

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikka, Tuotekehitys

2020

Mikael Niemi

HÖGFORS-VENTTIILIN JA TOIMILAITTEEN VÄLISTEN ASENNUSOSIEN STANDARDOINTI JA VALMISTETTAVUUDEN KEHITTÄMINEN

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Konetekniikka, tuotekehitys

2020 | 22 sivua

Mikael Niemi

HÖGFORS-VENTTIILIN JA TOIMILAITTEEN VÄLISTEN ASENNUSOSIEN STANDARDOINTI JA VALMISTETTAVUUDEN KEHITTÄMINEN

Opinnäytetyössä oli taivotteena suunnitella ja kehittää Högfors-venttiilin ja pneumaattisen toimilaitteen väliset asennusosat standardin mukaisesti. Tarkoituksena oli löytää tehokas ja modulaarinen ratkaisu asennusosiin, koska venttiilikoot ja sen mukaan niihin asennettavat pneumaattiset toimilaitteet vaihtelevat. Työssä tutustutaan venttiileihin, pneumatiikkaan ja pneumaattisiin toimilaitteisiin, standardeihin, sekä erilaisiin valmistusmenetelmiin ja ratkaisuihin, joita voidaan käyttää työn asennusosien valmistamiseen. Lisäksi työssä selvitetään asennusosien kestävyyttä, materiaalin valinnan merkitystä ja hitsisauman mitoitusta.

Työ suoritettiin toimeksiantona Högfors Oy:lle, koska yrityksessä oli tarve asennusosien valmistettavuuden ja kokoprosessin yhtenäistämisen kehittämiseen. Standardointi oli myös tärkeää, koska haluttiin siirtyä ainakin osittain itsenäiseen osien valmistamiseen.

Työn lopputuloksena luotiin suunnitelma asennusosien standardien mukaisesta valmistustavasta. Lisäksi kehitettiin ratkaisuna vakioimitat asennusosiin, millä saadaan modulaarisuutta ja tehokkuutta yhdistellä erilaiset variaatiot asennusosissa venttiilikokojen mukaisesti.

ASIASANAT:

Standardointi, suunnittelu, tuotekehitys

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical Engineering, Product Development

2020 | 22 pages

Mikael Niemi

STANDARDISATION AND DEVELOPMENT OF THE MANUFACTURABILITY OF THE INSTALLATION COMPONENTS BETWEEN HÖGFORS-VALVE AND ACTUATOR

The goal of this thesis was to plan and develop installation components between Högfors-valve and an actuator up to the standard. The purpose was to find an efficient and modular solution for the installation components because valve sizes and actuators vary. This thesis handles theory about valves, pneumatics, pneumatic actuators and standards. Thesis also familiarizes with different kinds of manufacturing methods and solutions that can be used in this work. Additionally in this work, the durability of the components, importance of the material choice and dimensioning of the welding seam were studied.

Thesis was done as an assignment to Högfors Oy because they had the need to develop manufacturability of installation components. The company also had a need to improve the process with the installation components. Standardisation was meaningful because Högfors wanted to move at least partly to self-sufficient manufacturing.

The outcome of this thesis was a plan of manufacturing the installation components according to the standard. In addition to that a stock part was planned. With the stock part the achievement of modularity and efficiency to combine different kinds of variations as per valve sizes were accomplished.

KEYWORDS:

Standardisation, planning, product development

SISÄLTÖ

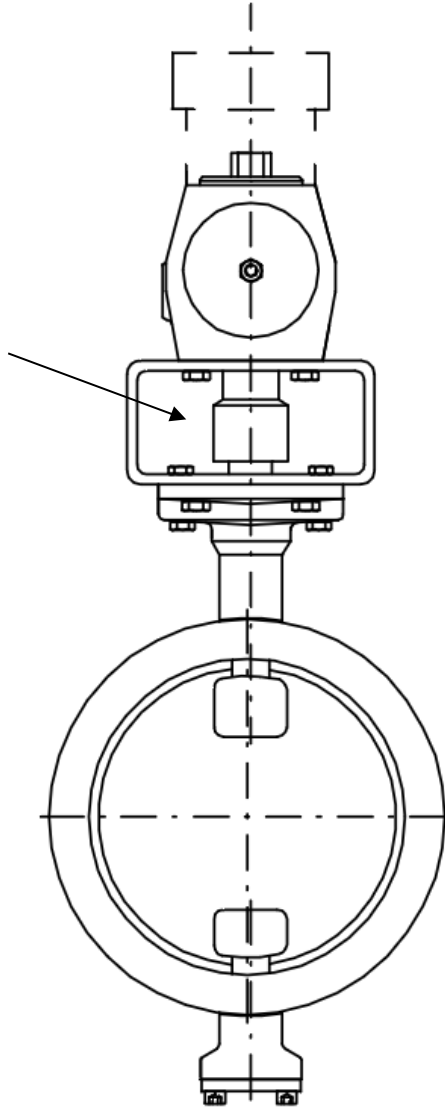
1 JOHDANTO	1
1.1 Högfors Oy	2
1.2 Nykytilanne	2
1.3 Tavoitteet	3
1.4 Toteutus	3
2 VENTTIILIT	5
2.1 Lämpäventtiili	5
2.2 Palloventtiili	7
3 VALMISTUSMENETELMÄT	9
3.1 Työstö	9
3.2 Hitsaus	10
3.3 3D-tulostus	11
3.4 Valmistusmenetelmän valinta	11
4 PNEUMATIikka JA MATERIAALIN VALINTA	14
4.1 Pneumaattinen toimilaite	14
4.2 Materiaalin valinta	15
5 STANDARDIT	17
6 LUJUUDEN TARKASTELU JA HITSISAUMAN MITOITUS	18
6.1 Lujuudentarkastelu ja FEM-analyysi	18
6.2 Hitsisauman mitoitus	19
7 TYÖN TULOS	20
LÄHTEET	21

KUVAT

Kuva 1. Pneumaattinen toimilaite, läppäventtiili ja niiden väliset asennusosat (Högfors 2020b).	1
Kuva 2. Högfors läppäventtiili 411 (Högfors 2020b).	6
Kuva 3. Högforsin V-palloventtiili 455(459) (Högfors 2020b).	7
Kuva 4. Högforsin V-palloventtiili 465 (Högfors 2020b).	8
Kuva 5. Rakenteiden arvoanalyysi.	12

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö suoritettiin toimeksiantona Högfors Oy:lle. Työn aiheena oli Högfors-venttiilin ja toimilaitteen välisten asennusosien standardointi ja valmistettavuuden kehittäminen. Kuvassa 1 esitetään pneumaattisen toimilaitteen ja läppäventtiilin kokonaisuus asennusosineen.



Kuva 1. Pneumaattinen toimilaitte, läppäventtiili ja niiden väliset asennusosat (Högfors 2020b).

Kuvassa 1 nuolen osoittamassa kohdassa on asennusosa, jota tässä työssä lähdettiin kehittämään. Asennusosa on adapteri, joka yhdistää venttiilin akselin pneumaattisen toimilaitteen akseliin.

1.1 Högfors Oy

Högfors Oy on Salossa toimiva suomalainen metalliteollisuuden yritys, joka on toiminut alalla jo vuodesta 1927 lähtien. Högfors on keskittynyt venttiilien valmistukseen, markkinointiin ja suunnitteluun. Yrityksen etuna metalliteollisuuden alalla on pitkä historia. Muita etuja ovat korkea laatu, varmuus ja nopeus sekä tekninen erikoisosaaminen tuotekehityksessä. Lisäksi Högfors tarjoaa palveluita venttiilien elinkaaren ajalle suunnittelusta huoltoon ja kierrätykseen. (Högfors 2020a.)

