

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# HYDRAULISYLINTERIN SUUNNITTELUN OHJEISTUS TUOTANNON KYVYKKYYDEN NÄKÖKULMASTA

TEKIJÄ/T: Ville Wikström

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Konetekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Ville Wikström	
Työn nimi Hydraulisynterin suunnittelun ohjeistus tuotannon kyvykkyyden näkökulmasta	
Päiväys 1/5/2023	Sivumäärä/Liitteet 22
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Hydroline Oy	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö tehtiin hydraulisyntereitä valmistavalle Hydroline Oy:lle. Tarkoituksena oli selkeyttää ja suoraviivaistaa sylinterin suunnittelua kokoamalla ohjeistusta, joka ottaa huomioon yrityksen tuotantotiloissa olevien koneiden ja valmistusprosessien mahdollisuuksia ja rajoitteita.</p> <p>Tavoite oli laatia ohjeistusdokumentti auttamaan suunnittelijoita tekemään tuotannon ja valmistettavuuden kannalta optimaalisia valintoja uuden tuotteen suunnitteluprosessissa. Tämä helpottaa suunnitteluprosessin läpivientiä ja vähentää uuden tuotteen suunnittelussa havaittuja puutteita.</p> <p>Opinnäytetyö koostuu kahdesta osasta, joista ensimmäinen sisältää taustatietoja ja hydraulisyntereihin sekä valmistusprosesseihin liittyvää teoriaa. Toinen osa on yrityksen sisäiseen käyttöön tarkoitettu suunnittelun ohjeistus. Suunnittelun ohjeistukseen liittyvää osuutta ei julkaista.</p> <p>Suunnittelun ohjeistukseen kerättiin tietoa haastattelemalla yrityksen tuotantoprosesseista vastaavia asiantuntijoita. Lisäksi tietoa saatiin alan kirjallisuudesta ja standardeista, sekä yrityksessä käytetystä koulutusmateriaalista.</p> <p>Suunnittelun ohjeistusta on tarkoitus käyttää sekä uusien tuotteiden suunnittelussa että osana uusien suunnitteluinsinöörien perehdytystä. Tuloksena saatiin dokumentti, jota pidetään ajan tasalla ja päivitetään tarpeen mukaan.</p>	
Avainsanat Hydraulisynteri, hydromekaniikka	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering	
Author(s) Ville Wikström	
Title of Thesis Design Guidelines for the Hydraulic Cylinder from the Ease of Manufacturing Perspective	
Date 1 May 2023	Pages/Appendices 22
Client Organisation /Partners Hydroline Oy	
<p><b>Abstract</b></p> <p>This thesis was commissioned by a hydraulic cylinder manufacturing and designing company called Hydroline Oy. The main task was to gather information on what design choices the engineer can make to help the manufacturing process of different components and parts taking into account the limits and possibilities of the current machinery used in the company's facilities and to write guidelines for the designers based on the gathered information. The objective was to improve lead times in parts manufacturing and to streamline the new product design process.</p> <p>The thesis consists of two separate sections. The first section includes basic theory of physical phenomena related to the functions of a hydraulic cylinder. This section also includes information on material properties which need to be taken into account when designing a cylinder to work in a specific environment and basics of different manufacturing processes used to produce the required parts and components of the cylinder. The second section includes the actual design guidelines to help design engineers make the best possible choices from the standpoint of manufacturability. This section is not to be published, as it may include confidential information.</p> <p>Information was gathered by interviewing persons responsible for the company's production processes. Further information was received from literature, standards and the training material used in the company.</p> <p>This work may be used in the orientation of new design engineers to the basics of hydraulic cylinders and also for current engineers designing new products. The result was an instructions document that will be kept up to date as needed.</p>	
Keywords	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
1.1	Tuotekehitys ja valmistettavuus .....	6
1.2	Yritysesittely .....	6
1.3	Toimiala .....	6
2	HYDRAULIIKKA .....	7
2.1	Hydromekaniikka .....	7
2.1.1	Paine ja voiman tuotto .....	8
2.1.2	Tilavuusvirta .....	8
2.1.3	Viskositeetti .....	9
2.2	Virtausnopeus ja sen vaikutus virtauslajeihin .....	10
2.3	Teho ja hyötysuhde .....	10
2.4	Väliaineet .....	11
3	YLEISIMMÄT HYDRAULISYLINTERIN TYYPIT .....	13
3.1	Yksitoiminen sylinteri .....	13
3.2	Kaksitoiminen sylinteri .....	13
4	MATERIAALIT .....	15
4.1	Materiaalin valinnan perusteet .....	15
4.1.1	Myötö- ja murtolujuus .....	15
4.1.2	Kovuus ja kulumiskestävyys .....	15
4.1.3	Iskusitkeys .....	16
4.1.4	Korroosionkestävyys .....	16
4.1.5	Väsymiskestävyys .....	17
4.1.6	Lastuttavuus .....	17
4.1.7	Hitsattavuus .....	17
4.1.8	Saatavuus ja hinta .....	18
5	VALMISTUSPROSESSIT .....	19
5.1	Lastuava työstö .....	19
5.2	Hitsaus .....	19
6	YHTEENVETO .....	21
	LÄHDELUETTELO .....	22

## KUVALUETTELO

Kuva 1. Yksitoiminen sylinteri (Hydroline Oy, 2022).....	13
Kuva 2. Yksipuolisella männänvarrella varustettu kaksitoiminen sylinteri (Hydroline Oy, 2022) .....	13
Kuva 3. Terästen ominaisuuksiin perustuvat nimikkeet. (METSTA, 2019, p. 18).....	16

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tuotekehitys ja valmistettavuus

Tuotekehitysvaiheessa määräytyy valtaosa tuotteen valmistuskustannuksista. Tästä syystä tuotekehittäjien tulisi olla tietoisia eri valmistusmenetelmien periaatteista. Tämän lisäksi eri materiaalit voivat tuoda omat lisähaasteensa valmistettavuuteen. Valmistusprosessien hyvä tuntemus auttaa suunnittelijaa valitsemaan kullekin osalle sopivat aihiot ja käyttötarkoituksen täyttävät materiaalit. Oikeilla menetelmillä pystytään huomattavasti vähentämään tuotteen valmistuksessa käytettäviä resursseja. Esimerkiksi jos kappaleessa on useita hankalia muotoja, aihioksi voisi sopia valuaihio tai tae. Toisaalta takeen kannattavuuteen vaikuttaa tuotantoerän koko. Valuaihion käyttöä rajoittaa käytettävissä olevat materiaalit muiden ominaisuuksien määrääminä. Jos suurta vetolujuutta, hyvää hitsattavuutta tai iskusitkeyttä vaaditaan, saattavat valutuotteet olla poissuljettuja.

