



Poralaitteen kehitys ja TÜV- sertifiointi

Akseli Pirinen

OPINNÄYTETYÖ
Tammikuu 2021

Konetekniikka
Tuotekehitys

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Tuotekehitys

PIRINEN, AKSELI:
Poralaitteen kehitys ja TÜV-sertifiointi

Opinnäytetyö 67 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Tammikuu 2021

Opinnäytetyön tavoitteena oli edesauttaa haaroitus- ja tulppauspalveluiden markkinointia Saksassa saksalaisen TÜV-sertifikaatin avulla. Sertifikaatin avulla on mahdollisuus todentaa pora- ja oheislaitteiden turvallisuus sekä niiden toimintavarmuutta vaadituissa olosuhteissa. Sertifikaatin saavuttamiseksi on todennettava laitekokonaisuuden olevan painelaitedirektiivin 2014/68/EU mukainen. Onnistuneen painetestin seurauksena laite voidaan merkitä CE-merkinnällä ja yritys saa todistuksen hyväksytystä laitteesta. CE-merkinnän seurauksena voidaan hakea saksalaisen katsastuslaitoksen hyväksyntää, joka vaatii useita Armatur 100-oppaassa mainittuja dokumentteja.

Yritys on hankkinut kahdelle pienemmälle poralaitteelle samanlaiset hyväksynnit, ja tässä työssä hankittiin sertifiointia toiseksi isoimmalle poralaitteelle. Edellisten sertifiointiprosessien avulla tiedetään tarvittavat dokumentit ja yhteydenottoa voidaan viivästyttää. Opinnäytetyöprosessissa keskitytään poralaitteen tekniisiin piirustuksiin, lujuuslaskelmiin, riskianalyysiin sekä painelaitedirektiivin mukaisiin luokitteluihin.

Sertifiointiprosessi aloitettiin kehittämällä poralaitteen runko kestävämmäksi, jotta runko on painelaitedirektiivin mukainen. Rungon suunnittelemiseen käytettiin 3D-suunnitteluohjelmisto SOLIDWORKS®:iä. Suunnitteluohjelmistolla saatujen osapiirustusten avulla laite voidaan valmistaa yrityksen omilla työstökeskuksilla. Opinnäytetyöprosessin aikana kehitettyä runkoa ei ehditty valmistamaan, mutta kaikki lujuuslaskelmat laskettiin käsin ja tuloksena saatiin laitekokonaisuus, joka täyttää kaikki vaadittavat suuret painelaitedirektiivin mukaisesti.

Määrättyjen dokumenttien ja tämän opinnäytetyön avulla yritys pystyy jatkamaan sertifikaatin hakemisprosessia. Kaikkia saatuja tuloksia voidaan hyödyntää hyväksyntäprosessissa. Kaikki opinnäytetyössä esitetyt tulokset on pyritty esittämään kansainvälisten standardoimisjärjestöjen määrittämien standardien mukaisesti.

Tämä opinnäytetyön versio on julkaistava versio. Julkisessa raportissa ei ole esitetty liitteitä, jotka ovat yritykselle kuuluvia luottamuksellisia osapiirustuksia.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Product Development

PIRINEN, AKSELI:
Drilling Equipment Development and TÜV Certification

Bachelor's thesis 67 pages, appendices 0 pages
January 2021

The aim of the thesis was to promote marketing in Germany with the help of the German TÜV certificate. The certificate makes it possible to verify the safety of drilling and peripheral equipment and their reliability under the required conditions. In order to obtain the certificate, it must be verified that the equipment complies with the Pressure Equipment Directive 2014/68/EU. As a result of giving all the required documents mentioned in Armatur 100 leaflet, it is possible to apply for the approval of a German inspection body.

In this thesis, the certification is obtained for the second largest drilling device. Based on the previous certification processes, the required documents are known, and communication can be delayed. The thesis process focuses on the technical drawings of the drilling device, strength calculations, risk analysis and classifications according to the Pressure Equipment Directive.

The certification process began by developing the drill body, so the body complies with the Pressure Equipment Directive. With the help of partial drawings obtained with the design software SOLIDWORKS®, the device can be manufactured with the company's own machining centers. All the strength calculations were calculated by hand and the result was a set of drilling equipment that meets all the required quantities in accordance with the Pressure Equipment Directive.

With the help of certain documents and this thesis, the company is able to continue the certificate application process. All the results presented in the thesis have been presented in accordance with the standards set by international standardisation organisations.

This version of the thesis is a publishable version. Attachments are not shown in the public report, which are confidential sub-drawings belonging to the company.

Key words: ped, tüv certificate, armatur 100

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TONISCO SYSTEM OY	7
3	PAINEELLINEN HAAROITUS	8
	3.1 Esimerkki poraustilanteesta	8
	3.2 Poralaite B40.....	11
	3.3 Adapterit.....	12
4	PAINELAITTEITA KOSKEVAT SÄÄDÖKSET	13
	4.1 Painelaitedirektiivi	13
	4.2 Laitekokonaisuuden luokitus painelaitedirektiivin mukaan	13
	4.3 Hyväksyntäprosessi	14
	4.4 Poralaitteen ja adaptereiden luokitus	15
5	KEHITETTÄVÄ PORALAITTE	18
	5.1 Nykyinen poralaite.....	18
	5.2 Vaatimukset kehitettävältä rungolta	19
	5.3 Rungon valmistus.....	20
6	LUJUUSLASKELMAT	28
	6.1 Lujuuslaskelmien teoria.....	28
	6.2 Yleiset kuormitukset.....	29
	6.3 Poraustilanteessa esiintyvät voimat ja heikoimmat kohdat	29
	6.4 Maksimaalinen syöttövoima	31
	6.5 Paineesta aiheutuvat voimat	34
	6.6 Syöttömutteri	35
	6.6.1 Liikkuva kierre.....	35
	6.6.2 Mutteria paikallaan pitävät ruuvit	40
	6.7 Akselin mitoitus	43
	6.8 Rungon laippa.....	46
	6.9 Pinolin laakeri ja pidätinrennas.....	49
	6.10 Adapterien osat	52
	6.10.1 Kauluslaippa.....	53
	6.10.2 Saumaton putki	53
	6.10.3 Adapterin levy	55
7	RISKIANALYYSI	61
8	YHTEENVETO JA POHDINTA	64
9	JATKOTUTKIMUSAIHEET	65
	LÄHTEET.....	66

LYHENTEET JA TERMIT

DN	Nimellishalkaisija
EN	Euroopan standardointikomitea
ISO	Kansainvälinen standardoimisjärjestö
PED	Pressure Equipment Directive (Painelaitedirektiivi)
PMA	Particular Material Appraisal (Materiaalin erityisarviointi)
TÜV	Technischer Überwachungsverein (Teknisen tarkastuksen järjestö)
WPS	Welding Procedure Specification (Hyväksytyt hitsausohjeet)

1 JOHDANTO

Maan alla kulkevien putkistojen käyttö kuuluu jokapäiväiseen elämään. Yritys suorittaa paineellisia haaroituksia käytössä oleviin putkistoihin ilman käyttökeskeytyksiä. Rakentaessa uusia asuinalueita, kerrostaloja tai ostoskeskuksia täytyy juomavesi- ja lämmitysratkaisut miettiä tarkkaan. TONISCO pystyy tekemään valmiin haaroituksen isommasta runkolinjasta kaikille uusille kohteille pysäyttämättä runkolinjassa kulkevaa nestettä tai alentamatta painetta. Tällaisessa tilanteessa sekä asiakas, että lähistöllä asuvat asukkaat ovat tyytyväisiä.

Yritys on hankkinut ja hankkii edelleen vallitsevien standardien ja direktiivien mukaisia sertifikaatteja pora- ja oheislaitteisiin pysyäkseen kilpailussa mukana. Pienemmille poralaitteille ja adaptereille on haettu opinnäytetyönä samanlaisia saksalaisia TÜV-sertifikaatteja. Saksassa melkein kaikki laitteet vaativat hyväksynnän katsastuslaitokselta. Sertifikaatin myötä tuotteita on helpompi markkinoida, jolloin asiakkaalle pystytään todentamaan laitteiden vaatimustenmukaisuus.

Nykyään direktiivit ja standardit ohjaavat sekä vaativat paljon koneenrakennukselta ja erityisesti turvallisuudelta. Työturvallisuuden vaatimukset kasvavat ja tällöin on pystyttävä osoittamaan käytettävän koneen tai laitteen turvallisuus sekä toimintavarmuus. Opinnäytetyössä tarkasteltava poralaitte B40 on suunniteltu DN100-DN500 putkikoon paineellisille porauksille. Painelaitteen tapauksessa täytyy osoittaa painelaittedirektiivin 2014/68/EU mukaiset dokumentit ja koeponnistukset, jotta laite voidaan hyväksyttää. Poralaitteen suunnittelussa ja lujuuslaskelmissa viitataan lukuisiin standardeihin painelaittedirektiivin lisäksi, jotta omat johtopäätelmät jäävät kokonaan pois.

Hyväksyttämisen prosessi pystytään suorittamaan jälkitoimenpiteenä tämän opinnäytetyön mukaisilla julkaisemattomilla osapiirustuksilla sekä lujuuslaskelmillä. Opinnäytetyössä esiintyvät laskut ovat standardien mukaisia ja konesuunnittelun kannalta oikeiksi todettuja päätelmiä. Kaikki lujuuslaskenta suoritetaan painelaittedirektiivin mukaan käsinlaskentana.

2 TONISCO SYSTEM OY

TONISCO System Oy on ollut LVI-alalla yli 50 vuotta, aina vuodesta 1969. Vuonna 2015 yritys jakautui kahteen. Toinen osapuolisko TONISCO Service Oy suorittaa kaikki asennustehtävät Suomessa ja Euroopassa. Servicelle kuuluu yrityksen haaroitus- ja tulppauspalveluiden suorittaminen. TONISCO System Oy:lle kuuluu poralaitteiden, sulkujen sekä muiden oheislaitteiden suunnittelu, valmistus ja myynti. (TONISCO a, n.d.)

Tampereen Kalkussa sijaitseva halli pitää sisällään noin 18 työntekijää. Yrityksen tiloista löytyy useita koneistuskeskuksia, joilla pyritään valmistamaan laitteiden osat mahdollisimman pitkälle itse. Joitakin osia, kuten valettavia runkoja tai standardien mukaisia pultteja ja muttereita ostetaan alihankintana. (Erkinheimo 2020)

Yrityksen tärkeimpinä tuotteina ovat eri kokoiset poralaitteet. TONISCO valmistaa tällä hetkellä neljää erikokoista poralaitetta ja käyttää itse vielä yhtä suurempaa, aiemmin valmistettua poralaitetta. Laitteiden käytön aikana ilmenee erilaisia ongelmia ja yksi suureksi ongelmaksi koitui aikanaan alihankkijalta tulevien palloventtiilien kokonaispituus. Poralaitteiden akselien pituudet eivät riittäneet suuremmissa koissa. TONISCO suunnitteli kaikille putkikoille omat sulut, jotka ovat paremmin yhteensopivia omien poralaitteiden kanssa. (Nisso 2020)

Sulkujen valmistus ja myynti on merkittävä osa yrityksen liikevaihtoa. Useissa tapauksissa sulun myynnin yhteydessä pystyy yritys markkinoimaan myös samalla Servicen haaroituspalvelun. Sulkujen ja poralaitteiden lisäksi TONISCO valmistaa erittäin suuria reikäsahoja ja keskiteriä, jotka ovat oleellinen osa tehdessä paineellista haaroitusta tai tulppausta. (Erkinheimo 2020)

Yritys on ollut viimevuosina jatkuvassa kasvussa ja nykyään yritys pyrkii noin 2-3% vuotuisen kasvuun. Työn laadusta tinkimättä täytyy pystyä suorittamaan kaikki työtehtävät asianmukaisesti, jolloin maltillinen kasvu on paras tapa kasvaa. (Nisso 2020)

3 PAINEELLINEN HAAROITUS

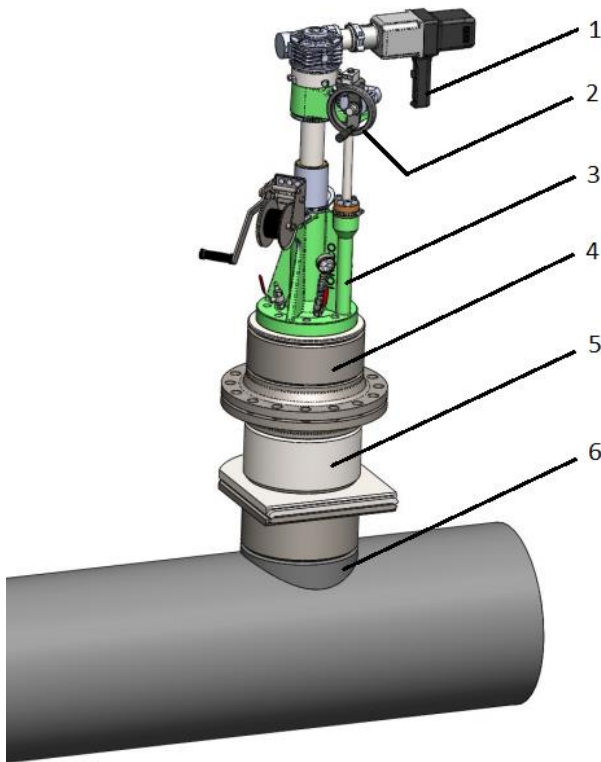
3.1 Esimerkki poraustilanteesta

Opinnäytetyössä tarkasteltavalla poralaitteella B40 pystytään suorittamaan paineellinen poraus DN100-DN500 porauksiin jopa 40 käyttöbarin (4MPa) paineeseen (TONISCO b, n.d.). Rakennuksissa tietyt putket ovat vedetty pintavetona, mutta useimmissa tilanteissa päälinjat, eli runkoputket, ovat maan alla eristettyinä suojattuina eri olosuhteilta kuten kylmältä talvelta. Tehdäkseen maanalaiseen putkeen muutostöitä, täytyy aukaista kuoppa putken ympärille, jotta putkeen päästään tekemään tarvittavat toimenpiteet. Asennustilanteissa asiakas on saanut tarvittavat mitat kaivettavien työalueiden laajuudesta, jotta kaikki pora- sekä oheislaitteet mahtuvat ja työntekijät pystyvät työn suorittamaan.

