



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

KIMMO VAINIO
SYLINTERITUOTANNON TEHOSTAMINEN JA VOIMASYLINTE-
RIN TOIMINTA
Diplomityö

Tarkastajat: professori Jari Rinkinen
ja tutkijatohtori Mikko Koho
Tarkastajat ja aihe hyväksytty Au-
tomaatio-, kone- ja materiaalitekni-
kan tiedekuntaneuvoston kokouk-
sessa 8. kesäkuuta 2011.

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan koulutusohjelma

VAINIO, KIMMO: Sylinterituotannon tehostaminen ja voimasynterinin toiminta

Diplomityö, 92 sivua, 6 liitesivua

Syyskuu 2011

Pääaine: Hydrauliteknikka

Tarkastaja: professori Jari Rinkinen ja tutkijatohtori Mikko Koho

Avainsanat: layout-suunnittelu, läpimenoaika, paineenmuunnin, sylinteri

Tuotannon jatkuva kehittäminen ja sopeutuminen uusien tuotteiden valmistamiseen ovat hyvin toimivan ja kustannustehokkaan tuotannon edellytys. Valmistustekniikan suunnittelua ja sen tehokkuuden lisäämistä on kehitettävä jatkuvasti, jotta pystytään vastaamaan kovaan kilpailuun, raaka-ainehintojen nousuun ja työvoiman kallistumiseen. Asiakasohjautuvassa piensarjavalmistuksessa on tärkeää joustava tuotanto, jotta saavutetaan lyhyt läpimenoaika ja pieni keskeneräinen tuotanto. Hytar Oy päätti tehostaa omaa toimintaa ja halusi sylinterituotannolle uuden kehityssuunnitelman.

Tämä diplomityö koostuu kahdesta eri osa-alueesta: sylinterituotannon tehostamisesta ja voimasynterinin toiminnan esittelystä. Sylinterituotannon tehostamisessa päätavoite on laatia tuotannolle kehityssuunnitelma. Diplomityössä sylinterituotannolle suunnitellaan uusi ja tehokkaampi layout, jossa työpisteet sijoitellaan työprosessin mukaiseen järjestykseen ja niiden väliset etäisyydet lyhennetään. Uudessa layout-suunnitelmassa tehdään kaksi eri tuotantoa: liitin- ja sylinterituotanto erotetaan toisistaan itsenäisiksi kokonaisuuksiksi. Tämä helpottaa tuotannonohjausta ja parantaa sylinterituotannon toimintaa. Diplomityön kehityssuunnitelmassa työvaiheiden läpimenoaikoja tasoitetaan, ei-jalostavaa aikaa lyhennetään ja eräkojoja rajoitetaan. Näillä toimenpiteillä tuotannon materiaalivirta saadaan tasaiseksi. Tämä työ antaa hyvän pohjan sylinterituotannon kehittämiseksi ja mahdollistaa toiminnan tehostamisen myös tulevaisuudessa.

Työn toinen osa-alue keskittyy Hytar Oy:n patentoimaan voimasynteriniin ja sen esittelyyn. Nykyajan koneet ja laitteet pyritään suunnittelemaan siten, että ne ovat taloudellisia ja samalla niillä saavutetaan suorituskykyinen toiminta. Tämä on vaikuttanut myös hydraulijärjestelmien suunnitteluun. Hydraulijärjestelmältä vaaditaan hyviä ominaisuuksia pienellä energiatarpeella. Voimasynterinillä saavutetaan nopea toiminta ja suuri voima pienellä energiatarpeella. Tässä työssä esitellään voimasynterinin rakenne ja toiminta kahden käyttösovelluksen avulla. Lisäksi työssä pohditaan voimasynterinin kehityskohteita ja tulevaisuuden näkymiä.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Mechanical Technology

VAINIO, KIMMO: The Enhancing of Cylinder Production and Function of Double Force Cylinder

Master of Science Thesis, 92 pages, 6 Appendix pages

September 2011

Major: Fluid Power

Examiner: Professor Jari Rinkinen and Research Fellow Mikko Koho

Keywords: layout planning, lead time, pressure amplifier, cylinder

Continuous improvement of production and readjustment in manufacturing of new products is a prerequisite for well working and cost-effective production. The planning and efficiency of manufacturing technique needs to be continuous so that it is possible to respond to keen competition, increase of raw material prices and more expensive labor. The customer driven short-run production needs to be smooth and flexible, to be able to reach a short lead time and little work in-process. In this master's thesis cylinder production of Hytar Oy will make a development plan and estimate its efficiency.

This thesis consists of two different parts: the enhancement of cylinder production and the function of double force cylinder. The main objective in enhancement of cylinder production is to create a development plan of production. In this master's thesis cylinder production is designed a new and more efficient layout, in which the workstations are reorganized according to manufacturing processes and the distances between them are shortened. In the new layout of the factory which has two different productions; adapter and cylinder production have been separated from each other as independent units. This makes production control easier and improves operation of manufacturing. In the development plan of this master's thesis lead time of work phases will be balanced and long set-up times and batches will be reduced. With these operations, material flow of manufacturing will be smooth and production flow gets better. This thesis provides a good basis for improvement of cylinder production and enables enhancement of operations in the future.

The second part of the thesis focuses on double force cylinder patented by Hytar Oy as well as its demonstration. Modern machinery and equipment are designed so that they are economic and efficient at the same time. This has also influenced to hydraulic system design, which is required for good performance with low energy requirement. Fast operation and great force are achieved with the double force cylinder with a low energy requirement. In this thesis the double force cylinder structure and function are introduced with two different applications. Additionally, in this thesis development targets and future possibilities of the double force cylinder are considered.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö tehtiin Hytar Oy:lle kehitysprojektina. Haluan kiittää työnantajaani mahdollisuudesta diplomityön tekemiseen. Diplomityö tarjosi haastavan, mutta samalla mielenkiintoisen kehitysprojektin.

Haluan kiittää työn tarkastajia Jari Rinkistä ja Mikko Kohoa saamastani tuesta työn tekemisen aikana. Erityisesti haluan kiittää työn ohjaajia Raimo Tuomista ja Mikko Laatikaista mielipiteistä ja kommentteista työhön liittyen. Samalla haluan kiittää muita Hytar Oy:n työntekijöitä, jotka auttoivat työn valmistumisessa.

Suurimmat kiitokseni haluan esittää vaimolleni Kristinalle, ystäväilleni sekä perheelleni saamastani tuesta opiskeluaikana ja avusta diplomityön tekemisessä.

Tampereella 23.8.2011

Kimmo Vainio

SISÄLLYS

1	Johdanto	1
2	Tehtaan tuotanto.....	4
2.1	Tuotantomuodot	4
2.2	Layout-tyypit.....	6
2.2.1	Tuotantolinja-layout	6
2.2.2	Funktionaalinen layout	6
2.2.3	Solu-layout.....	7
2.3	Layout-suunnittelu	7
2.4	Tuotannonohjaus	10
2.4.1	Työntöohjaus	12
2.4.2	Imuohjaus	12
2.4.3	Juuri Oikeaan Tarpeeseen -tuotanto	13
2.4.4	Läpimenoaika	14
2.5	Toiminnan kehittäminen	15
2.6	Lean-tuotanto	16
2.6.1	Lisäarvoa tuottamattomien toimintojen eliminointi	18
2.6.2	Lean-teorian soveltamisen haasteet käytännössä.....	20
3	Hydraulisylinterin ja paineenmuuntimen toiminta.....	21
3.1	Hydraulisylinterin ominaisuudet.....	21
3.2	Hydraulisylinterin rakenne.....	23
3.2.1	Yksitoimiset sylinterit.....	23
3.2.2	Kaksitoimiset sylinterit	24
3.2.3	Erikoissylinterit.....	24
3.2.4	Sylinterin päätyvaimennus.....	26
3.2.5	Sylinterin tiivistäminen.....	27
3.2.6	Differentiaalikytkentä	27
3.3	Paineenmuunnin.....	29
4	Hytar Oy:n Jyväskylän tehtaan nykytilanne	31
4.1	Hytar Oy:n valmistamat sylinterit.....	32
4.1.1	Vakiosylinterit	33
4.1.2	Asiakaskohtaiset sylinterit	33
4.2	Tehtaan nykyinen layout.....	34
4.3	Tuotantoprosessin kuvaus	34
4.4	Sylinteriosien valmistus	35
4.5	Sylinterivalmistus.....	36
4.6	Sylinterituotannon ongelmat	39
4.6.1	Tuotannonohjaus.....	40
4.6.2	Työvaiheiden läpimenoaikojen vaihtelu.....	41
4.6.3	Keskeneräinen tuotanto	42
4.6.4	Sylinterivalmistuksen materiaalivirta	44

4.6.5	Materiaalipuutteet	45
4.6.6	Tuotantotilat	45
5	Sylinterituotannon kehitysehdotukset	47
5.1	Hytar Oy:n Jyväskylän tehtaan layout-suunnittelu	47
5.1.1	Sylinterivalmistuksen materiaalinkulku	48
5.1.2	Käytettävissä oleva tila ja tilantarvevaatimukset.....	50
5.1.3	Rajoitukset ja lisätekiöt.....	51
5.1.4	Layout vaihtoehdot	52
5.1.5	Layout-vaihtoehtojen vertaileminen.....	57
5.1.6	Lopullinen layout.....	59
5.2	Työvaiheiden läpimenoaikojen tasoittaminen.....	60
5.3	Ei-jalostavan ajan lyhentäminen	62
5.4	Eräkokojen rajoittaminen	66
5.5	Tuotannonohjaus	67
6	Hytar Oy:n valmistama voimasyylinteri	69
6.1	Rakenne ja toiminta	69
6.2	Voimasyylinterin käyttösovellukset.....	72
6.2.1	Sähkömoottorin pienentäminen voimasyylinterillä hydraulipuristimessa	72
6.2.2	Paineenmuuntimella yhtä suuret sylinterivoimat.....	78
6.3	Voimasyylinterin kehittäminen ja tulevaisuus.....	81
7	Tulokset ja niiden arviointi	84
8	Yhteenveto	88
	Lähteet.....	90
	LIITE 1: Hytar Oy:n Jyväskylän tehtaan nykyinen layout ja konekanta	
	LIITE 2: Hytar Oy:n vakiosylinterit	
	LIITE 3: Sylinterivalmistuksen materiaaliavirrat	
	LIITE 4: Jyväskylän tehtaan lopullinen layout	
	LIITE 5: Tarkastelujakson ja kehityssuunnitelmien läpimenoajan laskeminen	

MUUTTUJAT, LYHENTEET JA TERMIT

Merkintä	SI-yksikkö	Selitys
A, A_1, A_2, A_3	[m ²]	Tehollinen pinta-ala
A_{mm}	[m ²]	Paineenmuuntimen männän pinta-ala
A_{mv}	[m ²]	Paineenmuuntimen männänvarren pinta-ala
A_{sm}	[m ²]	Sylinterin männän pinta-ala
A_{sr}	[m ²]	Sylinterin rengaspinta-ala
d_{mm}	[m]	Paineenmuuntimen männän halkaisija
d_{mv}	[m]	Paineenmuuntimen männänvarren halkaisija
F	[N]	Sylinterin voima
L_1	[min]	Yhden tilauksen läpimenoaika työvaihetta kohden
L_e	[min]	Yhden tilauksen läpimenoaika ilman puskurivarastoja
L_{kok}	[min], [pv]	Tuotannon läpimenoaika
N_e	[kpl]	Tuotannon keskimääräinen eräkoko
$N_{e_{max}}$	[kpl]	Tuotantotilauksen maksimieräkoko
$N_{k_{kk}}$	[kpl]	Tuotannon kapasiteetti kuukaudessa
$N_{p_{kk}}$	[kpl]	Työpäivien lukumäärä kuukaudessa
$N_{työ}$	[kpl]	Työvaiheiden lukumäärä sylinterituotannossa
$S_{m_{isku}}$	[m]	Paineenmuuntimen iskunpituus
S_{norm}	[m]	Hydraulipuristimen normaaliliikkeen pituus
S_{paluu}	[m]	Hydraulipuristimen paluuliikkeen pituus
S_{pika}	[m]	Hydraulipuristimen pikaliikkeen pituus
$S_{s_{isku}}$	[m]	Sylinterin iskunpituus
S_{vah}	[m]	Hydraulipuristimen vahvistetun liikkeen pituus
t_{norm}	[s]	Normaaliliikkeeseen kuluva kokonaisaika
$t_{m_{pal}}$	[s]	Paineenmuuntimen palautukseen kuluva aika
t_s	[s]	Sylinterin normaaliliikkeeseen kuluva aika
t_{sykli}	[s]	Hydraulipuristimen työsykliin kuluva aika
T_p	[min]	Päivittäinen työaika
T_t	[min]	Tuotannon tahtiaika
p, p_1, p_2	[Pa]	Paine, yleisesti käytössä bar ja MPa, 10 bar = 1 MPa
p_{max}	[Pa]	Järjestelmän maksimipainetaso
p_v	[Pa]	Painemuuntimen vahvistama paine
Q, Q_1, Q_2, Q_3	[m ³ /s]	Tilavuusvirta, yleisesti käytössä l/min
Q_p	[m ³ /s]	Pumpun tuottama tilavuusvirta
Q_{sp}	[m ³ /s]	Sylinterille menevä tilavuusvirta pikaliikkeessä
Q_{sv}	[m ³ /s]	Sylinterille menevä tilavuusvirta vahvistetussa liikkeessä
Q_{teor}	[m ³ /s]	Teoreettinen tilavuusvirta
Q_{tod}	[m ³ /s]	Todellinen tilavuusvirta

V	[m/s]	Liikenopeus
V_{norm}	[m/s]	Sylinterin nopeus normaaliliikkeessä
V_{paluu}	[m/s]	Sylinterin nopeus paluuliikkeessä
V_{pika}	[m/s]	Sylinterin nopeus pikaliikkeessä
V_{vah}	[m/s]	Sylinterin nopeus vahvistetussa liikkeessä
η_{hm}	[-]	Hydromekaaninen hyötysuhde
η_{m_hm}	[-]	Paineenmuuntimen hydromekaaninen hyötysuhde
η_{p_kok}	[-]	Pumpun kokonaishyötysuhde
η_{s_hm}	[-]	Sylinterin hydromekaaninen hyötysuhde
η_{kok}	[-]	Kokonaishyötysuhde
η_{vol}	[-]	Volumetrinen hyötysuhde
CNC		CNC-termillä tarkoitetaan tietokoneperusteista numeerisesti ohjattua (Computerized Numerical Control) työstökoneetta. 1970-luvun puolivälin jälkeen CNC-termi on lyhentynyt muotoon NC eli Numerical Control. NC = CNC
HDFC		HDFC on Hytar Oy:n kehittämä hydraulisylinteri, joka on patentoitu 11.6.2009. Lyhenne tulee englannin kielen sanoista Hytar Double Force Cylinder. HDFC koostuu kaksitoimisesta käyttösylinteristä, painevahvistimesta ja venttiiliyksiköstä. Sylinterissä on kolme erilaista nopeusalueita, joita ohjataan paineohjatun venttiiliyksikön avulla. Jokaisella nopeusalueella saavutetaan eri liikenopeudet ja voimat. Voimasyylinteri = HDFC.
JIT		Japanissa 50-luvulla syntynyt Just-In-Time eli JIT-tuotanto. JIT-tuotannossa raaka-aineita ja tuotteita toimitetaan vain välittömän tarpeen verran juuri silloin, kun niitä tarvitaan. JIT-tuotannossa karsitaan turhat ja arvoa lisäämättömät vaiheet prosessista pois. Tavoitteena on saavuttaa korkea tuottavuus, pieni sitoutunut pääoma, korkea laatu ja nopea läpimenoaika. JIT = JOT.
JOT		Suomessa termi Just In Time (JIT) on käännetty muotoon Juuri Oikeaan Tarpeeseen eli JOT-tuotanto. Ks. myös JIT
KET		Keskeneräinen tuotanto.
NC		NC-termi tulee englanninkielen sanoista Numerical Control. NC-koneella tarkoitetaan yleisesti koneetta, jonka oh-

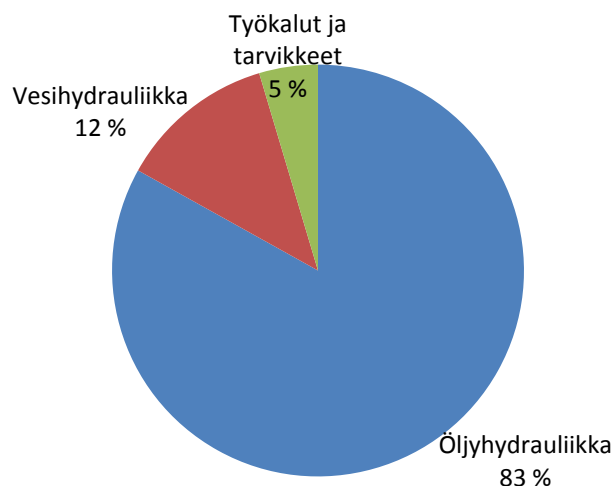
jaukseen kuuluu ohjelmamuisti ja tietokone ohjaamaan sen toimintoja.

Asetusaika	Asetusaika on aika joka kuluu koneen pysäyttämisestä siihen asti, kun seuraava kappale saadaan koneeseen kiinnitetyksi tarvittavien asetusten ja säätötoimenpiteiden jälkeen.
Differentiaalikytkentä	Differentiaalikytkennässä sylinterin männänvarren puolelta poistuva neste johdetaan takaisin sylinterin männänpuoleiseen kammioon. Sylinterillä saavutetaan nopeampi liikenoisuus, kun tilavuusvirta kasvaa.
Kaizen	Kaizen-termillä tarkoitetaan tuotantoprosessin jatkuvaa kehitystä, joka koskee kaikkia: niin työntekijöitä kuin johtajia. Kaizen on japania ja tarkoittaa parannusta. Kaizen on yksi lean-ajattelumallin pääkohdista.
Kanban-kortti	Kanban-kortin avulla viestitetään, että työvaihe tarvitsee lisää materiaalia tai osia. Kanban on japania ja tarkoittaa korttia.
Kokonaisläpimenoaika	Kokonaisläpimenoajalla tarkoitetaan aikaa, joka kuluu tilauksen saannista tuotteen toimitukseen.
Layout	Pohjapiirustus. Layout on vakiintunut termi, jolla tarkoitetaan tuotantojärjestelmän fyysisten osien, kuten koneiden, laitteiden, varastopaikkojen ja kulkureittien sijoittelua
Tahtiaika	Tahtiaika on tuotantolinjan yhteen työvaiheeseen kuluva aika eli se on aika jolloin kappaleet siirtyvät seuraavalle työvaiheelle. Jos työpisteet toimivat nopeammin syntyy ylituotantoa, jos ne toimivat hitaammin, syntyy pullonkaula.
Vaiheaika	Vaiheajalla tarkoitetaan aikaa, joka kuluu työn tekemiseen eli jalostavaa aikaa. Siihen ei kuulu asetusaika tai odotusaika.
Valmistuksen läpimenoaika	Valmistuksen läpimenoajalla tarkoitetaan aikaa, joka kuluu valmistuksen aloittamisesta tuotteen valmistumiseen.
Voimasylinteri	Voimasynterinin virallinen nimi on HDFC. Ks. myös HDFC.

1 JOHDANTO

Kova kilpailu, raaka-ainehintojen kasvu ja työvoiman kallistuminen on lisännyt valmistustekniikan ja sen tehokkuuden suunnittelua niin Suomessa kuin ulkomailla. Toiminnan ylläpito ja kilpailukykyinen toiminta mahdollistetaan jatkuvalla tuotannon kehittämällä. Tuotannon on pysyttävä kehityksen mukana joustavalla ja kustannustehokkaalla toiminnalla. Viime vuosina Suomessa on pyritty kehittämään tuotantoa erilaisten metodien, kuten imuohjauksen ja lean-ajattelun avulla.

Tämä diplomityö koostuu kahdesta laajasta kokonaisuudesta: sylinterituotannon kehittamisestä ja voimasyylinterin toiminnan esittelystä. Sylinterivalmistuksen kehittäminen keskittyy Hytar Oy:n Jyväskylän tehtaan toimintaan ja sen tehostamiseen. Diplomityössä esitellään myös Hytar Oy:n patentoima voimasyylinteri ja sen käyttösovelluksia. Hytar Oy on öljy-, vesihydrauliikkaan sekä teollisuustarvikkeisiin erikoistunut maahan- tuonti- ja konepajayritys. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Jyväskylässä. Suomessa yrityksellä on yhteensä kymmenen toimipistettä. Tämän lisäksi yrityksellä on toimipisteet Virossa ja Venäjällä. Hytar Oy toiminta keskittyy kolmeen pääluokkaan: teollisuustarvikkeisiin sekä öljy- ja vesihydrauliikkaan. Vuonna 2010 Hytar Oy:n liikevaihto oli 19,5 miljoonaa euroa ja yritys työllisti noin sata työntekijää. Liikevaihdon jakautuminen eri toimialueittain on esitetty kuvassa 1.1. Ylivoimaisesti suurin toimialue on öljyhydrauliikka yli 80 prosentin osuudella. (AVS-Group – Hytar Oy; Hydrauliikkaluettelo 2007; Tuominen 2011)



Kuva 1.1. Hytar Oy:n liikevaihdon jakautuminen toimialoittain vuonna 2010. (Tuominen 2011)

Öljyhydrauliikassa Hytar Oy valmistaa letkuasetelmia, sylintereitä sekä haponkestäviä letkuliittimiä ja holkkeja. Oman tuotannon lisäksi Hytar Oy maahantuo ja myy hydraulikomponentteja, letkuja, letkuliittimiä, holkkeja ja tarvikkeita. Hytar Oy:n tuotanto sijaitsee Jyväskylässä ja Tampereella. Jyväskylässä valmistetaan sylintereitä sekä haponkestäviä ja normaaleja letkuliittimiä sekä holkkeja. Jyväskylässä on konepajan lisäksi letkuryhmä, hydraulitarvikevarasto ja myymälä. (Hydrauliikkaluettelo 2007)

Sylinterivalmistuksen kehittämishanke lähti liikkeelle, kun osa Jyväskylän tehtaan tuotannosta siirrettiin Tampereen toimipisteeseen. Tämä vaikutti tehtaan toimintaan ja sen hetkiseen layout-pohjaan. Samalla muodostui tarve tehtaan layout-suunnittelulle. Layout-muutoksen yhteydessä haluttiin tutkia voidaanko sylinterivalmistusta kehittää, jotta saavutettaisiin joustavampi toiminta ja lyhyempi valmistuksen läpimenoaika. Jyväskylän tehtaassa valmistetaan sylintereidensä lisäksi muun muassa haponkestäviä liittimiä ja holkkeja. Tässä työssä pääpaino pidetään sylinterivalmistuksen kehittämisessä, joten muiden tehtaassa valmistettavien tuotteiden valmistamiseen ei puututa.

Työn tavoitteena on kehittää sylinterivalmistusta, jotta sen toiminnasta saadaan joustavampi ja tehokkaampi. Tärkeimpänä tavoitteena on saada sylinterivalmistuksen pitkä läpimenoaika lyhenemään. Työssä tehdään ehdotus tehtaan uudesta layoutista. Työssä esitellään uuden layoutin investoinnit, mutta ei tehdä sen tarkempia laskelmia niiden takaisinmaksuajasta. Työssä arvioidaan kehitysehdotusten tehokkuutta lisääntyneen kapasiteetin ja nopeutuneen läpimenoajan avulla.

Sylinterituotannon kehittämisen teoriaosuudessa tutustutaan erilaisiin tuotantomuotoihin, tuotannonohjaustapoihin ja lean-tuotantoon. Tämän lisäksi pohditaan, miksi uusien metodien omaksuminen on niin haastavaa käytännössä. Lähdemateriaalina diplomityössä on käytetty alan kirjallisuutta, joista keskeisempänä voidaan mainita Lapinleimu et al. (1997), Haverila et al. (2005) ja Liker (2006) kirjoittamat kirjat. Teoriaosuuden jälkeen diplomityössä tutustutaan sylinterituotannon nykytilaan ja sen ongelmiin. Jyväskylän tehtaan nykytilanne kartoitettiin haastattelemalla tehtaan työntekijöitä, tuotannon suunnittelijaa ja työnjohtoa. Tämän lisäksi nykytilannetta arvioitiin yrityksen sisäisten raporttien avulla (Hytar Oy 2010, Hytar Oy 2011a, Hytar Oy 2011b). Sylinterivalmistuksen kokonaiskuvan hahmottamisessa auttoi myös työskentely sylinterikokoonpanossa. Diplomityön kehitysehdotuksissa otetaan huomioon haastatteluissa ja nykytilanteen analysoinnissa esille nousseet ongelmat. Näitä ongelmia ratkaistaan soveltamalla teoriaosan metodeja. Tehtaan layout-suunnittelussa käytetään hyväksi Mutherin (1968) kehittämää systemaattista layout-suunnittelumallia.

Diplomityön toinen osa-alue keskittyy Hytar Oy:n patentoimaan voimasyylinteriin ja sen esittelyyn. Tämän osan teoriaosuudessa tutustutaan sylinterin ja paineenmuuntimen toimintaan ja rakenteeseen. Keskeisempänä lähdemateriaalina on käytetty Kosomaa & Kosomaa kirjoittamaa koulutusmateriaalia sekä Kauranne et al. (2006) *Hydraulitekniiikan perusteet* -kirjaa. Voimasyylinteri on hydraulisyylinterin, paineenmuuntimen ja venttiiliyksikön muodostama kokonaisuus. Sillä saavutetaan nopea sylinteriliike ja suuri voima. Oikein suunniteltuna sillä voidaan säästää huomattava määrä energiaa ilman, että järjestelmän ominaisuudet kärsivät. Tässä työssä perehdytään voimasyylinterin ra-

kenteeseen ja tutustutaan kahteen eri asiakassovellukseen. Lopuksi pohditaan voimasynterit tulevaisuutta ja erilaisia haasteita sekä parannuskohteita, joita siinä on.

2 TEHTAAN TUOTANTO

Tehtaan tuotanto on valmistavan yrityksen yksi keskeinen toiminto. Tuotanto muodostuu toiminnoista, joilla aikaansaadaan tuote tai palvelu markkinoinnin hankkimalle asiakkaalle. Yrityksen toiminnan takaamiseksi tuotannon on oltava joustava ja tehokas. Tuotanto koostuu tilauksista, materiaalien tilauksista, tilauskohtaisesta suunnittelusta ja valmistuksesta. Tärkeä osa tuotannon toimintaa on vaivaton tuotannonohjaus ja tehokas tehtaan layout.

Tässä luvussa esitellään erilaisia tuotantomuotoja, jotka voidaan jaotella tuotteen, tilauksen tai eräkoon mukaisesti. Lisäksi tutustutaan tehtaan eri layout-tyyppisiin sekä layout-suunnittelun haasteisiin ja monimutkaisuuteen. Yksi tärkeä osa tuotantoa on tuotannonohjaus, jonka eri muotoihin tutustutaan luvussa 2.4. Luvussa 2.5 keskitytään eri tapoihin, joilla yrityksen toimintaa voidaan kehittää. Toyotan tuotantojärjestelmän toimintatehokkuus on herättänyt paljon mielenkiintoa ympäri maailman ja siihen tutustutaan luvussa 2.6. Lisäksi pohditaan lean-tuotannon soveltamisen haasteita käytännössä, ja miksi yritysten on vaikea omaksua tehokkaan ja virtaavan tuotannon toiminta.

2.1 Tuotantomuodot

Tuotanto on yksi valmistavan yrityksen neljästä päätoiminnosta yhdessä markkinoinnin, tuotekehityksen ja jälkimarkkinoinnin kanssa. Tuotannon on sopeuduttava hyvään palvelutasoon ja kustannustehokkaaseen toimintaan. Hyvä palvelutaso edellyttää lyhyttä ja varmaa toimitusaikaa sekä sopeutumista asiakkaiden yksilöllisiin toiveisiin. (Lapinleimu et al. 1997, s 37)

Tuotantomuodot määritellään tuotteen, valmistusaloitteen ja tuotantoerän koon perusteella, kuten kuvasta 2.1 nähdään. Tuotteen ominaisuudet määräävät suureksi osaksi tuotantotyyppin. Tuotteen valmistusmäärät, eräkoot ja valmistusimpulssit määrittävät, mihin tuotantomuotoon valmistusprosessi kuuluu. (Lapinleimu et al. 1997, s. 43–47; Haverila et al. 2005, s. 353–355)

Tuotteen mukaan valmistusprosessi voidaan jakaa tilaus- ja vakiotuotantoon. Vakiotuotteen rakenne pysyy samanlaisena pitkiä aikoja, jolloin valmistuksen aloittaminen ei vaadi tuotesuunnittelua. Asiakkaalla ei ole mahdollisuutta muuttaa tuotteen ominaisuuksia tai rakennetta. Tilaustuotannossa asiakkaalla sen sijaan on mahdollisuus vaikuttaa tietyissä rajoissa tuotteen ominaisuuksiin. Näin ollen tuotteen lopullinen muoto määräytyy vasta tilauksen perusteella. (Haverila et al. 2005, s. 353)

Tuotteen mukaan

Tilaustuotanto	Vakiotuotanto
----------------	---------------

Valmistusaloitteen mukaan

Asiakasohjautuva tuotanto	Varasto-ohjautuva tuotanto
---------------------------	----------------------------

Valmistusprosessin jatkuvuuden mukaan

Yksittäistuotanto	Sarjatuotanto	Yhtenäistuotanto
-------------------	---------------	------------------

Kuva 2.1. Tuotantomuodot tuotteen, valmistusaloitteen ja valmistusprosessin jatkuvuuden mukaan. (Haverila et al. 2005, s. 354)

Valmistusaloitteen perusteella tuotanto jaetaan varasto- tai asiakasohjautuvaksi. Varasto-ohjautuvassa tuotannossa tuotantotilaukset saavat impulssin varaston täydennystarpeen mukaan. Vakiotuotteet, joiden kulutus on suurta ja kysyntä ennustettavissa, ovat tavallisesti varasto-ohjautuvia. Tuotetta tehdään varastoon, jotta tuotteen toimitusaika saadaan lyhyeksi. Asiakasohjautuvassa tuotannossa tuotteen valmistaminen aloitetaan asiakkaan tilauksen perusteella. Tuotteiden lopulliset ominaisuudet ja rakenne selviävät vasta tilauksesta, jolloin tuotteita ei voida valmistaa varastoon. (Haverila et al. 2005, s. 353–354)

Valmistusprosessin jatkuvuuden mukaan tuotantomuodot voidaan jakaa yksittäis-, sarja- ja yhtenäistuotantoon. Yksittäistuotannossa valmistuserän koko on yksi kappale. Jokainen tilaus on erilainen, jolloin valmistusprosessi on aloitettava suunnittelusta. Yksittäiskappaleina valmistettavia tuotteita ovat ainutkertaisten tuotteet, kuten laivat ja taide-esineet, sekä pienimennekkiset tuotteet, joita ei haluta tai pystytä varastoimaan. Yksittäistuotannossa tuotevariaatioiden määrä on suuri, mutta jokainen tuote tehdään asiakaskohtaisesti. (Lapinleimu et al. 1997, s. 47; Haverila et al. 2005, s. 354–355)

Sarjatuotannossa tuotteet valmistetaan erissä. Erien koko voi vaihdella yhdestä kappaleesta satoihin. Erien välillä valmistetaan muita tuotteita tai saman lopputuotteen eri osia. Usean eri tuotteen valmistaminen ja pienet eräkoot tekevät asetustekniikan ja lyhyet asetusajat erittäin merkittäväksi sarjatuotannon tehokkuuden tekijöiksi. Asetusaika on aika joka kuluu koneen pysäyttämisestä siihen asti, kun seuraava kappale saadaan koneeseen kiinnitetyksi tarvittavien asetusten ja säätötoimenpiteiden jälkeen. (Tiainen 1996 s. 79; Lapinleimu et al. 1997, s. 46–47; Haverila et al. 2005, s. 355)

Yhtenäistuotannolla tarkoitetaan joukkotuotantoa, joka jatkuu samanlaisena pitkät ajat. Samassa järjestelmässä voidaan valmistaa monia samantapaisia tuotteita, mutta tuotannossa on yksi tuote kerrallaan. Yhtenäistuotannossa tuotantomäärät ovat suuria, mutta tuotevariaatioita on vähän. Samaa tuotetta valmistetaan yhtenäistuotannossa suuri määrä kerralla, jolloin valmistustekniikan rooli kasvaa. (Stevenson 2002, s.221; Haverila et al. 2005, s. 355)

2.2 Layout-tyypit

Tehtaan valmistusjärjestelmä koostuu valmistusyksiköistä ja niiden välisestä logistisesta järjestelmästä sekä tukiyksiköistä. Layoutilla tarkoitetaan tehtaan pohjapiirustusta. Layout on vakiintunut termi, jolla tarkoitetaan tuotantojärjestelmän fyysisten osien, kuten koneiden, laitteiden, varastopaikkojen ja kulkureittien sijoittelua tehtaassa. Valmistusyksiköt voivat olla osavalmistus-, kokoonpano- tai yhdistettyjä yksiköitä. Työnkulun ja tuotantolaitteiden sijoittelun perusteella layoutit voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin, jotka ovat tuotantolinja-layout, funktionaalinen layout ja solu-layout. (Lapinleimu et al. 1997, s. 79; Haverila et al. 2005, s. 475)

Tuotantotehtaan layout muodostuu yleensä erilaisista layout-tyypeistä. Valmistusprosessin eri vaiheiden layout-tyypit voivat vaihdella työvaiheiden mukaan. Esimerkiksi tuotteen osat valmistetaan funktionaalisesti järjestetyssä koneryhmässä, kun taas tuotteiden kokoonpano suoritetaan tuotantolinjassa. (Haverila et al. 2005, s. 480)

2.2.1 Tuotantolinja-layout

Tuotantolinjassa kaikkien tuotteiden työnkulku on sama. Tuotantolinjassa voi olla työvaiheita, joita kaikki tuotteet eivät vaadi. Tällöin tuotteet vain läpäisevät työaseman. Tuotantolinjan ohjattavuus on helppoa, sillä tuotteiden kulku prosessin läpi on vakio. Tuotantolinjoja on kahden tyyppisiä: tahti- ja epätahtilinjoja. Tahtilinja ei sisällä ollenkaan puskurivarastoja, jolloin kappaleet siirtyvät samanaikaisesti vaiheelta toiselle. Tahtiaika kertoo tuotantolinjan yhteen työvaiheeseen kuluvan ajan eli se on aika jolloin kappaleet siirtyvät seuraavalle työvaiheelle. Jos työpisteet toimivat nopeammin syntyy ylituotantoa, jos ne toimivat hitaammin, syntyy kapeikkokohta. Tahtilinjan kapasiteetti on riippuvainen pisimmän työvaiheen ajasta vaihtoaikoinen eli tahtiajasta. Tahtiaika kertoo ajan, jolla jaolla kappaleita linjasta valmistuu. Epätahtilinjassa tuotteet eivät siirry vaiheesta toiseen samanaikaisesti, jolloin vaiheiden välissä on puskurivarastoja. (Lapinleimu et al. 1997, s. 81–85; Liker 2006, s. 94)

Tuotantolinjalle tyypillisiä ominaisuuksia ovat suuret tuotantomäärät, jolloin tuotteen yksikköhinta muodostuu alhaiseksi, vaikka tuotantolinjan rakentamisen kustannukset ovat suuret. Tuotantolinjan ohjattavuus on helppoa, sillä reititys ja aikataulutus ovat vakiota. Tuotantolinjassa on korkea käyttöaste ja alhaiset siirto- sekä käsittelykustannukset. Tuotantolinja on joustamaton tuotemuutoksille, eikä erinomaisista yksilösuorituksista ole etua, sillä työ etenee samassa tahdissa muiden työvaiheiden kanssa. Kokoonpanolinjassa toimintahäiriö aiheuttaa koko linjan pysähtymisen. (Stevenson 2002, s. 232–235; Haverila et al. 2005, s. 475–476)

2.2.2 Funktionaalinen layout

Funktionaalisisessa toimintatavassa keskenään samanlaiset työvaiheet kerätään yhteen ryhmiksi. Ryhmiä ovat esimerkiksi hitsaamo, sorvaamo ja viilaamo. Funktionaalisisessa järjestelmässä tuotteiden variaatiot kulkevat usein eri vaiheiden kautta prosessin läpi.

Funktionaalisen järjestelmän etuja ovat tuotejoustavuus, kapasiteetin korkea käyttöaste ja ammattitaidon keskittyminen resurssiryhmään. Funktionaalisen toimintatavan suurin negatiivinen piirre on huono ohjattavuus. Ohjaus on työlästä, sillä ohjattavia pisteitä on paljon. Tuotteiden kulku prosessin läpi vaihtelee, jolloin tuotteet ohjataan eri vaiheiden kautta prosessin läpi. Funktionaaliseen toimintatavalle on ominaista pitkät läpimenoajat, suuri keskeneräinen tuotanto, pitkät jonotusajat ja edestakaiset kuljetukset. (Lapinleimu et al. 1997, s. 79–80)

Kappaleiden siirtoja funktionaalisisessa toimintatavassa on paljon, minkä aikana tuote ei jalostu. Valmistuksen läpimenoaika on pitkä ja epätarkka. Tässä toimintatavassa koko valmistuserä tehdään valmiiksi ennen kuin se kuljetetaan seuraavalle työvaiheelle. Jonojen avulla koneiden kapasiteetti saadaan pidettyä suurena ja samalla saadaan tasoitettua kuormitusvaihteluita. Tämä lisää keskeneräisen tuotannon määrää. (Tiainen 1996, s. 68–70)

2.2.3 Solu-layout

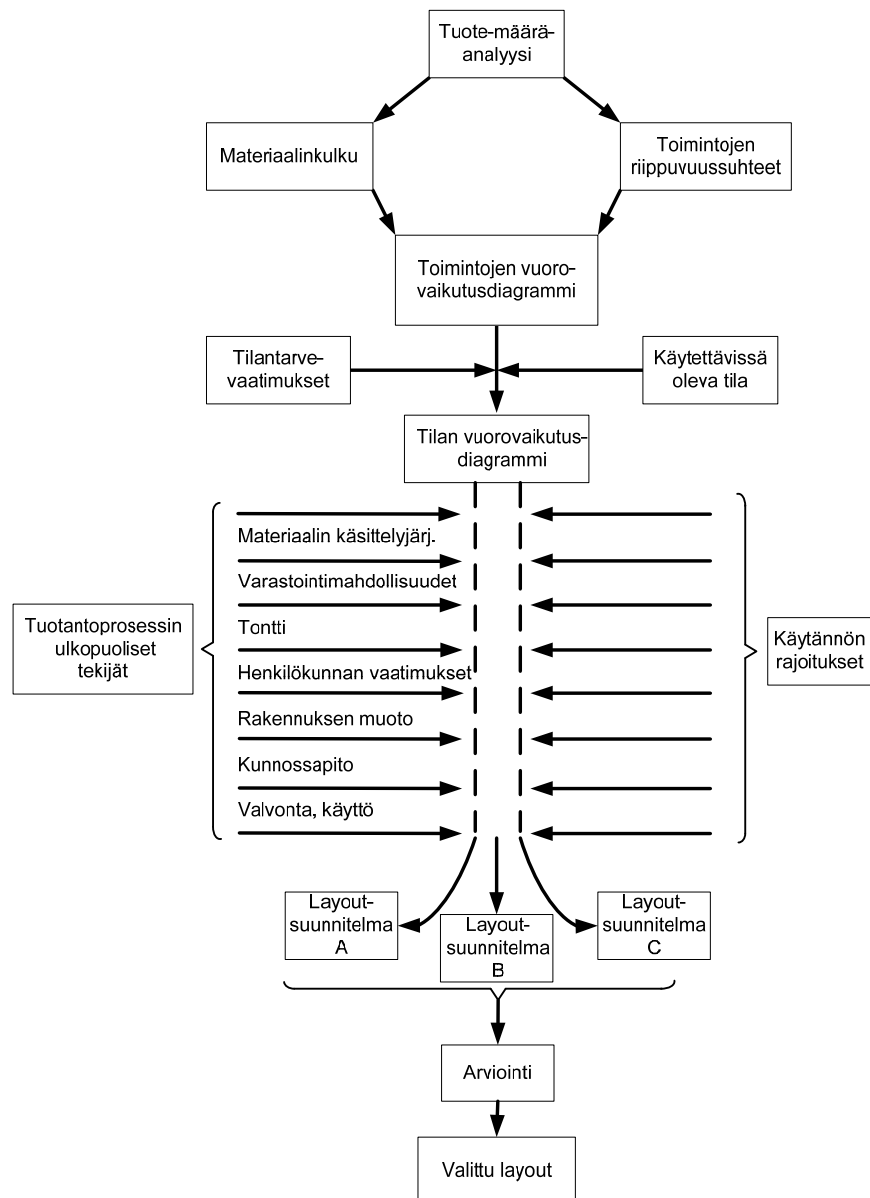
Solu on pieni itsenäinen valmistusyksikkö, jonka vastuulla on määrätyn tuotteen osan tai osakokonaisuuden valmistaminen. Solun tuotteet voidaan valita joko tuoteperusteisesti tai teknologiaperusteisesti. Teknologiperusteinen solu valmistaa kaikki teknisesti samankaltaiset osat. Tuoteperusteisessä solussa valmistetaan määrättyt osat lopputuotteesta. (Lapinleimu et al. 1997, s. 85–87)

Solujärjestelmän avulla tehtaan rakenne saadaan selkeämmäksi ja samalla ohjaus helpottuu ohjattavien pisteiden vähentyessä. Tuotevariaatioita voi olla runsaasti. Lapinleimun et al. (1997, s. 92) mukaan vaiheiden yhdistäminen solussa johtaa läpimenoajan lyhenemiseen ja keskeneräisen työn vähenemiseen. Soluyksikkö koostuu sekä konekanasta että sitä käyttävästä henkilöstöstä. Solulla on sen tarvitsema valmistuskalusto oman osan tai osakokonaisuuden valmistamiseen. Näin ollen soluyksikkö on teknisesti itsenäinen. (Lapinleimu 2007, s. 79)

2.3 Layout-suunnittelu

Layout tarkoittaa suomeksi pohjapiirrosta, mutta nykyään suomessa käytetään yleisesti layout-suunnittelu -termiä pohjapiirros suunnittelun sijaan. Layout-suunnittelulla tarkoitetaan tehtaan osastojen, solujen, koneiden ja työpisteiden sijoittelua valmistusprosessin mukaisesti. Siinä otetaan huomioon valmistusjärjestelmän materiaalivirrat ja sen perusteella vähennetään tuotteen ja komponenttien siirtelyjä. (Lehtonen 2009)

Layout-suunnittelulla tuetaan tuotteen valmistusta ja laadun saavuttamista. Tavoitteena on tehokas tilankäyttö, materiaalien siirtojen minimointi, kapeikkokohtien välttäminen ja työturvallisuuden parantaminen. Hyvällä layout-suunnittelulla vaikutetaan myös työntekijöiden tehokkuuteen, sillä materiaalsiirrot vähenevät hyvän suunnittelun ansiosta. Layout-suunnittelun helpottamiseksi on kehitetty useita menetelmiä. Yksi näistä on Richard Mutherin (1968) kehittämä systemaattisen layout-suunnittelumalli, jonka rakenne on esitetty kuvassa 2.2. (Haverila et al. 2005, s. 480–482)



Kuva 2.2. Tehdassuunnittelun ajatusmalli. (Muther 1968; Harju et al. 1987, s.105)

Mutherin (1968) layout-suunnittelumallissa ensimmäisessä vaiheessa määritellään tuote-määräanalyysi, jonka tarkoituksena on selvittää eri tuotteiden valmistusmäärät. Analyysin perusteella selvitetään eri tuotteiden työvaiheajat. Tuotteet, joilla on lähes samat työvaiheet, voidaan yhdistää ryhmiksi. Tuotantotehtaan suunnittelussa keskitytään eniten työtä teettävien tuotteiden valmistamiseen. Työvaiheajojen perusteella nähdään, mihin työvaiheisiin kannattaa kiinnittää huomiota menetelmäparannuksia suunniteltaessa. (Harju et al.1987, s. 104–105)

Materiaalin virtausanalyysissä tuotteet jaetaan osiin ja niille laaditaan valmistus- ja työnkulkukaavio. Materiaalivirtauksen selvittäminen on layout-suunnittelun kannalta keskeinen osa-alue. Materiaalien kuljetuskerrat ja -matkat pyritään minimoimaan osastoiden ja työpisteiden sijoittelua suunniteltaessa. Tuotannonohjauksen ja toiminnan kehittämisen kannalta on pyrittävä selkeisiin materiaalivirtoihin. Lyhyet ja tehostetut ma-

teraaalien siirtelyt mahdollistavat prosessin häiriöttömän toiminnan. (Harju et al. 1987, s. 106; Haverila et al. 2005, s. 482)

Materiaalin virtausanalyysin jälkeen määritetään toimintojen riippuvuussuhteet. Tässä vaiheessa selvitetään kaikki valmistusprosessin toiminnot ja niiden väliset yhteydet. Toimintojen välistä tärkeyttä voidaan havainnollistaa vuorovaikutuskaaviolla, jossa huomioidaan toimintojen vaikutus toisiinsa. Toimintojen välisiin yhteyksiin vaikuttavat materiaalivirran lisäksi muun muassa tärinä, melu, työturvallisuus sekä tuotannonohjaus. (Muther 1968; Harju et al. 1987, s. 106)

Toimintojen vuorovaikutusdiagrammin luomisen jälkeen selvitetään työvaiheiden tarvitsema tila. Jokaiselle työpisteelle tehdään työpaikkapiirros, johon on merkitty koneiden, laitteiden, varastojen sekä lähtevien ja saapuvien tavaroiden paikat. Näistä piirustuksista tehdään taulukko, johon merkitään prosessin kokonaistilantarve. (Muther 1968; Harju et al. 1987, s. 108)

Seuraavaksi määritetään tilan vuorovaikutusdiagrammi, käytettävissä olevan tilan, tilatarvevaatimusten ja toimintojen vuorovaikutusdiagrammilla. Siinä ryhmitellään työvaiheiden järjestys toimintojen vuorovaikutusdiagrammin ehtojen perusteella. Tilan vuorovaikutusdiagrammi on ensimmäinen karkea layout-versio. Siitä selviää työvaiheiden tilantarve, toimintojen väliset suhteet ja materiaalivirta. (Harju et al. 1987, s. 108)

Ennen lopullisten layout-suunnitelmien tekemistä, on huomioitava valmistusprosessin ulkopuoliset tekijät. Vaatimukset voivat liittyä esimerkiksi kunnossapidon, tontin tai henkilökunnan toiveisiin tai rajoitteisiin. Nämä vaatimukset otetaan huomioon lopullisissa layout-suunnitelmissa. Layout-suunnitelmia tehdään yleensä kahdesta viiteen kappaletta, joita arvioidaan asiantuntijoiden kanssa. Arvostelun apuna voidaan käyttää hyötyarvomatriisia, johon luetellaan vertailtavat kohteet ja layout-suunnitelmat. Vertailukohteille määritetään painokertoimet sen mukaan, kuinka tärkeitä ne ovat lopullisen layoutin kannalta. Tämän jälkeen layout-suunnitelmat pisteytetään ja lasketaan eri vaihtoehtojen painotetut pisteet. Hyötyarvomatriisilla löydetään helposti jokaisen suunnitelman hyvät ja huonot puolet. Tavallisesti ennen lopullisen layoutin valintaa joudutaan suunnitelmia muokkaamaan ja yhdistelemään, jotta saadaan tulokseksi toimiva ratkaisu. (Harju et al. 1987, s. 108–110; Haverila et al. 2005, s. 481)

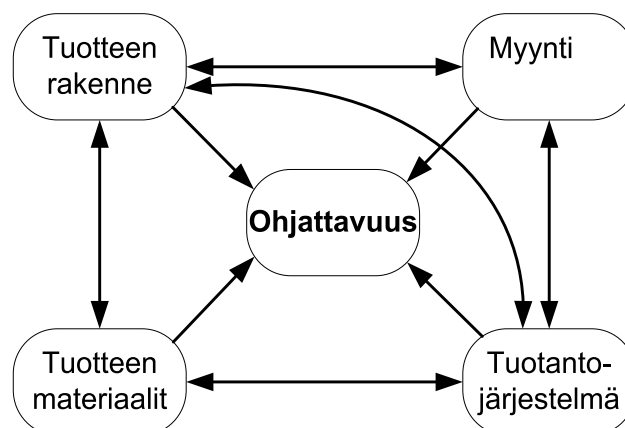
Layout-suunnittelu on monimutkainen prosessi, johon vaikuttaa suuri määrä erilaisia tekijöitä. Tuotantjärjestelmän layout on aina kompromissi, koska kaikkien tekijöiden suhteen optimaalista ratkaisua on mahdoton löytää. (Haverila et al. 2005, s. 480–481) Mutherin systemaattisen layout-suunnittelumalli sopii hyvin tuotantotehtaan layout-suunnittelun tueksi. Projektikohtaisesti mallista hyödynnetään vain tarvittavat vaiheet, jotka vaativat huomattavaa tarkkuutta tai lisää näkökulmia. Käytännössä jokaista vaihetta ei pystytä suorittamaan puutteellisten lähtötietojen tai prosessin monimutkaisuudesta johtuen. Tällöin systemaattista layout-suunnittelumallia käytetään vain osittain suunnittelun tukena.

