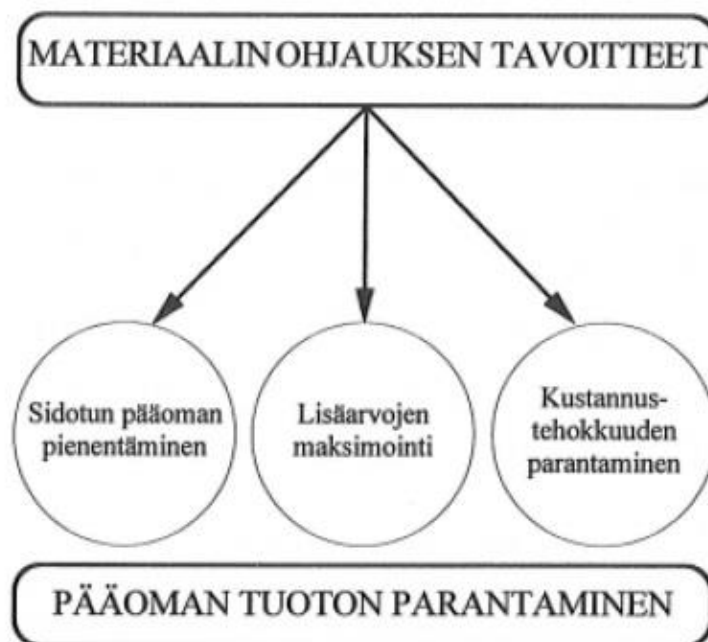
Toimivan materiaalivirran merkitys tuotannossa on siis huomattavan suuri. Ritvasen (2011, 22) mukaan sujuva materiaalivirta vaikuttaa läpäisy aikaan ja sen näkee käytännössä tuotteiden lyhyenä toimitusaikana ja sitä kautta lopuksi asiakkaiden tyytyväisyytenä.

Miettisen (1993, 69) mukaan materiaalinohjaus on materiaalivirtojen ja siihen liittyvien tietovirtojen valvontaa ja ohjausta. Materiaalinohjaus koordinoi kolmea tärkeää toimintoa ottaen huomioon yrityksen muut tavoitteet niin että materiaalivirta on jatkuva ja tasainen ja että kokonaistulos olisi mahdollisimman optimaalinen. Toi-

minnot, joihin materiaalinohjaus on jaettu, ovat hankinta, varastointi sekä kuljetukset ja jakelu. (Miettinen 1993, 69.)

3.2 Materiaalinohjaus

Materiaalin ohjauksen keskeisin tavoite on pyrkiä nopeuttamaan läpimenoaikoja sekä pyrkiä vähentämään lisäarvoa tuottamatonta toimintaa koko yrityksessä eikä vain yhdessä sen osassa (Sakki 1994, 30). Kuviossa 10 on esitetty materiaalinohjauksen päätavoitteet. Materiaalinohjaus vastaa siitä, että valmistuksen aikana tarvittavat oikeat materiaalit ovat saatavissa oikeaan aikaan ja oikean laatuksena oikeassa paikassa. (Sakki 2009, 115; Miettinen 1993, 69.)



Kuvio 10. Materiaalinohjauksen päätavoitteet (Miettinen 1993, 69).

Materiaalinohjaus on hyvin käytännönläheistä toimintaa, sillä se liittyy yhtä läheisesti sekä myymiseen, ostamiseen että valmistamiseen. Materiaalinohjausta ei ratkaista pelkästään tilastomatematiikan keinoin, vaikka siinä matematiikkaa hyödynnetäänkin. Sitä ei myöskään ratkaista pelkästään järjestelmiä kehittämällä, vaikka tietojärjestelmät ovat ohjauksessa hyvin tarpeellisia. Ihmiset, jotka toteutta-

vat ohjausta, ovat kaikkein tärkein osa ohjausjärjestelmää. Heidän tapansa toimia ratkaisee materiaalinohjauksen lopputuloksen. (Sakki 2009, 115.)

Materiaalinohjausta on olemassa kaksi perustyyppiä: tilausohjaus ja varasto-ohjaus. Tilausohjautuvassa menetelmässä mitään ei tehdä tuotannossa ennen asiakkaan tilausta (Karrus 1998, 44). Varasto-ohjautuvassa menetelmässä sen sijaan tilaustarpeen tieto saadaan lopputuotevarastosta. Tietoja pystytään seuraamaan materiaalikirjanpidon avulla. Tuotannon läpimenoaika ja asiakkaiden vaatima toimitusaika määrittävät, mitä tuotannonohjausmuotoa yrityksessä tullaan käyttämään. (Sakki 2009, 120.) Ritvanen (2011, 49) kuitenkin korostaa, että yrityksen sisällä voidaan kausivaihteluiden, valmistusvaiheiden tai jopa eri nimikkeiden kesken käyttää useitakin eri ohjaustapoja.

3.3 Varastojen suunnittelu

Melko harvoin yrityksellä on tilaisuus suunnitella kokonaan uusi varasto. Pourin (1983, 30) mukaan useimmiten varastojen suunnittelussa on kyse jo olemassa olevan varaston tai tilojen käytön tehostamisesta pienin muutoksin, kuten lisärakennelmin. Kokonaan uuden varaston layoutsuunnittelu on rakentamisen vaikein tehtävä (Pouri 1983, 30).

Helpottaakseen tehtävää suunnitteluprosessissa voidaan edetä käyttämällä seuraavia askelia:

- varastoinnille tulevat tavoitteet, sijoitussuunnitelmat ja tarpeiden alustava mitoittaminen
- tontin löytäminen ja sen valinta
- varastoon laitettavien nimikkeiden laatu, niiden säilyvyysvaatimukset sekä varastoitavat määrät
- varaston teknologian valinta
- tontin käyttösuunnitelma ja varastorakennusten alustava mitoitus
- varastorakennuksen tarkka mitoitus ja layout
- tavaroiden sijoittelu varastossa ja työmenetelmien suunnittelu
- varaston järjestelmien suunnittelu
- tulevan henkilöstön koulutussuunnitelmat

- muuttosuunnitelman laatiminen
- lopulliset korjaukset varaston käytön aikana. (Pouri 1983, 30.)

3.3.1 Varaston teknologian valinta

Varaston teknologian valintaan vaikuttavat taloudellisten tekijöiden lisäksi seuraavat kriteerit:

- nimikkeiden säilyvyysvaatimukset ja käsittelystä johtuvat vauriot
- nimikkeen muodot, suuruus ja paino
- varastoitavien tavaroiden määrä
- varastoitavien tavaroiden kiertonopeus. (Pouri 1983, 58.)

Ennen varaston teknologian valintaa on siis syytä selvittää varastoitavien tuotteiden asettamat vaatimukset, joiden avulla varasto tullaan suunnittelemaan ja rakentamaan. Ensimmäinen tehtävä ennen varaston teknologian valintaa on ottaa selvää nimikkeistä ja lajitella ne varastoitavien nimikkeiden säilyvyysvaatimusten perusteella seuraaviin varastotyyppeihin:

- ulkovarasto
- lämmittämätön varasto tai kosteussäädetty varasto
- lämmin varasto
- erikoisvarasto. (Pouri 1983, 55.)

Kuten jo edellä mainittiin, on yksi varaston teknologian valintaan vaikuttava kriteeri nimikkeiden säilyvyysvaatimukset. Siinä on kyseessä oikeiden säilytysolosuhteiden luominen ja ylläpitäminen nimikkeen vaatimusten mukaan. Kuljetusvaurioita sen sijaan nimikkeille voi syntyä tilanteissa, joissa hyllytyyppi vaatii kaikilta varastossa työskenteleviltä henkilöiltä tiettyä huolellisuutta, jota ei voi kaikilta odottaa. Esimerkiksi trukin tartuntalaite on valittu väärin ja se vaurioittaa tavaraa, tai tartuntalaite ei sovi ollenkaan nimikkeen käsittelyyn, esimerkiksi imukuppitarttuja. (Pouri 1983, 58, 60.)

Eniten varaston teknologian valintaan on havaittu vaikuttavan nimikkeen muodot, koko ja paino. Tässä tapauksessa on syytä ottaa huomioon myös tavaran pak-

kaustapa. Kuvion 11 mukaisesti tarjolla olevat teknologiat on jaettu nimikkeiden muotojen, koon ja painon mukaan.

Jako nimikkeen muotojen, koon ja painon mukaan	Tarjolla olevat teknologiat
Kuormalavoilla säilytettävät nimikkeet	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pinonta ilman hyllyjä varastopaikalla 2. Tavanomainen kuormalavahylly, trukkikäsitteily 3. Korkeavarasto 12–15 metriin asti, korkeavarastotrukit (kapeakäytävätrudit) 4. Korkeavarasto yli 12–15 metriä, hyllystöhissit 5. Korkeavarasto yli 12–15 metriä, automaattinosturit 6. Syväkuormausvarastointi 7. Läpivirtaushyllyt (FIFO) 8. Siirtohyllyt (taajahyllyt) 9. Pystysuorat karusellit
Pientavaravarastot	<ol style="list-style-type: none"> 10. Tavanomaiset pientavarahyllyt 11. Korkeavarastohyllyt, hyllystöhissit 12. Laajatasohyllyt 13. Läpivirtaushyllyt (FIFO) 14. Siirtohyllyt 15. Pysty- ja vaakasuorat karusellit 16. Puolilavahyllyt
Pitkän tavaran käsittely	<ol style="list-style-type: none"> 17. Nippuina alustojen päällä 18. Oksahyllyt 19. Siirtohyllyt 20. Pystysuorat karusellit 21. Lokerikkohyllyt

Kuvio 11. Teknologioita erilaisiin varastojärjestelmiin (Pouri 1983, 61, muokattu).

Varastoitavan tavaran määrä voi olla suuri, jos hankintaolosuhteet niin pakottavat. Suuriin varastomääriin vaikuttaa esimerkiksi se, että tavara on suosittu ja sen menekki on suuri, tai tavara voi olla sesonkiluontoista. Tavaramäärien kasvaessa tyyppillinen kehityskulku alkaa pientavarahyllyssä varastoitavista nimikkeistä, jotka kasvavat vähitellen niin suuriksi määräksi, että ne joudutaan siirtämään esimerkiksi kuormalavahyllyyn, rullakkoihin tai häkkeihin. (Pouri 1983, 60.)

Varastoitavan tavaran kiertonopeus käsittää pääosin nopeasti ja hitaasti kiertävien nimikkeiden varastoinnissa sovellettavan teknologian. Joskus on järkevintä tehdä nopeasti kiertäville nimikkeille täysin muista erillään olevan varastonosa, missä

teknologia mahdollistaa nimikkeiden mahdollisimman vaivattoman toimittamisen. Varaston hankalat paikat keräilyn kannalta varataan melkein aina hitaasti kiertävillä nimikkeillä tai nimikkeiden reservipaikoille. (Pouri 1983, 60.)

Lopuksi on hyvä tehdä esimerkiksi kiertonopeusarvio ABC-analyysin avulla sekä selvittää tarvittavien varastopaikkojen määrä. Tämä ei kuitenkaan vielä riitä varastoteknologian valintaan, sillä suurempi merkitys on tulevan varaston toimintatavalla. Tällöin tarvitaan tiedot varaston toimitusaikatauluista ja -tavoista sekä tavaroiden saapumis- ja lähtötiheyksistä. Kun tarvittavat tiedot on saatu koottua, voidaan laitevalmistajille lähettää tarjouspyyntö valituista teknologioista. (Pouri 1983, 55–56.)

3.3.2 Hissityyppinen varastoautomaatti

Opinnäytetyössä varaston teknologiaksi valikoitui Kardex Shuttle XP:n hissityyppinen varastoautomaatti, joten tässä osiossa muut varastoautomaatioon liittyvät varastointitekniikat on jätetty huomiotta.

Hissityyppinen varastoautomaatti on tietokoneohjattu järjestelmä, joka toimii pitkälti automaatiolla. Se tuo tuotteet keräilijälle kerättäväksi peltisillä tasoilla, jotka ovat muokattavissa moneen eri varastointityyppiin. Tason voi esimerkiksi täyttää erikoisilla ottolaatikoilla tai irrotettavilla väliseinillä tuotteiden tyyppin mukaan (kuvio 12). Käyttöaukkoja hissityyppiseen varastoautomaattiin on valittavissa useampia, jopa kerrosten välisiä käyttöaukkoja on mahdollista rakentaa. Ne ovat hyödyllisiä esimerkiksi monikerroksisissa sairaaloissa. Työturvallisuus paranee keräilyaukkojen myötä huomattavasti, kun ei tarvitse kiivetä hyllyjen välisiä portaita tai tehdä korkeita nostoja. (Logistiikan maailma 2016a; Karhunen, Pouri & Santala 2004, 360–361.)



Kuvio 12. Pystysuuntainen hissijärjestelmä varastointiin (Kardex Remstar, 2015a).

Hissityyppisen varastoautomaatin hyötyjä ovat esimerkiksi keräilyn nopeus. Hissi voi tehdä työtä samaan aikaan, vaikka toisen puolen keräilyaukossa olisi toinen taso jonkun toisen keräilijän käsittelyssä. Eli keräily ei katkea, vaikka automaattivarastoa ohjattaisiin molemmilta puolilta. Lisäksi etuna on automaattien joustava kapasiteetin kasvattaminen, mikä antaa paremman käyttömukavuuden kuin muissa monimutkaisemmissa automaattivarastoissa on mahdollista. (Logistiikan maailma 2016a.)

Kardex-varastojärjestelmän etuja ovat:

- tuotteiden hakuajat lyhenevät
- tavaroiden käsittely lisääntyy
- saadaan suurempi varastotila, joka säästää pohjapinta-alaa
- saadaan tarkat inventaariotasot integroimalla varastohallintajärjestelmä
- parempi käyttäjien ja tuotteiden turvallisuus ja suojaus
- parempi työskentelyergonomia

- mahdollisuus modulaariseen laajennettavuuteen. (Kardex Remstar 2015b.)

Mäkelässä työkalujen varastointiin on käytössä Kardex Finland Oy:n pystysuuntainen hissijärjestelmä Kardex remstar Shuttle XP (kuvio 13). Se on automatisoitu pystysuuntainen modulaarinen varastojärjestelmä, joka perustuu ”tavara ihmisen luo” -periaatteeseen. Varaston maksimaalinen korkeus on 30 metriä ja kapasiteetti 60 tonnia, jolloin varaston korkeus hyödynnetään maksimaalisesti minimaalisella pinta-alalla. Kardex Shuttle XP:tä voidaan käyttää yksinään tai linkittää tornit yhdistetyksi järjestelmäksi. (Kardex Remstar 2015a.)



Kuvio 13. Mäkelä Alu Oy:n tuotannossa käytössä oleva Kardexin automaattivarastojärjestelmä.

Varastoautomaatio ei kuitenkaan itsessään tuo lisäarvoa toiminnalle ilman saavutettua hyötyä, kuten kulujen vähentymistä, työn tehostumista tai nopeutumista. Jokaisessa tapauksessa tulee analysoida erikseen automaation piiriin tuotavat

tuotteet, keräiltävä määrä, keräilyyn varattu aika sekä on tutkittava takaisinmaksu-aika järjestelmälle. Suunniteltaessa on myös otettava huomioon tulevaisuudessa eteen tulevat haasteet ja mahdollisuudet. (Logistiikan maailma 2016a.)

4 TOIMINNANOHJAUS

Toiminnanohjaus on termi, joka tarkoittaa yrityksen menettelyä ohjata tuotantoansa. Karkeasti tällä tarkoitetaan yrityksen tilaus-toimitusketjun suunnittelua ja sen hallintaa. Se sisältää tuotannonohjauksesta poiketen lähes koko arvoketjun myynnistä tukitoimintoihin, kuten tuotesuunnittelun ja hankintojen ohjauksen. Käsitteitä käytetäänkin usein toistensa synonyymeina, mutta on kuitenkin hyvä tiedostaa, mistä kulloinkin on kyse. Toiminnanohjaus pyrkii ohjaamaan yrityksen resursseja siten, että tuotannolle asetetut tavoitteet toteutuvat parhaalla mahdollisella tavalla. (Haverila ym. 2009, 397.)

4.1 Tavoitteet

Toiminnanohjauksen tavoitteina ovat yrityksen tuotannon tyypilliset tavoitteet, kuten kustannusten minimointi, aikakilpailukyky, laatu ja joustavuus. Näihin tavoitteisiin pyritään ohjaamalla ja organisoimalla yrityksen resursseja siihen tarkoitetuilla tavoilla. (Haverila ym. 2009, 402.)

Toiminnanohjauksen keskeiset tavoitteet ovat:

- kapasiteetin suuri tuottavuus
- sitoutuneen pääoman minimointi
- toimitusvarmuus
- lyhyt läpimenoaika. (Haverila ym. 2009, 402.)

Nämä tavoitteet ovat osittain ristiriidassa toistensa kanssa. Sillä esimerkiksi hyvä toimitusvarmuus velvoittaa tuotteiden, puolivalmisteiden ja raaka-aineiden varastointia sekä pienten tuotantoerien joustavaa valmistusta. Kun taas pääoman minimointi velvoittaa raaka-ainevarastojen pientä kokoa ja suuri kuormitusaste tuotteiden valmistusta vakioina ja mahdollisimman suurina sarjoina. Toiminnanohjauksen tavoitteena on siis myös selvittää tuotannon ristiriidat ja etsiä ratkaisu, jolla ristiriidassa olevat tavoitteet sovitetaan parhaiten yhteen. (Haverila ym. 2009, 402–403.)

4.2 Tunnusluvut ja mittarit

Yrityksen toiminnanohjauksen havainnollistamisen apuna käytetään useita tunnuslukuja sekä mittareita. Tunnuslukuja käytetään erityisesti toiminnan seurantaan sekä sen avulla asetetaan tuotannon tavoitteet. Taloudellisten tunnuslukujen lisäksi toiminnan johtamisessa tarvitaan omia, toiminnan tuloksia sekä resurssien käyttöä kuvaavia tunnuslukuja. (Haverila ym. 2009, 398.)

Tunnusluvut on kehitetty lähinnä tuotannon johtamiseen ja analyysien tekemiseen tuotannon keskeisten tavoitteiden saavuttamiseksi. Paikkaansa pitävien ja vertailukelpoisten tuloksien saaminen tuotantoprosessista voi olla hankalaa jopa suuritoista, joten tuotannon tunnuslukujen käyttö vaihtelee yritysten välillä huomattavasti. Yrityksien omista tunnuslukujärjestelmistä löytyy usein esimerkiksi ainakin tuotteiden laatua, kustannustehokkuutta, tuottavuutta ja toimitusvarmuutta kuvaavat tunnusluvut. (Haverila ym. 2009, 398.)

4.2.1 Kapasiteetti

Kapasiteetti on tuotantokykyä kuvaava mittari. Kapasiteetti tarkoittaa siis sitä määrää, joka pystytään enimmillään tuottamaan tuotantoyksikössä tietyssä ajassa. Yrityksen markkina-alueesta riippuen kapasiteetti voidaan ilmaista tuoteyksiköissä. Esimerkiksi paperiteollisuudessa yksikkö voi olla tonnia/tunti tai tonnia/päivä, kun taas betonielementtiteollisuudessa kapasiteettiyksikkönä voidaan ilmaista neliömetriä/päivä. Joskus eri tuotteet vaativat erilaisen määrän kapasiteettia, ja silloin kapasiteetti voidaan ilmoittaa esimerkiksi tuntia/viikko. (Haverila ym. 2009, 399.)

Korkean tuottavuuden yksi tunnusmerkki on kapasiteetin korkea kuormitussuhde. Tämä tarkoittaa sitä, että tuotannossa tietyn ajanjakson suhteen yksikkö on tuottavassa käytössä maksimikapasiteettiin verrattuna eli suurimman osan ajastaan. Koneiden ja laitteiden korkeaa kapasiteettia pyritään ylläpitämään valmistamalla vakiotuotteita suurina sarjoina. Erilaiset parametrien säädöt, asetussajat sekä työkappaleiden tai työkalujen vaihdot vähentävät kuormitussuhdetta. Tuottavuus siis paranee valmistettaessa mahdollisimman häiriövapaita tuotteita suurina sarjoina, jolloin esimerkiksi asetussajat eivät hukkaa kapasiteettia. Kuormitussuhde voidaan

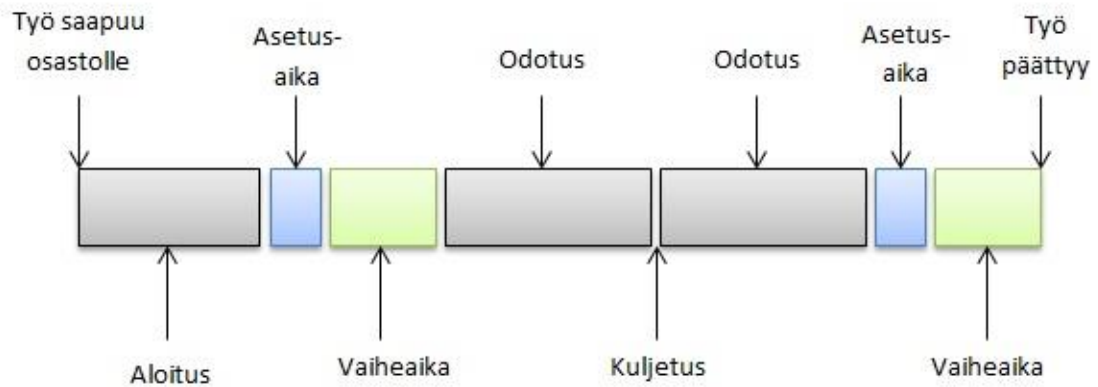
laskea yksikkökohtaisesti yksinkertaisella kaavalla (1). (Haverila ym. 2009, 400, 403.)

$$\frac{Kuormitus*100\%}{Kapasiteetti} = Kuormitussuhde \quad (1)$$

Kapasiteetin suunnittelussa tarkastellaan keinoja kapasiteetin lisäämiseksi tai pienentämiseksi tuotannossa. Kapasiteetin lisäämisen keinoja ovat esimerkiksi työntekijöiden- ja työvuorojen lisäys, hankitaan tehokkaampi kone tai lisätään konekantaa tai jopa uuden valmistusyksikön perustamisella. Edellä esitetyt keinot ovat hitaita ja pitkäaikaisia prosesseja. Operatiivisilla joustavuuden keinoilla, kuten ylitöillä, mahdollisilla työaikajoustoilla sekä työtehtävien vaihdoilla saadaan aikaan nopeampi kapasiteetin lisäys, mutta muutosta tapahtuu vaivaan nähden suhteellisen vähän. Nämä keinot on hyvä jättää tuotantosuunnitelmaa tehtäessä tasaamaan kuormituksen vaihtelevuutta. Tuotantosuunnitelman laatiminen niin tarkasti, että kaikki valmistusyksiköt kuormittuisivat tasaisesti, on lähes mahdotonta. Kuormituksen taseus joudutaan tekemään vasta valmistuksessa. Lyhytaikainen taseus tapahtuu edellä mainituilla operatiivisen joustavuuden keinoilla. (Lapinleimu, Kauppinen & Torvinen 1997, 202–203.)