Pääasiassa kaikki maailman putket ovat pyöreitä sisä- ja ulkopinnaltaan. Putkistosuunnittelulla pystytään saavuttamaan pienempi hävikki sekä parempaa hygieniaa. Ympyrän muotoisissa putkissa on vähän kulmia ja tiloja, joista syntyisi hävikkiä paineen ja putkistossa olevien roskien keräämisen kannalta (RE Group n.d.). Suorittaessa porausta TONISCO poralaitteilla suuremmissa porauksissa kuuluu peruslaitteiden lisäksi hitsausrengas, jotta poraus pystytään suorittamaan kaarevalle pinnalle. Hitsausrengas muotoillaan putken muotoiseksi, jonka jälkeen suora pinta pystytään hitsaamaan TONISCO sulun jatkeeksi.

Kuvassa 1 on esitetty poraustilanteessa käytettävät olennaiset osat. Porausta suorittaessa on kasattava koko laitteisto tiiviiksi. Poraustilanteeseen kuuluu:

1. Käyttölaite (sähköinen/pneumaattinen/hydraulinen/käsiikäyttöinen)
2. Syöttöpyörä (syötetään syöttöruuvilla avulla pinolia ja akselia alaspäin)
3. Poralaite B40 (lisäksi akseliin kiinnitetty reikäsaha)
4. Adapteri (kuvassa DN300 laippa-adapteri)
5. TONISCO sulku (kuvassa DN300)
6. Hitsausrengas (DN500 runkoputken muotoiltu DN300 hitsausrengas)

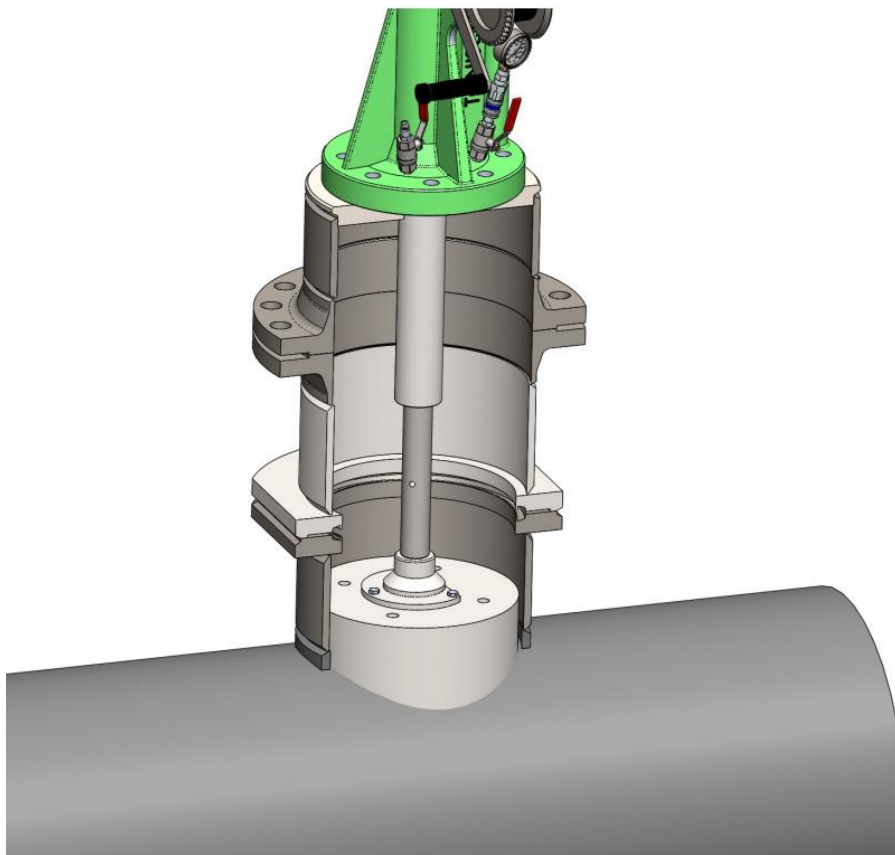


KUVA 1. Esimerkki poraustilanteen kokoonpanosta

Kaikkien laitteiden asennuksen jälkeen testataan hitsaus- ja pulttiliitosten tiiveys koeponnistamalla laitteiden sisään jäänyt säiliö. Ennen varsinaista porausta pystytään koeponnistuksella havaitsemaan vuodot suorittamatta varsinaista porausta. Koeponnistus suoritetaan noin 7 barin paineella, pelkällä ilmalla. Koeponnistuksen yhteydessä pyritään havaitsemaan vuodot painemittarin sekä vaahtoavan vuodonilmaisunesteen avulla. Onnistuneen koeponnistuksen jälkeen porauksessa pystytään siirtymään seuraavaan vaiheeseen.

Kun säiliö on todettu täysin ilmatiiviiksi, pystytään varsinainen haaraporaus suorittamaan. Poralaitteen akselia ja pinolia syötetään kuvan 1 mukaisella syöttöpyörällä. Syöttöpyörä on liitetty vaihteeseen, joka on jatkettu kierteellä varustettuun syöttöruuviin. Syöttöpyörää hitaasti pyörittämällä pystytään syöttämään reikäsahaa kohti runkolinjaa, johon on tarkoitus tehdä haaroitus. Kuvassa 2 nähdään poraustilanteen vaativin osa, jossa reikäsaha leikkaa reikää putkeen. Reikäsahan hampaat syövät putkeen täydellisen ympyränmuotoisen reiän ja

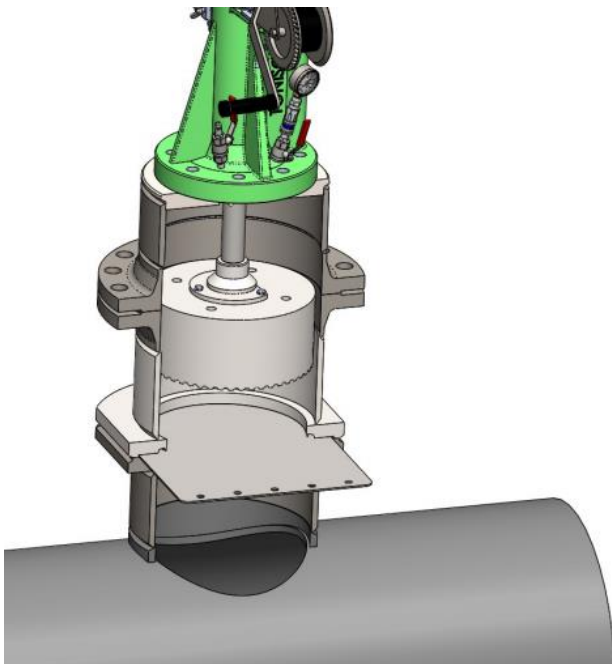
keskiterässä olevat viikset ottavat poratun palasen talteen, kun kone nostetaan pois paikoiltaan.



KUVA 2. Reikäsaha sahaamassa reikää runkoputkeen

Porauksen jälkeen reikäsaha nostetaan syöttöpyörän avulla niin ylös, että sulkulevy mahtuu sisään tai palloventtiili mahtuu kiinni (kuva 3). Kun sulkulevy on asetettu paikoilleen, sulun yläosan ja poralaitteen väliin jäänyt säiliö pystytään tyhjentämään venttiilin avulla ja paineettomuus testaamaan. Kun sulkulevy on paikoillaan ja sulkulevyn pitävyys todettu, pystytään adapteri sekä poralaite purkamaan.

Kun poralaite ja adapteri on poistettu, jäljellä on vain TONISCO sulku, jonka sisässä on kahdella tiivisterenkaalla tiivistetty sulkulevy. Asiakas suorittaa haaroitukseen liittyvät putkityöt ja hitsaukset TONISCO sulun jatkeeksi. Kaikkien muutostöiden jälkeen sulkulevy pystytään poistamaan, jonka jälkeen haaroitus on onnistunut ja jatkoputki on pystytty asentamaan ilman käyttökeskeytyksiä.



KUVA 3. Sulkulevyn laitto paikoilleen

3.2 Poralaite B40

TONISCO suunnittelee ja valmistaa tällä hetkellä poralaitteita viidessä eri koossa. Edellisissä opinnäytetyöissä on hankittu saksalaisen katsastuslaitoksen TÜV-sertifikaatit poralaitteille Junior ja B30. Tässä opinnäytetyössä keskitytään poralaitteen B40 sertifikaatin hankintaan. TONISCO poralaitteet pienimmästä suurimpaan ovat:

1. TONISCO Baby (DN10-25)
2. TONISCO Junior (DN40-100)
3. TONISCO B30 (DN40-DN200)
4. **TONISCO B40 (DN100-DN500)**
5. TONISCO B70 (DN400-DN800) (TONISCO b, n.d.)

Ensimmäinen B40 poralaite valmistettiin 70-luvulla. Neljäkymmentä vuotta sitten runko rakennettiin teräksestä ja liitoksia hitsattiin yhteen. Ruuviliitoksia pyrittiin välttämään poralaitteeseen kohdistuvan värinän vuoksi. Vuosien käytön jälkeen todettiin, että rakenneteräs painaa suhteellisen paljon ja poralaitteesta haluttiin käyttäjäystävällisempi. (Nisso 2020)

Myöhemmin tuotekehityksen ansiosta poralaitteeseen suunniteltiin runko alumiinista. Poralaitteen runko valettiin alumiiniseoksesta. Poralaitteen painosta hävisi useita kiloja. Rungon materiaalin vaihdoksella pystyttiin TONISCO:n toiseksi suurimmasta poralaitteesta tekemään yhden asentajan käytettävä poralaite. (Nisso 2020)

3.3 Adapterit

TONISCO valmistaa adaptereita kaikkiin omiin sulkuihin sekä toisten valmistajien palloventtiileihin. Adaptereiden avulla poraus pystytään suorittamaan TONISCO poralaitteilla. Pienemmissä adaptereissa on käytettävissä sisä- ja ulkokierteitä, jotka sopivat TONISCO poralaitteisiin. (Erkinheimo 2020)

Samalla kun poralaitteelle haetaan sertifikaattia, on hankittava myös käytettäville adaptereille hyväksynnät niiden käytöstä poralaitteen kanssa. B40 poralaitteella käytettävät adapterit ovat kaikki laippa-adaptereita. Adapteri voidaan kiinnittää pulttiliitoksilla poralaitteeseen kiinni. Myös toinen pää laippa-adapterista kiinnitetään TONISCO sulkuihin pulttiliitoksella ja tiivistetään tiivisterenkaalla. Olennaisin osa adapterissa on sisälle jäävä säiliö. Painedirektiivin 2014/68/EU mukaisesti adapterit sijoitetaan tiettyihin luokkiin kappaleessa 4.4.





Laipalliset kiinnityskappaleet (DIN)	Nimelliskoko	Tuoteno.
	Laipallinen kiinnityskappale DN125 (PN16) DIN 2526	1641.1250
	Laipallinen kiinnityskappale DN125 (PN40) DIN 2526	1641.1255
	Laipallinen kiinnityskappale DN150 (PN16) DIN 2526	1641.1500
	Laipallinen kiinnityskappale DN150 (PN40) DIN 2526	1641.1505
	Laipallinen kiinnityskappale DN200 (PN16) DIN 2526	1641.2000
	Laipallinen kiinnityskappale DN200 (PN6) DIN 2526	1641.2001
	Laipallinen kiinnityskappale DN200 (PN10) DIN 2526	1641.2002
	Laipallinen kiinnityskappale DN200 (PN25) DIN 2526	1641.2004
	Laipallinen kiinnityskappale DN200 (PN40) DIN 2526	1641.2005

KUVA 4. B40 Adapterit (TONISCO tuotekatalogi)

4 PAINELAITTEITA KOSKEVAT SÄÄDÖKSET

4.1 Painelaitedirektiivi

Varsinaista direktiiviä paineistetuille haaroituksille ei ole olemassa. Konesuunnittelussa ja sertifikaatin haussa on hyödynnettävä tällä hetkellä voimassa olevia kansainvälisiä standardeja ja direktiivejä. Painelaitedirektiivi 2014/68/EU on Euroopan parlamentin ja neuvoston antama direktiivi, joka on uudistettu toukuussa 2014. Painelaitedirektiiviä sovelletaan erilaisten painelaitteiden suunnitteluun, niiden valmistukseen sekä vaatimustenmukaisuuden arviointiin, jolloin käyttöpaine ylittää 0,5 bar. Vuonna 2014 päivitettyä versiota edelsi painelaitedirektiivi 97/27/EY. Painelaitedirektiivi määrittää kaikkien painelaitteiden turvallisuutta ja riskienhallintaa markkinoilla oleville laitteille. (Painelaitedirektiivi 2014/68/EU)

Poralaitteen ja adaptereiden hyväksyntäprosessissa sovelletaan painelaitedirektiiviä. Painelaitedirektiivi ohjaa laitesuunnittelua paineenkeston ja lujuuden avulla. Laskentamenetelmillä pyritään poistamaan käyttöolosuhteissa, tuntemattomista jännityksistä, materiaalin käyttäytymisestä ja sen ominaisuuksista johtuvia vaihtelevia varmuuskertoimia. (Painelaitedirektiivi 2014/68/EU)

4.2 Laitekokonaisuuden luokitus painelaitedirektiivin mukaan

Painelaitteen tai laitekokonaisuuden osat, jotka eivät ole standardoituja osakokonaisuuksia täytyy luokitella teknisten vaatimusten mukaisesti tiettyyn kategoriaan. Katteoria määrittää osan tai osakokonaisuuden suunnitteluun ja valmistukseen liittyviä minimivaatimuksia. Komponentit luokitellaan eri luokkiin riippuen sisällöstä sekä osan tai osakokonaisuuden koosta. (Painelaitedirektiivi 2014/68EU)

Painelaitedirektiivin 13 artiklan 1. kohdassa määritetään sisältö. Sisältö on jaettu kahteen ryhmään:

1. Vaaralliset aineet, kuten räjähteet, syttyvät kaasut ja nesteet sekä myrkylliset aineet
2. Kaikki aineet, joita ei ole luokiteltu ryhmään 1. (juomavesi tai kaukolämpövesi)

Kun sisältö on määritetty artiklan 13 mukaisesti, painelaitteen on täytettävä artiklan 4 mukaiset tekniset vaatimukset. Artiklan 4 mukaan painelaitteen on täytettävä painelaitedirektiivin liitteen 1. mukaiset turvallisuusvaatimukset. Painelaite voidaan luokitella artiklassa 4 tiettyyn kategoriaan tiettyjen ehtojen perusteella. Nämä perusteet ovat:

- Sisällön maksimipaine (PS)
- Nimellisuuruus (DN) tai tilavuus (V)
- Alin/korkein sallittu lämpötila (TS)