Högfors on merkittävä toimija ympäri maailmaa, kuten Skandinaviassa, Baltiassa, Euroopassa, Venäjällä ja Kaukoidässä. Högfors valmistaa venttiileitä kahdessa tuoteryhmässä energiateollisuuteen ja prosessiteollisuuteen. (Högfors2020a.) Erilaisia Högforsin valmistamia venttiileitä ovat läppäventtiilit kaasulle, läppäventtiilit, lianerottimet, palloventtiilit ja v-palloventtiilit (Högfors 2020b). Tämä opinnäytetyö keskittyy läppäventtiileihin sekä v-palloventtiileihin asennettavan pneumaattisen toimilaitteen asennusosien suunnitteluun ja kehittämiseen.

1.2 Nykytilanne

Nykytilanteessa Högfors hankkii asennusosat pakettiratkaisuna tai muunlaisina yksittäiskappaleina. Nykytilanteessa varastokoko on merkittävän suuri, koska yhdenlaisia asennusosia voidaan käyttää vain tietynlaiseen venttiilikoon ja pneumaattisen toimilaitteen yhdistelmään.

Nykytilanteessa asennusosia on 46, kun ne valmistetaan kahdesta kappaleesta jokainen omanlaisenaan. Modulaarisuuden kanssa päästään tilanteeseen, jossa asennusosia on 19 erilaista, joilla katetaan kaikki mahdolliset eri venttiilikokojen ja pneumaattisten toimilaitteiden yhdistelmät.

Tämän työn perusteella voidaan saavuttaa tilanne, jossa Högforsin yksittäisten asennusosien varastokoko pienenee, koska asennusosista tulee modulaarisemmat. Silloin pystytään varautumaan useampaan tarvittavaan asennusosavariaatioon venttiilikokojen ja pneumaattisten toimilaitteiden mukaisesti.

1.3 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli standardoida ja kehittää Högfors-venttiilin ja pneumaattisen toimilaitteen väliset asennusosat niin, että ratkaisu olisi mahdollisimman kustannustehokas ja yhtenäinen. Asennusosista oli tarkoitus saada standardin mukaiset ja yleisesti kehittää niiden valmistettavuutta, koska tavoitteena oli siirtyä ainakin osittain itsenäiseen osien valmistukseen. Tämän myötä myös asennusosien varastointi olisi mahdollista ja järkevää.

Tavoitteena oli saada yhtenäisyyttä ja selkeyttä asennusprosessiin, jotta se ja sitä edeltävä osien hankinta- ja mahdollinen kokoamisprosessi helpottuisivat ja olisivat tehokkaampia. Asennusosia oli syytä uudelleenkehittää, koska tällä hetkellä ne on hankittu yksittäisosina tai muunlaisina pakettiratkaisuina.

1.4 Toteutus

Työ aloitettiin tiedonhaulla ja aihepiirin kartoituksella, koska kirjoittajalla ei ollut paljon tietoa venttiileistä, niiden valmistamisesta tai myöskään toimilaitteen asennuksesta venttiiliin. Myös vaatimuslistan luominen suoritettiin heti alkuvaiheessa, jotta tiedettiin mahdollisimman hyvin, millaisia vaatimuksia asennusosilla oli. Lisäksi standardeihin tutustuminen oli tärkeää heti alkuvaiheessa, koska oli tärkeää tietää ja ymmärtää, mitä ne määrittävät. Tehdaskierros ja Högforsin tuki sekä aktiivisuus tarvittavien lähtötietojen kanssa olivat suuri apu työn aloittamisessa.

Tiedonhaun ja alkusuunnitteluvaiheen jälkeen siirryttiin valmistusmenetelmän vertailevaan tutkimukseen. Tarkoituksena oli selvittää paras tapa valmistaa asennusosat. Määritettyjen vaatimusten perusteella arvoitettiin eri valmistusmenetelmiä. Vaihtoehtoina oli joko valmistaa asennusosat kahdesta kappaleesta yhteen hitsaamalla tai toisena vaihtoehtona koneistaa asennusosat yhdestä kappaleesta. Alkuvaiheessa pohdittiin ja selvitettiin myös 3D-tulostuksen mahdollisuutta varsin uutena valmistusmenetelmänä. 3D-tulostus poistui vaihtoehtoista heti alkuvaiheessa, koska sen kanssa ilmeni niin monia rajoitteita, kuten esimerkiksi se, että metallien 3D-tulostus on vielä kehitysvaiheessa. Tämän jälkeen vertailua jatkettiin hitsauksen ja koneistuksen välillä.

Tarpeeksi laajan vertailun jälkeen luotiin konseptiratkaisut molemmille vaihtoehdolle. Määritettyjen vaatimusten perusteella konseptiratkaisut kääntyivät koko ajan enemmän ja enemmän hitsatun rakenteen puoleen.

Lopullisen ratkaisun suunnitteluun siirryttiin kun päätettiin, että rakenne tulee olemaan hitsattu. Materiaalinvalinnan jälkeen suoritettiin koelaskelmia lujuudesta ja tutkittiin erilaisia vaihtoehtoja. Hitsattuun rakenteeseen mitoitettiin hitsisauma ja pohjalta suoritettiin FEM-analyysi, jotta pystyttiin varmistamaan, että rakenne kestää siihen kohdistuvat rasitukset. Lisäksi asennusosat mitoitettiin standardin mukaisesti siltä osin kuin standardi ne määrittää.

2 VENTTIILIT

Venttiili on ”putkistokomponentti, joka vaikuttaa väliaineen virtaukseen avaamalla, sulkemalla tai osittain sulkemalla väliaineen virtaustien tai suuntaamalla tai sekoittamalla virtauksen” (SFS-EN 736-1, 4). Koska venttiileillä on erilaisia tehtäviä, ne voidaan jakaa ryhmiin, joita ovat paineventtiilit, virtaventtiilit, suuntaventtiilit, sulkuventtiilit, vastaventtiilit ja erikoisventtiilit (Hulkkonen 2008, 1). Tässä työssä käsiteltiin pääasiassa läppäventtiileitä, jotka ovat tehtäviensä puolesta sulku- ja säätöventtiileitä, ja v-palloventtiileitä, jotka ovat säätöventtiileitä.

Säätöventtiilit nimensä mukaisesti säätävät virtauksen kulkua tai nopeutta virtauskanavan koon muuttuessa. Säätöventtiileillä voidaan säätää myös prosessin lämpötilaa, painetta tai alipainetta. Yleensä yksi säätöventtiili säätää yhtä määrettä. (Säätö Oy 2020.)

Sulkuventtiili sulkee virtauksen kokonaan, jonka vuoksi yleinen nimitys on myös ON OFF -venttiili. Sulkuventtiilit toimivat teollisuuden prosesseissa, joissa virtaus täytyy pystyä sulkemaan kokonaan. (Säätö Oy 2020.)

Högfors valmistaa lisäksi suodattimina toimivia lianerottimia ja myy erilaisia hitsattuja palloventtiileitä, jotka toimivat sekä sulkuventtiileinä että säätöventtiileinä riippuen venttiilimallista ja koosta (Högfors 2020b). Nämä palloventtiilit tai lianerottimet eivät liity tähän työhön, koska käyttötarkoituksiensa puolesta niiden ohjaus tapahtuu muulla kuin pneumaattisella toimilaitteella, joten niiden asennusosat ovat erilaisia.