4.2.2 Lämpäisy aika

Lämpäisy aika, josta käytetään myös nimitystä läpimenoaika on käytännössä aika, joka kuluu jonkin toimintakokonaisuuden alkamisesta sen päättymiseen (Lapinleimu ym. 1997, 53). Lämpäisy aika on tuotannon kapasiteetin ohella tuotannossa tärkeä tehokkuuden mittari. Lämpäisy aikojen mahdollinen lyhentäminen on myös havaittu auttavan toiminnanohjauksen ristiriitaisten tavoitteiden toteuttamisessa (Haverila ym. 2009, 404). Kuviossa 14 on esitetty lämpäisyajan toimintaketju, josta nähdään eri vaiheiden vaatimat ajat palkkeina.



Kuvio 14. Tuotteen läpäisyajan kaaviokuva
(Haverila ym. 2009, 401, muokattu.)

Tuotteen valmistuksen läpäisyaikaa dominoi kunkin vaiheen aloitukseen kuluva odotusaika. Odotusaika kasvaa suhteessa valmistuksessa käytettävien vaiheiden lukumäärän mukaan. Kuvioista 14 nähdäänkin, mitkä osat tuotteen läpäisyajasta menevät pelkästään odotusaikaan sekä kapasiteettia kuormittamattomaan aikaan. Valmistuksessa vain murto-osa kokonaisajasta muodostuu tuotteen työvaiheajoista. Näin ollen läpäisy aika ei kuvaa tuotteen valmistukseen kuluva todellista valmistusaikaa. (Haverila ym. 2009, 401; Lapinleimu ym. 1997, 53.)

Lyhyiden läpäisyajojen tavoittelulla on monia positiivisia vaikutuksia tuotannon toimintaan, saadaan parempi käyttöaste koneille ja laitteille, lyhyemmät toimitusajat, välivarastot pienenevät sekä virheet havaitaan nopeammin. Tosin läpäisyajojen lyheneminen voi johtaa tuotannon nopeisiin pysähdyksiin häiriöiden helpon havaittavuuden takia. Näin ollen toiminnan laadun kehitys sekä ennaltaehkäisevät toiminnot ovat koko järjestelmän kehityksen ja toimivuuden edellytys. (Haverila ym. 2009, 406–407.)

Asetusaikojen lyhentämisellä mahdollistetaan myös pienien tuotantoerien valmistus. Asetusajalla tarkoitetaan sitä aikaa, joka kuluu työpisteessä vaihdettaessa tuotteesta toiseen. Kunkin tuotantoerän aikana asetus tehdään vain kerran. Työkappaleiden vaihtoa, joka tapahtuu erän aikana, ei lasketa asetusajaksi. Asetusaika muodostuu siis pelkästään tuotantoerän aloitukseen liittyvistä toiminnoista, kuten esimerkiksi työkalujen vaihdosta, raaka-aineen vaihdosta, kiinnittimien vaih-

dosta ja ohjelman muuttamisesta. Asetusajan pituus kertoo tuotantoerän kannattavuudesta: mitä pidemmät asetajat ovat, sitä pienemmät tuotantoerät eivät ole enää taloudellisesti kannattavia. (Haverila ym. 2009, 406.)

Läpäisyajat asiakasohjautuvassa tuotannossa eli tuotannossa asiakkaan tilauksen mukaan edellyttävät läpäisyajojen puolittamista haluttuun toimitusaikaan nähden. Tämä muodostaa tuotannossa pullonkaulan, sillä asiakasohjautuvassa tuotannossa ei tulisi olla välivarastoja kuin korkeintaan eräkokosyistä. Ilman välivarastoja taas toimitusvarmuus kärsii, ja on melko mahdotonta palvella asiakasta tuotannon läpimenoaikaa nopeammin ja silloinkin vain varastojen puitteissa. (Lapinleimu ym. 1997, 55.)

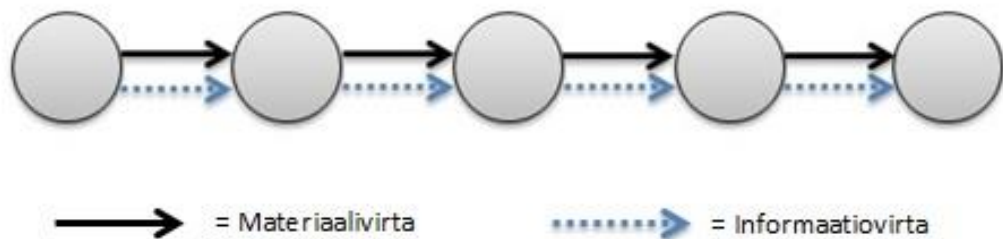
4.3 Toimintamallit

Toiminnanohjaus on jaettavissa imuohjaukseen ja työntöohjaukseen. Toimintamallien tärkein ero on siinä, mikä ohjaa materiaalivirtaa. Työntöohjauksessa suunnitteluorganisaation tekemä suunnitelma ”työntää” tilaukset tuotannon läpi, imuohjauksessa kyseinen valmistuksen vaihe ”imee” tarpeen mukaan materiaaleja edeltävältä vaiheelta. Imusta ja työnnöstä käytetään englannin kielen termejä *pull* ja *push* (control). (Logistiikan maailma 2016b.)

4.3.1 Työntöohjaus

Työntöohjaus on erillisen suunnitteluorganisaation tekemä valmistusmetodi. Suunnittelu toteutetaan siten, että tuotantoerä ”työnnetään” valmistusprosessin läpi. Työntöohjaus on eniten käytetty toiminnanohjauksen toimintamalli, joka soveltuu kaikkiin tuotantomuotoihin. Työntöohjaus on kuitenkin osoittautunut melko hankalaksi toteuttaa suurien ja monimutkaisten tuotantoketjujen ohjauksessa. Ongelmat ilmentyvät todellisen valmistustilanteen ja suunnitelman ristiriitaisuuksien selvityksessä. Suunnitelmat eivät aina toteudu luontevasti valmistusprosessissa, toisaalta valmistus ei aina läheskään mene suunnitelmien mukaan. Pitkissä valmistusprosesseissa ongelmista aiheutuu yleensä vaiheiden välisiä varastoja, jotka pidentävät läpäisyaikaa huomattavasti. Tämä hankaloittaa valmistuksen suunnitte-

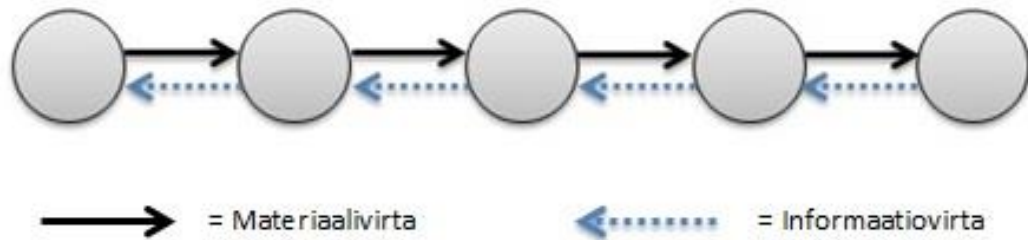
lua ja tuotannonohjausta entisestään, koska hallittavien asioiden määrä lisääntyy. Työntöohjaus on hyvä toiminnanohjauksen toimintamalli, joka edellyttää hyvää laatua ja kurinalaista toimintaa. Työntöohjaus vaatii lisäksi toimiakseen selkeän ja hallittavissa olevan valmistusprosessin. (Haverila ym. 2009, 422.) Kuviossa 15 on esitetty työntöohjauksen periaate ohjausimpulssien ja materiaalin virtana tuotanto-prosessin läpi. Pallot kuvaavat työvaiheita, ehjä nuoli materiaalivirtaa sekä katkoviivanuoli ohjausimpulssin kulkusuuntaa.



Kuvio 15. Työntöohjauksen periaate (Haverila ym. 2009, 423, muokattu.)

4.3.2 Imuohjaus

Imuohjaus eroaa työntöohjauksesta siten, että siinä ideana on valmistaa tuotteita vain välittömään tarpeeseen. Siinä valmistuksessa käytettäviä osia "imetään" tuotantoon vain täsmälleen tarpeen verran. Imuohjauksessa ohjausimpulssit kulkevat vastapäivään materiaalivirran kanssa eli loppupäästä alkupäähän. Imuohjaus hoi-tuu käytännössä pienten välivarastojen kautta, joiden kautta ohjausimpulssit vies-tittävät tuotannossa tarvittavan osan tiedot. Tilausimpulssija välitetään tuotannos-sa eteenpäin imuohjauskorttien eli kanbanien avulla. Tilausimpulssi syntyy kun osia käytetään puskurivarastosta ja valmistusimpulssi esimerkiksi tyhjän laatikon palattua takaisin paikalleen. Imuohjaus sopii vakiotuotteille, joilla on suhteellisen tasainen menekki, koska muutoin imuohjauspuskureiden rakentaminen olisi mah-dotonta. Toimiva imuohjaus edellyttää tuotannolta nopeaa läpäisyäikää sekä mutkatonta valmistusta. Yhdenkin valmistusryhmän ongelmat pysäyttävät tuotannon herkästi. (Haverila ym. 2009, 422–423.) Kuviossa 16 näkyy imuohjauksen vastak-kainen virta, jossa ohjausimpulssit kulkevat prosessissa loppupäästä alkupäähän.



Kuvio 16. Imuohjauksen periaate
(Haverila ym. 2009, 423, muokattu.)

4.4 Erilaisten tuotannonohjausperiaatteiden vertailu

Miettisen (1993, 49) mukaan tuotannonohjausperiaatteella tarkoitetaan tapaa, jolla yrityksen tuotannonohjaus pääpiirteissään toteutetaan. Tässä kappaleessa esitellään niistä kolme yleisintä toiminnanohjaustekniikkaa: MRP II, JIT ja LEAN.

4.4.1 MRP II

Materiaali- ja resurssitarvesuunnittelu eli MRP II, (Manufacturing Resource Planning) on USA:sta 1970-luvulta lähtöisin oleva tuotannonohjaustekniikka. MRP II on MRP:n (Materials Requirements Planning) kokonaisvaltaisempi versio, joka perustuu materiaalin tarvelaskennan lisäksi myös eri töiden vaatimien kapasiteettien suunnitteluun. MRP II -ohjaus toteutetaan yleensä tietokonepohjaisesti, jolloin eri tuotannonohjauksien suunnitelmien toteuttaminen käy yleensä nopeammin. Ohjaus vaatii suurehkoa laskentatehoa ja koska ohjaukseen vaadittiin nykyaikaisia koneita, sen yleistyminen kesti pitkän tovin ja on siten yhä suosittu tuotannonohjauksellinen keino monessa yrityksessä. MRP II -tapaa on kritisoitu sen tavasta olettaa, että esimerkiksi kaikilla laitteilla on rajaton kapasiteetti sekä siitä, että läpimenoajat on asetettu kiinteiksi. Ohjelma ei siis optimoi lainkaan eri vaihtoehtoja, mikä voi johtaa esimerkiksi siihen, että läpäisyajat pitkittyvät ja varastot kasvavat liian suuriksi. (Miettinen 1993, 50.)

4.4.2 JIT

1980-luvun alussa alettiin etsiä uutta toiminnanohjaustapaa, koska silloiset MRP- ja MRP II -tavat eivät vastanneet enää yrityksen kysyntään. Tähän ajaututtiin, koska kilpailu asiakkaista koveni ja pääoman hinta nousi. (Miettinen 1993, 51.)

JIT-tuotanto tulee sanoista ”Just In Time”. Sillä tarkoitetaan Japanissa syntynyttä massateollisuusmallista rajusti poikkeavaa toimintamallia. Suomessa toimintamallista käytetään käännöstä JOT, ”juuri oikeaan tarpeeseen”. Nimensä mukaisesti toimintamallissa pyritään tekemään tuotteita vain välittömään tarpeeseen. JIT sopii hyvin tuotantoon, jossa materiaalivirrat ovat selkeitä ja samaa tuotetta valmistetaan toistuvasti pienin väliajoin. (Haverila ym. 2009, 361.)

JIT-tuotannossa pätevät seuraavat tavoitteet ovat:

- kaiken ylimääräisen hukan poistaminen
- ongelmien ratkaisu
- tuotantoon ja varastoihin sitoutuneen pääoman minimoiminen
- pullonkaulailmiöiden poistaminen
- virtaviivaisen tuotannon saavuttaminen
- asetusajojen lyhentäminen. (Khanna 2006, 441; Miettinen 1993, 51–52.)

Perinteiseen massatuotantoon verrattuna, jossa valmistus ja hankinnat pyrittiin toteuttamaan mahdollisimman suurissa erissä, JIT-tuotannossa materiaalivirrat pyritään pitämään ohuina ja nopeina kustannusten minimoimiseksi. Kaiken turhan poistamisella tarkoitetaan lähinnä turhia varastoja, keskeneräistä tuotantoa (KET), joka ei ole työn alla, sekä turhaa työtä esim. työkalujen etsimiseen käytettyä aikaa. Virtaviivaisella eli virtautetulla tuotannolla valmistus jaetaan kokonaisuuksiin, jotka ovat pieniä ja helposti hallittavia. Pyritään mahdollisimman virtaviivaiseen tuotantoon, joka toteutetaan muuttamalla funktionaalinen valmistusryhmä pienemmiksi tuotantolinjoiksi tai tuotantosoluiksi. Ohjauksessa huomio kohdistuu näin ollen linjaa tai soluun, ei vain yksittäiseen työvaiheeseen. (Miettinen 1993, 52–53; Haverila ym. 2009, 361.)

Miettisen (1993,54) mukaan asetusajojen lyhentäminen on yksi tärkeimmistä JIT:n tavoitteista sen kauaskantoisuudellaan. Asetusaikoja lyhentämällä pyritään

joustavaan tuotantoon, jolloin saataisiin myös esimerkiksi varastojen kokoa sekä varastoihin sitoutunutta pääomaa pienennettyä. Mutta koska lyhyet läpäisyajat, pienet puskurivarastot sekä toiminnan lyhyt aikajänne eivät anna mahdollisuutta virheellisille toiminnoille, on tehdas hyvin häiriöherkkä. Tästä syystä olisi suotavaa, että kaikki tuotannon osapuolet olisivat selvillä virheiden vaikutuksista sekä heidän tulisi pyrkiä välttämään viimeiseen asti virheiden syntyminen tuotannossa. (Miettinen 1993, 54; Haverila ym. 2009, 361.)

4.4.3 Lean-toiminta

Lean-toimintamalli eli Lean Management syntyi Japanissa Toyotan tuotantoperiaatteiden pohjalta. Toimintamallia leimaa keveys ja joustavuus. Sana lean voidaan suomentaa hoikaksi tai solakaksi toiminnaksi, jossa kaikki turha ja lisäarvoa tuottamaton työ pyritään eliminoimaan ja toiminnassa keskitytään asiakasarvon tuottamiseen. Lean-toiminta levisi ensiksi autoteollisuuteen ja on sittemmin johtava tuotantoperiaate melkein kaikilla toimialoilla. Lean-toiminta pohjautuu osaksi edellä esiteltyyn JIT-tuotannon periaatteisiin. (Miettinen 1993, 61; Kouri 2010, 6.)

Joitakin kevyen ja joustavan toiminnan periaatteita ovat seuraavat:

- asiakaskeskeisyys
- laatu kaikessa mitä tehdään
- jokainen vastuussa omasta työstään
- resurssit mitoitettu tarpeiden mukaan
- henkilöstön yhteistoiminta
- jatkuva parantaminen (Kaizen)
- selkeä, virtautettu ja joustava tuotantojärjestelmä sekä imuohjaus. (Miettinen 1993, 61–62.)

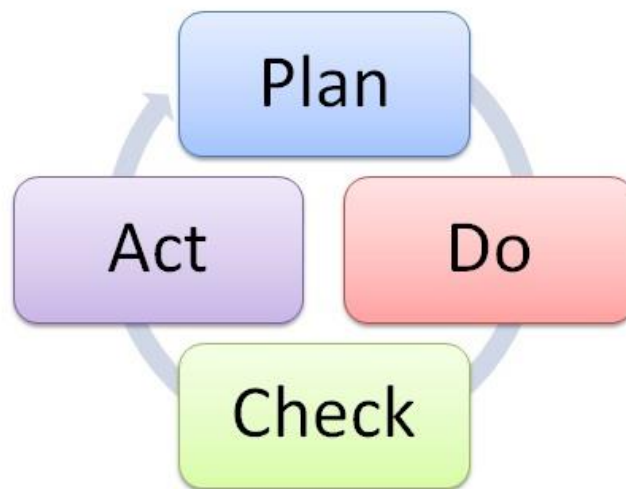
Hukka. Tuottavuuden parantaminen Lean-ajattelussa ei lisääny työntekijöiden työtahdin kiristämällä, vaan turhien ja kapasiteettia kuormittavien hukkien poistamisella. Erilaiset hukkailmiöt estävät tehokkaan työn tekemisen. Käytännössä tällä tarkoitetaan kaikkea arvoa lisäämätöntä työtä, kuten:

- ylituotantoa
- odottelua ja viivästyksiä

- tarpeetonta kuljettamista
- laatuvirheitä
- tarpeettomia varastoja
- ylikäsittelyä
- tarpeetonta liikettä työskentelyssä. (Kouri 2010, 10–11.)

Erilaiset hukkailmiöt syövät tuotannon kapasiteettia sekä estävät tehokkaan työn tekemisen. Kun kyseiset hukkailmiöt saadaan poistettua, työn tuottavuus sekä laatu paranevat. Listan ulkopuolella, kahdeksantena hukkana on pidetty yhtä pahimmista hukkailmiöistä, joka on työntekijän aivokapasiteetin ja osaamisen luovuuden käyttämättä jättäminen. (Kouri 2010, 10; Logistiikan maailma 2016c.)

Jatkuva parantaminen. Jatkuva ja systemaattinen parantaminen eli kaizen on osa lean-kehitystoiminnan perustaa. Siinä vastuu tuotteen laadusta ja kehitystoiminnasta on jokaisella työntekijällä, virheisiin tartutaan heti ja paneudutaan oireiden sijasta vain taudin aiheuttajiin. Ongelmat tulisi nähdä tilaisuutena kehittää laatua, työturvallisuutta ja työskentelymotivaatiota, sillä esimerkiksi varastojen poistamisen ja tuotannon virtauttamisen jälkeen tulee esille runsaasti ongelmia, jolloin yrityksellä tulee olla valmiudet ratkaista nämä ongelmat, jotta myös toiminta kehittyisi. Kaiken kaikkiaan niin laadun kehittäminen kuin prosessien toimivuus parantaa koko yrityksen toimintaa ja näin ollen myös yrityksen kannattavuutta. Jatkuva parantaminen kannattaa kehitellä oheisen kuvion 17 PDCA-syklin mukaisesti. (Miettinen 1993, 63; Kouri 2010, 14.)



Kuvio 17. Jatkuvan parantamisen rakenne eli PDCA-sykli. (Kouri 2010, 15, muokattu.)

- suunnittele parannustoimenpide (Plan)
- suorita muutoksesta testihanke (Do)
- arvioi testihankkeen onnistumiset ja epäonnistumiset (Check)
- toteuta parannustoimenpide kohdealueella (Act)
- jatka toimenpiteiden kehittämistä. (Kouri 2010, 15.)

PDCA-syklin lyhenne tulee siis sanoista Plan-Do-Check-Action. Demingin ympyränäkin tunnettu sykli on perinteinen laadunkehityksen menetelmä, joka tukee jatkuvaa parantamista. Sen avulla pyritään takaamaan toiminnan jatkuvuus sekä systematisoimaan yrityksen kehitystoimintaa. (Haverila ym. 2009, 381; Logistiikan maailma, 2016c.)

4.5 Toiminnanohjauksen tietojärjestelmät

Tuotannossa keskeiseksi ongelmaksi muodostuu yleensä se, että saadaanko oikea määrä oikeita tuotteita oikeaan paikkaan ja oikeaan aikaan. Lisäksi kaiken pitäisi tapahtua vieläpä yritykselle kannattavasti. Tärkeiksi kysymyksiksi muodostuvat tällöin, miten esimerkiksi halitaan ja ohjataan materiaaleja, toimitusaikoja, tuotesuunnittelua ja kapasiteettia. Käytännön tietojärjestelmissä suureksi ongelmaksi on muodostunut sovellusten pitäminen riittävän ajantasaisena. Yrityksen

tuotannon on päästävä tekemään sille tarkoitettua tuottavaa työtä, eikä aikaa saa tuhjata massiivisten tietojärjestelmien ylläpitoon. Tämä edellyttää, että ohjattavia muuttujia on järkevä määrä. Avainsana tuotannon toiminnanohjauksen tietojärjestelmien käyttöönotossa on siis yksinkertaistaminen. Tämä ei tarkoita, että tuotannosta jäisi jotain paitsi, vaan yksinkertaistamalla toiminnassa havaitaan selkeät kokonaisuudet. Lisäksi näihin kokonaisuuksiin tulee laatia tarkat ohjeet, joiden mukaan toimitaan aina samalla tavalla. Tärkeää on myös se, ettei järjestelmää rakenneta nykytoiminnan päälle ilman rakentavaa palautetta. (Lapinleimu ym. 1997, 237–238.)

Tietojärjestelmät yleistyvät yrityksien tietojen hallinnassa ja toiminnanohjauksessa jatkuvasti. Nykyaikainen, suuri tai keskisuuri yritys ei kykene enää pitämään kirjaa tuotannosta ilman toiminnanohjauksen tietojärjestelmää. Näitä järjestelmiä kutsutaan yrityksen resurssien suunnitteluksi eli lyhemmin ERP-järjestelmiksi (Enterprise Resource Planning).

Toiminnanohjauksen tietojärjestelmien keskeisemmät tehtävät ovat:

- ylläpitää perustietoja
- hallita tuotannon tapahtumatietoja
- välittää tietoja organisaation sisällä
- laatia ja ylläpitää suunnitelmia
- kerätä ja ylläpitää toteumatietoja
- tuottaa asiakirjoja ja dokumentteja
- pitää yllä tilastoja ja raportteja. (Haverila ym. 2009, 430.)