Edellä mainittujen tietojen perusteella painelaite voidaan luokitella artiklassa 14 esitettyihin kategorioihin. Kategoriaan I kuuluville painelaitteille on asetettu pienimmät vaatimukset, johon kuuluu normaali tekninen dokumentointi ja tuotannonvalvonta. Kategoriassa IV on isoimmat vaatimukset ja vaatii mm. erikseen ilmoitetun laitoksen alaista valvontaa. (Painelaitedirektiivi 2014/68/EU)

4.3 Hyväksyntäprosessi

Hyväksyntäprosessi aloitettaisiin normaalisti ottamalla yhteyttä saksalaisen katsustuslaitoksen henkilöön, joka antaisi ohjeita sertifiointia varten. Edellisten sertifiointien avulla on tarkka tieto, mitä dokumentteja sertifiointi vaatii. Dokumentit ovat listattuina oppaassa Armatuur 100, jossa on kerrottu painelaitedirektiivin pohjalta tarvittavat dokumentit sekä lisäksi yksityiskohtaiset TÜV:iin liittyvät dokumentit. Taulukossa 1 on kerrottu tarvittavat asiakirjat hyväksyntää varten. (Armatuur 100, 2006)

TAULUKKO 1. Vaadittavat dokumentit (Armatuur 100, 2006)

Tarvittavat dokumentit (Armatuur 100)	
1.	Hyväksyttävän EY-tyyppitarkastusosan yleiskuvaus
2.	Venttiilin/säiliön yksityiskohdat: <ol style="list-style-type: none"> 1. Luokitus painelaitedirektiivin mukaan 2. Tyyppiviite 3. Nimelliskoko 4. Käyttöpaine 5. Käyttö- ja ympäristön lämpötila 6. Käytetty neste 7. Käyttötarkoitus 8. Erikoisuudet
3.	Kokoonpanokuva sekä tarvittavat osapiirustukset
4.	Selitykset piirustusten ymmärtämiseksi
5.	Materiaalin yksityiskohdat (standardit ja PMA:t)
6.	Raportti venttiilin/säiliön suunnittelusta ja mitoituksesta (lujuuslaskelmat)
7.	Luettelo käytetyistä standardeista painelaitedirektiivin artiklan 5 mukaisesti tai toiset standardit selitettynä
8.	Tiedot suoritetuista koeponnistuksista ja testeistä
9.	Tiedot vaadittavista pätevyyksistä painelaitedirektiivin liitteen 1 mukaisesti
10.	Riskianalyysi painelaitedirektiivin liitteen 1 mukaisesti
11.	Painelaitedirektiivin liitteen 1 mukainen käyttöohje

Opinnäytetyöprosessi on liian lyhyt aika koko sertifiointiprosessin läpiviemiseksi. Tässä opinnäytetyössä keskitytään kohtiin 2, 3, 6 ja 10.

4.4 Poralaitteen ja adaptereiden luokitus

Painelaitedirektiivin ja kappaleen 4.2 mukaisesti komponentit täytyy luokitella. Tässä työssä luokitellaan adapterit DN100-500 sekä poralaitteen runko.

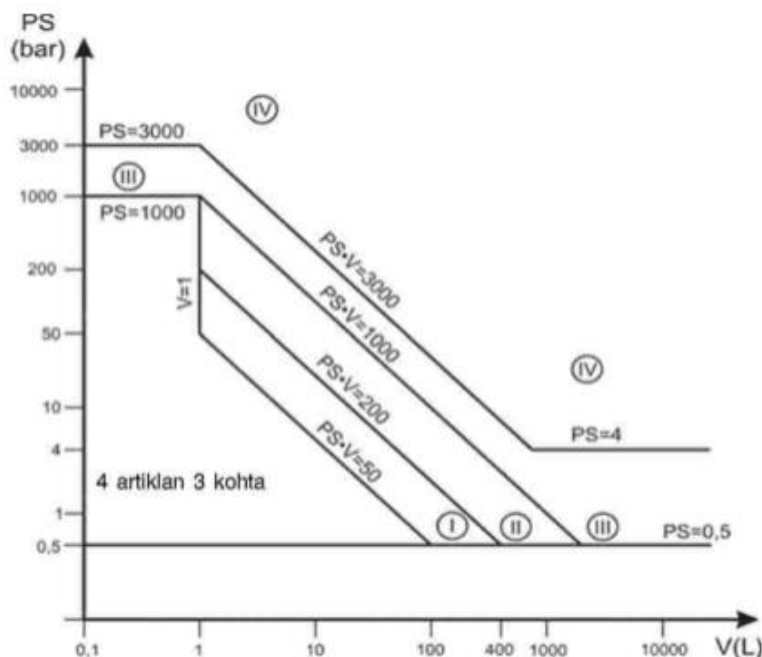
Painelaitedirektiivin 13 artiklan 1. kohdassa määritetyn sisällön avulla voidaan määrittää poralaitteella säiliössä käytettäväksi nesteeksi ryhmä 2. Kaikki porattavat nesteet ja kaasut kuuluvat ryhmään 2, eli vaarattomiin nesteisiin.

Poralaite luokitellaan säiliöksi. Poralaite voidaan luokitella artiklan 4 mukaisesti A kohdan i) mukaan. Kyseisen artiklan mukaan nesteen höyrönpaineen täytyy olla vähintään 0,5 bar suurempi kuin ilmanpaineen, tulon $PS \cdot V$ täytyy olla yli 50 bar L sekä tilavuuden vähintään 1 L.

- Sisällön maksimipaine (PS) = 40 bar
- Nimellissuuruus (DN) tai tilavuus (V) = 63,22 bar L
- Alin/korkein sallittu lämpötila (TS) = 200°C

Höyrönpaine korkeimmassa sallitussa lämpötilassa 15,551 bar ja höyrönpaine on suunnittelu lämpötilassa vähintään 0,5 bar yli ilmanpaineen (Tekniikan käsikirja 2, Gummerus). Artiklan 4 mukaisesti poralaite voidaan luokitella painelaitedirektiivin liitteen II mukaisesti (taulukko 2). Taulukosta voidaan lukea poralaitteen $PS \cdot V$ arvon mukaisesti sen kuuluvan luokituksen 1.

TAULUKKO 2. Liite II, vaatimustenmukaisuuden arviointikuvataulukko (Painelaitedirektiivi 2014/68/EU)



Adapterit luokitellaan samalla tavalla säiliöiksi kuin poralaitteen runko. Poralaitteiden luokituksessa käytetään samaa menetelmää sekä samoja alkuarvoja. Adaptereiden sisäinen tilavuus kasvaa adapterin koon kasvaessa. Taulukossa 3 on esitetty poralaitteen adaptereiden luokitukset. Adapterit DN450 ja DN500 hyväksytetään paineluokalle PN25, sillä suuria porauksia korkeassa paineluokassa on erittäin harvoin ja siihen voidaan käyttää isompaa poralaitetta.

TAULUKKO 3. Adaptereiden luokitus painelaitedirektiivin mukaan

Adapteri	D _i (mm)	A (mm ²)	H (mm)	V (L)	PN	PS*V	Luokitus
1641.1000	107,1	9008,8	120	1,08	40	43,24	4 Artikla 3.
1641.1250	131,7	13622,6	120	1,63	40	65,39	1
1641.1500	159,3	19930,6	120	2,39	40	95,67	1
1641.2000	206,5	33491,1	120	4,02	40	160,76	1
1641.2500	255,8	51391,5	150	7,71	40	308,35	2
1641.3000	307,9	74457,6	185	13,77	40	550,99	2
1641.3500	338	89727,0	185	16,60	40	663,98	2
1641.4000	384,4	116053,1	185	21,47	40	858,79	2
1641.4500	432	146574,1	185	27,12	25	677,91	2
1641.5000	479,6	180654,3	185	33,42	25	835,53	2

Kaikki adapterit sekä poralaitte luokitellaan korkeintaan luokkaan 2. Luokassa 2 vaaditaan laatu järjestelmää, jonkin ilmoitetun laitoksen alaista valvontaa tuotannossa ja suunnittelussa sekä CE merkintää. Kaikki pora- ja oheislaitteet ovat CE merkittyjä ja yrityksen ISO 9001 laadunhallintajärjestelmän ansiosta luokitukset ovat toteuttamiskelpoisia ja sertifiointin hakua voidaan jatkaa. (Erkinheimo 2020)

5 KEHITETTÄVÄ PORALAITTE

5.1 Nykyinen poralaite

Poralaitteessa on 162 erilaista osaa. Useita kymmeniä osia valmistetaan itse, mutta suurin osa osista on standardien mukaisia tuotteita, jotka ovat ostettu kauppan hyllyltä. Poralaite on toimiva kokonaisuus, mutta haettavan sertifikaatin takia runkoa on muutettava. Nykyinen runko on valmistettu valuna alumiiniseoksista AlSi10Mg. Taulukossa 4 esitetty standardin SFS-EN 1706 mukaiset arvot käytetylle alumiiniseokselle.

TAULUKKO 4. Alumiinin materiaalitiedot (SFS-EN 1706)

	Vetomurtolujuus (MPa)	Myötöraja (MPa)	Murtovenymä (%)
AlSi10Mg	260	200	1

Painelaitedirektiivin mukaan kappaleessa 7.1.2 on esitetty raja-arvot alumiiniseosten osalta. Staattinen kuorma ei saa ylittää määritettyjä arvoja kaavan (1) ja (2) mukaisesti.

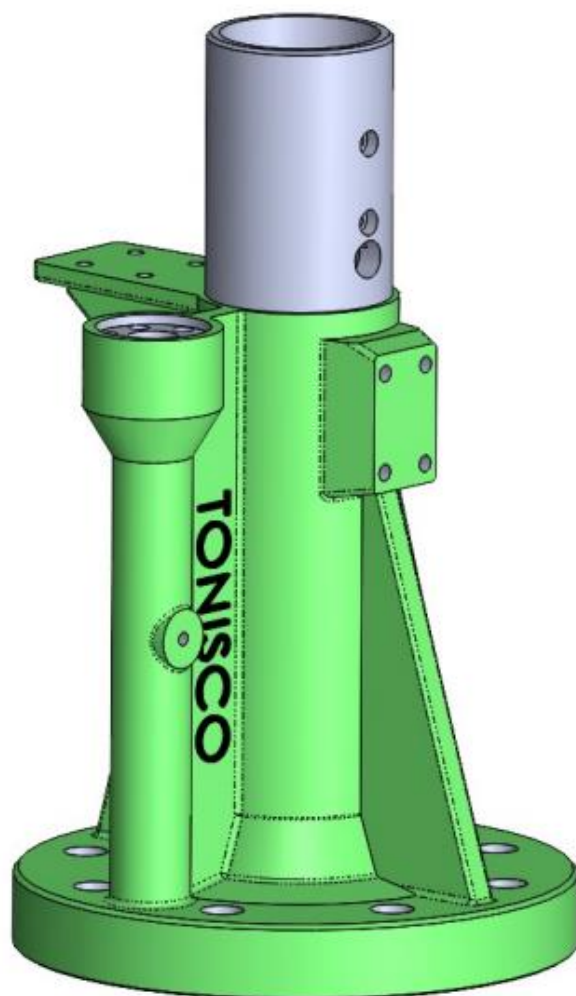
$$\frac{2}{3} R_{e_t} \text{ ja} \quad (1)$$

$$\frac{5}{12} R_{m_{20}} \quad (2)$$

jossa R_{e_t} = myötöraja 20°C lämpötilassa

$R_{m_{20}}$ = vetomurtolujuus 20°C lämpötilassa.

Runko on kosketuksissa nesteeseen tai kaasuun sekä altistuu runkoputkessa olevaan paineeseen. Poraustilanteessa lämpötila voi olla jopa 200°C sekä paine 40 bar ja silloin alumiininen runko ei täytä näitä arvoja. Lisäksi painelaitedirektiivin mukaan kappaleessa 7.5 on eritelty teräksen murtovenymäksi vähintään 14% (Painelaitedirektiivi 2014/68/EU). Alumiiniseoksen murtovenymä on 1%, joka ei täytä vaatimuksia (SFS-EN 1706). Kuvassa 5 on esitetty poralaitteen alumiinirungon 3D malli.



KUVA 5. Alumiinivalu runko

5.2 Vaatimukset kehitettävältä rungolta

Kun nykyinen poralaite on täysin käyttövalmis, uuden rungon kehittämisessä täytyy pyrkiä hyödyntämään jo käytössä olevia osia. Nykyisessä poralaitteessa runko on tehty yhtenä valuna, mutta teräksestä tehdessä runko täytyy tehdä useammasta osasta ja tässä tapauksessa hitsata osat yhteen. Uudessa rungossa vältetään myös ruuviliitoksia tärinän takia.

Uuden rungon täytyy sopia kaikkiin samoihin adaptereihin, jotka ovat nyt käytössä alumiinisella rungolla. Rungon alaosan tiivisteosaan täytyy sopia sama DN125 - TESNIT BA-S DN125 PN25-40/1,5mm (NBR) nitrilikumitiiviste, sekä

pulttijako täytyy olla sama nykyisen rungon kanssa. Näiden lisäksi syöttömatkaksi tarvitaan sama 300mm, jolloin rungon pitää olla yhtä pitkä edellisen kanssa sekä syöttöruuvilla täytyy olla tarvittava tila.

Kaikkien jo käytössä olevien osien käytön lisäksi rungon täytyy olla sellainen, jotta sille saadaan sertifikaatti. Myöhemmin opinnäytetyön kappaleessa 6 on tarkastettu rungon osalta tarvittavat lujuuslaskelmat. Opinnäytetyöprosessissa uutta runkoa ei ehditä valmistamaan, mutta suunnitelmat hyväksytetään ylempällä johdolla, jotta runko pystytään ensinnäkin valmistamaan. Runko täytyy pystyä valmistamaan yrityksen omilla työstökeskuksilla, joka asettaa omat rajoitteensa.

5.3 Rungon valmistus

Runko on pystyttävä valmistamaan yrityksen omilla työstökeskuksilla. Rungon suunnittelussa viitataan yrityksestä löytyviin työstökeskuksiin:

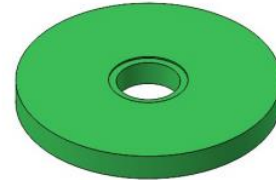
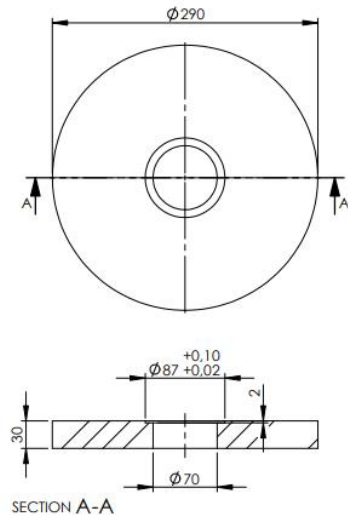
- 5-akselinen työstökeskus Akira Seiki Performa V4.5
- CNC-sorvi Primero PL-3080
- CNC-sorvi Takisawa TNR-200Y
- CNC-sorvi Hyundai SKT200TTSY

Opinnäytetyössä suunniteltiin runko valmistettavaksi teräksestä S355J2G3. Teräs on kestävämpää kuin alumiiniseos. Taulukossa 5 on esitetty standardin SFS-EN 10025:2 mukaiset arvot käytetylle teräkselle. Taulukossa esiintyviä arvoja hyödynnetään kappaleen 6 lujuuslaskelmissa.