2.1 Läppäventtiili

Läppäventtiili on ”venttiili, jossa sulkuelin kiertyy virtaussuuntaa kohtisuoraan nähden olevan akselin ympäri. Auki-asennossa virtaus kulkee sulkuelimen ympäri” (SFS-EN 736-1, 5). Läppäventtiilit sallivat suuret virtausmäärät kun sulkuelin eli läppä asetetaan

vaakasuoraan virtaussuunnan mukaisesti, jolloin se vastustaa vain vähän virtausta. Lämpäventtiili koostuu kanavasta ja sulkuelimestä, joka on kiekonmallinen ja voi pyöriä, kuten kuvasta 2 ilmenee. (Pipoly 2018.)



Kuva 2. Högfors läppäventtiili 411 (Högfors 2020b).

Kuvassa 2 on Högforsin läppäventtiili, joka on 411(410) -sarjan venttiili, jota valmistetaan kokoluokissa DN 80–800. Lämpäventtiilit 411(410) -sarjassa valmistetaan haponkestävästä teräksestä ja ne ovat täysaukkoisia. (Högfors 2020b.)

Lisäksi Högforsilla on 411 -sarjaa vastaava 311-sarjan läppäventtiili hiiliteräsrunkoisena samoissa kokoluokissa, 313-sarjan hitsipäinen hiiliteräsrunkoinen läppäventtiili kokoluokissa DN 200–1600 ja 315-sarjan laipallinen hiiliteräsrunkoinen venttiili kokoluokissa DN 200–1400. (Högfors 2020b.)

Högforsin läppäventtiilit on tarkoitettu vaativiin teollisuusputkistojen sulkua- ja säätötehtäviin. Venttiilit soveltuvat myös kaukolämpö- ja kaukokylmäverkostoihin. Lisäksi niitä voidaan käyttää petrokemia-, öljy-, paperi- ja voimalaitosteollisuuden käyttökohteissa. (Högfors 2020b.)

Työssä käsiteltävät venttiilimallit ovat tiivitä molempiin virtaussuuntiin. Lämpäventtiileihin voidaan asentaa mekaaninen käsivipu tai käsivaihde, pneumaattinen toimilaite tai sähköinen toimilaite. (Högfors 2020b.) Työ keskittyy vain venttiilin ja pneumaattisen toimilaitteen asennusosiin, eikä ota kantaa muiden venttiilin toimintaa ohjaavien vaihtoehtojen valintaan tai asennusosiin.

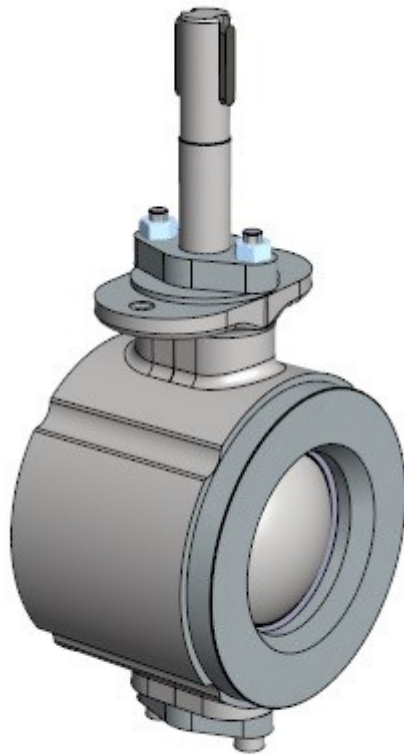
2.2 Palloventtiili

Palloventtiili on venttiili, jossa sulkuelin on kiertynyt akselin ympäri, joka on kohtisuorasti virtaussuuntaan nähden. Venttiilin ollessa auki virtaussuunta on sulkuelimen ympäri. (SFS-EN 736-1, 4). Palloventtiili sisältää venttiilirungon, joka on usein lävistetty valupallo. Pallo voi olla myös segmentoitu, jolloin se sallii mahdollisuuden parempaan virtauksen säätöön. Venttiilin säätö kääntää palloa nostaten virtausta kun lävistys on linjassa venttiilikanavan kanssa. (Pipoly 2018.) Högforsin V-palloventtiili on suunniteltu erityisesti säätötarkoitukseen nesteiden, höyryjen ja massojen virtaukseen (Högfors 2020b).



Kuva 3. Högforsin V-palloventtiili 455(459) (Högfors 2020b).

V-palloventtiileitä löytyy kahdessa eri koossa: 455 on tarkoitettu laippojen väliin asennettavaksi, ja sitä rakennepituudeltaan lyhyempi 459 pohjaventtiilikäyttöön. Kuvassa 3 on 455(459)-v-palloventtiili, josta voidaan havaita tasainen laippaliitokseen tarkoitettu pää. 455-venttiili on täysaukkoinen, mikä ei kuvasta ilmene. Toinen koko on 465, joka on suipistettu laippojen väliin asennettava venttiili. Kuvassa 4 on 465-v-palloventtiili. Kuten kuvasta ilmenee se on rakenteeltaan suppeampi kuin kuvan 3 455-venttiili. 455-v-palloventtiiliä valmistetaan DN 25–300 kokoluokissa ja 465-venttiiliä DN 25–200 kokoluokissa. (Högfors 2020b.)



Kuva 4. Högforsin V-palloventtiili 465 (Högfors 2020b).

V-palloventtiilien runko on haponkestävää terästä ja pallo kovakromattu. Sen ominaiskäyrä on neliöllinen, joten venttiilit soveltuvat erinomaisesti säätökäyttöön. Venttiilien virtaussuunta määritetään rungon mukaan. V-palloventtiilit voidaan valmistaa mekaanisella käsivivulla tai käsivaihteella, pneumaattisella toimilaitteella tai sähköisellä toimilaitteella. (Högfors 2020b.) Työn asennusosat on suunniteltu sopimaan myös v-palloventtiiliin ja pneumaattisen toimilaitteen asennukseen.

Högfors myy myös erilaisia hitsattuja palloventtiileitä moniin muihin eri käyttötarkoituksiin säätö- ja sulkutehtäviin soveltuen. Erilaisia käyttökohteita ovat muun muassa neste- ja ilmaputkistot, laiva- ja öljyputkistot, kaasuputkistot ja höyry-, lauhdevesi- ja kuumaöljyverkostot sekä myös kemian- ja prosessiteollisuuden ratkaisut. Tässä työssä ei käsitellä muita kuin v-palloventtiilejä, koska hitsattujen palloventtiilien ohjaus tapahtuu lähes pääasiassa käsivaihteella tai käsivivulla niiden käyttötarkoituksen mukaisesti. (Högfors 2020b.) Näin ollen asennusosatkkin ovat erilaiset kuin yhdistettäessä v-palloventtiili tai läppäventtiili pneumaattiseen toimilaitteeseen.

3 VALMISTUSMENETELMÄT

Työssä keskeistä oli se, miten asennusosat valmistetaan. Valmistusmenetelmät voidaan jakaa kuuteen osaan, joita ovat valaminen, liittäminen, työstäminen, lämpökäsittely, sintraus ja ainetta lisäävä valmistus (Aaltonen ym 1997, 2). Tärkeimpinä vaihtoehtoina olivat osan koneistus yhdestä kappaleesta ja osan tuottaminen kahdesta osasta ne sitten yhteen hitsaamalla. Lisäksi työssä käsiteltiin ainetta lisäävän valmistuksen mahdollisuutta. Tuotantomenetelmän valintaan vaikutti työssä asennusosien muodon lisäksi vaatimusten määrittämä modulaarisuus ja prosessin yhtenäisyys.