Tuotekehityksessä yleisesti käytettyjä lyhenteitä ovat DFM ja DFA, jotka tarkoittavat englanniksi Design for Manufacturing ja Design for Assembly. Näistä käytetään myös yhdistelmää DFMA. DFM viittaa tuotekehityksessä kappaleen valmistusta helpottavaan tuotesuunnitteluun. DFA puolestaan keskittyy kappaleen kokoonpanon suoraviivaistamiseen. Molemmilla tuotesuunnittelun periaatteella voidaan saada merkittäviä kustannussäästöjä aikaiseksi, kun kappaleen läpimenoaika lyhenee ja kokoonpanojen monimutkaisuus vähenee. Todellisuudessa jollain osa-alueella joudutaan tekemään kompromisseja. (Hietikko, 2021, s. 6)

## 1.2 Yritysesittely

Hydroline Oy on vuonna 1962 perustettu hydraulisyylintereitä valmistava tuotantoyritys. 1970-luvulla tuotevalikoimaa laajennettiin hydraulisyylintereihin ja tuotanto siirtyi suurempiin tiloihin. 1984 yritys siirtyi Vuorelan toimitiloihin, jossa se toimii tänäkin päivänä n. 250 työntekijän voimin. 2014 rakennettiin Puolaan toinen tuotantolaitos. Puolan toimipisteellä työskentelee n. 100 henkeä. (Hydroline Oy, 2022)

## 1.3 Toimiala

Yritys on erikoistunut asiakkaan tarpeisiin räätälöityjen hydraulisyylintereiden valmistukseen ja kehittämiseen. Tähän kuuluu uuden tuotteen suunnittelu, sekä asiakkaan piirustuksilla valmistettavat sylinterituotteet. Liiketoimintaan kuuluu myös Service-palvelut, johon kuuluu toimitettujen tuotteiden takuukorjaukset ja huollot, sekä erikoistilaukset.

Hydraulisyylinteriteollisuus on noin 16 miljardin USD arvoinen maailmanlaajuisesti. Kyseessä on kasvava ala ja 2027 mennessä arvioidaan arvon kasvavan yli 18 miljardiin. Kasvuun vaikuttaa raskas teollisuudessa käytetyn kaluston kysyntä. Alalla tapahtuu myös jatkuvaa kehitystyötä koneiden ja prosessien automatisoinnin parantamisessa. Tähän hyödynnetään kasvavassa määrin älykkäitä hydraulikkajärjestelmiä. (MarketsandMarkets, 2022)

## 2 HYDRAULIIKKA

### 2.1 Hydromekaniikka

Hydromekaniikka voidaan jakaa hydrostaattisiin ja hydrodynaamisiin osa-alueisiin. Hydrostaattiset lait käsittelevät virtaamatonta ideaalinessettä, jossa oletetaan nesteen olevan massaton, kitkaton ja kokoonpuristumaton. Hydrostaatikassa tarkastellaan siis paineistetun nesteen vaikutusta ympärillä oleviin pintoihin. Hydrodynaamiset lait puolestaan käsittelevät virtaavaa nestettä. Siinä pyritään ottamaan huomioon massat, kitkat ja kokoonpuristuvuudet, joita nesteissä todellisuudessa esiintyy. (Kauranne, Kajaste, & Vilenius, 2013, pp. 13, 23)

Taulukossa 1 on esitetty hydrauliiikkaan liittyviä tärkeitä suureita ja yksiköitä.

Taulukko 1. Hydrauliiikan suureita ja perusyksiköitä (Keinänen & Sumujärvi, 2019, p. 142)

Suure	Merkintä	Yksikkö
paine	$p$	Pa (Pascal) = N/m <sup>2</sup> 1 MPa = 10 <sup>6</sup> Pa = 1 N/mm <sup>2</sup> 1 bar = 10 <sup>5</sup> Pa 1 atm = 1,013 bar 1 psi = 0,069 bar
tilavuusvirta	$Q (V, q, qv)$	m <sup>3</sup> /s, 1 l/min = 1/60000 m <sup>3</sup> /s
pinta-ala	$A$	m <sup>2</sup>
tilavuus	$V$	m <sup>3</sup>
tiheys	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>
voima	$F$	N (Newton) = kg*m/s <sup>2</sup>
momentti	$m$	Nm
pituus	$l$	m
massa	$m$	kg
nopeus	$v$	m/s
aika	$t$	s
teho	$P$	W (watti)
hitausmomentti	$J$	kgm <sup>2</sup>
pyörimisnopeus	$n$	1/s, 1/min = 60 1/s
kulmanopeus	$\omega$	rad/s, 1°/s = 0,0175 rad/s
Dynaaminen viskositeetti	$\eta$	Pa*s (Poiseuille) = Ns/m <sup>2</sup>
Kinemaattinen viskositeetti	$\nu$	m <sup>2</sup> /s
lämpötila	$T$	K (Kelvin), 0°C = 273,15 K
maan vetovoiman kiihtyvyys	$g$	9,81 m/s <sup>2</sup>
kierrostilavuus	$Vp$	m <sup>3</sup> /r