TAULUKKO 5. Teräksen S355 materiaalitiedot (SFS-EN 10025-2)

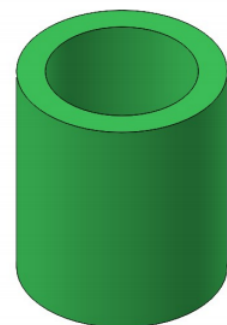
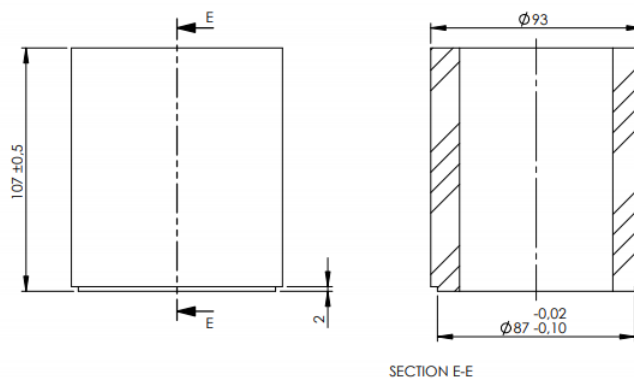
	Vetomurtolujuus (MPa)	Myötöraja (MPa)	Murtovenymä (%)
S355J2G3	470-630	355	17

Rungon valmistus aloitetaan laipasta. Laippa on laserleikattu leike 30mm pak-susta teräslevystä. Leikkeestä valmistetaan kuvan 6 mukainen reiällinen ympyrälevy Primerolla. Levyyn lisätään lovi keskelle putken hitsaamisen takia.



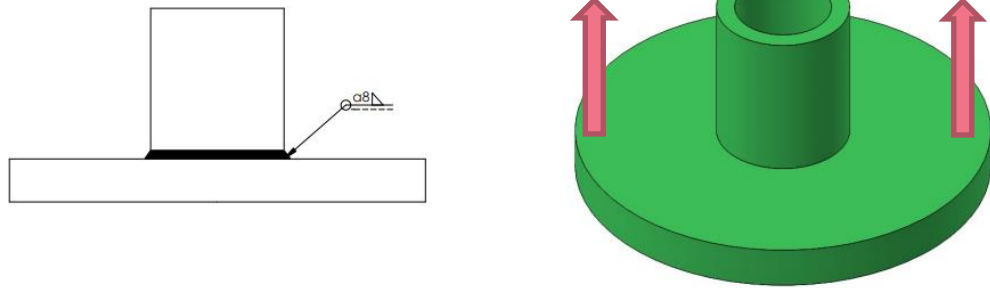
KUVA 6. Esikoneistettu laippa hitsausta varten

Levyyn lisättyyn loveen hitsataan pala putkea (kuva 7). Rungon putki täytyy tehdä kahdesta osasta työkalujen ulottuvuuden vuoksi. Laippaan täytyy saada tehtyä reikiä ja tasauksia putken puolelle. Laippa ja putki työstetään yrityksestä löytyvällä sorvilla Primero PL-3080. Runkoputki valmistetaan rakenneputkesta 93 x 24,5mm.



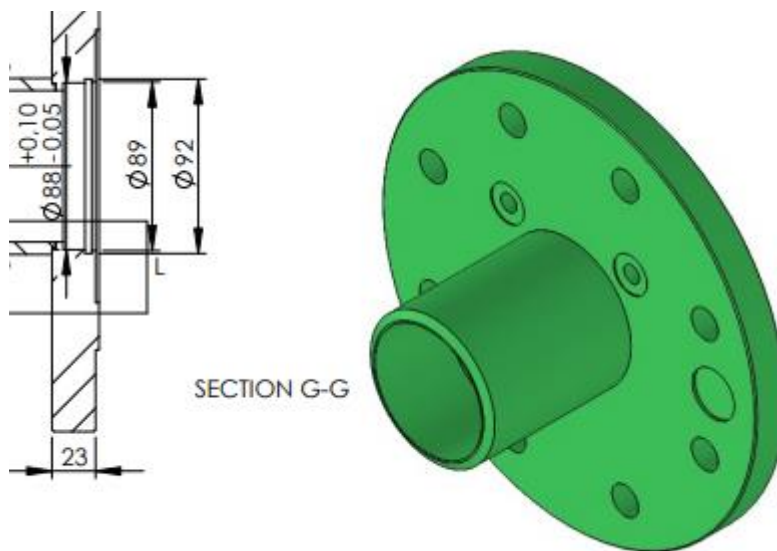
KUVA 7. Runkoputken alaosa

Putki ja laippa hitsataan yhteen pienasaumalla. Putki ja laippa hitsataan raaka-aineista ennen lopullista hitsausta, sillä hitsauksesta aiheutuvan lämmön takia laipan reunat pyrkivät nousemaan. Kuvassa 8 on esitetty laipan hitsaus sekä nuolilla nousevat reunat.

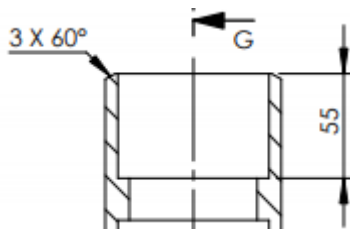


KUVA 8. Laipan ja putken hitsaus

Hitsauksen jälkeen laippa pystytään koneistamaan lopulliseen muotoonsa. Laipasta tehdään kuvan 9 mukainen kokonaisuus Akiralla. Lisäksi putkeen hitsataan lovi runkoputken toiselle osalle (kuva 10).

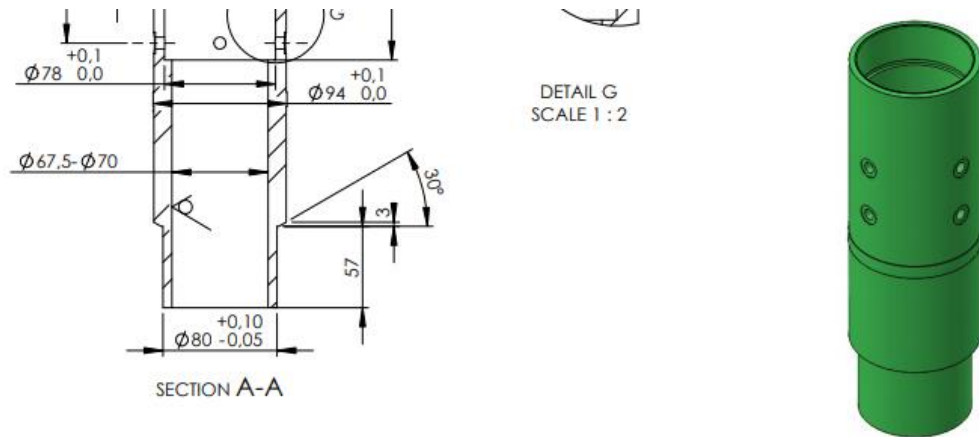


KUVA 9. Laipan valmistus



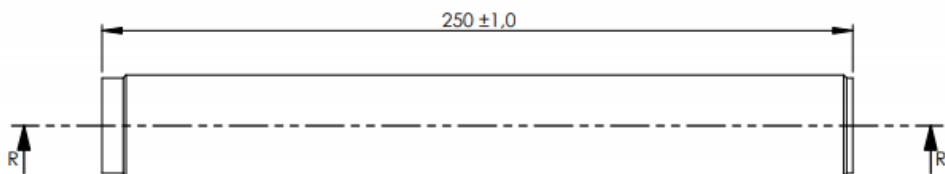
KUVA 10. Lovi putken toiselle osalle

Hitsatussa kappaleessa on 55 mm korkea lovi. Runkoputki on valmistettu Primerolla sekä HYUNDAI KIA SKT200TTSY CNC-koneistuskeskuksella. Runkoputkeen lisätään kuvan 11 mukainen 57 mm korkea lovi upotukselle.



KUVA 11. Runkoputken yläosa

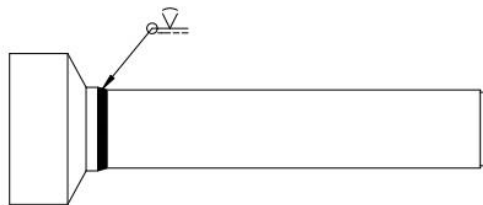
Ennen runkoputken hitsaamista valmistettuun rungon alaosaan kiinni, valmistetaan syöttöruuvin suojaputki. Suojaputki valmistetaan DN25 putkesta (33,7x2,6 mm), jonka päälle lisätään syöttömutterin ruuveille vastakappale. Syöttöruuvin suojaputki on esitetty kuvassa 12 ja vastakappale kierteineen kuvassa 13. Syöttöruuvin suojaputken yläosa valmistetaan Hyundai Kia:lla 70 mm halkaisijan tangosta. Suojaputken yläosa hitsataan kiinni sorvattuun putkeen kuvan 14 mukaisesti.



KUVA 12. Syöttöruuvin suojaputki



KUVA 13. Syöttöruuvien suoja putken yläosa



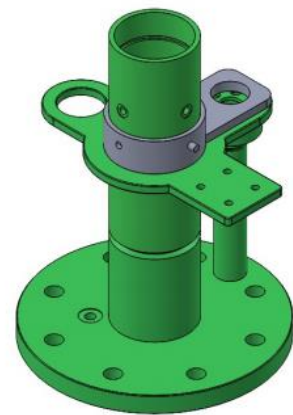
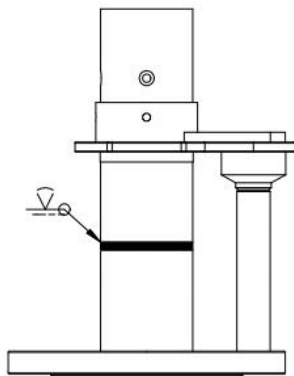
KUVA 14. Syöttöruuvien suoja putken hitsaus

Syöttöputki täytyy tukea ennen runkoputken hitsaamista. Tukemista varten koneistetaan laserleikatusta 15 mm paksusta levystä rungon yläosan tukilevy. Tarvittavat upotukset sekä viisteet tehdään Akiralla. Tukilevystä havainnekuva kuvassa 15.



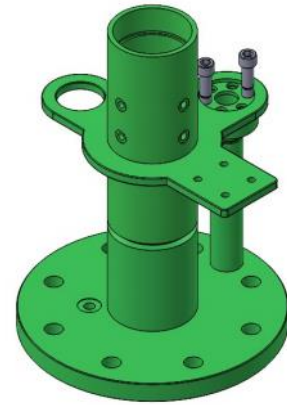
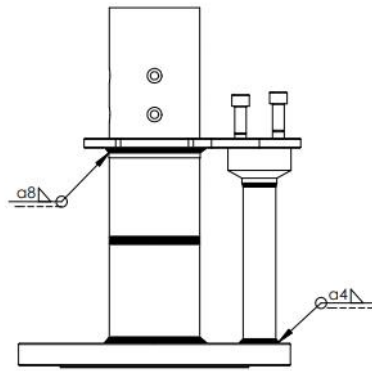
KUVA 15. Rungon ylätukilevy

Runkoputki hitsataan kuvan 16 tavalla. Putki hitsataan yhteen V-hitsillä, jossa on railo 60° . Runkoputken hitsauksessa on käytetty apuna kuvan 15 mukaista syöttöruuvin suoja-putkea sekä runkoon liitettävää tukilevyä.



KUVA 16. Runkoputken hitsaus

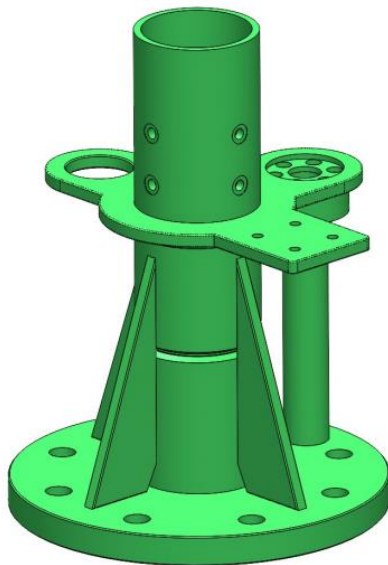
Toiseksi viimeisessä vaiheessa runkoon hitsataan tukilevy sekä syöttöruuvi kuvan 17 mukaisesti. Tukilevy hitsataan 8 mm pienasaumalla runkoputkeen kiinni ja syöttöruuvin suoja-putki 4mm pienasaumalla laippaan kiinni. Tässä vaiheessa laipassa ei pitäisi näkyä muutoksia hitsauksen takia.



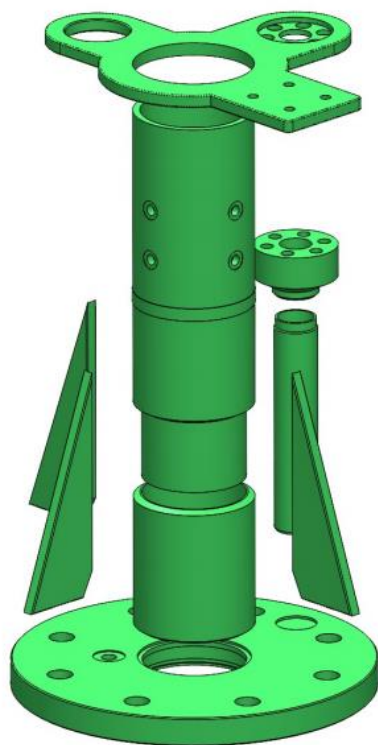
Use two screws to lock cover pipe in position!

KUVA 17. Teräsrunko ilman tukikolmioita

Lopuksi runkoon hitsataan pienasaumoilla kolme kappaletta kolmionmallisia tukilevyjä. Kuvassa 18 on esitetty lopullinen teräsrunko ja kuvassa 19 sen räjäytyskuva. Kyseinen suunnittelumalli on mahdollinen toteuttaa, mutta käytännössä esiintyviä ongelmakohtia on vaikea löytää. Useita ongelmia on pyritty jo suunnitteluvaiheessa ehkäisemään, mutta lisää saattaa löytyä prototyypin valmistusvaiheessa.