2.4 Tuotannonohjaus

Tuotannonohjauksella tarkoitetaan yrityksen tilaustoimitusketjun eri toimintojen ja tehtävien suunnittelua ja hallintaa. Tuotannonohjauksen tavoitteena on ohjata ja organisoida yrityksen resurssit siten, että saavutetaan kustannustehokas toiminta, hyvä asiakaspalvelu, laatu ja joustavuus. Tuotannonohjauksen keskeisimmät tavoitteet ovat kapasiteetin korkea tuottavuus, toimintaan sitoutuneen vaihto-omaisuuden minimointi, toimitusvarmuus ja tuotannon lyhyt läpimenoaika. Tuotannonohjauksen tavoitteisiin pääseminen vaatii useasti kompromisseja eri toimintojen välillä. Koneiden ja laitteiden korkea kapasiteetti saavutetaan suurien sarjojen avulla. Sen sijaan pitkät sarjat edellyttävät suuria varastoja, jotka lisäävät keskeneräisen tuotannon määrää. Tuotannonohjauksen tehtävä on sovittaa yhteen nämä ristiriitaiset tavoitteet. (Haverila et al. 2005, s. 397–404)

Yksi tuotannonohjauksen tehtävä on ajoittaa töiden valmistusajankohdat. Tuotannon ajoittaminen perustuu valmistuserien vaiheikojen laskentaan. Kapasiteettitarpeiden perusteella lasketaan, kuinka pitkän ajan kukin työvaihe vaatii. Taaksepäin ajoituksessa tuotannosuunnittelija hyödyntää tuotteen valmistusaikaa. Valmistusajasta lasketaan työvaiheiden vaatimat ajat, jonka jälkeen voidaan määrittää valmistuksen aloitusajankohta. Taaksepäin ajoituksen haittapuolena on, että se ei huomioi muita samaan ajankohtaan ajoitettuja tuotantoeriä. Ajoitus tehdään rajoittamattomaan kapasiteettiin, mikä ei huomioi muiden tuotantoerien kapasiteettitarpeita. Näin ollen tarkemmassa tuotannosuunnitelmassa on huomioitava tilauskanta ja muut samanaikaisesti tehtävät työt. (Haverila et al. 2005, s. 419)

Tuotantojärjestelmän ohjattavuus on tärkeä osa yrityksen toimintaa. Hyvin ohjattavaan tuotantojärjestelmään on helppo lisätä uusia tilauksia kohtuullisella toimitusajalla. Materiaalien saatavuus onnistuu rutiinitoimenpiteillä. Tuotannon ohjattavuuteen vaikuttavat tekijät kattavat koko valmistavan yrityksen, myynnistä ja hankinnoista valmistukseen asti, kuten kuvasta 2.3 voidaan havaita. (Lapinleimu et al. 1997, s. 230)



Kuva 2.3. Ohjattavuuden tekijät. (Lapinleimu et al. 1997, s. 230)

Tuotesuunnittelu on helppoa, kun tuotannonohjaus on kunnossa. Tuotannonohjausta saadaan parannettua tuotantoa ja sen suunnittelua kehittämällä. Tuotannosuunnittelu ja

-valvonta helpottuvat, kun tuotantojärjestelmä on riittävän selkeä ja ohjattavien pisteiden määrä on pieni. Ohjauspisteiden määrää saadaan pienennettyä muodostamalla tuotteesta osakokonaisuuksia, jotka valmistetaan yhdessä työpisteessä. Työpisteitä ohjataan kokonaisuutena, jolloin ohjattavien pisteiden määrä vähenee. (Aulanko 1988, s. 59)

Ohjattavien asioiden määrä muodostuu helposti suureksi, jolloin tuotannonohjaus on hankalaa. Tällöin tuotannon suunnittelu ja toteuttaminen ilman jäykkää byrokratiaa ja tuotejonojen muodostumista käy mahdottomaksi. Keskenäinen tuotanto kasvaa ja asiakaspalvelu heikkenee, koska toimitusajat pitenevät ja käyvät epävarmoiksi. (Aulanko 1988, s. 59)

Jos tuotanto voidaan virtauttaa ja saada joustavaksi, muodostuu siitä ohjauksen kannalta eräänlainen putki tai rinnakkaisten putkien sarja. Tällöin voidaan ohjauspäätöksiä hajauttaa tuotelinjoille. Joustavan tuotannon lyhentynyt läpimenoaika vaikuttaa varaston kiertoon nopeuttaen sitä. Tämä on huomioitava materiaali-ohjauksessa, jotta raaka-aine- ja puolivalmisteverastojen palvelukyky säilyy. Tuotannonohjattavuuden kehittämisen keskeisemmät keinot ovat läpimenoaikojen lyhentäminen, virheiden ja häiriöiden poistaminen, layoutin selkiyttäminen, toiminnan itseohjautuvuuden kehittäminen ja modernin tietokoneohjatun tuotantotekniikan hyödyntäminen. (Aulanko 1988, s. 64–65; Haverila et al. 2005, s. 405)

Tuotannonohjaus voidaan toteuttaa eri tavoilla, jotka soveltuvat erilaisiin tilanteisiin. Täytyy kuitenkin muistaa, että harvoin koko valmistusjärjestelmää ohjataan kokonaisuudessaan jonkun tietyn tavan mukaisesti vaan ohjaustapoja sekoitetaan niin, että tuotannon eri osia ohjataan eri tavoin. Seuraavassa on listattu eri tuotannonohjaustavat: (Aulanko 1988, s. 66–77)

- toiminnan kokonaisohjaus
- poikkeamien ohjaus
- syklinen ohjaus
- tasoitettu ohjaus
- tilauspisteohjaus
- työntöohjaus
- imuohjaus
- havainto-ohjaus

Tuotannon toiminnan kokonaisohjaukseen kuuluu kaksi toisistaan erotettavaa vaihtetta: tuotannon suunnittelu ja työnjärjestely. Tuotannon suunnittelulla pyritään tuotannon kokonaissuunnitelman laatimiseen jollekin ajanjaksolle. Työnjärjestelyllä ratkaistaan ja toteutetaan tuotannon aikataulusuunnitelma. Aikataulusuunnitelma laaditaan takaperin lähtien toimitusajasta. Peräkkäisille työvaiheille varataan sopiva ajanjakso työvaiheen suorittamiseen, jolloin tuotannon alkupään aikataulu aiheuttaa painetta loppupäälle. Suunnitelma toteutetaan ostokehotusten, raaka-ainemäärien, työmäärien ja lähetysmäärien avulla. (Aulanko 1988, s 67)

Poikkeamien ohjauksessa tuotannon yleissuunnitelma laaditaan myyntiennusteen perusteella. Yleissuunnitelman perusteella tehdään materiaalihankinnat ja tuotantosuunnitelma. Poikkeamien ohjaustapa sopii valmistusjärjestelmään, joka koostuu lähinnä vakiotuotteista. Kysynnän vaihteluita voidaan tasoittaa pitämällä tuotteita varastossa, mutta tuotannossa on varauduttava lisäkapasiteetin tarpeeseen. Syklinen ja tasoitettu ohjaustapa soveltuvat käytettäväksi parhaiten tuotantoon, jossa valmistetaan samansuuruisia tuote-eriä tasaisin väliajoin. Parhaiten nämä ohjaustavat soveltuvat tuotantolinjan ohjaukseen, jossa valmistettavien tuotevariaatioiden määrä on pieni, mutta valmistusmäärät ovat suuria. Ohjaustavoissa hyödynnetään tuote-erien toistuvuutta, jolloin materiaalihankinnat ja materiaalin siirrot ajoittuvat valmistuksen tiettyyn vaiheeseen. (Aulanko 1988, s. 68–73)

Tilauspisteohjausta käytetään yleisesti materiaalihankinnoissa. Siinä uusi erä tilataan aina, kun varastossa oleva määrä laskee alle tilausrajan. Tilausrajan määrää hankinta-aika ja ennustettu kulutus. Tilausrajassa on huomioitava, että todellinen tarve saattaa olla ennakoitua suurempi tai toimitusaika myöhästyä. Tarvitaan varmuusvarasto, joka varmistaa tuotteen riittävyyden. (Aulanko 1988, 76–77)

2.4.1 Työntöohjaus

Työntöohjauksella tarkoitetaan tuotannosuunnittelijan tai suunnitteluorganisaation tekemää valmistussuunnitelmaa. Suunnitelmalla ohjataan eri valmistusvaiheita ja ”työnnetään” tuotantoerä valmistusprosessista läpi. Työntöohjaus on eniten käytetty ohjausmenetelmä, joka soveltuu kaikkiin tuotantomuotoihin. (Haverila et al. 2005, s. 422)

Työntöohjauksen soveltaminen monimutkaisten ja laajojen valmistusketjujen ohjaukseen on haastavaa. Ongelmat muodostuvat valmistusprosessin ja suunnitelman välisistä ristiriidoista. Suunnitelmat eivät aina vastaa todellisuutta, ja valmistusketju ei pysty toimimaan suunnitelman mukaisesti. Työvaiheiden välille syntyy välivarastoja johtuen suunnitelmien puutteista ja valmistuksen ongelmista. Välivarastot vaikeuttavat entisestään tuotannosuunnittelua ja hallintaa, sillä ohjauspisteiden määrä kasvaa ja läpimenoajat pitenevät huomattavasti. Työntöohjaus soveltuu käytettäväksi valmistusjärjestelmään, jonka kurinalainen ja laadukas toiminta on helposti hallittavissa. (Haverila et al. 2005, s. 422)

2.4.2 Imuohjaus

Imuohjauksessa tuotteita ja osia valmistetaan ainoastaan todellisen välittömän tarpeen verran. Valmistusjärjestelmässä tarveimpulssit etenevät lopusta alkuun päin. Käytännössä imuohjaus toteutetaan pienten nopeasti kiertävien välivarastojen avulla. Imuohjaus soveltuu vakio-osille ja materiaaleille, joilla on suhteellisen tasainen menekki, sillä muuten imuohjauspuskureiden rakentaminen on mahdotonta. Valmistukselta edellytetään lyhyttä läpimenoaika ja virheetöntä laatua imuohjauksen mahdollistamiseksi. Valmistusprosessin ongelmat pysäyttävät nopeasti koko tuotantoprosessin. (Haverila et al. 2005, s. 422–423)

Imuohjauksessa työvaihe hakee tai edellinen työvaihe toimittaa erän sitä tarvitsevalle. Tuotannon imuohjaus kannattaa aloittaa materiaalin ohjauksesta. Imuohjauksessa tyhjä varastopaikka antaa impulssin. Näin ollen järjestelmä on itseohjautuva ja toimii imukorttien eli kanban-korttien avulla. Kanban-korteilla viestitetään, että työvaihe tarvitsee lisää materiaalia tai osia. Kanban on japania ja tarkoittaa korttia. (Tiainen 1996, s. 88–92; Slack et al. 2004, s. 533)

Imuohjauksessa varaosa tai komponentti varastoidaan kahteen toisistaan erotettuun varastointipaikkaan. Vain toista paikkaa käytetään kerrallaan. Kun varaosat loppuvat, käytetään täyttä varastointipaikkaa. Tyhjä paikka antaa impulssin valmistukselle tai ostolle, jolloin varaosaa tilataan lisää tai aloitetaan niiden valmistaminen. Varaosien on riitettävä siihen saakka kunnes tyhjä varastointipaikka saa täydennyksen ja tilanne normalisoituu. Imuohjaus on eräs havainto-ohjauksen tyyppi. Siinä uusien osien valmistaminen tai tilaaminen aloitetaan, kun välivaraston määrä on laskenut hälytysrajaan asti. Hälytysrajana voi toimia esimerkiksi tyhjä varastopaikka tai kanban-kortti. (Aulanko 1988, s. 75; Tiainen 1996, s. 88–92)

Imuohjausperiaatetta voi soveltaa eri tavoilla valmistusprosessissa. Valmistusjärjestelmässä kokonaissuunnitelma voidaan toteuttaa työntöohjausperiaatteella, mutta imuohjausta käytetään esimerkiksi vakio-osien ja -osakokoonpanojen ohjauksessa. Vaiheittainen siirtyminen helpottaa valmistusprosessin sopeutumista imuohjaukseen ja mahdollisten ongelmien korjaaminen helpottuu. Imuohjausta käytetään usein sen toimintavarmuuden vuoksi. Materiaalikirjanpidon virheet tai valmistuksenohjauksen ongelmat eivät häiritse imuohjausjärjestelmässä. (Haverila et al. 2005, s. 422–423)

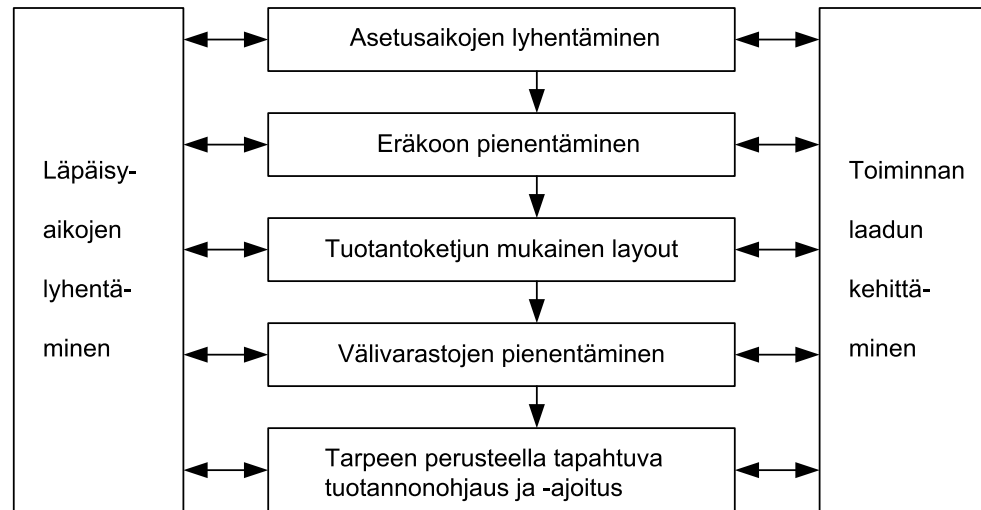
2.4.3 Juuri Oikeaan Tarpeeseen -tuotanto

Japanissa 50-luvulla syntynyt Just-In-Time eli JIT-tuotanto eroaa perinteisestä joukkotuotantomallista huomattavasti. Suomessa termi on käännetty muotoon Juuri Oikeaan Tarpeeseen eli JOT-tuotanto. JOT-tuotannossa raaka-aineita ja tuotteita toimitetaan vain välittömän tarpeen verran juuri silloin, kun niitä tarvitaan. JOT-tuotannossa karsitaan turhat ja arvoa lisäämättömät vaiheet pois prosessista. Tavoitteena on saavuttaa korkea tuottavuus, pieni sitoutunut pääoma, korkea laatu ja nopea läpimenoaika. (Slack et al. 2004, s. 519–523; Haverila et al. 2005, s. 361, 427)

Joukkotuotannossa valmistus ja hankinnat suoritetaan suurissa erissä. JOT-tuotannossa turhan varaston muodostamista pyritään välttämään nopeilla ja ohuilla materiaalivirroilla. Pienet eräkoot mahdollistavat nopean reagoinnin asiakastarpeiden muuttumiseen. Lisäksi runsaiden tuotevariaatioiden hallitseminen on helppoa. (Slack et al. 2004, s. 535–537; Haverila et al. 2005 s. 361)

JOT-toimintamallin perustana on selväpiirteinen tuotanto, jossa materiaalivirrat ja tuotannonohjaus ovat mahdollisimman tehokkaita. Tuotantolaitoksen layout on johdonmukainen, jonka ansiosta materiaalivirrat ovat selkeät. Tuotantojärjestelmä on joustava, joka mahdollistaa tuotteiden nopeat vaihtelut tuoteperheen sisällä. Yksi JOT-tuotannon piirre on voimakas panostaminen toiminnan laadun kehittämiseen. Kuvassa

2.4 on esitetty JOT-tuotannon kehittämisen vaiheet ja niiden riippuvuussuhteet. (Slack et al. 2004, s.527–531; Haverila et al. 2005, s. 361, 428)



Kuva 2.4. JOT-tuotannon kehittämisen vaiheet. (Haverila et al. 2005, s. 429)

Virheiden ja häiriöiden vaikutus korostuu tuotannossa, jossa ei ole välivarastoja. Tämän vuoksi työntekijät, alihankkijat ja toimittajat pyrkivät viimeiseen asti estämään ennakolta virheiden syntymistä. JOT-tuotannossa häiriöt tulevat nopeasti esille, jolloin niiden syyt voidaan selvittää ja korjata, jotta ne eivät toistu. JOT-tuotannon tuottavuus perustuu toiminnan korkeaan laatuun, turhien tehtävien poistamiseen, tuotantoprosessien jatkuvaan parantamiseen sekä sitoutuneeseen pääoman pienuuteen. (Slack et al. 2004, s. 519–523; Haverila et al. 2005, s. 361–362, 428–429)

Yrityksen toiminta voi olla vain osittain JOT-ohjattu. Tällainen järjestely on mahdollista, jos halutaan esimerkiksi vain varasto ja materiaalien hallinta muuttaa JOT-periaatteen mukaiseksi ja säilyttää tuotannonohjaus yhä vanhan työntöohjauksen piirissä. Tällöin yrityksen toiminta on suppeasti JOT-ohjattu. Laajassa JOT-toimintamallissa koko yrityksen ohjaus on JOT-ohjattu. Ohjauksen piiriin kuuluu silloin, varasto, materiaalihankinnat, tuotanto, henkilöstö ja toimittajasuhteet. (Lehtonen 2009)

2.4.4 Läpimenoaika

Läpimenoaika on yksi tuotantojärjestelmän tärkeimpiä käsitteitä ja mittareita. Lyhyt läpimenoaika kertoo hyvin toimivasta, joustavasta ja tehokkaasta tuotantojärjestelmästä. Läpimenoaika ei saa lyhyeksi toimimalla huonosti. Lyhyt läpimenoaika antaa mahdollisuuden lyhyisiin toimitusaikoihin, helpottaa tuotannon ajoitusta ja on hyvän ohjattavuuden edellytys. Tässä luvussa tutustutaan eri läpimenoaikojen määrittelyyn ja esitellään läpimenoaikaan vaikuttavia tekijöitä. (Peltonen 1997; Lapinleimu 2007, s. 67)

Läpimenoajalla tarkoitetaan kokonaisläpimenoaika tai valmistuksen läpimenoaika. Kokonaisläpimenoaika kuvaa aikaa, joka kuluu tilauksen saannista toimitukseen. Valmistuksen läpimenoajalla sen sijaan tarkoitetaan aikaa, joka kuluu valmistuksen

aloittamisesta tuotteen valmistumiseen. Valtaosa läpimenoajasta on odotusaikaa, työvaiheajat muodostavat vain murto-osan kokonaisajasta. (Haverila et al. 2005, s. 401)

Asiakasohjautuva tuotanto edellyttää markkinatoimitusaikaa lyhyempää läpimenoaikaa. Läpimenoajan lyhentyessä keskeneräisen työn määrä ja yhtä aikaa hoidettavina olevien asioiden määrä supistuu merkittävästi. Valmistuksen lyhyen läpimenoajan edellytyksenä ovat lyhyet vaiheketjut, mieluummin yksivaiheiset osavalmistukset ja pienet eräkoot. Aulangon (1988, s. 17) mukaan pyrittäessä joustavaan, lyhyeen läpimenoaikaan joudutaan ohjausperiaatteen valinnan lisäksi kiinnittämään huomiota henkilöstön kykyyn joustaa eli tehdä erityyppisiä töitä. Ammattitaito ja monipuolinen osaaminen sekä halu vaativaan, monipuoliseen työhön muodostuvat ratkaiseviksi tekijöiksi. (Peltonen 1997; Lapinleimu 2007, s. 68)

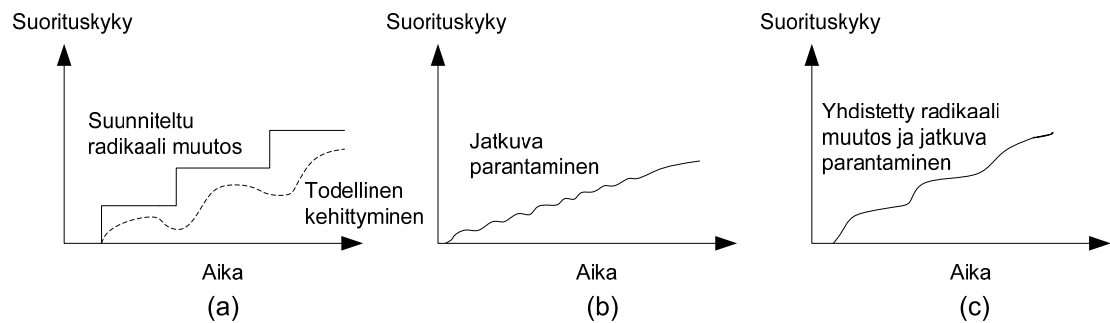
Valmistuksen läpimenoajan lyhentämisen keskeisiä keinoja ovat valmistuserien pienentäminen ja välivarastojen poistaminen. Valmistusjärjestelmässä esiintyy usein turhia välivarastoja. Näiden varastoiden poisto tai pienentäminen nopeuttaa läpimenoaikaa. Tuotantoeriä pienentämällä työvaiheiden väliset odotusajat lyhenevät ja valmistuksen läpimenoaika pienenee. Odotusaikoja voidaan edelleen lyhentää pienentämällä vaiheiden välisiä kuljetuseriä. Läpimenoaikaa voidaan lyhentää selkiyttämällä tuotantolaitoksen materiaalivirtoja ja sijoittamalla työpisteet tuotteen valmistusvaiheiden mukaiseen järjestykseen. (Slack et al. 2004, s. 535–537; Haverila et al. 2005, s. 406)

Valmistuserän koko vaikuttaa huomattavasti läpimenoaikaan. Suurissa valmistuserissä työvaiheiden väliset odotusajat kasvavat samassa suhteessa kuin erä koko, jolloin valmistuksen läpimenoaika kasvaa. Suurien erien valmistaminen pidentää valmistuksen läpimenoaikaa, sillä töiden odotusajat työvaiheille pitenevät. Eräkoon pienenemisessä on valmistuksessa keskityttävä asetustekniikan kehittämiseen. Kun erien koot pienenevät, joudutaan kappaleiden asetuksia tekemään enemmän. Asetusaika kertoo sen ajan, joka kuluu työpisteessä vaihdettaessa tuotteesta toiseen. Asetus tehdään vain keran tuotantoerän aikana, jolloin erän aikana tapahtuvaa työkappaleiden vaihtoa ei laske ta asetusajaksi. Asetusaika muodostuu työkalujen vaihdosta, kiinnittimien vaihdosta, ohjelmien tai raaka-aineiden vaihdosta sekä muista tuotantoerän aloittamiseen liittyvistä toimenpiteistä. (Slack et al. 2004, s. 529–530; Haverila et al. 2005, s. 406)

2.5 Toiminnan kehittäminen

Yrityksen toiminnan kehittäminen voidaan suorittaa joko radikaaleilla toimenpiteillä tai jatkuvammalla vähittäisellä muutoksella. Nämä kaksi tapaa eivät ole toisiaan pois sulkevia vaan niitä voidaan käyttää rinnakkain. Ne sopivat erilaisiin tilanteisiin ja niillä saavutetaan erilaiset tavoitteet. Radikaalilla muutoksella tarkoitetaan suurta kertaluonteista muutosta ydinprosessissa ja sen toimintatavassa. Radikaali muutos voi olla uusi tehokkaampi työstökone, tuotannon uudelleen järjestely tai uusi toimintamalli. Nämä muutokset vaikuttavat yrityksen toimintaan välittömästi ja niillä pyritään parantamaan yrityksen suorituskykyä huomattavasti. (Slack et al. 2004, s. 652–655)

Suuret muutokset ovat yritykselle usein kalliita ja niitä suunnitellaan usein tarkasti, jotta saavutetaan paras mahdollinen hyöty. Kuvassa 2.5a on esitetty radikaalin muutoksen vaikutus yrityksen suorituskykyyn. Yhtenäisellä viivalla on kuvattu usean suuren muutoksen suunniteltu vaikutus yrityksen suorituskykyyn. Pisteviivalla kuvataan yrityksen todellista kehitystä. Ennen suurta muutosta yrityksen suorituskyky hieman laskee, johtuen uuden muutoksen valmistelusta, koulutuksesta ja muutosvastarinnasta. Suuren kertaluonteisen muutoksen todellinen vaikutus saavutetaan yleensä vasta, kun henkilökunta on omaksunut uuden toimintatavan ja alkuvaikeuksista on selvitty. (Slack et al. 2004, s. 652)



Kuva 2.5. Toiminnan kehittäminen radikaalin muutoksen, jatkuvan parantamisen ja niiden yhdistelmän avulla. (Slack et al. 2004, s. 653)

Toiminnan kehittäminen jatkuvan parantamisen avulla sisältää pieniä ja jatkuvasti suoritettavia muutoksia. Jatkuvassa parantamisessa prosessille asetetaan pieniä, mutta yhä vaativampia suorituskykytavoitteita. Tavoitteet saavutetaan viilaamalla prosessia pienien muutosten avulla ja koko henkilöstön voimin. Jatkuvaan parantamiseen viitataan usein japaninkielisellä termillä *kaizen*, joka tarkoittaa kehitystä tai parantamista. Kuvassa 2.5b on esitetty jatkuvan parantamisen vaikutus yrityksen suorituskykyyn. (Slack et al. 2004, s. 652–653; Haverila et al. 2005, s. 380)

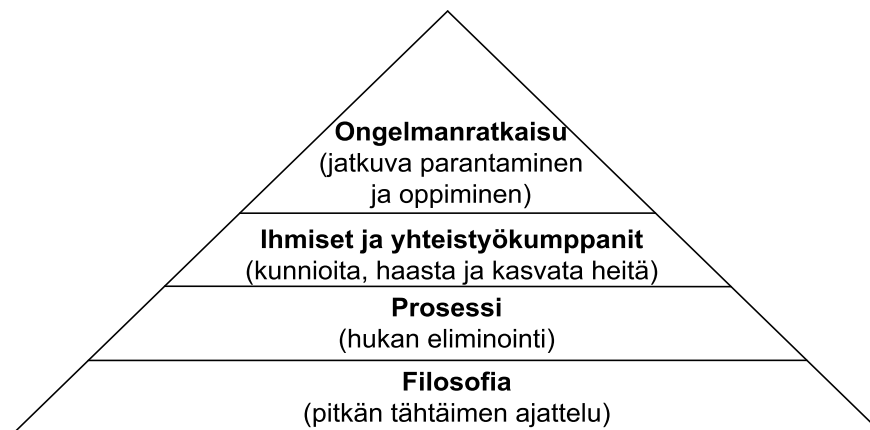
Radikaalien muutosten tekeminen on myös mahdollista yrityksessä, jossa on käytössä jatkuvan parantamisen toimintamalli. Jatkuvan parantamisen toimintamallissa suhtautuminen suuriin muutoksiin on usein myönteisempää ja aiheuttaa vähemmän vastarintaa kuin tavallisessa prosessissa. Tämän vuoksi yrityksen parantunut suorituskyky saavutetaan nopeammalla ajanjaksolla ja työntekijät omaksuvat uudet toimintamallit nopeammin. Kuvassa 2.5c on esitetty yrityksen suorituskyvyn kehittymistä prosessissa, jossa toimintaa tehostetaan sekä jatkuvalla parantamisella että radikaaleilla muutoksilla. Yrityksen suorituskyky kehittyy tasaisesti ja suurienkin muutosten tekeminen on vaivatonta. (Slack et al. 2004, s. 652–655; Haverila et al. 2005, s. 380–381)

2.6 Lean-tuotanto

Lean-tuotanto käsite syntyi 1980-luvun lopussa International Motor Vehicle Program (IMVP) tutkimusohjelman tuloksena. Tutkimuksessa tutkittiin länsimaisen ja Japanin

autotuotannon tehokkuuseroja ja niiden syitä. Tutkimuksesta selvisi, että japanilaisten toimintaperiaatteiden mukaisesti organisoitu tuotanto oli tuottavampi, laadukkaampi ja tarjosi asiakkailleen runsaammin malli- ja varustevaihtoehtoja. Leanin peruseriaate on arvoa nostamattoman työn eli hukkan eliminointi. Lean-tuotantoa voidaan pitää JOT-tuotantoa laajempänä nykyaikaisena johtamis- ja toimintatapana. (Haverila et al. 2005, s. 362; Lapinleimu 2007, s. 39)

Lean-tuotannon perustana pidetään Toyotan tuotantojärjestelmää, jonka tehokkuus pohjautuu sen ainutlaatuiseseen yhtiöfilosofiaan. Toyotan tuotantojärjestelmän pääperiaatteet voidaan tiivistää neljään eri luokkaan: filosofia, prosessi, ihmiset / yhteistyökumppanit ja ongelmanratkaisu. Nämä luokat ovat esitetty kuvassa 2.6. Lean-tuotannossa työkalut, kuten jatkuva parantaminen ja hukkan eliminointi, eivät ole salainen ase yhtiön muuntamiseksi tehokkaaksi valmistusjärjestelmäksi, mutta ne auttavat sen luomisessa. Jatkuva menestys näiden työkalujen käytössä juontaa juurensa syvempään yhtiöfilosofiin, joka perustuu ihmisten ja inhimillisen motivaation ymmärtämiseen. Toyotan tapauksessa yhtiön menestys pohjautuu sen kykyyn kehittää johtajuutta, tiimejä ja kulttuuria, laatia strategioita, rakentaa suhteita tavarantoimittajien kanssa ja ylläpitää oppivaa organisaatiota. (Liker 2006, s. 6–7, 15)



Kuva 2.6. Toyotan tuotantojärjestelmän pääperiaatteet. (Liker 2006, s. 6)

Kuvan 2.6 alimmassa sarakkeessa on filosofia, jolla tarkoitetaan yrityksen pitkän tähtäimen ajattelua. Sen tarkoituksena on pitää yritys vahvana ja mahdollistaa sen kasvaminen pitkällä aikavälillä. Pitkän tähtäimen tavoitteet joudutaan välillä tekemään lyhyen tähtäimen taloudellisten tavoitteiden kustannuksella. Toyotalla yrityksen päämäärä on tuottaa lisäarvoa asiakkaille, työntekijöille ja yhteiskunnalle. Tätä päämäärää voidaan pitää myös lean-tuotannossa pidemmän aikavälin tavoitteena. (Liker 2006, s. 71–84)

Toyotan tuotantojärjestelmän seuraava pääperiaate on prosessi ja sen kehittäminen poistamalla siitä ylimääräinen ei-jalostava toiminta eli hukka. Prosessin kehittämisessä pyritään luomaan jatkuvan virtauksen tuotanto, jolloin prosessin ongelmat ja tehottomuus saadaan selville ja korjattua. Hukan poistaminen nopeuttaa ja tehostaa prosessia. Imuohjauksella estetään ylituotannon syntyminen. Rother ja Shook (1999) kirjoittavat kirjassaan *Learning to See* seuraavasti ”Luo virtaus minne voit, imujärjestelmä minne

on pakko” (katso Liker 2006, s. 108). Tällä lauseella halutaan viestittää, että imuohjaus halutaan rakentaa vain paikkoihin, joissa puhdas virtaus ei ole mahdollinen. Prosessiin pitää tehdä kulttuuri, jossa pysähdytään korjaamaan ongelmia. Tämä on sisäänrakennetun laadun perusta. Vakioitu prosessi ja työtehtävät mahdollistavat jatkuvan parantamisen. Kun työtehtävät suoritetaan standardoitujen ohjeiden mukaisesti, vältetään monilta vioilta ja häiriöiltä. Vikojen esiintyessä voidaan tarkistaa suoritettiin työ vakioitujen ohjeiden mukaisesti ja muuttaa ohjeita, jos vika on ohjeista huolimatta päässyt tapahtumaan. (Liker 2006, s. 87–168; Rantanen 2010)

Kolmantena Toyotan pääperiaatteena on ihmiset ja yhteistyökumppanit. Työntekijöiden jatkuva osallistuminen toimintaan ja sen kehittämiseen takaa hyvän pohjan valmistusprosessille. Toyota valitsee tarkasti työntekijänsä ja kasvattaa heidät sitoutumaan Toyotan toimintatapaan. Toyota kiinnittää erityistä huomiota johtajien kasvattamiseen siten, että he tuntevat ja osaavat työn yksityiskohtaisesti sekä opettavat sitä muille. Toyotan toimintavarmuutta lisää heidän vankka yhteistyö alihankkijoiden kanssa. Toyota kohtelee alihankkijoitaan, kuten ne olisivat samaa yritystä. Toyota auttaa yhteistyökumppaneitansa kasvamaan ja kehittymään. Ongelmien ilmaantuessa Toyota tarjoaa apuaan niiden ratkaisemiseksi. Toyota pyrkii luomaan alihankkijoiden välille pitkäaikaisen suhteen, jolla saavutetaan molemminpuolinen pitkän tähtäimen hyöty. Tämän vuoksi alihankkijoita ei vaihdeta ainoastaan osien halvemman hinnat vuoksi. (Liker 2006, s. 169–220)

Kuvassa 2.6 neljäs pääperiaateluokka on ongelmanratkaisu. Ongelmanratkaisu on jatkuvan parantamisen perusta ja tärkeä osa lean-ajattelua. Toyotan tuotantjärjestelmässä ongelman ratkaiseminen aloitetaan menemällä paikan päälle, jotta ongelman todelliset syyt selviävät ja ne voidaan ratkaista. Tämä eroaa usean yrityksen ongelmanratkaisusta, jotka tehdään valmiiden raporttien tai tilastojen perusteella. Tilanteen tosiasiat voivat johtua kuitenkin jostain muista asioista, mitä tilastoista on mahdotonta havaita. Tämän vuoksi on tärkeää mennä paikan päälle vahvistamaan tosiasiat ja ongelmien todelliset syyt, jotta ne voidaan ehkäistä. Ongelman syiden selvittyä Toyotalla pohditaan mahdollisimman laajasti eri vaihtoehtoisia ratkaisuja. Ongelmia ratkaistaan usein ryhmissä, jolloin mahdollisimman monta erilaista näkökulmaa saadaan hyödynnettyä. Jatkuvalla parantamisella ja ongelmien ratkaisemisella turvataan yrityksen kilpailukyky ja tehokas toiminta. Jatkuva parantaminen on lean-ajattelumallin yksi tärkeimmistä vaiheista, jota kuvataan usein kaizen-termillä. Kaizen on japania ja tarkoittaa parannusta. Työelämässä sillä tarkoitetaan jatkuvaa kehitystä, joka koskee kaikkia: niin työntekijöitä kuin johtajiakin. (Slack et al. 2004, s. 524–525, 653; Liker 2006, s. 223–265)

2.6.1 Lisäarvoa tuottamattomien toimintojen eliminointi

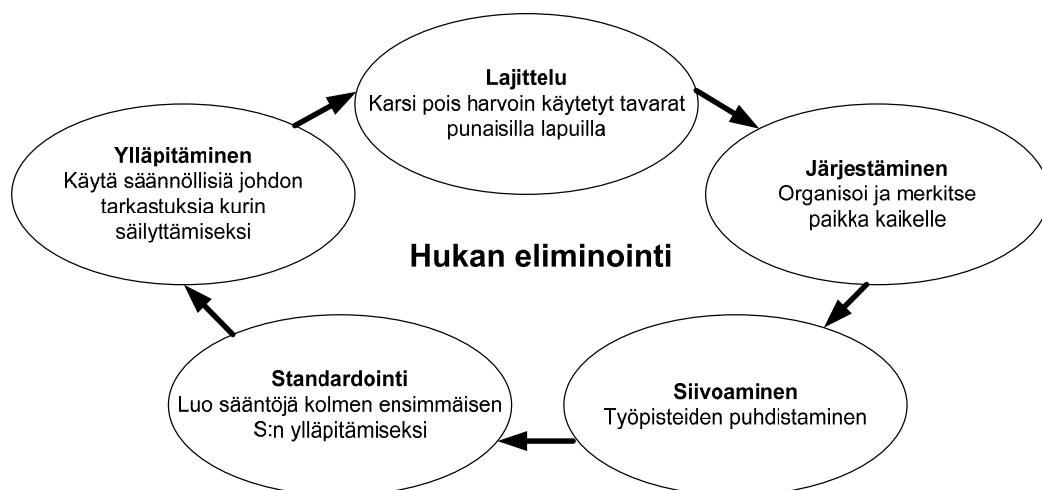
Lean-tuotannossa on tärkeä selvittää mitä sisäinen tai ulkoinen asiakas haluaa tältä prosessilta. Tällä tiedolla voidaan erottaa lisäarvoa tuottavat toiminnot ja arvoa tuottamattomat toiminnot eli hukat. Tämä voidaan tehdä mihin tahansa prosessiin, jonka toimintaa halutaan tehostaa. Lean-tuotannossa hukkatyyppit on eroteltu kahdeksaan eri luokkaan. (Liker 2006, s. 27–28)

- Ylituotanto
- Odottaminen
- Kuljetukset
- Yliprosessointi tai tarpeeton käsittely
- Ylisuuret varastot
- Tarpeeton liikkuminen
- Virheet
- Työntekijän luovuuden käyttämättä jättäminen

Toyotalla ylituotantoa pidetään tärkeimpänä hukkatyyppinä, sillä se aiheuttaa suurimman osan muusta tuhlauksesta. Jos jossakin prosessin vaiheessa tuotetaan enemmän kuin asiakas haluaa, kertyy jonnekin aina varastoa. Varastot johtavat epäoptimaaliseen toimintaan, kuten motivaation puutteeseen toimintojen jatkuvan parantamisen suhteen ja samalla odotusajat prosessissa kasvavat. Ylituotanto voi aiheuttaa myös laatuongelmien esilletulon vasta viikkojen päästä osan tekemisestä, kun yksiosaisessa virtauksessa vika paikannetaan heti sen syntymisen jälkeen. (Liker 2006, s. 28–29)

Tuotteen valmistusprosessia kehittämällä ylimääräiset ja virheelliset käsitellyt saadaan poistettua tai yhdistettyä tehokkaammaksi kokonaisuudeksi. Valmistusprosessissa työntekijöiden tai koneiden ylimääräinen liike voi aiheuttaa ongelmia, joiden seurauksena tuote tai laite vioittuu. Ylimääräistä liikettä ja kiireen tunnetta aiheuttaa myös hukassa oleva työkalu. Tämän välttämiseksi työpisteet on pidettävä siistinä ja työkalut omilla paikoillaan lähellä työpistettä. (Slack et al. 2004, s. 524–525)

Lean-tuotannossa työntekijöitä kunnioitetaan ja heitä kuunnellaan. Tämän vuoksi työntekijöiden luovuuden käyttämättä jättäminen koetaan lean-tuotannossa hukkana. Työntekijöitä kannustetaan jatkuvaan parantamiseen ja tällöin on tärkeää myös kuunnella ideoita ja kehitysehdotuksia, joita työntekijät kertovat. Työntekijöiden luovuuden käyttämättä jättäminen voi hukata aikaa, ideoita, taitoja, parannuksia ja oppimismahdollisuuksia. Hukan eliminoimiseksi voidaan käyttää japanialaista 5S-menetelmää, jonka toiminta on esitetty kuvassa 2.7. (Hirano 1995; Liker 2006 s. 29)



Kuva 2.7. 5S-menetelmän työkalut. (Liker 2006, s. 151)

5S-lyhenne tulee japanialaisista sanoista: *seiri* (lajittele), *seiton* (järjestä), *seiso* (puhdist), *seiketsu* (standardoi) ja *shitsuke* (ylläpidä). Menetelmällä tavoitteena on karsia työpaikalla esiintyvää hukkaa, joka aiheuttaa virheitä, vikoja ja vahinkoja. 5S-menetelmän 5S-menetelmässä hukkien eliminoiminen aloitetaan merkitsemällä kaikki harvoin käytetyt tavarat punaisilla lapuilla, jonka jälkeen ne siirretään työpisteestä pois. Jäljelle jääneet tavarat järjestetään ja niille merkitään omat paikat, joissa niitä säilytetään aina, kun niitä ei käytetä. Tämän jälkeen työpisteet siivotaan ja työt vakioidaan, jotta siisteys ja työkalujen järjestys pysyy hyvänä. Viimeisenä ja vaikeimpana vaiheena on järjestyksen ylläpitäminen. Siisteyden ylläpito ja jatkuva parantaminen vaativat onnistuakseen koulutusta, harjoittelua, kannustimia ja sitoutuneen johdon. (Hirano 1995; Liker 2006)

2.6.2 Lean-teorian soveltamisen haasteet käytännössä

Toyotan tuotantojärjestelmä on toiminut samojen oppien mukaisesti jo yli 40 vuotta. Se on pystynyt jatkuvasti kehittämään ja parantamaan prosessiaan, mikä on herättänyt muiden yritysten mielenkiinnon tuotantojärjestelmää kohtaan. Lean-tuotannon menetelmät on tunnettu jo yli kahden vuosikymmenen ajan ja yritykset soveltavat niitä jatkuvasti tuotantojärjestelmiinsä. Lean-tuotannon onnistunut omaksuminen vaatii koko yrityksen sitoutumista ja pitkäjänteistä työtä. (Liker 2006, s. 10–13)

Useat yritykset pyrkivät soveltamaan leania omaan tuotantojärjestelmään, mutta he eivät ymmärrä sen kokonaisfilosofiaa. Tyypillisesti yritykset omaksuvat joitakin lean-työkaluja ja keskittyvät niihin luodakseen teknisen järjestelmän. Tällöin yritykset eivät keskity jatkuvaan parantamiseen, mitä Toyotan tavan ylläpitäminen vaatii. Lean-tuotannon soveltaminen keskittyy useimmilla yrityksillä ainoastaan prosessitasoon, jolloin jatkuvan parantamisen kulttuuri jää saavuttamatta. Prosessitaso on oikea tapa aloittaa lean-tuotannon soveltaminen, mutta sen ylläpitäminen vaatii myös muiden osalueiden omaksumista. (Liker 2006, s. 10–13)

Lean-tuotannon soveltaminen vaatii, että jokainen yrityksen työntekijä tiedostaa lean-teorian ajatustavan ja sitoutuu noudattamaan sitä myös pidemmällä tähtäimellä. Tämä vaatii sitoutumista ja motivaatiota, jotta yhteinen päämäärä saavutetaan. Lean-tuotanto vaatii kaikkien sitoutumista jatkuvan parantamisen ja ongelmaratkaisun hyväksi. Tähän sitoutuu jokainen ylimmästä johdosta lattiatason työntekijöihin asti. Lean-tuotannossa suurin haaste on sen ylläpitäminen vaikeuksista huolimatta. Kun käynnistetään jatkuvan virtauksen prosessi, esille tulee paljon häiriöitä ja vikoja, jotka vaikuttavat koko valmistusprosessiin. Ongelmien ylitse pääseminen ja jatkuvan parantamisen ylläpito vaatii sitoutuneen johdon, hyvän koulutuksen ja asiantuntevat työntekijät, jotka tuntevat lean-ajattelun kulttuurin ja ovat valmiita tekemään kaikkensa sen saavuttamiseksi. Yhteisen päämäärän saavuttaminen voi vaatia lyhyellä tähtäimellä kustannuksia, jotta saavutetaan pidemmän ajan tavoite. (Liker 2006, s. 10–13)

3 HYDRAULISYLINTERIN JA PAINENMUUNTIMEN TOIMINTA

Hydraulisyylinterin tehtävä on muuttaa hydraulinen teho mekaaniseksi, suoraviivaiseksi, edestakaiseksi liikkeeksi. Sylinterit voidaan toimintaperiaatteensa mukaisesti jakaa kahteen pääryhmään: yksitoimisiin ja kaksitoimisiin sylintereihin. Yksitoimista sylinteriä käytetään hydraulisesti vain toiseen suuntaan. Paluuliike suoritetaan ulkoisella voimalla, joka voi olla sylinteriä kuormittama voima, sylinterin oma paino tai sylinterin sisäinen palautinjousi. Kaksitoimisia sylintereitä käytetään hydraulisesti molempiin liikesuuntiin. (Warring 1983, s. 88; Kauranne et al. 2006, s. 141; Hydraulics in industrial and mobile applications 2007)

Hydraulisyylinteri muodostaa yhteyden hydraulijärjestelmän ja työkoneen välille. Hydraulisyylintereitä käytetään tyypillisesti kuormien nostossa, laskussa, lukituksessa ja siirrossa. Hydraulisyylintereitä voidaan käyttää sovellutuksissa, joissa tarvitaan suurta tehoa ja pientä massaa. Tässä luvussa tutustutaan hydraulisyylinterin ominaisuuksiin ja erilaisiin rakenteisiin. Luvussa 3.3 esitellään paineenmuuntimen toiminta. (Kosomaa & Kosomaa 2008, s. 77)

3.1 Hydraulisyylinterin ominaisuudet

Sylinteri on ominaisuuksiltaan yksinkertainen komponentti, jolla saadaan hydraulinen teho muutettua mekaaniseksi suoraviivaiseksi liikkeeksi. Seuraavassa on esitetty sylinterin perusominaisuuksia ja laskukaavoja. Sylinterin liikenopeus riippuu sylinteriin tuodusta tilavuusvirrasta ja tehollisesta männänpinta-alasta kaavan (1) mukaisesti

$$Q_{teor} = Av \quad (1)$$

jossa A on tehollinen pinta-ala [m^2],

v on liikenopeus [m/s] ja

Q_{teor} on teoreettinen tilavuusvirta [l/min]. (Kauranne et al. 2006, s.145; Hydraulics in industrial and mobile applications 2007, s. 188)

Sylinterissä esiintyy liitännöiden välisen paine-eron takia vuotoja, jotka pienentävät sylinterin liikenopeutta. Vuodot huomioidaan volumetrisella hyötysuhteella η_{vol} [-], jolloin saadaan laskettua sylinterin todellinen tilavuusvirta Q_{tod} [l/min] kaavalla (2). (Kauranne et al. 2006, s. 145)

$$Q_{tod} = \frac{Av}{\eta_{vol}} \quad (2)$$

Vuotojen määrä riippuu paine-erosta ja männän tiivisteistä. Sylintereissä esiintyvät vuodot ovat merkityksettömän pieniä johtuen hyvistä männän tiivisteistä. Tämän vuoksi usein riittävä tarkkuus saavutetaan, kun volumetrinen hyötysuhde oletetaan olevan yksi. Tarkemmissa sovelluksissa volumetrinen hyötysuhde on kuitenkin huomioitava. (Kauranne et al. 2006, s. 145)

Yksipuolisella männänvarrella varustetuissa sylintereissä on huomioitava, että sylinterin liikenopeus on erisuuri plus- ja miinusliikkeissä, jos tilavuusvirta pysyy samana. Tämä johtuu sylinterin erisuurista tehollisista pinta-aloista männän ja männänvarren puolella. (Kauranne et al. 2006, s. 145; Hydraulics in industrial and mobile applications 2007, s. 195–196)

Sylinteriltä saavutettava voima on riippuvainen männän pinta-alasta ja kammionpaineesta kaavan (3) mukaisesti

$$F = pA \quad (3)$$

jossa F on sylinterin voima [N] ja
 p on sylinterin kammionpaine [Pa].