### 2.1.1 Paine ja voiman tuotto

Paine ( $p$ ) syntyy, kun voimaa kohdistuu tiettyyn pinta-alaan. Kun voima ( $F$ ) ja pinta-ala ( $A$ ) ovat tiedossa, voidaan paine laskea kaavalla

$$p = \frac{F}{A}. \quad (1)$$

Koska paine vaikuttaa kaikkiin pintoihin samansuuruisena, voidaan kapean hydraulikkaletkun kautta kohdistaa hydraulipumpun tuottama tilavuusvirta sylinterin mäntään. Tämä saa aikaan lineaarisen voiman, jolla mäntä ja varrenpäässä oleva kuorma saadaan liikkeelle. Kaavan 2 mukaan mitä suurempi männän pinta-ala, sitä suurempi on kyseisen voiman suuruus, vaikka paine pysyisi vakiona.

$$A * p = F. \quad (2)$$

Tyypillinen työpaine sylinterissä voi olla 200 bar, joka vastaa noin 20 MPa. Halkaisijaltaan 100 mm männällä voitaisiin tuottaa yllä olevan kaavan mukaan siis 157 kN työntävää voimaa. Palautusliikkeessä varrenpuoleisen öljytilan voimantuotossa täytyy huomioida varren poikkipinta-ala vähentämällä se männän pinta-alasta. Sylinterin mäntään kohdistetaan paine, joka syntyy pumpun tuottaman tilavuusvirran ja sylinterin päässä olevan kuorman aiheuttamasta vastuksesta.

### 2.1.2 Tilavuusvirta

Jatkuvuusyhtälön mukaan järjestelmässä liikkuvan nesteen tilavuusvirta ( $Q$ ) pysyy vakiona. Jos putken poikkipinta-ala pienenee, tämä johtaa suurempaan virtausnopeuteen ( $v$ ). Tilavuusvirta saadaan laskettua kaavalla:

$$Q = A \times v. \quad (3)$$

Kun tilavuusvirta pysyy samana, voidaan virtausnopeuksia järjestelmän eri kohdissa tarkastella jatkuvuusyhtälön avulla:

$$A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2. \quad (4)$$

Tilavuusvirran perusyksikkö on  $\text{m}^3/\text{s}$ , joka kannattaa käytännön syistä muuntaa yksikköön  $\text{l}/\text{min}$ , kun puhutaan hydraulipumpun tuottamasta virrasta. (Keinänen & Kärkkäinen, 2005, p. 173)

Todellisen tilavuusvirran ( $Q_{\text{tod}}$ ) määrittämisessä täytyy ottaa huomioon järjestelmässä tapahtuvat vuodot ja häviöt. Vuotoihin vaikuttavat järjestelmän paine-erot ja tiivisteratkaisut. Vuotoja huomioidessa tilavuusvirta lasketaan kaavalla, jossa häivättömän tilavuusvirran kaava jaetaan volumetrillä hyötysuhteella ( $\eta_{\text{vol}}$ ):



$$Q_{\text{tod}} = \frac{A \times v}{\eta_{\text{vol}}}. \quad (5)$$

Hydraulisyylinterin tiivistys on yleensä niin hyvä, että volumetriseina hyötysuhteena voidaan käyttää arvoa 1, mutta järjestelmän muissa komponenteissa voi esiintyä hyötysuhteeseen vaikuttavaa painehäviötä. (Keinänen & Kärkkäinen, 2005, p. 260)

Pumpun tuottama tilavuusvirta vaikuttaa sylinterin työtahtiin. Mitä suurempi tilavuusvirta, sitä suuremmalla nopeudella sylinterin mäntä liikkuu. Hydrauliikkapumppujen tilavuusvirta ilmoitetaan yleensä yksikössä litraa per minuutti, eli l/min. Paineen suuruus ei vaikuta sylinterin liikkeen nopeuteen. Paine vaikuttaa sylinterin kykyyn siirtää kuormaa, eli mitä suurempi paine, sitä painavampia kuormia voidaan liikuttaa. Suurempi paine ja voima täytyy ottaa huomioon komponenttien ja osien mitoituksessa. Hydraulisyylinteri on tästä syystä yksi ensimmäisistä järjestelmän mitoitettavista osista, sillä käyttökohteessa tapahtuva kuormitus ja työ määrittävät sylinteriltä vaadittavan suorituskyvyn. Tämä lähtökohta puolestaan määrittää hydrauliikkajärjestelmän muiden komponenttien vaatimukset. (Keinänen & Kärkkäinen, 2005)

### 2.1.3 Viskositeetti

Viskositeetillä tarkoitetaan käytännössä virtaavan nesteen virtausvastusta. Viskositeetti voidaan määrittää kahdella eri suureella. Dynaaminen, eli absoluuttinen viskositeetti ( $\eta$ ), saadaan kaavasta

$$\eta = \nu \times \rho \quad (6)$$

Missä

$\eta$  = dynaaminen viskositeetti (Ns/m<sup>2</sup>)

$\nu$  = kinemaattinen viskositeetti (m<sup>2</sup>/s)

$\rho$  = nesteen tiheys (kg/m<sup>3</sup>).

Kinemaattisen viskositeetin kaava saadaan johdettua kaavasta 6. Nesteen viskositeettia voidaan myös mitata siihen tarkoitetuilla mittalaitteilla. Kyseiset arvot ovat tärkeitä virtauslajien tarkastelussa, sillä virtauksen käyttäytymistä voidaan ennakoida näillä tiedoilla.