3.1 Työstö

Työstöllä tarkoitetaan kappaleen muokkaamista materiaalia poistamalla siten, että kappaleelle saadaan haluttu muoto, mitta ja pinnankarheus. Tarkkojen toleranssien saavuttamiseksi on kappaleesta pystyttävä poistamaan pieniä määriä ainetta hallitusti. Aineenpoistoon käytetään työstömenetelmiä ja työstökoneita, jolloin puhutaan koneistuksesta. Lastuavalla työstöllä on koneistuksessa keskeinen asema sen laajan toiminta-alueen ja suuren tarkkuuden vuoksi. Terällä lastuavat menetelmät ovat merkittäviä joustavuutensa ja korkean aineenpoistonopeutensa ansiosta. (Aaltonen ym. 1997, 1.)

Erilaiset työstömenetelmät voidaan jakaa viiteen eri menetelmään: lastuamiseen, leikkaamiseen, sähköeroosioon, muovaamiseen ja pinnoitukseen. Tästä edelleen lastuaminen voidaan jakaa terällä- tai hiomarakeella lastuaviin menetelmiin. (Aaltonen ym. 1997, 3.) Tässä työssä tarkastellaan lastuavia työstömenetelmiä ja tarkemmin vielä terällä lastuavia. Terällä lastuavia menetelmiä on viisi: sahaus, höyläys, poraus, jysintä ja sorvaus (Aaltonen ym. 1997, 3). Näistä kaksi viimeistä menetelmää ovat ne, joita voidaan käyttää työn asennusosien valmistamiseen.

Sorvaus on yleisin työstömenetelmä, ja työstökoneista 30% on sorveja. Nykyisin sorvit ovat monitoimisorveja tai työstökeskuksia, joissa pystytään työstämään sorvaamisen lisäksi esimerkiksi poraamalla. Sorvauksessa kappale, jota työstetään, pyörii pituusakselinsa ympäri. Siksi sitä käytetäänkin pyörähdyssymmetristen akselien koneistukseen. Sorvauksessa työkalu tekee syöttö- ja asetusliikkeet työkappaleeseen nähden. Päätyöstöliike on kappaleen pyörimisliike. (Aaltonen ym. 1997, 174–175; Keinänen & Kärkkäinen 2009, 132.)

Toinen mahdollinen lastuava työstömenetelmä on jyrshintä. Jyrshintä on työstömenetelmä, jossa prismaattisia kappaleita työstetään pyörivällä työkalulla. Työkalu suorittaa lastuamisliikkeen. Jyrshintäessä työkappale toimii asetusliikkeenä ja on paikallallaan. Jyrshintäessä koneistetut kappaleet ovat usein tasomaisia tai tasaisia pintoja. Erona sorvaukseen on se, että jyrshintäessä valmistetaan yleensä suurempia ja monimuotoisempia osia. (Aaltonen ym. 1997, 205–206; Keinänen & Kärkkäinen 2009, 163.) Asennusosien muodon vuoksi sorvaus on paras mahdollinen tapa koneistaa osat, mutta koneistus onnistuu myös jyrshintäessä. Käytännön syistä mahdollisessa koneistustapauksessa asennusosat valmistetaan kuitenkin lähes aina sorvaamalla.

3.2 Hitsaus

Hitsaus tarkoittaa osien yhteenliittämistä niin, että kappaleeseen luodaan luja ja jäykkä rakenne, jolloin osien välille syntyy jatkuva yhteys. Hitsauksessa käytetään apuna lämpöä tai puristusta. Joissakin tapauksissa voidaan käyttää myös molempia. Hitsaukseen voidaan käyttää erilaisia lämmönlähteitä kuten liekkiä, lasersädettä, sähkövirtaa, kitkalämpöä tai elektronisuihkua. Lisäksi hitsauksessa käytetään jonkinlaista lisäainetta parantamaan hitsauksen laatua. Hitsauksessa perusaine, jota hitsataan, sulaa. Tästä johdettujen rakenteeseen aiheutuu muutoksia sisäisissä jännityksissä. Tällöin rakenne saattaa kieroitua. (Kivioja 2009, 31–32; Lepola & Makkonen 2005, 7.)

Hitsaus ei sovellu kaikille materiaaleille, vaikka monia materiaaleja pystytäänkin jossain määrin kehittyvien tekniikoiden avulla hitsaamaan. Yleisesti hitsaus soveltuu parhaiten teräsrakenteiden kokoamiseen. Hitsauksen yleisimmät käyttökohteet ovat vanhojen vaurioiden korjaaminen ja uusien kappaleiden valmistaminen. (Kivioja 2009.)

Hitsaus oli toinen vaihtoehto valmistusmenetelmäksi. Siinä asennusosa valmistetaan liittämällä kaksi valmiiksi koneistettua kappaletta hitsaamalla. Tällä menetelmällä saataisiin vaatimusten mukaista yhdisteltävyyttä ja modulaarisuutta asennusosiin. Hitsaus on paras vaihtoehto, koska asennusosia voi olla erikokoisia, ja niiden yhdistäminen eri variaatioissa mahdollisimman helposti vaatisi asennusosien tuottamista kahdesta kappaleesta. Näin saataisiin myös varastoon puolivalmiita asennusosia, joista voidaan tarpeen mukaan koota tarvittu kokoyhdistelmä.

3.3 3D-tulostus

3D-tulostus eli ainetta lisäävä valmistus on materiaalin lisäämistä kerros kerrokselta luoden kappaleita 3D-mallin datan perusteella. Kappaleet luodaan ikään kuin tyhjästä, vertautuen esimerkiksi koneistukseen, jossa kappaleesta poistetaan materiaalia, jotta saadaan luotua halutunlainen muoto. 3D-tulostus tähtää siihen, että materiaalia säästyisi, eli hävikkiä syntyisi vähemmän. Nykyisin pystytään tulostamaan jo laajemmalla skaalalla materiaaleja kuten muovia, metallia, keraamia, lasia ja jopa betonia. (VTT 2020; 3D Form Tech 2020; 3DTech 2020; 3D Printing 2020.)

3.4 Valmistusmenetelmän valinta

Keskeisenä vaiheena työssä oli vertailla ja selvittää mikä olisi paras tapa tuottaa asennusosat. Tähän vaiheeseen käytettiin apuna arvoanalyysiä. Arvoanalyysi on runsaasti käytetty työvaihe tuotekehityksessä (Jokinen 2001, 93). Valinnassa otettiin huomioon asennusosien vaatimukset ja tehtiin vertailutaulukko eri vaihtoehtojen välille. Vertailutaulukko on esitetty kuvassa 5. Arvoanalyysissä arvo määritetään suhteena, jossa otetaan huomioon toiminto ja kustannukset (Jokinen 2001, 93).