ERP-järjestelmien avulla pidetään siis kirjaa yrityksen perustiedoista sekä eri tuotannon tapahtumiin perustuvista tiedoista. Yrityksen eri toimintojen vaatimaa tietojenhallintaa, ohjausta ja suunnittelua hoidetaan näiden järjestelmien avulla. ERP-järjestelmät sisältävät kaikki toiminnanohjauksessa tarvittavat atk-ohjelmistot. (Haverila ym. 2009, 430.)

ERP-järjestelmän keskeinen idea liittyy pitkälle vietyyn integrointiin, jonka osapuolina ovat tietojenkäsittely ja toiminnanohjaus. Tietojenkäsittelyssä tämä tarkoittaa sitä, että kerran järjestelmään luotu tieto on kaikkien saatavilla eikä sitä tarvitse luoda järjestelmään enää toistamiseen. Tietoteknisen integraation avulla tieto voi-

daan välittää kaikille osapuolille riippumatta siitä, missä tietojärjestelmän osassa tieto on kulloinkin luotu. Tämä helpottaa suuria, monissa toimipisteissä toimivia yrityksiä, jolloin yrityksen kaikki tietojenkäsittely voi tapahtua yhdessä ainoassa ERP-järjestelmässä. (Haverila ym. 2009, 430.)

ERP-järjestelmällä saavutetut hyödyt ovat:

- tietojen käsittely yrityksen sisällä tehostuu
- eri toiminnot kyetään suunnittelemaan paremmin
- resurssien käyttö tehostuu
- tapahtumiin reagoidaan nopeammin
- tietojenkäsittely nopeutuu
- hallitaan paremmin tilaustietoja ja toimituksia
- raportointien ja tunnuslukujen käyttö paranee
- liiketoiminnan johtaminen helpottuu
- asiakastietoja kyetään hallitsemaan paremmin
- hankintojen ohjaus tehostuu. (Haverila ym. 2009, 431.)

Ongelmat, joita saattaa ilmaantua ERP-järjestelmissä, liittyvät usein suoraan järjestelmän vahvuuksiin. Integroitu, kaiken kattava ERP-järjestelmä on usein kallis ja monimutkainen sekä aikaa vievä prosessi. Tietojärjestelmän toiminnan muokkaaminen kunkin yrityksen omiin tarpeisiin osoittautuu hankalaksi toteuttaa. ERP-järjestelmät on rakennettu palvelemaan laajaa asiakaspiiriä, joten yksittäisen toiminnon toteutuksessa se saattaa olla hieman hankalakäyttöinen. ERP-järjestelmän pitkälle viety tietotekninen integrointi vaatii eri toimintojen kurinalaista ylläpitämistä, mikä voi tuntua monista käyttäjistä turhan vaivalloiselta. (Haverila ym. 2009, 431.)

5 LAYOUT

Layout on vakiintunut termi, jolla tarkoitetaan tuotantojärjestelmän eri osien, kuten laitteiden, koneiden, varastopaikkojen ja kulku- sekä kuljetusväylien, toisin sanoen tuotannon fyysisten osien sijoittelua tehtaassa. Tällainen suunnittelu vaikuttaa merkittävästi kohteena olevan tuotannon logistiseen toimivuuteen sekä investointi-että käyttökustannuksiin. (Haverila ym. 2009, 475; Karrus 2003, 141.)

5.1 Layoutsuunnittelu

Layoutsuunnittelu on monimutkainen prosessi, johon vaikuttaa useiden tekijöiden summa. Koska optimaalista ratkaisua ei kaikkien tekijöiden suhteen ole aina löydettävissä, on tuotantojärjestelmän layout yleensä aina kompromissi. Tuotannollinen yksikkö on aina ensisijaisesti suunniteltava mahdollisimman tehokkaaksi tuotantoympäristöksi. Keskeisin kriteeri layoutsuunnittelussa on pidettävä funktionaalisen eli tuotannon tarpeiden mukaisena vaikka esteettiset tavoitteet olisivat tärkeitä. Vaikka tuotannon layoutsuunnittelussa tärkeimpinä tavoitteina pidetään muun muassa laiteinvestointien, tilan maksimaalisen käytön sekä läpimenoaikojen minimoimista, on myös henkilöstön hyvinvoinnista, ergonomiasta sekä työturvallisuudesta pidettävä erityistä huolta. (Haverila ym. 2009, 480–481; Karrus 2003, 142.)

Layoutsuunnittelu on tärkeää tehdä kunnolla, sillä jos layout osoittautuu epäonnistuneeksi materiaalivirroista voi pahimmillaan tulla melko sekavia ja pitkiä, prosessin läpimenoajat ja asiakasjonot kasvavat sekä ennustettavuudesta tulee vaikeaa. Nämä tekijät aiheuttavat yritykselle huomattavia kuluja. Huonot layoutmuutokset aiheuttavat myös asiakkaissa tyytymättömyyttä, tuotannossa sekaannusta sekä muutoksen aikana menetetään arvokasta tuotantoaikaa. Layoutmuutokset ovat hankalia sekä yritykselle kalliita toteuttaa, jonka vuoksi niitä ei kovinkaan usein haluta tehdä. (Slack, Chambers & Johnston 2007, 187.)

Materiaalivirtojen tehokas suunnittelu on yksi keskeisimpiä tuotannon layoutsuunnittelun tavoitteita. Layoutsuunnittelu alkaa tiedonkeruulla, jolla selvitetään tuotan-

toyksikön materiaalinkulku sekä toimintojen riippuvuus toisistaan. Osastojen ja työpisteiden sijoittelua suunniteltaessa tavoitellaan mahdollisimman lyhyitä siirtomatkoja sekä pyritään minimoimaan materiaalien kuljetuskerrat pisteiden välillä. Työpisteet tulisi siis sijoitella niin, että materiaalien siirtoetäisyydet jäisivät mahdollisimman pieniksi. Tuotannon layoutsuunnittelussa tulisi ehdottomasti välttää mutkittavaa materiaalinkulkua, välivarastoja sekä edellä mainittuja pitkiä siirtomatkoja, koska ne aiheuttavat tuotannossa sekä viiveitä että kasvattavat ylimääräisiä, tuotantoa ylikuormittavia puskurivarastoja. Materiaalivirtojen hallinta on siis hyvin tärkeässä roolissa yrityksen tuotannonsuunnittelussa. (Haverila ym. 2009, 482; Karrus 2003, 142.)

Hyvän layoutin ominaisuuksia ovat:

- mahdollisimman selkeät materiaalivirrat
- joustava ja helposti muunneltavissa oleva layout
- pieni materiaalien siirtotarve
- lyhyet kuljetusmatkat
- valmistus, joka vaatii erityisosaamista, on keskitetty samaan paikkaan
- tehtaan sisäiset palvelut on sijoitettu käyttöpaikkojen tuntumaan
- materiaalien jakelu ja vastaanotto on tehokasta
- tehtaan sisäinen kommunikaatio on helppoa
- erityistarpeet eri valmistusvaiheiden välillä on otettu huomioon
- tilankäytön tehokkuus on maksimissaan
- henkilöstön tyytyväisyys ja erityisesti työturvallisuus on otettu suunnittelussa huomioon. (Haverila ym. 2009, 482.)

Kuten edellä mainittiin, on hyvän layoutin oltava joustava ja suhteellisen helposti muunneltavissa oleva. Tuotannon layoutsuunnittelussa on otettava huomioon yrityksen mahdolliset tulevaisuuden laajennus- ja muutostarpeet. Uusia tuotteita kehitetään jatkuvasti, jolloin tuotantomäärien ja tuotetyyppien muuttuessa layoutia on pystyttävä muokkaamaan mahdollisimman helposti. Erityisesti raskaiden ja vaikeasti siirrettävien koneiden ja laitteiden suunnittelussa tulee ottaa huomioon yrityksen tuotantotilojen mahdolliset muutostarpeet. Maalaus- ja tuotantolinjat, raskaat koneet sekä kiinteät varastorakennelmat ovat hyviä esimerkkejä raskaista ja vaikeasti siirreltävästä koneista, joiden suunnittelu tulee tehdä niin, ettei niistä ole hait-

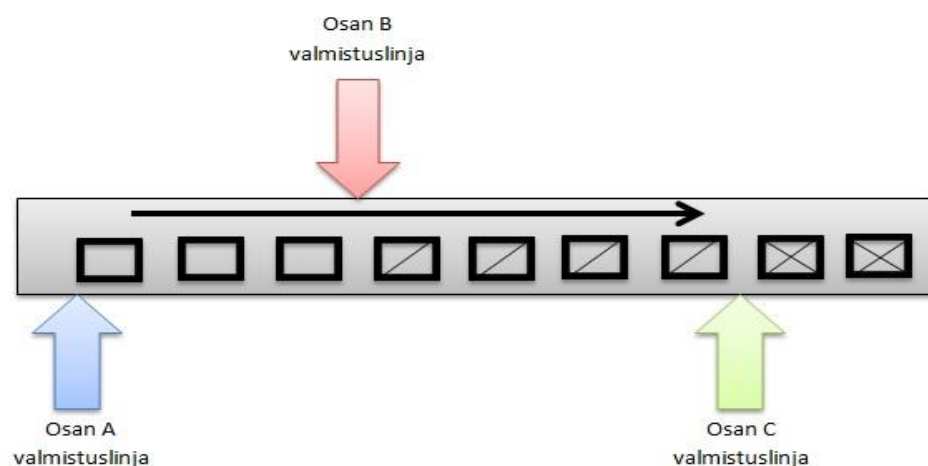
taa tuotannon layoutin myöhempää kehittämistä ajatellen. (Haverila ym. 2009, 482.)

5.2 Layouttyypit

Layoutit voidaan jakaa kolmeen eri päätyyppiin työnkulun ja tuotantolaitteiden sijoittelun perusteella. Nämä kolme päätyyppiä ovat tuotantolinjalayout, funktionaalinen layout ja solulayout. (Haverila ym. 2009, 475.)

5.2.1 Tuotantolinjalayout

Tuotantolinja on erikoistunut tietyn tuotteen valmistamiseen, jossa koneet ja laitteet on järjestelty tuotteen valmistusprosessin mukaisesti. Kokoonpanolinjan tuotantolinjalayout on esitetty kuviossa 18. Työvaiheiden välillä voidaan käyttää mekaanisia kuljettimia, mikä tekee työnkulusta selkeää ja tehokasta. On mahdollista, että kokoonpanolinjalla on vaiheita, joita kaikki tuotteet eivät vaadi. Silloin tällaiset vaiheet sivuutetaan ja niiden läpäisy aika on 0. Kokoonpano ja kappaleiden käsittely hoidetaan pääosin automaatiolla. (Lapinleimu ym. 1997, 81; Haverila ym. 2009, 475.)



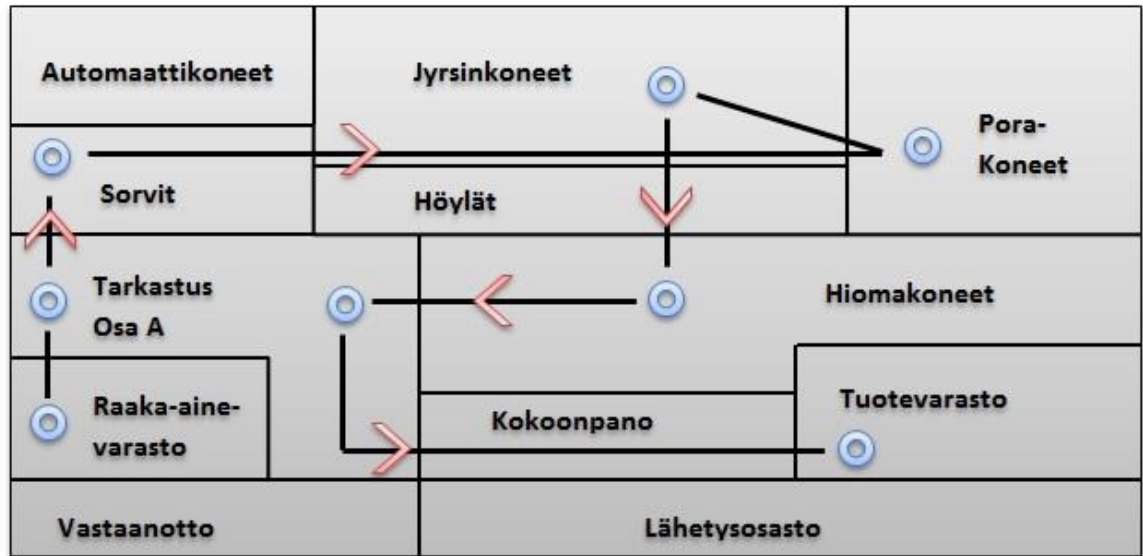
Kuvio 18. Tuotantolinjalayout
(Haverila ym. 2009, 476, muokattu.)

Tuotantolinjojen välillä voidaan pitää myös puskurivarastoja keskeneräiselle tuotannolle (KET). Tällaisia tuotantolinjoja kutsutaan epätahtilinjoiksi. Tuotantolinjoja, jonka työasemien välissä ei ole puskurivarastoja, sanotaan tahtilinjoiksi. Tahtilinjoissa jokainen kappale vaihdetaan yhtäaikaan tai peräkkäin tahdissa viimeisestä vaiheesta alkaen. Kapasiteetin tahtilinjoissa määrää pisimpään työvaiheen aika kappaleenvaihdot mukaan lukien. Tätä aikaa sanotaan myös tahtiajaksi, koska se on aika, jonka jaolla kappaleet valmistuvat. (Lapinleimu ym. 1997, 81, 83.)

Tuotantolinjan rakentamisen edellytyksiä ovat suuri volyyymi ja korkea kuormitus. Tuotteiden valmistuskustannukset jäävät pieniksi suurien valmistusmäärien ansiosta vaikka tuotantolinjojen rakentamisen kustannukset ovat suuret. Tuotantolinjat sietävät huonosti häiriöitä, koska ne vaikuttavat koko tuotantolinjan toimintaan. Laadunvalvonta on hyvin tärkeää, sillä häiriöiden kustannukset voivat nousta nopeasti ja linja voi helposti valmistaa myös virheellisiä tuotteita. Tuotantolinjoilla toteutetaan pitkiä tuotantosarjoja, koska asetusajat ovat tavallisesti myös pitkiä. Tuotannonohjaus on tuotantolinjan selkeyden vuoksi helppoa ja linjoja ohjataan käytännössä yhtenä kokonaisuutena. (Haverila ym. 2009, 475–476.)

5.2.2 Funktionaalinen layout

Funktionaalisessa layouttyypissä kaikki samat työtehtävät ja koneet on sijoitettu niiden samankaltaisuuden perusteella. Perinteisesti resurssit on nimetty keskenään yhteen omiksi ryhmikseen. Esimerkiksi kaikki työkalujen korjaukseen sijoitetun työvaiheet on sijoitettu niin sanottuun viilaamoon ja kaikki hitsauspaikat ovat hitsaamossa. Funktionaalisella systeemillä on eräitä etuja verrattuna muihin layouttyyppeihin. Merkittävin etuasema saadaan suurella tuotejoustavuudella. Systeemillä on valmiudet valmistaa mitä tahansa, mitä systeemiin sisältyvillä resursseilla on ylipäänsä on valmistettavissa. Systeemissä vaihettujen tuotteet ohjataan niille työpaikoille, joita tuotteet tarvitsevat. (Haverila ym. 2009, 476; Lapinleimu ym. 1997, 79.) Funktionaalinen layout on esitetty kuviossa 19.



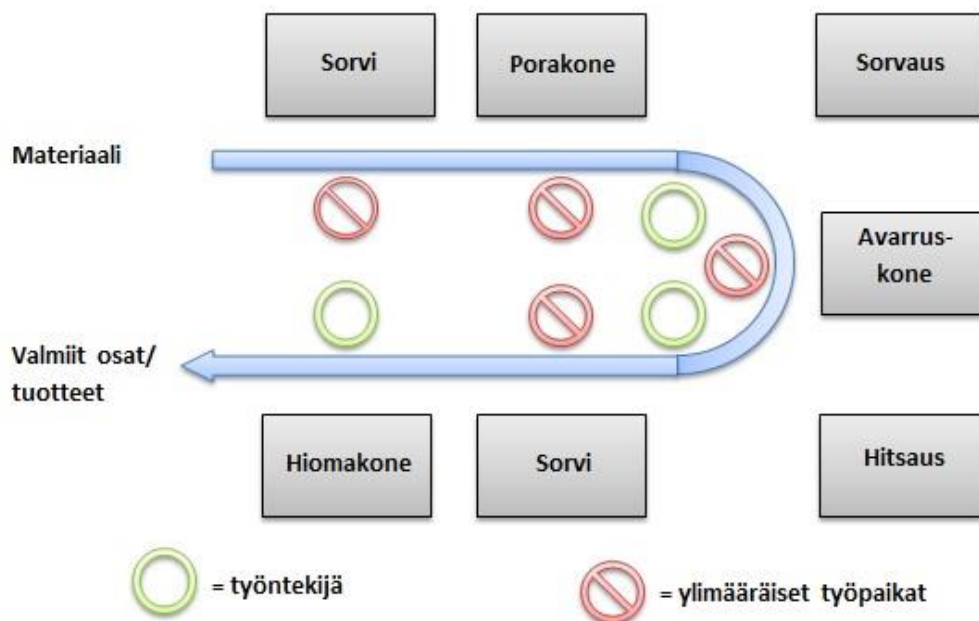
Kuvio 19. Funktionaalinen layout
(Haverila ym. 2009, 477, muokattu.)

Funktionaalisisessa layoutissa tuotteita voidaan valmistaa joko sarjoissa tai yksittäiskappaleina. Koneet ja laitteet ovat tavallisesti monipuolisia, niillä voidaan tuottaa joustavasti erilaisia tuotteita. Näin tuotantomäärät ja tuotetyypit voivat vaihdella suuresti. Laadunhallinta on funktionaalisisessa layoutissa välivarastojen ja pitkien työpisteiden välisien matkojen vuoksi vaikeaa ja automaatiota voidaan soveltaa poikkeavien työnkulkujen vuoksi vain hyvin rajoitettusti. Materiaalin käsittely- ja kuljetuskustannukset nousevat pitkien matkojen myötä suuriksi, välivarastot kasvavat sekä tuotannon läpäisy aika pitenee. Työnkulku funktionaalisisessa layoutissa perustuu koneille jonottavien töiden järjestelyyn, joka oikea-aikaisesti koneelta toiselle on todella hankalaa. Negatiivisin piirre on huono ohjattavuus, siksi tätä toimintatapaa suositellaan käytettäväksi vain pieninä yksikköinä. (Haverila ym. 2009, 476; Lapinleimu ym. 1997, 79–80.)

Toteutus sen sijaan on helppoa ja halpaa funktionaalisisessa layoutissa tuotantolinjaan verrattuna. Kapasiteetti joustaa funktionaalisisessa layoutissa samoin kuin erilaisten tuotteiden valmistus. Häiriöalttius on pieni, siten onkin mahdollista saada jopa 100 % käyttöaste koneille, mutta etu saavutetaan vain jos kyse on raskaasta ja kalliista työstökäluksusta. Käyttöaste jääkin usein matalaksi samoin kuin tuottavuus. (Haverila ym. 2009, 476–477; Lapinleimu ym. 1997, 79.)

5.2.3 Solulayout

Solulayout on layouttyyppi, joka on välimuoto tuotantolinjasta ja funktionaalisesta layoutista. Solulayout muodostaa itsenäisen pienen ryhmän koneita ja laitteita, joiden tehtävänä on käsitellä vain yhtä osaa kokoonpanosta tai työvaiheista. Tuotantojärjestelmän solussa pyritään yhtenäiseen sykliin, jossa siis yksittäiset työvaiheet yhdistyvät kokonaisuudeksi, kuten kuviossa 20 on esitetty. (Haverila ym. 2009, 477; Lapinleimu ym. 1997, 85.)



Kuvio 20. Solulayout
(Haverila ym. 2009, 478, muokattu.)

Funktionaaliseen layoutiin verrattuna soluissa on huomattavasti lyhyemmät läpäsajat. Solulayoutissa kaikkien koneiden käyttöaste ei ole 100 %, mutta tuotanto on silti hyvin tehokasta. Solussa on usein työpaikkoja enemmän kuin työntekijöitä. Tämä mahdollistaa solun sisäisen kuorman tasauksen työpistettä vaihtamalla. Henkilöstön täytyy olla monitoimista, jotta solun sisäinen tasaus onnistuisi spontaaneina tehtävän vaihtoina. Yksikköluonteisissa soluissa impulsseja tulee tehtaan ohjaukselta vain solutasolle, solujen sisäinen ohjaus tapahtuu solun oman henkilöstön toimesta. Soluvalmistusta on pidetty työntekijöiden motivaation sekä tuotannon tuottavuuden nostajana. (Haverila ym. 2009, 477; Lapinleimu ym. 1997, 86–87.)

Solussa materiaalivirta pysyy selkeänä ja tuotteet pyritään valmistamaan aina valmiiksi, jotta prosessin aikana ei synny lainkaan välivarastoja. Siirryttäessä tuotteesta toiseen asetusajat pysyvät lyhyenä, joten eräkoot ja tuotantomäärät voivat vaihdella paljonkin. Solussa tuotteita voidaan valmistaa yksittäiskappaleina tai pieninä sarjoina. Solu kykeneekin valmistamaan joustavasti niitä tuotteita, joiden tekoon se on juuri suunniteltu. Tuotannonohjaus solussa on helppoa ja häiriöt paikallistetaan ja korjataan helposti peräkkäisten valmistusvaiheiden ansiosta. Solu onkin siten joustavampi kuin tuotantolinja ja tehokkaampi kuin funktionaalinen layout. (Haverila ym. 2009, 477–478; Lapinleimu ym. 1997, 86.)

Jotta solua voitaisiin kutsua omaksi yksiköksi, sillä pitää olla:

- oma valmistettava tuotteisto
- oma määritelty alue
- oma tuotantolaitteisto
- omat tuotannon apulaitteisto kuten nostimet ja siirtolaitteet
- oma työryhmä solun sisällä
- 1–6 hengen tiivishenkinen ryhmä, jossa tiimityö onnistuu
- oma vastuu kaikesta toiminnasta. (Lapinleimu ym. 1997, 85.)

5.2.4 Tuotetehtaat ja verstaat

Suuren tuotantolaitoksen toiminta voidaan jakaa myös pienempiin, tiettyihin osaluoksiin erikoistuneisiin osiin, joita ovat tuotetehtaat ja verstaat. Tuoteverstaas on hieman solua suurempi itsenäinen yksikkö, joka ei keskity pelkästään valmistukseen, vaan sillä voi olla useita muitakin tehtäviä, kuten esimerkiksi tuotesuunnittelu. (Haverila ym. 2009, 478; Lapinleimu ym. 1997, 96.)