Ulkoisen kuormituksen lisäksi sylinteriin kohdistuu tiivisteiden ja sylinterin välisten kitkojen aiheuttama kuormitus. Nämä kitkahäviöt huomioidaan hydromekaanisella hyötysuhteella, jolloin sylinteriltä saavutettava voima saadaan laskettua kaavalla (4)

$$F = pA\eta_{hm} \quad (4)$$

jossa η_{hm} on hydromekaaninen hyötysuhde [-].

Sylinterin hydromekaaninen hyötysuhde riippuu männän yli vaikuttavasta paine-erosta, sylinterin nopeudesta, tiivisteistä sekä sylinteriputken ja männänvarren pinnanlaadusta. Paineen kasvaessa kitkat pysyvät lähes vakiona, jolloin hyötysuhde paranee, sillä sylinteristä saatava voima kasvaa. Eri tiivistetyypin vaikutus hydromekaaniseen hyötysuhteeseen vaihtelee välillä 0,8 ja 0,96. Tiivistetyypin valinta on aina kompromissi tiivistysominaisuuksien ja kitkahäviöiden välillä. Metallirenkailla on pienet kitkahäviöt ja hyvä hydromekaaninen hyötysuhde. Urarengastiivisteille saavutetaan hyvät tiivistysominaisuudet, mutta kitkahäviöt kasvavat verrattuna metallirenkaisiin. Orengastiivisteiden hydromekaaninen hyötysuhde on hieman metallirenkaita pienempi, mutta parempi kuin urarengastiivisteillä. (Kauranne et al. 2006, s. 146)

Sylinterin liikenopeudet vaihtelevat 0,05-1 m/s välillä tavallisissa sovelluksissa. Erittäin alhaisissa liikenopeuksissa sylinterissä voi esiintyä nykimistä pienillä paineilla johtuen tiivisteiden kitkoista ja vuodoista. Suurilla liikenopeuksilla on vaarana tiivisteiden nopea kuluminen. Sylinteriä valittaessa on huomioitava tiivistyksen sopivuus halutulle nopeusalueelle ja kokonaishyötysuhteeseen. Kokonaishyötysuhde muodostuu volumetrisesta ja hydromekaanisesta hyötysuhteesta kaavan (5) mukaisesti

$$\eta_{kok} = \eta_{vol}\eta_{hm} \quad (5)$$

jossa η_{kok} on kokonaishyötysuhde [-]. (Warring 1983; Kauranne et al. 2006, s. 146; Hydraulics in industrial and mobile applications 2007, s. 83–84)

Sylinterin vuodot ovat yleensä mitättömän pieniä, jolloin volumetrisen hyötysuhteen voidaan olettaa olevan yksi. Näin ollen kokonaishyötysuhde määräytyy pääasiassa hydromeekaanisen hyötysuhteen perusteella. Yksi- ja kaksitoimisilla mäntätyyppisillä sylintereillä kokonaishyötysuhde on tyypillisesti välillä 0,9-0,96. (Kauranne et al. 2006, s. 146–147)

3.2 Hydraulisyylinterin rakenne

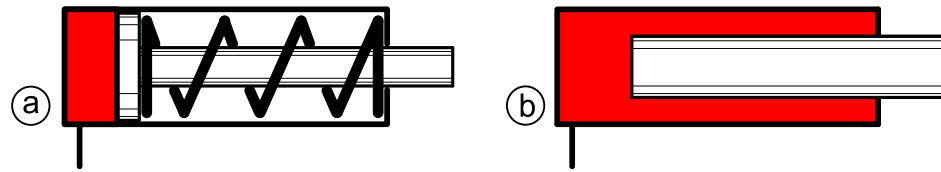
Sylintereiden rakennevaatimukset mobile- ja teollisuushydrauliikassa ovat erilaiset. Teollisuushydrauliikassa sylinteriin kohdistuvat kuormitukset tiedetään yleensä tarkkaan, kun taas mobilehydrauliikassa sylinteriin kohdistuvat kuormitukset vaihtelevat suuresti. Mobilehydrauliikassa sylinterin koolla ja massalla on suuri merkitys, jonka vuoksi käyttöpaineet ovat suurempia kuin teollisuushydrauliikassa. Teollisuushydrauliikassa sylinterin kokoa voidaan kasvattaa, jolloin käyttöpaineet voidaan pitää matalina. Sylinterin materiaali ja rakenne riippuvat käyttökohteen ominaisuuksista. Sylinterin männänvarteen kohdistuu erilaisia ympäristökuormituksia, kuten epäpuhtauksia ja korroosiota, jotka on otettava huomioon sylinterimateriaalin valinnassa. (Hydraulics in industrial and mobile applications 2007, s. 202; Kosomaa & Kosomaa 2008, s. 84)

Mobilehydrauliikassa takapääty liitetään sylinteriputkeen tyypillisesti hitsaamalla. Etupäädyn kiinnityksessä käytetään kierre- laippa- tai lukkorengasliitosta. Teollisuushydrauliikassa käytetään jonkin verran samoja sylinterirakenteita kuin mobilehydrauliikassa. Sen lisäksi käytetään paljon sidepulttirakennetta, jossa sylinteriputki on puristettu päätykappaleiden väliin neljällä pitkällä sidepultilla. Toinen yleinen sylinterirakenne on kierrettävillä päillä varustetut sylinterit. Niissä sylinteriputken molemmissa päässä on ulkokierre, johon sisäkierteellä varustettu laippa on kiinnitetty. Laipoissa on useita kierreistettyjä reikiä, joihin päätykappaleet kiinnitetään ruuviliitoksilla. (Warring 1983, s. 99–101; Hydraulics in industrial and mobile applications 2007, s. 202–216; Kosomaa & Kosomaa 2008, s. 84)

3.2.1 Yksitoimiset sylinterit

Yksitoimisia sylintereitä käytetään hydraulisesti vain toiseen suuntaan, joko ulos- tai sisäänpäin. Sylinterin paluuliike suoritetaan palautinjousen, sylinterin oman painon tai ulkoisen voiman avulla. Palautinjousella varustettuja sylintereitä käytetään ainoastaan sovelluksissa, joissa ei ole ulkopuolista palauttavaa voimaa. Palautinjousi voidaan sijoittaa sylinterin sisäpuolelle, kuten kuvassa 3.1a, tai sen ulkopuolelle. Palautinjousella varustettuja sylintereitä käytetään jarrusylintereissä ja kiinnitinsylintereissä. Jousella

varmistetaan sylinterin asema, kun järjestelmä on paineeton. (Sylinterit 2003; Kosomaa & Kosomaa 2008, s. 78)

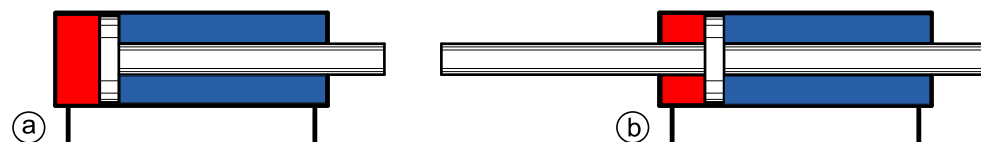


Kuva 3.1. Yksitoiminen jousipalautteinen sylinteri ja uppomäntäsylinteri. (Kosomaa & Kosomaa, s. 78)

Uppomäntäsylinteri koostuu sylinteriputkesta ja männänvarresta, kuten kuvassa 3.1b. Männänvarsi toimii sylinterin mäntänä. Uppomäntäsylinterillä saadaan aikaiseksi ainoastaan työntövoimia ja paluuliike suoritetaan ulkopuolisen voiman avulla. Yleisimpiä uppomäntäsylintereiden sovelluksia ovat muun muassa puristimet, leikkuupöydät ja nostolaitteet. (Kauranne et al. 2006, s. 142; Kosomaa & Kosomaa 2008, s. 78)

3.2.2 Kaksitoimiset sylinterit

Kaksitoimista sylinteriä käytetään hydraulisesti kumpaankin liikesuuntaan. Kaksitoimisiin sylintereihin kuuluvat yksipuolisella männänvarrella varustetut sylinterit, kaksipuolisella männänvarrella varustetut sylinterit ja kaksitoimiset teleskooppisylinterit. Kuvassa 3.2a on esitetty yksipuolisella männänvarrella varustettu sylinteri, jota kutsutaan myös differentiaalisylinteriksi. Sylinterissä on erisuuruiset teholliset pinta-alat, jonka vuoksi sylinterivoimat ja -nopeudet ovat erisuuruiset plus- ja miinusliikkeessä, kun käytetään samaa syöttöpainetta ja tilavuusvirtaa. (Kauranne et al. 2006, s. 143; Kosomaa & Kosomaa 2008, s. 79)



Kuva 3.2. Yksipuolisella ja kaksipuolisella männänvarrella varustetut sylinterit. (Kosomaa & Kosomaa 2008, s. 79)

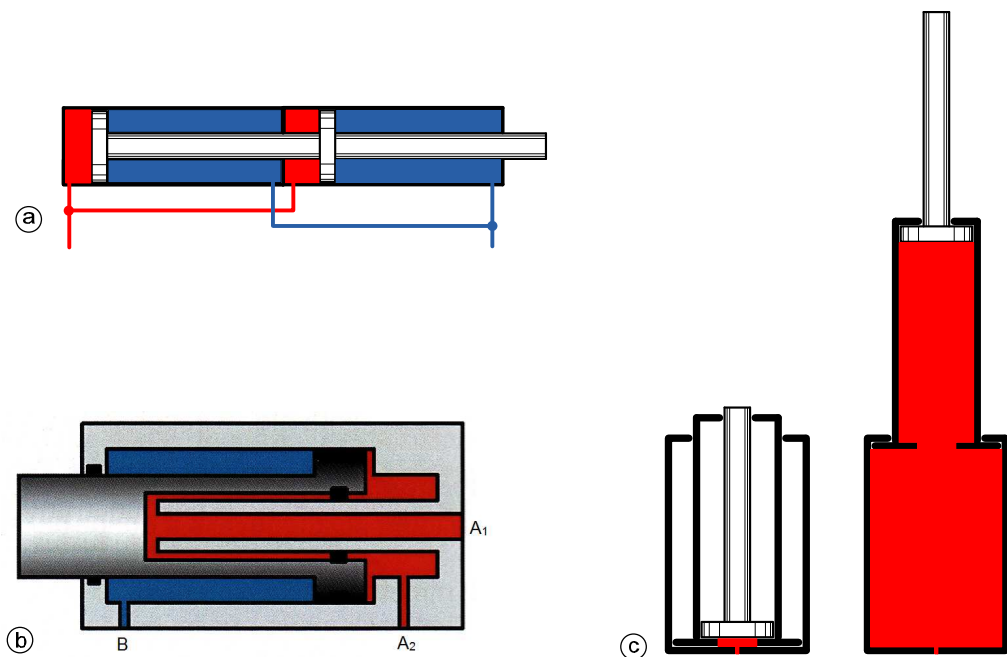
Kuvassa 3.2b on esitetty kaksipuolisella männänvarrella varustettu sylinteri. Näissä sylintereissä teholliset pinta-alat ovat yhtä suuret, jolloin sylinterillä saavutetaan samansuuruiset voimat ja nopeudet kumpaankin liikesuuntaan. Kaksipuolisen männänvarren ansiosta sylinterin rakenteellinen pituus on pidempi kuin yksipuolisella männänvarrella varustetussa sylinterissä. (Kauranne et al. 2006, s. 144)

3.2.3 Erikoissylinterit

On olemassa sovelluksia, missä standardeja yksi- ja kaksitoimisia sylintereitä voidaan käyttää vain hankalien erikoislaitteiden avulla. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi painat, joissa tarvitaan pitkä isku mahdollisimman lyhyellä rakennepituudella tai suuri

voima mahdollisimman pienellä männän halkaisijalla. Nämä ja muut vaatimukset ovat johtaneet erikoissylinterien sarjaan, jotka ovat osittain vaikeampia ja työläämpiä valmistaa kuin perinteiset sylinterit. (Hydraulics in industrial and mobile applications 2007, s. 193–201; Kosomaa & Kosomaa 2008, s. 80)

Tandemsylinterissä on yhdistetty kaksi sylinteriä yhteen siten, että sylinterin männänvarressa on kaksi mäntää, kuten kuvasta 3.3a havaitaan. Tällä rakenteella teholliset pinta-alat summautuvat, ja sylinterillä saadaan tuotetuksi suuria voimia suhteellisen pienellä männän halkaisijalla. Tandemsylinterin pitkä rakenteellinen pituus on otettava huomioon järjestelmien suunnittelussa. (Hydraulics in industrial and mobile applications 2007, s. 199–200; Kosomaa & Kosomaa 2008, s. 80)



Kuva 3.3. Tandemsylinterin, pikaliikesylinterin ja teleskooppisylinterin poikkileikkaukset. (Kosomaa & Kosomaa 2008, s. 80–81)

Pikaliikesylinterit ovat erikoissylintereitä, joita käytetään erityisesti puristimissa. Tässä sylinterityypissä on kaksi eri liikenopectta. Paine vaikuttaa vain osalle tehollisesta männänpinta-alasta niin kauan kuin ei tarvita koko puristusvoimaa. Koko tehollinen pinta-ala kytetään käyttöön paineventtiileiden tai rajakytkimien avulla, kun kuorma suurenee riittävästi. Kuvassa 3.3b sylinteri on pikaliikkeessä, kun öljy johdetaan liitäntään A_1 . Sylinterin puristusvoimaa saadaan kasvatetuksi, kun öljyä johdetaan myös liitäntään A_2 . Sylinterin paluuliike saadaan aikaiseksi, kun öljy johdetaan liitäntään B. Sylinterin pikaliikenopeus saavutetaan pienellä pinta-alalla ja korkea puristusvoima suurella tehollisella pinta-alalla. (Kosomaa & Kosomaa 2008, s. 80)

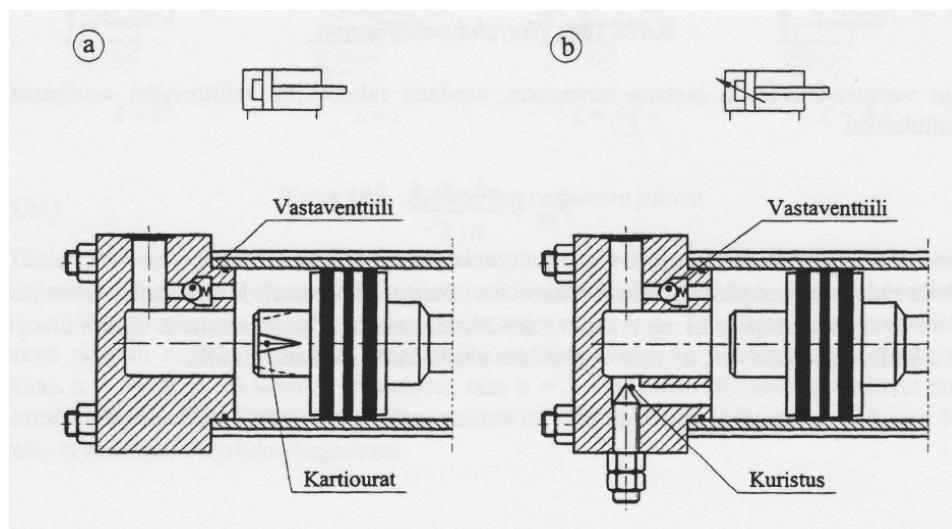
Teleskooppisylinterillä saavutetaan pitkä isku varsin lyhyellä rakennepituudella. Sylinteri sisältää useita sisäkkäin liikkuvia mäntiä, kuten kuvassa 3.3c. Mäntät tekevät iskunsa vaihteittain ja eri nopeuksilla. Teleskooppisylinterin rakenteellinen pituus on vain vähän suurempi kuin sylinterin yhden vaiheen pituus. Yleisimpiä sovelluskohteita teleskooppisylinterille ovat muun muassa kippilavat, hyötyajoneuvot ja nostolaitteet.

(Kauranne et al. 2006, s. 144–145; Hydraulics in industrial and mobile applications 2007, s. 193–195; Kosomaa & Kosomaa 2008, s. 81)

3.2.4 Sylinterin päätyvaimennus

Hydraulisylinterin liikenopeudesta ja massasta johtuen on sen pysäytys suoritettava rauhallisesti, jotta rakenteet eivät vaurioidu. Sylinterin vaurioiden välttämiseksi sylinterin liikenopeus on pidettävä riittävän alhaisena tai sitä on vaimennettava ennen pysähtymistä. Liikenopeutta voidaan rajoittaa ulkopuolisten venttiileillä tai sylinterin sisäisellä vastuksella eli päätyvaimennuksella. Päätyvaimennusta suositellaan käytettäväksi, jos männän liikenopeus ylittää arvon 0,1 m/s. Suuria massoja liikuteltaessa tulee vaimennusta käyttää jo pienemmilläkin nopeuksilla. (Kauranne et al. 2006, s. 150)

Sylinterin päätyvaimennus saadaan aikaiseksi luomalla sylinterin päätyyn kuristin. Kun sylinteri saavuttaa päätyasentoaan, neste pääsee virtaamaan ainoastaan kuristimen tai kartiourien kautta sylinteristä pois ja sylinterin liikenopeus hidastuu. Kuvassa 3.4 on esitetty kaksi eri tapaa poistovirtauksen kuristamiseen. Kuvassa 3.4a on kiinteä päätyvaimennus, jossa männän päähän on asennettu kartiourilla varustettu holkki. Sylinterin iskun lopussa holkki työntyy sylinterin päädyssä olevaan virtausaukkoon. Tällöin tilavuusvirta pääsee virtaamaan ainoastaan kartiourista, ja sylinterin liike hidastuu. Kartiomallisista urista johtuen liike hidastuu tasaisesti. (Kauranne et al. 2006, s. 150; Hydraulics in industrial and mobile applications 2007, s. 206–207; Kosomaa & Kosomaa 2008, s. 82)



Kuva 3.4. Sylinterin päätyvaimennus. (Kauranne et al. 2006, s. 150)

Kuvassa 3.4b on esitetty säädettävä päätyasentovaimennus, jossa männänvarren päässä oleva holkki tukkii virtausaukon kokonaan iskun lopussa, jolloin neste pääsee pois vain päätykappaleeseen tehdyn kanavan kautta. Päätyvaimennuksen suuruutta voidaan muuttaa kanavassa olevalla kuristimella. Sylinterin päätyyn lisätään vastaventiilit, jotta päätyvaimennus ei hidasta sylinterin liikkeellelähtöä. Öljy pääsee virtaamaan liikkeellelähdössä vastaventiilin lävitse männälle ja sylinteri työntyy ulos. Vastaventiilit

on esitetty kuvissa 3.4a ja 3.4b. (Kauranne et al. 2006, s. 150; Hydraulics in industrial and mobile applications 2007, s. 206–207)

3.2.5 Sylinterin tiivistäminen

Sylinterin männän ympärillä ja männänvarren ulostuloreiässä pitää olla kunnollinen tiivistys, jotta sylinteri voi toimia kunnolla. Tiivisteet estävät öljyn vuotamisen välyksi-en kautta sylinterin ulkopuolelle ja epäpuhtauksien pääsyn sylinteriin. Tiivisteiden materiaali vaihtelee sylinterin käyttötarkoituksen mukaan. Materiaali määräytyy hydraulines-teestä ja käyttöolosuhteista. Valintaan vaikuttaa järjestelmän maksimipaine, hyd-raulineste, käyttölämpötila, maksimiliikenopeus, tiivistettävä välilyönti, kitka, tiivistettävien pintojen pinnanlaatu ja käyttöikä. (Kosomaa & Kosomaa 2008, s. 86–92)

Männänvarrentiivisteet koostuvat itse tiivisteestä, pyyhkijärenkaasta ja männänvar-ren ohjaimesta. Ohjaimen tehtävä on estää metalli-metalli kosketuksen syntymistä. Tii-viste estää öljyn vuotamisen sylinteristä männänvarren välyksen kautta ulos. Yleisimpiä tiivistetyyppejä ovat V- ja U-profiiliset urarengastiivisteet, joiden yleisempänä materi-aalina käytetään polyuretaania. Polyuretaanilla on erittäin hyvät mekaaniset ominaisuu-det ja näin se soveltuu hyvin tiivisteiden materiaaliksi. Polyuretaanilla on suurempi myö-töraja, repeämisvastus ja kulutuskestävyys kuin millään muulla kumityypillä. Normaalisti sitä voidaan käyttää -30–90 °C. Käyttöpaineet eivät saisi ylittää 40 MPa eikä sylin-terin nopeus saisi olla yli 0,5 m/s. Polyuretaanista on kuitenkin paljon erilaisia versioita, joiden ominaisuudet voivat vaihdella huomattavasti. Näin jokaiseen sovellukseen on valittava siihen sopivat tiivisteet. (Warring 1983, s. 240–253; Fonselius et al. 1995, s. 99; Kosomaa & Kosomaa 2008, s. 86)

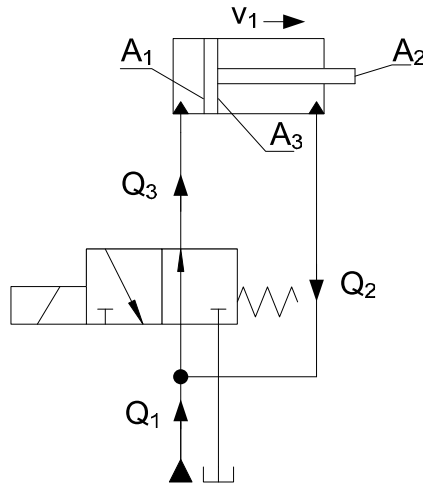
Pyyhkijärenkaan tehtävä on estää ulkopuolelta tulevan epäpuhtauksien pääsy sylin-teriin ja männänvarren tiivisteisiin. Pyyhkijärenkaan on oltava vahva, mutta sen huulen täytyy olla taipuisa. Polyuretaani soveltuu hyvin pyyhkijärenkaan materiaaliksi hyvien mekaanisten ominaisuuksien ansiosta. Pyyhkijärenkaassa on usein metallinen tukiren-gas, joka mahdollistaa asennuksen avoimeen uraan puristussoviteella. Ilman metallista tukirengasta tiiviste asennetaan suljettuun uraan. (Kosomaa & Kosomaa 2008, s. 86–89)

Männäntiiviste estää öljyn vuotamisen sylinterikammioiden välillä. Yleisin männän-tiiviste on kaksitoiminen yhdistelmätiiviste, joka koostuu liukurenkaasta, tukirenkaista ja tiivisteistä. Tiivisteiden molemmilla puolilla on tukirenkaat, jotka tukevat tiivistettä ja auttavat estämään vuotoa. Liukurengas estää metalli-metalli kosketuksen muodostumi-sen. (Kosomaa & Kosomaa 2008, s. 88–89)

3.2.6 Differentiaalikytkentä

Epäsymmetrisellä sylinterillä eli differentiaalisylinterillä on erisuuriset teholliset pinta-alat. Tämän vuoksi sylinterin liikenopeus on erisuuri, kun sylinteriä ajetaan ulos- ja si-säänpäin. Liikenopeuden ero voi olla toivottava esimerkiksi työstökonehydrauliikassa, jossa hidas työliike suoritetaan, ajamalla sylinteri ulos, ja nopea paluuliike ajamalla sy-linteri sisään. Kaikissa sovelluksissa liikenopeuksien ero ei ole toivottava, vaan sylinte-

riltä halutaan nopeat liikesuunnat kumpaankin suuntaan. Sylinterin ulospäin liikettä voidaan nopeuttaa differentiaalikytkennällä, jossa männänvarrenpuolelta poistuva neste johdetaan uudestaan sylinterin männänpuolelle. Näin sylinterin liikenopeus kasvaa. Sylinterin differentiaalikytkentä on esitetty kuvassa 3.5. (Kauranne et al. 2006, s. 30–31; Hydraulics in industrial and mobile applications 2007, s. 613–615)



Kuva 3.5. Sylinterin differentiaalikytkentä. (Kauranne et al. 2006, s. 30)

Kuvassa 3.5 esitetyn differentiaalikytkennän tilavuusvirtojen summa voidaan kirjoittaa Kirchhoffin ensimmäisen lain mukaan seuraavasti

$$Q_3 = Q_1 + Q_2 \quad (6)$$

jossa Q_1 on painelähteen tuottama tilavuusvirta [l/min],
 Q_2 on sylinteriltä tuleva tilavuusvirta [l/min] ja
 Q_3 on sylinterille menevä tilavuusvirta [l/min] (Kauranne et al. 2006, s. 31).

Tilavuusvirrat Q_2 ja Q_3 voidaan kirjoittaa kaavan (1) avulla muotoon

$$Q_3 = v_1 A_1 \quad \text{ja} \quad Q_2 = v_1 A_3 \quad (7)$$

joissa v_1 on sylinterin nopeus [m/s],
 A_1 on sylinterin männän pinta-ala [m²] ja
 A_3 on sylinterin rengas pinta-ala [m²].

Näin kaava (6) voidaan kirjoittaa edelleen muotoon

$$v_1 A_1 = Q_1 + v_1 A_3 \quad (8)$$

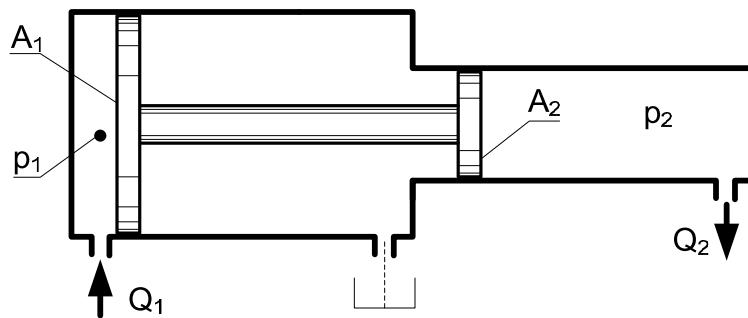
josta voidaan ratkaista sylinterin nopeus v_1 .

$$v_1 = \frac{Q_1}{A_1 - A_3} \quad (9)$$

Differentiaalikytkennällä sylinterin plusliikettä saadaan nopeutettua. Tämä on hyödyllinen ominaisuus esimerkiksi puristimissa ja puunhalkojissa, joissa on nopea lähestymisliike ja hidas työliike. Differentiaalikytkennällä koneen lähestymisliikettä voidaan nopeuttaa. Kun sylinteri kohtaa työstettävän kappaleen, paine nousee ja normaaliliike kytketään päälle. Normaaliliikkeessä saavutetaan differentiaalikytkentää suurempi voima, mutta hitaampi liikenopeus.

3.3 Paineenmuunnin

Paineenmuunnin on komponentti, jolla hydraulijärjestelmän painetta saadaan kasvatettua. Paineenmuunnin koostuu kahdesta sylinteristä, joiden erisuuruiset männät on kiinnitetty samaan männänvarteeseen. Pumpun tuottama tilavuusvirta johdetaan suuremman männän puoleiseen kammioon. Mäntien pinta-alaerosta johtuen pienemmän männän puoleisessa kammiossa paine kasvaa. Kuvassa 3.6 on esitetty poikkileikkauskuva paineenmuuntimesta. (Hulkkonen 2006, s. 11–12; Kauranne et al. 2006, s. 23; Hydraulics in industrial and mobile applications 2007, s. 225–227)



Kuva 3.6. Paineenmuuntimen poikkileikkauskuva. (Kauranne et al. 2006, s. 23)

Paineenmuuntimessa mäntien liikenopeus on sama, koska ne on yhdistetty samaan männänvarteeseen. Tällöin tilavuusvirtojen Q_1 ja Q_2 välille voidaan kaavan (1) avulla kirjoittaa yhteys

$$\frac{Q_1}{A_1} = \frac{Q_2}{A_2} \quad (10)$$

jossa A_1 on suuremman männän pinta-ala [m^2],
 A_2 on pienemmän männän pinta-ala [m^2],
 Q_1 on kammioon 1 tuleva tilavuusvirta [l/min] ja
 Q_2 on kammion 2 poistuva tilavuusvirta [l/min].

Häviöttömän paineenmuuntimen voimayhtälö voidaan kirjoittaa kaavan (3) avulla muotoon

$$A_1 p_1 = A_2 p_2 \quad (11)$$

jossa p_1 on kammion 1 paine [Pa] ja

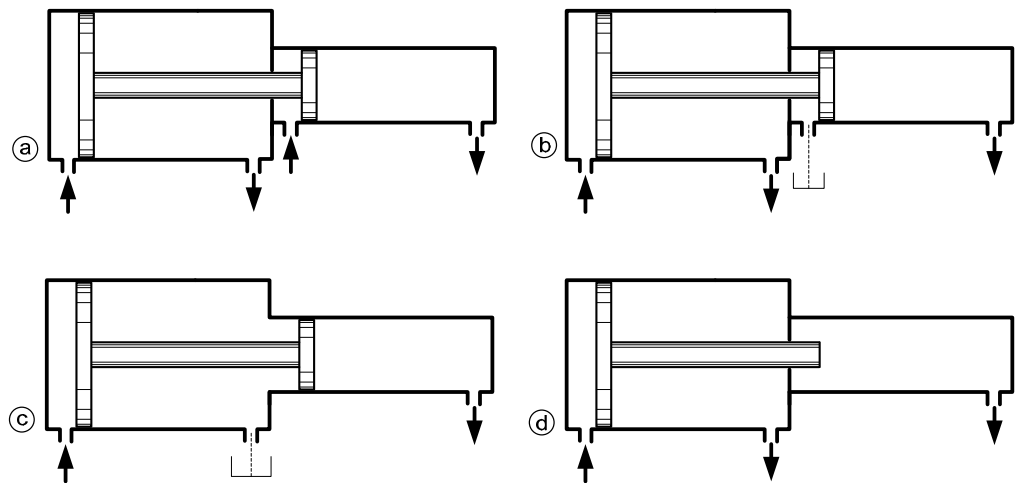
p_2 on kammionpaine 2 [Pa].

Kaava (11) voidaan kirjoittaa edelleen muotoon

$$p_2 = \frac{A_1}{A_2} p_1 \quad (12)$$

josta voidaan laskea paineiden välinen riippuvuussuhde. Paineenmuuntimen pinta-alasuhte A_2/A_1 kertoo paineenmuuntimen painesuhteen, joka on tyypillisesti 1:2–1:32. (Kauranne et al. 2006, s. 22)

Paineenmuunnin kasvattaa järjestelmän hydraulista painetta. Osa paineenmuuntimista soveltuu myös pneumaattisen paineen kasvattamiseen, jolloin paineen kasvatus voidaan suorittaa joko hydraulisen tai pneumaattisen paineen avulla. Paineenmuuntimen erilaisia rakenteita on esitetty kuvassa 3.7. (Hulkkonen 2006, s. 11–12; Kauranne et al. 2006)



Kuva 3.7. Paineenmuuntimen erilaisia rakenteita. (Hulkkonen 2006, s. 11–12; Kauranne et al. 2006, s.22–23)

Kuvassa 3.7a öljy johdetaan paineenmuuntimen jokaiseen kammioon. Tällöin painesuhdetta laskiessa on otettava huomioon myös männänvarren puoleiset pinta-alat. Öljy johdetaan ainoastaan toiseen männänvarren puoleisista kammioista kuvassa 3.7b ja ainoastaan männän puoleisiin kammioihin kuvassa 3.7c. Öljyttömissä kammioissa on otettava huomioon vuotien vuotokanavalla, jotta paineenmuunnin toimii oikein. Kuvassa 3.7d pienempi sylinteri on yksitoiminen uppomäntäsyylinteri, jolloin paineenmuuntimen paluuliike saadaan aikaiseksi johtamalla öljy suuremman sylinterin männänvarren puolelle. Uppomäntäsyylinterin avulla paineenmuuntimen kitkahäviöt pienenevät ja hyötysuhde kasvaa, koska paineenmuunnin sisältää vain yhden männän.

4 HYTAR OY:N JYVÄSKYLÄN TEHTAAN NYKYTILANNE

Hytar Oy:n Jyväskylän tehdas on Jyväskylän toimipisteessä toimiva tehdas, joka on erikoistunut hydrauliiikassa tarvittavien komponenttien valmistamiseen. Tehtaan tuotantoon kuuluvat hydraulisylinterit sekä haponkestävät letkuliittimet ja holkit. Tehdas valmistaa myös asiakaskohtaisia erikoistuotteita tilauksesta. (Hyvärinen 1994; Hydrauliiikkaluettelo 2007)

Jyväskylän tehtaassa on laaja konekanta, joilla voidaan työstää monipuolisesti tuotteita asiakastarpeiden ja tilausten mukaan. Tehtaan konekanta koostuu erikokoisista CNC-sorveista, sahoista, hitsauslaitteista ja putkentaivutuskoneista. CNC-työstökoneella tarkoitetaan tietokoneperusteista numeerisesti ohjattua (Computerized Numerical Control) työstökonetta. 1970-luvun puolivälin jälkeen CNC-termi on lyhennyt muotoon NC. NC-koneella tarkoitetaan yleisesti konetta, jonka ohjaukseen kuuluu ohjelmamuisti ja tietokone ohjaamaan sen toimintoja. Jyväskylän tehtaan koneiden tärkeimmät ominaisuudet on esitetty liitteessä 1. Tehdas on erikoistunut sylinterivalmistuksen lisäksi haponkestävien letkuliittimien ja holkkien valmistamiseen, joita käytetään paljon muun muassa vesihydrauliiikassa. (Opetushallitus 2001: Lapinleimu 2007, s. 7)

Jyväskylän tehtaan tuotanto koostuu kahdesta eri tuotannosta. Toinen tuotanto valmistaa sylintereitä ja toinen muita tehtaassa valmistettavia tuotteita, kuten haponkestäviä letkuliittimiä ja holkkeja sekä imuyhteitä. Näitä kahta eri tuotantoa ei ole erotettu toisistaan vaan sylintereitä valmistetaan osittain samojen koneiden avulla kuin muita tehtaassa valmistettavia tuotteita.

Sylinterivalmistus ja liitinvalmistus ovat kaksi aivan erilaista tuotantomuotoa. Liitinvalmistuksessa kappaleet saadaan valmiiksi yhdessä työpisteessä. NC-sorvit työstävät kappaleita puoliautomaattisesti tankosyötön avulla. Ohjelman syöttämisen jälkeen NC-sorvi osaa valmistaa kappaleita itsenäisesti niin kauan kuin työstettävää materiaalia eli tankoa riittää. Työntekijää tarvitaan ainoastaan lisäämään materiaalia koneeseen, syöttämään uusia ohjelmia ja huoltamaan konetta. Työntekijän vastuulla on yleisesti kaksi NC-sorvia.

Sylinterivalmistuksessa tehokasta tuottavuutta ei saavuteta koneiden 100 prosenttisella kuormituksella toisin kuin liitinvalmistuksessa. Sylinterivalmistus koostuu useista peräkkäisistä työvaiheista, jolloin työvaiheiden läpimenoaikojen on oltava samanpituiset. Tällöin yhden vaiheajan aikana jokainen työpiste saa työstettyä kappaleen ja siirrettyä sen seuraavalle työpisteelle. Näin saavutetaan tuotannon nopea läpimeno ja kesken-eräistä tuotantoa ei pääse syntymään työvaiheiden välille.

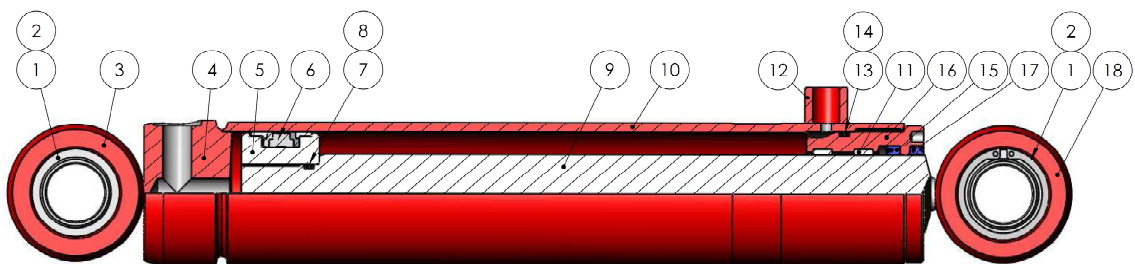
Tässä työssä keskitytään sylinterivalmistuksen tehostamiseen ja sen läpimenoajan lyhentämiseen. Tämän vuoksi muiden tehtaassa valmistettavien tuotteiden valmistusta ja tuotannonohjausta ei sen tarkemmin esitellä. Tässä luvussa tutustutaan tarkemmin Hytar Oy:n valmistamiin sylintereihin ja sylinterivalmistuksen nykytilanteeseen. Luvussa 4.2 on esitetty Jyväskylän tehtaan nykyinen layout ja luvussa 4.3 esitellään sylinterivalmistuksen tuotantoprosessi. Tämän lisäksi tutustutaan tarkemmin sylinterivalmistukseen ja sylinteriosien valmistukseen. Sylinterivalmistuksen tuotannonohjaus esitellään luvussa 4.6. Tämän luvun lopussa pohditaan sylinterivalmistuksen tämän hetkisiä ongelmia.

4.1 Hytar Oy:n valmistamat sylinterit

Hytar Oy valmistaa sylintereitä pienerätuotannossa asiakastilausten mukaan. Sylinterituotanto on jaettu asiakas- ja vakiosylinterivalmistukseen. Vakiosylinterit on jaoteltu ja nimetty sylinterin erilaisten kiinnitystapojen mukaan, jotka on esitetty liitteessä 2. Lisäksi liitteessä 2 on esitetty sylintereiden tarkemmat tekniset tiedot. Erikoissylinterit sisältävät asiakaskohtaisia räätälöintejä vakiosylintereihin nähden. Asiakaskohtaisten ja vakiosylintereiden erot on esitetty tarkemmin luvuissa 4.1.1 ja 4.1.2.

Hytar Oy:n sylintereissä takapäätty on hitsattu sylinteriputkeen kiinni. Ohjausholkki kiinnitetään sylinteriputkeen kierrelitoksen ja liiman avulla. Sylinterin maksimikäyttöpaine on 21 MPa vakiotiivistimillä. Erikoistiivistimillä päästään suurempiin käyttöpainneisiin. Sylinterin rakenne ja osaluettelo on esitetty kuvassa 4.1. (Hydrauliikkaluettelo 2007)

- | | |
|-------------------------|-------------------------------|
| 1. Pallonivel | 10. Sylinteriputki |
| 2. Varmistin DIN 472 | 11. Männänvarren ohjausrenkas |
| 3. Takaäädyn GE-pesä | 12. Liitinnippa |
| 4. Takapäätty | 13. O-renkas |
| 5. Mäntä | 14. O-renkaan tukirengas |
| 6. Männän tiivistin | 15. Männänvarren tiivistin |
| 7. O-renkas | 16. Ohjausholkki |
| 8. O-renkaan tukirengas | 17. Pyyhkijä |
| 9. Männänvarsi | 18. Männänvarren GE-pesä |



Kuva 4.1. Sylinterin rakenne ja osaluettelo. (Hydrauliikkaluettelo 2007)

Sylinterin takapäädystä on poraukset, joiden kautta öljy pääsee virtaamaan sylinterin männän puoleiseen kammioon. Sylinterin etuosaan kiinnitetyn liitinnipan kautta öljy virtaa männänvarren puoleiseen kammioon. Sylinterin mäntä kiinnitetään männänvarreen kierrelitoksen ja liiman avulla. Suurissa sylintereissä ja erikoissovelluksissa männän kiinnitys voidaan varmistaa lukitusruuvilla.

Sylinterin männäntiivistin on kaksitoiminen yhdistelmätiivistin, joka koostuu tiivistimestä, tukirenkaista ja ohjausrenkaasta. Männänvarrentiivistys sisältää kaksi ohjausrenkasta, yhden urarengastiivistimen ja pyyhkijärenkaan. Urarengastiiviste on u-profiilinen ja sillä saavutetaan hyvät tiivistysominaisuudet. Pyyhkijärenkas sisältää metallisen tukirenkaan, jolloin se voidaan asentaa avoimeen uraan puristussovituksen ansiosta.

4.1.1 Vakiosylinterit

Vakiosylinterisarjoja on yhteensä viisitoista erilaista. Sylinterisarjat nimetään sylinterin kiinnitystavan mukaisesti, kuten liitteestä 2 voidaan havaita. Vaihtoehtoisia rungon kiinnitystapoja ovat pallonivel, etu- ja takalaippa tai tappinivel. Männänvarren kiinnitystapoja ovat pallonivel tai kierrelitos. Sylinteri voidaan tilata myös ilman mitään kiinnitystapaa, jolloin asiakas voi itse tehdä sylinteriin halutun kiinnityksen. (Hydrauliikkaluettelo 2007)

Hytar Oy:n valmistaa sylintereitä, joiden männän halkaisijat vaihtelevat 32–125 mm välillä ja männänvarren halkaisija 18–80 mm välillä. Sylinterin iskunpituus on valittavissa asiakaskohtaisesti, ja se voidaan tarvittaessa rajata haluttuun pituuteen iskunrajoittimella. Iskunpituudet vaihtelevat 10 millimetristä jopa yli 3 metriin. Pitkissä iskunpituuksissa on aina varmistettava sylinterin nurjahtaminen.

Vakiosylintereitä valmistetaan varastoon yhtä mallia. Varastoitavassa sylinterissä on pallonivelet rungossa ja varressa. Varastosylintereitä on kuutta eri halkaisijakokoa ja usealla eri iskunpituudella varustettuna. Varastosylintereiden valmistusmäärät ovat pieniä verrattuna asiakaskohtaisiin tilauksiin.

4.1.2 Asiakaskohtaiset sylinterit

Vakiosylintereiden lisäksi Hytar Oy valmistaa sylintereitä myös asiakkaiden piirustusten mukaan. Yleensä tilaukset ovat hyvin lähellä vakiosylintereitä joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta. Välillä tilaukset vaativat suurempia muutoksia, jolloin sylinteriosia joudutaan suunnittelemaan ja teettämään. Suuri osa asiakasräätelöinneistä on pienitöisiä ja ne eroavat vakiosylintereistä vain vähän. Asiakasräätelöintejä ovat esimerkiksi GEPESÄN rasvanipan poikkeava asento tai männän kiinnitys männänvarreen lukitusruuvilla.

Sylintereihin on mahdollista tehdä ulkopuolisia putkituksia, joiden kautta öljy johdetaan sylinteriin. Tämä aiheuttaa luonnollisesti lisätyötä sylinterivalmistuksessa. Putket taivutetaan oikeaan muotoon ja kiinnitetään hitsaamalla sylinteriputkeen. Vasta näiden toimenpiteiden jälkeen suoritetaan sylinterin kokoonpano. Yksi Hytar Oy:n valmistama erikoissylinteri on voimasyylinteri, jonka virallinen nimi on Hytar Double Force Cylinder

eli HDFC. Tämä on Hytar Oy:n patentoima sylinteri, joka koostuu käyttösylinteristä, paineenmuuntimesta ja venttiiliyksiköstä. HDFC:n tarkempi esittely on luvussa 6.

4.2 Tehtaan nykyinen layout

Jyväskylän tehtaan tuotantohalli on L-kirjaimen muotoinen ja sen pinta-ala on 1756 neliömetriä. Tuotantotehdas on pituudeltaan 74 metriä pitkä ja leveimmältä kohdalta 33 metriä leveä. Kapean osan leveys on 19 metriä. Raaka-ainearastot sijaitsevat hallin leveämmässä reunassa, jossa on siltanosturi auttamassa raskaiden raaka-aineputkien ja -tankojen siirtelyä hyllypaikoille. Tuotantohallin yhteydessä ovat myös toimistotilat ja taukotilat, joiden pinta-ala on 186 neliömetriä. Jyväskylän tehtaan nykyinen layout on esitetty liitteessä 1.

Tehtaan nykyiseen layout-pohjaan on merkitty tehtaan koneet, vanha koneikkovalmistuspiste, raaka-ainearasto ja muut varastopaikat. Koneet, jotka kuuluvat sylinterivalmistukseen, on merkitty punaisella. Keltaisella merkityillä koneilla valmistetaan sylinteriosia. Mustalla merkityt koneet valmistavat muita tehtaassa valmistettavia osia kuten haponkestäviä letkuliittimiä ja holkkeja. Jokainen tehtaan kone ja laite on numeroitu ja niiden ominaisuudet sekä mallit on lueteltu liitteessä 1. Siitä selviää myös koneen käyttötarkoitus ja sillä työstettävät kappaleet. Tehdashallin pohjapiirustukseen on rajattu punaisella aaltoviivalla hitsauspaikat. Selvyyden vuoksi työstökoneet on rajattu keltaisella katkoviivalla ryhmiksi, jotta tehtaan kulkuväylät erottuvat paremmin.