Arvoanalyysi			
Hitsattu rakenne			
Vaatus:	Toimintopainotus	Kustannuspainotus	Arvo
Helppo valmistaa	4	2	2
Erilliset osat valmiina hyllyssä	5	1	5
Yksi puolivalmis osa	1	3	0,333333333
Kustannustehokas	4	2	2
Modulaarisuus	4	1	4
Yhdistettävyyys	4	1	4
Koneistettu rakenne			
Vaatus:	Toimintopainotus	Kustannuspainotus	Arvo
Helppo valmistaa	4	2	2
Erilliset osat valmiina hyllyssä	1	2	0,5
Yksi puolivalmis osa	5	1	5
Kustannustehokas	3	2	1,5
Modulaarisuus	2	3	0,666666667
Yhdistettävyyys	3	3	1
3D-tulostettu			
Vaatus:	Toimintopainotus	Kustannuspainotus	Arvo
Helppo valmistaa	2	3	0,666666667
Erilliset osat valmiina hyllyssä	1	3	0,333333333
Yksi puolivalmis osa	1	3	0,333333333
Kustannustehokas	1	3	0,333333333
Modulaarisuus	1	3	0,333333333
Yhdistettävyyys	1	3	0,333333333
Toimintopainotus 1-5	Paras toiminto vaatimuksen kannalta = 5		
Kustannuspainotus 1-3	Kallein kustannus = 3		

Kuva 5. Rakenteiden arvoanalyysi.

Kuvan 5 vertailutaulukossa on arvoitettu vaatimuksien mukaan eri valmistusmenetelmävaihtoehdot. Vertailutaulukko on tehty sekä vertailevan tutkimuksen pohjalta koneistuksen ja hitsauksen välillä että huomioimalla tiedot asennusosien nykyisestä valmistusprosessista. Arvoasteikoksi on valittu 1–5, koska näin saadaan helpommin käsiteltyä jokainen vaatimus ja niille saadaan osuvampi arvo.

3D-tulostus jäi pois vaihtoehdoista käytännössä heti, koska metallien 3D-tulostus ei ole vielä kovin yleistä ja sillä tasolla, että olisi ollut järkevää lähteä tulostamaan osia. Myöskään osien yksinkertaisuus ja tavoite modulaarisuudesta eivät tukeneet 3D-tulostuksen valintaa. Vaikka 3D-tulostuksen sarjatuotantomahdollisuudet ovat kehittyneet merkittävästi, 3D-tulostus ei olisi ollut kustannustehokas ratkaisu asennusosien tuottamiseen. 3D-tulostus otettiin kuitenkin huomioon työssä, koska asennusosien tuottaminen tulos-
tamalla voi olla arkipäivää 5–10 vuoden kuluttua, kun 3D-tulostustekniikka kehittyy ja yleistyy entisestään ja sitä myöden kustannukset vähenevät.

Vertailun pohjalta koneistettu rakenne ja hitsattu rakenne olivat lähes tasavertaisia vaatimuksiin nähden. Ainoastaan modulaarisuudessa ilmeni selkeä ero: koneistetulla rakenteella ei pystyittäisi tekemään asennusosia varastoon yhtä hyvällä skaalalla, vaikka osa koneistuksesta hoidettaisiin Högforsin toimesta. Koska työssä haettiin modulaarisuutta ja sitä, että asennusosia voidaan yhdistellä keskenään toimilaitteeseen ja venttiiliin sopivaksi, vaihtoehtoista parhaaksi osoittautui hitsattu rakenne. Tässä ratkaisussa asennusosat tuotetaan kahdesta kappaleesta, ja ne hitsataan Högforsilla sopivaksi kombinaatioksi.

4 PNEUMATIikka JA MATERIAALIN VALINTA

Pneumatiikka on tekniikkaa, jossa laitteiden ohjaamiseen tai energian siirtämiseen käytetään ilmaa. Paineistettu ilma toimii pneumatiikkalaitteiden tai -järjestelmien voimantuottajana. Kokoonpuristuva väliaine, jota käytetään pneumaattisissa järjestelmissä tai laitteissa, voi olla myös kaasu. (Hulkkonen 2005, 2.)

Pneumatiikka voidaan jakaa neljään osa-alueeseen joita ovat paineilman kehittäminen, paineilman varastoiminen ja siirtäminen, paineilman ohjaaminen ja säätäminen sekä pneumaattisen energian muuttaminen mekaaniseksi työksi. Paineilman kehittämisessä tietyn ilmamäärän normaalitilavuus pienenee, jolloin syntyy työntövoimaa eli painetta molekyylien välisestä vetovoimasta. Paineenalaistetussa ilmassa on varastoitua energiaa. Energian määrä riippuu ilmatilavuuden ja paineen suuruuksista: mitä suuremmat ne ovat, sitä enemmän energiaa. Pneumaattisella energialla on kyky tehdä työtä, esimerkiksi kääntää venttiiliä. (Hulkkonen 2005, 2.)

Pneumatiikan hyödyllisin ominaisuus on sen nopeus. Toinen ominaisuus on käytetyn paineilman puhtaus. Pneumatiikka soveltuu elintarvike-, tekstiili- ja muuhun teollisuuteen, joissa vaaditaan tuotteiden puhtautta. Luotettavuutta pneumaattisiin järjestelmiin ja laitteisiin luo se, että lämpötilan vaihtelut eivät vaikuta paineilmaan. Myös se että ilmaa on joka puolella lähes rajattomasti on merkittävä hyöty pneumatiikassa. (Hulkkonen 2005, 4-5.)

Rajoitteena pneumatiikalla on, että sitä ei voida tai ei kannata käyttää suuria voimia vaativiin laitteisiin. Myös pneumatiikan aiheuttama liikkeen epätasaisuus voi aiheuttaa rajoitteita. Lisäksi pneumatiikka on melko kallis energiamuoto huonon hyötysuhteen vuoksi. (Hulkkonen 2005, 5.)

4.1 Pneumaattinen toimilaite

Yleisesti toimilaite on laite, joka ohjaa toimielintä. Tässä työssä toimielin on venttiili, jonka toimintaa ohjataan pneumaattisen toimilaitteen avulla. Toimilaite voi olla esimerkiksi sylinteri, paineenmuunnin, väliaineenvaihdin tai moottori. Toimilaitteilla muunnetaan ja muutetaan energiaa. (Hulkkonen 2006, 2.) Tässä työssä toimilaite muuttaa pneumaattisen energian mekaaniseksi työksi.

Pneumaattinen toimilaite on toimilaite, jonka toimintaa ohjaa paineilma. Paineilman avulla toimilaite avautuu tai sulkeutuu. Kaksitoimisissa toimilaitteissa paineilma ohjaa sekä sulku- että avausliikettä venttiilissä. Yksitoimisissa malleissa paineilma hoitaa joko avaus- tai sulkuliikkeen, ja yleensä jousi suorittaa päinvastaisen liikkeen kun paineilma häviää. Osakiertotoimilaite on toimilaite, joka ohjaa venttiilin liikettä vain yhden rotaation verran tai vähemmän. Se toimii yleensä 90 asteen säätöalueella, eli venttiili kääntyy vain maksimissaan 90 astetta. Pneumaattisten toimilaitteiden etuna on värinäsietokyky ja nopea toiminta. (Hulkkonen 2006, 2–3; Ebel ym. 2009, 45, 48; SFS-EN 15081:2007, 5.)

4.2 Materiaalin valinta

Yleisin käytetty materiaali venttiileissä ja asennusosissa on ruostumaton teräs. Myös haponkestävä teräs on venttiileissä mahdollinen käyttökohteesta riippuen. Ruostumaton teräs on vähintään 10 prosenttia kromia sisältävää rautaseosta. Seosaineena voi olla lisäksi nikkeliä ja mangaania. (Korhonen 2013a.) Ruostumatonta terästä käytetään venttiileissä, koska sillä on hyvä korroosionkestävyys. Asennusosien materiaaliksi on järkevää valita ruostumaton teräs, koska niiltä vaaditaan myös hyvää korroosionkestävyyttä.