Viskositeetillä on suuri vaikutus hydraulijärjestelmän toimintaan. Suuri viskositeetti antaa nesteelle suuremman virtausvastuksen. Tämä johtaa nesteen huonompaan voitelukykyyn heikomman tunkeutumisen johdosta ja järjestelmän matalampaan hyötysuhteeseen. Pienemmällä viskositeetti-arvoilla neste on juoksevampaa, jolloin se tunkeutuu helpommin voideltaviin pintoihin, mutta järjestelmä voi helpommin vuotaa ja voitelevan kalvon paksuus ohenee, joka myös johtaa kulumiseen. Lämpötila vaikuttaa oleellisesti nesteen viskositeettiin. Suuremmalla lämpötilalla viskositeetti pienenee ja kylmemmällä puolestaan kasvaa nopeasti. Järjestelmän käyttöympäristön lämpötilavaihtelut vaikuttavat paljon sopivan väliaineen valinnassa. (Keinänen & Kärkkäinen, 2005, pp. 174-175)

## 2.2 Virtausnopeus ja sen vaikutus virtauslajeihin

Nesteen virtausta voidaan kutsua turbulენტtiseksi tai laminaariseksi. Turbulenttinen virtaus tarkoittaa nesteen pyörteilevää liikettä, jossa nestehiukkaset eivät kulje keskenään samansuuntaisesti, vaan voivat väliaikaisesti kulkea jopa virtaussuunnan vastaisesti. Laminaarinen virtaus puolestaan tarkoittaa nestehiukkasten samansuuntaista liikettä. Turbulenttinen virtaus ei ole hydraulijärjestelmässä toivottavaa, sillä se kasvattaa tilavuusvirran häviötä. Virtausnopeus kasvattaa häviötä myös laminaarisessa virtauksessa, mutta turbulენტtisessa virtauksessa häviö kasvaa eksponentiaalisesti virtausnopeuden funktiona.

Järjestelmässä tapahtuvaa nesteen virtausta voidaan tarkastella laskemalla Reynoldsin luku ( $Re$ ):

$$Re = \frac{v \times d}{\nu} \quad (7)$$

Missä

$v$  = virtausnopeus (m/s)

$d$  = virtausputken poikkileikkauksen pinta-ala sisähalkaisijan mukaan ( $m^2$ )

$\nu$  = kinemaattinen viskositeetti ( $m^2/s$ ).

Kun tulosta verrataan kriittiseen Reynoldsin lukuun ( $Re_{kr}$ ) voidaan arvioida nesteen virtauslaji, eli jos  $Re > Re_{kr}$ , on virtaus turbulენტtista. Kun  $Re < Re_{kr}$ , on virtaus puolestaan laminaarista. Pyöreään putken  $Re_{kr}$  tiedetään olevan 2000–2300. Vaikka arvosta 2000 alkaa virtaus vasta muuttumaan turbulენტtiseksi, pidetään koko siirtymäaluetta käytännössä kriittisenä. Koska lämpötila vaikuttaa suuresti nesteen viskositeettiin, saattaa virtaus muuttua turbulენტtiseksi lämpötilan noustessa. (Keinänen & Kärkkäinen, 2005, p. 175)

## 2.3 Teho ja hyötysuhde

Jotta sylinteriin mäntä saadaan liikkeelle, pitää siihen kohdistuvan paineen olla suurempi kuin vastakkaisen puolen kammiossa vallitsevan paineen ja sylinterin ulkoisen kuorman yhteisvaikutus. Laskennassa otetaan huomioon myös hydromekaaninen hyötysuhde, johon vaikuttavat mekaaniset ja hydrauliset kitkat:

$$p_{\text{tod. tulo}} = \frac{F}{A_{\text{tulo}} \times \eta_{\text{hm}}} + p_{\text{lähtö}} \times \frac{A_{\text{lähtö}}}{A_{\text{tulo}}} \quad (8)$$

Missä

$F$  = sylinteriä kuormittava voima [N]

$A_{\text{tulo}}$  = männän paineenalainen pinta-ala työtä tekevän kammion puolella [ $m^2$ ]

$\eta_{\text{hm}}$  = hydromekaaninen hyötysuhde

$p_{\text{lähtö}}$  = työtä tekevän kammion vastakkaisella puolella vallitseva paine [Pa]

$A_{\text{lähtö}}$  = männän paineenalainen pinta-ala työtä tekevän kammion vastakkaisella puolella. (Kauranne, Kajaste, & Vilenius, 2013, p. 202)

Sylinterin mäntään kohdistuva mekaaninen teho riippuu sylinteriä kuormittavan voiman suuruudesta ja vaaditusta liikenopeudesta. Jotta mäntää saadaan liikutettua kuormituksen vastaiseen suuntaan, täytyy siihen kohdistaa mekaanista tehoa suurempi hydraulinen teho. Taulukossa 2 nähdään eri sylinterityyppien kokonaishyötysuhde ( $\eta$ ):

Taulukko 2. Sylinterityyppien kokonaishyötysuhteet (Kauranne, Kajaste, & Vilenius, 2013, p. 203)

Sylinterityyppi	$\eta$
Yksi- ja kaksitoimiset mäntätyypiset sylinterit	0,90–0,96
Teleskooppisylinterit	0,80–0,90

Todellinen hydraulinen teho ( $P_{\text{tod}}$ ) lasketaan seuraavasti

$$P_{\text{tod}} = q_{V,\text{tulo}} \left( P_{\text{tulo}} - \frac{A_{\text{lähtö}}}{A_{\text{tulo}}} \times P_{\text{lähtö}} \right) = \frac{F \times v}{\eta_t} \quad (8)$$

Missä

$q_{V,\text{tulo}}$  = sylinterille tuotu tilavuusvirta [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$p_{\text{tulo}}$  = paine työtä tekevässä sylinterikammiossa [Pa]

$p_{\text{lähtö}}$  = paine työtä tekevän sylinterikammion vastakkaisessa puolessa [Pa]

$A_{\text{tulo}}$  = männän paineenalainen pinta-ala työtä tekevän kammion puolella [ $\text{m}^2$ ]

$A_{\text{lähtö}}$  = männän paineenalainen pinta-ala työtä tekevän kammion vastakkaisella puolella [ $\text{m}^2$ ]

$F$  = sylinteriä kuormittava voima [N]

$v$  = vaadittu liikenopeus [ $\text{m}/\text{s}^2$ ] ja  $\eta_t$  = kokonaishyötysuhde. (Kauranne;Kajaste;& Vilenius, 2013, s. 203)

## 2.4 Väliaineet

Väliaineen tehtävä on välittää hydraulipumpun tuottama hydraulinen teho toimilaitteelle, kuten hydraulisylinterin männälle, joka muuttaa sen mekaaniseksi tehoksi. Toinen tärkeä tehtävä on suojata kappaleiden pintoja kulumiselta ja korroosiolta. Neste sopii väliaineeksi hyvin, koska se on herkkäliikkeistä ja lähes kokoon puristumatonta. Hydraulisylintereissä yleisimmin käytettävät väliaineet ovat

- mineraaliöljyt
- synteettiset öljyt
- kasviöljyt.