Tuotetehtaan koko on yleensä rajallinen, jotta henkilöstöllä olisi selvä tietoisuus oman ja muiden toiminnan sekä tuotannon läpimenoaikojen vuorovaikutuksista. Tuotetehtaissa työskentelee yleensä noin 30–100 henkeä, ja sillä on myös useimmiten oma työnjohto, työnjärjestely sekä laadunvalvonta tavallisessa tuotannossa. Tuotetehtaaseen voi kuulua myös esimerkiksi työkaluhuolto. (Haverila ym. 2009, 479; Lapinleimu ym. 1997, 97.)

Tuotetehtaiden tavoitteena on pyrkiä nostamaan yrityksen tuottavuutta sekä selkiyttää tuotannon toiminnanohjausta. Tuotetehtaissa materiaalivirta pysyy yksikön sisällä eikä se käy välillä muualla. Tuotetehtaan tuottavuuden kasvuodotus perustuu yksikön ainutlaatuiseseen erikoistumiseen sekä sen selkeisiin talous-, tuottavuus sekä laatuvaastuisiin. Tuotetehtaiden ohjaus on helppoa ja se on hyvin mukautuva tuotanto-ohjelmien muutoksiin. Yritykselle se on kuin sisäinen toimittaja, joka toimittaa komponentit tai tuotteet tilauksien mukaan. (Haverila ym. 2009, 479; Lapinleimu ym. 1997, 97.)

5.3 Layoutin suunnittelu ja valinta

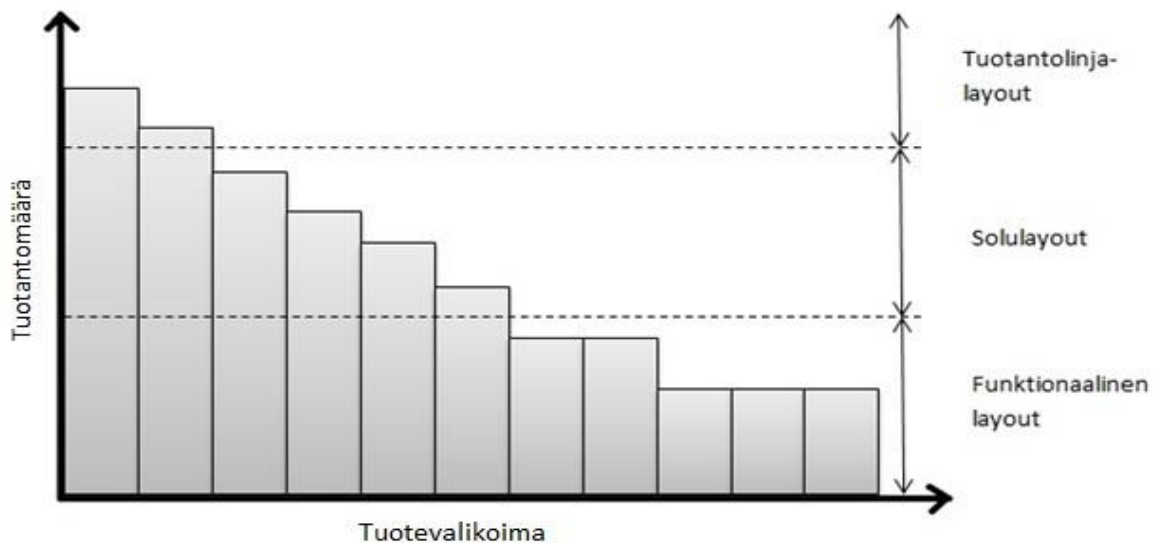
Layoutin suunnittelu aloitetaan kartoittamalla tuotantotehtaan toiminta yksityiskohteisesti. Tiedonkeruu auttaa selvittämään materiaalikulun ja toimintojen riippuvuuden. Kuvausta täydennetään käytännön tavoitteilla ja rajoitteilla, kuten jo olemassa olevilla kiinteillä rakennelmilla. Näiden tietojen perusteella saadaan muodostettua muutama layoutsuunnitelma, joita vertailemalla, kokeilemalla, testaamalla ja edelleen kehittämällä saadaan suunniteltua ja valittua sopivin layoutvaihtoehto. (Karrus 2003, 142, 144.)

Layoutsuunnittelun peruslähtökohtana ovat seuraavat tekijät:

- Tuotteiden rakennetiedot, jotka määrittelevät käytettävät raaka-aineet, puolivalmisteet sekä komponentit
- Työnvaiheistus, joka ilmaisee työvaiheiden järjestyksen
- Tuotantomäärä, jonka perusteella mitoitetaan tarvittava tuotantokoneisto sekä määritellään tuotantomuoto ja -tekniikka
- Tuotannon aikajänne, joka ilmoittaa miten hyvin tuotanto pysyy suunnitelmien mukaisena. Aikajänneen pituus vaikuttaa merkittävästi investointien kannattavuuteen
- Tukitoiminnot, jotka tukevat valmistusta. Tukitoimintoja ovat esimerkiksi työkaluhuolto, sosiaalilat, paineilmakehityslaitteisto sekä jätteiden käsittely. (Haverila ym. 2009, 481.)

5.3.1 Layouttyypin valinta

Layoutsuunnittelun ensimmäinen lähtökohta on layouttyypin valinta. Layouttyyppi valitaan tuotevalikoiman laajuuden ja tuotettavien tuotteiden määrien perusteella. Tuotettaessa samantyyppisiä tuotteita suuria määriä suositaan tuotantolinjalayoutia. Kun taas valmistettavien tuotetyyppien määrä on suuri, mutta valmistusmäärät pysyvät pieninä, on funktionaalinen layout parhaimmillaan. Solulayout on näiden kahden layouttyypin kompromissi, sitä käytetään kun tuotevalikoima on suhteellisen laaja ja valmistus toistuvaa, mutta ei niin suurta, että oman tuotantolinjan perustaminen olisi kannattavaa. Kuviossa 21 on esitettyä tuotevalikoiman ja tuotantomäärän yhteisvaikutus layouttyypin lopulliseen valintaan. Layouttyypin valintaan voi vaikuttaa merkittävästi myös fyysiset, tuotantotiloissa jo olemassa olevat vaikeasti siirrettävät koneet ja kiinteät rakennelmat sekä niiden tuomat rajoitteet. (Haverila ym. 2009, 479, 482.)



Kuvio 21. Tuotantomäärän ja tuotevalikoiman yhteisvaikutus layouttyypin valintaan (Haverila ym. 2009, 479, muokattu).

Usein koko tehtaan layout voi muodostua erityyppisistä osalayouteista. Layout valitaan tuotantoprosessin eri vaiheiden mukaan, joten layouttyypit voivat vuorotella hyvinkin paljon tehtaan sisällä. Tästä esimerkkinä tuote, jonka osat valmistetaan funktionaalisisessa layoutissa tai solussa ja lopuksi tuote kokoonpannaan tuotanto-

linjassa. Yhden tehtaan sisällä voi siis olla käytössä jopa kaikki kolme layouttyyppiä samaan aikaan. (Haverila ym. 2009, 480.)

5.3.2 Tuotantolinjalayoutin suunnittelu

Tuotantolinjalayoutissa koneet ja laitteet on sijoitettu työnkulun mukaiseen järjestykseen. Suunnittelussa on erityisen tärkeää kiinnittää huomiota materiaalikulun tarkoituksenmukaiseen järjestelyyn suurien tuotantomäärien vuoksi. Tuotantolinjalayoutin suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös seuraavat tekijät: tahtiaika, työpisteiden määrä ja järjestys, vaiheajan vaihtelevuus sekä layoutin tasapaino. (Haverila ym. 2009, 485; Allington 2006, 8.)

Tuotantolinjalayoutin työvaiheiden suunnittelussa pyritään tasapainottamaan eri työvaiheiden tuotantolinjat. Tasapainoon pyrkiminen muodostuu yleensä suunnittelussa ongelmaksi, mutta jotta saavutettaisiin mahdollisimman hyvä tuottavuus sekä minimoitu työvaiheissa tapahtuva aikahäviö, on tasapainoon pääseminen melko pakollista. Aikahäviötä työvaiheissa syntyy kun vaiheaika eli yhdellä työasemalla tehtävään työhön kuluva aika on lyhyempi kuin tahtiaika. Tuotantolinjan tasapainottamisella tarkoitetaan sitä, että työn suorittaminen jokaisella työpisteellä kestäisi yhtä kauan. Tuotantolinjan tasapainottaminen tapahtuu laskemalla tahtiaika (2). Tahtiaika saadaan laskettua haluttuun tuotantomäärään perustuen seuraavalla kaavalla:

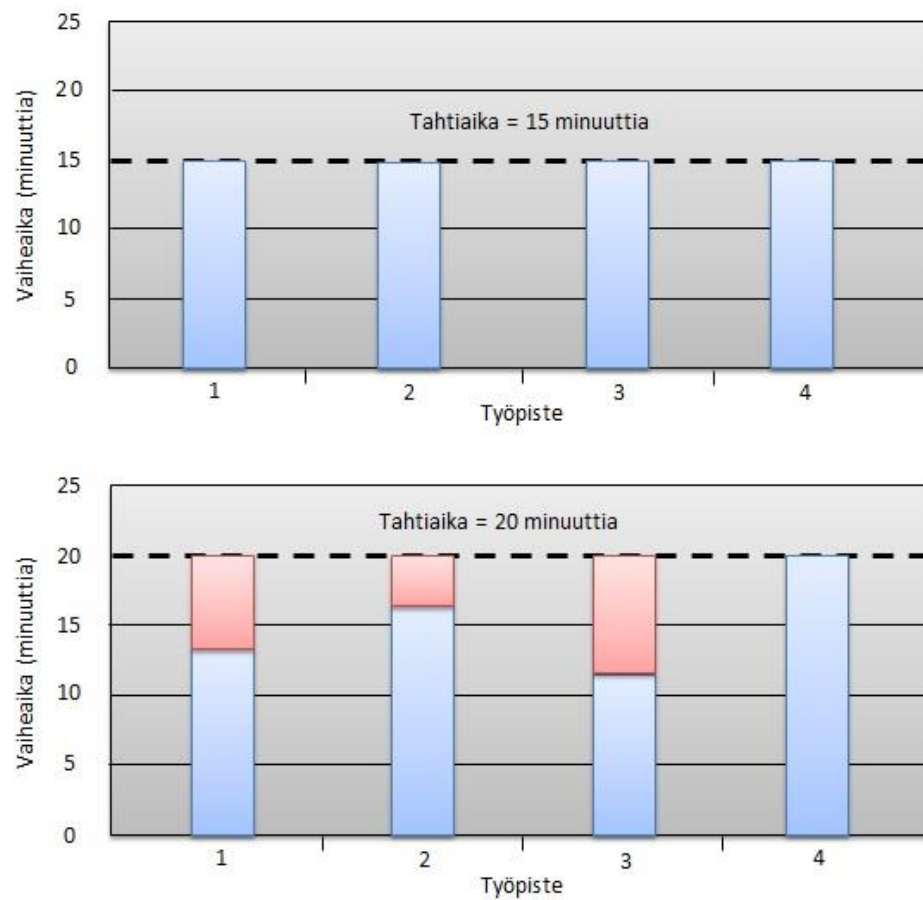
$$Tahtiaika = \frac{Aika}{Haluttu\ tuotanto} \quad (2)$$

Tahtiajan laskentaa varten on määriteltävä haluttu tuotantomäärä kappaleina tietynä ajanjaksona sekä montako tuntia tuotetta valmistetaan kyseisenä ajanjaksona. (Allington 2006, 8–9; Haverila ym. 2009, 485.)

Saadun tahtiajan perusteella voidaan laskea työvaiheen toteuttamisessa tarvittavien työpisteiden määrä:

$$Työpisteiden\ määrä = \frac{kappaleen\ kokonaisvalmistusaika}{Tahtiaika} \quad (3)$$

Työpisteiden minimimäärä saadaan jakamalla kappaleen kaikkien työvaiheiden vaiheajojen summa tahtiajalla (3). Eri työpisteiden vaiheajoista riippuen kuormitusta voidaan joutua tasapainottamaan siirtämällä työtehtäviä pisteistä toiseen kuten alla olevassa kuviossa 22, on tehty. Kokoonpanotehtävissä tasapainottaminen on vielä helppoa, työvaiheita voidaan siirtää työasemalta toiselle. Huomattavasti vaikeampaa työvaiheiden siirto on osavalmistuksessa, jossa työvaiheiden sisältö määräytyy koneiden ja laitteiden mukaan ja yleensä vaiheiden suoritusjärjestys on kiinteä. (Haverila ym. 2009, 485–486.)



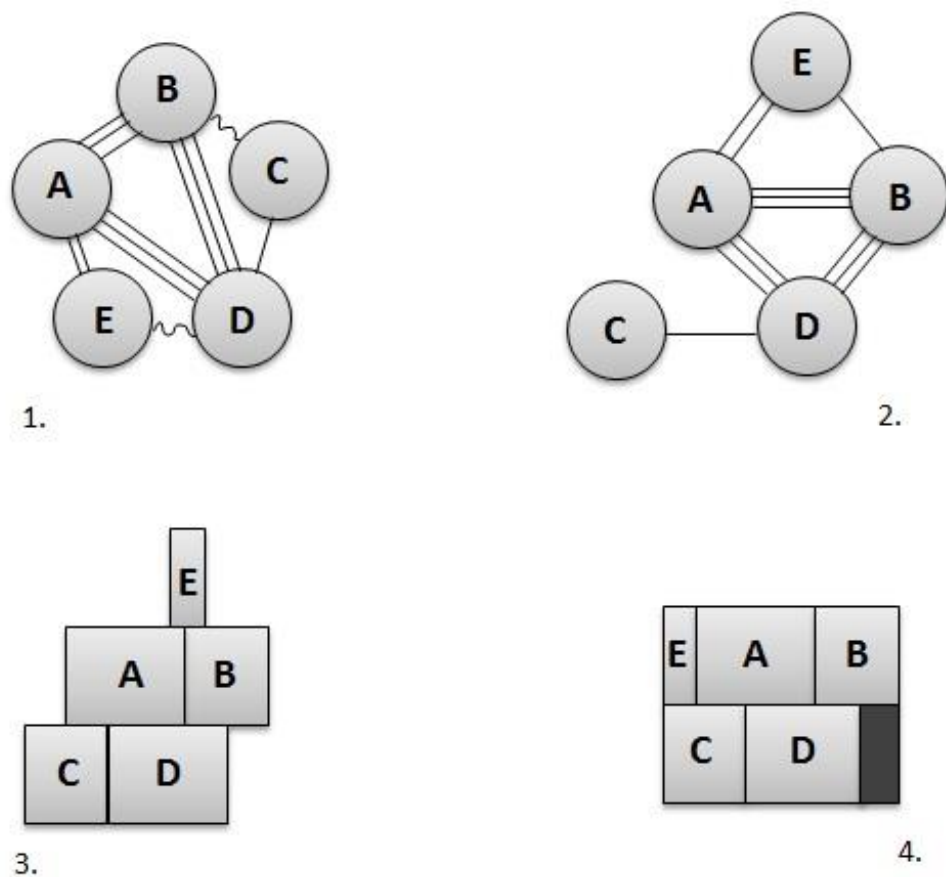
Kuvio 22. Työpisteiden kuormituksen tasapainotus ja sen vaikutukset tuotannon vaiheajoihin nähden (Allington 2006, 9, muokattu).

5.3.3 Funktionaalisen layoutin suunnittelu

Funktionaalisisessa layoutsuunnittelussa koneet ja laitteet sijoitetaan omiin alueisiinsa niiden samankaltaisuuden mukaan. Keskeisenä suunnittelutehtävänä funk-

tionaalisessa layoutissa on alueiden välisien kuljetusmatkojen sekä siirtokertojen minimointi. Funktionaalinen layoutsuunnittelu kannattaa aloittaa määrittelemällä koneet ja laitteet, jotka muodostavat tehtaaseen mahdollisesti tulevat eri alueet sekä niiden vaatimat tilantarpeet. Toiseksi tulee laskea muodostuneiden alueiden väliset mahdolliset kuljetusmäärät sekä siirtokerrat tuotteiden työvaiheiden perusteella. Kolmanneksi tulee tutkia ilmeneekö muita alueiden sijoitteluun vaikuttavia tekijöitä, kuten esimerkiksi puhtausvaatimuksia, värinän välttämistä tai muita koneiden perustusvaatimuksia. Neljänneksi voidaan laatia muutama kaikki kriteerit täyttävä layoutvaihtoehto, joista valitaan lopuksi paras vaihtoehto. (Haverila ym. 2009, 482–483.)

Kokonaisuudessaan funktionaalisen layoutin suunnittelu on monimutkainen prosessi. Monimutkaisuus johtuu alueiden sijoittelusta tehtaassa, koska usein vaihtoehtoja saadaan hyvinkin paljon. Jos tehtaassa on kaksi koneista ja laitteista koostuvaa aluetta, on olemassa vain kaksi tapaa liittää asemat toisiinsa nähden. Jos tehtaassa on viisi eri aluetta, on teoriassa 120 erilaista tapaa sijoittaa alueet. Usein funktionaaliset layoutit saadaan lopulta suunniteltua intuitiivisesti ja maalaisjärkeä käyttäen sekä systemaattisen kokeilun että virheiden kautta oppien. Funktionaalisen layoutsuunnittelun tueksi on kehitetty tekniikka, joka auttaa suunnittelun monimutkaisuudessa. Kuviossa 23 on esitetty Mutherin yhteyssuhdepiirros, jossa alueiden väliset riippuvuudet kuvataan erilaisilla viivoilla. Alueet piirretään yhteyssuhdepiirrokseen mittakaavassa ja järjestellään siinä. (Slack ym. 2007, 189; Lapinleimu 1997, 309.)



Kuvio 23. Mutherin yhteyssuhdepiirros
(Lapinleimu 1997, 309, muokattu).

Mutherin yhteyssuhdepiirroksen kuvassa 1 alueiden riippuvuudet on kuvattu toistensa suhteen. Kuvassa pallojen välillä olevat kolme viivaa kuvaavat voimakasta riippuvuutta ja yksi viiva heikkoa riippuvuutta. Sahalaitainen viiva merkitsee, että alueet eivät sovi ollenkaan lähekkäin. Kuvassa 2 alueet on sijoitettu piirrokseen siten, että voimakkaan riippuvuuden omaavat alueet on sijoitettu lähekkäin toisiinsa. Ne alueet, jotka eivät sovi lähekkäin, on sijoitettu mahdollisimman kauas toisistaan. Kuvassa 3 alueille on annettu oma tilantarve ja kuvassa 4 on alueiden lopullinen sijoittelu tehtaassa. Musta alue jää varalle mahdollisia laajennuksia varten. Mutherin yhteyssuhdepiirrosta voidaan käyttää funktionaalisen layoutsuunnittelun lisäksi solujen sisäisen layoutin määrittämiseen sekä sijoitteluun tehtaassa sisällä. (Lapinleimu 1997, 309–310.)

5.3.4 Solulayoutin suunnittelu

Solun layoutsuunnittelu voi olla mielenkiintoinen tehtävä, sillä se on kompromissi tuotantolinjalayoutin ja funktionaalisen layoutin välillä. Solun suunnittelu keskittyy solun luonteen ja laajuuden määrittämiseen sekä resurssien sijoittamiseen eri soluissa. Yksi tapa selvittää resurssien sijoittamista eri soluihin on tutkia, mitkä prosessit sopivat luonnollisesti toisiinsa. Analyysiä kutsutaan nimellä ryhmäanalyysi. Toinen lähestymistapa on erotella valmistukseen käytettävät koneet ja valmistettavat tuoteperheet omiin soluihinsa. Tätä kutsutaan tuotantovirta-analyysiksi (production flow analysis, PFA). (Allington 2006, 6–7; Slack ym. 2007, 207–208.) Kuviossa 24 on esitetty PFA:n periaate, jonka avulla voidaan samanaikaisesti tutkia sekä tuoteperheiden että resurssien jakoa eri soluihin.

Tuoteperheet

	1	2	3	4	5	6	7	8
1						x		x
2	x			x			x	
3		x			x			x
4			x			x		x
5	x			x			x	
6			x					x
7				x			x	
8		x			x			x

Tuoteperheet

	3	6	8	5	2	4	1	7
4	x	x	x					
1		x	x	Solu A				
6	x		x					
3			x	x	x	Solu B		
8			x	x	x			
2						x	x	x
5				Solu C		x	x	x
7						x		x

Kuvio 24. Tuotantovirta-analyysi resurssien sijoittamiseksi soluihin (Allington 2006, 7, muokattu).

Kuviossa 24 muodostetaan kolme eri solua A, B ja C. Ensimmäisessä kuviossa jokaiselle tuoteperheelle on määritelty koneet, joita käytetään tuotteen valmistamiseen. Toisessa kuviossa tuoteperheet on jaettu eri soluihin niitä yhdistävien konei-

den kanssa. Menettely on äärimmäisen käyttökelpoinen tapa sijoittaa resurssit soluihin, mutta lopputulos ei aina ole täysin sopiva. Esimerkiksi kuvion tuoteperhe 8 vaatii solun A resurssien lisäksi solun B koneita 3 ja 8. Tällaisissa tilanteissa on hyvä miettiä eri ratkaisuja tilanteen selvittämiseksi. Voidaan ostaa esimerkiksi lisää koneita soluun A, joka mahdollisesti toimisi alikäytöllä. Tuoteperhe 8 voitaisiin lähettää soluun B solun A työstön jälkeen tai muodostaa erillinen erikoissolu tällaisia tuotteita varten. (Slack ym. 2007, 208.)

5.3.5 Hyötyarvomatriisi

Kuten edellä mainittiin, layoutsuunnittelu koostuu monien tekijöiden summasta ja siten on hyvä tehdä muutama erilainen layoutvaihtoehto. Näiden layoutvaihtoehtojen arvioinnissa voidaan käyttää hyötyarvomatriisia eli painoarvotaulukkoa (kuvio 25), joka auttaa valitsemaan layouteista sen parhaimman. (Haverila yms. 2009, 481.)