Ruostumattomat teräkset voivat olla austeniittisia, ferriittisiä, duplextyyppisiä tai marteniittisiä (Korhonen 2013b). Austeniittiset teräkset kestävät hyvin niin korkeita kuin mataliakin lämpötiloja, koska ne säilyttävät lujuutensa korkeassa lämpötilassa ja ovat sitkeitä matalassa lämpötilassa. Muita ominaisuuksia ovat hyvä hitsattavuus ja muovattavuus. Austeniittiset teräkset ovat yleisin ruostumattomien teräksien luokka. Niissä on kromin lisäksi nikkeliä seosaineena, jotta teräs saadaan pysymään austeniittisenä. (Korhonen 2013c.)

Ferriittiset teräkset ovat halvempia kuin austeniittiset teräkset, koska niissä ei ole nikkeliä seosaineena. Tärkeimpänä seosaineena ferriittisissä teräksissä on kromi. Ferriittiset teräkset vastaavat ominaisuuksiltaan austeniittisiä teräksiä huonompaa kylmäsitkeyttä luukuunottamatta. Myös hitsattavuus on ferriittisillä teräksillä huonompi herkistymisvaaran ja rakeenkasvualttiuden takia. (Korhonen 2014a.)

Duplextyyppiset teräkset ovat austeniittisten ja ferriittisten teräksien välimuoto, sillä mikrorakenteeltaan ne sisältävät molempia lähes yhtä paljon. Koska rakenteessa pyritään lähes samansuuruiseen jakoon, on duplexteräksissä molempien terästyypin hyviä ominaisuuksia, kuten matalien lämpötilojen sitkeys ja korkea lujuus. (Korhonen 2014b.)

Martensiittiset teräkset ovat ominaisuuksiltaan erilaisia kuin austeniittiset, ferriittiset tai duplextyyppiset, sillä ne muovautuvat huonosti ja ovat kylmäauraita, mutta erittäin lujia. Myös hitsattavuus on erittäin huono, joten martensiittiset teräkset eivät sovellu moneen ratkaisuun. Niitä käytetään usein työkalumateriaaleina, koska niiden materiaalilta vaaditaan kulumiskestävyyttä ja korkeaa lujuutta. (Korhonen 2014c.)

Aikaisemmin asennusosien materiaaleina on ollut 1.4404, 1.4460, 1.4418 ja 1.4021 tyyppisiä teräksiä. 1.4404 teräs on austeniittinen 17 prosenttia kromia sisältävä ruostumaton haponkestävä teräs, jonka koneistettavuus on helppoa. Se soveltuu hyvin monenlaisten osien valmistamiseen, ja lisäksi sen hitsattavuus on hyvä. Sen lujuus on 520-700 MPa. (Valbruna Nordic 2020b.) 1.4460 teräs on duplextyyppinen 25,4 prosenttia kromia sisältävä ruostumaton haponkestävä teräs, jota on helppo koneistaa ja se soveltuu erityisesti koneistettaviin osiin. Sen lujuus on 620-880 MPa. (Valbruna Nordic 2020d.)

1.4418 on duplextyyppinen matalahiilinen 16 prosenttia kromia sisältävä ruostumaton teräs, jolla on korkea lujuus, sitkeys ja erittäin hyvä väsymiskestävyys. Se soveltuu hyvin hitsattuihin osiin, ja sen ominaisuudet säilyvät hyvin hitsauksen jälkeen. Korroosionkestävyys on huippuluokkaa. Sen lujuus on 900-1100 MPa. (Valbruna Nordic 2020c.) 1.4021 on martensiittinen 13 prosenttia kromia sisältävä ruostumaton teräs, jolla on korkea vetolujuus ja hyvät korroosionkesto-ominaisuudet. Sitä voidaan koneistaa, ja se sopii hyvin esimerkiksi ilmaa, vettä tai kaasuja käsitteleviin osiin. Sitä voidaan myös hitsata, vaikka hitsattavuus ei ole kovin hyvä. Sen lujuus on 700-850 MPa. (Valbruna Nordic 2020a.)

Aikaisemmat materiaalit ovat hieman eri tyyppisiä ja siksi ominaisuuksiltaan erilaisia. Kaikki soveltuvat kuitenkin asennusosien materiaaliksi, koska ne kaikki tulisivat kestämään asennusosiin kohdistuvan jännityksen ja rasituksen. Tämän vuoksi materiaalinvalinnalla ei ole kovin suurta merkitystä asennusosien suhteen.

Koska asennusosista haluttiin modulaariset ja hyvin yhdisteltävät eri variaatioiden kesken, ovat parhaat vaihtoehdot materiaaliksi 1.4404 ja 1.4460 teräs, koska osien on oltava sekä koneistettavissa että hitsattavissa. Saatavuutensa ja hintansa puolesta 1.4404 terästä tullaan todennäköisimmin käyttämään asennusosien materiaalina eniten, koska se on yleisin ruostumattoman teräksen laji. Kestävyuden varmistuttua materiaalin valinta ei ole niin suuressa roolissa. Näin ollen materiaali voidaan valita kunkin eräkoon kohdalla aina kyseiseen markkinatilanteeseen nähden mahdollisimman kustannustehokkaasti ja kannattavasti.

5 STANDARDIT

SFS-EN ISO 5211:2017 Teollisuusventtiilit – Osakierrostoimilaitteen liitokset on tärkeä standardi työssä. Se käsittelee tiettyjä perusvaatimuksia osakierrostoimilaitteen asentamisessa, että voidaan määritellä liitöntä toimilaitteen ja venttiilin välille. Standardi määrittää tarvittavat laipan mitat, ohjaavan komponentin mitat, sekä laipan sallitun maksimiväännön. SFS-EN 15081:2007 Teollisuusventtiilit – Osakierrostoimilaitteen asennusvarusteet on toinen tärkeä standardi. Se käsittelee vaatimuksia metallisille asennusvarusteille toimilaitteen ja venttiilin liittämiseen. Standardit sivuavat monelta osin toisiaan, mutta ovat kummatkin tärkeitä asennusosien suunnittelussa ja kehittämisessä, joten ne on molemmat otettava huomioon.

Lisäksi muita standardeja, joita tarkasteltiin työtä tehdessä tai haettaessa määritelmiä tai terminologiaa ja tietoa ovat: SFS-EN 15714-1:2009 Teollisuusventtiilit – Toimilaitteet Osa 1: Terminologia ja määritelmät, SFS-EN 15714-3:2009 Teollisuusventtiilit – Toimilaitteet Osa 3: Pneumaattiset osittain kääntyvät toimilaitteet teollisuusventtiileille perusvaatimukset, SFS-EN 736-1:2018 Venttiilit – Sanasto Osa 1: Venttiilityyppien määritelmät, SFS-EN 736-2:2016 Venttiilit – Sanasto Osa 2: Venttiilien osien määritelmät ja SFS-EN 736-3:2008 Venttiilit – Sanasto Osa 3: Termien määrittely. Nämä standardit auttoivat ymmärtämään määritelmiä ja venttiilisanastoa.