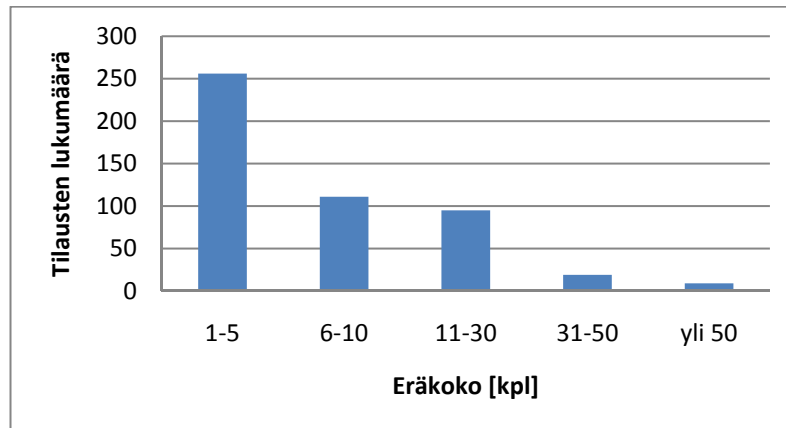
Tehtaan nykyisestä layout-pohjasta selviää hyvin kuinka kauas toisistaan sylinterivalmistuksen koneet ovat sijoiteltuna. Siirtomatkat työvaiheelta toiselle ovat pitkiä ja materiaalivirta on epäselvä. Sylinterivalmistuksen työvaiheet ovat sekoittuneet muiden koneiden kanssa ja sylinterivalmistusta ei voida erottaa selvästi itsenäiseksi kokonaisuudeksi.

4.3 Tuotantoprosessin kuvaus

Sylinterituotanto on asiakasohjautuvaa piensarjatuotantoa, jossa eräkoot vaihtelevat 1-100 kappaleen välillä. Tuotantotehtaan nykyinen valmistusjärjestelmä on funktionaalinen, jossa samantyylliset koneet on järjestetty ryhmiksi. Hydraulisynterinin valmistaminen aloitetaan asiakastilauksen perusteella. Jokaiselle tilaukselle tehdään asiakaskohtaiset muutokset, minkä jälkeen tilauksesta tulostetaan työkortit. Sylintereitä valmistetaan myös varastoon pieniä eräiä. (Laatikainen 2011)

Sylinterituotannon nykyisessä layout-toteutuksessa on paljon funktionaalisen toimintatavan piirteitä. Koneet ja laitteet on ryhmitelty samankaltaisuuden perusteella eli esimerkiksi hitsauspaikat ja NC-sorvit ovat kaikki yhdessä paikassa. Tämä hankaloittaa tilausten etenemistä valmistusprosessin lävitse. Keskenpäisen tuotannon määrä on sylinterivalmistuksessa suuri, jolloin tilaukset jonottavat vuoroaan seuraavalle työvaiheiden välillä. Samalla tuotannonohjaus on haastavaa, kun ohjauspisteiden lukumäärä on suuri ja tuotteiden kiertokulku prosessin läpi vaihtelee tilauksittain. Sylintereitä valmis-

tetaan pienissä erissä, joiden suuruus määräytyy asiakastilauksen perusteella. Sylinteritilausten keskimääräinen eräkoko vuonna 2010 oli 10 sylinteriä. Kuvassa 4.2 on esitetty tuotantotilausten eräkokojen hajonta vuonna 2010. (Hytar Oy 2010)



Kuva 4.2. Sylinterien eräkoot vuonna 2010. (Hytar Oy 2010)

Sylinterituotannon eräkoot ovat pieniä, kuten kuvasta 4.2 voidaan havaita. Yli puolet vuoden 2010 tilauksista olivat 1–5 sylinterin tilauksia, kun taas yli 50 kappaleen tilauksia oli vain noin kaksi prosenttia kaikista tilauksista. Kaikki sylinteritilaukset valmistetaan samojen työvaiheiden avulla, jolloin eräkokojen vaihtelu aiheuttaa häiriöitä tuotantoprosessin läpäisyssä. Suurien erien valmistusajat ovat pitkiä, jolloin muut tilaukset odottavat vuoroaan työpisteelle. Odotusaika kasvattaa valmistuksen läpimenoaika samassa suhteessa kuin eräkoko.

Sylinterin toimitusaika vaihtelee neljästä viikosta kahdeksaan viikkoon riippuen tilauskannasta ja asiakasrätälöintien tarpeesta. Vakiosylinterien toimitusaika pystytään pitämään tilauskannasta riippuen noin neljässä viikossa. Osa asiakaskohtaisista sylinteristä vaatii valmistettavia ja tilattavia osia, jolloin toimitusajat venyvät viidestä kahdeksaan viikkoon.

4.4 Sylinteriosien valmistus

Suuri osa sylinterin osista valmistetaan samassa tehdashallissa sylinterien kanssa. Tilattavia sylinterinosia ovat ainoastaan tiivisteet, pallonivelet ja varmistinrenkaat. Valmistettavia osia ovat takapäädyn ja männänvarren GE-pesät, mäntä, takapäätty, liitinnippa ja ohjausholkki. Liitteessä 1 on esitetty sylinteriosia valmistavat koneet keltaisella värillä. Mustat vinoviivat koneiden päällä tarkoittavat, että koneella valmistetaan myös muita tehtaassa valmistettavia tuotteita.

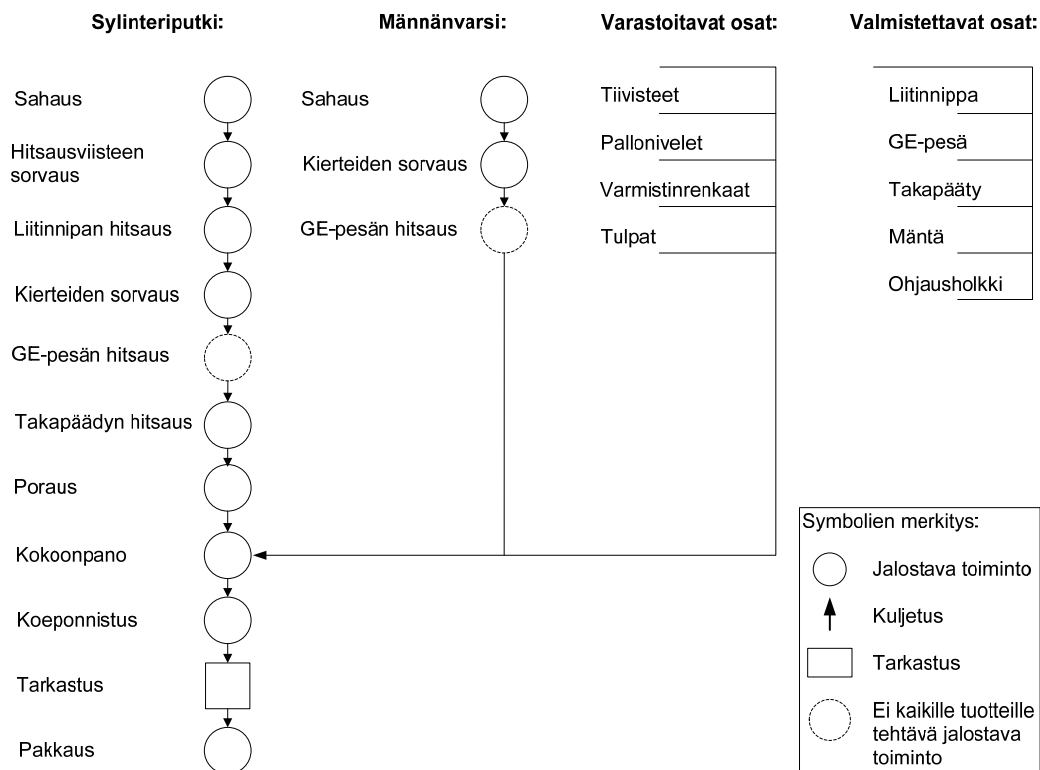
Sylinterisosat valmistetaan NC-sorveilla. Alle 70 mm männät, ohjausholkit ja GE-pesät valmistetaan kahdella Biglia B56 NC-sorvilla, joissa on pyörivät työkalut. Sorveilla sylinterin osat saadaan työstettyä valmiiksi yhdellä kiinnityksellä, joka nopeuttaa huomattavasti osien valmistusta. Yli 70 millimetriset männät, ohjausholkit, takapäädyn ja GE-pesät valmistetaan kahdella robottivarusteisella Okuma LB-15 NC-sorvilla. Sorveilla pystytään työstämään kappaleet reikiä vaille valmiiksi. Reikien poraaminen tapahtuu pylväskoneella työstökoneiden vieressä. Sylinterien liitinnipat valmistetaan

Okuma LB-15 NC-sorvilla. Johnford TC-35 mallisen NC-sorvilla valmistetaan sylinterin kiinnityslaipat ja joitakin GE-pesiä tarpeen mukaan.

4.5 Sylinterivalmistus

Sylinterivalmistus koostuu sylinteriputken ja männänvarren valmistamisesta. Valmistus on jaettu työpisteisiin, joiden kautta aihiot kulkevat ja jalostuvat lopulta valmiiksi tuotteiksi. Lopuksi sylinteriputki ja männänvarsi siirretään loppukokoonpanoon, jossa ne yhdistetään valmiiksi sylinteriksi. Puolivalmiit tuotteet siirretään seuraavan työpisteen läheisyyteen odottamaan tulevaa työvaihetta. Jokaisen valmistuspisteen läheisyyteen on varastoitu komponentit, joita siinä tarvitaan.

Sylinterivalmistuksen työvaiheet ja niissä tarvittavat komponentit selviävät kuvasta 4.3. Sylinteriputken valmistus aloitetaan sahaamalla se määrämittäiseksi automaattisahalla. Sylinteriputket ovat varastoituna raaka-ainevarastossa täysipitkinä putkina, josta ne nostetaan sahalle nosturin avulla. Sahauksen jälkeen putkeen sorvataan hitsausviisteet, jonka jälkeen liittinippa hitsataan sylinteriputkeen kiinni. Hitsauksen jälkeen putkeen sorvataan sisäpuoliset kierteet ohjausholkin kiinnitystä varten. Ennen takapäädyn hitsausta siihen hitsataan GE-pesä kiinni tarvittaessa. Tämän jälkeen takapäätymoduuli hitsataan sylinteriputkeen kiinni. Hitsauksen jälkeen liittinipan keskelle ja takapäättyyn porataan reiät, joista öljy pääsee virtaamaan sylinteriin. Porauksen jälkeen sylinteriputki on valmis siirrettäväksi loppukokoonpanoon.



Kuva 4.3. Sylinterivalmistuksen työvaihekaavio.

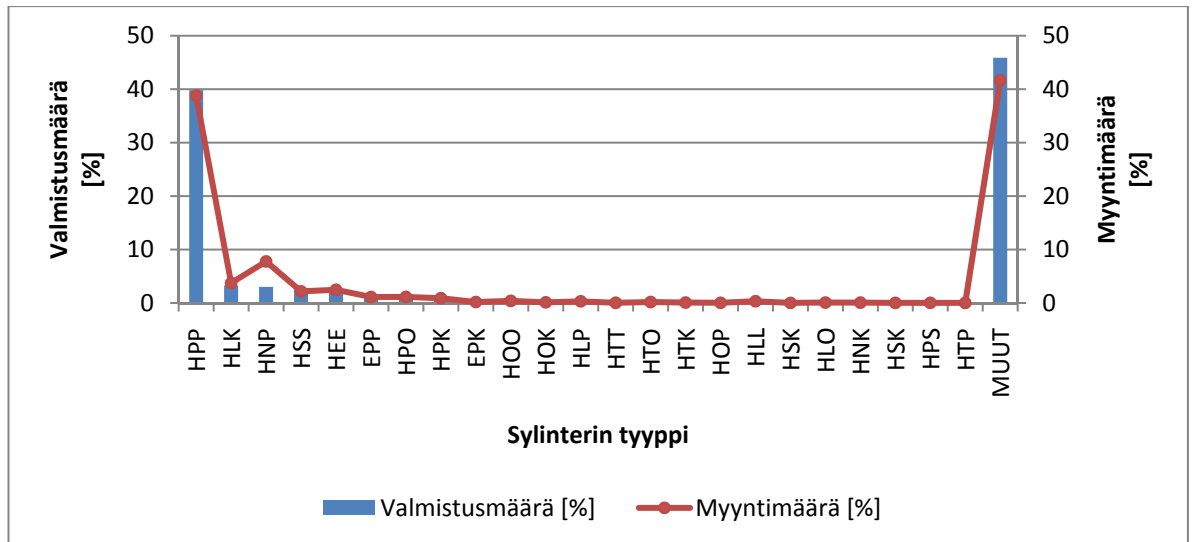
Männänvarsi valmistetaan sylinteriputken kanssa samoissa työpisteissä. Aluksi männänvarsi sahataan määrämittäiseksi automaattisahalla. Seuraavaksi männänvarteen sorvataan paikka O-renkaalle ja sen tukirenkaalle. Tämän jälkeen männänvarteen koneistetaan kierteet männän kiinnitystä varten. Lopuksi siihen tehdään haluttu kiinnitys, kierre tai pallonivel riippuen tilauksesta. Tämän jälkeen männänvarsi siirretään loppukokoonpanoon.

Loppukokoonpanossa sylinteri asennetaan valmiiksi sylinteriksi. Aluksi mäntään ja ohjausholkkiin kiinnitetään tiivisteet ja tukirengaat. Jos männänvarressa on GE-pesä, siihen prässätään pallonivel ja kiinnitetään varmistinrengas. Tämän jälkeen ohjausholkki pujotetaan männänvarteen ja sen päähän kiinnitetään mäntä. Ennen kuin männänvarsi kiinnitetään sylinteriputkeen, sylinteriputki puhdistetaan ja pestään. Sylinteriputki merkitään valmistuskoodilla ja GE-pesään prässätään pallonivel, joka kiinnitetään varmistinrenkaalla. Tämän jälkeen sylinteri asennetaan ja jokaiselle sylinterille suoritetaan koeponnistus, jossa tarkistetaan sylinterin toiminta ja vuodottomuus. Lopuksi sylinteri tulpataan ja lähetetään joko maalaukseen tai suoraan asiakkaalle.

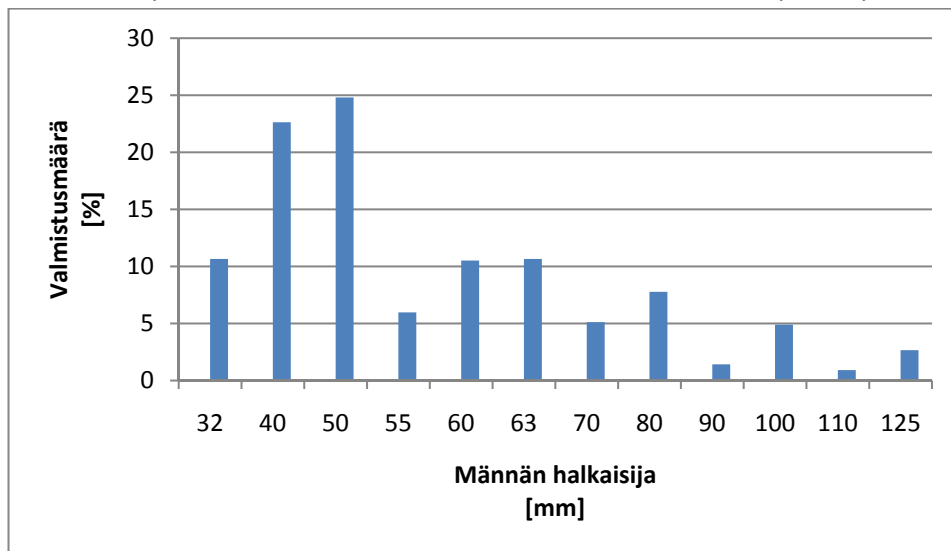
Osassa sylinterivalmistuksen työvaiheissa valmistetaan myös muita tehtaassa valmistettavia tuotteita. Nämä työpisteet on merkitty liitteessä 1 punaisella pohjalla ja vinolla viivoituksella. Tämä hidastaa sylinterivalmistuksen läpimenoaikaa, sillä sylinterit joutuvat odottamaan vuoroaan, jos työpisteessä tehdään muita osia. Ainoastaan kaksi NC-sorvia on kokonaan sylinterivalmistuksen käytössä Okuma LC-20 ja Cyclone FB-30160. Muissa työpisteissä tehdään enemmän tai vähemmän muitakin tehtaassa valmistettavia osia.

Jyväskylän sylinteritehtaassa valmistetaan paljon hydraulisyntereitä, joiden malli ja koko vaihtelevat suuresti. Erimallisten sylintereiden kiertokulku valmistusprosessin läpi vaihtelee ja suuremmat sylinterit valmistetaan osittain eri työvaiheissa kuin pienemmät sylinterit. Jotta saadaan selville yleisimmät sylinterimallit ja niiden kokoluokka, sylinterivalmistusta tutkittiin viimeisen kuuden vuoden ajalta ja eri kriteereiden perusteella määritettiin keskimääräiset valmistusmäärät. Sylinterituotannon valmistamat sylinterit listattiin vuosilta 2005–2010. Tältä ajanjaksolta laskettiin keskimääräisesti eniten valmistetut sylinterimallit ja niiden koot. Tiedot on esitetty kuvissa 4.4–4.7. Kuvista selviää eniten valmistettu sylinterimalli sekä sylinterin keskimääräinen männän ja männänvarren halkaisija sekä iskunpituus.

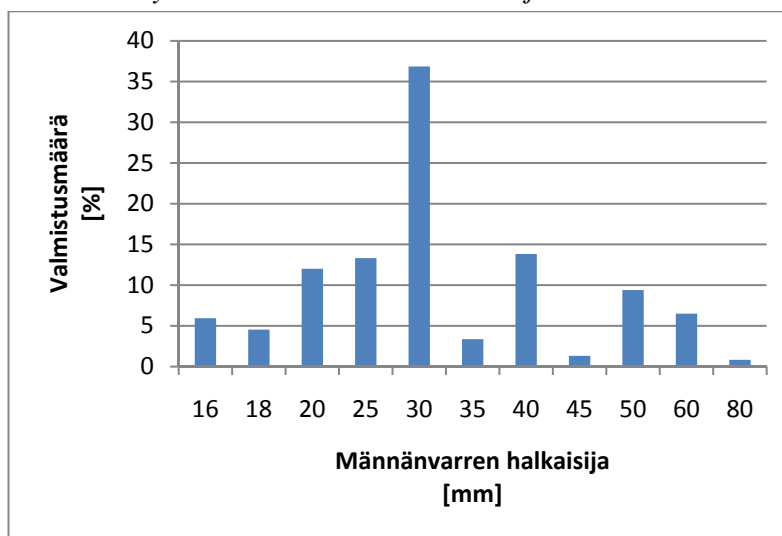
Kuvasta 4.4 nähdään, että vuosina 2005–2010 yleisin valmistettu sylinterimalli on HPP-sylinteri. Sen valmistus on keskimäärin ollut noin 40 prosenttia kaikista valmistetuista sylintereistä. Toisen suuren ryhmän muodostavat muut sylinterit, joiden osuus valmistuksesta on noin 46 prosenttia. Muiden sylintereiden suuri valmistusmäärä selittyy asiakaskohtaisilla sylintereillä, joista sylinteriryhmä muut koostuu. Muiden yksittäisten sylinterimallien valmistus on murto-osa HPP-sylinteriin ja muihin sylintereihin verrattuna. (Hytar 2011a)



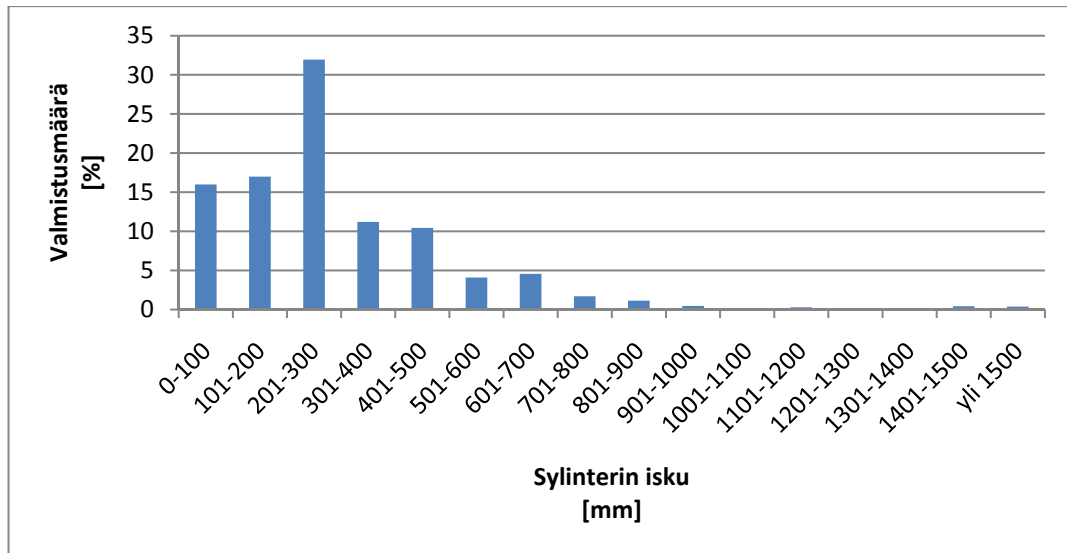
Kuva 4.4. Sylinterimallien valmistus vuosina 2005–2010. (Hyttar Oy 2011a)



Kuva 4.5. Sylintereiden männän halkaisijat vuosina 2005–2010. (Hyttar Oy 2011a)



Kuva 4.6. Sylintereiden männänvarren halkaisijat vuosina 2005–2010. (Hyttar Oy 2011a)



Kuva 4.7. Sylintereiden iskunpituudet vuosina 2005–2010. (Hytar Oy 2011a)

Vuosina 2005–2010 valmistettujen sylinterien männän halkaisijat on esitetty kuvassa 4.5. Männän halkaisijoista noin 85 prosenttia on alle 70 millimetrisiä. Kuvassa 4.6 on esitetty vuosina 2005–2010 valmistettujen sylintereiden männänvarsien halkaisijat. Yleisin männänvarren halkaisija on 30 millimetrinen, jota on valmistuksesta 32 prosenttia. Männänvarsista alle 50 millimetrisiä on noin 84 prosenttia kaikista valmistetuista varsista. Sylintereiden iskunpituudet vuosina 2005–2010 on esitetty kuvassa 4.7. Noin 90 prosenttia kaikista valmistetuista sylintereistä on iskunpituudeltaan alle 600 millimetriä. (Hytar 2011a)

Kuvien 4.4–4.7 avulla voidaan analysoida sylinterivalmistuksen yleisimmät sylinterimallit ja niiden kokoluokka. Yleisin sylinterimalli on HPP-sylinteri, mutta oman haasteensa valmistukselle tekee sylinteriryhmä muut. Se koostuu lähinnä asiakaskohtaisista sylintereistä ja ne kattavat lähes puolet koko sylinterivalmistuksesta. Asiakaskohtaisissa sylintereissä tuotannon on oltava ammattitaitoista, jotta eri variaatioiden valmistaminen on kustannustehokasta. Sylintereille on oltava selkeät valmistusohjeet, joissa mainitaan niiden erikoispiirteet. Yleisimmät sylinterit, joita Jyväskylän tehtaassa valmistetaan, ovat kokoluokaltaan pieniä. Tämä mahdollistaa sylintereiden valmistamisen pienillä ja nopeilla työstökoneilla. Samalla niiden liikuttelu ja siirtely on vaivatonta, kun apuna ei tarvitse käyttää nostokalustoa.

4.6 Sylinterituotannon ongelmat

Nykyinen sylinterituotanto on suunniteltu vuosia sitten sen aikaisille tuotantomäärille. Tuotanto on pyrkinyt sopeutumaan lisääntyneeseen tuotantomäärään, joka näkyy keskeneräisen tuotantomäärän ja läpimenoajan kasvusta. Vuosien varrella valmistusjärjestelmään on tehty koneiden päivityksiä ja investointeja, jolloin uudet koneet on sijoitettu vapaisiin paikkoihin. Tämä on aiheuttanut häiriötä valmistusjärjestelmän materiaalivirrassa.

Sylinterivalmistuksen läpimenoaika on tällä hetkellä vaikea määrittellä. Tyypillisesti valmistuksen läpimenoaika on yhdestä viikosta kahteen viikkoon. Kiireelliset tilaukset läpäisevät valmistuksen jopa muutamassa päivässä. Koko viikon tilaukset sahataan valmiiksi jo alkuviikon aikana, jolloin työt odottavat vuoroaan työpisteille ja keskeneräisen tuotannon määrä kasvaa.

Samalla kun tuotannon materiaalivirrat ovat muuttuneet ja tuotantomäärät kasvaneet, on tuotannonohjauksesta tullut haasteellista ja työlästä. Vuosien mittaan ohjattavia työvaiheita on tullut lisää, jolloin ohjattavien pisteiden lukumäärä on kasvanut. Tuotannon suunnittelijan on työlästä seurata tilausten etenemistä, sillä tilausten valmistusjärjestyksestä ei ole määritetty tarkasti. Valmistuksen läpimenoajat vaihtelevat tilauksittain, joka tekee valmistusajankohdan ennustamista vaikeaa ja jopa mahdotonta.

Tässä luvussa on esitelty sylinterituotannon ongelmia ja mietitty mistä ne johtuvat. Sylinterituotannon ongelmat selvitettiin haastatteleamalla työntekijöitä ja tutustumalla sylinterituotantoon. Suurimmat ongelmat nykyisessä sylinterituotannossa ovat hankala tuotannonohjaus, työvaiheiden läpimenoaikojen vaihtelu, suuri keskeneräinen tuotanto, tuotannossa esiintyvät materiaalipuutteet ja tuotantotilojen sekavuus.

4.6.1 Tuotannonohjaus

Sylinterituotantoa ohjataan kokonaisuohjausmenetelmän mukaisesti. Tuotannonsuunnittelija ylläpitää tuotannon kokonaissuunnitelmaa, jolla hän ajoittaa uusia tilauksia. Tuotannon kokonaissuunnitelmaan lisätään tilauksia sitä mukaan, kun uusia tilauksia saapuu. Valmistusajankohta ajoitetaan asiakkaalle luvatus toimitusajankohdan mukaan. Sylinterin valmistuspäivä ajoitetaan toimituspäivästä taaksepäin. Työkortteihin merkitään valmistusajankohdaksi määriteltä viikko, joka on yleensä toimituspäivämäärää edeltävä viikko. Näin ollen sylinterituotannolla on riittävästi aikaa tilauksen valmistamiseen. Valmistuksessa alkupään työvaiheet aiheuttavat painetta loppupäälle, jolloin tuotanto toimii työntöohjauksen avulla. (Laatikainen 2011)

Sylinterin toimitusaika vaihtelee neljästä viikosta kahdeksaan viikkoon riippuen tilauskannasta ja asiakasrätälöintien tarpeesta. Tuotannonsuunnittelija ylläpitää päivittäin tuotannon tilauskantaa, josta selviää tilauksessa olevien sylintereiden määrät ja toimitusviikot. Tämän raportin perusteella hän arvioi seuraavan vapaan kapasiteetin. Kokonaissuunnitelmalla voidaan arvioida tilausten valmistusajankohdat. Valmistusajankohdan tarkkaa arviointia vaikeuttavat tilausten vaihtelevat läpimenoajat. Läpimenoaika riippuu sylinterin koosta ja tilauksen kappalemäärästä.

Sylinterivalmistuksen tuotannonohjaus on työlästä, sillä jokaiselle tilaukselle määritellään erikseen toimitusajankohta. Tilauksen varmistuttua tarkistetaan jokaisen varosan varastotilanne ja tilataan tarvittaessa. Viikon toimitusmäärien arviointi on hankalaa, sillä sylintereistä ei ole saatavilla tarkkoja valmistusaikoja, jonka vuoksi viikoittainen kapasiteetti joudutaan arvioimaan aina erikseen. Sylinterin valmistusaikaan vaikuttaa sylinterin koko ja tilauksen erä koko.

Tuotantotyöntekijöillä ei ole käytössään tuotannon kokonaissuunnitelmaa, jolloin he eivät pysty itsenäisesti päättämään työjärjestyksestä. Tämä lisää tuotannonohjaustarvetta

huomattavasti. Tilauksilla ei ole määritelty toimituspäivämäärää työkorteissa vaan niihin on merkitty ainoastaan toimitusviikko. Kaikki saman toimitusviikon työt ovat samanarvoisia, jolloin niitä tehdään satunnaisessa järjestyksessä. Tuotannosuunnittelijan on erikseen ohjattava töiden järjestystä, jos halutaan nopeuttaa kiireellisiä tilauksia.

4.6.2 Työvaiheiden läpimenoaikojen vaihtelu

Sylinterivalmistuksessa työvaiheiden läpimenoaikojen vaihteluita aiheutuu erilaisten sylinterien valmistuksesta, asiakasrätälöinneistä ja eräkoon vaihtelusta. Vakio- ja asiakassynterien valmistaminen tapahtuu samoissa työpisteissä. Tämä lisää tilausten odotusaikaa, jolloin valmistuksen läpimenoaika kasvaa. Sylinterivalmistuksessa eräkoossa vaihtelee yhdestä sylinteristä jopa sataan sylinteriin, joka aiheuttaa vaihtelua läpimenoajassa ja materiaalin virtauksessa. Työpisteiden väliset odotusajat vaihtelevat eräkoosten mukaan, joka vaikuttaa suoranaisesti valmistuksen läpimenoaikaan.

Sylinterivalmistuksen työvaiheiden läpimenoajat erälle sylinterimallille on esitetty taulukossa 4.1. Läpimenoajat ovat suuntaa-antavia, mutta niiden perusteella voidaan arvioida hyvin nykyistä sylinterivalmistusta ja sen eri ongelmakohtia. Työpisteiden läpimenoajoissa ei ole huomioitu odotusaikaa, jonka tilaukset odottavat työpisteiden välissä. Taulukosta 4.1 havaitaan, että 5 kpl eräkoolla sylinterikohtainen läpimenoaika on huomattavasti suurempi kuin 10 ja 20 kappaleen erillä. Tämä johtuu asetusajasta, joka pidentää sylinterikohtaista läpimenoaikaa pienissä erissä. Asetusaika on samanpituisen kaikenkokoisille erille, mutta sen suhteellinen osuus sylinteriä kohden kasvaa, mitä pienempi erä on kyseessä. Asetusajan vaikutus on suurin sorvauksessa, sahauksessa ja kokoonpanossa. Samat arviot sylinterituotannon nykyisistä kapeikkokohtista nousivat esille myös työntekijöiden haastatteluissa. Näin ollen taulukon 4.1 läpimenoaikoja voidaan pitää luotettavina ja niiden perusteella voidaan analysoida sylinterituotannon nykytilannetta.

Nykyisessä sylinterituotannossa työpisteet on ryhmitelty taulukon 4.1 mukaiseen järjestykseen. Taulukossa on eroteltu läpimenoaika jokaiselle työpisteelle erikseen. Pisin työvaihe koostuu neljästä yksittäisestä työstä: hitsausviistein sorvauksesta, liitinnin hitsauksesta sekä sylinteriputken ja männänvarren sorvauksesta. Nämä työt tehdään pääsääntöisesti samassa työvaiheessa. Tämä johtuu siitä, että samalla NC-sorvilla sorvataan aluksi sylinteriputken hitsausviiste ja liitinnippon hitsauksen jälkeen kierteet. Sylinteriputki joudutaan kiinnittämään samaan NC-sorviin kaksi kertaa. Tämä pitkä työvaihe on sylinterivalmistuksen suurin kapeikkokohta tällä hetkellä, kuten taulukon 4.1 läpimenoajoista voidaan todeta. Seuraavaksi pisimmät työvaiheet ovat kokoonpano ja hitsaus. Näissä kummassakin työvaiheessa esiintyy suurta läpimenoajan vaihtelua pienillä ja suurilla erillä.

Taulukko 4.1. Sylinterivalmistuksen työvaiheiden läpimenoajat erälle sylinterimallille 5, 10 ja 20 kappaleen eräkoolle. (Hytar 2010)

Työvaihe	Läpimenoaika 5 kpl eräkoolle [min/sylinteri]	Läpimenoaika 10 kpl eräkoolle [min/sylinteri]	Läpimenoaika 20 kpl eräkoolle [min/sylinteri]
Sahaus	8,2	5,9	2,9
Hitsausviisteen sorvaus	4,9	3,6	3,4
Liitinnipan hitsaus	3,7	3,2	2,9
Putken sorvaus	10,7	6,7	3,1
Varren sorvaus	12,2	9,2	5,1
Yht.	31,4	22,7	14,6
Hitsaus	12,7	11	8,3
Poraus	8,7	7,3	5,4
Kokoonpano	13,4	10,5	9,1

Läpimenoajat sahaukselle, hitsaukselle, kokoonpanolle, poraukselle sekä sylinteriputken ja männänvarren sorvauksille saatiin sylinterivalmistuksen työkorteista. Työkortteihin merkitään jokaiselle työvaiheelle käytetyt työajat ja asetusajat. Hitsausviisteen sorvaukseen ja liitinnipan hitsaukseen käytettyä työaikaa ei erotella työkortteihin, jolloin niiden läpimenoajat jouduttiin arvioimaan yhdessä sylinterituotannon työntekijöiden kanssa.

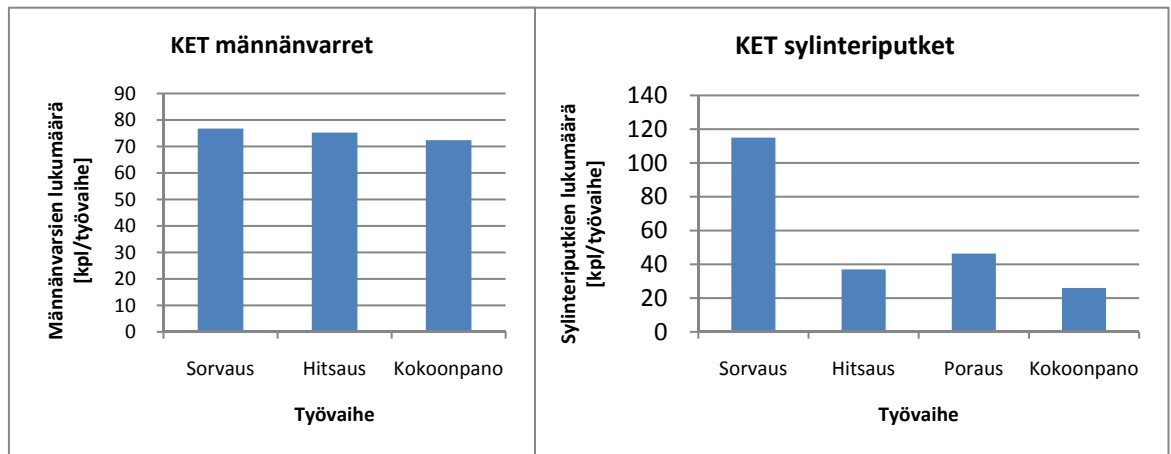
Läpimenoaikojen vaihtelu aiheuttaa häiriötä sylinterituotannon materiaalivirrassa. Sylinterivalmistuksessa työpisteiden välisiä läpimenoaikojen vaihteluita tasoitetaan puskurivarastoilla. Puskurivarastot varmistavat, että jokaisella työpisteellä riittää töitä. Keskeneräinen tuotanto kasaantuu tyypillisesti loppukokoonpanoon, jonne valmiit männänvarret ja sylinteriputket kuljetetaan. Puskurivarastoja esiintyy myös muissa tuotantovaiheissa. Tyypillisesti koko viikon sylinteriputket ja männänvarret sahataan valmiiksi jo alkuvuikon aikana, jolloin aihiot odottavat vuoroaan seuraavalla työpisteellä. Sahausten läpimenoaika on muita työvaiheita lyhyempi.

4.6.3 Keskeneräinen tuotanto

Sylinterivalmistuksessa keskeneräisen tuotannon määrä on suuri johtuen eräkokojen vaihtelusta ja työpisteiden välisten läpimenoaikojen vaihtelusta. Sylinterivalmistuksen keskeneräistä tuotantoa seurattiin tarkemmin kahden viikon aikana. Keskeneräisen tuotannon jakautuminen työpisteille eroteltiin sylintereidensä lukumäärän ja tilausten lukumäärän mukaan. Tarkastelujaksolta keskeneräisestä tuotannosta laskettiin keskiarvo ja sen jakautuminen eri työpisteille.

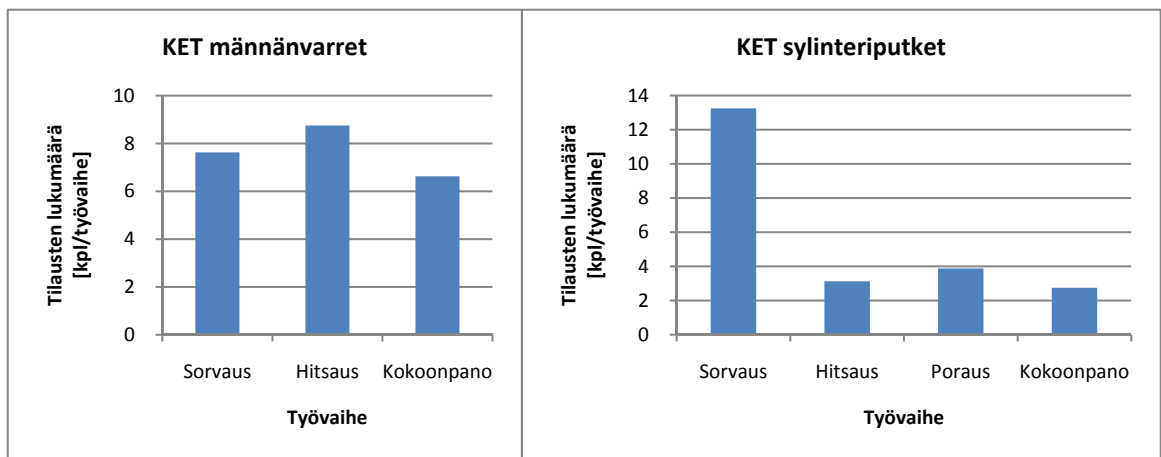
Kuvassa 4.8 on esitetty keskeneräisen tuotannon jakautuminen sylinterivalmistuksessa kappalemääräisesti. Vasemmalla puolella on männänvarsien ja oikealla puolella

sylinteriputkien jakautuminen työpisteille. Tarkastelujakson aikana keskimääräinen keskeneräisen tuotannon määrä oli noin 220 kappaletta, joka vastaa noin puolentoista viikon sylinterivalmistusmäärää.



Kuva 4.8. Sylinterivalmistuksen keskeneräisen tuotannon jakautuminen työpisteille. (Hytar 2011b)

Keskeneräisen tuotannon tilausten jakautuminen sylinterivalmistuksessa on esitetty kuvassa 4.9. Tarkastelujakson aikana keskimääräinen keskeneräisen tuotannon määrä oli noin 24 tilausta. Suurimman tilauksen suuruus tarkastelujakson aikana oli 60 kappaletta, pienimmän 1 kappale ja keskimääräinen eräkoon suuruus 10 kappaletta.



Kuva 4.9. Sylinterivalmistuksen keskeneräisen tuotannon jakautuminen työpisteille. (Hytar 2011b)

Kuvista 4.8 ja 4.9 havaitaan, että sylinteriputkien suurin puskurivarasto muodostuu sorvaukseen. Puskurivaraston kertyminen johtuu kahdesta syystä. Tilauksia sahataan kerralla useita, jolloin ne jäävät odottamaan vuoroaan seuraavalle työvaiheelle, joka on sorvaus. Toinen syy puskurivaraston muodostumiseen on sorvauksen pitkä läpimenoaika. Sorvaus on tällä hetkellä pisin työvaihe sylinterivalmistuksessa, joka näkyy hyvin sylinteriputkien keskeneräisessä tuotannossa. Keskeneräinen tuotanto kertyy sorvaukseen, jolloin se määrittelee koko tuotannon tahtiajan. Muille työvaiheille kertyy pusku-

rivarastoa lähinnä tilausten suuruuden vaihtelusta. Männänvarsissa keskeneräinen tuotanto jakautuu hieman tasaisemmin verrattuna sylinteriputkiin. Hitsaukseen ja kokoonpanoon kertyy puskurivarastoa männänvarsista, koska tilausten valmistaminen aloitetaan vasta, kun sylinteriputket saapuvat työpisteelle.

Tarkastelujaksolla havaittiin tilanteita, joissa keskeneräisen tuotannon määrä kasvoi sylinterivalmistuspisteissä, koska työpisteissä jouduttiin välillä valmistamaan muita tehtaassa valmistettavia tuotteita. Yksi tällainen työvaihe on hitsaus, jossa valmistetaan imuyhteitä ja hitsattavia liittimiä. Tämä hidastaa sylinterivalmistusta, koska samaan aikaan ei voida hitsata sylintereitä ja muita tuotteita. Muiden tuotteiden valmistaminen samoissa työpisteissä sylinterivalmistuksen kanssa hidastaa sylinterivalmistusta.

4.6.4 Sylinterivalmistuksen materiaalivirta

Tehtaan materiaalivirta on pääpiirteissään selkeä. Tehtaalle tuleva tavara puretaan tehtaaseen toiselle reunalle ja siirretään sisälle tehtaaseen kahdesta nosto-ovesta. Pitkä raaka-aine nostetaan siltanosturilla omille varastointipaikoilleen. Muut raaka-aineet kuljetaan omille varastointipaikoilleen ympäri tehdashallia. Sylinterituotannossa sylinteri-aihiot virtaavat kohti tehtaaseen toista päätä, jossa tuotteet kasataan ja pakataan lavoille.

Sylinterituotannon materiaalivirrassa on kaksi isoa ongelmaa. Suurin ongelma muodostuu, kun muita tehtaassa valmistettavia tuotteita tehdään sylinteriputkien ja männänvarsien kanssa samassa työpisteessä. Tällöin materiaalivirrat sekoittuvat ja tilausten eteneminen hankaloituu. Työpisteellä joudutaan usein tilanteeseen, jossa töitä priorisoidaan sylintereiden ja muiden tuotteiden välillä. Näin sylinterivalmistus joutuu odottamaan ja läpimenoaika kasvaa.

Toinen sylinterituotannon materiaalivirran ongelma on tuotteiden edestakainen siirtely. Edestakaista siirtelyä syntyy, kun sylinteriputkien hitsausviisteet tehdään samalla NC-sorvilla kuin muut putkeen tulevat sorvaustyöt. Sylinteriputki joudutaan kiinnittämään NC-sorviin kaksi kertaa. Tämä hidastaa valmistuksen läpimenoaikaa ja aiheuttaa häiriötä materiaalivirtaan. Sylinteriputken hitsausviisteet sorvataan ennen liitinnipan hitsaamista. Vasta hitsauksen jälkeen sylinteriputkeen sorvataan kierteet ohjausholkin kiinnitystä varten. Nämä kaksi työvaihetta tehdään samalla sorvilla, vaikka hitsausuran tekeminen on mahdollista esimerkiksi kärkisorvilla. Toinen syy tilausten edestakaiseen siirtelyyn ovat asiakaskohtaiset sylinterit. Osa asiakaskohtaisista sylintereistä etenee valmistusprosessin läpi poikkeavaa reittiä verrattuna muihin sylintereihin. Tämän vuoksi ne voivat läpäistä työvaiheita useaan kertaan.

Materiaalivirtoja sekoittaa myös NC-sorvien sijoittelu tehtaassa. NC-sorvit on ryhmitelty kolmeksi suureksi ryhmäksi. Samassa ryhmässä olevat koneet valmistavat erityyppisiä komponentteja. Osa koneista valmistaa letkuliittimiä ja nippoja, kun taas osa koneista valmistaa sylinterikomponentteja. Materiaalivirrat sekoittuvat ja varaosia sekä raaka-aineita joudutaan kuljettamaan pitkiä matkoja varastointipaikoille ja työstökoneille.

4.6.5 Materiaalipuutteet

Sylinterituotannon komponenteista suurin osa valmistetaan samassa tuotantorakennuksessa sylintereiden kokoonpanon kanssa. Ulkopuolisilta toimittajilta tilattavia komponentteja ovat tiivisteet, laakerit ja pidätinrenkaat. Muut sylinterin komponenteista valmistetaan NC-työstökoneilla.

Komponenttien varastosaldot seurataan tuotannonohjausjärjestelmällä jokaisen tilauksen yhteydessä. Tilauksen varmistuttua tuotannosuunnittelija tarkistaa tilaukselle tarvittavat komponentit ja niiden varastosaldot. Tarvittavat osat tilataan tai niistä tehdään tuotantotilaus. Välillä esiintyy tilanteita, joissa komponentit pääsevät loppumaan, jolloin niiden tilausta tai tuotantotilausta joudutaan vauhdittamaan. Tämä aiheuttaa häiriötä niin sylinterin kokoonpanossa kuin NC-työstökeskuksissa.

Materiaalipuutteet ovat yksi syy sylinteritilauksen viivästymiseen. Tilausten myöhästymisiä ei kuitenkaan sen tarkemmin seurata, joten tarkkaa tietoa materiaalipuutteiden vuoksi myöhästyneistä tilauksista ei ole. Materiaalipuutteita syntyy varastosaldovirheistä, valmistusviallista komponenteista sekä tuotanto- ja ostotilausten puutteellisesta ennakoinnista. Varastosaldoheittoja pyritään pienentämään vuosi-inventaarioilla ja valmistusviallisten varaosien poistamisella varastosaldoista.

4.6.6 Tuotantotilat

Tuotantotilojen leveä osa on puoliksi varattu raaka-ainevarastoksi. Sinne on sijoitettu kaikki raskaat ja hankalasti liikuteltavat raaka-aineet, kuten putket ja tangot. Tilan käyttöä rajoittaa katkaisusaha, kärkisorvi ja taivutuskone, jotka on sijoitettu siltanosturin toiminta-alueelle pitkittäin. Tämän vuoksi pitkiä tankoja joudutaan kääntämään hyllystä ottamisen jälkeen. Raaka-ainevarasto on lisäksi liian pieni eikä kaikilla raaka-aineilla ole omaa varastointipaikkaa. Tämän vuoksi osa raaka-aineista on varastoitu lattialle lavojen päälle, mikä vaikeuttaa liikkumista ja materiaalien siirtelyä siltanosturilla. Siltanosturissa on ainoastaan yksi nostin. Tämä hankaloittaa pitkien tankojen ja putkien siirtelyä. Kahdelle nostimella varustettu siltanosturi helpottaisi pitkien materiaalien siirtelyä.