	Painoarvo	Vaihtoehtojen arvostelu ja punnitut pisteet				
		A	B	C	D	E
1. Materiaalin kulun tehokkuus	8	E 24	I 16	E 24	E 24	
2. Pinta-alan hyväksikäyttö	6	A 24	A 24	I 12	I 12	
3. Investointitarve	10	I 20	O 10	I 20	A 40	
4. Valmistuksen ohjaus	3	A 12	U 0	A 12	A 12	
5. Joustavuus laajennuksille	7	E 12	A 28	E 12	A 28	
6. Tvökaluhuolto	6	A 24	O 6	I 12	I 12	
SUMMA		116	84	92	128	

A = melkein täydellinen (4) E = erittäin hyvä (3) I = hyvä (2)
O = välttävä (1) U = huono (0) X = ei toivottava (-)

Kuvio 25. Hyötyarvomatriisi (Haverila ym. 2009, 481, muokattu).

Hyötyarvomatriisissa annetaan painoarvo jokaiselle arvioitavalle tekijälle, jonka jälkeen eri ratkaisuvaihtoehdot pisteytetään. Pisteytyksen jälkeen painoarvo kerro-

taan pisteiden määrällä. Lopuksi lasketaan kunkin vaihtoehdon painoarvoitetut pisteet yhteen, jolloin saadaan määriteltyä paras vaihtoehto. (Haverila ym. 2009, 481.)

Hyötyarvomatriisista saatu pistesumma ei kuitenkaan vielä varmuudella kerro vaihtoehtojen paremmuusjärjestystä. Jos layoutsuunnitelmassa on yksikin huono ominaisuus, jota ei haluta toteuttaa, johtaa usein siihen, että vaihtoehto hylätään vaikka se muussa suhteessa olisi hyvä. Tämä kertoo pistelaskujärjestelmän viasta, koska se ei ota huomioon huonoja ominaisuuksia riittävän tarkasti. Nämä heikot ominaisuudet tulee arvioida ja huomioida erikseen. (Jokinen 2001, 80.)

5.4 Simulointi

Simulointi on eräänlainen tutkimusmenetelmä, jolla pystytään mallintamaan matemaattisesti tutkittavia ilmiöitä. Matemaattisen mallinnuksen avulla pystytään tarkasti mittaamaan ja kokeilemaan miten eri parametrien muutoksen vaikuttavat tehtaan toimintaan ja sen suorituskykyyn. Simulointi on oivallinen apuväline silloin kun uuteen tehtaaseen suunnitellaan toteutustapoja ja uusia teknologiavalintoja ja halutaan tietää miten ne vaikuttavat tehtaan suorituskykyyn. (Haverila ym. 2009, 486.)

Eryteisesti matemaattista mallintamista käytetään silloin, kun tutkittava kohde on niin laaja tai vaikeaselkoinen, että siitä on jopa mahdotonta tehdä analyttistä yhtälöä. Simulointi onkin melko usein ainoa vaihtoehto tutkimusmenetelmiä tehtäessä, koska tehdasympäristössä on runsaasti satunnaistapauksia, joiden syyseuraussuhteet ovat monimutkaisia. (Haverila ym. 2009, 486.)

Simulointitutkimus toteutetaan käytännössä siihen tarkoitetuilla tietokoneohjelmistoilla, joita on olemassa lukuisia. Ne on suunniteltu tuotantolaitosten mallintamiseen. Niillä pystytään mallintamaan esimerkiksi tehtaiden tuotanto tai logistiikka- ja palveluprosessi. Ohjelmistojen käyttö ei vaadi erityisiä matemaattisia tai ohjelmistoteknisiä valmiuksia. Graafinen käyttöliittymä sekä peruselementit ohjelmistoista löytyvät valmiina, elementtejä yhdistelemällä saadaan rakennettua monimutkaisiakin malleja. (Haverila ym. 2009, 487.)

Simulointitutkimuksen tuloksia arvioitaessa on hyvä muistaa, että tulokset on toteutettu mallilla tehtyihin kokeisiin ja eivät aina välttämättä pidä paikkansa. Tuloksiin vaikuttaa huomattavasti se, kuinka tarkasti simulointimalli vastaa todellisuutta, sekä kuinka kokeen satunnaistapahtumat ovat toteutuneet. Johtopäätöksien luotettavuuteen heijastuu tutkimuksessa käytettyjen ajojen suunnittelu ja niistä saatujen tulosten tulkinta. (Haverila ym. 2009, 488.)

6 SUUNNITTELUPROSESSI

Suunnittelu on pitkälle kehittynyt monipuolinen prosessi. Jokainen prosessi on erilainen ja tehtävää lähestytään suunnittelijasta riippuen hyvin eri tavoin. Kuitenkin näihin erilaisiin suunnittelutehtäviin kuuluu ennalta määrättyjä samankaltaisia piirteitä, joita ovat:

- tehtävän hahmottaminen
- käsitteellinen suunnittelu
- alustava suunnitelma
- varsinainen suunnittelu
- dokumentointi. (Seitamaa-Hakkarainen, [Viitattu 10.2.2016].)

6.1 Tehtävän kuvaus

Opinnäytetyön varsinaisena työtehtävänä oli suunnitella Mäkelä Alu Oy:lle lisääntyneen tilantarpeen vuoksi puristussuuttimien varastointiin käytettäviä ratkaisuja ja sisällyttää ne olemassa olevaan tehdaslayoutiin. Lisäksi tehtävänä oli perehtyä työkaluhuollon toiminnanohjaukseen sekä suunnitella laajenevan työkaluhuollon materiaalivirtaus.

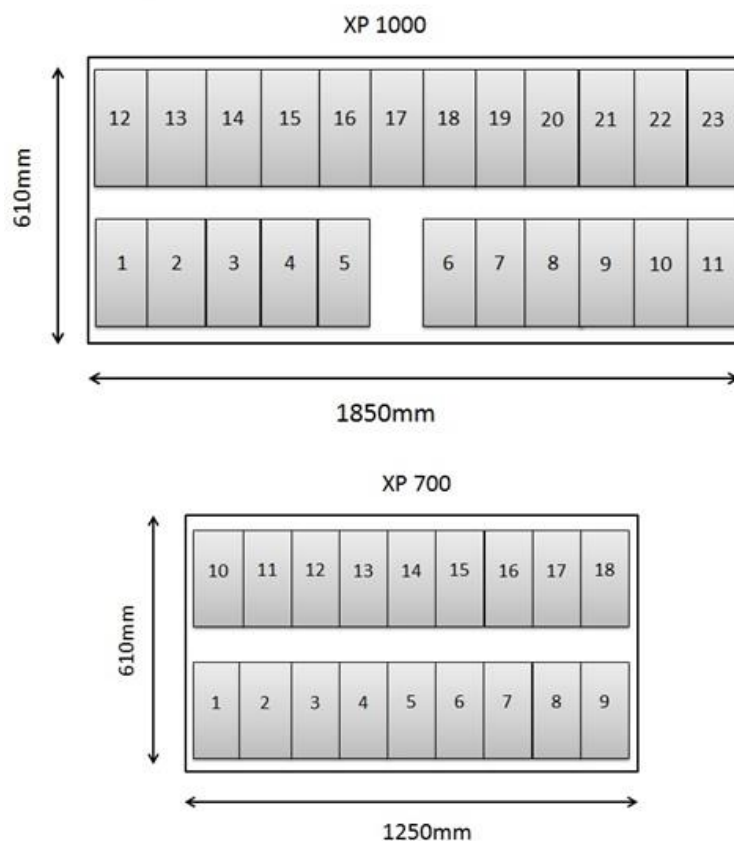
Suunnitteluprosessin aikana vertailtiin eri hallikokojen toimivuutta vallitsevien vaatimusten, kuten tuotannossa käytettävien kiinteiden laitteiden ja koneiden puitteissa. Nitraamon paikkaa suunniteltaessa tuli kiinnittää erityisesti huomiota sen vaatimiin lattia- ja korkeusrajoituksiin.

6.2 Työkaluvarastoinnin suunnittelu

Lähtötilanne ja vaatimukset. Layoutin suunnittelussa lähdettiin liikkeelle siitä, mitä vaatimuksia puristussuulakkeiden varastoinnille sekä tuotantoon tuleville muutoksille yrityksellä oli. Tarkoituksena oli suunnitella mahdollisimman monta eri layoutvaihtoehtoa, sillä tuotantojärjestelmän layout on aina kompromissi. Harvoin päästään yhteen optimaaliseen ratkaisuun (Haverila ym. 2009, 480–481).

Layouteihin tuli suunnitella mahdollisimman paljon uutta varastotilaa puristussuulakkeille. Lisäksi layoutista tuli näkyä puristussuulakkeiden materiaalivirta työkaluhuollossa.

Koska Mäkelä Alussa on hyödynnetty jo aikaisemminkin Kardex Remstarin vertikaalisia automaattihissi varastoja, oli niiden valitseminen käytettäviksi varastoiksi selvää jo alusta pitäen. Suunnittelussa huomioon oli otettava hallin korkeus, vapaiden ulkoseinien sijainti, käytävät sekä työkaluhuollon sijainti suhteessa varastoihin.



Kuvio 26. Mahdolliset alustamallit puristussuulakkeiden varastointiin Kardex XP 1000 ja XP 700

Ennen tarjouspyynnön tekoa oli selvitettävä, kumpi Kardexin pystysuuntaisesta hissijärjestelmästä olisi varastointikustannuksiltaan tehokkaampi (kuvio 27), nykyinen XP 700 vai uusi, kantavuudeltaan suurempi XP 1000. Laskujen mukaan XP 1000 -malliin puristussuulakkeita mahtuisi suuremmalla alustaleveydellä 1850 mm ja -syvyydellä 610 mm n. 13 kpl * 2, joka on 26 kpl suulakkeita per alusta. Alustan

kapasiteetti annetuilla mitoilla on 950 kg, koska 26 kpl suulakkeita kertaa yhden suulakkeen paino (40 kg) tekee 1040 kg. Näin ollen alustalle (kuvio 26) saa laittaa enintään 23 suulaketta. Koko koneeseen mahtuu laskelmien mukaan n. 200 kappaletta puristussuulakkeita enemmän, jolloin koneen hankintahinta jaettuna suulakkeiden määrällä, saadaan yhden suulakkeen varastohinnaksi 87 €.

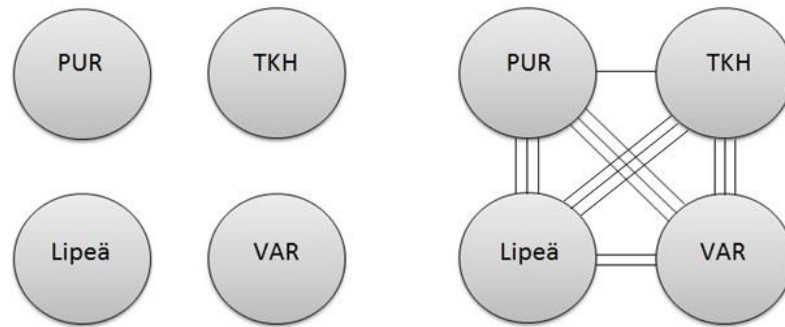
Mäkelä alun jo olemassa olevien tornien XP 700 alustalle kooltaan 1250 mm * 610 mm mahtuu 18 kpl suulakkeita. Kapasiteetti yhtä alustaa kohden on 725 kg, joka täyttyy melko nopeaa sillä 18 kpl suulakkeita * 40 kg on 720 kg. Koko koneeseen mahtuu 756 kpl suulakkeita, joten yhden suulakkeen varastohinnaksi saadaan 90 €. Näin ollen laskelmien perusteella saatiin kustannustehokkaammaksi vaihtoehdoksi puristussuulakkeiden varastointiin Kardexin XP 1000 -malliin.

konetyyppi	XP 700	XP 1000
suulakkeita alustalla	18kpl	23kpl
suulakkeita koneessa	756kpl	966kpl
suulakkeen varastohinta	90€	87€

Kuvio 27. Varastokustannusten vertailu

Uusien työkaluautomaattien operointi tapahtuu layoutvaihtoehdoissa 1 ja 2 yhdellä käsittelyaukolla lukuun ottamatta kahta vanhojen työkaluautomaattien viereen suunniteltua työkalutornia. Layoutvaihtoehdoissa 3 ja 4 olevien työkalutornien käsittely tapahtuisi kahdella käsittelyaukolla eli molemmilta puolilta konetta sekä viilaamon että tuotannon puolelta. Tornien käsittelyä turvaamassa on valoverho, joka lauetessaan pysäyttää keräilyn heti havaittuaan ylimääräistä liikettä käsittelyaukollla. Laitteita ohjataan Kardex Logicontrol -ohjelmalla.

Kun kaikki tarvittava tieto saatiin kerättyä ja toiminnot kartoitettua, kaikki tieto koottiin yhteen kuvaajaan käyttäen Mutherin yhteyssuhdekaaviota. Kuviossa 28 on vasemmalla puolella esitettyä lähtötilanne. Eri toiminnot on merkitty kuvioon lyhentein. Puristimia vastaa lyhenne PUR, työkaluhuoltoa TKH ja varastointialuetta VAR. Toiminnot on sijoitettu ensin mielivaltaiseen järjestykseen, jonka jälkeen ne on yhdistetty viivoilla, jotta nähdään niiden riippuvuussuhteet.



Kuvio 28. Mutherin menetelmän mukaisesti muodostettu riippuvuussuhdekaavio

Tärkeimmät ja voimakkaimmat riippuvuussuhteet varastoalueen ympärille muodostuivat varastoalueen ja puristimien sekä varastoalueen ja työkaluhuollon välille. Tämä johtuu siitä, että alumiinin tuotannossa puristussuulakkeet kulkevat ensin työkaluhuollosta varastoon, jonka jälkeen ne haetaan työnkulun mukaan varastosta puristimille. Luonnollisesti nämä alueet eivät voi sijaita kovinkaan kaukana toisistaan.

Lipeähuoneen läheisyyden tärkeys varastointialueeseen ei kuulu kaikkein tärkeimpiin, sillä työkalut tuodaan puristimilta lipeään ja lipeästä ne viedään työkaluhuoltoon. Suhteellisen tärkeänä sitä kuitenkin voidaan pitää, sillä joidenkin työkalujen takaraudat on lipeästä vietävä varastoon.

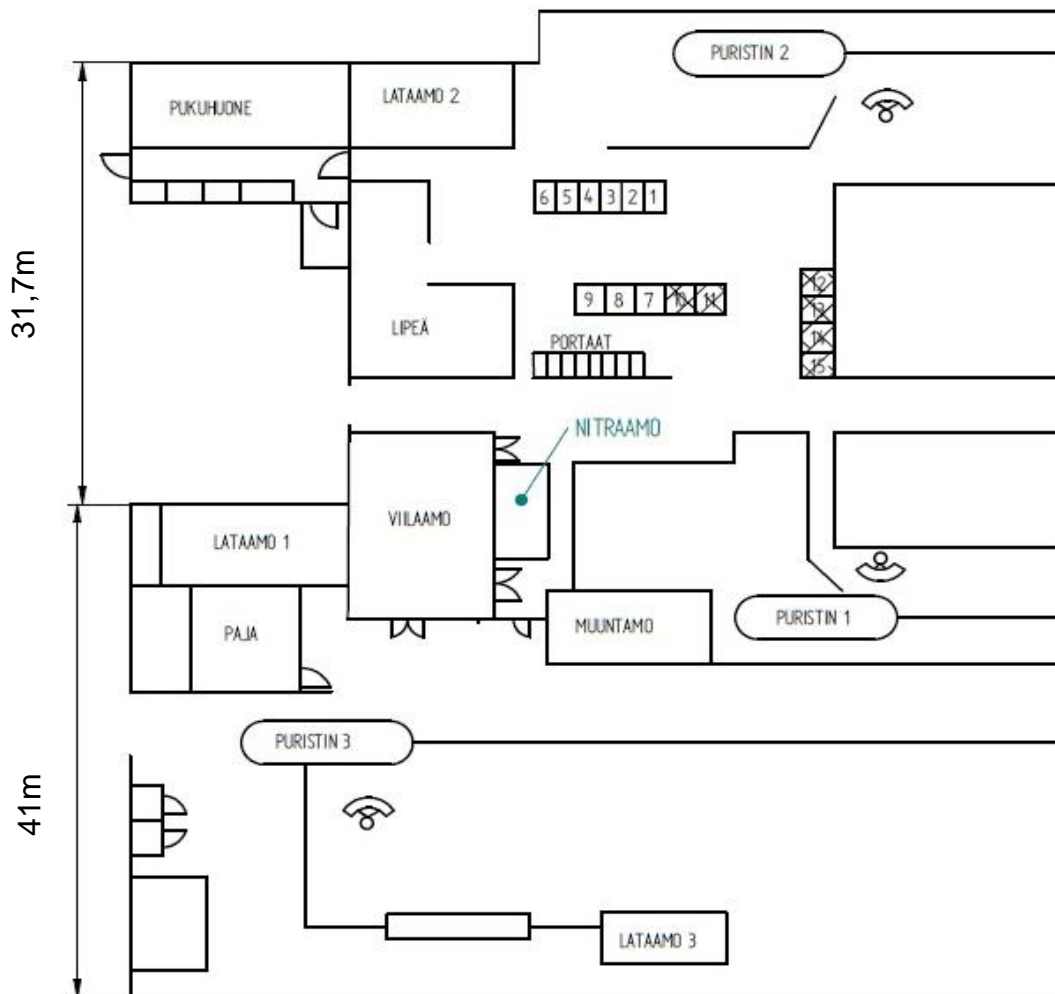
Kuvion 28 oikeanpuolisesta kuvassa riippuvuussuhteet toimintojen välillä on merkitty Mutherin kuvaajan mukaisesti.

6.2.1 Layoutversio 1

Ensimmäinen layoutversio löytyy kuvioista 29 ja liitteestä 1. Siinä nitraamo on jätetty samalle paikalle, huomioiden lattiarajoitukset. Huonetta on kavennettu puoleltoista metrillä, jotta puristimilta yksi ja kaksi on saatu käytävä puristin kolmoselle. Viilaamo on jatkettu aina puristin kolmosen seinään asti, jotta myös viilaamosta on saatu kulku puristin kolmoselle. Viilaamosta on toinen ovi tuotantoon, jotta materiaalivirrat on saatu kulkemaan tehokkaammin. Työkalutorneista kaksi on sijoitet-

tu edellisen ryhmän (7,8,9) jatkoksi, ja loput neljä on sijoitettu puristin kakkosen aidan viereen. Työkalutornien korkeutta rajoittaa siltanosturi, joka operoi kyseisellä alueella.

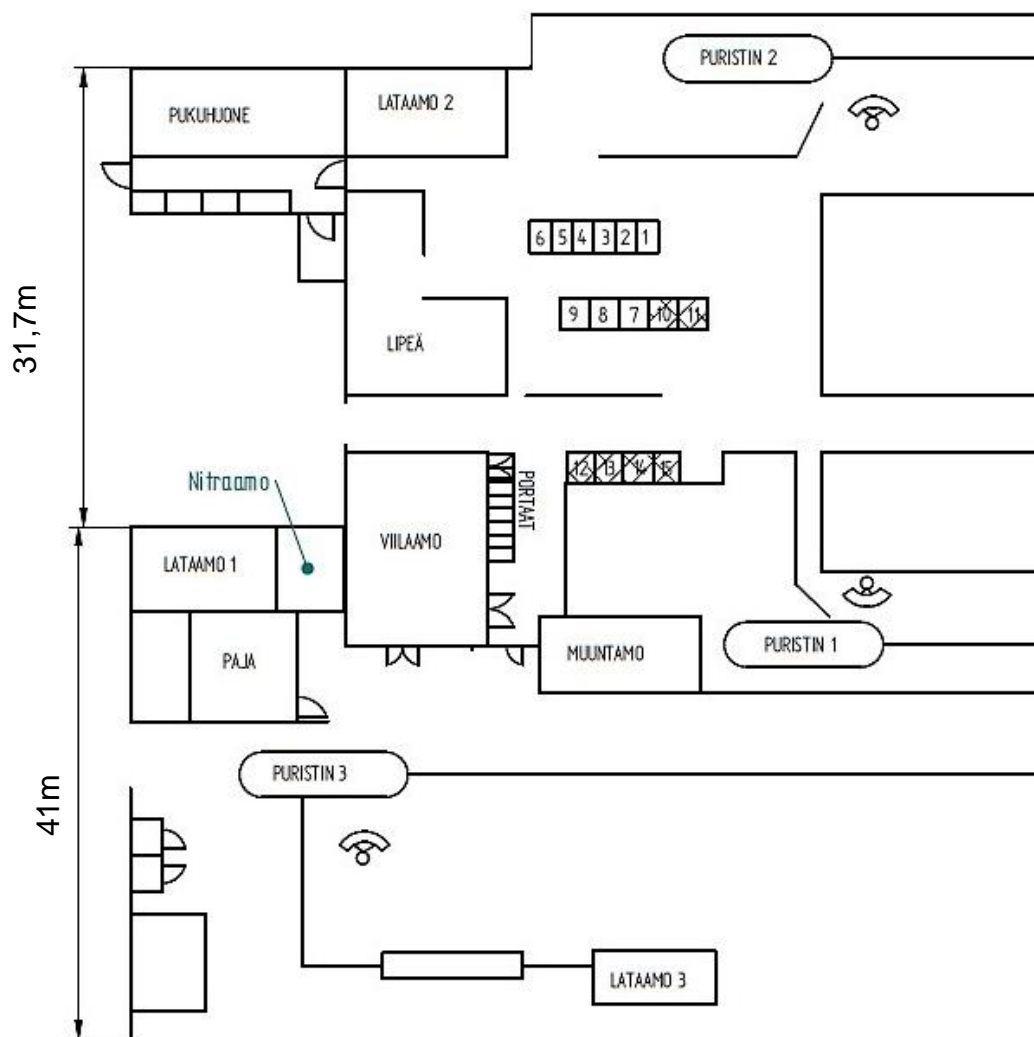
Mutherin riippuvuussuhdekaavion mukaisesti työkalutornit on sijoitettu tietylle varastointialueelle ja lähelle puristimia sekä viilaamoja. Tässä layoutversiossa ei ole lähdetty tekemään mitään radikaaleja muutoksia ja kustannukset on pidetty kurissa. Lisäksi pohjakuvaan on sijoitettu jo kauan puristinpäähän odotettu pukuhuone. Nykyiset vessat ovat uuden viilaamon käyntioven tilalla, näin viilaamon kulku saadaan pois trukkikäytävältä. Yläkerran portaat on siirretty varastointialueelle. Pukuhuoneen päälle voisi mahdollisuuksien mukaan rakentaa myös neuvotteluhuoneen.