KUVA 18. Valmis teräsrunko



KUVA 19. Rungon räjäytyskuva

Kaikki rungon valmistukseen liittyvät osapiirustukset ovat esitetty vain yrityksen käyttöön tarkoitettussa opinnäytetyöversiossa. Osapiirustusten perusteella runko pystytään valmistamaan yrityksen omilla työstökeskuksilla. Prototyyppi rungosta pyritään valmistamaan keväällä 2021.

6 LUJUUSLASKELMAT

6.1 Lujuuslaskelmien teoria

Lujuusoppi on keskeinen osa rakenteen suunnitteluprosessia. Lujuusopillisilla laskelmilla voidaan ennakoida rakenteen mekaanista käyttäytymistä tietyssä kuormitustilanteessa. Lujuuslaskelmat kohdistuvat usein abstraktiseen malliin eikä todelliseen rakenteeseen. Arkitodellisuudessa lujuuslaskelmat voivat näyttää eri tulosta kuin todellisuus (Koneenosien suunnittelu, 2014). Opinnäytetyössä tarkasteltavaa poralaitetta on käytetty kymmeniä vuosia ja poralaitteen voidaan todeta olevan myös todellisuudessa kestävä (Nisso 2020).

Opinnäytetyössä pyritään hyödyntämään voimassa olevia standardeja. Standardien avulla lasketut lujuuslaskelmat ovat hyväksytyjä toimintatapoja sertifikaatin haussa. Laskelmissa etsitään komponenttien kriittiset jännitykset, joita voidaan verrata sallittuihin jännityksiin. Näiden suureiden avulla pystytään määrittämään sertifiointiprosessin sekä painelaitedirektiivin asetettua varmuusluvun minimiarvoa. Varmuuden määrittäminen tarkoittaa yleensä kriittisen ja vertailujännityksen suhdetta (Koneenosien suunnittelu 2014, 43). Varmuusluku SF voidaan määrittää yhtälön (3) mukaisesti

$$SF = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma_{vert}}, \quad (3)$$

jossa σ_{kr} = kriittinen jännitys
 SF = varmuusluku
 σ_{vert} = vertailuarvo.

Käsiteltävässä poraustilanteessa useisiin osiin kohdistuu painetta. Materiaalin jännitys voidaan laskea jakamalla kohdistuva voima pinta-alalla, johon voima kohdistuu (Koneenosien suunnittelu 2014, 85). Paineesta aiheutuvia jännityksiä materiaalissa voidaan laskea kaavan (4) mukaisesti

$$\sigma = \frac{F}{A}, \quad (4)$$

jossa σ = maksimi normaalijännitys
 F = voima
 A = pinta-ala.

Sertifiointin kannalta vaadittavissa laskelmissa hyödynnetään useita Suomen Standardisoimisliiton suomentamia EN-standardeja minimiarvojen laskemiseksi. Kaikissa laskelmissa käytetään standardien mukaisia tunnuksia ja yksiköitä (Teollisuusventtiilit, SFS-EN 12516-2).

6.2 Yleiset kuormitukset

Kuormitustilanteessa etsitään maksimivoima, joka kohdistuu eri osiin poraustilanteessa (Painelaitedirektiivi 2014/68/EU). Poraustilanteessa esiintyviä voimia ennen nesteen pääsyä säiliöön, jolloin lämpötilaa ei tarvitse ottaa huomioon ensimmäisessä vertailukohteessa. Nesteen päästessä kosketuksiin poralaitteen ja adapterin kanssa, on otettava myös lämpötila huomioon. Lämpötilan huomioimisen lisäksi on otettava huomioon varmuuskerroin. Koeponnistuksessa testipaineeksi käytetään painelaitedirektiivin mukaista 1,5-kerrointa, jolloin myös varmuuskertoimena käytetään $SF = 1,5$.

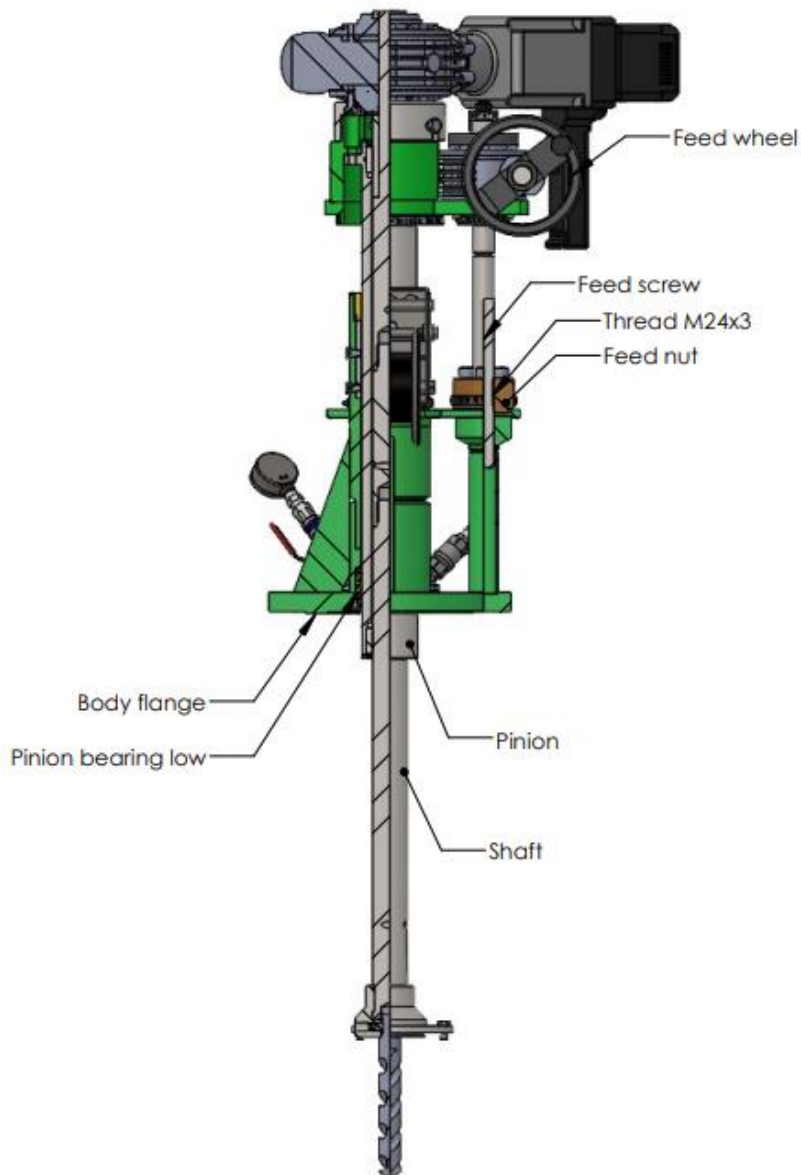
Poralaitteelle B40 haetaan sertifikaatti tietylle maksimipaineelle sekä -lämpötilalle. Maksimikäyttöpaine poralaitteelle on $p = 40$ bar, jossa lämpötila on maksimissaan $t = 200^\circ\text{C}$. Laskuissa maksimi käyttöpaine on esitetty toisessa muodossa $p = 4$ N/mm².

6.3 Poraustilanteessa esiintyvät voimat ja heikoimmat kohdat

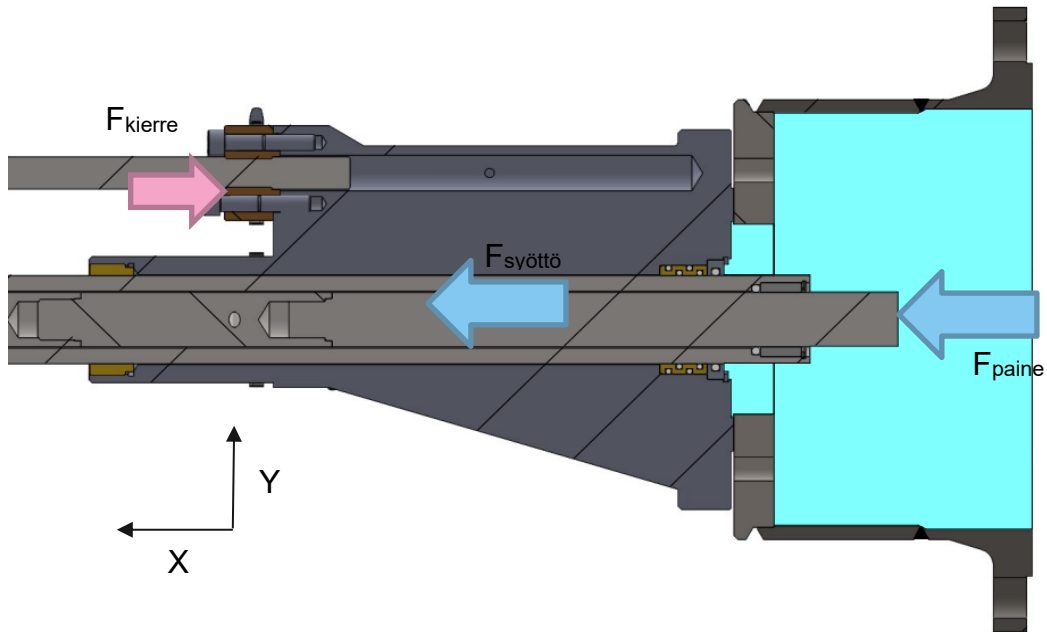
Poraustilanteessa on kaksi eri tilannetta. Poralaitteen asennuksen jälkeinen porauksen aloitus, kun neste ei ole vielä päässyt säiliöön, eli keskiterä ei ole mennyt läpi runkoputkesta. Toinen tilanne tulee, kun keskiterä menee läpi runkoputkesta.

Keskiterän puhkaistessa runkoputken paine sekä nesteen lämpötila vaikuttavat laskentoihin (Erkinheimo 2020). Kuvassa 21 on esitetty vallitsevat kuormitukset.

Kuvassa 20 on esitetty käytetyn poralaitteen heikoimmat osat (Erkinheimo 2020). Tässä kappaleessa suoritetaan lujuuslaskenta poralaitteen kaikille osille, joihin kohdistuu ulkoista voimaa (paine) tai manuaalisesta syötöstä johtuvia voimia.



KUVA 20. Poralaitteen heikoimmat osat sekä syöttöpyörän sijainti



KUVA 21. Poralaitteen kuormitukset poraustilanteessa

Kuvan 21 perusteella voidaan määrittää X-suunnassa vallitsevien voimien summa nolllaksi. Paineesta ja syötöstä tulevat voimat eivät ole yhdessä, vaan molemmat ovat eri tilanteissa. Yhtälön (5) mukaisesti saadaan määritetty X-suunnassa vallitsevien voimien summa

$$F_x = F_{paine} + F_{syöttö} - F_{kierre} \quad (5)$$

jossa F_x = voimien summa X-suunnassa
 F_{paine} = paineesta aiheutuva voima
 $F_{syöttö}$ = manuaalisesta syötöstä tuleva voima
 F_{kierre} = syöttöruuviin kohdistuva voima.

6.4 Maksimaalinen syöttövoima

Porauslaitteen pääkuormitukset johtuvat paineesta ja manuaalisen syötön aiheuttamasta syöttövoimasta. Koska manuaalisen käytön takia ei ole mahdollista laskea esiintyvää syöttövoimaa, arvioidaan käyttäjän suurin käden voima. Arviointi tehdään standardin DIN EN 12570 mukaisesti (kuva 22). Kyseisessä

standardissa annettua suurinta käden voimaa ei kuitenkaan saa koskaan kohdistaa suoraan porauslaitteen syöttöpyörään. Yleensä reikäsaha lakkaa leikkaamasta, kun syöttöpyörään kohdistuu liikaa voimaa. Kun koko saha lopettaa leikkaamisen, on erittäin kiellettyä jatkaa syöttöä kohti poraussuuntaa. Yleensä reikäsaha pyörii vapaasti, kun syöttöpyörää käännetään taaksepäin.

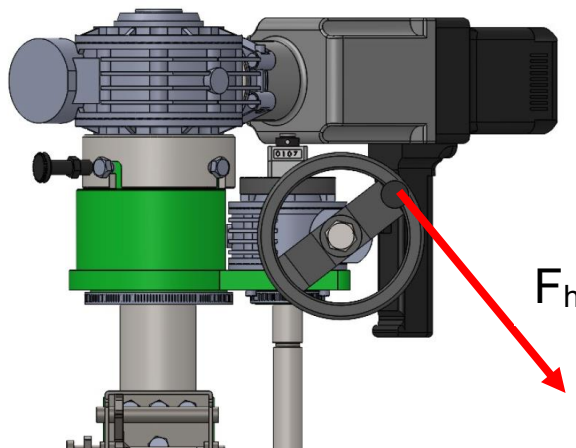
Standardin DIN EN 12570 määrittelemällä suurimmalla käden voimalla voidaan laskea syöttöpyörään kohdistuva momentti (Koneenosien suunnittelu 2014, 245). Syöttöpyörään kohdistuva momentti määritetään kaavalla (6)

$$M = F_h \cdot \frac{d_h}{2}, \quad (6)$$

jossa M = momentti
 F_h = suurin käden voima
 d_h = syöttöpyörän halkaisija.

Kaavan (6) avulla saadaan laskettua suurimmaksi momentiksi

$$M = 600 \text{ Nm} \cdot \frac{140 \text{ mm}}{2} = 42000 \text{ Nmm}$$



KUVA 22. Manuaalinen syöttövoima

Syöttövoima	$F_h = 600 \text{ N}$
Syöttöpyörän halkaisija	$d_h = 140 \text{ mm}$
Momentti	$M = 42000 \text{ Nmm}$

Liikkuvan kierteen tiedot: (VDI2230-1:2015)

Kierteen koko:	M24 x 3
Ulkohalkaisija:	$d = 24 \text{ mm}$
Kierteen korkeus:	$P = 3 \text{ mm}$
Ryntökulma:	$\beta = 60^\circ$
Jakohalkaisija:	$d_2 = 22.05 \text{ mm}$ (ISO standardi kiertteet)
Kitka kierteiden välillä (Teräs - Tinapronssi):	$\mu_{SPF} = 0.15$

Ensimmäisessä tilanteessa, kun keskiterä ei ole puhkaissut putkea, maksimivoimaksi on määritetty syötöstä aiheutuva voima. Syöttövoima on laskettu kiertteenmitoitustandardin VDI2230 sivun 76. kaavan sekä TUEV Nord määräysten mukaisesti kaavalla (7)

$$F_{\text{syöttö}} = \frac{2 \cdot M}{d_2 \cdot \tan \left(\operatorname{atan} \left(\frac{P}{d \cdot \pi} \right) + \operatorname{atan} \left(\frac{\mu_{SPF}}{\cos \left(\frac{\beta}{2} \right)} \right) \right)}, \quad (7)$$

jossa M = momentti
 d_2 = kierteen jakohalkaisija
 P = kierteen nousu
 d = kierteen ulkohalkaisija
 μ_{SPF} = kierteiden välinen kitka
 β = ryntökulma.