Työstökoneiden keskittymä on tiivis, mutta jokaisella työstökoneella on riittävästi tilaa työskennellä. Koneet on ryhmitelty pareiksi, joita käyttää sama työntekijä. Suurin osa NC-sorveista on varustettu tankosyötöllä, jolloin raaka-ainetta ei tarvitse sahata valmiiksi. Suurin osa työstökoneiden tuotteista tehdään valmiiksi yhdellä koneella, jolloin keskeneräistä tuotantoa ei synny.

Yleinen siisteys tehdashallissa on hyvä. Käytävät ja liikkumistilat pyritään pitämään vapaina. Silti keskeneräinen tuotanto joudutaan välillä sijoittamaan kulkureittien varrelle, jolloin liikkuminen ja materiaalien siirtely tehtaassa vaikeutuu. Työpisteiden siisteydessä ja työkalujen järjestyksessä on parantamisen varaa. Työntekijät vastaavat itse työpisteiden järjestyksestä, jolloin niiden siivous mielletään ylimääräiseksi työksi. Hyvällä siisteydellä työn tekeminen helpottuisi ja nopeutuisi, kun työkalut pysyisivät omilla paikoillaan. Työpisteisiin on kertynyt vuosien mittaan vanhoja ja rikkiäisiä työkaluja,

joita säilytetään työpisteissä, vaikka niiden käyttäminen on mahdotonta. Tehdashallissa on paljon työstökoneita joista valuu jäähdytysnestettä lattioille, joka tekee lattioista liukkaat. Lattioita liukastaa myös öljy, jolla sylintereiden kokoonpanoa helpotetaan. Öljyä valuu lattialle, mikä aiheuttaa liukastumisvaaran.

Sylinterituotannossa tarvittavat komponentit on pääsääntöisesti varastoitu lähelle kokoonpanopaikkoja. Komponentteja on kuitenkin runsaasti, jolloin kaikille erikoisemmille komponenteille ei ole omia varastointipaikkoja. Tällöin ne joudutaan varastoimaan väliaikaisesti työpisteiden lähetyville lavojen päälle. Osa materiaaleista sijaitsee kaukana kokoonpanopisteestä, kuten tiivisteet, jolloin niiden hakemiseen kuluu aikaa. Komponenttien varastointipaikat on merkitty pääsääntöisesti hyvin. Komponenteille on omat varastointipaikat, joiden päätyihin on merkitty mitä tuotetta siinä säilytetään. Osa varaosanimikkeiden teksteistä on kulunut pois ajan myötä, jolloin niiden lukeminen on hankalaa.

Komponenttien lajittelu omille varastointipaikoilleen on osittain puutteellista. Komponentit kuljetetaan varastointipaikkojen läheisyyteen, mutta kukaan ei lajittele niitä omille paikoilleen. Tämän vuoksi komponentteja lojuu kulkuväylillä ja vaikeuttaa liikumista tehtaassa. Varastoitavien komponenttien lukumäärä on kasvanut, jolloin kaikkia varastoitavia varaosia ei ole saatu sijoitettua lähelle kokoonpanopistettä. Tämä lisää materiaalien kuljettamista ja sekavoittaa varastointipaikkoja.

5 SYLINTERITUOTANNON KEHITYSEHDOTUKSET

Sylinterivalmistuksen kehitysehdotuksissa keskitytään luvussa 4 esille tulleiden ongelmien korjaamiseen ja sylinterituotannon tehostamiseen, jotta valmistuksesta saadaan joustavampi ja läpimenoajaltaan nopeampi. Luvussa 5.1 sylinterituotannolle suunnitellaan Jyväskylän tehtaalle uusi layout, jossa työpisteet järjestetään tuotantoketjun mukaiseen järjestykseen ja työvaiheiden välisiä etäisyyksiä lyhennetään. Sylinterivalmistuksen työvaiheiden väliset läpimenoajat tasoitetaan luvussa 5.2.

Näiden kehitysehdotusten lisäksi työvaiheiden pitkiä asetusajoja lyhennetään luvussa 5.3 ja eräkokoja pienennetään luvussa 5.4. Näillä toimenpiteillä sylinterivalmistuksesta saadaan tasaisempi, jolloin puskurivarastoja ei pääse kertymään työvaiheiden välille. Lopuksi pohditaan kehitysehdotusten vaikutusta sylinterivalmistuksen tuotannonohjaukseen luvussa 5.5. Kehitysehdotusten vaikutusta sylinterituotannon läpimeno-aikaan pyritään arvioimaan jokaisessa kohdassa erikseen.

5.1 Hytar Oy:n Jyväskylän tehtaan layout-suunnittelu

Layout-suunnittelun tavoitteena on tehostaa sylinterivalmistusta ja nopeuttaa sen läpimenoaikaa. Tällä hetkellä ongelmia aiheuttaa työpisteiden sijoittelu ja materiaalivirran epäselvä kulku. Layout-suunnittelussa otetaan huomioon luvussa 4 esille tulleet ongelmat ja niitä pyritään uudella järjestyksellä korjaamaan.

Nykyisessä layout-versiossa tuotantohallin kapeamman osan päätyyn merkitty koneikkovalmistuspiste siirtyy tuotantohallista kokonaan pois. Tämän vuoksi tehdashallin layout on suunniteltava uudelleen, jotta koko tehdashallin tila saadaan hyödynnettyä tehokkaasti. Nykyisessä tehdashallissa on vaikeaa erottaa sylinterituotantoa muusta tuotannosta, sillä sylinterivalmistuspisteet ovat sekoittuneet ympäri tuotantohallia. Sylinterituotantoa sekoittaa myös muiden tuotteiden valmistaminen sylinterivalmistuspisteissä. Uudessa layout-versiossa pyritään läpimenoajan supistamisen ohella selkeyttämään tuotantoa siten, että sylinterituotanto ja liitintuotanto ovat helposti erotettavissa toisistaan. Tällöin kahden eri tuotannon ohjaaminen helpottuu ja tuotantojen toiminta tehostuu.

Layout-suunnittelussa keskitytään sylinterivalmistukseen ja sen työvaiheiden tehokkaaseen sijoitteluun. Vasta sylinterivalmistuspisteiden sijoittelun jälkeen mietitään muiden koneiden ja laitteiden paikat. Tämä johtuu siitä, että sylinterivalmistus on tuotantolinjamainen valmistusmuoto, jossa työvaiheita on useita peräkkäin ja kappaleet etenevät työvaiheelta toiselle. Tämän vuoksi työpisteiden on oltava lähellä toisiaan ja järjestettynä siten, että vältetään kappaleiden edestakaiselta siirtelyltä.

Liitinvalmistuspisteet voidaan sijoitella vapaammin toisiinsa nähden verrattuna sylinterituotannon työpisteisiin. Liittimet saadaan valmistettua yhdessä työpisteessä valmiiksi eikä niitä tarvitse siirrellä työpisteeltä toiselle. NC-sorvit sijoitetaan pareiksi kuten tähänkin asti. Samanmalliset koneet muodostetaan pareiksi, jolloin niiden käyttäminen tehostuu. Saman työntekijän käyttämät koneet ovat malliltaan samoja, joten niiden käyttö helpottuu. NC-sorvit ovat läheisessä kontaktissa raaka-aine varastoon, josta tuodaan koneille materiaalia. Valmiita kappaleita ei varastoida suuria määriä tuotantohallissa, vaan valmistamisen jälkeen ne kuljetetaan hallista pois laatikoissa.

Layout-suunnittelussa on otettava huomioon valmistuskapasiteetin vaivaton lisääminen, jos kysyntä äkillisesti kasvaa. Tuotantokapasiteettiä on pystyttävä joustavasti nostamaan, ilman koneiden tai laitteiden uudelleen siirtelyä. Lämpimenoajan on pystyttävä kohtuullisena, vaikka sylintereiden kysyntä lisääntyy.

Layout-suunnittelussa käytetään hyväksi Righard Mutherin (1968) kehittämää systemaattisen layout-suunnittelumallia. Suunnittelussa edetään johdonmukaisesti ja asiat otetaan huomioon oikeassa järjestyksessä. Jokaista vaihetta ei mennä yksityiskohtaisesti lävitse, vaan keskitytään etenemään suunnittelumallin mukaisesti. Aluksi suunnittelumallissa kerätään tietoa tuotannosta ja valmistettavista tuotteista tuote-määräanalyysillä. Layout-suunnittelussa pyritään keskittymään eniten valmistettavien tuotteiden tehokkaaseen valmistamiseen. Tämän vuoksi alkutietojen kerääminen on tärkeää toimivan lopputuloksen kannalta.

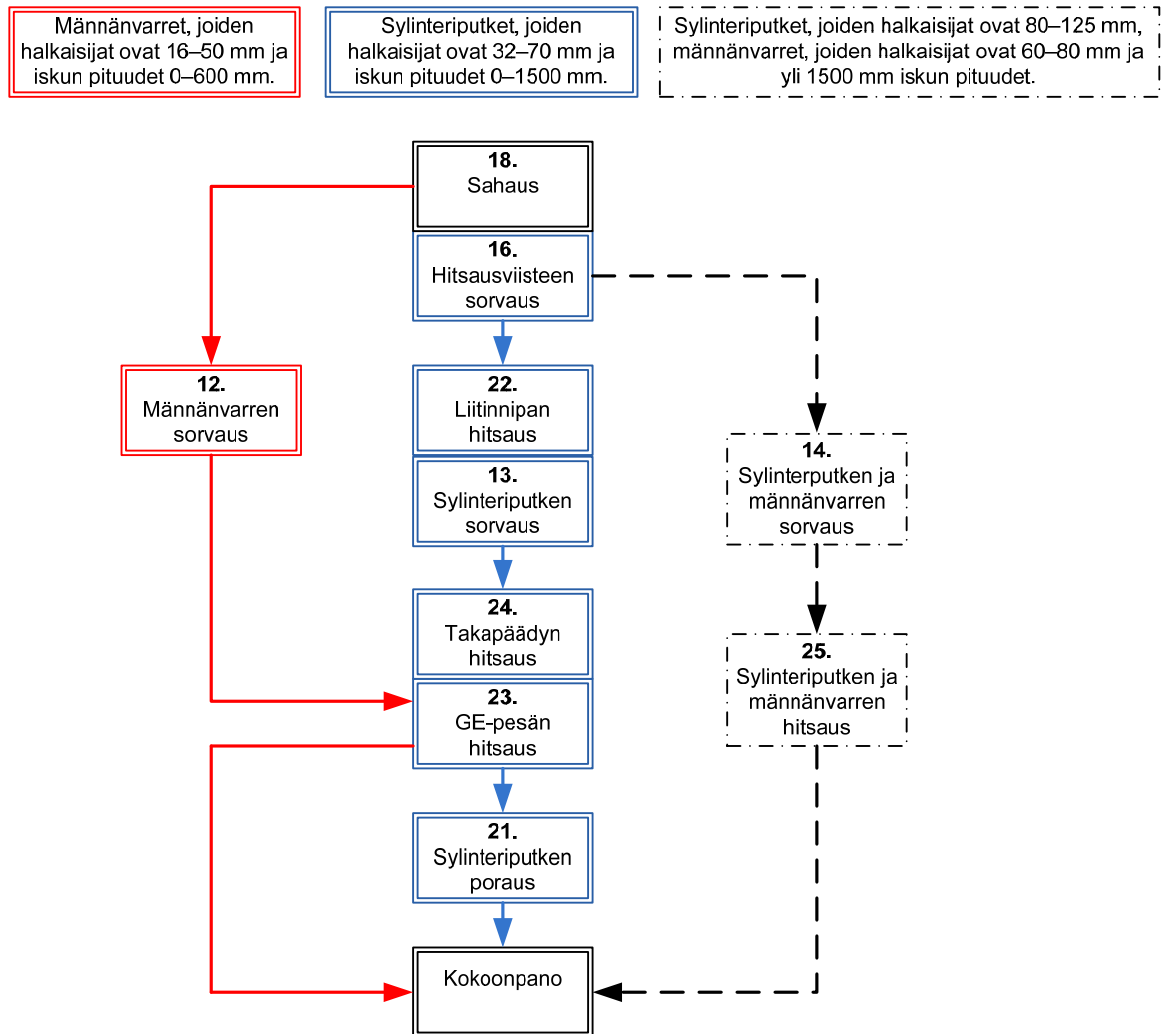
5.1.1 Sylinterivalmistuksen materiaalinkulku

Hyvän layout-version tunnusmerkkejä on materiaalivirran selkeä kulku valmistusprosessin lävitse. Sylinterivalmistuksen työvaiheet ja materiaalivirta vaihtelee eri malleissa ja kokoluokassa. Layout-suunnittelun kannalta on tärkeää tietää yleisimpien sylintereiden malli ja kokoluokka, jotta suunnittelussa voidaan keskittyä juuri näiden sylintereiden tehostettuun valmistamiseen. Harvinaisempien sylintereiden valmistaminen on mahdollista, joko samoilla tai rinnakkaisilla työvaiheilla. Sylinterin koko vaikuttaa koneeseen, jolla sylinteri valmistetaan. Erikokoiset sylinterit valmistetaan eri koneilla. Yleisimpien sylinterikokojen työvaiheet sijoitellaan peräkkäin ja lähelle toisiaan, jotta varmistetaan valmistusprosessin nopea läpimenoaika.

Layout-suunnittelussa keskitytään viime vuosien yleisimmän sylinterimallin eli HPP-sylinterin valmistukseen. Sen valmistaminen kattaa noin 40 prosenttia kaikista sylintereistä (ks. kuva 4.4). Koneet ja laitteet sijoitellaan HPP-sylinterin valmistuksen mukaiseen järjestykseen ja materiaalin siirtelyä työvaiheiden välillä vähennetään. Layout-suunnittelussa otetaan huomioon myös harvinaisempien sylintereiden valmistaminen. Suurin osa muista sylinterimalleista läpäisevät työvaiheet samassa järjestyksessä kuin HPP-sylinteri. Yleisimpien sylintereiden männän halkaisijat ovat 32–63 millimetriä, männänvarren halkaisijat 18–45 millimetriä ja iskunpituus alle 600 millimetriä. Nämä sylinterit kattavat noin 80 prosenttia kaikista viimeisen kuuden vuoden aikana valmistetuista sylintereistä (ks. kuvat 4.4–4.7). Tätä suuremmat sylinterit valmistetaan

eri koneilla, jolloin niiden valmistaminen ei hidasta yleisimpien sylintereiden valmistusta.

Seuraavaksi koneet ja laitteet sijoitetaan valmistusprosessin mukaiseen järjestykseen. Toimintojen välistä vuorovaikutusdiagrammia ei tässä yhteydessä laadita, sillä sylinterivalmistuksen valmistusprosessi on suhteellisen selkeä. Työvaiheilla ei ole monimutkaisia riippuvuussuhteita ja ne voidaan sijoittaa toistensa viereen ilman suuria vaatimuksia tärinän, melun tai suojauksen suhteen. Sylinterituotannon karkeasuunnitelma on esitetty kuvassa 5.1.



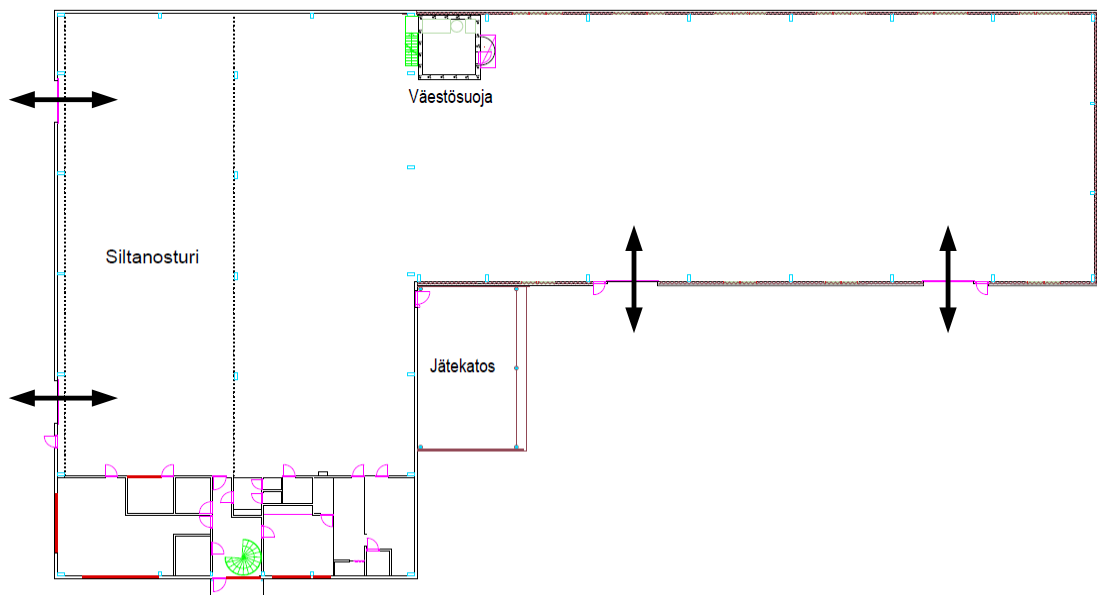
Kuva 5.1. Sylinterituotannon karkeasuunnitelma.

Kuvaan 5.1 on sijoitettu sylinterivalmistuksen koneet ja laitteet valmistusprosessin mukaisessa järjestyksessä. Työvaiheiden numerot kertovat sen koneen tai laitteen, jolla työvaihe suoritetaan (liite 1). Pääsylinterivalmistus on esitetty kuvassa yhtenäisellä viivalla. Yhtenäisellä viivalla esitetyillä koneilla voidaan valmistaa kaikki sylinterit, joiden männän halkaisija on alle 70 millimetriä, männänvarrenhalkaisija alle 50 millimetriä ja iskunpituus männänvarsissa alle 600 millimetriä ja sylinteriputkissa alle 1500 millimet-

riä. Nämä sylinterit kattavat noin 80 prosenttia kaikista sylinteritilauksista. Loput sylindereistä valmistetaan katkoviivalla esitettyjen koneiden avulla.

5.1.2 Käytävissä oleva tila ja tilantarvevaatimukset

Koneiden ja laitteiden siirtelyä rajoittaa tehdashallin rajallinen koko ja muoto. Tehdashalli on L-kirjaimen muotoinen ja siinä on neljä isoa nosto-ovea, joista tavaraa tuodaan halliin ja viedään hallista pois. Tehdashallin käytettävissä oleva tila on esitetty kuvassa 5.2. Tilaa rajoittaa kuvaan merkitty väestösuoja, joka kaventaa tehdashallia ja vaikeuttaa materiaalin kulkua. Tehdashallin leveän osan keskellä kulkee kattorakenteita kannattava pylväslinja, joka hankaloittaa suurien osien siirtelyä. Pylväät kaventavat väestösuojan lisäksi leveän ja kapean osan välistä materiaaliliikettä. Layout-suunnittelussa koneet ja laitteet sijoitellaan siten, että ne eivät kavenna tehdashallien välistä liikettä entisestään, vaan materiaalien siirtelyyn jätetään riittävästi tilaa.



Kuva 5.2. Tehdashallin käytettävissä oleva tila.

Kuvassa 5.2 näkyvä väestösuoja ei voida siirtää. Tämä rajoittaa layout-ehdotusten tekemistä. Väestösuoja vaikeuttaa materiaalivirtaa tehdashallin leveän ja kapean osan välillä. Lisäksi se rajoittaa koneiden ja laitteiden siirtelyä. Toinen layout-suunnittelussa huomioon otettava tekijä on siltanosturi, joka on sijoitettu aivan kuvan 5.2 vasempaan reunaan. Siltanosturin siirtäminen on kallista ja hankalaa, minkä vuoksi se pidetään paikoillaan layout-ehdotuksissa. Tämä rajoittaa myös raaka-ainevaraston paikkaa. Toisen raaka-ainevaraston rakentaminen on kuitenkin mahdollista, jolloin joudutaan investoimaan toiseen siltanosturiin.

Sylinterituotannon tilantarvevaatimuksissa on hyödynnetty tehdashallin vanhaa layout-versiota, johon jokainen laite on piirretty oikeaan mittakaavaan. Vanha layout päivitettiin vastaamaan nykyistä sylinterituotantoa, kun siihen lisättiin puuttuneet koneet

ja varastohyllyt. Sylinterituotannon työvaiheet koostuvat kokoonpanoa lukuun ottamatta, yhdestä koneesta ja siinä tarvittavista työkaluista ja osista. Jokaiselle työpisteelle tehdään tarkka työpaikkapiirustus, johon merkitään osien ja työkalujen varastointipaikat. Sylinterikokoonpanon työpaikkapiirustukseen kiinnitetään erityistä huomiota, sillä se koostuu useasta eri työvaiheesta. Tämän vuoksi sylinterikokoonpanosta tehdään erillinen solu, jossa materiaalivirta on selkeä ja jokainen työvaihe sisältää tarvittavat varaosat ja työkalut.

Tilantarvevaatimuksissa otetaan huomioon varastojen vaatima tila. Jokaisen työpisteen lähellä on pieni varasto, johon on varastoitu työpisteessä tarvittavat osat. Lisäksi tehdashallissa on suurempia materiaalivarastoja, joista tyhjennetyt hyllyt voidaan tarvittaessa täyttää. Suuret materiaalivarastot voidaan sijoittaa kauemmaksi työpisteistä. Näin ne eivät häiritse tuotannon materiaalivirtaa eivätkä työpisteiden toimintaa.

5.1.3 Rajoitukset ja lisätekiöt

Layout-suunnittelussa laitteiden ja koneiden siirtelyä hankaloittavat niiden vaatimat ominaisuudet. NC-sorvit tarvitsevat ilmanvaihtoa, mikä vaikeuttaa niiden siirtelyä. Hitsauspisteet tarvitsevat tehokkaan ilmanvaihdon, jotta hitsauskaasut eivät leviä tehdashalliin. Hitsaussäteilyn ja kipinöiden leviäminen ympäristöön estetään pressuilla hitsauspisteiden ympärillä. On huomioitava, että hitsauspaikkojen läheisyydessä ei saa säilyttää tulenarkoja tavaroita.

Layout-ehdotukset laadittiin ilman suuria rajoituksia koneiden liikuttelemisen tai työpisteiden sijoittelun suhteen. Tällä haluttiin varmistaa, että kaikki vaihtoehdot voidaan käydä läpi. Kaikkien tehtaassa valmistettavien tuotteiden raaka-aineena on pitkä putki tai tanko, joita säilytetään raaka-ainevarastossa. Painavien putkien ja tankojen siirtelyyn käytetään siltanosturia. Nykyisessä layoutissa on ainoastaan yksi raaka-ainevarasto, jolloin putkia ja tankoja joudutaan kuljettamaan pitkiä matkoja koneille ja laitteille. Raaka-ainevaraston siirtämistä rajoittaa siltanosturin työläs ja kallis siirtäminen. Tämän vuoksi se pidetään layout-ehdotuksissa paikallaan. Toisen raaka-ainevaraston rakentaminen on kuitenkin mahdollista, mutta se vaatii investoinnin uuteen siltanosturiin.

Layout-suunnittelussa haluttiin kiinnittää huomioita valmistuksen läpimenoajan tehostamiseen. Layout-suunnittelun aikana tehtyjen haastattelujen perusteella nousi kaksi suurempaa investointitarvetta esiin, jotka olivat uusi hitsauskone ja uusi NC-sorvi sylinteriputkien sorvaukseen. Nykyisessä sylinterituotannossa pienien sylinteriputkien ja männänvarsien hitsaukseen käytettävällä koneella hitsataan myös liittimiä, joka hidastaa sylinterituotannon läpimenoaika. Uudella hitsauskoneella voitaisiin nopeuttaa sylinterien läpimenoaika. Uusi kone olisi käytössä vain sylinterituotannossa. Vanhalla hitsauskoneella hitsattaisiin pelkästään liittimiä ja se sijoitettaisiin liitinkoneiden läheisyyteen erilleen sylinterituotannosta. Näin sylinterituotannon ja liitintuotannon materiaalivirrat selkiytyvät.

Sylinterituotannon NC-sorvia 13 on jouduttu huoltamaan useita kertoja viimeisten kuukausien aikana. Tällä sorvilla sorvataan suurin osa sylinteriputkista ja männänvarsis-

ta. Sorvin korvaaminen uudella vastaavankokoisella koneella tehostaisi sylinterivalmistusta. Koneen huoltaminen seisauttaa sylinterituotannon useaksi päiväksi, mikä aiheuttaa epävarmuutta sylinterituotannon virtauksessa ja toimitusajoissa. Uutta NC-sorvia ei sisällytetty layout-ehdotuksiin, sillä nykyinen kone toimii vielä riittävällä varmuudella. Layout-ehdotuksissa sen kuormitusaste vähenee, kun männänvarret sorvataan toisella sorvilla. Tulevaisuutta ajatellen uuden NC-sorvin hankkiminen voi muuttua ajankohtaisesti, jos koneen huoltokustannukset vielä nousevat. Samassa yhteydessä voidaan parantaa sorvin varustelua uudella kappaleen vaihtoyksiköllä ja uusilla työkaluilla. Näin saadaan sorvin asetusajoja lyhennettyä.

5.1.4 Layout vaihtoehdot

Tuotantolaitoksesta tehtiin useita layout-ehdotuksia, joiden hyvät ja huonot ominaisuudet listattiin. Ehdotusten perusteella voidaan arvioida paremmin asioiden toimivuus ja vaikeasti toteutettavat ratkaisut voidaan karsia pois. Lopulliseen layout-versioon yhdistellään ehdotusten hyviä ominaisuuksia, jotta uudesta layoutista saataisiin mahdollisimman toimiva kokonaisuus.

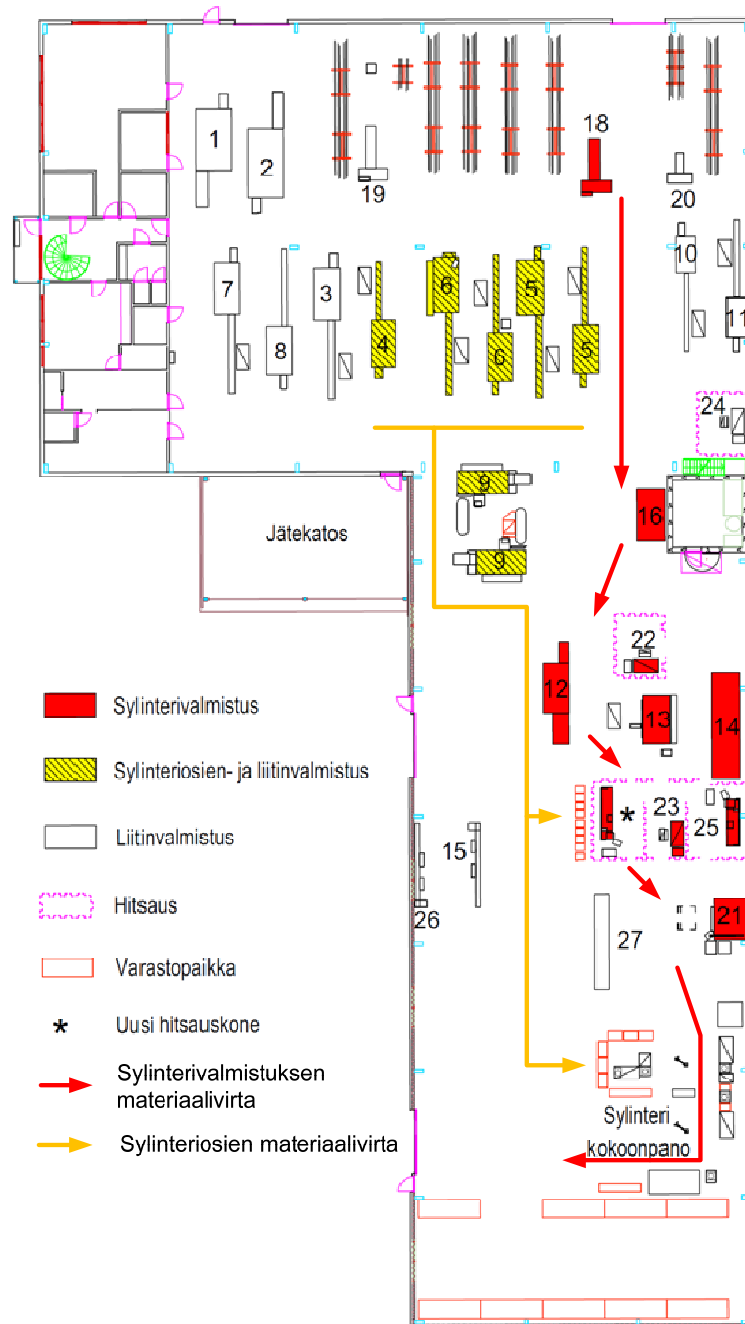
Layout-muutoksen yhteydessä jokainen työpiste siistitään ja jokaiselle työkalulle merkitään omat paikat selkeästi. Samalla vialliset ja rikkoutuneet työkalut korvataan uusilla. Työprosessit vakioidaan ja ylimääräinen hukka eliminoidaan. Työpisteessä tarvittavat varaosat varastoidaan lähelle työpistettä ja merkitään selvästi, jotta varaosien löytäminen helpottuu. Layout-muutoksen yhteydessä kiinnitetään huomiota vanhoihin ja epäergonomisiin varastohyllyihin. Tarvittaessa varastohyllyt uusitaan, jotta tavaroita on helpompi ottaa hyllyistä.

Layout-ehdotus 1

Ensimmäisessä layout-ehdotuksessa koneet ja laitteet on järjestelty nykyisen järjestyksen pohjalta siten, että sylinterivalmistuksen työvaiheet ovat järjestyksessä ja lähellä toisiaan. Sylinterivalmistuksen koneilla ja laitteilla ei valmisteta muita tuotteita, jolloin läpimenoaika nopeutuu. Komponenttivarastot sijoitetaan lähelle kutakin työpistettä. Sylinterituotanto on saatu erotettua muusta tehtaan tuotannosta lähes kokonaan. Ainoastaan konenumero 18 eli sylinteriputkien ja männänvarsien saha on sijoitettu lähelle raaka-ainevarastoa ja kauaksi muista sylinterivalmistuspisteistä. Näin ollen vaikeasti liikuttavia putkia ja tankoja ei jouduta liikuttelemaan pitkiä matkoja. Sahan ja seuraavan työvaiheen välillä on pitkä etäisyys, joka hankaloittaa materiaalivirtausta ja hidastaa valmistuksen läpimenoaikaa.

Layout-ehdotuksessa koneiden ja laitteiden siirtotarve on vähäistä. NC-sorvien järjestystä on hieman muutettu ja samannomaisista sorveista 5 ja 6 on tehty pareja. Sylinteriosia valmistavat koneet on siirretty lähemmäksi sylinterikokoonpanoa, jolloin valmiiden osien siirtäminen varastopaikoille on vaivatonta. Sylinterituotannon työpisteet on järjestetty työvaihekaavion mukaiseen järjestykseen. Näin vältetään materiaalin edestakaiselta siirtelyltä. Sylinterikokoonpanossa varastoiden ja työpisteiden välisiä etäisyyk-

siä lyhennettiin ja materiaalivirtaan kiinnitettiin erityistä huomiota. Sylinterikokoonpanossa materiaalivirta saatiin selkeäksi ja varaosien hakemiseen kuluva matka on huomattavasti pienempi kuin nykyisessä kokoonpanossa. Ensimmäinen layout-ehdotus on esitetty kuvassa 5.3.

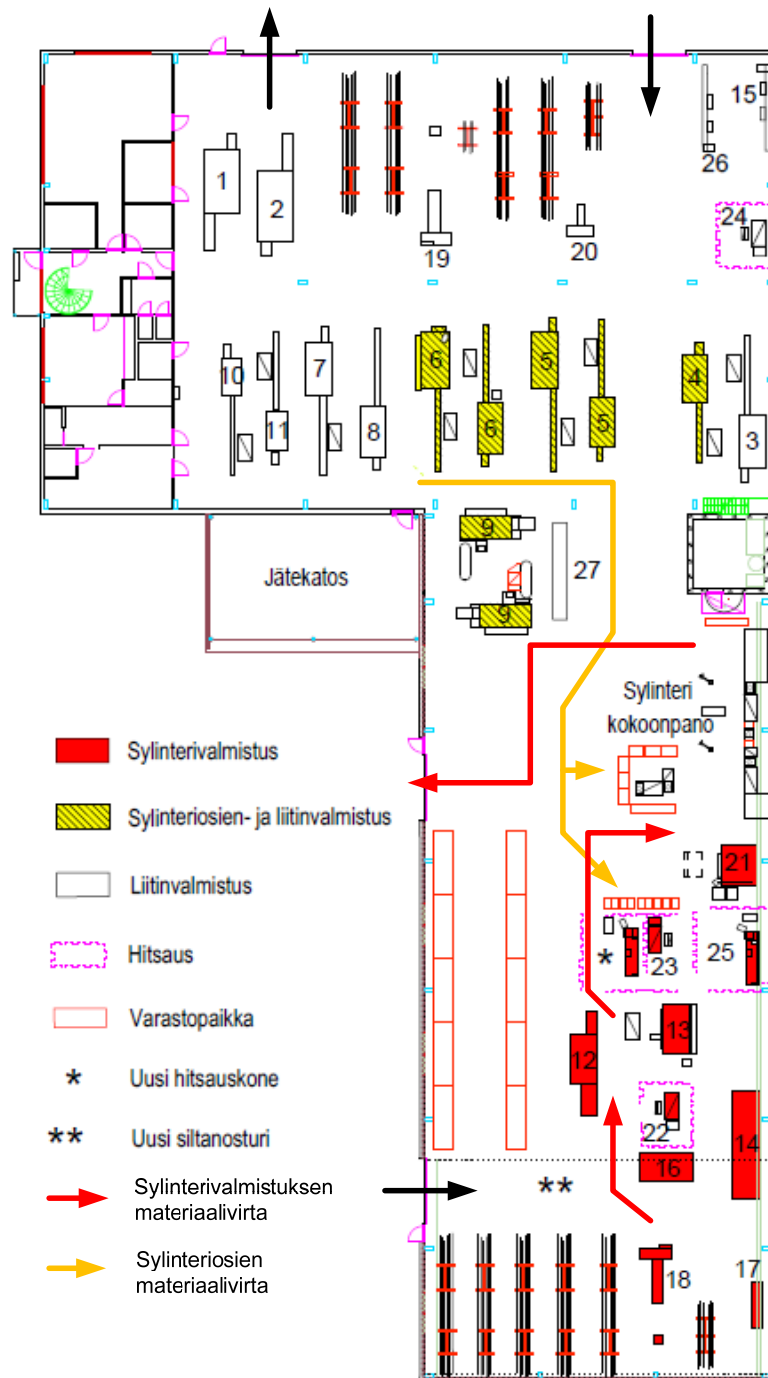


Kuva 5.3. Hytar Oy:n Jyväskylän tehtaän layout-ehdotus 1.

Sylinterikokoonpanon toimintaa saadaan entisestään selkiytettyä, kun sen ympärillä olevat varastohyllyt siirretään tehdashallin pätyyn. Varaston täydentäminen ja tavaroiden hakeminen ei tällöin häiritse sylinterituotantoa. Samalla ylimääräiset ja sylinterikokoonpanoon kuulumattomat tavarat saadaan siirrettyä pois kokoonpanoalueelta. Tämä helpottaa työskentelyä ja tavaroiden siirtelyä.

Layout-ehdotus 2

Toisessa layout-ehdotuksessa sylinterituotanto on kokonaan erotettu muusta tehtaan valmistuksesta. Sylinterituotannon raaka-aineet, varastot, koneet ja laitteet ovat sijoitettuna hallin kapeampaan osaan. Sylinterituotanto ja liitintuotanto muodostavat itsenäisen ja selkeästi ohjattavan kokonaisuuden, joiden materiaalivirrat eivät sekoita toinen toisiinsa. Sylinterikokoonpano on sijoitettu tuotantohallissa keskeiselle paikalle. Tämä helpottaa ja nopeuttaa valmistettavien sylinteriosien viemistä omille paikoille. Toinen layout-ehdotus on esitetty kuvassa 5.4.



Kuva 5.4. Hytar Oy:n Jyväskylän tehtaan toinen layout-ehdotus.

Layout-ehdotuksessa on tehty toinen raaka-ainevarasto tehtaan kapeamman osan päätyyn. Sinne varastoidaan sylinteriputket ja männänvarret. Uusi raaka-ainevarasto vaatii uuden siltanosturin, jotta raskaat sylinteriputket ja männänvarret voidaan siirtää hyllyyn ja hyllystä sahalle.

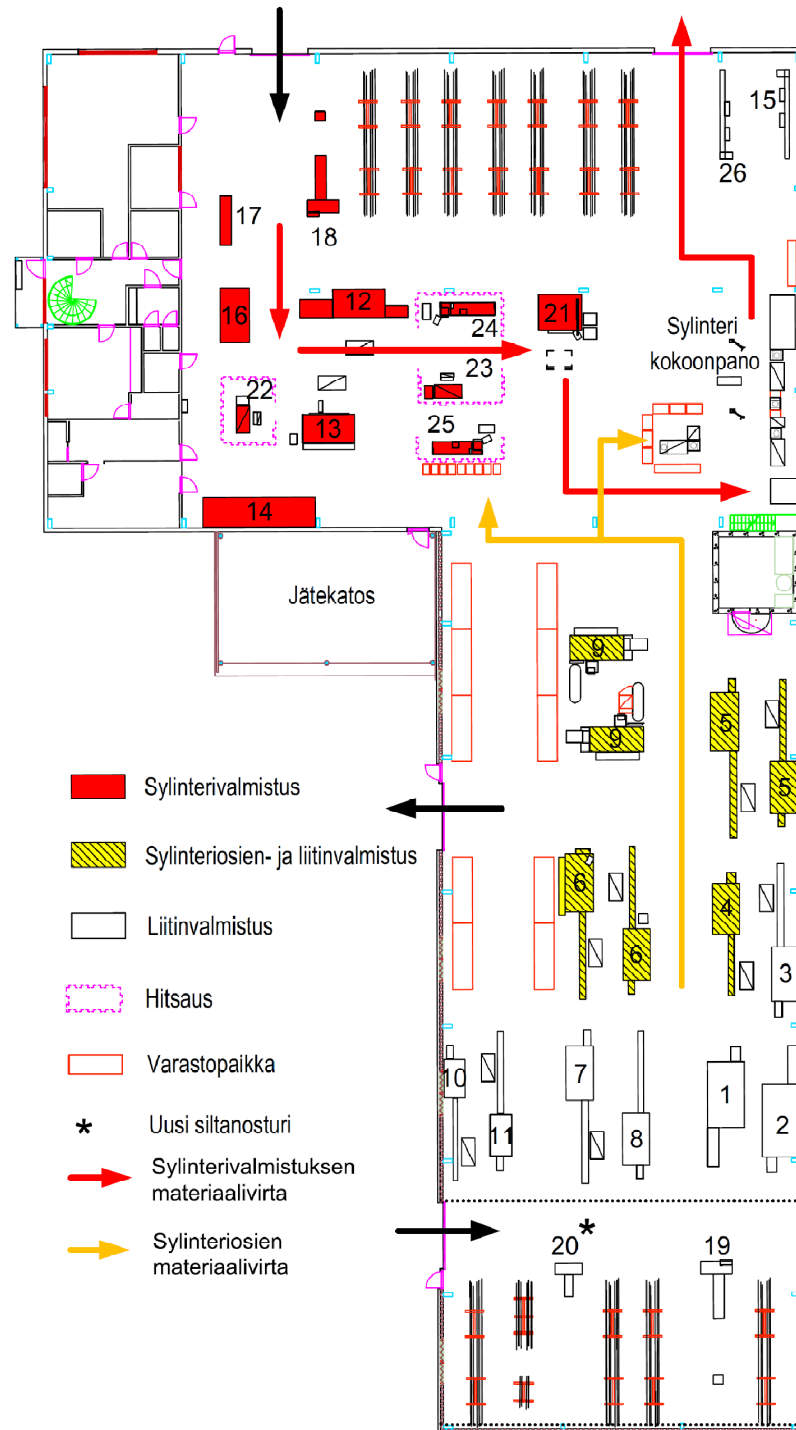
Sylinterituotannon työvaiheet on sijoitettu työvaihekaavion mukaiseen järjestykseen ja niiden väliset etäisyydet on lyhennetty. Kussakin työvaiheessa tarvittavat komponentit on varastoitu työpisteiden läheisyyteen. Sylinterikokoonpanossa koneet on sijoitettu lähelle toisiaan ja komponentit on varastoitu koneiden välittömään läheisyyteen, jotta vältetään ylimääräiseltä komponenttien hakemiselta.

Liitintuotannon koneet ja laitteet on järjestelty samojen kriteereiden mukaan kuin ensimmäisessä layout-ehdotuksessa. Samanmalliset koneet on ryhmitelty pareiksi ja sylinteriosia valmistavat koneet on sijoitettu lähelle sylinterikokoonpanoa. Raaka-ainevarastoon on varastoitu kaikki liitintuotannossa tarvittavat putket ja tangot. Varastosta putket nostetaan sahoille 19 ja 20, joilla ne katkaistaan oikean mittaisiksi. Layout-ehdotuksessa varastohyllyt on sijoitettu kahteen riviin sylinterituotannon viereen. Varastohyllyt ovat erillään muusta tuotannosta, jolloin varastoliikenne ei häiritse tuotannon toimintaa.

Suurin ongelma tässä layout-ehdotuksessa on sylinteriputkien ja männänvarsien vieminen toiselle puolelle hallia uuteen raaka-ainevarastoon. Tavaroiden kuljettaminen hallin sisällä on työlästä ja lähes mahdotonta. Toinen vaihtoehto on tuoda raaka-aineet ulkokautta suoraan hallin kapeampaan osaan lähelle raaka-ainevarastoa. Tällöin tavaroiden vastaanottopiste on järjestettävä kahteen eri paikkaan. Raaka-aineet on käännettävä, jotta ne saadaan raaka-ainevarastoon oikeaan asentoon, koska ne eivät mahdu nosto-ovesta sisälle poikittain.

Layout-ehdotus 3

Kolmannessa layout-ehdotuksessa liitintuotanto on siirretty tehtaan kapeampaan osaan ja sylinterituotanto leveämpään osaan. Sylinterituotanto ja liitintuotanto on erotettu toisistaan itsenäisiksi kokonaisuuksiksi, joka helpottaa niiden ohjaamista. Kolmannessa layout-ehdotuksessa on paljon samoja ratkaisuja kuin toisessa layout-ehdotuksessa. Kummassakin ehdotuksessa sylinterituotanto ja liitintuotanto ovat erotettuna toisistaan kokonaan eri hallin osiin. Lisäksi kummassakin ehdotuksessa uusi raaka-ainevarasto on suunniteltu kapeamman hallin päätyyn. Kolmas layout-ehdotus on esitetty kuvassa 5.5.



Kuva 5.5. Hytar Oy:n Jyväskylän tehtaan kolmas layout-ehdotus.

Layout-ehdotuksessa liitintuotannon NC-sorvit (1–11) on siirretty tehtaan kapeampaan osaan ja niiden tarvitsemat raaka-aineet tehtaan pätyyn. Sorveilla syntyvän lastujätteen vieminen jätekatokseen pitenee verrattuna nykyiseen layout-ratkaisuun. Layout-ehdotuksessa varastohyllyt on sijoitettu kapeampaan osaan tehdashallia NC-sorvien viereen. Varastoiden käyttäminen ei häiritse tehtaan valmistusta, mikä parantaa materiaalivirran kulkua.

Kolmannessa layout-ehdotuksessa on sama ongelma kuin toisessa ehdotuksessa. Raaka-aineiden tuominen uuteen raaka-ainevarastoon tehdashallin kapeampaan osaan on työläästä. Raskaiden raaka-aineiden liikuttaminen on hankalaa, joten tavarantoimitus vastaanotto joudutaan järjestämään kahteen eri pisteeseen lähelle raaka-ainevarastoja. Näin raaka-aineita ei jouduta kuljettamaan tehdashallin lävitse omille paikoilleen eikä tehtaan materiaalivirrat sekoitu.

Layout-ehdotuksen toinen ongelma on sylinterikokoonpanon sijainti, joka vaikeuttaa tehtaan materiaalivirtaa. Osa kokoonpanon laitteista on jouduttu sijoittamaan keskelle kulkuväylää. Tämä vaikeuttaa tehtaan tavaraliikennettä ja samalla sylinterituotannon materiaalivirtaa.

5.1.5 Layout-vaihtoehtojen vertaileminen

Kaikki layout-ehdotukset ovat erilaisia ja tuovat ideoita uuteen layout-ratkaisuun. Ehdotuksissa on kiinnitetty huomiota liitintuotannon ja sylinterituotannon toiminnan tehostamiseen erottamalla ne selkeästi toisistaan. Sylinterituotannon työpisteet on järjestetty työprosessin mukaiseen järjestykseen, ja niiden välisiä etäisyyksiä on lyhennetty. Jokaiselle layout-ehdotukselle laskettiin sylinterivalmistukseen kuluva matka tietokoneella layout-ehdotuksien perusteella. Valmistusmatkat kirjattiin ylös taulukkoon 5.1. Valmistusmatkojen erottelu on esitetty tarkemmin liitteessä 3, josta selviää yksittäisten työvaiheiden ja varastojen väliset etäisyydet.

Taulukko 5.1. Sylinterivalmistukseen kuluva matka eri layout-vaihtoehtoisissa.

	Sylinterin valmistamiseen kuluva matka	Verrattuna nykyiseen	
		[m]	[%]
Yksikkö	[m]	[m]	[%]
Nykyinen layout	239,6		
Layout-ehdotus 1	152	-87,6	-37
Layout-ehdotus 2	133,1	-106,5	-44
Layout-ehdotus 3	165,9	-73,7	-31

Uuden layout-ehdotuksen päämääränä on lyhentää valmistusmatka siten, että sylinterivalmistus tehostuu ja läpimenoaika nopeutuu. Lyhyet työpisteiden väliset etäisyydet mahdollistavat eräkoon pienentämisen ja paremman virtauksen sylinterivalmistuksessa. Monessa työpisteessä komponenttien ja varaosien puutteellinen varastointi aiheuttaa ylimääräistä etsimistä, joka lisää valmistusaikaa. Taulukosta 5.1 voidaan helposti päätellä, että koneiden ja laitteiden työprosessin mukaisella järjestyksellä on suoranaista vaikutusta sylinterin valmistusmatkaan. Yksinkertaisilla toimenpiteillä voidaan vaikuttaa tuotannon tehostamiseen ja materiaalivirran selkeyteen.