Kuvio 29. Layoutvaihtoehto 1

6.2.2 Layoutversio 2

Toinen layoutversio löytyy kuviosta 30 ja liitteestä 2. Siinä nitraushuone on siirretty lataamon 1 kanssa samaan tilaan, jolloin kulku puristimelle kolme on saatu tuotantotiloista leveämmäksi. Viilaamo on venytetty puristimen kolme seinään asti, jotta viilaamosta on saatu kulku myös puristin kolmoselle. Neljä työkalutoria on sijoitettu viilaamon läheisyyteen ja kaksi työkalutornia on edellisen saapumisryhmän jatkoksi kuten ensimmäisessäkin layoutvaihtoehdossa. Yläkertaan menevät portaat on tässä vaihtoehdossa jätetty viilaamon seinää vasten.



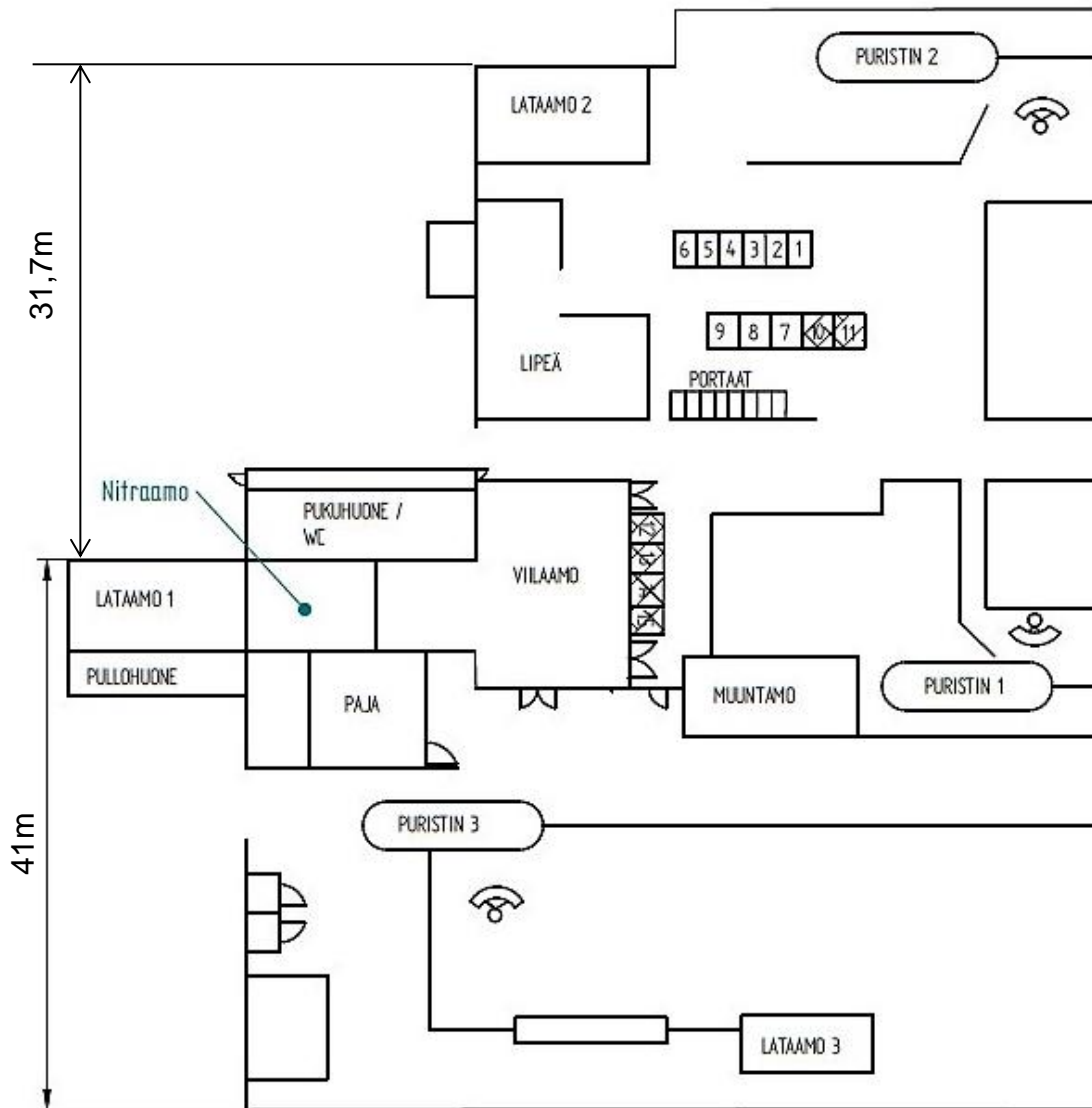
Kuvio 30. Layoutvaihtoehto 2

Ensimmäiseen versioon verrattuna nitraushuone on siirretty työkaluhuollon toiselle sivulle, jolloin lisätilaa on saatu paljon viilaamon ja puristin ykkösen aidan väliin. Tällöin ylösmenevät portaat on myös pystytty jättämään viilaamon seinustalle. Työkalutornien korkeutta ei tällä paikalla rajoita mikään, joten tornit voivat olla jopa 9 metriä korkeita. Työkalutornien käsittelyaukot osoittavat trukikäytävälle, mikä tuottaa ongelmia turvallisuuden kanssa.

6.2.3 Layoutversio 3

Kolmas layoutversio löytyy kuvioista 31 ja liitteestä 3. Tässä layoutvaihtoehdossa muutoksia on enemmän, joten myös kustannukset kasvavat. Lataamo 1 on siirretty kokonsa verran kuvasta katsottuna vasemmalle, jolloin nitraamo on saatu tuotua lataamon 1 aikaisemmalle paikalle. Viilaamon kokoa on saatu lisättyä uutta nitraamo kohti sekä lisäksi siirtämällä seinä puristin kolmosen seinään asti. Työkalutorneista neljä on sijoitettu entisen nitraushuoneen tilalle. Käsittelyaukot ovat työkalutornien molemmilla puolilla. Loput kaksi työkalutornia on tässäkin layoutissa sijoitettu edellisen saapumisryhmän jatkoksi.

Mutherin riippuvuussuhdekaavion mukaisesti varastointi tapahtuu jouhevasti suoraan viilaamon seinän läpi työkalun valmistuttua. Edellisiin layoutvaihtoehtoihin verrattuna tässä layoutissa on rakennusta jatkettu lataamon verran vasemmalle. Tämä mahdollistaa sen, että viilaamon seinä, joka jäisi muuten tyhjäksi tuotantohallin puolelle, on vastaavasti täytetty työkalutorneilla. Työkalujen varastointi tapahtuisi suoraan huollon valmistuttua, eikä niitä tarvitsisi kerätä kärryille odottamaan noutajaansa. Vastaavasti tuotantohallin puolelta työkalut voidaan ajaa työkalutorneista uudelleen tuotantoon. Lataamon siirto mahdollistaa myös pukuhuoneiden sijoittamisen uomaan, joka jää nitraushuoneen ja viilaamon väliin.

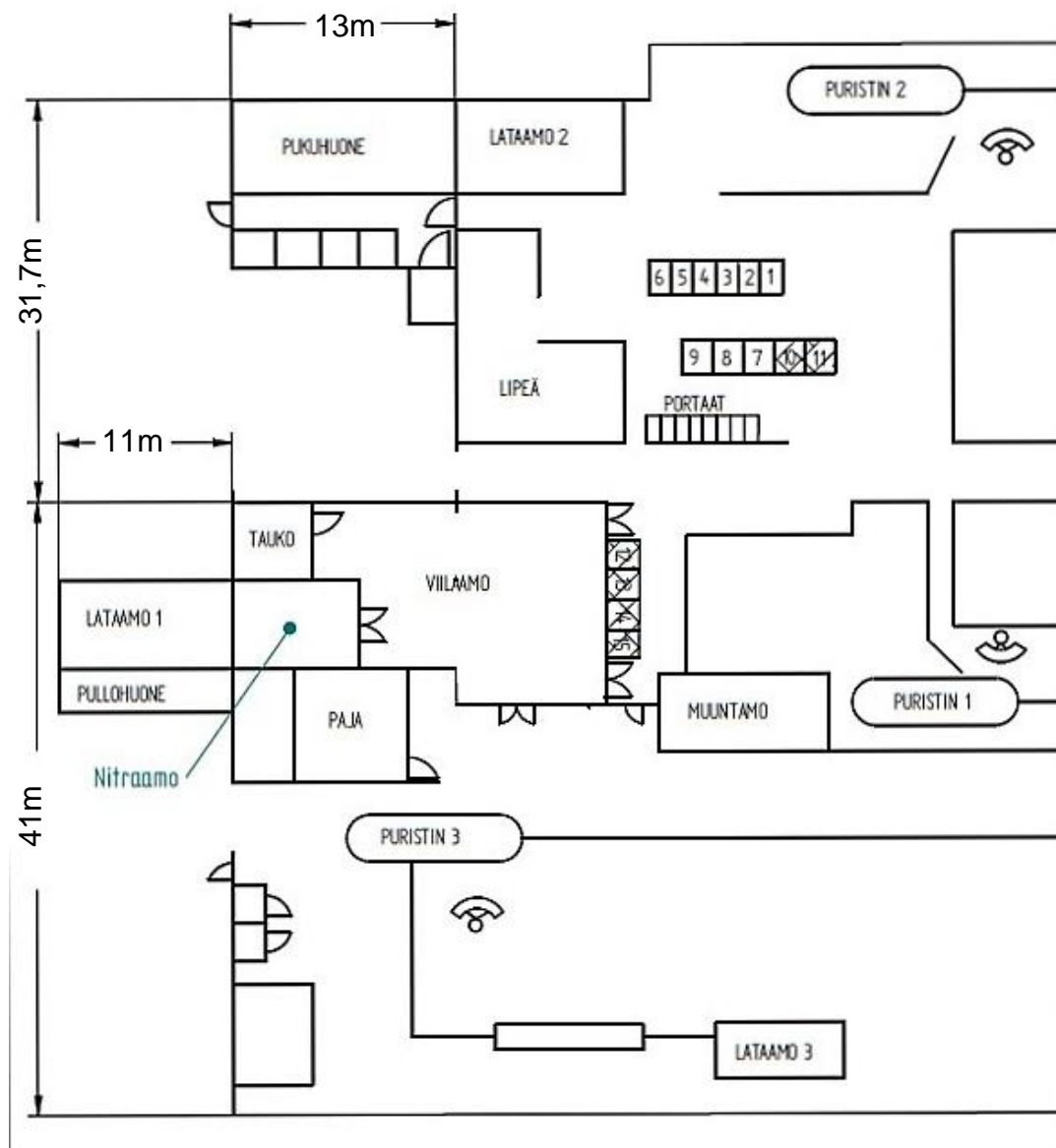


Kuvio 31. Layoutvaihtoehto 3

6.2.4 Layoutversio 4

Neljäs layoutversio löytyy kuviosta 32 ja liitteestä 4. Viimeinen layoutvaihtoehto on hyvin samanlainen kuin edeltäjänsäkin, mutta tässä kustannukset ovat korkeimmillaan. Lataamo 1 on siirretty kokonsa verran vasemmalle ja nitraushuone sijoitettu lataamon entiselle paikalle. Viilaamo on kasvatettu täyttämällä uoma lisätilalla. Lisäksi viilaamo on venytetty kolmospuristimelle asti. Työkalutornit on sijoitettu viilaamon seinään operoitavaksi molemmilta puolilta. Pukuhuoneet on sijoitettu

omaan lisäsiipeensä lataamon 2 nurkalle, minkä yläpuolelle on myös mahdollista rakentaa neuvotteluhuone.



Kuvio 32. Layoutvaihtoehto 4

Muihin layoutversioihin verrattuna viimeisin versio on kaikista isotöisin sekä kallein muutos toteuttaa. Viilaamon suhteen vaihtoehto on parhain sen melkein kaksinkertaistaessa työskentelytilan, joka nykyisestä viilaamosta on alkanut loppumaan. Tilaa olisi jopa niin paljon, että työntekijöille olisi mahdollista toteuttaa oma taukotupa viilaamon puitteissa, sekä parantaa näin ollen työskentelymotivaatiota.

6.3 Toiminnanohjauksen kehitysnäkökohtia

Tämä osio painottuu erilaisiin kehitysehdotuksiin, kuten tuotannon ohjattavuuden parantamiseen sekä toiminnanohjauksen ja -seurannan jalostamista helpottaviin seikkoihin. Ehdotuksista osa on hyvinkin yksityiskohtaisia ja tiettyyn ongelmaan kohdistettuja, osa on laajempaa kokonaisuutta käsittäviä ehdotuksia.

6.4 Työkaluhuollon tehokkuuden parantaminen

Puristussuulakkeiden kiertoa työkaluhuollossa seurataan toiminnanohjausjärjestelmällä, joka seuraa keskeytettyjen, viallisten sekä huoltoon tulevien työkalujen läpäisyäikää. Ohjelma tunnistaa työkalujen kiireellisyyden riippuen siitä onko ajo kyseisellä työkalulla mennyt hyvin vai ei. Keskeytettyjen sekä viallisten puristussuulakkeen läpäisyajaksi ohjelma antaa 32 h ja niiden, joiden ajossa ei ole ollut ongelmia, läpäisyäika on 48 h. Ohjelma kirjaa työkalut sisään heti kun ne on merkattu lipeästä poistuviksi. Tämä on sinällään huono asia, koska työkalut menevät vielä hiekkapuhalluslaitteen läpi ennen niiden pääsyä virallisesti työkaluhuoltoon. Tämä aiheuttaa hajontaa puristussuulakkeiden todelliseen läpäisy aikaan.

Nykyisellään työntekijät saavat myös itse valita, missä järjestyksessä kunkin puristussuuttimen huolto suoritetaan. Se voi johtaa mieluisimpien työkalujen valintaan ja aiheuttaa lajittumista sekä hajontaa huoltoprosessiin. Myös läpäisyajat usein ylittyvät valikoinnin seurauksena, mikä näkyy seurannassa punaisiin merkeihin.

6.4.1 Puristussuuttimien läpäisyajan parantaminen

Työkalujen huoltoprosessin kokonaisläpäisyajan todettiin paranevan, jos lipeä saataisiin kolmivuoroon. Kuten tiedetään, on yötyö kuitenkin kallista, ja on syytä harkita tilanteet huolella, milloin lipeään kannattaisi palkata lisää työvoimaa. Tässä valinnassa taloudellisuus on keskeisessä osassa, joten on tärkeää pohtia ainakin teoreettisella tasolla sen vaikutuksia optimaalisen virtauksen saavuttamiseen.

Kehittämiskeinot:

- lipeäosasto töihin kolmeen vuoroon
- toiminnanohjausjärjestelmän kehitys
 - avoimet tilaukset näkyviin
 - työkaluhuollolle oma kuittaus sisään ja ulos
- työkaluhuollon toiminnan kehitys
 - apuvälineitä, toimintaohjeita yms.
 - työturvallisuusasiat: ilmanvaihto, nostoapuvälineet.

6.4.2 Tuotantotilojen järjestys

Pienen epäjärjestyksen on todettu usein merkiksi siitä, että tuotanto rullaa tehokkaasti. Tosiasiassa epäjärjestys kertoo kuitenkin jostain aivan muusta. Hallien kulkuväylillä oleva liika tavara haittaa päivittäistä tuotannon läpimenoa sekä pahimmillaan saattaa johtaa jopa vaaratilanteisiin. Epäsiistit tuotantotilat voivat heijastaa myös työtehon alenemiseen työilmapiirin viihtyvyyden kautta.

Mäkelässä on aloitettu 5S-projekti muutamia vuosia sitten, jolloin työkaluhuollon osastolle tehtiin muutostyöt. Tällöin turhia tavaroita poistettiin, lattiapaikat merkittiin sekä työntekijöiden pisteet järjesteltiin uudelleen. Nykyään merkinnät ovat kulu-neet ja muutoksia työkaluhuollossa tehty sen verran, että niiden päivitys olisi paikallaan.

Esimerkiksi kokoamista odottavat suuret työkalut on sijoitettu kokoamispisteen päähän, aiheuttaen työturvallisuusriskin kaatuessaan tai pyöriessään väärään paikkaan kuten ovien eteen. Olisi syytä miettiä muutamille tavaroille uudet paikat työkaluhuollon tiloissa sekä päivittää vanhat merkinnät nykytilanteen mukaisiksi.

6.4.3 Työntekijöiden motivointi, työergonomia ja -ajat

Työntekijöiden haastatteluissa selvisi myös työmotivaatioon liittyviä pieniä asioita, joilla pystyttäisiin vaikuttamaan työntekijöiden viihtyvyyteen ja sitä kautta motivaatioon positiivisesti.

Työntekijöiden motivointi. Motivoituneen työntekijän panos on suurempi kuin motivoitumattoman. Henkilöstö on kuitenkin yksi tehokkaan tuotannon peruspilareista.

Työntekijöiden ehdotuksia tehokkuuden parantamiseksi:

- työpisteiden rauhoittaminen
- ilmastointi
- palkitseminen
- taukotupa.

Nykyiset työpisteet työkaluhuollon sisällä sijaitsevat hyvin lähellä toisiaan, jolloin ahtaita tilanteita tulee väistämättä, kuten esimerkiksi pitkiä profiilien alkupätkiä tutkittaessa ovat puolet niistä työkaverin pöydällä tai sojottavat käytävällä. Myös työkalujen korjauksessa syntyvät rönsyt lentävät lähellä istuvan työtoverin työpisteelle. Tähän kaivattiin kipeästi muutosta, jonka voisi toteuttaa esimerkiksi työpisteiden väliin sijoitettavalla sermillä yms.

Työajat. Työkaluhuollossa työajat ovat melko hajanaiset. Yksi tulee aamulla ensimmäisenä siirtämään yön yli nitrauksessa olleet puristussuulakkeet jäähdytyskammioon ja merkkamaan keskeytyksiä yms. Seuraavat viilarit saapuvat noin kello kuuden aikaan aamulla, joten he lähtevät jo kahden aikaan iltapäivällä pois. Nykyään yksi viilari kulkee iltavuorossa, joten kiertoa on saatu selvästi entisestään parannettua. Myös työaikojen liukuvuudella voisi saada joustoa puristussuulakkeiden huoltoprosessiin. Välillä on tilanteita, kun työtä ei hirveästi ole, ja työpaikalla tulee oltua turhaan. Toisaalta taas on tilanteita, kun työt joutuu jättämään kesken. Liukuminen toisi myös mahdollisesti selviä työkustannussäästöjä, kun oikeiden ylitöiden määrä saattaisi vähentyä.

Toisaalta työajan liukuvuus saattaa aiheuttaa työilmapiirissä rikkonaisuutta, työntekijöiden käydessä hyvin erilaisina aikoina töissä. Lipeän muuttaminen kolmeen vuoroon parantaisi puristussuulakkeiden puhdistusprosessin kokonaisuuden läpäisyä, mikä tarkoittaisi myös työkaluhuollon työaikojen muokkaamista.

Työntekijöiden ergonomian parantaminen. Työkaluhuollossa sekä puristussuulakkeiden varastoinnissa joudutaan nostelemaan suuriakin taakkoja. Yksi puristussuulake painaa profiilin suuruudesta riippuen 35 kg – 100 kg.

Ergonomiaa tullaan parantamaan tässäkin työssä poistettaessa tuotannosta puristussuulakkeiden varastoinnissa käytettävät vanhat oksahyllyt (kuvio 33) ja korvaamalla ne Kardexin automaattivarastoilla. Niissä käsittelyaukot sijaitsevat ergonomisella korkeudella. Kokonaan taakkojen nostoja ei saada poistettua, mutta helpotettua kylläkin. Suurimmat, sadan kilon työkalut varastoidaan tuotannon lattiatasossa ja työkaluhuollossa niitä pystytään työstämään työpistenosturin avulla.



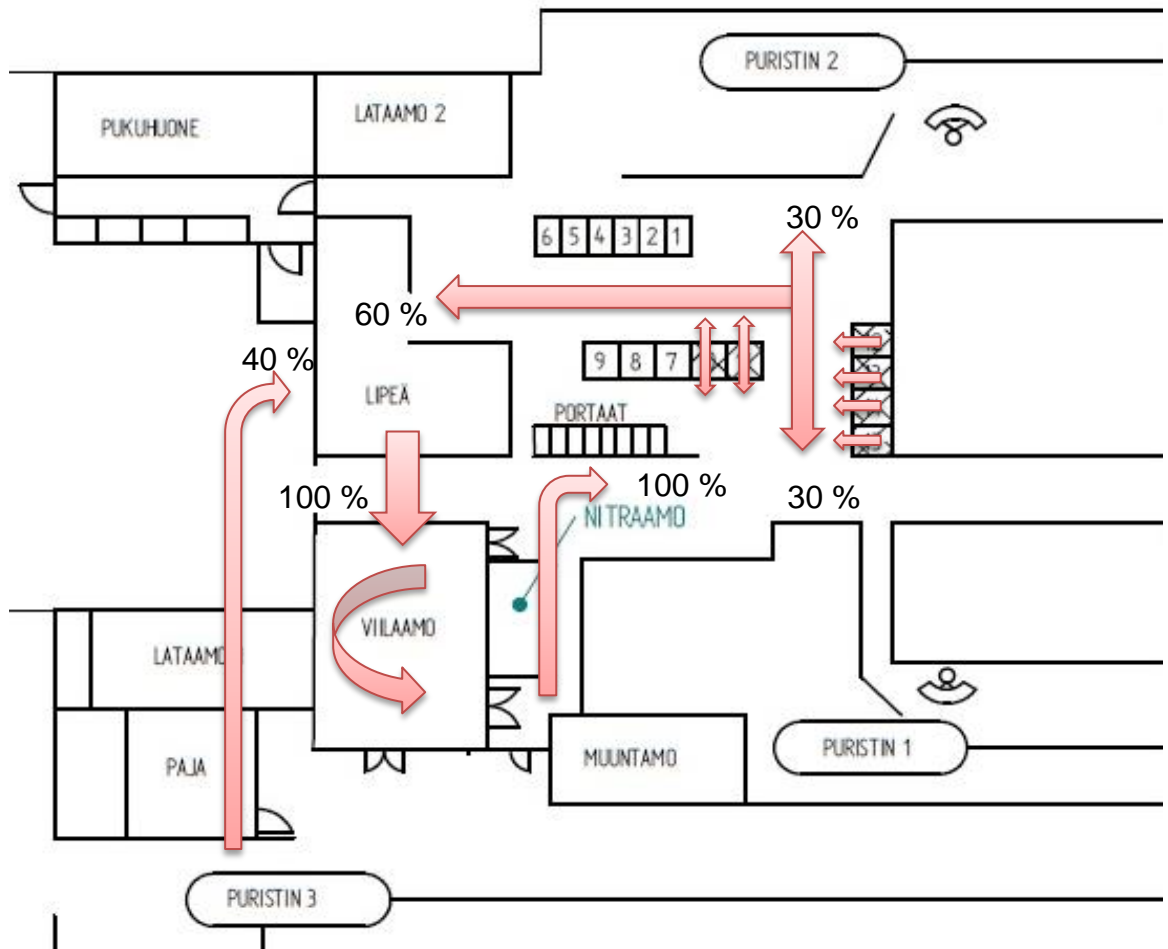
Kuvio 33. Vanhat työkalusuulakkeiden varastoinnissa käytettävät oksahyllyt

Valaistuksen tehostaminen. Työkaluhuollossa valontarve on suuri, sillä työkalujen viilaamisessa heijastetaan valo työkalun läpi, jolloin mahdolliset rönnyt ja halkeamat havaitaan paremmin. Työkaluhuollon katossa olevat loisteputkilamput vaihtamalla vastaaviin led-lamppuihin voisi tuoda vähintään kolminkertaiset säästöt niin energian kulutukseen kuin sähkölaskuunkin (Havells Sylvania, [viitattu 18.3.2016]). Myös työkalujen valaisuun käytettävät nykyiset halogeenilamput tuottavat hukkalämpöä sekä ovat pitkäaikaisen käytön vuoksi palaneita ja himmeitä. Pientä apua valaistukseen saataisiin myös maalaamalla tila vaalealla värisävyllä, joka heijastaa valoa paremmin.