Maksimi syöttövoimaksi saadaan kaavan (7) perusteella

$$F_{\text{syöttö}} = \frac{2 \cdot 42000 \text{ Nmm}}{22.05 \text{ mm} \cdot \tan \left(\operatorname{atan} \left(\frac{2 \text{ mm}}{(22.05 \text{ mm} \cdot \pi)} \right) + \operatorname{atan} \left(\frac{0.15}{\cos \left(\frac{60^\circ}{2} \right)} \right) \right)}$$

$$= 17463 \text{ N.}$$

Kun käyttölaite ei pyöri ja syöttöpyörää syötetään maksimivoimalla, syntyy kuormittavin tilanne ennen putkeen poraamista. Kuormitustilanne, jossa käyttölaite ei pyöri, saadaan kaavan (5) mukaisesti

$$F_x = F_{\text{syöttö}} - F_{\text{kierre}} \quad (5)$$

jossa $F_{\text{syöttö}}$ = maksimi syöttövoima

F_{kierre} = kierteeseen kohdistuva voima.

Kyseisessä tilanteessa kierteen pitää pystyä pitämään maksimi syöttövoima toiseen suuntaan. Syöttömutterin kestävyyttä lasketaan opinnäytetyön kappaleessa 6.6.

6.5 Paineesta aiheutuvat voimat

Toisessa tilanteessa, kun reikäsaha puhkaisee runkolinjasta läpi, neste ja paine tulee adapterin sisälle. Paine pyrkii puskemaan kuvassa 21 esiintyvää pinolia sekä akselia ylöspäin. Ympyrän muotoiselle pinta-alalle pystytään laskemaan siihen kohdistuva voima, jolla paine työntää sitä ylöspäin. Ympyrän pinta-ala pystytään (8)

$$A_{pinion} = \frac{\pi \cdot d_{pinion}^2}{4}, \quad (8)$$

jossa d_{pinion} = pinolin halkaisija

A_{pinion} = pinolin pinta-ala.

Kaavan (8) avulla saadaan pinta-ala, jolle paine kohdistuu

$$A_{pinion} = \frac{\pi \cdot (65 \cdot \text{mm})^2}{4} = 3318,31 \text{ mm}^2.$$

Pinoliin kohdistuva voima voidaan laskea pinta-alalle kohdistuvan paineen avulla. Nestepaineesta johtuva voima voidaan laskea kaavan (9) avulla

$$F_p = A_{pinion} \cdot F_{paine} \quad (9)$$

jossa A_{pinion} = pinolin pinta-ala

F_{paine} = nestepaineesta aiheutuva voima.

Pinoliin kohdistuva voima, jolla nestepaine työntää pinolia ylöspäin saadaan kaavalla (9)

$$F_p = 3318,31 \text{ mm}^2 \cdot 4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 13273,2 \text{ N}.$$

6.6 Syöttömutteri

6.6.1 Liikkuva kierre

Kappaleissa 6.4 ja 6.5 lasketuista arvoista voidaan määrittää maksimivoima, joka kohdistuu syöttömutteriin. Syöttömutteri kannattelee yksinään laskettuja voimia. Kappaleessa 6.4 määritettiin suurempi voima, joka tulee syöttövoimasta.

Suurempaa voimaa käytetään syöttömutterin kestävyyslaskuissa. Kierteen kestävyttä on laskettu Apeland lopputyön mukaan (Verification of Bolted Joints According to VDI2230).

Liikkuvan kierteen tiedot ISO 965-1 standardin mukaisesti:

Kierteen koko:	M24 x 3
Ulkohalkaisija:	$d = 24 \text{ mm}$
Kierteen nousu:	$P = 3 \text{ mm}$
Ryöntökulma:	$\beta = 60^\circ$
Tyvihalkaisija:	$D_1 = d - \frac{5 \cdot \sqrt{3}}{8} \cdot P = 20,752 \text{ mm}$
Jakohalkaisija:	$D_2 = 22,05 \text{ mm}$
Kierteen pohjan halkaisija:	$D_3 = 20,32 \text{ mm}$
Syöttöruuvien materiaali:	S355 J2G3
Syöttömutterin materiaali:	CuSn12 (Tina – pronssi)
Kierteen vähimmäiskytkentäpituus:	$l_{eff} = 32 \text{ mm}$ (10+ kierrosta) (ehto $l < 2,5 d$ täyttyy)

Poralaitteessa käytetty syöttöruuvi on valmistettu rakenneteräksestä, jonka materiaalitiedot on määritetty standardin SFS-EN 10025-2 mukaisesti. Syöttömutterin materiaalina käytetyn tinapronssin materiaalitiedot on esitetty Johnson Metall tuotekatalogissa. Leikkausmurtolujuuden laskennassa on käytetty kierteenmitoitustandardin VDI2230 viitearvoa.

Ruuvien vetolujuus:	$R_{m.s} = 350 \text{ MPa}$
Ruuvien leikkausmurtolujuus:	$\tau_{BS.min} = 0,5 \cdot R_{m.s} = 175 \text{ MPa}$
Mutterien vetolujuus:	$R_{m.M} = 160 \text{ MPa}$
Mutterien leikkausmurtolujuus:	$\tau_{BM.min} = 0,5 \cdot R_{m.M} = 80 \text{ MPa}$

Kierteen mitat standardin ISO 965-1 - 6H/6g mukaan

Suurimman halkaisijan pienin mitta: $d_{min} = 23,577 \text{ mm}$

Pienemmän halkaisijan suurin mitta: $D_{2,max} = 22,003 \text{ mm}$

Kierteen ja materiaalin tiedoilla pystytään määrittämään VDI2230 mukaisesti kriittinen kierre, eli kierre, joka on heikompi. Kriittinen kierre voidaan määrittää kaavalla (10)

$$R_S = \frac{d \cdot \left(\frac{P}{2} + (d - D_2) \cdot \tan(\alpha)\right) \cdot \tau_{BM.min}}{d \cdot \left(\frac{P}{2} + (d - D_1) \cdot \tan(\alpha)\right) \cdot \tau_{BS.min}}, \quad (10)$$

jossa R_S = kriittinen kierre
 α = ryntökulman puolikas
 d = kierteen ulkohalkaisija
 P = kierteen nousu
 D_1 = kierteen tyvihalkaisija
 D_2 = kierteen jakohalkaisija
 $\tau_{BM.min}$ = syöttömutterin leikkausmurtolujuus
 $\tau_{BS.min}$ = syöttöruuvien leikkausmurtolujuus.

Heikompi kierre, eli kriittinen kierre voidaan perustella kaavalla (10)

$$R_S = \frac{24\text{mm} \cdot \left(\frac{3\text{mm}}{2} + (24\text{mm} - 22,05\text{mm}) \cdot \tan(30\text{deg})\right) \cdot 80\text{MPa}}{24\text{mm} \cdot \left(\frac{3\text{mm}}{2} + (24\text{mm} - 20,752\text{mm}) \cdot \tan(30\text{deg})\right) \cdot 175\text{MPa}} \\ = 0,4318.$$

Kriittisen kierteen kriteerit on määritetty Apeland lopputyön (Verification of Bolted Joints According to VDI2230) mukaisesti, kun

$R_S > 1$ -> ruuvien kierre on kriittinen

$R_S < 1$ -> mutterin kierre on kriittinen.

Kaavalla (10) saatua arvoa voidaan verrata kriteereihin ja nähdään, että mutterin kierre on kriittinen. Mutterin kierrettä pidetään heikompana kierteenä ja sen lujuutta tarkastellaan.

Kierteen maksimirasituksen halkaisija pystytään laskemaan kaavalla (11)

$$d_s = 0.5 \cdot (d_2 + d_3) \quad (11)$$

jossa d_2 = kierteen jakohalkaisija
 d_3 = kierteen pohjan halkaisija
 d_s = kierteen maksimirasituksen halkaisija.

Halkaisija, johon kohdistuu suurin rasite M24x3 kierteessä voidaan laskea kaavan (11) avulla

$$d_s = 0.5 \cdot (22,05 \text{ mm} + 20,32 \text{ mm}) = 21,19 \text{ mm}.$$

Saadun maksimirasituksen halkaisijan perusteella pystytään laskemaan rasituksen pinta-ala. Pinta-ala maksimirasituksen halkaisijan avulla saadaan kaavalla (12)

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot (d_s)^2 \quad (12)$$

jossa d_s = kierteen maksimirasituksen halkaisija
 A_s = kierteen maksimirasituksen pinta-ala.

Kaavan (12) avulla saadaan maksimirasituksen pinta-ala

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot (21,29 \text{ mm})^2 = 352,5 \text{ mm}^2.$$

Kierteen kannalta kriittisen leikkauksen pinta-ala voidaan laskea kaavalla (13)

$$A_{SGM} = \pi \cdot d_{min} \cdot \left(\frac{l_{eff}}{P} \right) \cdot \left(\frac{P}{2} + (d_{min} - D_{2,max}) \cdot \tan(\alpha) \right), \quad (13)$$

jossa A_{SGM} = kriittisen leikkauksen pinta-ala
 d_{min} = suurimman halkaisijan pienin mitta
 l_{eff} = kierteen vähimmäiskytkentäpituus
 $D_{2,max}$ = kierteen pienimmän halkaisijan suurin mitta
 P = kierteen nousu
 α = ryntökulma.

Leikkauksen pinta-ala saadaan laskettua kaavan (13) mukaisesti

$$\begin{aligned} A_{SGM} &= \pi \cdot 23,577 \text{ mm} \cdot \left(\frac{32 \text{ mm}}{3 \text{ mm}} \right) \cdot \left(\frac{3 \text{ mm}}{2} \right) \\ &\quad + (23,577 \text{ mm} - 22,003 \text{ mm}) \cdot \tan(30^\circ) \\ &= 1903,1 \text{ mm}^2. \end{aligned}$$

Voima, jonka syöttömutterin kierre kestää, voidaan laskea kertomalla materiaalin leikkausmurtolujuus leikkauksen pinta-alalla kaavalla (14)

$$F_{mGM} = \tau_{BM,min} \cdot A_{SGM} \quad (14)$$

jossa F_{mGM} = maksimivoima, jonka syöttömutteri kestää
 A_{SGM} = leikkauksen pinta-ala
 $\tau_{BM,min}$ = syöttömutterin leikkausmurtolujuus.

Syöttömutterin voima voidaan laskea kaavan (14) avulla

$$F_{mGM} = \frac{80 \text{ N}}{\text{mm}^2} \cdot 1665,2 \text{ mm}^2 = 152247,0 \text{ N}.$$

Mutterin kestävä voima voidaan verrata opinnäytetyön kappaleessa 6.4 määritettyyn maksimivoimaan, joka saadaan syöttämällä poralaitetta. Syöttömutterin varmuuskerroin pystytään laskemaan kaavalla (3)

$$SF = \frac{F_{mGM}}{F_{feed}}. \quad (3)$$

jossa SF = varmuusluku

F_{mGM} = syöttömutterin voima

F_{feed} = manuaalisesta syötöstä aiheutuva voima.

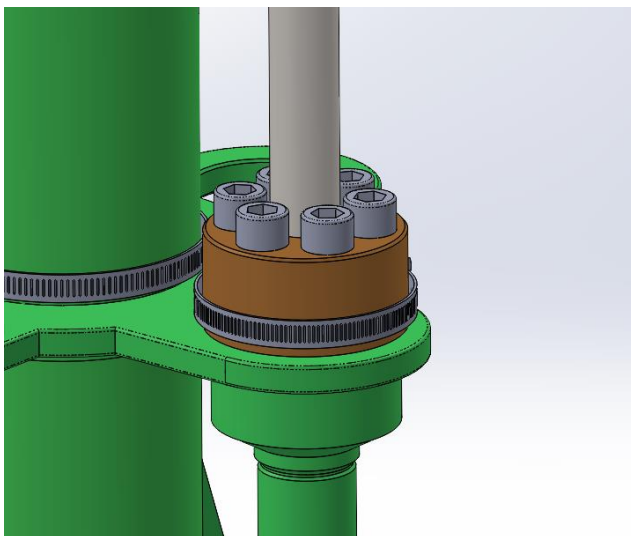
Syöttömutterin varmuuskertoimeksi saadaan kaavan (3) avulla

$$SF = \frac{152247,0 \text{ N}}{17463 \text{ N}} = 8,7 \rightarrow O.K.$$

Painelaitedirektiivin mukaan varmuuskertoimen SF täytyy olla vähintään 1,5. Varmuuskerroin ylittää 1,5 jolloin mutteri on tarpeeksi kestävä.

6.6.2 Mutteria paikallaan pitävät ruuvit

Syöttömutteri on kiinnitetty kuudella ruuvilla runkoon kiinni. Syöttömutterin täytyy pysyä paikoillaan ja kuuden ruuvin on kestettävä opinnäytetyön kappaleessa 6.4 laskettu kuormitus. Kuvassa 23 havainnekuva tilanteesta. Kierteen mitat sekä ruuvien materiaaliin liittyvät arvot ovat standardin ISO 965-1 mukaisia. Kierteen välinen kitka on määritetty kierrestandardissa VDI2230.



KUVA 23. Syöttömutterin kiinnitys

Kierteen koko:	M 12 x 1,75 (12.9)
Ulkohalkaisija:	$d = 12 \text{ mm}$
Kierteen nousu:	$P = 1,75 \text{ mm}$
Ryntökulma:	$\beta = 60^\circ$
Jakohalkaisija:	$d_2 = 10,863 \text{ mm}$
Kierteen pohjan halkaisija:	$d_3 = 9,853 \text{ mm}$
Ruuvin materiaalin 0.2% murtolujuus:	$R_{p0.2} = 640 \text{ MPa}$
Hyötykerroin:	$v = 0,9$
Leikkausalueen halkaisija:	$d_s = 10,358 \text{ mm}$
Kitkakerroin:	$\mu_G = 0,10$ (teräs-teräs)
Ruuvin pienin pinta-ala:	$A_0 = 353,2 \text{ mm}^2$

Ruuvin suurin sallittu jännitys (Koneenosien suunnittelu 2014, 143) voidaan laskea kaavalla (15)

$$\sigma_M = \frac{v \cdot R_{p0.2}}{\sqrt{1 + 3 \cdot \left[\frac{3 \cdot d_2}{2 \cdot d_s} \cdot \left(1.1155 \cdot \mu_G + \frac{P}{\pi \cdot d_2} \right) \right]}}, \quad (15)$$

jossa σ_M = ruuvin sallittu jännitys
 v = hyötykerroin
 $R_{p0.2}$ = ruuvin murtolujuus
 d_2 = kierteen jakohalkaisija
 d_s = leikkausalueen halkaisija
 μ_G = kierteiden välinen kitkakerroin
 P = kierteen nousu.