Valmistusmatkan lisäksi layout-ehdotuksia vertailtiin hyötyarvoanalyysillä. Hyötyarvoanalyysissä arvosteltaviksi tekijöiksi valittiin materiaalin kulun tehokkuus, ohjattavuus, investointitarve, laajennettavuus ja liikkuminen. Vertailtavien kohteisiin haluttiin parannusta uudella layout-versiolla. Vertailukohteille annettiin painoarvot sen perusteella, kuinka paljon niille toivottiin parannusta. Samalla haluttiin painottaa kohteita, jotka

ovat nykyisessä layout-pohjassa työläitä ja joihin haluttiin huomattavaa parannusta. Painoarvoihin ja vertailukohteisiin vaikuttivat paljon haastatteluissa ja diplomityön ohjauspalavereissa esille nousseet asiat. Lisäksi hyötyarvoanalyysia muokattiin yhdessä työn ohjaajien kanssa, jotta sillä voidaan analysoida layout-ehdotuksia mahdollisimman tuudenmukaisesti. Hyötyarvoanalyysi on esitetty taulukossa 5.2.

Taulukko 5.2. Layout-vaihtoehtojen hyötyarvoanalyysi.

Vertailukohteet		Painoarvo	Vaihtoehtojen arvostelu ja painotetut pisteet					
			Layout-ehdotus 1		Layout-ehdotus 2		Layout-ehdotus 3	
1	Materiaalin kulun tehokkuus	8	O	24	I	40	O	24
2	Valmistuksen ohjaus	8	O	24	E	56	E	56
3	Investointitarve	8	I	40	X	-16	X	-16
4	Joustavuus laajennuksille	8	O	24	I	40	U	8
5	Liikkuminen (käytävät ja järjestys)	6	I	30	I	30	I	30
Vaihtoehtojen vertailupistemäärä			142		150		102	
A	Melkein täydellinen	8						
E	Erittäin hyvä	7						
I	Hyvä	5						
O	Välttävä	3						
U	Huono	1						
X	Ei toivottava	-2						

Materiaalin kulun tehokkuus arvioitiin toisessa layout-ehdotuksessa parhaaksi. Uusi raaka-ainevarasto ehdotuksissa 2 ja 3 parantaa materiaalin kulun tehokkuutta. Tällä investoinnilla mahdollistetaan liitin- ja sylinterituotantojen erottaminen kokonaan toisistaan. Ehdotuksessa 3 materiaalikulun tehokkuutta karsii sylinterikokoonpanon sijoittelu. Kokoonpanopiste on sijoitettu osittain kulkuväylälle ja näin se vaikeuttaa materiaalien sujuvaa virtausta tehtaassa. Ehdotuksessa 1 materiaalikulun tehokkuutta karsii yhteinen raaka-ainevarasto, jonka vuoksi tuotantojen materiaalivirrat sekoittuvat. Ehdotuksissa 2 ja 3 raaka-aineiden työläs kuljettaminen uuteen raaka-ainevarastoon pudottaa niiden arvosanaa yhdellä.

Layout-ehdotuksien ohjattavuus on erittäin hyvä ehdotuksissa 2 ja 3. Näissä ehdotuksissa sylinteri- ja liitintuotanto ovat erotettuina toisistaan ja ne muodostavat selkeästi ohjattavan kokonaisuuden. Ehdotuksessa 1 sylinteri- ja liitintuotannolla on yhteinen raaka-ainevarasto, joka sekoittaa niiden materiaalivirtoja ja hankaloittaa niiden ohjausta. Tämä pudottaa sen arvosanan hyväksi.

Investointitarpeen arvioinnissa huomioitiin ainoastaan suuret ehdotuksiin sisältyvät investointitarpeet, kuten kone- ja laitehankinnat. Näiden lisäksi layout-muutoksissa on huomioitava pienempien investointien syntyminen esimerkiksi työkalujen tai varastohyllyjen uusimisesta. Nämä pienemmät investointitarpeet voidaan olettaa samoiksi kaikissa ehdotuksissa, jolloin ne eivät vaikuta arvosanoihin. Parhaimman arvosanan investointitarpeesta saa ehdotus 1, jossa ainoa suuri investointitarve on uusi hitsauskone. Eh-

dotuksien 2 ja 3 arvosanaa pudottaa investoiminen hitsauskoneen lisäksi uuteen siltanosturiin. Tämä pudottaa niiden arvosanan ei toivottavaksi.

Yksi hyötyarvoanalyysin arviointikriteereistä on laajennettavuus. Siinä arvioidaan kuinka helposti ehdotuksiin voidaan sijoittaa uusia koneita ja laitteita. Samalla mietitään varastopaikkojen ja kapasiteetin kasvumahdollisuuksia. Ehdotus 2 on laajennettavuudeltaan paras. Siinä sylinterituotannon koneita voidaan tarvittaessa laajentaa varastohyllyjen tilalle tehtaan kapeampaan osaan. Materiaalivirrat pysyvät selkeänä, kun kummallakin tuotannolla on oma raaka-ainevarasto. Sylinterituotantoa voidaan laajentaa helposti myös ehdotuksessa 1, sillä tehtaan kapeampaan osaan jää tilaa mahdollisia koneinvestointeja varten. Toisaalta laajennettavuutta rajoittaa sylinterituotannon ja liitintuotannon osittainen päällekkäisyys ja sama raaka-ainevarasto. Raaka-ainevarasto on jo tällä hetkellä ahdas ja sen kasvattaminen ehdotuksessa 1 on rajallista. Tämän vuoksi ehdotuksen 1 arvosana jää välttäväksi. Ehdotuksessa 3 sylinterituotannon laajennettavuus jää huonoksi, sillä uusien koneiden sijoittelu on hankalaa.

Liikkuminen arvioitiin kaikissa layout-ehdotuksissa hyväksi. Kaikissa ehdotuksissa koneiden ja laitteiden sijoittelu on toteutettu tiiviisti, mutta niiden väliin jää riittävästi tilaa liikkumiseen. Hyötyarvoanalyysin perusteella voittajaksi selvisi layout-ehdotus 2. Suurin negatiivinen piirre tässä layout-versiossa on suuri investointitarve uuteen siltanosturiin. Muilta ominaisuuksiltaan layout-ehdotus vastaa parhaiten niitä ominaisuuksia, joita uudelta layout-pohjalta kaivataan.

5.1.6 Lopullinen layout

Lopullinen layout suunnitellaan hyötyarvoanalyysin voittajan eli toisen layout-ehdotuksen pohjalta. Siinä liitintuotannon NC-sorvit siirretään lähemmäksi sylinterituotannon kokoonpanopistettä. Valmiiden osien vieminen varastointipakoiille lyhenee. NC-sorvit ryhmitellään mallikohtaisesti, jolloin niiden käyttö tehostuu. Putkentaivutuskone 26 siirretään uuden hitsauspisteen viereen. Tällöin hitsattavat liittimet voidaan valmistaa tehostetusti omassa solussaan. Näiden koneiden läheisyyteen voidaan tulevaisuudessa siirtää lasikuulapuhalluskone ja uusi pesukone, mikä mahdollistaa imuyhteiden ja hitsattavien liittimien valmistamisen yhdessä tiiviissä solussa. Liittimet ja imuyhteet voidaan pestä omalla pesukoneella eikä niitä tarvitse pestä sylinterikokoonpanon pesukoneessa, kuten tällä hetkellä.

Alkuperäisessä layout-ehdotuksessa sylinterituotantoon suunniteltu NC-sorvi 16 päätettiin siirtää lopullisessa layout-versiossa liitintuotannon puolelle. Tällä sorvilla valmistetaan yksittäisiä liittimiä ja erikoisosia, joiden valmistaminen muilla liitintuotannon koneilla ei ole kustannustehokasta. NC-sorvin siirtämisestä johtuen sylinteriputken hitsausviisteet valmistetaan lopullisessa layout-versiossa kärkisorvilla 17, joka sijoitetaan sahauspisteen 18 välittämään läheisyyteen. Hitsausviisteiden työstäminen kärkisorvilla vaatii työntekijältä kokemusta, jotta hitsausviisteet ovat keskenään samanlaisia. Jyväskylän tehtaan lopullinen layout on esitetty liitteessä 4.

Lopullisessa layout-versiossa on merkitty työpisteiden välille keskeneräiselle tuotannolle tarkoitettut alueet. Alueet mitoitetaan siten, että niille mahtuu tietty määrä kär-

ryjä, joissa keskeneräistä tuotantoa säilytetään. Jos työpisteiden välinen alue on täynnä, on se merkki siitä, että seuraavalla työpisteellä on ongelmia. Tällöin työntekijän on mentävä auttamaan muita työvaiheita. Näin vältetään ylimääräisen keskeneräisen tuotannon syntymiseltä.

Keskeneräisen tuotannon säilytysalueet mitoitetaan 3–5 tilauksen maksimimäärälle. Alueet merkitään keltaisella maalilla tai teipillä lattiaan. Merkinnällä varmistetaan, että tilaukset pysyvät niille tarkoitetuilla paikoilla. Jokaisella työvaiheella on kaksi aluetta, joissa on keskeneräistä tuotantoa. Toisella alueella on työpisteelle tulevat ja toisella alueella sieltä valmistuneet tilaukset. Näin jokainen työpiste tietää mistä löytää seuraavan tilauksen. Tällä uudistuksella saadaan tehostettua sylinterituotannon virtausta ja helpotetaan tuotannonohjausta. Tuotannosuunnittelijan on helppo havaita, missä kohdassa on suurin KET:n varasto ja minne tarvitaan lisää tilauksia. Samalla tilausten etsimiseen kuluva aika pienenee.

Tulevassa sylinterituotannossa pisimmät työvaiheet arvioidaan olevan sylinteriputkien sorvauksessa, hitsauksessa ja kokoonpanossa. Näille työvaiheille varmistetaan töiden riittävyys keskeneräisen tuotannon säilytysalueilla. Muut työntekijät auttavat tarvittaessa pitkiä työvaiheita, jos he havaitsevat KET-alueen täytyneen. Männänvarsilla ja sylinteriputkilla on erilliset KET:n säilytysalueet. Tämä helpottaa tuotannonohjausta ja tilausten etenemistä sylinterivalmistuksessa.

Layout-muutoksen yhteydessä työpisteet siistitään ylimääräisestä ja käyttämättömästä tavarasta. Työkalut merkitään punaisilla, keltaisilla ja vihreillä teipeillä. Vioittuneiden ja rikkiäisten työkalujen tilalle on hankittava uudet ja vanhat on heitettävä pois. Punaiset työkalut ovat työpisteisiin kuulumattomia ja ne siirretään työpisteistä pois. Keltaset työkalut ovat harvoin käytettyjä työkaluja ja ne siirretään työkalukaappeihin ja niiden paikat merkitään. Vihreille työkaluille tehdään omat paikat työpisteen välittömään läheisyyteen siten, että niitä voidaan käyttää ilman ylimääräistä hakemista. Jos työkalua ei käytetä, sitä säilytetään omalla paikallaan. Kun työpisteet on järjestetty, tehdään jokaiselle työpisteelle työöhjeet. Työöhjeet kattavat käytettävät työkalut, niiden paikat ja töiden tekojärjestyksen. Vakioinnilla tehostetaan työn tekemistä ja vähennetään ylimääräistä työtä eli hukkaa. Tarkat työöhjeet parantavat myös tuotannon laatua. Tulevaisuudessa työpisteiden siisteyden on kiinnitettävä enemmän huomiota. Tällöin turvallisuus paranee ja työkalut pysyvät omilla paikoillaan.

5.2 Työvaiheiden läpimenoaikojen tasoittaminen

Yksinään sylinterituotannon uusi layout ei riitä tehostamaan sylinterituotantoa. Uudessa layoutissa työpisteet on sijoiteltu työprosessin mukaiseen järjestykseen. Tällä mahdollistetaan tuotannon tasainen materiaalivirta, mutta se ei toimi, jos työvaiheiden läpimenoajat vaihtelevat suuresti. Jotta sylinterituotannosta saadaan virtaukseltaan tasainen, on työvaiheiden läpimenoaikojen oltava lähellä toisiaan. Tällöin tuotannossa ei tarvita suuria puskurivarastoja työvaiheiden välillä ja tuotannosta tulee kevyempi sekä tasaisempi.

Yksi sylinterituotannon ongelmista tällä hetkellä on työvaiheiden välisten läpimenoaikojen suuri vaihtelu. Suuret erot läpimenoajoissa aiheuttaa puskurivarastojen syntymistä työvaiheiden välille ja samalla tuotannon virtaus heikkenee. Työvaiheiden välisiä läpimenoaikaeroja saadaan tasoitettua, kun jaetaan pisimmän työvaiheen töitä muille lyhyemmille työvaiheille. Sahaus on muihin työpisteisiin nähden lyhyt työvaihe, joten hitsausviiste voidaan sorvata sahauksen kanssa samassa työvaiheessa. Tämä muutos parantaa tuotannon materiaalivirtaa, sillä sylinteriputkea ei tarvitse kiinnittää samaan NC-sorviin kahta kertaa ja materiaalin edestakainen siirtely vähenee. Uudessa työpisteiden ryhmittelyssä männänvarren ja sylinteriputken sorvaus suoritetaan eri työvaiheissa. Työpisteiden uudelleen ryhmittely ja niiden läpimenoajat kolmelle eri eräkoolle on esitetty taulukossa 5.3.

Taulukko 5.3. *Sylinterituotannon työpisteiden uudelleen järjestely ja läpimenoajat 5, 10 ja 20 kappaleen erille.*

Työvaihe	Läpimenoaika 5 kpl eräkoolle [min/sylinteri]	Läpimenoaika 10 kpl eräkoolle [min/sylinteri]	Läpimenoaika 20 kpl eräkoolle [min/sylinteri]
Sahaus Hitsausviisteen sorvaus	13,1	9,5	6,3
Liitinnipan hitsaus Putken sorvaus	14,3	9,9	6,4
Varren sorvaus	12,2	9,2	5,1
Hitsaus	12,7	11	8,3
Poraus	8,7	7,3	5,4
Kokoonpano	13,4	10,5	9,1

Kuten taulukosta 5.3 nähdään, työpisteiden väliset vaiheajat ovat tasoittuneet huomattavasti verrattuna alkuperäiseen tilanteeseen (ks. taulukko 4.1). Työpisteiden uudelleen järjestelyllä saadaan läpimenoajat hyvin lähelle toisiaan, mutta yhä edelleen läpimenoajoista voidaan havaita selviä pullonkaulakohtia. Pullonkaulakohtia ovat kokoonpano, hitsaus ja sylinteriputken sorvaus. Suurimpana ongelmana taulukon 5.3 ja haastattelujen perusteella voidaan pitää hitsausta ja kokoonpanoa. Kokoonpano on jo tällä hetkellä varsin suuresti kuormitettu ja uudella työpisteiden järjestelyllä tuotantolinjan tahti-aikaa saadaan huomattavasti tehostettua. Tämä lisää kokoonpanon kuormitusta entisestään ja siksi uudelleen järjestelyn yhteydessä pyritään kiinnittämään huomiota kokoonpanon toiminnan tehostamiseen.

Työpisteiden uudelleen järjestely tulee näkymään myös hitsauksen työmäärässä. Uudessa järjestyksessä männänvarret ja sylinteriputket valmistetaan eri työpisteissä,

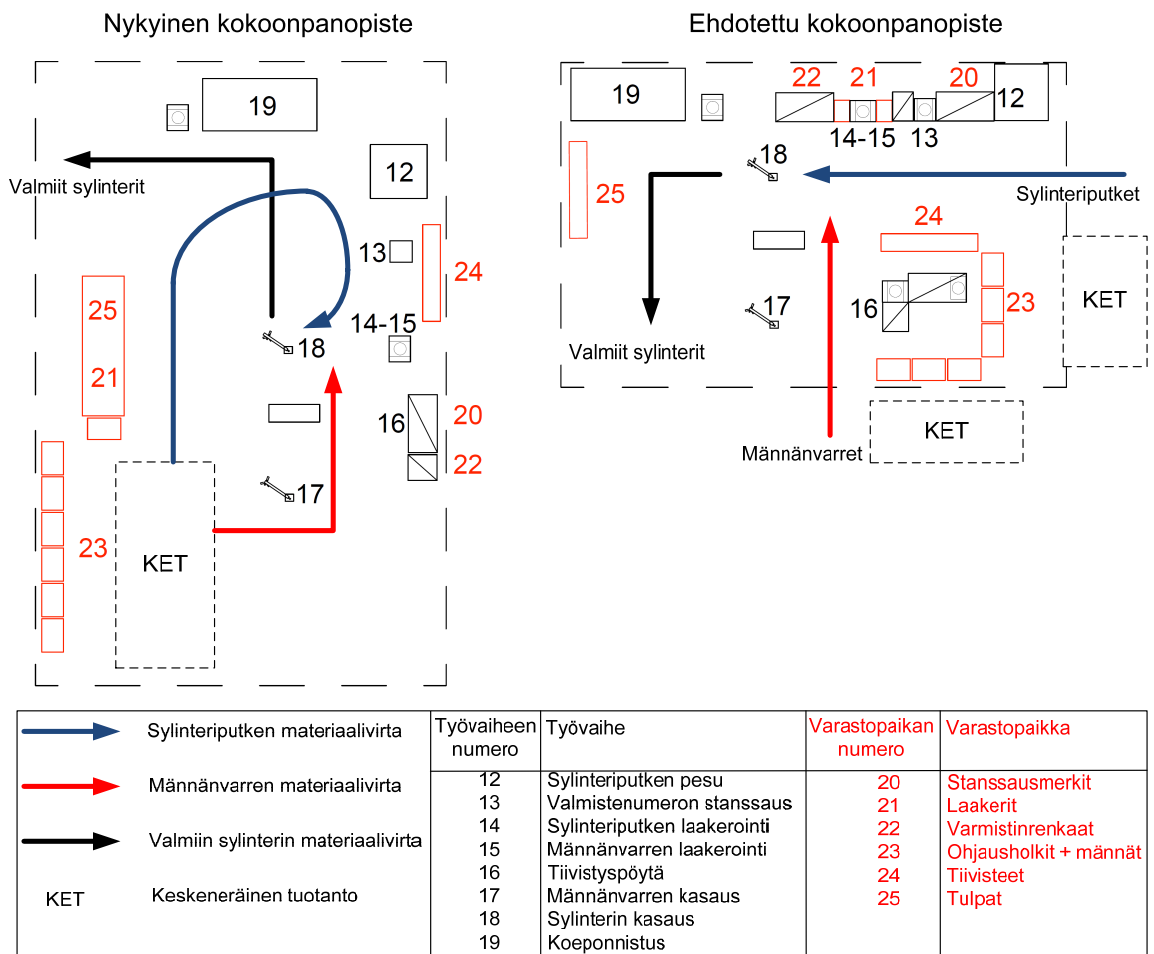
joka kasvattaa hitsauksen työmäärä, kun tilauksia saadaan nopeammassa rytmissä sorvauksen läpi. Hitsauksen kapasiteettia saadaan nostettua, kun sylinterivalmistukseen hankitaan uusi hitsauskone. Vanha hitsauskone siirretään liitinpuolelle, jolloin liittimien hitsaus ei pysäytä sylintereiden hitsausta. Uudella hitsauskoneella parannetaan myös sylinterituotannon materiaalivirtaa, kun liittimiä ei tarvitse enää kuljettaa sylinterihitsauspisteeseen hitsausta varten.

Työpisteiden uudelleen ryhmittelyllä saadaan niiden läpimenoajat tasoittumaan. Läpimenoaikojen tasoittuminen parantaa sylinterituotannon virtausta ja vähentää puskurivarastoja työvaiheiden välillä. Läpimenoaikojen tasoittaminen mahdollistaa sylinterituotannon jatkuvan materiaalivirtauksen ilman ylimääräisiä odotuksia ja puskurivarastoja vaiheiden välillä.

5.3 Ei-jalostavan ajan lyhentäminen

Sylinterituotannossa esiintyy paljon ei-jalostavaa työtä, joka hidastaa sylinterivalmistusta ja rajoittaa eräkoon pienentämistä. Sorvauksessa ei jalostavaa aikaa lisää pitkät ja työläät asetusajat. Sylinterikokoonpanossa ei-jalostavaa työtä lisää varastojen ja työkalujen huono sijoittelu. Tässä luvussa sylinterikokoonpanolle suunnitellaan uusi järjestys, joka vähentää kokoonpanijan ei-jalostavaa työtä. Tämän lisäksi sorvauksen pitkiä asetusajoja lyhennetään töiden uudelleen järjestelyllä.

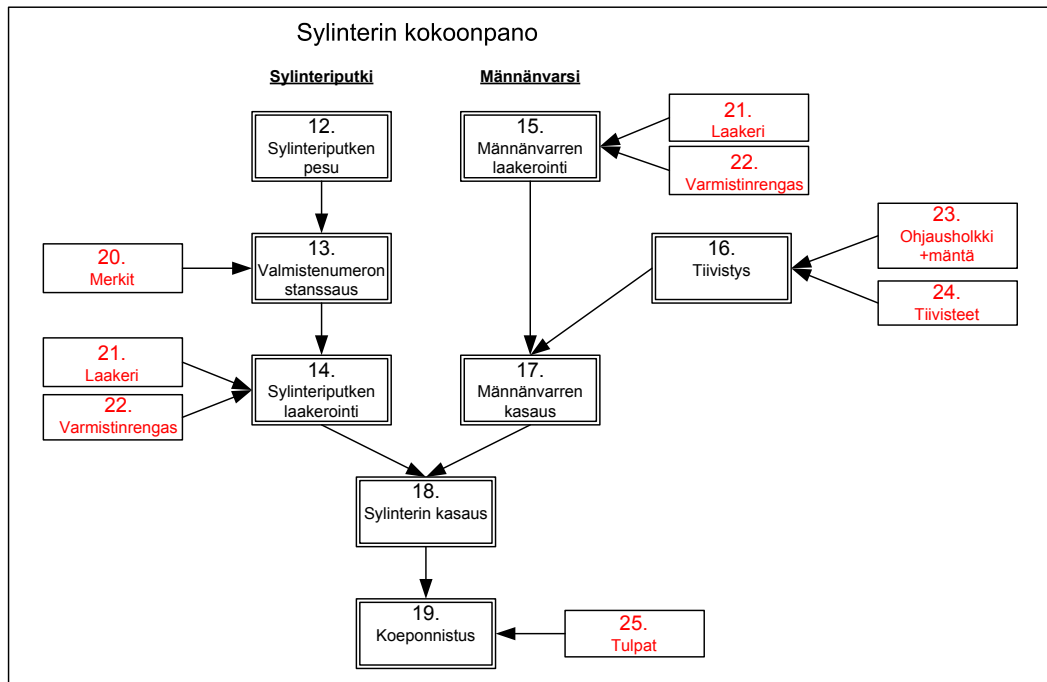
Nykyisessä sylinterikokoonpanopisteessä työpisteet ovat kaukana toisistaan ja niiden järjestys on huono. Lisäksi komponenttien varastointipaikat ovat kaukana työpisteistä. Tämä lisää kokoonpanon läpimenoaikaa. Sylinterituotannon uudessa layoutissa kokoonpanon työpisteet järjestetään työprosessin mukaiseen järjestykseen ja niiden etäisyyksiä lyhennetään. Jokaisessa työpisteessä tarvittavat varaosat ja työkalut ovat lähellä työpistettä. Kaikilla työkaluilla on omat paikat työpisteessä, eikä niiden etsimiseen kulu aikaa. Näillä toimenpiteillä on merkittävä vaikutus ei-jalostavaan aikaan. Sylinterikokoonpanon uusi ja nykyinen järjestys on esitetty kuvassa 5.6.



Kuva 5.6. Nykyinen ja ehdotettu sylinterikokoonpanopiste.

Sylinterikokoonpanon uudella järjestyksellä materiaalivirrat selkeytyvät ja materiaalien edestakaiselta siirtelyltä vältetään. Kokoonpanossa ei-jalostavan ajan nopeutumista arvioidaan työpisteiden ja varastopaikkojen välisillä etäisyyksillä, jotka lyhenevät huomattavasti uudessa järjestyksessä. Kuvassa 5.6 työpisteet on merkitty mustalla ja varastopaikat punaisella värillä. Kuvaan on merkitty myös männänvarsien ja sylinteriputkien materiaalivirrat sylinterikokoonpanossa.

Materiaalivirtojen tarkempi kuvaus on esitetty kuvassa 5.7, johon on merkitty sylinterikokoonpanon työjärjestys ja jokaisessa työpisteessä tarvittavat varaosat. Työpisteiden väliset etäisyydet nykyisessä ja uudessa sylinterikokoonpanopisteessä on kirjattu taulukkoon 5.4. Taulukossa on eritelty työpisteiden väliset etäisyydet mustalla värillä sekä työpisteiden ja varastopaikkojen väliset etäisyydet punaisella värillä.



Kuva 5.7. Sylinterikokoonpanon materiaalivirta.

Taulukko 5.4. Työpisteiden ja varastojen väliset etäisyydet nykyisessä ja ehdotetussa kokoonpanopisteessä.

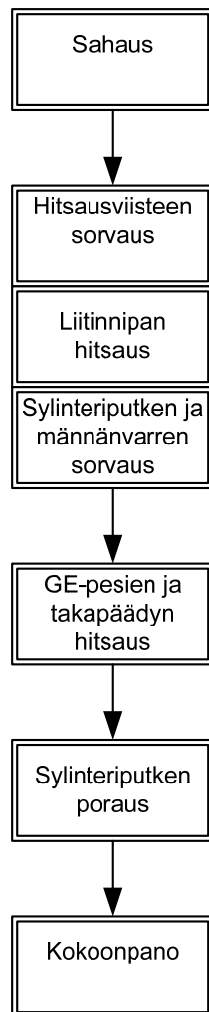
Siirtymä työpisteiden ja varastopaikkojen välillä		Nykyinen kokoonpanopiste [m]		Ehdotettu kokoonpanopiste [m]	
12–13	20–13	3	5,4	3,3	2
13–14	21–14	3,1	6,7	2,1	0,9
14–18	22–14	2,7	3	5,5	2,5
15–17	21–15	2,7	6,7	2,2	0,9
16–17	22–15	4,1	3	2,9	2,5
17–18	23–16	3,6	8,8	3,6	1,4
18–19	24–16	7,9	5,8	2,3	1,3
	25–19		7,2		3,8
YHT		27,1	46,6	21,9	15,3
		73,7		37,2	

Taulukossa 5.4 mustalla esitetyt siirtymät ovat työpisteiden välisiä etäisyyksiä ja punaisella värillä esitetyt siirtymät ovat varastopaikan ja työpisteen välisiä etäisyyksiä. Jokainen yksittäinen siirtymä on esitetty tarkemmin kuvassa 5.7. Uudella sylinterikokoonpanon järjestyksellä työpisteiden väliset etäisyydet lyhenevät noin 19 prosenttia sekä varastopaikkojen ja työpisteiden väliset etäisyydet noin 67 prosenttia. Sylinterikokoonpanon ei-jalostava aika lyhenee, kun varastopaikat sijoitetaan työpisteiden läheisyyteen. Tämä mahdollistaa pienien erien nopean valmistamisen uudessa kokoonpanopisteessä. Taulukossa 5.5 on esitetty sylinterikokoonpanon uudet läpimenoajat, joissa on huomioitu kokoonpanon lyhentynyt ei-jalostava aika. Vanhat läpimenoajat on esitetty kaarisulkeissa.

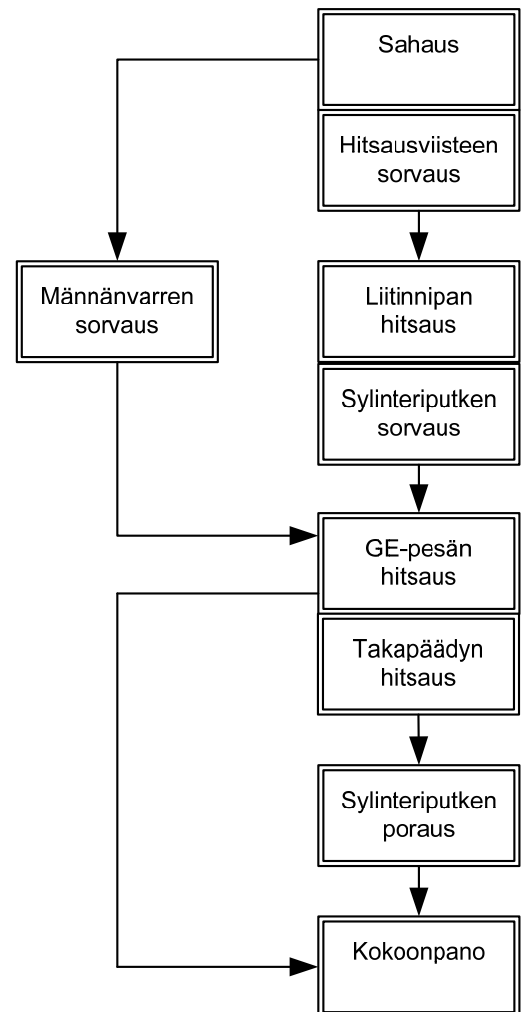
Pitkät asetusajat pakottavat tuotannon valmistamaan tuotteita suurissa erissä. Pienen erien valmistaminen ei ole kustannustehokasta, kun aika kuluu koneiden asetusten tekemiseen. Sylinterituotannossa eräkoot vaihtelevat suuresti. Työvaiheiden välille joudutaan tekemään puskurivarastoja, jotta kaikille työvaiheille riittää töitä. Isoissa erissä pitkät asetusajat eivät haittaa, sillä asetukset tehdään vain kerran yhtä tilausta kohti. Pienien erien valmistaminen sen sijaan on hidasta ja kustannuksiltaan kallista. Asetusaikoja voidaan lyhentää yksinkertaisilla toimenpiteillä, jolloin pienempien erien valmistaminen on linjassa mahdollista ja kannattavaa.

Kuvassa 5.8 on esitetty sylinterivalmistuksen työjärjestys ja materiaalikulku nykyisessä ja uudessa järjestyksessä. Työvaiheet on ryhmitelty samalla tavalla kuin taulukossa 5.3. Uudessa työjärjestyksessä männänvarren sorvaus tehdään kokonaan toisella NC-sorvilla, joka selventää materiaalinkulkua tehtaassa ja lyhentää sorvien asetusajoja.

Sylinterivalmistuksen nykyinen työjärjestys



Sylinterivalmistuksen uusi työjärjestys



Kuva 5.8. Sylinterivalmistuksen nykyinen ja uusi työjärjestys.

Männänvarren ja sylinteriputken sorvaaminen eri NC-sorveilla nopeuttaa sorvien asetusaikoja, sillä sorvien kiinnitinleukoja ei tarvitse vaihtaa jokaisen erän välissä. Tällä on vaikutusta varsinkin pienien erien valmistuksessa, jolloin asetuksia joudutaan tekemään useasti. Kiinnitinleuan vaihtoon kuluva aika on otettu huomioon taulukon 5.5 esitetyissä läpimenoajoissa. Asetusajan lyhentyminen tasaa läpimenoaika sorvauksen osalta, mutta edelleen pienillä erillä sylinteriputkien sorvaus on pisin työvaihe ja näin se rajoittaa eräkoon pienentämistä.

Taulukko 5.5. *Sylinterituotannon työvaiheiden läpimenoajat 5, 10 ja 20 kappaleen erille, joissa on otettu huomioon ei-jalostavan ajan lyheneminen kokoonpanossa ja sorvauksessa. Vanhat läpimenoajat ovat sulkeissa.*

Työvaihe	Läpimenoaika 5 kpl eräkoolle [min/sylinteri]	Läpimenoaika 10 kpl eräkoolle [min/sylinteri]	Läpimenoaika 20 kpl eräkoolle [min/sylinteri]
Sahaus Hitsausviiste	13,1	9,5	6,3
Liitinnipan hitsaus Putken sorvaus	13,6 (14,6)	9,5 (9,9)	6,2 (6,4)
Varren sorvaus	11,2	8,7	4,6
Hitsaus	12,7	11	8,3
Poraus	8,7	7,3	5,4
Kokoonpano	11,7 (13,4)	10,2 (10,5)	9,1

Ei-jalostavan ajan lyhentäminen on tärkeää, kun tuotannon eräkokoja pienennetään. Sylinterituotannossa ei-jalostavaa aikaa saadaan lyhennettyä sorvauksessa ja kokoonpanossa. Ei-jalostavaa aikaa on mahdollista lyhentää edelleen töiden vakioinnilla ja työkalujen sekä työpisteiden paremmalla järjestyksellä. Kun ei-jalostavaan aikaan puututaan, on mahdollista löytää lisää sitä lyhentäviä tekijöitä. Sorvauksessa asetusaikojen lyhentämistä rajoittavat NC-sorvien ominaisuudet, jotka vaativat tarkkoja asetuksia. Sorvauksen pitkiä asetusaikoja saadaan lyhennettyä pikakiinnittimillä, työkalujen paremmalla järjestyksellä ja töiden vakioinnilla.

5.4 Eräkokojen rajoittaminen

Eräkoon pienentäminen on yksi avaintekijöistä, kun pyritään tuotannon lyhyeen läpimenoaikaan. Samalla, kun eräkoot pienenevät, lisätään tuotannon joustavuutta ja tehokkuutta. Tällä hetkellä sylinterituotannossa suurin syy työpisteiden läpimenoaikojen vaihteluun on eräkokojen vaihtelu. Sylinterivalmistuksessa voidaan valmistaa tilauksia,

joiden eräkkö vaihtelee yhdestä jopa sataan sylinteriin. Tämä aiheuttaa luonnollisesti huomattavan vaihtelun työpisteiden läpimenoajoissa. Yhden sylinterin tekemiseen kuluva aika vaihtelee työpistekohtaisesti 15 minuutin ja 30 minuutin välillä. Sadan sylinterin tilaus läpäisee yhden työpisteen noin puolessatoista päivässä. Näin ollen eräkköjen suuruus aiheuttaa suurimmillaan puolentoista päivän vaihtelun yhden työpisteen läpimenoajassa. Jotta kaikilla työpisteillä riittää töitä, on työpisteiden välissä oltava suuret puskurivarastot.

Eräkköjen vaihtelua on sylinterivalmistuksessa pienennettävä, jotta samassa linjassa voidaan valmistaa kustannustehokkaasti erikokoisia tilauseriä. Asetusaikojen lyhentäminen ja työpisteiden välisten läpimenoaikojen tasoittuminen mahdollistaa eräkköjen pienentämisen ilman kustannusten suurta nousua. Ensimmäisessä vaiheessa kuljetuserien maksimi rajoitetaan 20 sylinteriin. Jos asiakas tilaa sitä suuremman erän, jaetaan se useampaan pienempään erään. Pienet erät valmistetaan ensimmäisessä vaiheessa peräkkäin, jotta kaikki tilauksen sylinterit voidaan tehdä samoilla asetuksilla. Kun työpiste on saanut ensimmäiset 20 sylinteriä valmiiksi, siirretään ne seuraavan työpisteen läheisyyteen. Näin ollen seuraava työpiste voi aloittaa suuren erän valmistamisen huomattavasti aikaisemmin alkuperäiseen tilanteeseen nähden ja puskurivaraston tarve työpisteiden välillä vähenee.

Seuraavassa vaiheessa voidaan myös valmistuserien kokoa rajoittaa. Valmistuserien rajoittaminen lisää asetusten tekemistä työpisteillä, jolloin niihin kiinnitetään enemmän huomiota. Nykyisessä tuotannossa työntekijät ovat tottuneet pitkiin asetusaikeihin eikä niiden lyhentämiseen osoiteta mielenkiintoa. Suhtautuminen asetusaikeiden tärkeyteen muuttuu, kun eräkköt pienenevät ja asetuksia joudutaan tekemään useammin. Sylinterivalmistuksen hyvä ja tasainen virtaus saavutetaan, kun eräkköt pysyvät tasaisena. Pienellä eräkköllä mahdollistetaan sylinterivalmistamisen hyvä ja tasainen virtaus, jolloin myös valmistuksen läpimenoaika lyhenee. Kun asetusaikeja saadaan entisestään lyhennettyä, voidaan eräkköä rajoittaa esimerkiksi 10 tai 5 kappaleeseen.

5.5 Tuotannonohjaus

Nykyisessä Jyväskylän tehtaassa tuotannonohjaus on haasteellista. Ohjattavia työpisteitä on paljon ja töitä joudutaan usein priorisoimaan työpisteille. Valmistustietojen ylläpitäminen on hankalaa ja tilausten reaaliaikainen seuraaminen työlästä. Töitä ei ohjata aloituksen jälkeen vaan työt etenevät omalla painollaan valmistuksen läpi. Vasta työn myöhästyminen havahduttaa ohjaamaan töitä eteenpäin. Toinen tuotannonohjausta vaikeuttava asia on Jyväskylän tehtaassa koostuminen kahdesta eri tuotannosta. Liitin- ja sylinterituotannolla on eri työnjohtajat ja omat tuotannonohjauksesta vastuulliset henkilöt. Tuotannonohjauksesta tekee haasteellisen, kun kahden eri tuotannon tuotteita valmistetaan samojen työvaiheiden avulla. Tällöin joudutaan priorisoimaan töitä työpisteillä ja toisen tuotannon työt joutuvat odottamaan.

Tuotannonohjausta helpottaa tehtaassa uusi layout, jossa kaksi eri tuotantoa on erotettu kokonaan toisistaan. Tällöin työpisteillä ei tarvitse priorisoida kahden eri tuotannon

töitä. Työpisteillä voidaan keskittyä yhden tuotannon töiden valmistamiseen oikeassa järjestyksessä. Sylinterituotannon valmistusjärjestys määritetään ensimmäisessä työpisteessä eli sahauksessa. Sahauksen jälkeen työt etenevät linjamaisesti jokaisen työvaiheen lävitse. Työpisteillä on selvä käsitys siitä, mitä tilausta valmistetaan ja missä järjestyksessä. Tämä helpottaa tuotannonohjauksen tehtäviä, kun töitä ei tarvitse ohjata työpisteeltä toiselle ja niiden järjestystä kertoa jokaiselle työpisteelle erikseen. Kiireellisille tilauksille voidaan kehittää selvä visuaalinen merkintätapa, jolla erotetaan se muista tilauksista. Merkintä voi olla vaikka punainen kortti, joka erottaa sen muista tilauksista. Jokainen työpiste tietää ottaa kiireellisen tilauksen ennen muita eikä siitä tarvitse erikseen mainita jokaiselle työpisteelle. Sylinterituotannonohjaus helpottuu, koska työvaiheet saavat enemmän vastuuta työjärjestyksestä ja töiden valmistumisesta ajallaan.

Sylinterituotannon kehitysehdotuksilla on suoranainen vaikutus myös tuotannonohjaukseen. Valmistuksen läpimenoajan lyhentymisen ja virtautettu tuotanto helpottavat tuotannon suunnittelijan työtä. Kun keskeneräisen tuotannon määrä pienenee, on tilausten reaaliaikainen seuraaminen entistä helpompaa. Selkeä valmistusjärjestys parantaa tuotannonohjausta ja tilausten valmistuminen voidaan arvioida tarkemmin. KET:n säilytysalueet helpottavat tuotannosuunnittelijan työtä. Niiden avulla tuotannosuunnittelija voi analysoida sylinterituotannon tilanteen yhdellä silmäyksellä. Jos KET:n säilytysalue on täynnä, on seuraava työvaihe ylikuormitettu ja se tarvitsee mahdollisesti lisäresursseja. Sen sijaan tyhjä säilytyspaikka kertoo nopeasti toimivasta työvaiheesta ja sen työntekijä voi auttaa toisia työvaiheita. Tuotannon ongelmat voidaan havaita ja niihin reagoiminen nopeutuu. Tällä on suoranainen vaikutus sylinterituotannon virtaukseen ja läpimenoaikaan, koska materiaalivirta pysyy tasaisena ja mahdollisiin kapeikkokohtiin päästään reagoimaan nopeasti.

6 HYTAR OY:N VALMISTAMA VOIMASYLINDERI

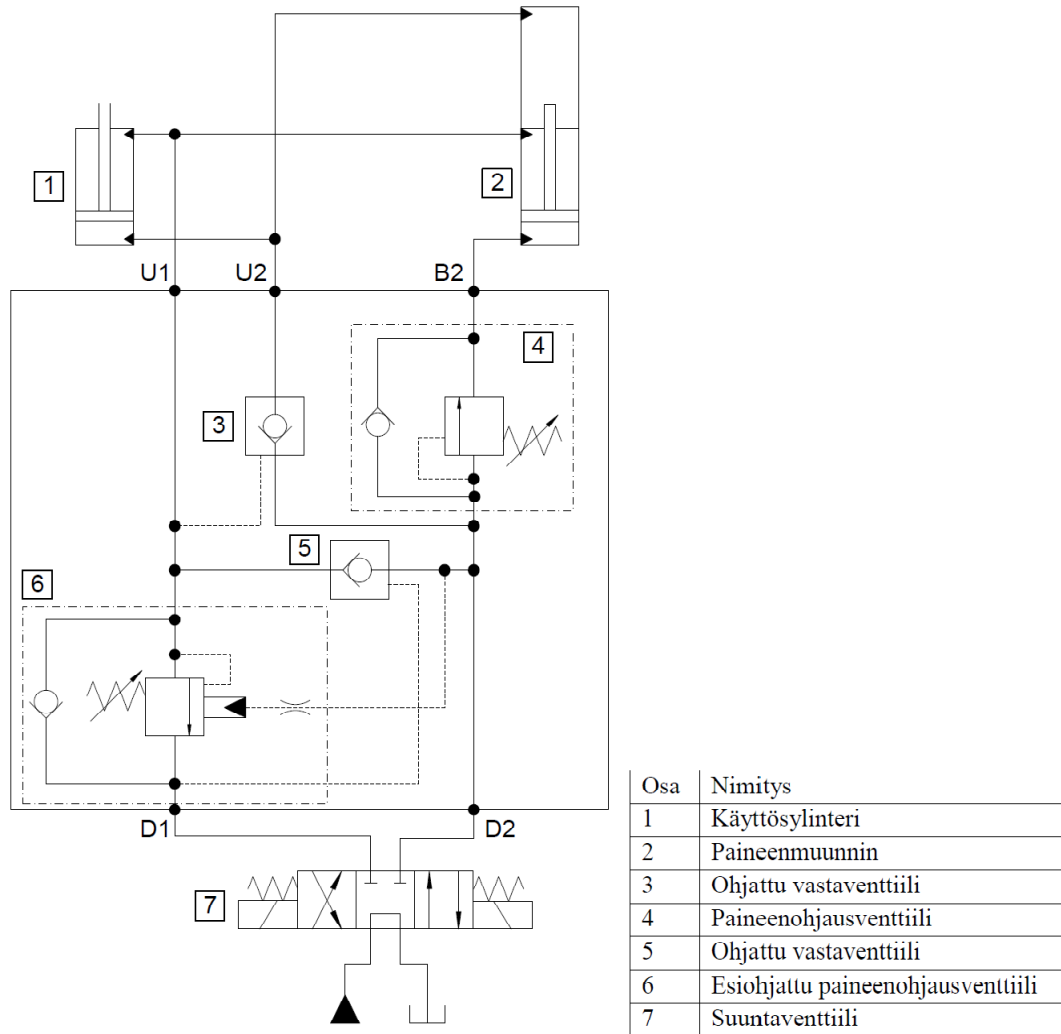
Voimasyylinteri on Hytar Oy:n patentoima sylinteri, jossa käyttösylinterin yhteyteen asennetaan paineenmuunnin ja sitä ohjaava venttiiliyksikkö. Voimasyylinterin virallinen nimi on Hytar Double Force Cylinder eli HDFC. HDFC voidaan asentaa moniin eri käyttösovelluksiin, joissa vaaditaan suuria voimia ja nopea lähestymisliike. HDFC:ssä on kolme eri nopeusaluetta: pikaliike, perusliike ja vahvistettuliike. Jokaisella liikealueella saavutetaan eri nopeudet ja erisuuruinen käyttösylinterin voima. (Pat. FI 20095655)

Tässä luvussa tutustutaan tarkemmin HDFC:hen ja sen ominaisuuksiin. Aluksi perehdytään HDFC:n rakenteeseen ja sen toimintaan. Tämän jälkeen tutustutaan kahteen sen käyttösovellukseen ja verrataan saavutettavia ominaisuuksia tavalliseen järjestelmään. Lopuksi pohditaan HDFC:n kehityskohteita ja tulevaisuuden näkymiä.

6.1 Rakenne ja toiminta

HDFC:ssä on kolme erilaista nopeusaluetta, joita ohjataan paineohjatulla venttiiliyksiköllä. Jokaisella nopeusalueella saavutetaan eri liikenopeudet ja voimat. Näin pienellä sylinterillä saavutetaan sekä suuri voima että nopea liike. HDFC:n hydraulikaavio on esitetty kuvassa 6.1. Käyttösylinteri on esitetty kuvassa vasemmalla ylhäällä ja paineenmuunnin oikealla. Sylinterin liiketiloja vaihdellaan venttiiliyksiköllä, joka vaihtaa automaattisesti tilaansa paineen muuttuessa. Kuvassa alhaalla on suuntaventtiili, jolla vaihdetaan käyttösylinterin suuntaa.