6.5 Materiaalivirtaukset

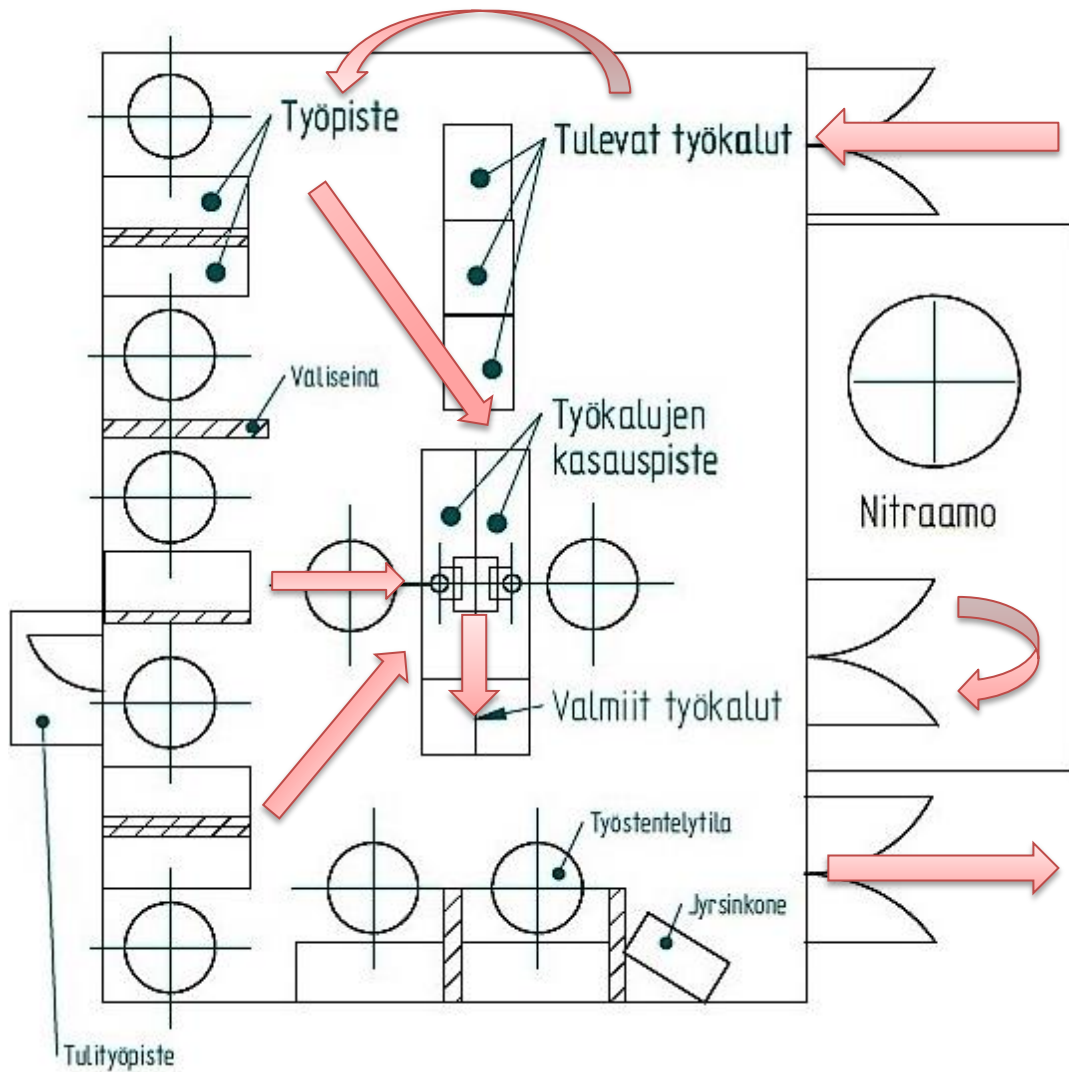
Tuotannon tehokkuuden ja sujuvuuden kannalta on tärkeää, että sen sisällä liikkuvat materiaalivirrat on otettu huomioon. Layoutin piirtämisessä suurin osa huomion kiinnityksi materiaalivirtojen ristikkäisyyteen, eli turhien materiaalisiirtojen karsimiseen. Nämä tekijät toimivat hyötyarvomatriisissa pääkriteereinä, kun layoutin raakaversioita karsittiin pois, parempien ja tarkoitustaan vastaavien layoutversioiden tieltä.

Parhaiksi valitusta layoutista muodostettiin materiaalivirtauskaavio, joka havainnollistaa materiaalien liikettä niin kuin ne oikeassakin layoutissa kulkisivat. Materiaalivirtakaaviossa näkyvät sekä itse pohjakuva, että siinä kulkevat materiaalivirrat. Prosenttiosuudet kuvastavat materiaalivirtojen määriä ja nuolet kuvastavat materiaalien kulkusuuntia tehtaan sisällä viilaamon, puristimien, lipeän ja varastojen välillä.



Kuvio 34. Ensimmäisen layoutvaihtoehdon materiaalivirtauskuva

Ensimmäisen layoutvaihtoehdon virtauskuvioista (kuvio 34) nähdään, miten puristimilta yksi ja kaksi tulevan materiaalivirran osuus on yhteensä 60 %, puristin kolmoselta tulevan materiaalivirran osuus materiaalivirrasta on n. 40 %, ja kuinka ne lopuksi kerääntyvät eri puristimilta lipeähuoneeseen. 100 % materiaalivirrasta jatkaa lipeäosaston kautta viilaamoon, josta se purkautuu vähitellen takaisin varastoihin tai suoraan ajoon.



Kuvio 35. Viilaamon materiaalivirtauskuva

Työkaluhuollon materiaalivirta kulkee kuvion 35 mukaisesti. Työkaluhuollon sisällä kierto on melko suoraviivainen ja tavanomainen U-malli, kärryt asetetaan keskelle huonetta, josta jokainen hakee puristussuulakkeen omalle työpisteelleen työstettäväksi. Puristussuulakkeen valmistuttua se kootaan kasauspisteellä ja asetetaan valmiiden työkalujen kärryille odottamaan. Valmiit työkalut ohjataan ulos toisesta päästä viilaamaa, jotta työkaluhuollon materiaalivirrasta on saatu mahdollisimman tehokas.

7 YHTEENVETO

7.1 Layoutmallin valinta

Lopullisen ja parhaiten toimivan layoutin valinta tapahtui karsien pois ne ylimääräiset layoutversiot, jotka muihin vaihtoehtoihin verrattuna eivät palvelleet tarkoitustaan tarpeeksi hyvin tai joissa oli eniten huonoja tai välttäviä ominaisuuksia. Layoutvaihtoehtojen vertailussa käytettiin apuna hyötyarvomatriisia (kuvio 36), jolla jokaisen layoutin parhaat ominaisuudet pisteytettiin vaatimusten mukaisesti. Pisteet saatiin kertomalla painoarvo vastaavalla kirjainarvolla sekä lopuksi summaamalla kunkin version pisteet yhteen. Tulokseksi saatiin kattava analyysi layoutversioiden onnistumisista sekä epäkohdista.

Vertailtava toiminto	Painoarvo	Versio 1		Versio 2		Versio 3		Versio 4	
1. Materiaalien virtaavuus	5	I	10	I	10	A	20	A	20
2. tilankäytön tehokkuus	4	I	8	I	8	A	16	E	12
3. välimatkojen pituus	3	I	6	E	9	A	12	A	12
4. varastoalueen toimivuus	2	A	8	E	6	I	4	I	4
Yhteensä		32		33		52		48	
A = Täydellinen (4) E = Erittäin hyvä (3) I = Hyvä (2) O = Välttävä (1) U = Huono (0)									

Kuvio 36. Hyötyarvomatriisi

Matriisiin valittiin vertailtaviksi tekijöiksi sellaiset, jotka olivat tutkimustyön aikana osoittautuneet tärkeiksi varaston layoutmallia suunniteltaessa. Lisäksi huomioon otettiin myös lähtöarvot ja -vaatimukset, jotka juuri tähän työhön alussa annettiin sekä Mutherin menetelmien avulla löydetyt riippuvuussuhteet. Painoarvojen pisteet valittiin suoran tuottavuusvaikutuksen mukaan, sillä varastointi ei itsessään lisää tuottavuutta. Kuvio 36 nähdään selvästi kuinka materiaalien virtaavuus on ensimmäinen prioriteetti, jonka painoarvo on 5, tilankäytön tehokkuus toinen, jonka painoarvo on 4 ja niin edelleen.

Kun kuvion 36 yhteenlaskettuja pisteitä tutkittiin, voitiin huomata, että eniten pisteitä saaneet layoutvaihtoehdot olivat versiot 3, joka sai 52 pistettä, sekä 4, joka sai 48 pistettä. Vähiten pisteitä saivat layoutvaihtoehdot 1, joka sai pisteitä 32, ja 2, joka sai pisteitä 33. Vaikka matriisin tulokset kertovat jo itsessään aika paljon, ei silti pelkkiin numeroarvoihin ole sokeasti luottamista.

Valinnan tulokset. Ensimmäinen layoutversio on kustannustehokkain ja selkein ratkaisu pienillä muutoksillaan. Varastoalueeltaan tehokkain layout on kuitenkin tilankäytön suhteen heikohko verrattuna vaihtoehtoihin kolme ja neljä. Käytävä, joka johtaa puristin kolmoselle, jää nitraamon paikan takia ehkä työkalukärryille jopa liian kapeaksi, jolloin viilaamon materiaalivirta ei pääse kiertämään toisesta ovesta sisään ja toisesta ulos, mikä olisi optimaalisin tilanne.

Materiaalien virtaavuuden kannalta tarkasteltaessa parhaat versiot olivat kolme ja neljä, joissa työkalutornien käsittelyaukot on sijoitettu suoraan viilaamon seinään. Tällöin työkalut pystytään varastoimaan heti huollon päätyttyä. Kuitenkin varastoalueen kokonaisuutta tarkasteltaessa ryhmien sijoittaminen muualle, kuin jo olemassa olevien tornien läheisyyteen, ei luo yhtenäistä varastoaluetta. Lisäksi laa- taamon siirrosta syntyvät kustannukset johtavat siihen, että vaihtoehdot ylittävät budjetin.

Ominaisuuksien tarkastelujen jälkeen parhaimmaksi layoutvaihtoehdoksi osoittautui vaihtoehto numero yksi. Se on tässä vaiheessa kaikkein selkein ja vähiten muutoksia vaativa suunnitelma. Välimatkat ovat suhteessa samat kuin aikaisem- milla automaattivarastoilla. Sijoittamalla tornit puristin kakkosen viereen, luodaan puristussuulakkeille yhtenäinen varastointialue. Ensimmäinen layoutvaihtoehto on toteutettu mahdollisimman järkevästi sekä kustannuksiltaan niukkimmin.

Työkalutornien korkeutta rajoittaa alueella operoiva siltanosturi, joka kuitenkin hel- pottaa uusien tornien kasausta, sillä ylimääräisiä nostolaitteita ei kasaussvaiheessa tarvita. Lisäksi nitraamon lattiassa on valmiiksi tehty upotus, jonne uusi pannu on helppo asentaa, eikä ylimääräisiä lattian piikkauksia tarvitse tehdä. Viilaamon ma- teriaalivirtojen kierto selviää vasta, kuin uusi pannu on saatu paikoilleen ja näh- dään, onko työkalukärryillä mahdollista kulkea kapeaa käytävää pitkin.

Vaikka hyötyarvomatriisista saadut tulokset eivät olleet ensimmäisen layoutin kannalta kovinkaan hyvät, on versio 1 toteutettavuudeltaan kannattavin. Versiossa on jätetty mukautumisen varaa tulevaisuutta varten sekä muutostyöt on aloitettavissa hyvinkin nopeasti. Ennen muutostöiden aloittamista on lopulliselle layoutille tehtävä aina riskikartoitus, jossa havaitaan mahdolliset uhat ja niiden aiheuttamat vakaavuudet.

7.2 Toiminnanohjauksen jatkokehitys

Tuotannon ohjattavuuden kehitys vaatii huomattavan paljon aikaa, eikä kehitystä saada kerralla hoidettua, vaan se on pitkäaikainen prosessi. Myös yksittäisten osa-alueiden parantaminen ei välttämättä tuo lisäarvoa tuotannon ohjattavuudelle, varsinkaan jos sen merkitys tuotannossa on pieni. Sen sijaan tuotannon ohjattavuutta parannetaan pienillä, siihen sisällytetyillä tuotannon tehokkuutta lisäävillä toimenpiteillä sekä yleisen laatutoiminnan parantamisella.

Tärkein jatkokehityksen aihe on luvussa 4.2.2 käsitelty läpäisy aika ja sen parantaminen työkaluhuollossa. Tuotannossa alumiiniprofiilien valmistusprosessin yhtäkkinen keskeytys puristussuuttimen rikon takia aiheuttaa suuria läpimenoaikojen hajontoja. Vian takia kyseisen profiilin puristaminen joudutaan aloittamaan alusta, kunhan kyseinen vika on saatu korjattua. Tämä aiheuttaa painetta koko tuotannossa sekä tuo yritykselle luonnollisesti lisäkustannuksia.

Toiminnanohjausjärjestelmässä olisi myös muutamia parannuksen kohteita. Ohjelma voisi näyttää tulevaisuudessa avoimet tilaukset, tästä näkyisivät kuormitetut profiilit. Näin ollen viilarit tietäisivät työkalut, joilla on tulossa puristustapahtuma ja että työkalulla on oikeasti kiire takaisin kiertoon. Ohjelma ei myös ymmärrä sitä, jos esimerkiksi suuri työkalu joudutaan laittamaan uudelleen lipeään. Ohjelma luulee ensimmäisestä lipeän merkkauksesta huollon alkaneeksi, jolloin läpäisyajat eivät täsmää todellisuutta. Toinen asia, joka aiheuttaa läpäisyajojen vääristymisiä on huollon merkaamisen unohtaminen. Työkalu ei poistu ohjelmasta ennen kuitaamista, jolloin läpäisyajan rajat liukuvat huomaamatta pakkasen puolelle.

Ohjelmaan voisi lisätä myös huollolle omat kuittaukset, kuten huolto IN ja huolto OUT. Viilari kuittaa työkalun huoltoon ja vasta silloin alkaisi työkalun oikea läpäisyajanlasku. Viilari myös kuittaa huollon loputtua työkalun huolletuksi (huolto OUT), jotta mahdollisesti välttyttäisiin suuriltakin aikataulujen ylityksiltä. Kaikkia ongelmia tämäkään ei poista, sillä viilareille tulee lisää muistettavaa, jos tähän ohjelmamuotoon päädytään.

Työntekijöiden tulisi myös seurata puristussuulakkeiden läpäisyajoja toiminnanohjausjärjestelmästä ja valita ensiksi vialliset sekä keskeytyneet puristussuuttimet työn alle. Sen jälkeen huoltaa järjestyksessä läpäisyajojen rajoilla kulkevat puristussuulakkeet. Olisikin hyvä, että työntekijät ymmärtäisivät lean-filosofian, jolloin voitaisiin seurata leanin periaatetta virtaavasta ja laadultaan tinkimättömästä tuotannosta.

8 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli suunnitella työkalujen varastointiin uusi layout poistuvien manuaalihyllyjen tilalle alumiiniteollisuusyrittäjä Mäkelä Alu Oy:lle ja parantaa näin työntekijöiden työturvallisuutta ja ergonomisuutta. Aina kun suunnitellaan työskentelymenetelmien ja työn ergonomian muutoksia, edistetään työssä jaksamista sekä parannetaan työn tuottavuutta (Kouri 2010, 12).

Suunnittelutyö oli yllättävän monivaiheinen, siihen sisältyi paljon huomioon otettavia seikkoja aina lähtötilanteen, kustannustehokkuuden ja materiaalivirtausten määrittämiseen. Lisäksi työssä perehdyttiin toiminnanohjauksen kehittämisen mahdollisuuksiin työkaluhuollossa ja sen välittömässä läheisyydessä.

Tutkimuksen edetessä saatiin Mutherin menetelmää ja hyötyarvomatriisia käyttämällä neljä eri vaihtoehtoa layoutiksi. Saaduista versioista karsittiin pois ne, jotka eivät täyttäneet tarkoitustaan tarpeeksi hyvin tai olivat kustannuksiltaan liian korkeita. Jäljelle jäi parhaaksi valittu kompromissit sopivasta layoutista. Lisäksi materiaalivirtoja tutkittaessa saatiin työkaluhuollon kiertoa selvennettyä.

Kehityskohteita parhaaksi valitulle layoutvaihtoehdolle voisivat olla tilankäytön tehokkuuden parantaminen. Työkalutorneja saisi vielä enemmän mahtumaan yhdistämällä layoutvaihtoehdon 1 sekä layoutvaihtoehdon 2 työkalutornit keskenään. Tulevaisuudessa lataamo 1 olisi siirrettävissä kokonsa verran vasemmalle, jolloin tila viilaamossa lähes kaksinkertaistuisi.

Myöhemmin huomattiin, että nitraamoa on turha lähteä liikuttamaan sen entiseltä paikaltaan, sillä lattiassa on valmiina sen tarvitsema upotusreikä sekä työkalujen liikutteluun tarvittava nosturi. Lisäksi lisäsiipien rakentaminen maksaa n. 1000 €/m², joten kustannukset nousisivat turhan korkeiksi.

Layoutversioiden suunnitteluvaiheessa olisi voinut tuoda vahvemmin esille siinä käytetyt menetelmät ja saada näin ollen luotettavimmat ja tarkemmat tulokset. Esimerkiksi käyttämällä MaxiMOST-normitusmenetelmää, joka mittaa tiettyyn tehtävään käytettyä aikaa ja työntekijän kulkemaa matkaa tietyllä taakalla, olisi saatu

laskettua hyvinkin tarkkaan jokaisen layoutin tehokkuus. Tämä on kuitenkin kokonaisuudessaan hyvin hidas prosessi ja jätettiin työn ulkopuolelle.

Työkaluhuollon kehittämisen tärkeimmiksi osiksi ilmenivät toiminnanohjausjärjestelmän epäkohtien parantaminen ja selkeyttäminen. Ohjelmassa on muutamia epäkohtia, jotka vääristävät läpäisyajoja ja heijastuvat työntekijöiden provisioihin ja näin ollen motivaatioon. Lisäksi tiedonkulun parantamiseksi ohjelma saisi näyttää tulevat ajot, jolloin viilarit näkevät kiireisimmät puristussuulakkeet.

Tutkimuksessa asetetut tavoitteet pystyttiin pääpiirteittäin saavuttamaan. Tutkimuksen tuloksena syntyneiden layoutvaihtoehtojen kompromissista saatu paras vaihtoehto täytti lähes kaikki vaatimukset. Koko tutkimuksen tärkeimpänä tuloksena saatiin kartoitettua turhia materiaaliveikkoja, sekä uusia ideoita jatkokehittämistä varten. Toivon, että tutkimustyötäni pystytään hyödyntämään muutosten tullessa ajankohtaisiksi, vaikka kustannussyistä kaikkia layoutissa esiintyviä muutoksia ei voida luultavasti toteuttaa.