Käyttökohde vaikuttaa oleellisesti väliaineen soveltuvuuteen. Teollisuudessa tärkein näistä on mineraaliöljy. Se on edullisempaa kuin synteettiset öljyt alhaisemmasta jalostusasteesta johtuen. Synteettiset öljyt sopivat yleiskäytön lisäksi vaativampiin kohteisiin, joissa öljyltä odotetaan tiettyjä erityisominaisuuksia, esimerkiksi korkeaa lämmönsietoa. Kasviöljyt ovat monelta osin ominaisuuksiltaan mineraaliöljyjen luokkaa. Niiden etu on se, että ne ovat myrkyttömiä ja ympäristöystävällisiä. Niiden haittapuolena on huonommat kylmäominaisuudet sekä mineraaliöljyä kalliimpi hinta. (Keinänen & Kärkkäinen, 2005, p. 280)

Hydraulinesteiden yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on viskositeetti-indeksi. Tällä kuvataan, kuinka nesteen viskositeetti muuttuu lämpötilan vaihtuessa. Mitä suurempi viskositeetti-indeksi, sitä paremmin väliaine säilyttää siltä vaaditun viskositeetin lämpötilan laskiessa tai noustessa. Tämä ominaisuus on tärkeä esimerkiksi arktisissa olosuhteissa.

### 3 YLEISIMMÄT HYDRAULISYLINTERIN TYYPIT

#### 3.1 Yksitoiminen sylinteri

Hydraulisyylinterit voidaan karkeasti jakaa kahteen ryhmään. Yksitoimissa sylintereissä on yleensä vain A-liitäntäportti (kuva 1), jonka kautta nesteen tilavuusvirta tuottaa mäntää paineen, joka liikuttaa vartta sisään tai ulos liitäntäportin sijainnista riippuen.



Kuva 1. Yksitoiminen sylinteri (Hydroline Oy, 2022)

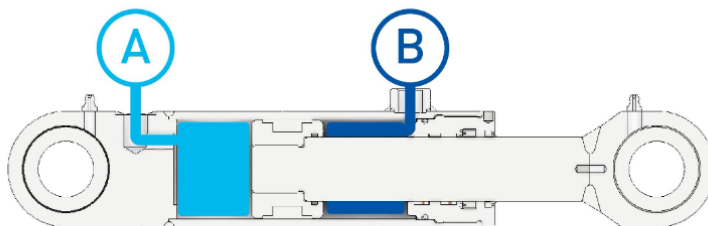
Palautusliikkeen saa aikaiseksi varrenpäässä olevan kuorman aiheuttama vastakkaissuuntainen voima. Tietyissä sovelluksissa voidaan myös käyttää joustaa sylinteriputken sisällä palauttamaan mäntä alkuasentoon. Yksitoimisiin sylintereihin lukeutuu myös oppomäntäsylinterit ja teleskoopisylinterit.

Oppomäntäsylintereissä männänvarsi toimii mäntänä. Niissä ei siis ole erillistä mäntää. Tämän tyyppisen rakenteen etuna on suuri kuormankesto. Oppomäntäsylintereitä käytetään mm. puristimissa, nostolavoissa ja kiinnittimissä. (Kauranne, Kajaste, & Vilenius, 2013, p. 196)

Teleskoopisylinterien rakenne poikkeaa muista sylinterityypeistä useammalla sisäkkäisellä männällä. Niiden etu on suuri iskun pituus asennuspituuteen verrattuna. (Kauranne, Kajaste, & Vilenius, 2013, p. 197)

#### 3.2 Kaksitoiminen sylinteri

Kaksitoimisessa sylinterissä on A- ja B-liitäntäportit (kuva 2).



Kuva 2. Yksipuolisella männänvarrella varustettu kaksitoiminen sylinteri (Hydroline Oy, 2022)

Kahden liitäntäportin avulla pystytään liikuttamaan mäntää molempiin suuntiin. Tämä ominaisuus tekee kaksitoimisesta sylinteristä huomattavasti monipuolisemman ja on tästä syystä yleinen liikkuvissa työkoneissa. Kaksitoimiseksi sylintereiksi lukeutuvat yksipuolisella männänvarrella varustetut kaksitoimiset sylinterit, kaksipuoliselle männänvarrella varustetut kaksitoimiset sylinterit sekä kaksitoimiset teleskooppisylinterit. (Kauranne, Kajaste, & Vilenius, 2013, p. 199)

## 4 MATERIAALIT

### 4.1 Materiaalin valinnan perusteet

Hydraulisyylinterin käyttöympäristö asettaa materiaalille tarkkoja vaatimuksia. Tavoite on, että valittu materiaali mahdollistaa sylinterin turvallisen käytön suunnitellun käyttöiän ajan ja on lisäksi taloudellisesti kannattava valinta. Taloudellisuus ja vaativat käyttöolosuhteet eivät aina kulje käsikädessä, joten suunnittelijan vastuulle jää valita valmistajan kannalta järkevä ja asiakkaan toiveet täyttävä ratkaisu. Materiaalien valintaan vaikuttavia ominaisuuksia ovat

- myötö- ja murtolujuus
- kovuus ja kulumiskestävyys
- sitkeys
- korroosionkestävyys
- väsymiskestävyys
- lastuttavuus
- hitsattavuus
- saatavuus ja hinta.

#### 4.1.1 Myötö- ja murtolujuus

Sylinterin mitoituksen kannalta tärkeimpiä alkutietoja on siihen kohdistuvat voimat, syklien määrä ja suunniteltu kestoikä. Nämä vaikuttavat suoraan materiaalin valintaan, koska kappaleeseen kohdistuva jännitys on verrannollinen voiman suuruuteen sekä materiaalin poikkipinta-alaan, niin kuin kaavasta 1 nähdään. Jännityksellä ja paineella on siis sama perusyksikkö Pascal (Pa). Terästen lujuudet on ilmoitettu yksikössä N/mm<sup>2</sup>, eli MPa.