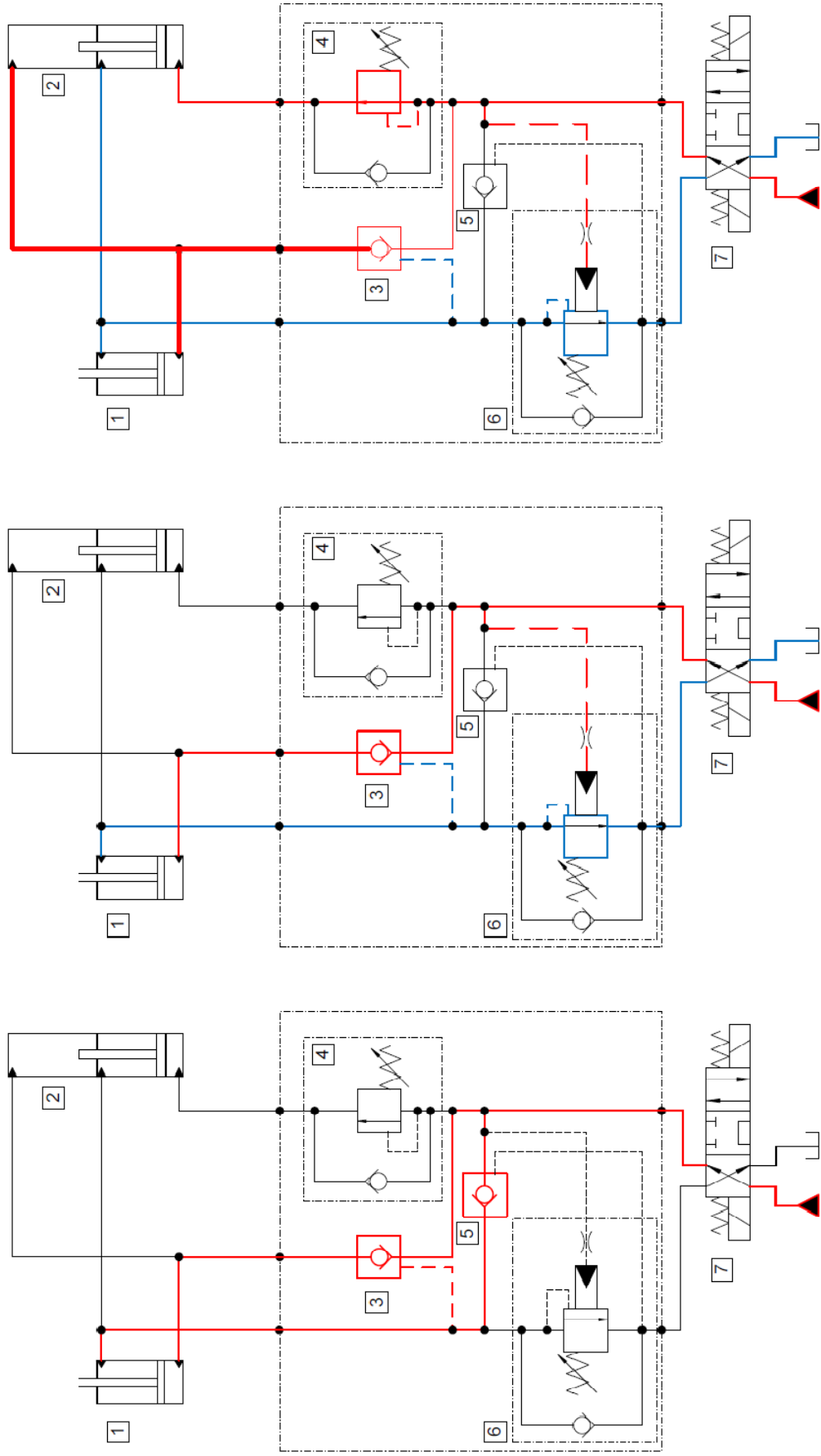
Venttiililohkoon on sijoitettu liikenopeuksien ohjaukseen tarkoitetut venttiilit. Venttiilit toimivat paineohjauksella ja muuttavat tilaansa automaattisesti painetason muuttuessa. Venttiiliyksikössä on kaksi ohjattua vastaventtiiliä ja kaksi paineohjausventtiiliä, joista toinen on esiohjattu. Paineenmuunnin on epäsymmetrinen hydraulisyylinteri, joka vahvistaa paineen pinta-ala suhteiden mukaisesti. Hydraulisyylinteri on asennettu sylinteriputken sisälle, jolloin männänvarsi ei tule putkesta ulos, vaan se liikkuu putken sisällä. Paineenmuuntimen männänvarren puoleinen kammio toimii uppomäntäsyylinterin tavoin. Kyseinen paineenmuuntimen rakenne on esitetty kuvassa 3.7d. Kaksitoiminen käyttösylinteri on epäsymmetrinen hydraulisyylinteri, jolla tuotetaan voimaa ja liikettä.



Kuva 6.1. HDFC:n hydraulikaavio ja osaluettelo. (Pat. FI20095655, Laatikainen 2011)

Kuvassa 6.1 HDFC on asennettu järjestelmään, jossa toimilaitteena on yksi hydraulisylinteri, jonka liikesuuntia ohjataan 4/3 suuntaventtiilillä. HDFC voidaan asentaa myös monimutkaisempaan sovellukseen, jossa toimilaitteita on useampia. Asennusta helpottaa venttiiliyksikön ja paineenmuuntimen kompakti koko ja kytkennän helppous. Venttiiliyksikkö on täysin paineohjattu, jonka vuoksi se ei tarvitse sähköistä ohjaussignaalia. HDFC voidaan asentaa toimilaitteen, jonka käyttöpainetta halutaan kasvattaa, ja sitä ohjaavan venttiilin väliin ilman monimutkaisia ohjaussignaaleja.

HDFC:n nopeusalueet muuttuvat automaattisesti paineen noustessa. Sylinterin pikaliike toteutetaan ohjatuilla vastaventtiileillä ja differentiaalikytkennällä, kuten kuvasta 6.2a nähdään. Differentiaalikytkennässä käyttösylinterin männänvarrenpuoleinen öljy johdetaan takaisin männänpuolelle. Näin tilavuusvirta kasvaa ja sylinterin liike nopeutuu. Kun paine ylittää paineenohjausventtiilin 6 raja-arvon, venttiili avautuu ja sylinterin paluuvirtaus johdetaan venttiilin kautta säiliöön. Tällöin sylinteri on normaaliliikkeessä. Öljyn kierto normaaliliikkeessä on esitetty kuvassa 6.2b. Normaaliliikkeessä sylinterin liikenopeus hidastuu, mutta sylinterillä saavutetaan suurempi voima kuin pikaliikekytkennällä.



c. Vahvistettu liike

b. Normaaliike

a. Pikaliike

Kuva 6.2. HDFC:n öljyn kierto eri liikenopeuksilla.

Paineen noustessa paineenohjausventtiilin 4 raja-arvon suuruiseksi, avautuu venttiili, ja öljy virtaa painemuuntimen männän puoleiseen kammioon. Tällöin järjestelmä on vahvistetussa liikkeessä. Vahvistetun liikkeen öljyn kierto on esitetty kuvassa 6.2c. Vahvistetussa liikkeessä paineenmuunnin ja käyttösylinteri toimivat sarjassa. Paineenmuunnin kasvattaa käyttösylinterin painetasoa, jolloin saavutetaan suurempi voima kuin muilla liikenopeuksilla. Vastaventtiili 3 sulkee öljyn virtaamisen suoraan käyttösylinterille.

Paineenmuuntimella saadaan kasvatettua käyttösylinterin painetta ilman, että koko järjestelmän painetasoa tarvitsee nostaa. Tällöin järjestelmän häviöteho saadaan pidettyä pienenä. Käyttösylinterillä saavutetaan nopea lähestymisliike ja suuri voima painemuuntimen ansiosta. HDFC on kaiken lisäksi täysin paineohjattu, jolloin ohjaukseen ei tarvita ylimääräisiä kaapelointeja.

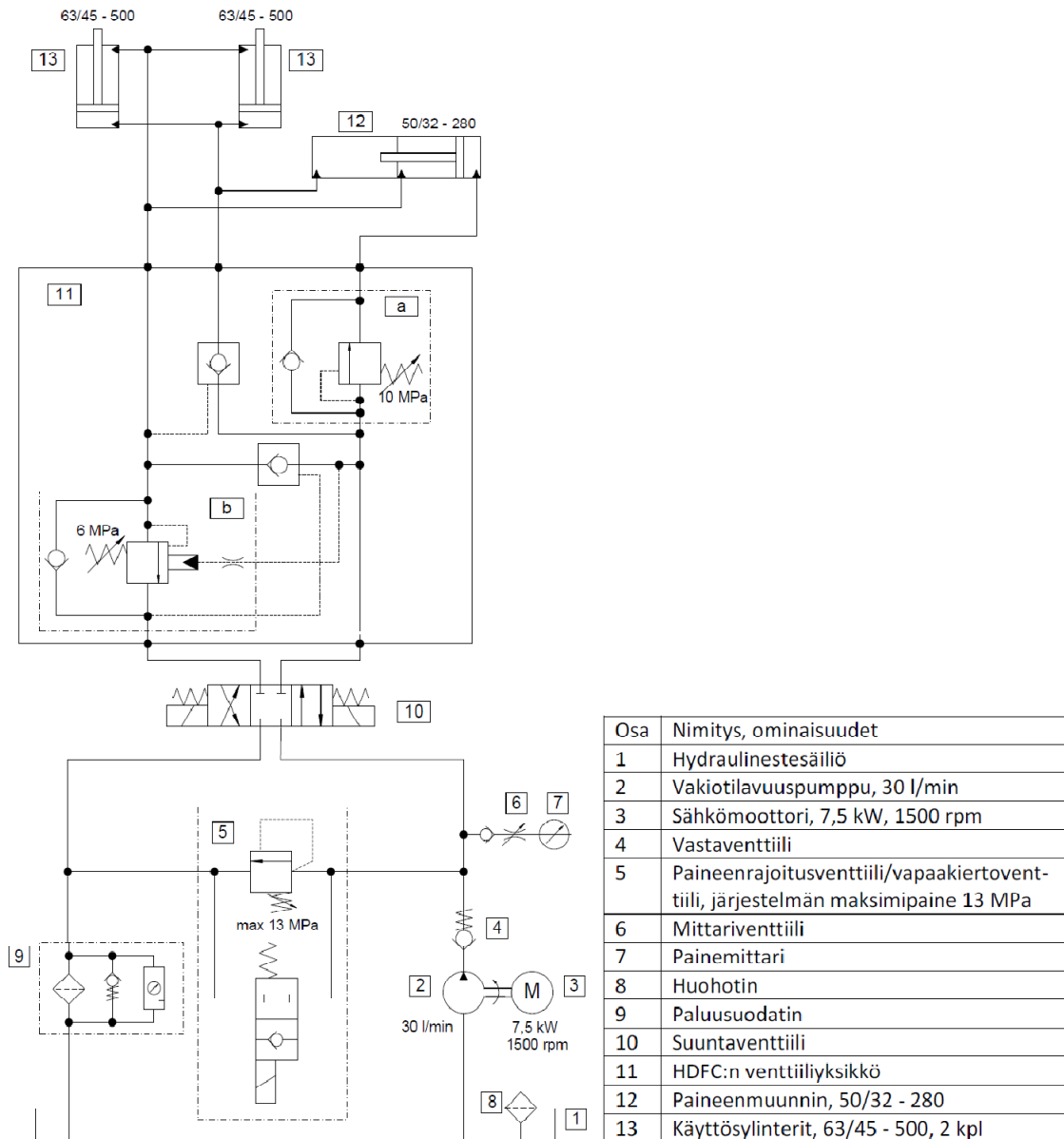
6.2 Voimasyylinterin käyttösovellukset

HDFC soveltuu käytettäväksi moniin erilaisiin sovelluksiin, joissa sylinteriltä vaaditaan nopea lähestymisliike ja suuri voima. Sylinteri on rakenteeltaan yksinkertainen ja se on helppo asentaa erilaisiin käyttösovelluksiin. Paineenmuunnin voidaan asentaa erilleen käyttösylinteristä, joka helpottaa asentamista ahtaisiin paikkoihin.

Tässä luvussa esitellään tarkemmin kaksi erilaista HDFC:n käyttösovellusta. Ensimmäisessä sovelluksessa HDFC asennetaan puristimeen, jossa toimilaitteena toimii kaksi hydraulisyylinteriä. HDFC:n avulla sylintereiden ja hydraulipumpun kokoa saadaan pienennettyksi, jolloin energiankulutus vähenee ja järjestelmään voidaan asentaa pienempi sähkömoottori. Toisessa käyttösovelluksessa käyttösylinterin männänvarren puoleista painetta kasvatetaan painemuuntimella, jolloin epäsymmetrisellä sylinterillä saavutetaan yhtä suuret voimat sylinterin kumpaankin liikesuuntaan.

6.2.1 Sähkömoottorin pienentäminen voimasyylinterillä hydraulipuristimessa

Tässä luvussa esitellään yksi HDFC:n asiakassovellus, jossa hydraulipumpun kokoa saadaan pienennettyä merkittävästi HDFC:n avulla. Pienemmän hydraulisen tehon ansiosta järjestelmään voidaan asentaa pienempi sähkömoottori ja energiakulutus vähenee. HDFC asennetaan puristimeen, jossa toimilaitteena toimii kaksi rinnakkain kytkettyä hydraulisyylinteriä. Sylintereiltä vaaditaan nopea lähestymisliike ja suuri puristusvoima. Puristimen hydraulikaavio ja osaluettelo on esitetty kuvassa 6.3, johon on merkitty paineenohjausventtiileiden avautumispaineet ja painemuuntimen sekä käyttösylintereiden koot.



Kuva 6.3. Puristimen hydraulikaavio ja osaluettelo. (Laatikainen 2011)

Käyttösylinterit ovat pikaliikkeessä, kun järjestelmän paine on alle 6 MPa. Kun paine nousee yli 6 MPa:n, paineenohjausventtiili 11b aukeaa ja päästää sylinterin paluuvirtauksen tankkiin. Tällöin sylinterit toimivat normaaliliikenopeudella. Kun järjestelmän paine nousee yli 10 MPa:n, avautuu paineenohjausventtiili 11a ja se päästää öljyn virtaamaan paineenmuuntimelle. Paineenmuunnin vahvistaa käyttösylinterin paineen, jolloin sylinteriltä saavutetaan suurempi voima. Järjestelmän maksimipainetaso on 13 MPa.

Kuvan 6.3 oikeaan reunaan on koottu puristimen osaluettelo, johon on listattu järjestelmän komponentit ja niiden ominaisuudet. Yksityiskohtaisia tietoja komponenteista ja niiden valmistajia ei tässä yhteydessä mainita, sillä se ei ole järjestelmän toimivuuden kannalta olennaista. Tarkoitus on keskittyä järjestelmän esittelyyn ja sen toimintaan.

Puristimen hydraulikoneikko on esitetty kuvassa 6.4. Kuvasta nähdään, että järjestelmän komponentit on kiinnitetty hydraulinesäiliön rakenteisiin. Säiliön kannen

päälle on kiinnitetty sähkömoottori, suodatin ja venttiilit. Hydraulikoneikon sivuun on kiinnitetty paineenmuunnin, joka on kuvassa etualalla. HDFC:n venttiiliyksikkö on asennettu säiliön sivuun ja se näkyy kuvan oikeassa reunassa. Puristussylinterit kytkeään hydraulikoneikkoon letkuilla. Kuvaan ei ole asennettu puristussylintereitä eikä letkuja.



Kuva 6.4. Puristimen hydraulikoneikko. (Laatikainen 2011)

Kuvasta 6.4 nähdään, kuinka pieneen tilaan puristimen hydraulikoneikko voidaan asentaa. Puristin on hyvä esimerkki siitä, että paineenmuunnin voidaan asentaa etäälle toimilaitteesta esimerkiksi hydraulikoneikon yhteyteen. Näin ollen paineenmuunninta ei tarvitse asentaa toimilaitteen välittömään läheisyyteen ja kuitenkin voidaan hyödyntää paineenmuuntimen korotettua painetasoa.

Sylinteriltä saavutettavat voimat eri liikenopeuksilla voidaan nyt laskea, kun tiedetään kaikkien nopeusalueiden painerajat sekä käyttösylintereiden, paineenmuuntimen ja pumpun koot. Vahvistetussa liikkeessä puristussylinterin nopeus ja paine voidaan laskea paineenmuuntimen ominaisuuksien avulla. Laskuissa sylintereiden vuodot oletetaan mitättömän pieniksi eli volumetrinen hyötysuhde on yksi. Puristussylinterille menevä tilavuusvirta vahvistetussa liikkeessä Q_{sv} voidaan laskea seuraavasti

$$Q_{sv} = \frac{Q_p A_{mv}}{A_{mm}} = 6,1 \frac{l}{min} \quad (13)$$

jossa Q_p on pumpun tuottama tilavuusvirta $15 l/min$,
 A_{mv} on paineenmuuntimen männänvarren pinta-ala $804 \cdot 10^{-6} m^2$ ja
 A_{mm} on paineenmuuntimen männän pinta-ala $1963 \cdot 10^{-6} m^2$.

Paineenmuuntimen vahvistettu painetaso p_v saadaan laskettua sen pinta-alasuhteiden ja järjestelmän maksimipainetason avulla

$$p_v = \frac{A_{mm}}{A_{mv}} p_{max} \eta_{s_hm} = 28,6 \text{ MPa} \quad (14)$$

jossa p_{max} on järjestelmän maksimipainetaso 13 MPa ja
 η_{s_hm} on sylinterin hydromekaaninen hyötysuhde $0,9$.

Hydraulipuristimessa pikaliike saadaan aikaiseksi differentiaalikytkennällä, jolloin sylinterien nopeus v_{pika} voidaan laskea seuraavasti

$$v_{pika} = \frac{Q_p}{2(A_{sm} - A_{sr})} = 0,16 \frac{m}{s} \quad (15)$$

jossa A_{sm} on puristussylinterin männän pinta-ala $3117 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ ja
 A_{sr} on puristussylinterin rengaspinta-ala $1527 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$.

Kaavassa (15) pumpun tuottama tilavuusvirta jaetaan kahdella, koska puristussylintereitä on kaksi. Pikaliikkeessä sylinterille menevä tilavuusvirta Q_{sp} saadaan laskettua kaavalla (16), kun tiedetään sylinterin nopeus ja männän pinta-ala.

$$Q_{sp} = v_{pika} A_{sm} = 29,4 \frac{l}{min} \quad (16)$$

Kaavoissa (13–16) lasketut tulokset on koottu taulukkoon 6.1. Tämän lisäksi taulukkoon on laskettu jokaisen liikealueen maksimipainetaso, sylinterille menevä tilavuusvirta, sylinterin nopeus ja puristusvoima. Taulukossa on esitetty myös laskentakaavat, joilla loput tuloksista on laskettu.

Taulukko 6.1. Käyttösylinterien paine, tilavuusvirta, nopeus ja puristusvoima eri liikenopeuksilla.

	Maksimipainetaso [MPa]	Sylinterin tilavuusvirta [l/min]	Sylinterin nopeus [m/s]	Puristusvoima [kN]
Muuttujat ja laskentakaavat	p	Q	$v = \frac{Q}{A}$	$F = pA\eta_{s_hm}$
Pikaliike	6	29,4	0,16	8,6
Normaaliliike	10	15	0,08	28,1
Vahvistettuliike	28,6	6,1	0,03	80,1
Paluuliike	13	15	0,16	17,9

Taulukosta 6.1 nähdään hydraulipuristimen ominaisuudet eri liikenopeuksilla. Puristimen pikaliikenopeus on yhtä nopea kuin sen paluuliikkeen nopeus ja kaksi kertaa yhtä nopea kuin normaaliliikenopeus. Paineenmuuntimella saavutetaan lähes kolminkertainen puristusvoima verrattuna normaaliliikkeen puristusvoimaan.

Paineenmuunnin vahvistaa hydraulijärjestelmän painetasoa pinta-alasuhteiden mukaisesti. Puristimessa paineenmuuntimen männänvarren ja männän pinta-alasuhte on noin 2,44. Todellisuudessa paineen nousu on hieman pienempi johtuen paineenmuuntimen kitkahäviöistä. Kaavassa (14) kitkahäviöt on huomioitu hydromekaanisessa hyötysuhteessa.

Paineenmuuntimella puristimen painetasoa saadaan nostettua ilman lisäenergian tarvetta. Käyttösylintereiden painetaso nousee, jolloin puristusvoima kasvaa. Vahvistettu liikematka on riippuvainen paineenmuuntimen iskunpituudesta sekä männän ja männänvarren välisestä pinta-alasuhteesta. Puristussylintereiden vahvistettu liikematka s_{vah} voidaan laskea seuraavasti

$$s_{vah} = \frac{s_{m_isku} A_{mv}}{2A_{sm}} = 36 \text{ mm} \quad (17)$$

jossa s_{m_isku} on paineenmuuntimen iskunpituus 500 mm .

Kaavassa (17) vahvistettu liikematka jaetaan kahdella, sillä puristussylintereitä on kaksi kappaletta. Puristimen vahvistettu liikematka ei ole pitkä, kuten tuloksesta nähdään. Siitä huolimatta puristimella saavutetaan hyvä ja nopea toiminta. Puristimessa riittää, että korkea puristusvoima saavutetaan vain lyhyellä matkalla. Vahvistettua liikematkaa saadaan tarvittaessa kasvatettua muuttamalla paineenmuuntimen kokoa ja iskunpituutta.

Puristimen työsykli koostuu pikaliikkeestä, normaaliliikkeestä, vahvistetusta liikkeestä ja paluuliikkeestä. Työsyklin pituus on korkeintaan seitsemän sekuntia. Työsyklin jälkeen on kolmen sekunnin tauko, jolloin paineenmuunnin ehtii palautumaan lähtöasemaansa. Työsykliin kuluva aika t_{sykli} voidaan laskea seuraavasti

$$t_{sykli} = \frac{s_{pika}}{v_{pika}} + \frac{s_{norm}}{v_{norm}} + \frac{s_{vah}}{v_{vah}} + \frac{s_{paluu}}{v_{paluu}} = 6,6 \text{ s} \quad (18)$$

jossa s_{pika} on pikaliikkeen pituus $350 \cdot 10^{-3} \text{ m}$,
 v_{pika} on sylinterin nopeus pikaliikkeessä $0,16 \text{ m/s}$,
 s_{norm} on normaaliliikkeen pituus $50 \cdot 10^{-3} \text{ m}$,
 v_{norm} on sylinterin nopeus normaaliliikkeessä $0,08 \text{ m/s}$,
 s_{vah} on vahvistetusta liikkeestä $36 \cdot 10^{-3} \text{ m}$,
 v_{vah} on sylinterin nopeus vahvistetussa liikkeessä $0,03 \text{ m/s}$,
 s_{paluu} on paluuliikkeen pituus $436 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ ja
 v_{paluu} on sylinterin nopeus paluuliikkeessä $0,16 \text{ m/s}$.

Puristimen hydraulikoneikko voidaan toteuttaa myös ilman HDFC:tä, jolloin paineenmuunnin ja sitä ohjaava venttiiliyksikkö jätetään koneikosta pois. Tällöin puristussylintereitä ohjataan suoraan suuntaventtiilillä. Samalla järjestelmän painetasoa on nostettava ja puristussylintereiden kokoa suurennettava, jotta saavutetaan tarpeeksi suuri puristusvoima.

HDFC:n avulla toteutettua puristinta vertaillaan seuraavaksi kahteen muuhun samankokoiseen puristimeen, joissa ei ole paineenmuunninta. Puristimilta vaaditaan samat ominaisuudet kuin HDFC-puristimelta. Puristimen sylinterit mitoitetaan maksimipuristusvoiman avulla, joka HDFC-puristimessa on 80 kN. Puristimen työsykliin kuluva aika on maksimissaan seitsemän sekuntia, jonka perusteella puristimen hydraulipumppu mitoitetaan. Hydraulipumpun kokonaishyötysuhde η_{p_kok} on laskuissa 0,9. Ensimmäinen vertailtava puristin toteutetaan ilman differentiaalikytkentää eli puristimessa ei ole erillistä pikaliikenopeusaluetta. Toiseen puristimeen asennetaan differentiaalikytkennällä varustettu suuntaventtiili, jolloin saavutetaan nopeampi lähestymisliike ja puristusliike suoritetaan ilman differentiaalikytkentää. Kaikkien kolmen puristimen ominaisuudet on koottu taulukkoon 6.2.

Taulukko 6.2. Kolmen eri puristimen tekniset tiedot.

	Pumpun painetaso [MPa]	Tilavuusvirta [l/min]	Puristussyylinterin koko [mm]	Maksimipuristusvoima [kN]	Työsykliin kuluva aika [s]	Sähkömoottorin teho [kW]
Muuttujat ja laskentakaavat	p	Q	$d_{mm}/d_{mv} - S_{s_isku}$	$F = pA\eta_{s_hm}$	t_{sykli}	$P = \frac{1,1pQ}{\eta_{p_kok}}$
HDFC-puristin	13	30	63/45 - 500	80,1	6,6	7,9
Puristin ilman differentiaalikytkentää	18	70	80/50 - 500	81,4	6,5	23,8
Puristin, jossa on differentiaalikytkennällä varustettu pikaliikenopeus ja normaalipuristusliike	18	45	80/50 - 500	81,4	6,5	16,5

Taulukossa 6.2 puristimen työsykli on samanpituisen kuin HDFC-puristimen työsykli kaavassa (18). Puristimessa, jossa ei ole differentiaalikytkentää, työsykli koostuu normaaliliikkeestä ja paluuliikkeestä. Tällöin hydraulipumpun kokoa on kasvatettava huomattavasti, jotta työsykli saadaan suoritetuksi sallitussa ajassa. Differentiaalipuristimessa työsykli koostuu pikaliikkeestä, normaaliliikkeestä ja paluuliikkeestä. Liikealuiden pituudet vastaavat kaavassa (18) esitettyjä HDFC-puristimen arvoja.

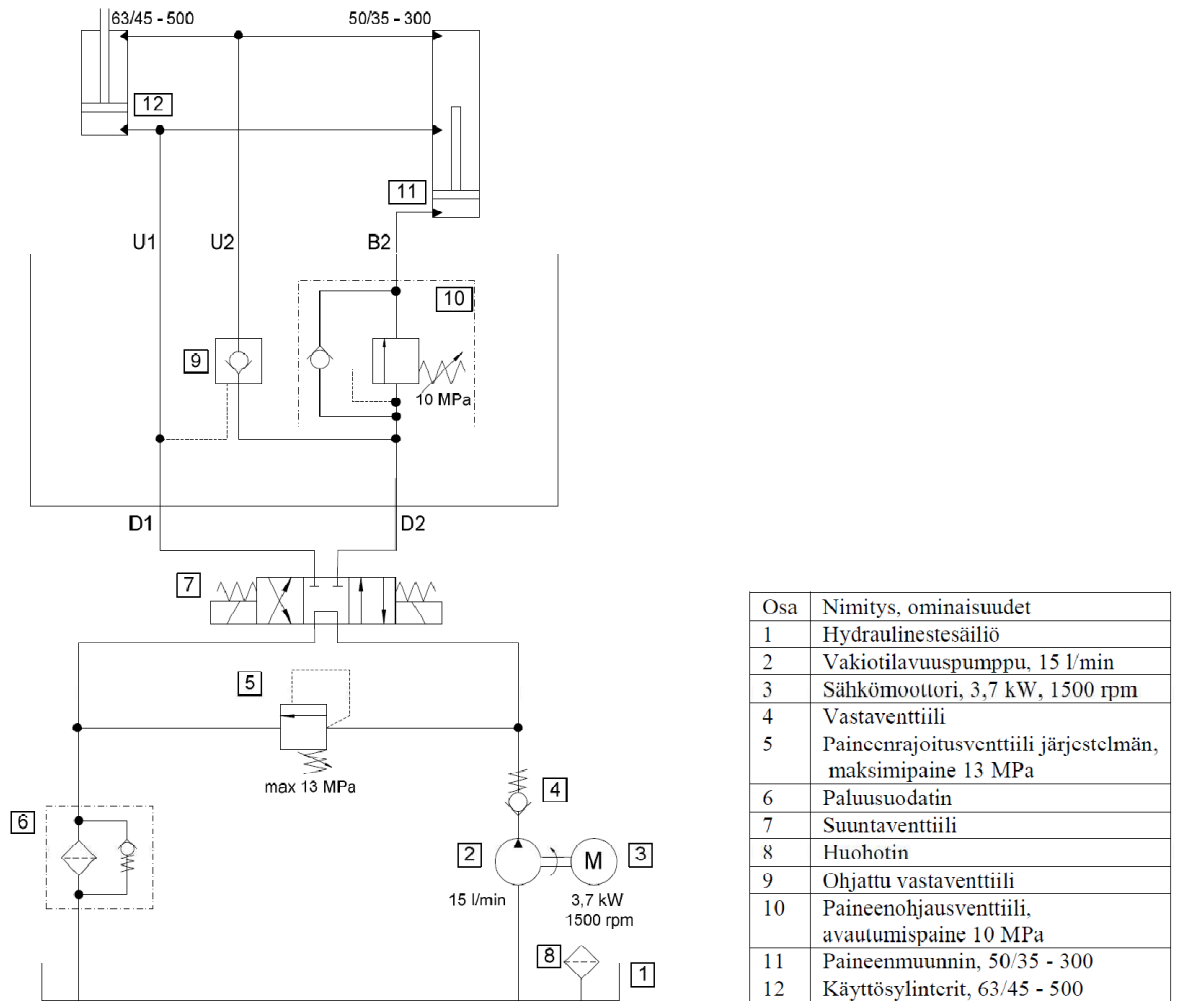
HDFC-puristimella saavutetaan sama maksimipuristusvoima puolta pienemmällä sähkömoottorilla verrattuna differentiaalikytkennällä varustettuun puristimeen. Ilman differentiaalikytkentää oleva puristin saavuttaa saman puristusvoiman kolme kertaa suuremmalla sähkömoottorilla kuin HDFC-puristin. Sähkömoottorin tehoissa on otettu huomioon kymmenen prosentin tehoreservi. Vertailupuristimien maksimipainetaso nostettiin 18 MPa:in ja sylintereiden halkaisijat kasvatettiin 80 mm:in, jotta saavutettiin vastaava puristusvoima kuin HDFC-puristimessa.

HDFC soveltuu loistavasti käytettäväksi puristimen kaltaiseen sovellukseen, jossa järjestelmältä vaaditaan nopea lähestymisliike ja suuri sylinterivoima lyhyellä matkalla. Suurin ongelma HDFC:n käytössä on sen lyhyt vahvistetun liikematkan pituus. Paineenmuuntimen kokoa muuttamalla voidaan vahvistettua matkaa pidentää, mutta samalla paineenmuuntimen pituus kasvaa ja sen asentaminen järjestelmään hankaloituu. Toinen HDFC:n käyttöä rajoittava tekijä on paineenmuuntimen palautuminen työsykliä välissä, joka tulee huomioida järjestelmän suunnittelussa. Ilman riittävää taukoa työsykliä välissä, paineenmuunnin ei ehdi palautumaan lähtöasemaansa ja vahvistetun liikkeen pituus lyhenee seuraavalla työsyklillä.

6.2.2 Paineenmuuntimella yhtä suuret sylinterivoimat

Epäsymmetrinen sylinteri on yksi yleisimmistä hydraulisista toimilaitteista ja yleisin sylinterityyppi (Hydraulics in industrial and mobile applications 2007, s. 195). Epäsymmetrisen sylinterin liikenopeudet ja puristusvoimat ovat eri suuret, kun sylinteriä ajetaan sisään ja ulos. Yleensä tämä ei aiheuta ongelmia, mutta jotkut sovellukset vaativat samanlaiset ominaisuudet kumpaankin liikesuuntaan. Tällöin sovellukseen voidaan asentaa symmetrinen sylinteri, jonka teholliset pinta-alat ovat yhtä suuret ja ominaisuudet samat kumpaankin liikesuuntaan. Symmetrinen sylinteri on kuitenkin rakenteeltaan epäsymmetristä sylinteriä pidempi ja näin sen asentaminen kaikkiin käyttökohteisiin ei ole mahdollista. Tässä luvussa ratkaistaan yllä kuvattu ongelma epäsymmetrisellä sylinterillä ja paineenmuuntimella. Paineenmuuntimella kasvatetaan sylinterin männänvarren puoleista painetta, jolloin sylinterillä saavutetaan yhtä suuret voimat kumpaankin liikesuuntaan.

Sylinterin ja paineenmuuntimen toiminta toteutetaan muuttamalla HDFC:n venttiiliyksikön rakennetta. Kuvassa 6.1 esitettyä HDFC:n hydraulikaaviota muutetaan poistamalla esiohjattu paineenohjausventtiili 6. Ohjattu vastaventtiili 5 poistetaan ja kanava tulpataan, jotta öljy ei pääse virtaamaan kanavien D1 ja D2 välillä. Samalla HDFC:n kytkentöjä on muutettava, jotta paineenmuunnin korottaa käyttösylinterin männänvarren puoleista painetta eikä männän puoleista kuten normaalisti. Venttiiliyksikön liitäntä U1 yhdistetään käyttösylinterin männän puolelle ja paineenmuuntimen männänvarren puolelle. Portti U2 yhdistetään käyttösylinterin männänvarren puolelle ja paineenmuuntimen vahvistinpuolelle. Paineenmuuntimen männän puoli yhdistetään liitäntään B2. Näillä muutoksilla HDFC saadaan toimimaan siten, että paineenmuunnin vahvistaa käyttösylinterin männänvarren puoleista painetta. Muokatun HDFC:n hydraulikaavio on esitetty kuvassa 6.5.



Kuva 6.5. HDFC:n hydraulikaavio ja osaluettelo. Paineenmuunnin vahvistaa käyttösylinterin männänvarren puoleista painetta.

Hydraulikaaviossa 6.5 esitettyjen arvojen avulla voidaan laskea järjestelmän ominaisuudet ja käyttösylinteriltä saavutettavat arvot eri liikenopeuksilla. Käyttösylinterin normaaliliikkeen maksimipaine on 13 MPa ja maksimitilavuusvirta 15 l/min. Sylinterin paluuliikkeessä maksimipaine on 10 MPa, jonka jälkeen paineenmuunnin alkaa kohottaa männänvarren puoleista painetta. Paineenmuuntimen teoreettinen vahvistettu painetaso p_v saadaan lasketuksi sen pinta-alasuhteiden ja järjestelmän maksimipainetason avulla seuraavasti

$$p_v = \frac{A_{mm}}{A_{mv}} p_{max} = 26,5 \text{ MPa} \quad (19)$$

jossa p_{max} on järjestelmän maksimipainetaso 13 MPa ja
 A_{mv} on paineenmuuntimen männänvarren pinta-ala $962 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ ja
 A_{mm} on paineenmuuntimen männän pinta-ala $1963 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$.

Käyttösylinterille tuleva tilavuusvirta vahvistetussa liikkeessä voidaan laskea kaavalla (20), kun tiedetään pumpun tuottama tilavuusvirta ja paineenmuuntimen teholliset pinta-alat.

$$Q_{sv} = \frac{Q_p A_{mv}}{A_{mm}} = 7,4 \frac{l}{min} \quad (20)$$

jossa Q_p on pumpun tuottama tilavuusvirta $15 l/min$.

Kaavoissa (19) ja (20) lasketut tulokset on koottu taulukkoon 6.3. Taulukkoon on laskettu jokaisen liikealueen maksimipainetaso, sylinterille menevä tilavuusvirta, sylinterin nopeus ja puristusvoima. Taulukossa 6.3 on esitetty myös laskentakaavat, joilla sylinterin nopeus ja puristusvoima lasketaan. Sylinterin hydromekaaninen hyötysuhde $\eta_{s, hm}$ on laskuissa 0,9.

Taulukko 6.3. Käyttösylinterin paine, tilavuusvirta, nopeus ja puristusvoima eri liikenopeuksilla.

	Maksimipainetaso [MPa]	Sylinterin tilavuusvirta [l/min]	Sylinterin nopeus [m/s]	Puristusvoima [kN]
Muuttujat ja laskentakaavat	p	Q	$v = \frac{Q}{A}$	$F = pA\eta_{s, hm}$
Normaaliliike	13	15	0,08	36,5
Paluuliike	10	15	0,16	13,7
Vahvistettupaluuliike	23,9	7,4	0,08	36,5

Taulukosta 6.3 nähdään, että paineenmuuntimella sylinterivoimat saadaan samansuuruisiksi kumpaankin liikesuuntaan. Järjestelmän suunnittelussa on huomioitava, että paineenmuuntimen palautuminen hidastaa hieman sylinterin normaaliliikkeeseen kuluva aikaa. Normaaliliikkeeseen kuluva aika voidaan laskea, kun pumpun tuottama tilavuusvirta ja muut ominaisuudet tiedetään. Normaaliliikkeeseen kuluva aika koostuu paineenmuuntimen palautukseen kuluva ajasta $t_{m, pal}$ ja käyttösylinterin liikkeeseen kuluva ajasta t_s . Normaaliliikkeeseen kuluva kokonaisaika t_{norm} voidaan laskea seuraavasti

$$t_{norm} = t_{m, pal} + t_s = \frac{A_{mv} s_{m, isku}}{Q_p} + \frac{s_{s, isku}}{v_s} = 1,2s + 6,2s = 7,4 s \quad (21)$$

jossa $s_{m, isku}$ on paineenmuuntimen iskunpituus $300 \cdot 10^3 m$,

$s_{s, isku}$ on käyttösylinterin iskunpituus $500 \cdot 10^3 m$,

v_{norm} on käyttösylinterin nopeus normaaliliikkeessä $0,08 m/s$.

Kuten kaavasta (21) voidaan todeta, jää paineenmuuntimen palautumiseen kuluva aika suhteellisen lyhyeksi verrattuna normaaliliikkeen kokonaisaikaan. Tarvittaessa pa-

lautumiseen kuluvaan aikaan voidaan vaikuttaa muuttamalla paineenmuuntimen iskunpituutta ja männän halkaisijaa. Tämä vaikuttaa samalla paineenmuuntimen ominaisuuksiin, eikä näin ole mahdollista kaikissa sovelluksissa.

Kun käyttösylinterin männänvarren puoleista painetta vahvistetaan HDFC:llä, differentiaalikytkentää ei saada järjestelmään toteutettua. Differentiaalikytkentä vaatisi monimutkaisemman venttiiliratkaisun, jolloin täysin paineohjatusta järjestelmästä jouduttaisiin luopumaan. Differentiaalikytkennän avulla käyttösylinterin liikenopeuden saa yhtä nopeaksi kumpaankin liikesuuntaan. Ainoastaan paineenmuuntimen palautuminen vie vähän aikaa työsykliä välissä. Tässä yhteydessä differentiaalikytkennän tärkeys katsottiin olemattomaksi, jolloin sitä ei järjestelmään suunniteltu.

Paineenmuuntimella voidaan kasvattaa käyttösylinterin männänvarren puoleista painetta, kuten tässä luvussa on todettu. Näin saavutetaan epäsymmetrisellä sylinterillä samansuuruiset voimat kumpaankin liikesuuntaan. Tämä lisää epäsymmetrisen sylinterin käyttösovelluksia ja mahdollistaa sen asentamisen sovelluksiin, joissa aikaisemmin on käytetty kaksipuolisella männänvarrella varustettua sylinteriä.

6.3 Voimasyylinterin kehittäminen ja tulevaisuus

HDFC on hyvä keksintö, joka oikein suunniteltuna vähentää järjestelmän energian kuluusta ja parantaa sen ominaisuuksia. HDFC on tuore keksintö ja sen vuoksi sitä kehitetään jatkuvasti, jotta se vastaisi hyvin asiakkaan tarpeita. Tällä hetkellä HDFC:n käyttösovelluksia ovat muun muassa klapikoneet, jätepakkauslaitteet, energiapuukourat ja puristimet (Hytarilta patentoitu voimasyylinteri 2010).

HDFC:n käyttöä rajoittavat vahvistetun liikematkan pituus ja paineenmuuntimen palautukseen kuluva aika. Paineenmuuntimen kokoa muuttamalla voidaan nämä ominaisuudet optimoida asiakassovelluksen mukaisesti. Vahvistetun liikematkan pituus ja paineenmuuntimen palautukseen kuluva aika vaikuttavat toisiinsa, joten jokaiseen järjestelmään joudutaan tekemään kompromissi näiden kahden ominaisuuden välillä.

Jossain sovelluksissa paineenmuuntimen pituus voi rajoittaa sen asentamista käyttökohteeseen. Pituutta saadaan lyhennettyä kasvattamalla paineenmuuntimen männän halkaisijaa. Näin paineenmuuntimen rakenteellinen pituus lyhenee, mutta käyttösylinterin vahvistettuliikematka pysyy samana. Taulukossa 6.4 on vertailtu erikokoisia paineenmuuntimia ja niiden rakenteellisia pituuksia toisiinsa. Taulukossa esitettyjen paineenmuuntimien pinta-ala suhteet ovat hyvin lähellä toisiaan. Paineenmuuntimien iskunpituudet on laskettu siten, että kaikissa taulukon paineenmuuntimissa on samansuuruisen vahvistetun liikematkan pituus. Näin voidaan vertailla niiden rakenteellisia pituuksia toisiinsa. Paineenmuuntimen rakenteellinen pituus saadaan, kun iskunpituus kerrotaan kahdella ja siihen lisätään päätykappaleiden yhteenlaskettu pituus 150 millimetriä.

Taulukko 6.4. Erikokoisten paineenmuuntimien ominaisuudet.

	Männän halkaisija, [mm]	Männänvarren halkaisija, [mm]	Männän ja männänvarren pinta-ala suhde, [-]	Iskunpituus, [mm]	Rakenteellinen pituus, [mm]
Muuttujat ja laskentakaavat	d_{mm}	d_{mv}	A_{mm}/A_{mv}	s_{m_isku}	$l = 2s_{m_isku} + 150 \text{ mm}$
Paineenmuunnin 1	50	32	2,44	500	1150
Paineenmuunnin 2	70	45	2,42	253	656
Paineenmuunnin 3	100	65	2,37	121	392
Paineenmuunnin 4	125	80	2,44	80	310

Taulukosta 6.4 nähdään, että jo pienellä männän halkaisijan muutoksella saadaan aikaan suuri ero paineenmuuntimien rakenteellisissa pituudessa. 70 millimetrinen paineenmuuntimen rakenteellinen pituus on lähes puolta lyhyempi kuin 50 millimetrinen paineenmuunnin. Paineenmuuntimen koko lyhenee lähes neljäsosaan, kun verrataan 50 ja 125 millimetrisellä männällä varustettuja paineenmuuntimia. Muuten paineenmuuntimien ominaisuudet eli vahvistetun liikematkan pituus ja pinta-alasuhte pysyvät likimain samoina.

HDFC:n suunnittelussa on otettava huomioon järjestelmän paineenkesto ja käyttösylinterin ominaisuudet, jotta järjestelmän rikkoutumiselta vältytään. Paineenmuunnin kasvattaa käyttösylinterin paineen moninkertaiseksi, jolloin sylinterin rakenteiden ja tiivisteiden on kestävä korkeita paineita. Sylinteriin on valittava korkeisiin paineisiin tarkoitettuja tiivisteet. Tiivistevalmistajilta löytyy useita korkeisiin paineisiin tarkoitettuja tiivistesarjoja, jotka soveltuvat mainiosti HDFC-järjestelmiin. Samalla on varmistettava paineenmuuntimen tiivisteiden paineen kestävyys. Matalapainepuolella paineet eivät yleensä nouse yli tiivisteiden kestävyuden, mutta korkeapainepuolella tiivisteiden soveltuvuus käyttökohteeseen on aina varmistettava.

Toinen asia, joka tulee ottaa huomioon HDFC-järjestelmien suunnittelussa, on sylinterin päätyvaimennus. Normaalisti HDFC sisältää differentiaalikytkennän, joka nostaa sylinterin nopeutta. Kun sylinterin nopeus kasvaa yli 0,1 m/s, on päätyvaimennuksen asentaminen suositeltavaa. Raskaita massoja siirrettäessä, päätyvaimennus suositellaan asennettavaksi jo pienemmällä nopeuksilla. Päätyvaimennuksella pidennetään sylinterin käyttöikä ja varmistetaan järjestelmän pitkäaikainen toiminta. Jos sylinterin nopeutta ei tarkalleen tiedetä, voidaan suunnittelusäännöksi laatia, että sylinteriin lisätään aina päätyvaimennus, jos siinä on differentiaalikytkentä. Tällä säännöllä pienennetään riskiä sylinterin rikkoutumiselle.

Tulevaisuudessa HDFC:llä on hyvät sovellusmahdollisuudet järjestelmissä, joissa sylinteriltä vaaditaan nopeaa toimintaa ja suurta voimaa. HDFC soveltuu loistavasti käytettäväksi järjestelmiin, joissa tarvitaan pitkiä liikematkoja, mutta suurta voimaa vain lyhyellä matkalla. Näissä järjestelmissä HDFC:n avulla voidaan säästää huomattava määrä energiaa, kun samat järjestelmäominaisuudet saavutetaan pienemmillä pumpuilla ja moottoritehoilla. HDFC:n käyttösovellukset kasvavat tulevaisuudessa, sillä hydraulijärjestelmien energiavaatimukset tiukentuvat jatkuvasti. Tämä lisää laitevalmistajien tuotekehitystä ja uusien ratkaisujen etsimistä, jotta energiavaatimukset täytetään.

7 TULOKSET JA NIIDEN ARVIOINTI

Tämän diplomityön tuloksena Hytar Oy:n Jyväskylän tehtaalle laadittiin uusi layout-suunnitelma, jossa työpisteet järjestettiin uudelleen työprosessin mukaiseen järjestykseen ja niiden välisiä etäisyyksiä lyhennettiin. Tämän lisäksi sylinterituotannolle tehtiin kehityssuunnitelma, jossa työvaiheiden välisiä läpimenoaikoja tasoitettiin, ei-jalostavaa aikaa lyhennettiin ja eräkokoja rajoitettiin. Näillä muutoksilla vaikutetaan sylinterituotannon pitkään läpimenoaikaan ja suureen keskeneräiseen tuotantoon.

Tässä luvussa kootaan yhteen tämän työn tulokset. Sylinterituotannon tehostumista arvioidaan luvussa 5 esitettyjen yksittäisten ratkaisuehdotusten avulla. Kehityssuunnitelmille lasketaan valmistuksen läpimenoaika ja kuukausittainen kapasiteetti. Näitä tuloksia verrataan kahden viikon mittaiseen tarkastelujaksoon, jossa seurattiin keskeneräisen tuotannon määrää, tilausten etenemistä ja tilausten valmistumista sylinterituotannossa. Tarkastelujakson analysointi on esitetty tarkemmin luvussa 4.7.2. Tarkastelujaksolle määritettiin keskimääräinen erä koko sekä keskeneräisen tuotannon määrä ja sen hajautuminen eri työvaiheille. Tarkastelujakson keskimääräinen erä koko on kymmenen sylinteriä ja keskeneräinen tuotanto 224 sylinteriä. Sylinterituotannon tahtiaika saadaan taulukosta 4.1. Tahtiaika on pisimmän työvaiheen läpimenoaika, kun erä koko on 10 kappaletta. Näillä arvoilla tuotannolle voidaan laskea läpimenoaika, jossa oletetaan tilausten kulkevan prosessissa alusta loppuun samassa järjestyksessä (liite 5). Tarkastelujaksolta kerätyt arvot ja keskimääräinen läpimenoaika on esitetty taulukossa 7.1. Taulukossa on verrattu tarkastelujakson arvoja kolmeen eri suunnitelmaan.

Taulukko 7.1. Tarkastelujakson ja kolmen eri suunnitelman läpimenoaikojen ja kokonaiskapasiteetin vertailu.

	Tarkastelujakso	Suunnitelma 1		Suunnitelma 2		Suunnitelma 3	
Maksimierä koko [kpl]	ei rajoitettu	20		10		5	
Keskimääräinen erä koko [kpl]	10	9		7		5	
Tahtiaika [min]	22,7	11,3		12		13,6	
Keskeneräinen tuotanto [kpl]	224	126	-44 %	98	-56 %	70	-69 %
Läpimenoaika [päivää]	13,3	4,1	-69 %	3,4	-75 %	2,7	-80 %
Kapasiteetti kuukaudessa [kpl]	426	856		806		711	

Kehityssuunnitelmissa tarkastelujakson suuret eräkoot on pilkottu pienemmiksi tilauksiksi. Tämä pienentää tuotannon keskimääräistä eräkokoja ja samalla eräkokojen vaih-

telu pienenee ja virtaus paranee. Eräkokojen tasoittuminen mahdollistaa puskurivarastojen pienentämisen työvaiheiden välillä. Ensimmäisessä suunnitelmassa tilauksen eräko-ko rajoitetaan kahteenkymmeneen kappaleeseen ja sitä suuremmat erät pilkotaan pie-nemmiksi eriksi. Suunnitelmissa kaksi ja kolme eräkoot rajoitetaan kymmeneen ja vii-teen kappaleeseen. Eräkokojen rajoittamisella varmistetaan, että kaikilla työpisteillä riittää töitä ilman suuria puskurivarastoja työvaiheiden välillä.