LÄHTEET

- Allington, M. 2006. Factory layout principles. [Verkkodokumentti]. Documents.mx. [Viitattu 8.1.2016]. Saatavana: <http://documents.mx/documents/factory-layout.html>
- Harvisalo, R. 2002. Alumiinin pursotustyökalujen toiminta, huolto ja kalibrointi. Opinnäytetyö. Seinäjoen ammattikorkeakoulu.
- Havells Sylvania. Ei päiväystä. Led säästölaskuri. [Verkkosivu]. Havells Sylvania Finland Oy. [Viitattu 18.3.2016]. Saatavana: <http://www.sylvania.fi/led-saastolaskuri>
- Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I. & Miettinen, A. 2009. Teollisuustalous. 6.painos. Tampere: Infacs Oy.
- Jokinen, T. 2001. Tuotekehitys. [PDF-julkaisu]. Teknillinen korkeakoulu. Aalto yliopisto. [Viitattu 13.12.2015]. Saatavana: <http://lib.tkk.fi/Reports/2010/isbn9789526033204.pdf>
- Karhunen, J., Pouri, J & Santala, J. 2004. Kuljetukset ja varastointi. Helsinki: WSOY
- Kardex Remstar. 2015a. Pystysuuntaiset hissijärjestelmät. Shuttle XP. [Verkkosivu]. Kardex Group. [Viitattu 10.12.2015]. Saatava: <http://www.kardex-remstar.fi/fi/tuotteet/pystysuuntaiset-hissijaerjestelmaet/shuttle-xp.html>
- Kardex Remstar. 2015b. Kardex Remstar Shuttle XP. Hissityyppinen varastotila-suuri varastotiheys pienellä pohjapinta-alalla. [PDF-julkaisu]. Kardex Group. [Viitattu 10.12.2015]. Saatavana: http://www.kardex-remstar.fi/fileadmin/user_upload/kardex-remstar/DownloadCenter/Kardex_Remstar_ShuttleXP_FI_low.pdf
- Karrus, K. E. 1998. Logistiikka. 3.–4. painos. Helsinki: WSOY
- Karrus, K. E. 2003. Logistiikka. 3.–4. painos. Helsinki: WSOY
- Khanna. R.P. 2015. Production and operations management. 2. painos. [Verkkokirja]. Delhi: Asoke K. Ghosh. Saatavana: https://books.google.fi/books?id=JNbiCQAAQBAJ&pg=PA604&dq=Sipper,+D+%26+Bulfin,+R.+1997.+Production+Planning,+Control+and+Integration.+McGr+aw-Hill.&hl=fi&sa=X&ved=0ahUKEwjg-urF0_zKAhWKhywKHfbVBLIQ6AEISjAF#v=onepage&q&f=true

- Kivipelto, T. 2000. Läkkipellistä alumiiniin, Mäkelä Alu Oy ja sen juuret vuodesta 1937. Alajärvi: Mäkelä Alu Oy
- Korhonen, P. 2004. Pursotusaihioiden lämpötilamenetelmä. Opinnäytetyö. Seinäjoen ammattikorkeakoulu.
- Kouri, I. 2010. Lean taskukirja. Helsinki: Teknologianfo Teknova Oy
- Lapinleimu, I., Kauppinen, V. & Torvinen, S. 1997. Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät. 1. painos. Porvoo: WSOY.
- Logistiikan Maailma. 2016a. Logistiikkakeskus. pientavarakeruu - automaatoratkaisut. [Verkkosivu]. Reijo Rautauoman säätiö. [Viitattu 16.1.2016]. Saatavana: http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/Pientavarakeruu_%E2%80%93_automati_orkaisut
- Logistiikan Maailma. 2016b. Tuotanto. JIT (Just-in-time) ja imuohjaus. [Verkkosivu]. Reijo Rautauoman säätiö. [Viitattu 30.3.2016]. Saatavana: http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/JIT_%28Just-in-time%29_ia_imuohjaus
- Logistiikan Maailma. 2016c. Tuotanto. Lean-ajattelu. [Verkkosivu]. Reijo Rautauoman säätiö. [Viitattu 27.3.2016]. Saatavana: <http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/Lean-ajattelu>
- Miettinen, Pauli. 1993. Tuotannonohjaus ja logistiikka. Helsinki: ATK-Instituutti
- Muther, R. 1973. Systematic layout planning. 2. painos. [Verkkokirja]. Boston: Cahners Books. [Viitattu 7.1.2016]. Saatavana: <https://books.google.fi/books?hl=fi&id=FPtTAAAAMAAJ&focus=searchwithinline&q=material>
- Mäkelä Alu Oy. Ei päiväystä. Asiakasprofiilit. [Verkkosivu]. Mäkelä Alu Oy. [Viitattu 28.11.2015]. Saatavana: <http://www.makelaalu.fi/index.php?sivu=Asiakasprofiilit&kieli=fi>
- Mäkelä Alu Oy. Ei päiväystä. Etusivu. [Verkkosivu]. Mäkelä Alu Oy. [Viitattu 26.11.2016]. Saatavana: <http://www.makelaalu.fi/index.php?sivu=Etusivu&kieli=fi>
- Mäkelä Alu Oy. Ei päiväystä. Pintakäsittely. [Verkkosivu]. Mäkelä Alu Oy. [Viitattu 29.11.2015]. Saatavana: <http://www.makelaalu.fi/index.php?sivu=Pintakasittely&kieli=fi>
- Mäkelä Alu Oy. Ei päiväystä. Raaka-aineet ja seokset. [Verkkosivu]. Mäkelä Alu Oy. [Viitattu 7.12.2015]. Saatavana: http://www.makelaalu.fi/index.php?sivu=Raaka-aineet_ia_seokset&kieli=fi

- Mäkelä Alu Oy. Ei päiväystä. Yritys. [Verkkosivu]. Mäkelä Alu Oy. [Viitattu 27.11.2015]. Saatavana: <http://www.makelaalu.fi/index.php?sivu=Yritys&kieli=fi>
- Mäkelä Alu Oy. Ei päiväystä. Yritysvideo. [Verkkosivu]. Mäkelä Alu Oy. [Viitattu 8.12.2015]. Saatavana: <http://www.makelaalu.fi/index.php?sivu=Yritys&kieli=fi>
- Mäkelä Alu Oy. Ei päiväystä. Sisäinen koulutusmateriaali. [Verkkolähde]. Mäkelä Alu Oy. [Viitattu 9.12.2015]. Saatavana: Vain yrityksen sisäisessä käytössä.
- Pouri, R. 1986. Varastojen suunnittelu. Helsinki: Rastor Oy
- Ritvanen, V., Inkiläinen, A., von Bell, A & Santala, J. 2011. Logistiikan ja toimitusketjun hallinnan perusteet. Saarijärvi: Suomen osto- ja logistiikkayhdistys LOGY ry
- Sakki, J. 1994. Logistinen materiaalin ohjaus. Espoo: MH-Konsultit Oy
- Sakki, J. 2009. Tilaus-toimitusketjun hallinta. 7. uudistettu painos. Vantaa: Jouni Sakki Oy
- Seitamaa-Hakkarainen, P. Ei päiväystä. Suunnitteluprosessien teoriaa. [Verkkosivu]. Aalto University. [Viitattu 10.2.2016]. Saatavana: http://www.mlab.uiah.fi/polut/Design/teoria_suunnitteluprosessit.html
- Slack, N., Chambers, S & Johnston, R. 2007. Operations management. 5.painos. [Verkkokirja]. England: Pearson Education Limited. Saatavana: <https://books.google.fi/books?id=PyBs8ffEDmAC&pg=PA188&dq=operations+management+slack+layout&hl=fi&sa=X&ved=0ahUKEwi3nPKBjd7JAhWBSXIKHTDoCW0Q6AEIjAA#v=onepage&q=operations%20management%20slack%20layout&f=true>
- Taloussanommat. 2015. Yrityshaku. Mäkelä Alu Oy. [verkkosivu]. Helsinki: Sanoma Media Finland Oy. [Viitattu 28.11.2015] saatavana: <http://yritys.taloussanommat.fi/y/makela-alu-oy/alajarvi/0509084-2/>
- Thedja, W.W., Müller, K. B. & Ruppin, D. 1992. Tribomechanical Process on the Die Land Area During Extrusion of AA6063 Alloy. Forschungszentrum Strangpressen & Technische Universität Berlin. 5th International Aluminium Extrusion Technology Seminar. Volume II: Extrusion Process, Equipment and Technology. Chicago, Illinois.
- Valberg, H. & Malvik, T. 1996. Metal Flow in Die Channels of Extrusion Investigated by an Experimental Grid Pattern Technique. The Norwegian Institute of Technology, Norway. 6th International Aluminium Extrusion Technology Seminar. Volume II: Die Design and Technology; Application and Product Innovations. Chicago, Illinois.

LIITTEET

Liite 1. Layoutversio 1

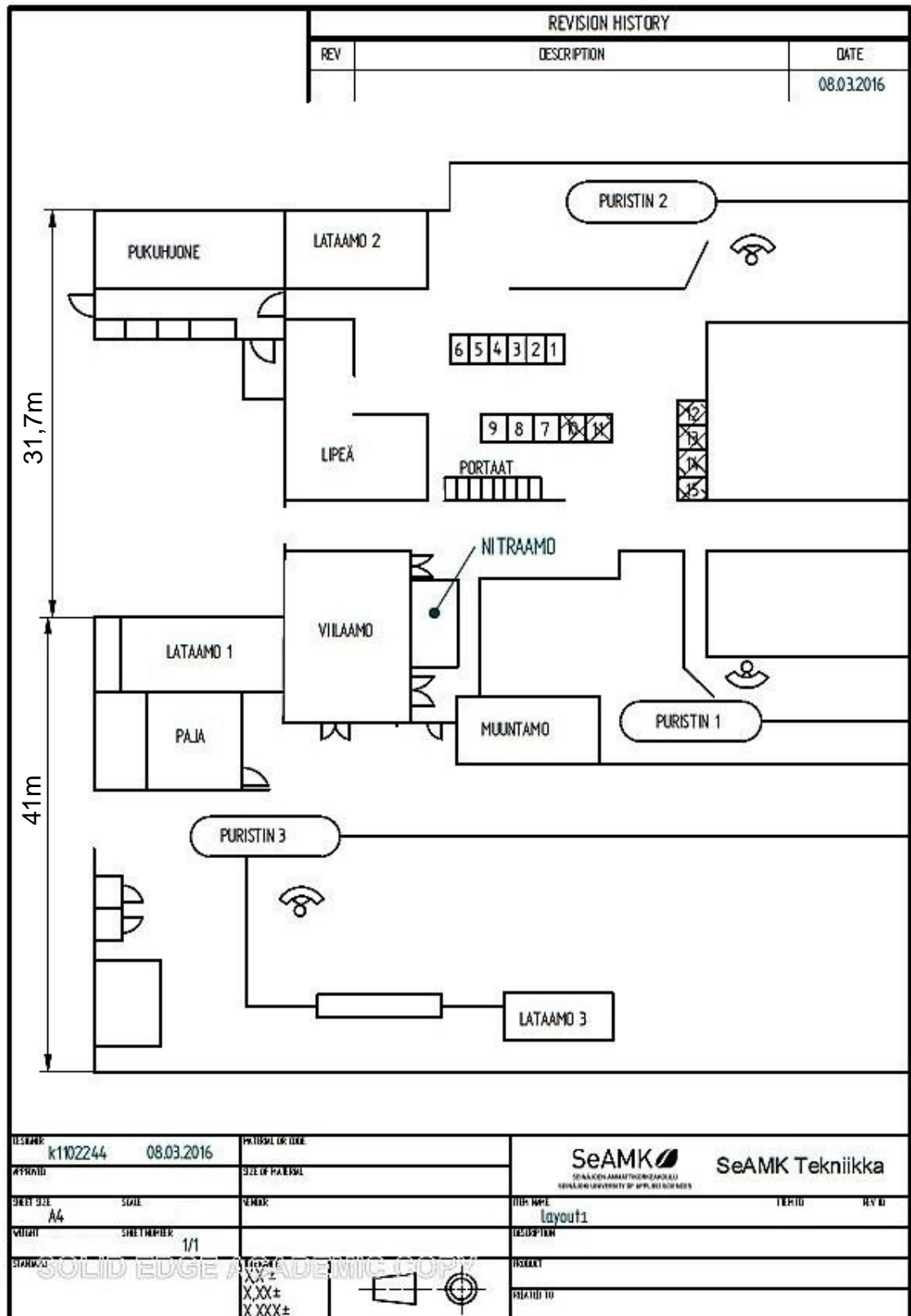
Liite 2. Layoutversio 2

Liite 3. Layoutversio 3

Liite 4. Layoutversio 4

Liite 5. Työkaluhuollon layoutmalli

LIITE 1

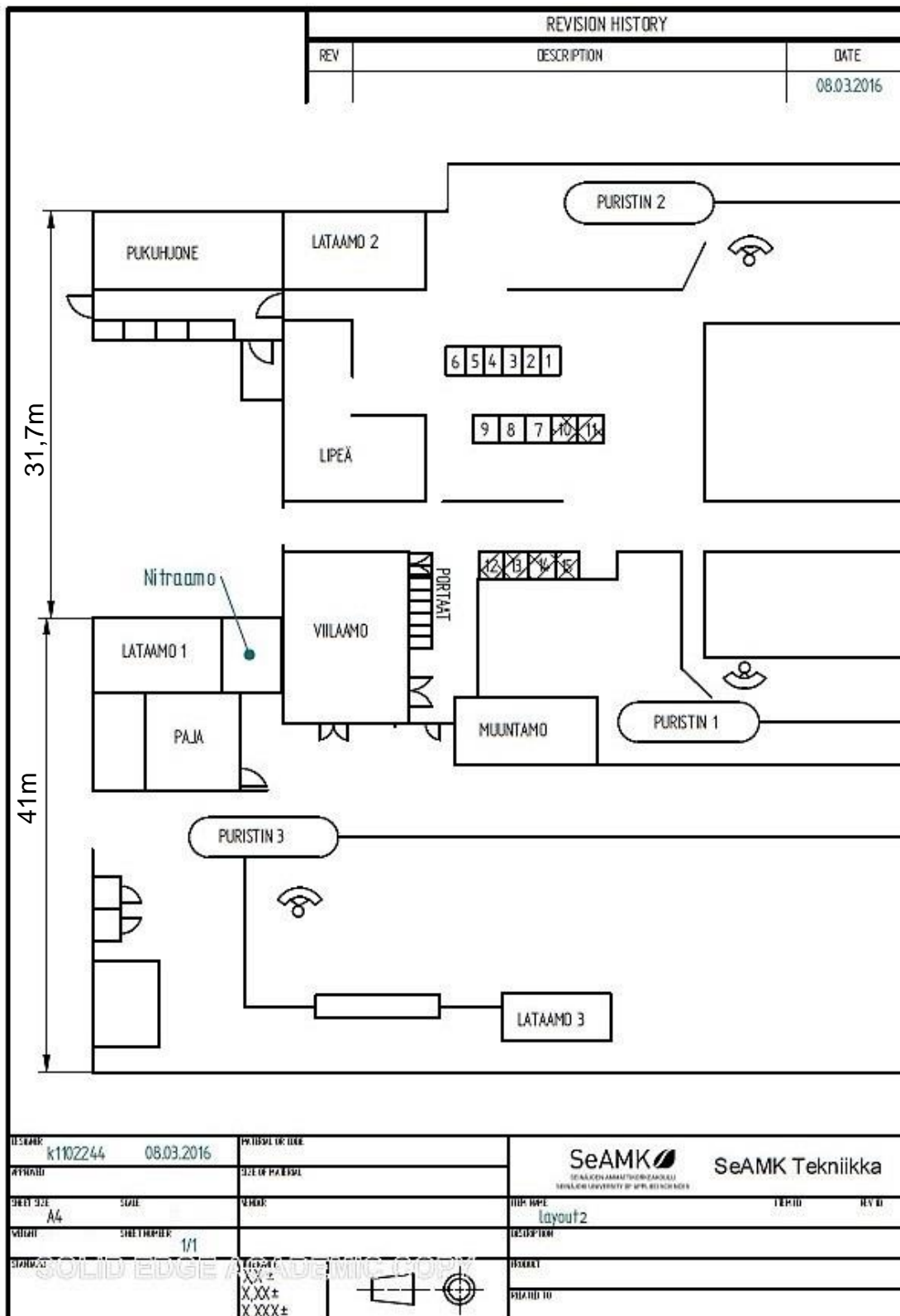


REVISION HISTORY		
REV	DESCRIPTION	DATE
		08.03.2016

DESIGN: k1102244 DATE: 08.03.2016	PROJECT OR CODE:	 SeAMK Tekniikka <small>SEAMKIN AMMATTIKORKEAKOULU SEAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES</small>	TITLE: layout1	DRAWN BY:
SHEET SIZE: A4	SCALE:		CHECKED BY:	DATE:
SHEET NUMBER: 1/1	STANDARD:	RELATED TO:	PROJECT:	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

LIITE 2



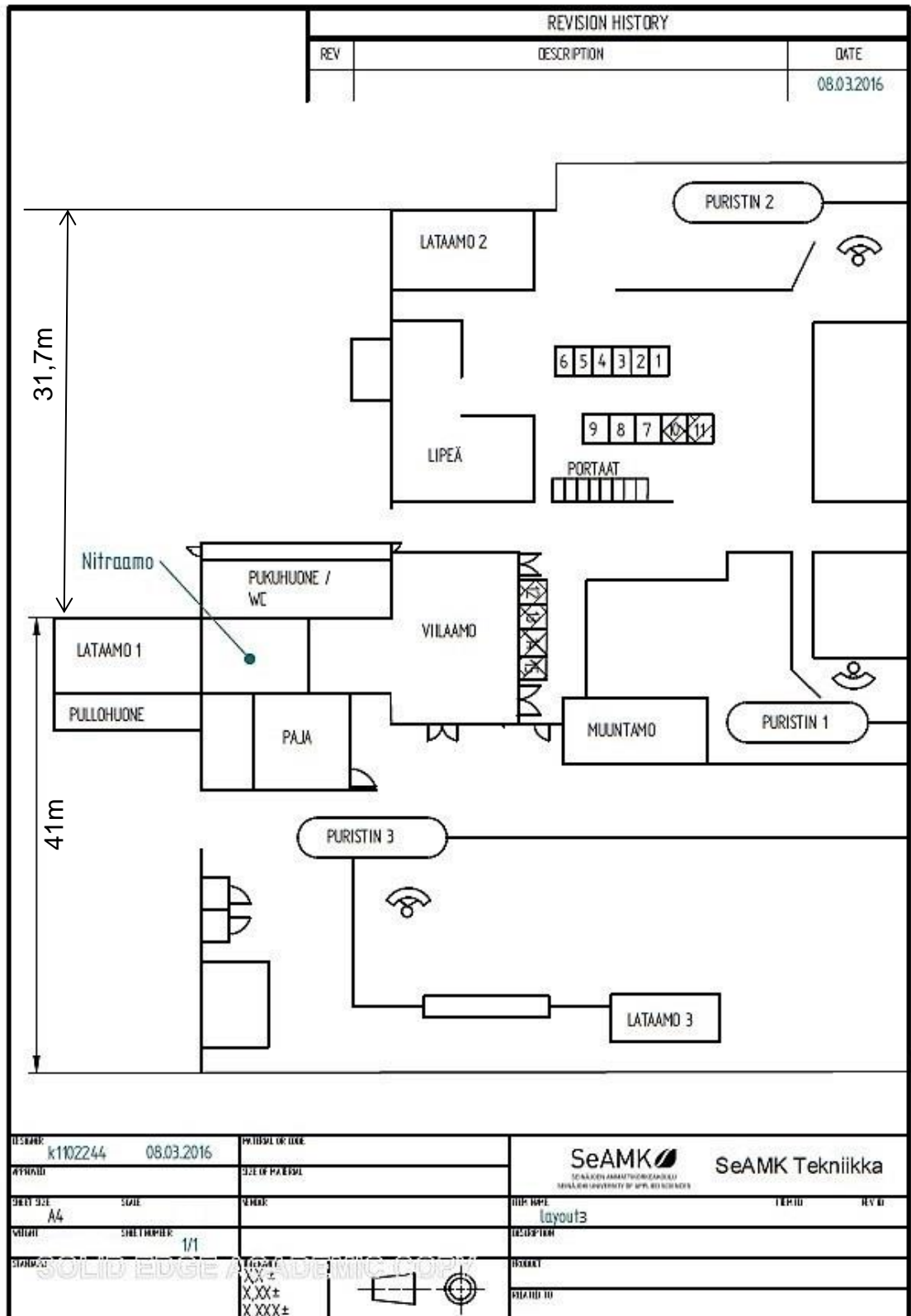
DESIGN: k1102244	DATE: 08.03.2016	PROJECT OR USER:
APPRAISAL:	SCALE:	SIZE OF PAPER:
SHEET SIZE: A4	SHEET THICKEN: 1/1	QUANTITY:
SIGNATURE:		DATE:


SeAMK Tekniikka
SEAMK KOKONAAMMATTIOPISTO
SEAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

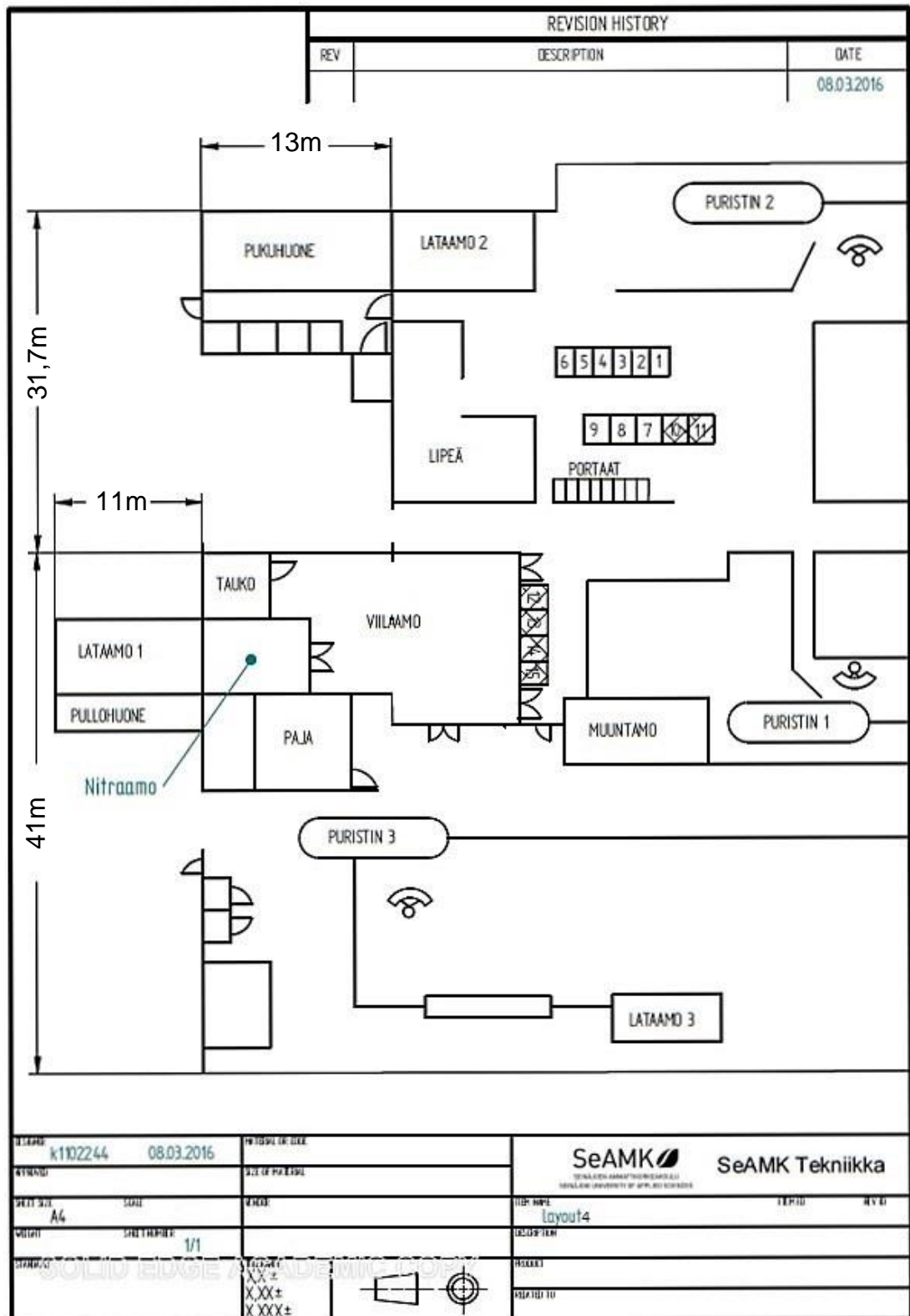
TUP: NAME: layout2	TEMP:	REV: 01
DESCRIPTION:		
ISSUED:		
RELATED TO:		

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

LIITE 3



LIITE 4



LIITE 5