#### 4.1.2 Kovuus ja kulumiskestävyys

Materiaalin kovuus määritellään tarkastelemalla sen kykyä vastustaa muodonmuutosta standardin mukaisissa kokeissa. Kokeet suoritetaan painamalla mittakärkeä materiaalin pintaa vasten ja tarkastelemalla kärjen tuottamaa jälkeä. Kovuus voidaan ilmoittaa kolmella eri yksiköllä:

- HRC (Rockwell)
- HB (Brinell)
- HV (Vickers).

Kovuuden yksikkö riippuu kovuusmittauksessa käytetystä menetelmästä, jotka ovat tarkoin määriteltä SFS EN 10109-1 standardissa. (Koivisto, et al., 2014, pp. 18-19)

Hydraulisyylinterin toiminnan kannalta kovuus on tärkeä ominaisuus männän varrelle, sillä se on altis iskuille ja naarmuille. Naarmut ja painaumat varren pinnalla vaikuttavat tiivisteiden toimintaan ja pahimmassa tapauksessa ne voivat rikkoontua terävien reunojen johdosta. Männänvarret vaativat tästä syystä kromilla tehdyn pintakäsittelyn, jolla saavutetaan 750-1050 HV kovuus. Kromipinta suojaa vartta naarmuuntumiselta, kulumiselta sekä korroosiolta. Tämä mahdollistaa sitkeämmän materiaalin käytön, sillä tarvittava kovuus ja kulumiskestävyys saadaan aikaiseksi pintakäsittelyllä.

### 4.1.3 Iskusitkeys

Sitkeydellä tarkoitetaan materiaalin iskunsietokykyä ja alttiutta haurasmurtumille. Sitkeys ei ole pelkästään materiaalin ominaisuus, vaan siihen vaikuttaa ratkaisevasti myös lämpötila. Koska hydraulisylinterit voidaan suunnitella toimimaan arktisissa olosuhteissa, joudutaan materiaalin valinnassa ottamaan iskusitkeys huomioon. Teräksen nimikkeessä voidaan ilmoittaa kyseisen laadun iskusitkeys, kuten alla olevasta kuvasta nähdään.

	Teräslaji	Laatuluokat	
rakenneteräs	S235	JR / J0 / J2	koelämpötila 0°C
ohuimman paksuusalueen vähimmäismyötölujuus, MPa	S275	JR / J0 / J2	koelämpötila -20°C
	S355	JR / J0 / J2 / K2	iskuenergia min. 40 J
	S450	J0	iskuenergia min. 27 J

Kuva 3. Terästen ominaisuuksiin perustuvat nimikkeet. (METSTA, 2019, p. 18)

Iskusitkeys määritetään standardin mukaisella koemenetelmällä, jossa hyödynnetään Charpyn heilurivasaraa. Tyypillinen hydraulisylinterin putkessa käytetty materiaali on S355J2, jonka iskusitkeys on testattu -20° lämpötilassa kestämään 27 joulen iskuenergian.

### 4.1.4 Korroosionkestävyys

Materiaalin korroosionkestävyyttä voidaan parantaa sopivalla pintakäsittelyllä. Hydraulisylinterin komponenteista maalataan kaikki pinnat, jotka ovat ilman kanssa kontaktissa männänvartta lukuun ottamatta. Männänvarresta maalataan vain se osa, joka jää esille sylinterin ollessa minimi asennossa. Maalaamattomia pintoja ovat myös tiivistävät pinnat, laakeripesät ja kierteet. Sylinterin öljytissä olevia pintoja ei maalata, sillä öljy suojaa korroosiolta. Varren maalaamatonta pintaa suojaa kromipinnoite. Maalauksen lisäksi tietyt sylinterin komponentteja, kuten johdinputkia voidaan suojata sinkkipinnoitteella. Tämä antaa lisäsuojaa maalipinnan rikkouduttua, kuten kovassa käytössä on tapana käydä. Sinkitty pinta hankaloittaa hitsausta huomattavasti ja olisi tästä syystä hyvä välttää, jos mahdollista.

Korroosion vaikutusta voidaan minimoida myös valitsemalla sopiva materiaali kyseiseen käyttökohteeseen. Korroosiota paremmin kestäviä teräksiä nimetään haponkestäviksi tai ruostumattomiksi teräksiksi. Näille materiaaleille ominaista on vähintään 10,5 % kromipitoisuus. Näiden kahden teräslaadun kemiallinen koostumus eroaa muun muassa molybdeenin pitoisuudella, jota esiintyy haponkestävässä teräksessä 2–3 %. (Koivisto, et al., 2014, p. 146)

Hydraulisylinterin männänvartta toimitetaan valmiiksi kromattuna, tai siihen voidaan tehdä jälkikromaus. Jälkikromaus kasvattaa osan valmistuskustannuksia.



#### 4.1.5 Väsymiskestävyys

Väsyminen tarkoittaa materiaalin lujuuden heikkenemistä toistuvien jännitysheilahdusten johdosta, mikä aiheuttaa materiaalin vaurioitumisen. Väsymistä tapahtuu, vaikka jännitysten suuruus ei saavuttaisikaan materiaalille määriteltyä myötölujuutta. Sylinterin materiaalien valinnassa on huomiotava siihen kohdistuvat jännityssyklit suunnitellun kestoajan varmistamiseksi. Väärällä mitoituksella tai liian pienellä myötölujuudella voidaan aiheuttaa toimilaitteen ennen aikainen hajoaminen.

Jos kappaletta on hitsattu, saattaa hitsissä tapahtua väsymismurtuma. Väsymismurtuman muodostumista voidaan ennaltaehkäistä varmistamalla hyvä hitsin laatu. Väsymiskestävyyttä heikentäviä hitsausvirheitä ovat mm. reunahaavat, huokokset, lopetuskraatterit ja liitosvirheet, sillä näihin epäjatkuuskohtiin saattaa muodostua jännityspiikkejä.