Maksimijännitys, joka ruuviin voi kohdistua on laskettu kaavalla (15)

$$\begin{aligned} \sigma_M &= \frac{0.9 \cdot 640 \text{ MPa}}{\sqrt{1 + 3 \cdot \left[\frac{3 \cdot 10,863 \text{ mm}}{2 \cdot 10,358 \text{ mm}} \cdot \left(1.1155 \cdot 0,10 + \frac{1,75 \text{ mm}}{\pi \cdot 10,863 \text{ mm}} \right) \right]}} \\ &= 524,4 \text{ MPa.} \end{aligned}$$

Ruuviin kohdistuu aksiaalinen voima, kun ruuvi pyrkii työntymään kohtisuoraa ylöspäin. Maksimi aksiaalinen voima lasketaan kaavalla (16)

$$F_M = \sigma_M \cdot A_0 \quad (16)$$

jossa F_M = maksimi aksiaalinen voima
 σ_M = ruuviin kohdistuva maksimijännitys
 A_0 = ruuvin pienin pinta-ala (ISO 965-1).

Maksimi aksiaalinen voima saadaan kaavalla (16)

$$F_M = 524,4 \text{ MPa} \cdot 353,2 \text{ mm}^2 = 185216 \text{ N.}$$

Yhdellä usean ruuvin liitännällä, samalla säteellä kaikkien yksittäisten ruuvien on kannettava sama voima (Koneenosien suunnittelu 2014, 156). Ruuveihin kohdistuva suurin voima on jo laskettu suurin syöttövoima. Yhteen ruuviin kohdistuva voima voidaan laskea kaavalla (17)

$$F_Q = \frac{F_{feed}}{i} \quad (17)$$

jossa F_Q = yhteen ruuviin kohdistuva voima
 F_{feed} = syöttövoima
 i = ruuvien lukumäärä

Annettujen arvojen avulla yhteen ruuviin kohdistuva voima saadaan kaavalla (17)

$$F_Q = \frac{17463 \text{ N}}{6} = 2910,5 \text{ N.}$$

Yhden ruuvin varmuuskerroin voidaan laskea jakamalla ruuviin kohdistuva voima ruuvin aksiaalisella maksimivoimalla. Yhden ruuvin varmuuskerroin kaavalla (3)

$$SF = \frac{F_Q}{F_M} \quad (3)$$

jossa SF = varmuusluku
 F_Q = yhteen ruuviin kohdistuva voima
 F_M = vertailuarvo.

Varmuuskerroin yhdelle ruuville saadaan kaavalla (3)

$$SF = \frac{2910,5 \text{ N}}{185216 \text{ N}} = 63,6. \quad (3)$$

Syöttöruuvia paikallaan pitävien ruuvien ja rungon välinen kestävyys voidaan laskea samalla tavalla, kuin opinnäytetyön kappaleessa 6.6.1 laskettu liikkuvan kierteen välinen kestävyys, jossa on otettu materiaalit huomioon. Laskentaa ei ole tässä opinnäytetyössä esitetty, mutta varmuuskerroin yhden ruuvin ja rungon väliselle leikkautumiselle on 7,5.

6.7 Akselin mitoitus

Akselia käytetään pyörittämään keskiterää sekä reikäsahaa. Akseli kulkee ylemmän sekä alemman laakereiden läpi, jotka ovat valmistettu tinapronssista CuSn12. Akseli on valmistettu teräksestä 42CrMo4. Akselin mitoitukseen on käytetty Söderberg:n laskentamenetelmää, joka ottaa huomioon myös akselin materiaalin.

Akselia pyörittää käsikäyttöinen poralaite Eibenstock EHB 32/4.2. Kyseinen poralaite pyörii erittäin hitaasti, sillä pyörimisnopeus vähenee vaihteen ansiosta 15 kertaa pienemmäksi. Poratessa reikäsahan ja keskiterän pyörimiseen n. 35 kierrosta minuutissa on liian hidaskäyttö. Poralaitteen tiedot (Eibenstock tuotekatalogi, 2020):

Syöttöteho: $P = 1700\text{W}$
 Nimellisnopeus: $\omega = 385\text{ RPM}$ (muita alueita ei käytetä)

Akselin materiaalitiedot standardin EN 10083-3 mukaisesti:

Materiaali: Nuorrutusteräs 42CrMo4
 Murtolujuus: $R_e = 750 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ ($16\text{mm} < d < 40\text{mm}$)
 Vetomurtolujuus: $\sigma_{tw} = 405 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Käsi­käyttöinen poralaite on liitetty Bonfigliolin kulmavaihteeseen, jossa vaihteen suhdeluku on 1:15. Poralaitteesta saatava momentti voidaan laskea kaavalla (18) (Koneenosien suunnittelu 2014, 343)

$$P = M_{vm} \cdot \omega_1, \quad (18)$$

jossa P = poralaitteen syöttöteho
 M_{vm} = momentti
 ω_1 = ensiöpuolen nimellisnopeus.

Käyttölaitteeseen kiinnitetty kulmavaihte on otettava huomioon. Kulmavaihteen välityssuhde on 1:15, jolloin välityssuhde voidaan ottaa huomioon toisiopuolen akselin nimellisnopeudessa (Koneenosien suunnittelu 2014, 329). Saatava momentti saadaan kaavan (18) avulla

$$M_{vm} = \frac{P}{\frac{\omega_1}{i}} = \frac{1,7\text{ kW}}{\frac{385\text{ rpm}}{15}} = 632,5\text{ Nm.}$$

Söderbergin laskentamenetelmässä käytetään varmuuskerrointa. Varmuuskerroimeksi valitaan painelaitedirektiivin mukainen 1,5. Laskentamenetelmän mukainen lovenvaikutusluku on määritetty $K_{fv} = 2,3$. Lisäksi laskentaa varten on määritetty vääntöamplitudi (Ristonen 2018, 29) kaavalla (19)

$$M_{va} = \frac{1}{2} \cdot M_{vm} \quad (19)$$

jossa M_{va} = vääntöamplitudi
 M_{vm} = poralaitteesta saatava momentti.

Kaavan (19) tuloksena saadaan vääntöamplitudi

$$M_{va} = \frac{1}{2} \cdot 632,5 \text{ Nm} = 316,3 \text{ Nm}. \quad (19)$$

Edellä lasketuilla sekä mainituilla arvoilla pystytään laskemaan Söderberg:n laskentamenetelmällä akselille pienin sallittu halkaisija kaavalla (20)

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot n}{\pi} \cdot \left(\frac{M_{vm}}{R_e} + K_{fv} \cdot \frac{M_{va}}{\sigma_{tw}} \right)}, \quad (20)$$

jossa R_e = akselin materiaalin murtolujuus
 K_{fv} = lovenvaikutusluku
 M_{va} = vääntöamplitudi
 σ_{tw} = akselin materiaalin vääntömurtolujuus (Ristonen 2018, 29).

Kaavan (20) avulla saadaan akselin minimihalkaisijaksi

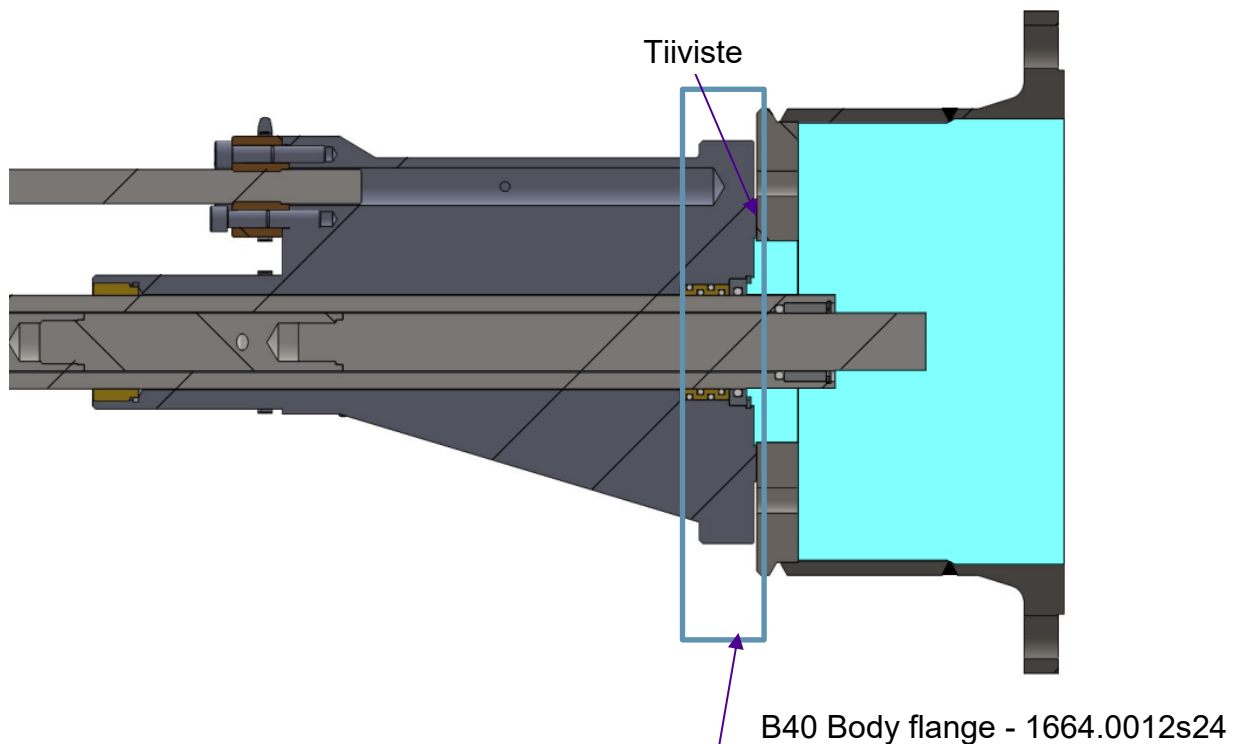
$$D = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 1,5}{\pi} \cdot \left(\frac{632,5 \text{ N}}{\frac{750 \text{ N}}{\text{mm}^2}} + 2,3 \cdot \frac{316,3 \text{ Nm}}{\frac{405 \text{ N}}{\text{mm}^2}} \right)} = 34,8448 \text{ mm}.$$

$$34,85 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \rightarrow O.K$$

Nykyisin käytössä olevan akselin halkaisija on 40mm. Laskennan mukaan akseli on riittävä, sillä painelaitedirektiivin mukainen varmuuskerroin on otettu jo laskennassa huomioon.

6.8 Rungon laippa

Rungon alaosa, laippa muodostaa säiliön päädyn. Laippa voidaan laskea teollisuusventtiilien standardin 12516-2 mukaisesti kanneksi, jolloin laipan laskenta voidaan suorittaa ko. standardin avulla. Kuvassa 24 on esitetty havainnekuva tilanteesta.



KUVA 24. Rungon laipan sijainti poraustilanteessa

Laipan materiaalitiedot ovat standardin SFS-EN 10025-2 mukaisia. Syöpymisen ja toleranssien lisät sekä hitsauskerroin on määritetty standardissa SFS-EN 12516-1.

Materiaali:	S355J2G3 (SFS-EN 10025-2)
Maksimi käyttöpaine:	$p = 4 \text{ N/mm}^2$
Maksimi käyttölämpötila:	$t = 200^\circ\text{C}$
Murtolujuus huonelämpötilassa:	$R_{p0.2,RT} = 350 \text{ N/mm}^2$
Murtolujuus suunnittelulämpötilassa:	$R_{p0.2,t} = 203 \text{ N/mm}^2$
Vetomurtolujuus huonelämpötilassa:	$R_m = 490 \text{ N/mm}^2$
Varmuuskerroin:	$SF = 1,5$ (Painelaitedirektiivi)

Syöpymisen lisä:	$c_1 = 1 \text{ mm}$
Toleranssien lisä:	$c_2 = 0,3 \text{ mm}$
Hitsauskerroin:	$k_c = 1 \text{ (pyöreät)}$

Painelaitedirektiivissä määritetyn varmuuskertoimen avulla saadaan materiaaliin kohdistuva maksimijännitys kaavan (3) avulla

$$f = \frac{R_{p0.2,t}}{SF} \quad (3)$$

jossa f = maksimijännitys
 $R_{p0.2,t}$ = murtolujuus suunnittelulämpötilassa
 SF = varmuusluku.

Kaavan (3) avulla saadaan materiaalin maksimijännitykseksi

$$f = \frac{\frac{203 \text{ N}}{\text{mm}^2}}{1,5} = 135,33 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}.$$

Poralaitteen rungon ja adapterin välissä käytetään nitrilikumitiivistettä. Tiiviste on DN125 – TESNIT BA-S PN25-40/1,5mm (NBR). Tiivisteen tarvittavat tiedot laskentaa varten on saatu taulukosta standardin 12516-2 taulukosta A.1.

Tiivisteen leveys:	$b_D = 27 \text{ mm}$
Tiivisteen korkeus:	$h_D = 1,5 \text{ mm}$
Asennusolosuhteet:	$\sigma_{VU} = 10 \text{ MPa}$
Tiivistekerroin:	$m = 1,3$
Tiivisteen keskihalkaisija:	$d_D = 168 \text{ mm}$
Pulttiympyrän halkaisija (B40):	$d_t = 220 \text{ mm}$
Keskireiän halkaisija:	$d_i = 80 \text{ mm}$

Pulttivoimien sekä niitä vastaavista painevoimien suhde voidaan laskea standardin avulla (SFS-EN 12516, 74). Kaavassa käytetty laskentakerroin $S_D = 1,2$ käyttöolosuhteissa, jonka avulla saadaan laskettua voimien suhde kaavalla (21)

$$\delta = 1 + 4 \cdot \frac{m \cdot b_D \cdot S_D}{d_D}, \quad (21)$$

jossa

- δ = laskentakerroin
- m = tiivistekerroin
- b_D = tiivisteeseen leveys
- S_D = laskentakerroin
- d_D = tiivisteeseen keskihalkaisija.