Tärkeimmät standardit määrittävät tietynlaisia vaatimuksia asennusosille kun venttiiliin liitetään osakierrostoimilaitte, jotta voidaan määrittää venttiilin ja toimilaitteen välinen liitöntä. Standardit on määritetty metallisille asennusvarusteluille, jotta voidaan taata turvallinen ja luotettava toiminta laitteille. Standardit sisältävät myös suosituksia suunnitteluun ja korroosiosuojaan ympäristössä. Vaatimukset oli otettava työssä tarkasti huomioon, sillä ne määrittävät tarkkoja mittoja ja sallitun laippaan, ja sitä myöten asennusosiin, kohdistuvan maksimiväännön.

6 LUJUUDEN TARKASTELU JA HITSISAUMAN MITOITUS

6.1 Lujuudentarkastelu ja FEM-analyysi

Kiinteillä materiaaleilla on ominaisuutena aina jonkinlainen lujuus ja jäykkyys, minkä takia ne kestävät ulkoisten voimien vaikutusta tiettyyn pisteeseen saakka ilman rakenteen murtumista tai merkittävän suuria muodonmuutoksia. Lujuusoppi on ”fysikaalisten tieteiden ala, joka tutkii kappaleiden mekaanista käyttäytymistä kuormitusten alaisena” (Salmi & Pajunen 2018, 13). Lujuusopin tehtävänä on selvittää sekä kappaleen sisäisiä jännityksiä ja niistä aiheutuvia muodonmuutoksia kappaleen ollessa levossa tai liikkeessä että kappaleen kestävät kuormitukset. (Salmi & Pajunen 2018, 13.)

FEM-analyysi tai FEA eli elementtimenetelmäanalyysi on numeerinen tekniikka, jota käytetään rakenteiden analysointiin matemaattisten mallien avulla. Sen kehitys johtuu pitkälti siitä, että tietokoneiden laskentateho on kasvanut ja sen myötä FEM-analyysin käyttö on yleistynyt. FEMiä käytetään rakenteiden muodonmuutoksien ja jännityksien sekä kestävyuden selvittämiseen matemaattisen mallin avulla. FEMissä selvitetään rakenteen ominaisuuksia kuormituksen alaisena. (Bhavikatti 2004, 1.)

Tässä työssä FEM-analyysiä käytettiin selvittämään asennusosiin kohdistuvia jännityksiä kun niihin kohdistuu tietynlainen voima. Lisäksi tutkittiin asennusosien muodonmuutosta rasituksen alaisena. FEM-analyysi oli lujuustarkastelun kannalta merkittävässä asemassa, kun tutkittiin kestäkö asennusosat.

Materiaalin valinnan perusteella lujuustarkastelua lähdettiin suorittamaan 1.4404 teräksen kanssa. Lisäksi otettiin huomioon SFS-EN ISO 5211:2017 -standardin määrittämät mitat, sekä standardin määrittämän venttiililaippaan kohdistuvan väännön suuruus. Lujuustarkastelu suoritettiin laipan väännön mukaisesti, koska asennusosien tulisi myös kestää sama vääntö. Ensin suoritettiin koelaskuja ja vertailtiin hieman eri materiaalien ominaisuuksilla, miten paljon laskut eroavat toisistaan. Koska eroavaisudet olivat pieniä, voitiin suorittaa tarkastelut yhden materiaalin mukaan, ja tuloksien perusteella todeta, että lujuus tulee olemaan riittävä.

Tämän jälkeen valitun materiaalin perusteella lähdettiin rakentamaan FEM-mallia, jotta voitiin suorittaa FEM-analyysi asennusosille. FEM-analyysi ja 3D-mallit tehtiin Siemens

NX -ohjelmistolla. 3D-malli suunniteltiin ja mitoitettiin sekä standardin että kehitetyn vakio-osan mukaisesti. FEM-malliin rakennettiin hitsatun rakenteen mukainen liitos osien välille, ja kohdistettiin tuet ja voimat asianmukaisesti niin kuin ne todellisuudessa ovat. FEM-analyysit suoritettiin moneen eri asennusosavariaatioon. Näin saatiin mahdollisimman kattava kuva lujuudesta sekä siitä miten standardointi onnistui.

FEM-analyysien tulokset olivat hyviä ja niiden perusteella voitiin tulkita, että asennusosat tulevat kestävänsä niihin kohdistuvat rasitukset, koska muodonmuutokset sekä jännitykset olivat pieniä. Muodonmuutokset olivat luokkaa 0,001 millimetriä ja jännitykset suurimmillaan noin 60 MPa. Eri kokojen välillä löytyi hieman eroavaisuuksia kohdistuvissa jännityksissä, mutta ne eivät olleet merkittäviä.

FEM-analyysit suoritettiin 1.4404 teräslaadun ominaisuuksien mukaisesti, koska se on todennäköisin asennusosamateriaali. Väsymistä tarkasteltiin venttiilien huoltovälin mukaisesti, jolloin asennusosiin kohdistuu noin 10 000 rasituskertaa. Rasituskertojen vähäisen lukumäärän ja materiaalin lujuuden, noin 600 MPa verrattaen FEM-analyysin max. noin 60 MPa, perusteella jännitysvaihtelut ovat niin pieniä, että väsymistä ei tarvitse ottaa huomioon. Lujuustarkastelun ja FEM-analyysin perusteella asennusosat tulevat kestävänsä lähes ikuisesti, koska rasituskertojen määrä on suhteellisen pieni, eivätkä jännitykset tai muodonmuutokset ole niin merkittäviä, jotta asennusosien rakenne kärsisi.

6.2 Hitsisauman mitoitus

Hitsisauman mitoitus suoritettiin kun oltiin FEM-analyysin perusteella saatu tuloksia siitä millaisia jännityksiä asennusosiin kohdistuu. Hitsisauman mitoituksessa ainoana haasteena oli väännön muuttaminen voimaksi. Mitoitus suoritettiin eri asennusosien kokojen mukaisesti, jotta saatiin varmuus siitä millainen hitsisauman pitää olla. Hitsisauman koko oli suhteellisen sama jokaisessa variaatiossa, koska mitä enemmän rasitus kasvoi, sitä enemmän myös osien koko kasvoi. Näin ollen myös rasituksen vaikutus pysyi suhteessa samana. Viimeisimpänä testattiin 3D-malliin, että hitsisauma mahtuu standardoituun ja kehitettyyn asennusosamalliin. Hitsit mahtuivat mitoituksen mukaisesti jokaiseen suunniteltuun ratkaisuun.

7 TYÖN TULOS

Työn lopputuloksena toivottuihin tuloksiin päästiin. Asennusosat suunniteltiin standardin mukaisesti, ja niihin kehitettiin vakio-osa, joka mahdollistaa helpomman ja tehokkaamman yhdistelyn eri venttiilikokojen ja toimilaitteiden mukaisesti. Koko asennusosaprosessista tuli yhtenäisempi ja selkeämpi, sekä siitä saatiin järkevä ja kaiken kattava ratkaisu asennusosiin. Lopputuloksesta johtuen tätä samaa käytäntöä voidaan jatkojalostaa muihin samankaltaisiin ongelmiin mikäli se koetaan tarpeelliseksi, esimerkiksi jos pneumaattisiin toimilaitteisiin käytetyt venttiilikoot kasvavat.