Ensimmäisessä suunnitelmassa keskimääräinen eräko-ko on yhdeksän kappaletta. Tälle eräkoolle arvioidaan tahtiaika taulukon 5.3 avulla, joka on 11,3 minuuttia. Uudes-sa layout-versiossa keskeneräisen tuotannon määrä on rajoitettu työvaiheiden välillä. Sahauksen ja sorvauksen välillä on viiden tilauksen puskurivarasto ja muissa kolmessa puskurivarastossa maksimi rajoitetaan kolmeen tilaukseen. Näin keskeneräisen tuotan-non määräksi saadaan 126 sylinteriä. Kun tuotannon keskimääräinen eräko-ko, tahtiaika ja keskeneräisen tuotannon määrä on tiedossa, voidaan suunnitelmalle yksi laskea val-mistuksen läpimenoaika, joka on 3,4 päivää (liite 5). Tämä on 69 prosenttia nykyistä tuotantoa nopeampi. Suunnitelmien kaksi ja kolme läpimenoajat lasketaan samalla ta-valla kuin ensimmäisessä suunnitelmassa. Ainoastaan niiden eräkoot rajoitetaan suunni-telmassa kaksi kymmeneen ja suunnitelmassa kolme viiteen kappaleeseen. Suunnitel-massa kaksi läpimenoaika on 75 prosenttia nykyistä lyhyempi ja suunnitelmassa kolme 80 prosenttia lyhyempi. Valmistuksen lyhyempi läpimenoaika saavutetaan, kun kesken-eräinen tuotanto vähenee ja tahtiaika lyhenee.

Läpimenoajan lisäksi tuloksissa arvioidaan kokonaiskapasiteetin kasvua sylinteri-tuotannossa. Tuotannon kuukausikapasiteetti lasketaan, kun tiedetään sylinterituotannon tahtiaika sekä käytettävissä oleva valmistusaika kuukaudessa. Kuukaudessa on keski-määrin 21,5 työpäivää ja työpäivän pituus 7,5 tuntia. Kuukaudessa valmistettavien sy-lintereiden lukumäärä saadaan, kun jaetaan kuukausittainen valmistusaika tuotannon tahtiajalla. Tarkastelujakson kapasiteetiksi saadaan 22,7 minuutin tahtiajalla 426 sylinte-riä (liite 5). Kapasiteetti-arvio jää hieman nykyisestä todellisesta kuukausikapasiteetista. Todellisuudessa sylinterivalmistuksessa on päästy parhaimmillaan noin 700 kappaleen kuukausikapasiteettiin. Tällöin pisimpiä työvaiheita, sorvausta ja kokoonpanoa, on au-tettu lisäkapasiteetilla. Sorvauksen läpimenoaikaa on pienennetty toisella sorvilla, jolla on sorvattu männänvarsia muiden töiden ohella. Kokoonpanossa on työskennellyt vaki-tuisen työntekijän lisäksi toinen työntekijä, jolloin läpimenoaika on saatu pienemmäksi. Jos verrataan suunnitelmia 700 kappaleen kuukausikapasiteetille, saavutetaan ensim-mäisessä suunnitelmassa noin 20 prosentin, toisessa noin 15 prosentin ja kolmannessa noin 2 prosentin kasvu. Suunnitelmien kaksi ja kolme kapasiteettia laskee pitkät asetus-ajat, jotka korostuvat pienissä erissä.

Suunnitelman tuloksia voidaan pitää diplomityön tavoitteisiin nähden hyvinä. Sylin-terituotannolle tehtiin suunnitelma, jolla tuotantoa voidaan tehostaa nykytilanteeseen verrattuna. Sylinterituotannon kehittäminen kannattaa aloittaa suunnitelmalla yksi, jossa eräko-ko rajoitetaan kahteenkymmeneen kappaleeseen. Tässä suunnitelmassa sekä läpi-menoaika että kapasiteetti paranevat nykytilanteeseen verrattuna.

Kehityssuunnitelmassa tuotanto on suunniteltu nykyiselle konekannalle ja työvoimalle. Tällä hetkellä sahauksessa ei ole pysyvää työntekijää. Sahaaja vaihtelee työtilanteen ja tarpeen mukaisesti. Kehityssuunnitelmassa sahauksen työmäärä lisääntyy, sillä samassa työvaiheessa suoritetaan myös hitsausviisteen sorvaaminen. Sahauksessa työvoimantarve kasvaa, ja uuden työntekijän palkkaaminen on otettava huomioon. Toinen muutos tulee, kun sylinterituotannon kapasiteetti kasvaa. Nykyisten kapeikkokohtien poistaminen lisää työmäärää muilla työvaiheilla. Tämä muodostuu haasteeksi varsinkin suuresti kuormitetuilla työpisteillä. Layout-muutoksen yhteydessä on huomioitava lisääntynyt kapasiteetti, jotta uudet kapeikkokohtat eivät rajoita kapasiteetin nostoa.

Suuresti kuormitettuja työvaiheita ovat tällä hetkellä sylinterikokoonpano ja hitsaus. Hitsauksesta tehdään sujuvampaa uuden hitsauskoneen myötä. Liittimien hitsaus suoritetaan omassa työpisteessä, jolloin se ei häiritse sylintereiden hitsausta. Kokoonpanoa kehitetään uudella ja tehokkaammalla järjestyksellä, jossa varaosat ja työkalut ovat työpisteiden välittömässä läheisyydessä. Työpisteet järjestetään, jotta materiaalin edestakaiselta siirtelyltä vältytään. Kokoonpanotyöntekijän työtä helpotetaan töiden uudelleen organisoinnilla. Nykyisessä järjestyksessä kokoonpanotyöntekijä hyllyttää varaosat ja vie valmistuneet sylinterit lähettämöön. Jos varaosien hyllyyn laittamisen ja valmiiden tuotteiden lähetys organisoidaan muille työntekijöille, niin kokoonpanijan työmäärä vähenee. Näiden uusien ja työmäärää helpottavien toimenpiteiden lisäksi, uudessa kehityssuunnitelmassa on otettava huomioon mahdollinen lisätyövoiman tarve sylinterikokoonpanossa.

Diplomiyön tärkeimpänä tavoitteena on tehdä Jyväskylän tehtaalle uusi layout-suunnitelma ja arvioida sen tehokkuutta. Layout-suunnitelmassa liitin- ja sylinterituotanto erotetaan toisistaan itsenäisiksi kokonaisuuksiksi. Tällä muutoksella parannetaan tehtaan materiaalivirtaa, lyhennetään valmistusmatkaa ja helpotetaan tuotannonohjausta. Sylinterin valmistuksen aikana kuluma matka lyhenee noin 45 prosenttia nykyiseen tilanteeseen verrattuna. Tuotannonohjaus helpottuu, kun liitin- ja sylinterituotanto erotetaan itsenäisiksi kokonaisuuksiksi.

Työn toisena tavoitteena on sylinterituotannon läpimenoajan lyhentäminen. Kehityssuunnitelmalla läpimenoaika lyhenee puolestatoista viikosta muutamaan päivään. Samalla keskeneräisen tuotannon määrä puolittuu. Sylinterituotannon läpimenoaika putoaa, kun keskeneräistä tuotantoa vähennetään ja eräkoko pienennetään. Nämä vaikuttavat suuresti tuotannon läpimenoaikaan ja sen lyhentymiseen. Läpimenoajan osalta työn tavoite saavutetaan hyvin.

Tässä työssä esitetyt tulokset ovat arvioita, mutta niihin pääseminen on mahdollista työntekijöiden koulutuksella ja muutosten toteutuksella. Sylinterituotannon tahtiaika ja työvaiheiden läpimenoajat on arvioitu yleisimmälle sylinterimallille. Ajat vaihtelevat hieman erikokoisilla sylintereillä ja eri sylinterimalleilla. Aikojen avulla sylinterituotannon nykytilannetta ja kehityssuunnitelmia voidaan analysoida ja ne antavat riittävän tarkan kuvan sylinterituotannon kehityksestä. Todellinen sylinterituotannon kehitys selviää, kun muutoksia tehdään ja tuloksia seurataan. Tulosten saavuttaminen edellyttää uuden toimintatavan omaksumista ja sen kokonaisuuden hahmottamista.

Tulevaisuutta ajatellen sylinterituotannossa on vielä kehitettävää, jotta voidaan siirtyä yhä pienempiin eräkokoihin. Pieneen eräkokoon pääseminen on välttämätöntä, jotta samassa linjassa voidaan valmistaa myös yksittäisiä sylintereitä kustannustehokkaasti. Tämä vaatii pitkien asetusaikojen lyhentämistä ja töiden vakioimista sekä sitoutunutta ja ammattitaitoista henkilökuntaa. Tällä hetkellä pitkät asetusajat näkyvät viiden ja sitä pienempien erien kohdalla. Tämän vuoksi tulevaisuudessa on kiinnitettävä enemmän huomiota asetusaikojen tärkeyteen. Tämä mahdollistaa myös paremman laadun valvonnan, kun töitä vakioidaan ja työvaiheet suoritetaan tarkkojen ohjeiden avulla.

Kehityssuunnitelma mahdollistaa sylinterituotannon tehostamisen myös tulevaisuudessa. Eräkoon pienentäminen ja keskeneräisen tuotannon supistaminen on mahdollista, kun saavutetaan riittävän tasainen virtaus. Linjamaisen tuotannon kehittäminen on helpompaa kuin funktionaalisessa tuotannossa. Siinä mahdolliset kapeikkokohdat havaitaan helposti joko puskurivaraston lisääntyessä tai töiden loppuessa seuraavalta työvaiheelta. Sylinterituotannon kehittäminen helpottuu, jos sille perustetaan aktiivinen aloitejärjestelmä. Jokainen työntekijä voi tehdä aloitteita tuotannon toiminnan kehittämiseksi. Aloitteet käsitellään kehitystyöryhmissä, joka kokoontuu säännöllisin väliajoin. Kaikki aloitteet käsitellään ja niille tehdään arviot, kuinka paljon ne tehostavat toimintaa ja kuinka suuren investoinnin ne vaativat. Aloitejärjestelmä lisää työntekijöiden osallistumista kehitystyöhön, ja samalla muutosvastarinta uusia kehitysehdotuksia kohtaan pienenee.

Sylinterituotannon kannalta paras tulos olisi saavutettu, jos diplomityötä olisi tehty muutosprojektin kanssa samaan aikaan. Tällöin mahdolliset eroavaisuudet arvioiduissa ja todellisissa tuloksissa olisi ollut mahdollista analysoida. Joka tapauksessa tämä työ antaa Hytar Oy:lle selvän ja perustellun kehitysehdotuksen, jonka tuloksia on arvioitu valmistuksen läpimenoajan, keskeneräisen tuotannon ja kapasiteetin avulla.

8 YHTEENVETO

Diplomityö koostui kahdesta laajasta kokonaisuudesta: sylinterituotannon kehittämisestä ja voimasynterinin toiminnan esittelystä. Tämä muodosti omat haasteensa diplomityön etenemiselle ja rajaamiselle. Kumpaakin aihetta olisi voinut tarkastella vielä laajemmin, mutta nyt kumpikin osa-alue muodosti selvän kokonaisuuden ja lopputuloksen. Sylinterituotannolle työssä tehtiin selvä kehityssuunnitelma ja arvioitiin sen tuloksia. Voimasynterinin esittelyssä keskityttiin tuotteen toiminnan ja rakenteen esittelyyn sekä asioihin, joita sen suunnittelussa on otettava huomioon.

Sylinterituotannon kehittäminen aloitettiin tutustumalla tehtaan nykytilanteeseen. Tehtaan nykytilanteen analysoinnissa haastateltiin työntekijöitä ja tuotannon suunnittelijaa. Nykytilanteen arvioinnissa auttoi työskenteleminen sylinterikokoonpanossa. Tehtaan nykytilanteen analysoinnissa nousi esiin ongelmia, joita haluttiin tehtaan uudella layoutilla ja muilla kehitysehdotuksilla ratkaista. Ennen kuin kehitysehdotuksia suunniteltiin, tutustuttiin eri tuotantomuotoihin, layout-tyyppeihin ja layout-suunnitteluun alan kirjallisuuden avulla. Näistä osa-alueista muodostui työn teoriaosuus.

Tärkeimpänä kehitysehdotuksena diplomityössä on Jyväskylän tehtaan uusi layout. Siinä sylinterituotannon työpisteiden välisiä etäisyyksiä lyhennettiin ja sylinterituotanto erotettiin tehtaan muusta tuotannosta itsenäiseksi ja helposti ohjattavaksi kokonaisuudeksi. Diplomityössä on kiinnitetty huomiota myös sylinterituotannon pitkään läpimenoaikaan ja siinä on esitetty kehitysehdotuksia, joilla läpimenoaikaa voidaan lyhentää. Kehitysehdotuksissa työpisteiden välisiä läpimenoaikaeroja tasoitettiin järjestämällä työpisteet uudelleen ja lyhentämällä ei-jalostavaa aikaa työpisteissä. Työssä esitettyjen kehitysehdotusten vaikutusta arvioitiin luvussa 7, jossa laskettiin kolmelle suunnitelmalle valmistuksen läpimenoaika ja verrattiin tuloksia nykyiseen sylinterituotantoon.

Diplomityön tavoitteet on saavutettu hyvin. Jyväskylän tehtaalle on tehty kehityssuunnitelma, jolla sylinterituotantoa voidaan tehostaa. Layout-ehdotuksen, työvaiheiden aikaerojen tasaamisen, asetusajkojen lyhentämisen ja eräkoon rajoittamisen avulla sylinterituotannon tahtiaika saatiin puoliintumaan alkuperäisestä tilanteesta. Samalla tuotannon läpimenoaika lyheni ja keskeneräinen tuotanto väheni. Tässä työssä saavutetut tulokset ovat arvioita, joiden on tarkoitus tukea eri kehitysehdotuksia ja niihin pääsemistä. Todelliset tulokset saadaan selville vasta, kun tuotantoa muutetaan ja tuloksia seurataan.

Tässä työssä toisena kokonaisuutena oli voimasynterinin toiminnan esittely. Voimasynterinin esittelyssä tutustuttiin sylinterin ja paineenmuuntimen toimintaan alan kirjallisuuden avulla. Tämän jälkeen perehdyttiin voimasynterinin rakenteeseen ja sen ominaispiirteisiin. Voimasynterinin esittelyssä keskityttiin tarkemmin kahteen asiakassovellukseen ja vertailtiin niiden ominaisuuksia tavallisiin järjestelmiin. Näin saatiin selville

voimasyylinterillä saavutettavat ominaisuudet ja vahvuudet verrattuna tavallisiin järjestelmiin. Voimasyylinteri soveltuu hyvin käytettäväksi kohteisiin, joissa liikematka on pitkä ja jotka tarvitsevat suurta voimaa vain lyhyellä matkalla. Tällaisissa kohteissa voimasyylinterillä saavutetaan samat järjestelmäominaisuudet jopa 70 prosenttia pienemmällä energiatarpeella normaaliin järjestelmään verrattuna. Voimasyylinteriä kehitetään jatkuvasti, jotta se soveltuisi paremmin erilaisiin käyttötarkoituksiin. Tulevaisuudessa voimasyylinterin käyttösovellukset kasvavat, kun hydraulijärjestelmien energiavaatimukset tiukentuvat.

Hytar Oy:n sylinterituotannon kehittäminen on tarkoitus aloittaa syksyllä 2011 uuden layoutin toteuttamisella. Layout päätettiin toteuttaa tämän diplomityön lopullisen layout-suunnitelman perusteella. Ennen layout-muutosta suunnitelmaa hiotaan ja mahdolliset rajoitteet otetaan huomioon. Layout-muutokselle tehdään alustava budjetti ja aikataulu sen toteuttamiseksi. Hytar Oy on kokenut tämän diplomityön tarpeelliseksi ja sen perusteella sylinterituotantoa kehitetään. Diplomityöstä on apua myös muille, jotka ovat suunnittelemassa tuotannon uutta layoutia tai läpimenoajan lyhentämistä.

LÄHTEET

- Aulanko, V. 1988. *Yrityksen toiminnan ohjaus*. Vammala, Vammalan kirjapaino Oy. 103 s.
- AVS-Group – Hytar Oy [WWW]. [viitattu 10.1.2011]. Saatavissa: <http://www.avsyhtiot.fi/hytar/?cmd=yhteys>.
- Fonselius, J., Rinkinen, J., Vilenius, M. 1995. *Koneautomaatio, Hydrauliiikka II*. Helsinki. Opetushallitus. 223 s.
- Harju, A., Valpio, J., Huhtala, V., Kilpeläinen, T. 1987. *Teollisuustalous*. Helsinki, Valtion painatuskeskus. 228 s.
- Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I., Miettinen, A. 2005. *Teollisuustalous*. 5. painos. Tampere, Tammer-Paino Oy. 510 s.
- Hirano, H. 1995. *5S for operators: 5 pillars of the visual workplace*. Portland. Productivity Press. 121 s.
- Hulkkonen, V. 2006. *Pneumatiikan perusteita - Toimilaitteet*. Fluid Finland 3, 1, s. 2–8. Erikoisliite ”Fluid klinikka No 14”.
- Hydraulics in industrial and mobile applications*. 2007. Milano, Assofluid. 804 p.
- Hydrauliikkaluettelo 2007*. 2007. Jyväskylä, Hytar Oy. 286 s.
- Hytar Oy. 2010. *Sylinterituotannon vuosiraportti 2010*. 12 s. [ei julkinen]
- Hytar Oy. 2011a. *Hydraulisynterimyynti vuosina 2005–2010*. 58 s. [ei julkinen]
- Hytar Oy. 2011b. *Hytar-sylinterien valmistumisjärjestys 10.5–27.5.2011*. 8 s. [ei julkinen]
- Hytarilta patentoitu voimasynteri. 2010. *Metsäalan ammattilehti* 6, 5, s. 95.
- Hyvärinen, L. 1994. *Sylinterin laadunvarmistusjärjestelmä*. Insinööriyö. Jyväskylä. Jyväskylän teknillinen oppilaitos. 79 s.
- Kauranne, H., Kajaste, J., Vilenius, M. 2006. *Hydraulitekniiikan perusteet*. 3.-6. painos. Vantaa, WSOY. 356 s.
- Kosomaa, K., Kosomaa, J. 2008. *Teollisuus- & mobilehydrauliiikka 1 perusteet*. Versio 1.2. AEL Oy. 240 s.

- Laatikainen, M. 2011. *Booster koneikko* [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Kimmo Vainio. Lähetetty 23.3.2011 klo 09:41.
- Lapinleimu, I., Kauppinen, V., Torvinen, S. 1997 *Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät*. Porvoo. WSOY. 398 s.
- Lapinleimu, I. 2007. *Ideaalitehdas: tehtaan suunnittelun teorian kiteytys*. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto. 197 s.
- Lehtonen, J. 2009. Opetusmoniste: *TETA-1400 Toiminnanohjaus* (kevät 2009), Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto.
- Liker, J. K. 2006. *Toyotan tapaan*. Suom. Niemi, M. Jyväskylä. Gummerus Kirjapaino Oy. 323 s. Alkuperäisen teoksen nimi: *The Toyota Way*.
- Muther, R. 1968. *Systematic Layout Planing*. 9th ed., repr. Boston, Industrial Education Institute.
- Opetushallitus. 2001. *NC-tekniikan perusteet* [www]. [viitattu 17.2.2011]. Saatavissa: <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/nctekn2.html>
- Pat. FI 20095655. *Paineväliainejärjestelmä ja paineväliainekomponentti sekä hydraulihalkoja*. Hytar Oy, Jyväskylä. (Sirkka, M. Laatikainen, M). Hak. nro FI 20095655, 11.06.2009. (12.12.2010). 11 s.
- Peltonen, A. 1997. *Tuottava tehdas*. Helsinki, Hakapaino Oy. 207 s.
- Rantanen, J. 2010. *Valulinjan käytettävyyden tehostaminen*. diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Konetekniikan osasto. 68 s.
- Rother, M., Shook, J. 1999. *Learning to see : value stream mapping to create value and eliminate muda*. Brookline, MA: Lean Enterprise Institute. 102 p.
- Slack, N., Chambers, S., Johnston, R. 2004. *Operations Management*. 4th ed. Harlow, Person Education. 794 p.
- Stevenson, W. 2002. *Operations Management*. 7th ed. Boston, McGraw-Hill. 910 p.
- Sylinterit. 2003. *FLUID Finland* [verkkodokumentti]. 3, 1, s. 2–7. 4.3.2003 [viitattu 31.3.2011]. Lehti ilmestyy myös painettuna. Saatavissa: <http://www.fluidfinland.fi/content/download/234/1412/file/sylinterit.pdf>. Erikoisliite ”FLUID klinikka No 3”.
- Tiainen, J. 1996. *JOT : tie tulevaisuuteen ja menestykseen*. Kuhmo, Kuhmon Kirjapaino Oy. 182 s.

Tuominen, R. 2011. *AVS-Group - Hytar Oy:n esittelymateriaali*. Hytar Oy. päivitetty 17.1.2011. julkaisematon esitys. 13 s.

Warring, R. H. 1983. *Hydraulic Handbook*. 8th ed. Morden: Trade and Technical Press. 504 p.

Haastattelut:

Eteläaho, Veijo. 2011. tuotantopäällikkö, Hytar Oy. Jyväskylä. Haastattelu 6.5.2011.

Hokkanen, Pekka. 2011. sorvari, Hytar Oy. Jyväskylä. Haastattelu 17.5.2011.

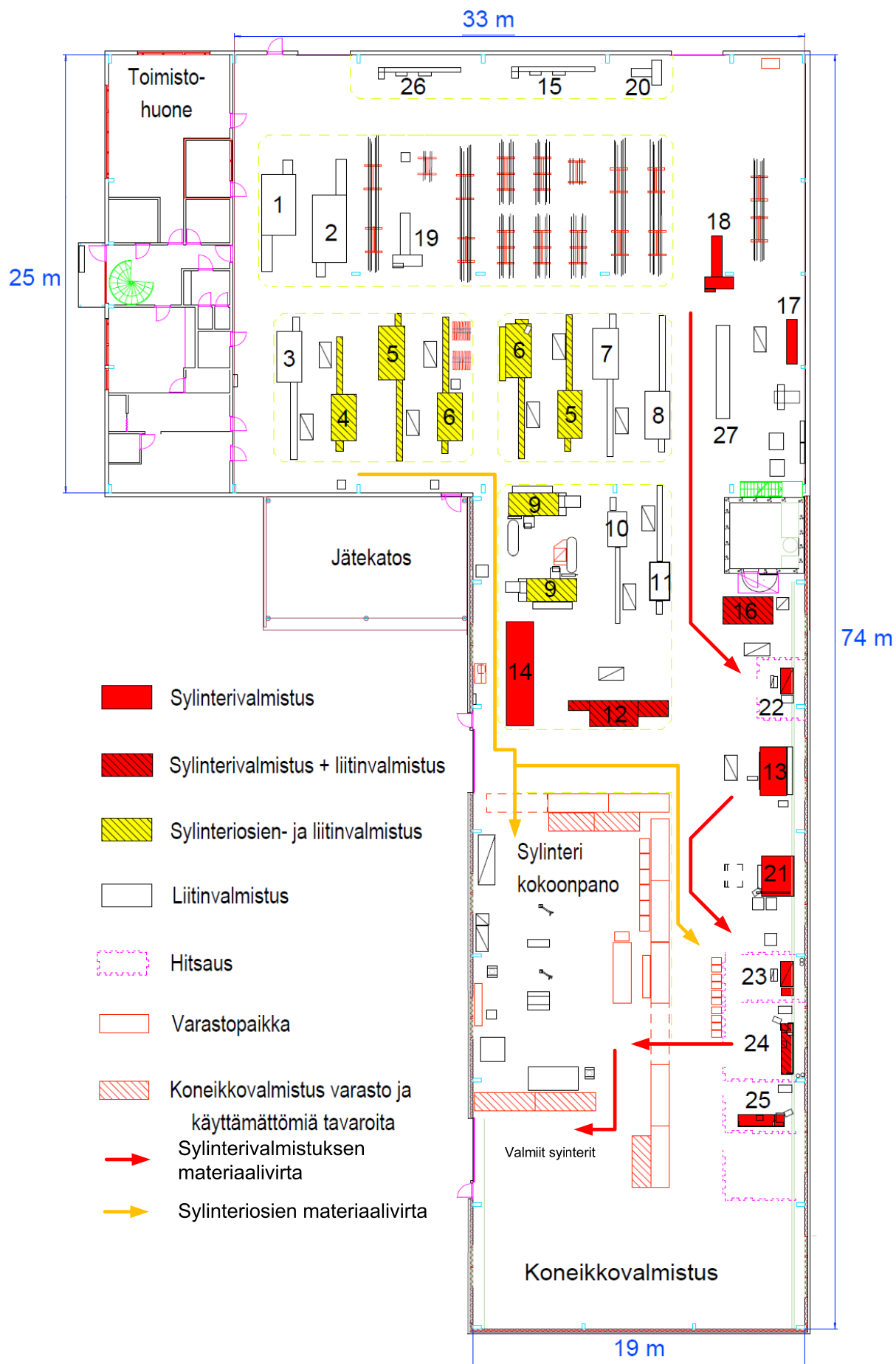
Laatikainen, Mikko. 2011. hydraulikkainsinööri, Hytar Oy. Jyväskylä. Haastattelut 12.1.2011, 10.2.2011.

Parantainen, Teemu. 2011. kokoonpanija, Hytar Oy. Jyväskylä. Haastattelu 23.2.2011.

Peipponen, Juho. 2011. hitsari, Hytar Oy. Jyväskylä. Haastattelut 31.3.2011, 10.5.2011.

Toivanen, Lauri. 2011. koneistaja, Hytar Oy. Jyväskylä. Haastattelu 24.2.2011.

LIITE 1: HYTAR OY:N JYVÄSKYLÄN TEHTAAN NYKYINEN LAYOUT JA KONEKANTA



Kuva 1. Hytar Oy:n Jyväskylän tehtaalan nykyinen layout.

Taulukko 1. Hytar Oy:n Jyväskylän tehtaan konekanta.

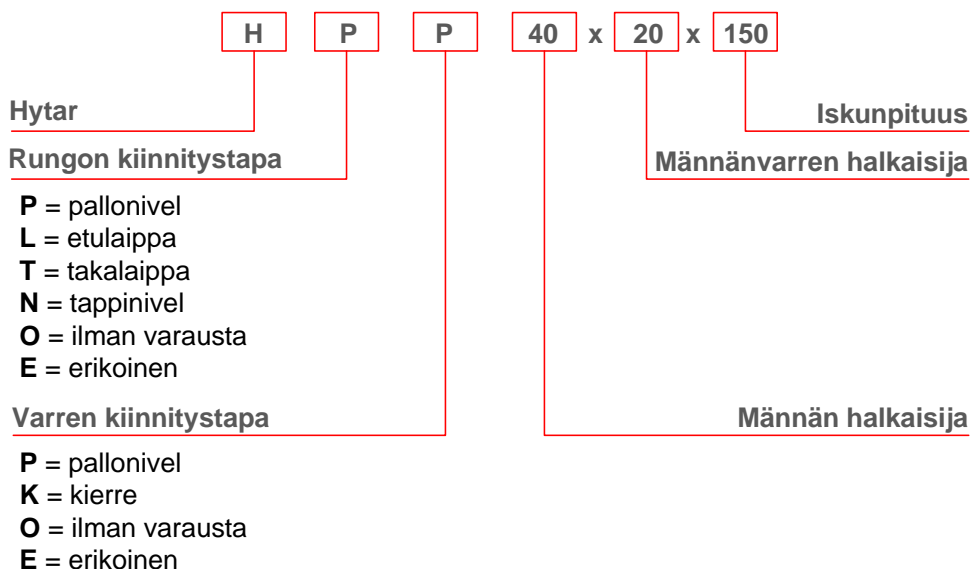
Nro	Kone tai laite	Valmistaja	Malli	Valmistettavat osat
1	NC-sorvi	Doosan Puma	TT1500 SY	liitinvalmistus
2	NC-sorvi	Doosan Puma	TT1800 SY	liitinvalmistus
3	NC-sorvi	Mori-Seiki	ZL-15S	liitinvalmistus
4	NC-sorvi	Johnford	TC-35	GE-pesä, laippa ja liitinvalmistus
5	NC-sorvi	Okuma	LB-15	sylinterin liitinnipat ja liitinvalmistus
6	NC-sorvi	Biglia	B56 S2M	männät, takapäädyt, ohjaushollkit (<70 mm) ja liitinvalmistus
7	NC-sorvi	Miyanomatic	KNC-45	liitinvalmistus
8	NC-sorvi	Takang	TNC-N200DS	liitinvalmistus
9	NC-sorvi	Okuma	LB-15	männät, takapäädyt, ohjaushollkit (>70 mm)
10	NC-sorvi	Miyano	BNC-34T	liitinvalmistus
11	NC-sorvi	Miyano	BNC-34	liitinvalmistus
12	NC-sorvi	Mori-Seiki	SL-25	sylinteriputkien ja männänvarsien sorvaus (Ø<40 mm, <600 mm)
13	NC-sorvi	Okuma	LC-20	sylinteriputkien ja männänvarsien sorvaus (Ø<70 mm, <1500 mm)
14	kärkisorvi	Cyclone	FB-30160	sylinteriputkien ja männänvarsien sorvaus (Ø >70 mm, >1500 mm)
15	kärkisorvi	ZMM	CU582	
16	kärkisorvi	Harrison Alpha	460	sylinteriputken pidätin urat ja hitsausviisteet sekä erikoisosien valmistus (<5 kpl)
17	kärkisorvi	Victor		sylinteriputkien hitsausviisteiden sorvaus
18	vannesaha	Daito	GA260W	sylinteriputkien ja männänvarsien sahaus
19	automaattinen vannesaha	Cosen	C-320NC	sylinteriosien sahaus sorveille, joissa ei ole tankosyöttöä
20	vannesaha	Kasto		tankojen sahaus tankosyöttöisille NC-sorveille
21	pystykarainen työstökeskus	Ford-center	VMC-850	sylinteriputken poraukset, kierteitys ja jyrsiä
22	MIG-hitsaus-automaatti	Kemppi	Feed 400	liitinnipan hitsaus
23	MIG- ja TIG puikkohitsaus	Kemppi		GE-pesien hitsaus
24	MIG-hitsaus-automaatti	Kemppi		sylinteriputkien 32–80 mm, männänvarsien 18–50 mm ja liittimien hitsaus
25	MIG-hitsaus-automaatti	Kemppi		sylinteriputkien 80–125 mm ja männänvarsien 50–80 mm hitsaus
26	putkentaivutuskone	BLM	B4X DIG	hydrauliputkien taivutus
27	putkentaivutuskone	Amca	Mini 42	

LIITE 2: HYTAR OY:N VAKIOSYLINTERIT

Taulukko 1. Hytar Oy:n vakiosylinterioiden tekniset tiedot.

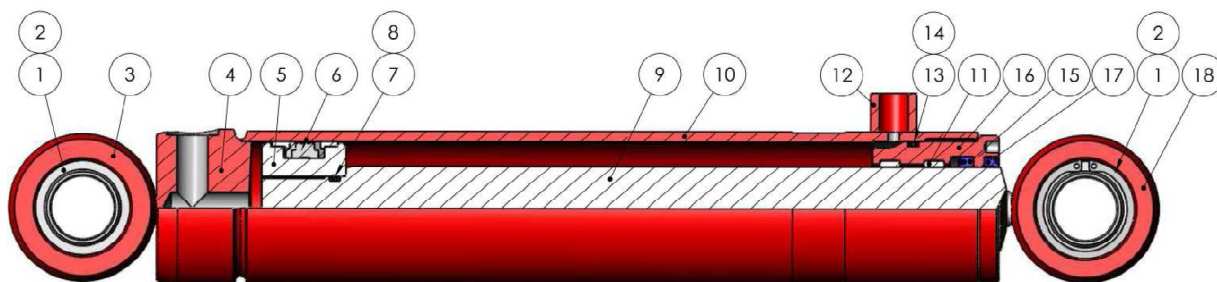
Käyttöpaine (MPa)	21	Tiivisteet	NBR, paineluokka 35 MPa
Koeistusaine (MPa)	26	Sylinteriputki	Fe 52, Ra = 0,4 µm
Käyttölämpötila (°C)	-20...+80 (vakiotiivistein)	Sylinteripäädät	Fe 52 C
Pallonivelet	vakio	Männänvarsi	SIS 2142M, kovakromattu ja kiillotettu
Liitännät	R-kierre	Toleranssit	isku ja pituus ISO 8135 mukaiset

HYTAR-SYLINTERIÖIDEN TILAUSAVAIN

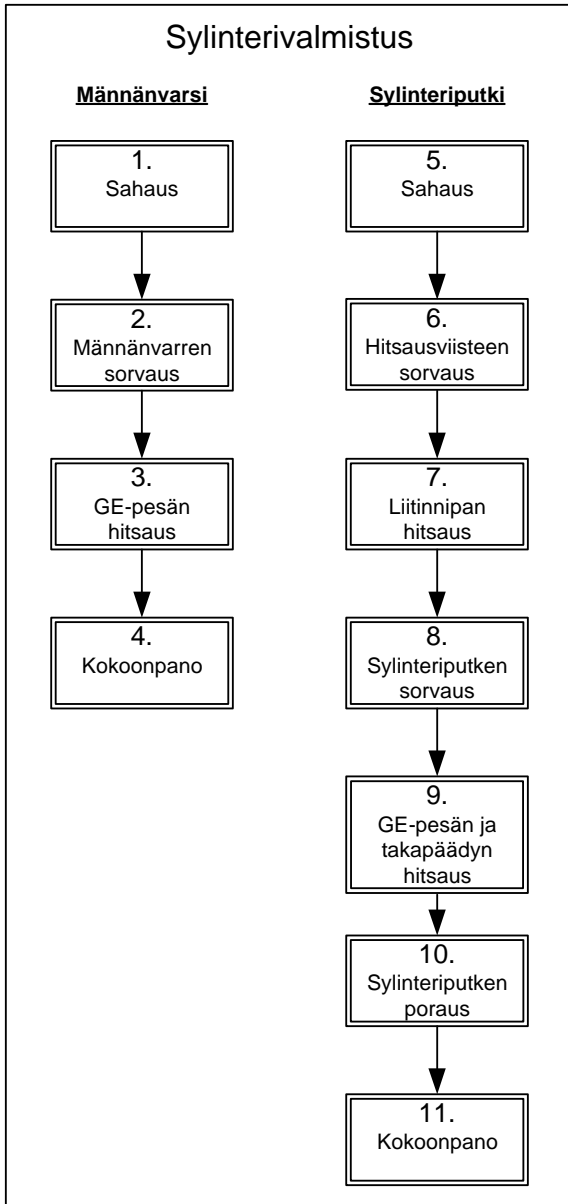


OSALUETTELO, HPP-sarja

- | | | |
|-----------------------|-------------------------------|----------------------------|
| 1. Pallonivel | 7. O-renkas | 13. O-renkas |
| 2. Varmistin DIN 472 | 8. O-renkaan tukirengas | 14. O-renkaan tukirengas |
| 3. Takapäädyn GE-pesä | 9. Männänvarsi | 15. Männänvarren tiivistin |
| 4. Takapäätty | 10. Sylinteriputki | 16. Ohjausholkki |
| 5. Mäntä | 11. Männänvarren ohjausrenkas | 17. Pyyhkijä |
| 6. Männän tiivistin | 12. Liitinnippa | 18. Männänvarren GE-pesä |

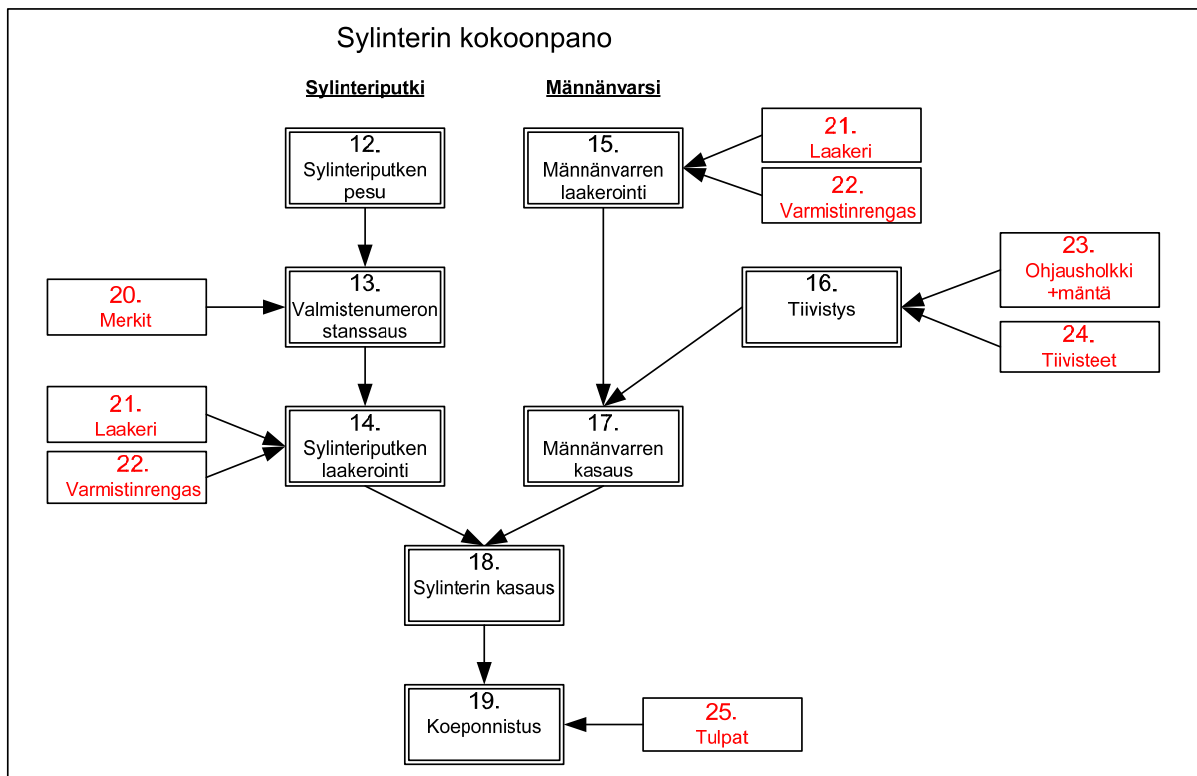


LIITE 3: SYLINDERIVALMISTUKSEN MATERIAALIVIRRAT

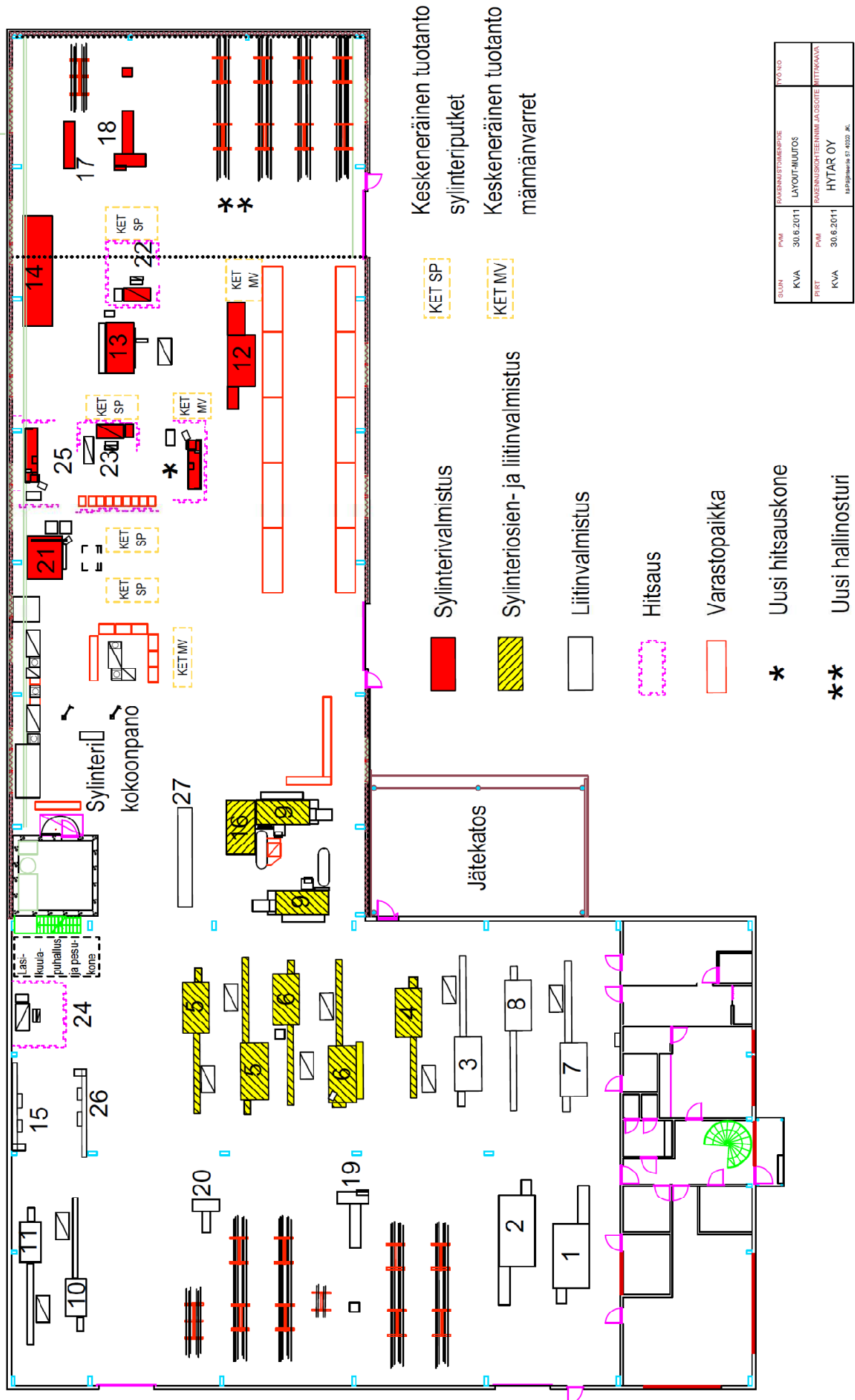


Taulukko 1. Työpisteiden ja varastojen välinen etäisyys sylinterivalmistuksessa.

Siirtymä työpisteiden ja varastojen välillä	Nykyinen [m]	Layout-ehdotus 1 [m]	Layout-ehdotus 2 [m]	Layout-ehdotus 3 [m]
1-2	31,5	29,4	14,5	15,7
2-3	32,7	10	12,4	8,7
3-4	19,5	13,8	19,1	27,7
5-6	19,4	19,7	3,7	11,8
6-7	4	9,6	6,9	7,7
7-8	7,3	4,8	8,9	7,6
8-9	18,9	8,2	10,2	15,6
9-10	12,6	12,1	13,5	7,6
10-11	20	5,1	6,7	21,7
12-13	3	3,9	3,3	3,9
13-14	3,1	2,1	2,1	2,1
14-18	2,7	4,1	5,5	5,7
15-17	2,7	3,8	2,2	2,2
16-17	4,1	2,2	2,9	2,5
17-18	3,6	3,6	3,6	5,8
18-19	7,9	2,3	2,3	2,3
20-13	5,4	2	2	2
21-14	6,7	0,9	0,9	0,9
22-14	3	2,5	2,5	2,5
21-15	6,7	0,9	0,9	0,9
22-15	3	2,5	2,5	2,5
23-16	8,8	1,4	1,4	1,4
24-16	5,8	1,3	1,3	1,3
25-19	7,2	5,8	3,8	5,8
YHT	239,6	152	133,1	165,9



LIITE 4: JYVÄSKYLÄN TEHTAAN LOPULLINEN LAYOUT



ESKUN	PVM	SAVAKUNNISTAMINEN	KY-NO
KVA	30.6.2011	LAYOUTMAITOS	
PERT	PVM	SAVAKUNNUSOHJEEN NIMI JA OSOITE	HITTOKAVA
KVA	30.6.2011	HYTAR OY	
		Isäpellantie 51, 40200 JK.	

LIITE 5: TARKASTELUJAKSON JA KEHITYSSUUNNITELMIEN LÄPIMENOAJAN LASKEMINEN

Tarkastelujakso:

Keskimääräinen eräkkoko $N_e = 10 \text{ kpl}$

Tahtiaika $T_t = 22,7 \text{ min}$

Keskeneräinen tuotanto $KET = 224 \text{ kpl}$

Työvaiheiden lukumäärä $N_{työ} = 5 \text{ kpl}$

Yhden tilauksen läpimenoaika työvaihetta kohden $L_1 = T_t N_e = 227 \text{ min}$ (1)

Yhden tilauksen läpimenoaika ilman puskurivarastoja $L_e = N_{työ} L_1 = 1135 \text{ min}$ (2)

Ensimmäisen erän jälkeen tuotannosta valmistuu 10 sylinteriä aina 227 minuutin välein. Näin ollen 224 sylinterin valmistamiseen kuluva aika eli tuotannon läpimenoaika L_{kok} on

$$L_{kok} = L_e + \left(\frac{KET}{N_e} - 1 \right) L_1 \approx 5993 \text{ min} \approx 99,9 \text{ h} \approx 13,3 \text{ pv} \quad (3)$$

Sylinterituotannon kuukausikapasiteetti voidaan laskea, kun tiedetään sylinterituotannon tahtiaika ja kuukauden työaika.

Päivittäinen työaika $T_p = 7,5 \text{ h} = 450 \text{ min}$

Työpäivien lkm. kuukaudessa $N_{p_kk} = 21,5$

Kuukausittainen kapasiteetti $N_{k_kk} = \frac{T_p N_{p_kk}}{T_t} = 426$ (4)

Taulukko 1. Tarkastelujakson ja kolmen eri suunnitelman läpimenoaika ja kuukausikapasiteetti.

	Muuttujat ja laskentakaavat	Tarkastelujakso	Suunnitelma 1	Suunnitelma 2	Suunnitelma 3
Maksimieräkkö [kpl]	N_{e_max}	ei rajoitettu	20	10	5
Keskimääräinen eräkkö [kpl]	N_e	10	9	7	5
Tahtiaika [min]	T_t	22,7	11,3	12	13,6
Keskeneräinen tuotanto [kpl]	KET	224	126	98	70
Työvaiheiden lkm. [kpl]	$N_{työ}$	5	5	5	5
Yhden työvaiheen läpimenoaika [min]	$L_1 = T_t N_e$	227	101,7	84	68
Ensimmäisen erän valmistamiseen kuluva aika [min]	$L_e = N_{työ} L_1$	1135	508,5	420	340
Läpimenoaika [päivää]	$L_{kok} = L_e + \left(\frac{KET}{N_e} - 1 \right) L_1$	13,3	4,1	3,4	2,7
Kapasiteetti kuukaudessa [kpl]	$N_{k_kk} = \frac{T_p N_{p_kk}}{T_t}$	426	856	806	711