Väsymismurtuma voi alkaa myös rakenteen hitsaamattomissa kohdissa ja ilmenee aluksi pienenä särönä. Kappaleissa olevat epäjatkuuskohdat, kuten terävät reunat, ovat alttiimpia väsymismurtumille. Tästä syystä on tärkeää suunnitella kappaleet ottaen huomioon eri muotojen vaikutukset väsymiskestävyteen ja kappaleiden valmistuksessa on poistettava terävät reunat.

#### 4.1.6 Lastuttavuus

Yleensä korkea hiilipitoisuus ja tietyt lämpökäsittelyt, kuten karkaisu, vaikuttavat heikentävästi lastuttavuuteen. Kova pinta vaikuttaa terän kulumiseen ja työstökoneen tehontarpeen kasvuun. Toisaalta pehmeämpi materiaali vaikeuttaa lastun irrottamista työstöterän tieltä koneistuksen aikana. Tätä ominaisuutta voidaan parantaa seostamalla teräkseen haurastavia aineita. Suurta kovuutta vaativiin kappaleisiin voidaan suorittaa pehmennyshehkutus parantamaan lastuttavuutta, jonka jälkeen ne voidaan taas karkaista. (Koivisto, et al., 2014, p. 130)

#### 4.1.7 Hitsattavuus

Materiaalin hyvä hitsattavuus tarkoittaa sitä, että sitä voidaan hitsata ilman erityisiä toimenpiteitä ja saadaan aikaan tulos, joka täyttää asetetut vaatimukset. Tämä tarkoittaa myös väljempiä rajoituksia hitsausmenetelmien ja lämmöntuonnin suhteen. (Lukkari, Kyröläinen, & Kauppi, 2019, p. 77)

Teräksen katsotaan olevan paremmin hitsattavaa, mitä pienempi sen hiilipitoisuus on. Seostamattoman teräksen hitsattavuus on hyvä, kun  $C \leq 0,18$  %. Seosaineiden vaikutusta hitsattavuuteen voidaan arvioida niin sanotulla hiiliekvivalenttiluvulla (CE):

$$CE = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15}. \quad (11)$$

Hiiliekvivalentin kaava pätee seostamattomille teräksille, hienoraeteräksille sekä niukkaseosteisille teräksille. Sen avulla voidaan arvioida esikuumennuksen tarvetta kyseisille materiaaleille. Hiiliekvivalentin ollessa alle 0,40 %, ei yleensä tarvita esikuumennusta. (Lukkari, Kyröläinen, & Kauppi, 2019, p. 79)

#### 4.1.8 Saatavuus ja hinta

Materiaalien ja komponenttien saatavuus voi vaihdella tietyn tuotteen ollessa vielä tuotannossa, etenkin jos asiakkaan tekemä tilaus sisältävää useamman vuoden tarpeet. Tämä korostuu, jos tuotteessa käytetään erikoisempia materiaaleja. Usein on mahdollista löytää vaihtoehtoinen materiaali, mutta toimittajan sijainnista ja hinnoittelusta riippuen saattavat valmistuskustannukset kasvaa. Suunnitteluprosessin aikana on tärkeää, että yrityksen eri osastot tekevät keskenään yhteistyötä, sillä materiaalin saatavuus ja hinta vaikuttavat oleellisesti hankinta- ja myyntiosastojen toimintaan, sekä tuotteen kannattavuuteen.

## 5 VALMISTUSPROSESSIT

### 5.1 Lastuava työstö

Koneistuksessa syntyy aina materiaalihävikkiä. Tätä hävikkiä voidaan minimoida hyvällä suunnittelu-työllä ja sopivalla aihion valinnalla. Myös aihion valmistusta on syytä miettiä huolella, sillä raaka-ainetta toimitetaan monissa eri muodoissa. Suunnittelijan tulee ottaa huomioon käytettävissä olevien työstökoneiden mahdollisuudet ja rajoitteet. Lisäksi erilaiset muodot kappaleessa tulisi standardoida, jotta mahdollisimman monet eri osat voitaisiin koneistaa samoilla työkaluilla. Kappaleet tulisi suunnitella koneistettavaksi yhdellä koneella ja yhdellä kiinnityksellä aina kun mahdollista. Kappaleen sisäreunoihin tulisi mitoittaa terän sädettä vastaavat pyöritykset ja ulkoreunojen pyörityksiä tulisi välttää kokonaan. Ulkoreunoihin on suositeltavampaa mitoittaa viisteet. Tarkat toleranssit ja sileät pinnat lisäävät kappaleen valmistuskustannuksia, joten on järkevää käyttää mahdollisimman väljiä toleransseja ja karkeita pintoja. Koneistettavan kappaleen hintaan vaikuttaa aihion koko, materiaali, poistettavan aineen määrä sekä toleranssit. (Hietikko, 2021, s. 29)

### 5.2 Hitsaus

Hydraulisyliinterin valmistuksessa käytetään manuaalista, sekä mekanisoitua hitsausta. Osa prosessista voidaan toteuttaa myös täysin automatisoidusti hyödyntäen robottihitsausta.

Hydraulisyliinterin hitsauksessa esiintyy neljää hitsausliitoksen tyyppiä:

- voimaliitokset
- kiinnityслиitokset
- sideliitokset
- varusteluliitokset.