Kaiken kaikkiaan työn tekeminen oli mielenkiintoista ja antoisaa. Kirjoittaja tutustui aihealueeseen, josta hänellä ei ollut vielä etukäteen hirveästi tietoa. Standardeihin tutustuminen ja niiden ymmärtäminen osoittautui kaikkein aikaavievimmäksi osuudeksi. Se tulee kuitenkin olemaan hyödyllistä, koska monia asioita on standardoitu. Kirjoittaja olisi voinut parantaa omaa työskentelytehokkuuttaan esimerkiksi käymällä työskentelemässä toimeksiantajan tiloissa. Tällä tavalla olisi voinut olla vielä tiiviimmin yhteistyössä toimeksiantajan kanssa.

Tämän työn kaltainen kehitysprosessi ja suunnittelu tukevat erityisen hyvin tuotekehityso opiskelijaa, koska työ suoritettiin niin sanotun perinteisen tuotekehitysprojektin tapaisesti. Teollisuuden ja koneistukseen tutustuminen on arvokas kokemus tulevaisuuden kannalta. Högforsin tuki ja apu työtä tehdessä olivat merkittäviä.

LÄHTEET

- 3D Form Tech. 2020. Metallien 3D-tulostus. Vastauksia yleisimpiin kysymyksiin. Viitattu 5.8.2020 <https://3dformtech.fi/metallin-3d-tulostus-vastaukset-yleisimpiin-kysymyksiin/>
- 3D Printing. 2020. Wikipedia. Viitattu 5.8.2020 https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing
- 3DTech. 2020. Mitä on teollinen 3D-tulostaminen ja mitä etuja se tuo suunnitteluun ja valmistukseen. Viitattu 5.8.2020 <https://www.3dtech.fi/3d-ratkaisut/3d-tulostus-eli-ainetta-lisaava-valmistusmenetelma/>
- Aaltonen K.; Andersson P. & Kauppinen V. 1997. Koneistustekniikat. Porvoo: WSOY.
- Bhavikatti S.S. 2004. Finite Element Analysis. New Delhi: New Age International Ltd.
- Ebel F.; Idler S.; Prede G. & Scholz D. 2009. Pneumatics. Electropneumatics. Fundamentals. Denkendorf: Festo Didactic.
- Hulkkonen V. 2008. Fluid klinikka. Pneumatiikka. Venttiilit. Viitattu 3.8.2020 <https://asiakas.kotisivukone.com/files/fluidfinland.kotisivukone.com/FluidKlinikat/16.pneumatiikka-venttiilit.pdf>
- Hulkkonen V. 2005. Fluid klinikka. Pneumatiikan perusteita. Viitattu 6.8.2020 <https://asiakas.kotisivukone.com/files/fluidfinland.kotisivukone.com/FluidKlinikat/9.pneumatiikan-perusteita.pdf>
- Hulkkonen V. 2006. Fluid klinikka. Pneumatiikan perusteita. Toimilaitteet. Viitattu 6.8.2020 <https://asiakas.kotisivukone.com/files/fluidfinland.kotisivukone.com/FluidKlinikat/13.pneumatiikan-perusteita-toimilaitteet.pdf>
- Högfors Oy. 2020a. Tuotteet. Viitattu 11.8.2020 <https://hogfors.com/tuotteet/>
- Högfors Oy. 2020b. Yritys. Viitattu 11.8.2020 <https://hogfors.com/yritys/>
- Jokinen T. 2001. Tuotekehitys. Viitattu 9.9.2020 <http://lib.tkk.fi/Reports/2010/isbn9789526033204.pdf>
- Keinänen T. & Kärkkäinen P. 2009. Konetekniikan perusteet. 7. painos. Helsinki: WSOY.
- Kivioja S. 2009. Konetekniikka. 7. painos. Helsinki: Hakapaino Oy.
- Korhonen S. Jet Steel Oy. 2013a. Mistä ruostumaton teräs on tullut? <http://jetsteelay.blogspot.com/2013/02/mista-ruostumaton-teras-on-tullut.html>
- Korhonen S. Jet Steel Oy. 2013b. Ruostumattomien terästen laadut. Osa 1/6. Alustus aiheeseen. <http://jetsteelay.blogspot.com/2013/04/ruostumattomien-terasten-laadut-osa-16.html>
- Korhonen S. Jet Steel Oy. 2013c. Ruostumattomien terästen laadut. Osa 2/6. Austeniittiset ruostumattomat teräkset. Viitattu 18.8.2020 <http://jetsteelay.blogspot.com/2013/11/ruostumattomien-terasten-laadut-osa-26.html>
- Korhonen S. Jet Steel Oy. 2014a. Ruostumattomien terästen laadut. Osa 3/6. Ferriittiset ruostumattomat teräkset. Viitattu 18.8.2020 <http://jetsteelay.blogspot.com/2014/01/ruostumattomien-terasten-laadut-osa-36.html>
- Korhonen S. Jet Steel Oy. 2014b. Ruostumattomien terästen laadut. Osa 4/6. Austeniittis-ferriittiset ruostumattomat teräkset. Viitattu 18.8.2020 <http://jetsteelay.blogspot.com/2014/03/ruostumattomien-terasten-laadut-osa-46.html>

Korhonen S. Jet Steel Oy. 2014c. Ruostumattomien terästen laadut. Osa 5/6. Martensiittiset ruostumattomat teräkset. Viitattu 18.8.2020 <http://jetsteeloy.blogspot.com/2014/07/ruostumattomien-terasten-laadut-osa-56.html>

Lepola P. & Makkonen M. 2005. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Helsinki: WSOY.

Pipoly D. 2018. Industrial valve types and applications. Viitattu 3.8.2020 <https://blog.eaglegroup-manufacturers.com/industrial-valve-types-and-applications>

Salmi. T. & Pajunen S. 2018. Lujuusoppi. Tampere: Pressus Oy.

SFS-EN 15081:2007. Teollisuusventtiilit. Osakierrostoimilaitteen asennusvarusteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN 15714-1:2009. Teollisuusventtiilit. Toimilaitteet. Osa 1: Terminologia ja määritelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN 15714-3:2009. Teollisuusventtiilit. Toimilaitteet. Osa 3: Pneumaattiset osittain kääntyvät toimilaitteet teollisuusventtiileille. Perusvaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN 736-1:2018. Venttiilit. Sanasto. Osa 1: Venttiilityyppien määritelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN 736-2:2016. Venttiilit. Sanasto. Osa 2. Venttiilien osien määritelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN 736-3:2008. Venttiilit. Sanasto. Osa 3: Termien määrittely. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN ISO 5211:2017. Industrial valves. Part-turn actuator attachments. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

Säätö Oy. 2020. Termistö. Viitattu 11.8.2020 <https://saato.fi/tekniset-artikkelit/termisto/>

Valbruna Nordic. 2020a. Steel Grade 1.4021. Viitattu 7.8.2020 <https://www.valbrunanordic.se/en/stainless-steel-bars/steel-grades/1-4021/>

Valbruna Nordic. 2020b. Steel Grade 1.4404. Viitattu 7.8.2020 <https://www.valbrunanordic.se/en/stainless-steel-bars/steel-grades/1-4404/>

Valbruna Nordic. 2020c. Steel Grade 1.4418. Viitattu 7.8.2020 <https://www.valbrunanordic.se/en/stainless-steel-bars/steel-grades/1-4418/>

Valbruna Nordic. 2020d. Steel Grade 1.4460. Viitattu 7.8.2020 <https://www.valbrunanordic.se/en/stainless-steel-bars/steel-grades/1-4460/>

VTT. 2020. Teollinen 3D-tulostus. Viitattu 5.8.2020 <https://www.vttresearch.com/fi/palvelut/teollinen-3d-tulostus>