Voimaliitoksella kytketään sarjaan liitettävät rakenneosat. Hiksi tehdään tasalujaksi ja se tulisi mitoittaa kestämään perusaineeseen kohdistuva primäärinen veto-, puristus tai leikkausjännitys. Yleensä hitsattuja voimaliitoksia ei tarvitse määrittää laskennallisesti, sillä oikein toteutettuna ne ovat vähintään yhtä lujia kuin rakenteen heikoin kohta. Väsymisen kannalta on tärkeää, että päittäisliitoksissa ja T-liitoksissa juuren puoli on sulanut, eli ne ovat läpihitsattuja. Voimaliitoksia voidaan toteuttaa myös muulla tavalla kuin hitsaamalla, esimerkiksi ruuviliitoksilla. Ruuviliitokset on määritettävä laskennallisesti. (Björk, 2015-2016, p. 15)

Kiinnityслиitos kytkee rinnakkain liitettävät rakenneosat ja ne mitoitetaan laskennallisesti. Kiinnityслиitokset suunnitellaan kestämään rakenteeseen kohdistuvaa leikkausjännitystä. Koska hitsin päähän tulee jännityskeskittymä, tulee aloitus- ja lopetuskohdat toteuttaa huolellisesti, eikä katkositsejä suositella. Kiinnityshitsien a-mitat tulisi määrittää laskennallisesti, että liiallisesti lämmöntonnilta vältyttäisiin. (Lepola & Makkonen, 2005, pp. 380-381)

Sideliitoksen ovat kokoonpanohitsejä eikä suunnitella kestämään rakenteeseen kohdistuvia primäärisiä kuormituksia. Ne voivat kuitenkin ehkäistä sekundäärisiä rasituksia, kuten alkutaipumisia ja staabiiliuden menetyksiä. Niillä voidaan ehkäistä myös rakenteen osaan kohdistuvan värähtelyn aiheutta-

man alkusärön syntymistä. Hydraulisyliinterissä esimerkkinä sidehitsistä on johdinputken kylkeen tehtävä sidehiksi, joka ehkäisee vaihtelevan paineen aiheuttamaa väsymistä. (Lepola & Makkonen, 2005, p. 382)

Varusteluhitsit liittävät rakenteeseen erilaisia kannakkeita ja kiinnikkeitä. Hitsin mitoituksessa lämmöntuonti on yleensä määrittävä tekijä. Liiallinen lämmöntuonti voi aiheuttaa epätoivottuja muodonmuutoksia rakenteissa. Lämmöntuonnin vaikutus pitää ottaa huomioon hitsattavien kappaleiden sijoittelussa. Väärin sijoitettu kiinnike voi pahimmassa tapauksessa vaikuttaa myös niin, että kyseisestä liitoksesta tuleekin voimaliitos ja näin tahattomasti rakenteen heikoin lenkki. (Lepola & Makkonen, 2005, p. 382)

## 6 YHTEENVETO

Yrityksen kannalta toimeksiannon suurin hyöty on uuden tuotteen suunnitteluprosessin nopeuttaminen ja sisäisten reklamaatioiden määrän väheneminen. Kun tuotannon kannalta optimaaliset ratkaisut tehdään jo suunnitteluvaiheessa, helpottuu tuotteen ylösajoprosessi. Suunnittelun ohjeistusta on tarkoitus ylläpitää ja päivittää pitemmällä aikavälillä. Siihen saadaan uutta sisältöä katselmointien ja sisäisten poikkeamien, sekä suunnitteluosaston ja tuotannon välisen viestinnän kautta.

Hydrauliikkaan liittyvää teoriaa olisi voitu käsitellä teoriaosuudessa huomattavasti syvällisemmin, mutta se ei ollut toimeksiannon päätarkoitus, sillä tärkein tehtävä oli tuoda esiin spesifejä esimerkkejä mitoituksista ja hyvistä käytännöistä toimeksiantajan konekanta huomioiden. Teoreettisen osuuden tarkoitus oli tuoda esiin hydraulisynterin suunnitteluun ja mitoitukseen vaikuttavia muuttujia, sekä hydraulisynterin toiminnassa esiintyviä fysikaalisia ilmiöitä.

## LÄHDELUETTELO

- Björk, T. (2015-2016). Hitsatun rakenteen suunnittelu ja mitoitus. *Kansainvälinen histauskoordinoijan pätevyityskoulutus*. Lappeenranta University of Technology.
- FLUID Finland. (2002). *Hydrauliikan perusteet*. Haettu 30. 10. 2022 osoitteesta FLUID Finland: <https://asiakas.kotisivukone.com/files/fluidfinland.kotisivukone.com/FluidKlinikat/8.hydrauliikan-perusteet.pdf>
- Hietikko, E. (2021). *Valmistettavuus*. Verkkokirja.
- Hydroline Oy. (2022). *Historiaa*. (Hydroline Oy) Haettu 15. 10. 2022 osoitteesta Hydroline Oy: <https://hydroline.fi>
- Kauranne, H.;Kajaste, J.;& Vilenius, M. (2013). *Hydrauliteknikka*. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Keinänen, T.;& Kärkkäinen, P. (2005). *Automaatiojärjestelmien hydrauliikka ja pneumatiikka*. Helsinki: WSOY.
- Keinänen, T.;& Sumujärvi, M. (2019). *Automaatiotekniikka*. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Koivisto, K.;Laitinen, E.;Niinimäki, M.;Tiainen, T.;Tiilikka, P.;& Tuomikoski, J. (2014). *Konetekniikan Materiaalioppi*. Porvoo: Edita Publishing.
- Lepola, P.;& Makkonen, M. (2005). *Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet*. Porvoo: WSOY.
- Lukkari, J.;Kyröläinen, A.;& Kauppi, T. (2019). *Hitsauksen materiaalioppi osa 1*. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y.
- MarketsandMarkets. (2022). *Hydraulic cylinders market*. Haettu 5. 9. 2022 osoitteesta Marketsandmarkets: [https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/hydraulic-cylinders-market-252743122.html?gclid=Cj0KCQjwnbmaBhD-ARIsAGTPcfWP4DdtJLViT-N8WrzrPimbg6gRtIdiQMnt1bGLF3ofLfXub7ziGosaAkhUEALw\\_wcB](https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/hydraulic-cylinders-market-252743122.html?gclid=Cj0KCQjwnbmaBhD-ARIsAGTPcfWP4DdtJLViT-N8WrzrPimbg6gRtIdiQMnt1bGLF3ofLfXub7ziGosaAkhUEALw_wcB)
- METSTA. (2019). *Terässtandardit*. Haettu 5. 9. 2022 osoitteesta Metsta: [https://metsta.fi/wp-content/uploads/2020/05/Terasstandardit\\_2019.pdf](https://metsta.fi/wp-content/uploads/2020/05/Terasstandardit_2019.pdf)