Annetuilla arvoilla saadaan voimien suhteeksi kaavan (21) avulla

$$\delta = 1 + 4 \cdot \frac{1,3 \cdot 27 \text{ mm} \cdot 1,2}{168 \text{ mm}} = 2,0.$$

Halkaisijoiden suhdeluvut on laskettu laskentakerrointen määrittämiseksi. Halkaisijoiden suhdelukujen avulla pystytään määrittämään standardin 12516–2 kuvien 23 ja 24 perusteella laskentakertoimet.

Halkaisijoiden suhdeluku $\frac{d_i}{d_D} = 0,476$

Halkaisijoiden suhdeluku $\frac{d_t}{d_D} = 1,31$

Laskentakerroin: $C_x = 1$

Laskentakerroin: $C_y = 0,66$ (SFS-EN 12516-2, kuva 23)

Laskentakerroin: $C_z = 1,5$ (SFS-EN 12516-2, kuva 24)

Laipan paksuus pystytään laskemaan standardin SFS-EN 12516 kaavalla 63. Laipan minimipaksuus saadaan laskettua kaavalla (22)

$$h_c = C_x \cdot C_y \cdot C_z \cdot d_D \cdot \sqrt{\frac{p}{f}} + c_1 + c_2 \quad (22)$$

jossa C_x = laskentakerroin
 C_y = laskentakerroin
 C_z = laskentakerroin
 p = paine
 f = sallittu jännitys
 c_1 = syöpymisen lisä
 c_2 = toleranssien lisä.

Annetuilla arvoilla saadaan kaavan (22) avulla laipan paksuudeksi

$$\begin{aligned} h_c &= 1 \cdot 0,66 \cdot 1,5 \cdot 168 \text{ mm} \cdot \sqrt{\frac{\frac{4 \text{ N}}{\text{mm}^2}}{\frac{135,33 \text{ N}}{\text{mm}^2}}} + 1 \text{ mm} + 0,3 \text{ mm} \\ &= 29,89 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Aikaisemmin suunnitellun poralaitteen pohjalaippa on 25 mm korkea. Pohjalaippa täytyy muuttaa 30 mm korkeaksi, jotta säiliölaskennan mukainen minimikorkeus ylittyy.

6.9 Pinolin laakeri ja pidätinrenkas

Pinolin laakeriin kohdistuu manuaalisesta syötöstä aiheutuva voima. Laakeria pitää paikoillaan pidätinrenkas. Pinolin alalaakeri on valmistettu tinapronssista, jonka materiaalitiedot on esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Tinapronssin materiaalitiedot (Tuotekatalogi, Johnson-metall)

	Murtolujuus R_m (N/mm ²)	Myötöraja $R_{p0.2}$ (N/mm ²)	Murtovenymä (%)
CuSn12	270	80	8

Laakerin tiedot:

Ulkohalkaisija: $D_o = 80$ mm

Sisähalkaisija: $D_i = 65$ mm

Ulko- ja sisähalkaisijan avulla voidaan laskea pinta-ala, johon paine kohdistuu kaavalla (23)

$$A_{laakeri} = \frac{\pi \cdot (D_o^2 - D_i^2)}{4}, \quad (23)$$

jossa $A_{laakeri}$ = laakerin pinta-ala

D_o = ulkohalkaisija

D_i = sisähalkaisija.

Kaavalla (23) laakerin pinta-alaksi saadaan

$$A_{laakeri} = \frac{\pi \cdot ((80 \text{ mm})^2 - (65 \text{ mm})^2)}{4} = 1708,2 \text{ mm}^2.$$

Laakeriin kohdistuva pintajännitys voidaan laskea kertomalla maksimi käyttö-paine laakerin pinta-alalla kaavan (24) mukaisesti

$$F_{laakeri} = F_{syöttö} \cdot A_{laakeri} \quad (24)$$

jossa $A_{laakeri}$ = laakerin pinta-ala

$F_{laakeri}$ = laakeriin kohdistuva maksimijännitys

$F_{syöttö}$ = manuaalisesta syötöstä aiheutuva voima.

Kaavalla (24) laakeriin kohdistuvaksi pintajännitykseksi saadaan

$$F_{laakeri} = \frac{17463 \text{ N}}{1708,2 \text{ mm}^2} = 10.223 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}.$$

Laakeriin kohdistuvan pintajännitystä voidaan verrata materiaalin myötörajaan, jossa on otettu huomioon varmuusluku. Saatua pintajännitystä voidaan vertailla kaavan (25) avulla

$$10.223 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \frac{R_{p0.2}}{\text{SF}}, \quad (25)$$

jossa $R_{p0.2}$ = materiaalin myötöraja.

Kaavan (25) avulla saadaan verrattua maksimi pintajännitystä

$$10.223 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 53,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2},$$

josta nähdään, että laakeriin kohdistuva pintajännitys on pienempi kuin sallittu pintajännitys. Laakeri kestää paineesta johtuvan jännityksen.

Pidätinrenkas, joka pidättelee laakeria, on standardin DIN 472 mukainen lukitusrenkas. Pidätinrenkaan nimellismitta on 88mm. Standardin mukaan voidaan taulukosta (DIN472 Retaining rings for bores) lukea maksimivoima, joka lukitusrenkaaseen voi kohdistua.

Maksimivoima lukitusrenkaaseen on 82100 N (DIN472 Retaining rings for bores). Lukitusrenkaaseen kohdistuva voima täytyy jakaa painelaitedirektiivin mukaisella varmuuskertoimella kaavan (26) mukaisesti

$$F_{smax} = \frac{82,1 \text{ kN}}{\text{SF}}. \quad (26)$$

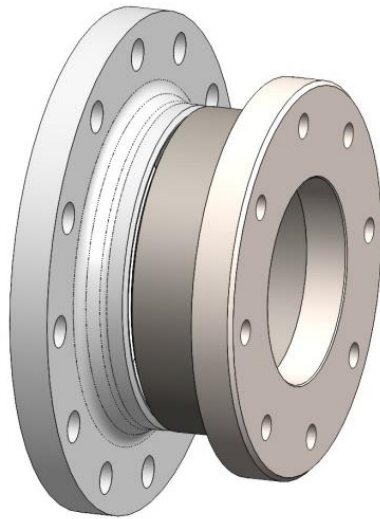
Kaavan (26) mukaisesti maksimivoimaksi, joka saa kohdistua pidätinrenkaaseen saadaan

$$F_{smax} = \frac{82,1 \text{ kN}}{1,5} = 54,73 \text{ kN}.$$

Lukitusrenkaaseen kohdistuva voima on pienempi kuin syöttövoimasta aiheutuva voima 17463 N. Lukitusrengas kestää maksimikuormituksen.

6.10 Adapterien osat

Poralaitteen B40 adapterit ovat kooltaan DN100-DN500. Kaikki poralaitteeseen ja eri venttiileihin sopivat adapterit ovat valmistettu itse. Adapterit valmistetaan kolmesta osasta kuvan 25 mukaisesti. Kaikista adaptereista löytyy standardin EN1092-1 mukainen kauluslaippa, saumaton teräsputki sekä teräksinen laserleikattu ”hattu”.



KUVA 25. DN200 adapteri

Adapterin osat hitsataan yhteen. Tässä kappaleessa esitetyissä laskuissa on otettu huomioon silmämääräinen hitsisaumojen tarkistus, joka vaikuttaa osien teoreettiseen kestävyYTEEN. Tässä kappaleessa on laskettu DN200 adapterin mitoilla lujuuslaskelmat. Kaikki lujuuslaskelmat adaptereista ovat standardin 12516–2 mukaisia.

6.10.1 Kauluslaippa

Kauluslaipat ovat standardin EN1092-1 mukaisia laippoja. Kyseisen standardin mukaiset laipat soveltuvat paineluokkiin PN2,5...PN400 kun nimelliskoot ovat DN10...DN4000 välillä. Kaikki poralaitteen kanssa käytettävät adapterit sopivat näihin paineluokkiin ja erillistä lujuustarkastelua kauluslaippa ei vaadi.

6.10.2 Saumaton putki

Kaikkiin adaptereihin lisätään putki tuomaan korkeutta adapterille, jotta keskiterä ja reikäsaha mahtuvat porauksen jälkeen adapterin sisälle. Adaptereiden putket ovat rakenneterästä S355, jonka materiaalitiedot ovat esitetty standardissa SFS-EN 10025-2.

Alkuarvot:

Maksimipaine: $p = 4 \text{ N/mm}^2$

Sallittu maksimijännitys 200°C: $f = 135,3 \text{ N/mm}^2$

Adapterin DN200 putken mitat standardin EN 10216-2 mukaisesti:

Putken ulkohalkaisija: $d_0 = 219,1 \text{ mm}$

Putken ulkosäde: $r_0 = 109,55 \text{ mm}$

Putken sisähalkaisija: $d_i = 206,5 \text{ mm}$

Putken sisäsäde: $r_i = 103,25 \text{ mm}$

Putken hitsauskerroin $kc = 0,7$

Putken hitsauskerroin on määritetty standardin SFS EN12516-2 sivulla 32. Hitsikerroin on 0,7 laitteille, joiden kaikille hitseille suoritetaan 100% silmämääräinen tarkastus.

Ehto, jolla määritetään laskentamenettely, on määritetty kaavan (27) avulla

$$\frac{d_0}{d_i} \leq 1,7, \quad (27)$$

jossa d_0 = putken ulkohalkaisija
 d_i = putken sisähalkaisija.

Kaavan (27) avulla saadaan vertailuarvo

$$\frac{219,1 \text{ mm}}{206,5 \text{ mm}} \leq 1,7 \rightarrow O.K.$$

Adapterin minimi seinämäpaksuus voidaan laskea standardin SFS-EN 12516-2 sivun 34 mukaisesti. Minimi seinämäpaksuus voidaan laskea kaavan (28) avulla

$$e_c = \frac{d_i \cdot p}{(2 \cdot f - p) \cdot k_c} \quad (28)$$

jossa e_c = minimi seinämäpaksuus
 d_i = putken sisähalkaisija
 p = paine
 f = sallittu jännitys
 k_c = hitsauskerroin.

Seinämäpaksuuden minimiksi saadaan kaavan (28) avulla

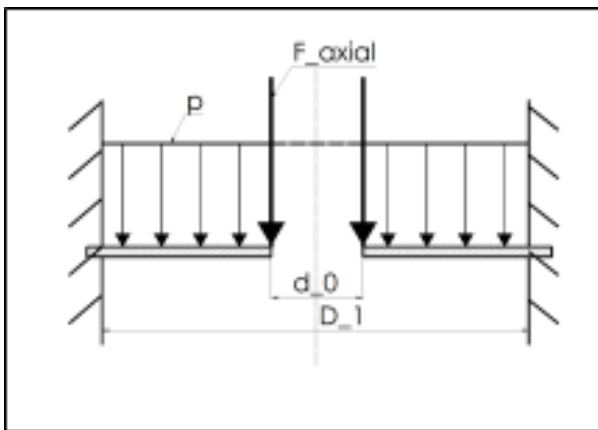
$$e_c = \frac{206,5 \text{ mm} \cdot \frac{4 \text{ N}}{\text{mm}^2}}{(2 \cdot \frac{135,3 \text{ N}}{\text{mm}^2} - \frac{4 \text{ N}}{\text{mm}^2}) \cdot 0,7} = 2,17 \text{ mm}$$

Olemassa olevan adapterin putken seinämäpaksuus on 6,3mm, joka on paksumpi kuin vaadittava seinämäpaksuus. Adapterin putken seinämäpaksuus on riittävä suunnittelupaineessa.

6.10.3 Adapterin levy

Adapterin levy on valmistettu laserleikatusta palasta, jonka materiaalina on S355. Poralaite kiinnitetään adapterin tasaisen levyn päälle. Poralaite kiinnitetään adapteriin ruuviliitoksella. Levy on kosketuksissa porattavaan nesteeseen ja on altis paineelle. Standardin 12516–2 mukaisesti voidaan taulukon 5 avulla laskea pyöreän levyn taivutusmomentit. Kuvassa 26 on esitetty laskennassa käytetyn levyn mitoitus. Adapteriin liittyvät mitat ovat esitetty liitteessä 1 ja materiaaliarvot ovat standardin SFS-EN 10025-2 mukaisia.

Maksimi käyttöpain:	$p = 4 \text{ N/mm}^2$
Sallittu maksimijännitys 200°C:	$f = 135,3 \text{ N/mm}^2$
Levyn ulkohalkaisija:	$d_0 = 219,1 \text{ mm}$
Putken materiaaliipaksuus:	$t = 6,3 \text{ mm}$
Levyn sisähalkaisija:	$d_i = 206,5 \text{ mm}$
Reiän halkaisija:	$d_0 = 55 \text{ mm}$
Poissonin vakio:	$\mu = 0,3$



KUVA 26. Levyn mitat

Paineesta aiheutuva voima levyyn voidaan laskea kaavalla (29)

$$F_{p,levy} = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}, \quad (29)$$

jossa $F_{p,levy}$ = paineesta johtuva voima, joka kohdistuu levyyn
 d_0 = reiän halkaisija.

Kaavan (29) avulla saadaan levyn reiästä kohdistuva, paineesta johtuvaksi voimaksi

$$F_{p.levy} = \frac{\pi \cdot (55 \text{ mm})^2}{4} = 9503 \text{ N.}$$

Aksiaalinen voima saadaan summaamalla maksimi syöttövoima ja levyyn kohdistuva paine kaavalla (30)

$$F_{aks} = F_{syöttö} + F_{p.levy} \quad (30)$$

jossa F_{aks} = aksiaalinen voima
 $F_{syöttö}$ = maksimi syöttövoima
 $F_{p.levy}$ = levyyn kohdistuva paine.

Kaavan (30) avulla maksimi aksiaaliseksi voimaksi

$$F_{aks} = 17463 \text{ N} + 9503 \text{ N} = 26966 \text{ N.}$$

Adapterin hattu on jäykästi tuettu, jolloin maksimimomentit voidaan laskea standardin 12516–2 taulukon 5 mukaan kaavoilla 101-104, jossa

M_t = ominaistaivutusmomentti tangentin suuntaan, N mm/mm

M_r = ominaistaivutusmomentti radiaalisen suuntaan, N mm/mm.

Adapterin levy on hitsattu putkeen kiinni, jolloin levy on jäykästi kiinnitetty ulkoreunoilta. Maksimimomentti ulkoreunalla (radiaali) saadaan kaavalla (31)

$$M_{r_paine,jäykkä} = \frac{p}{8} \left[r_1^2 - 2r_0^2 + \frac{r_0^4(1-\mu) - 4r_0^4(1+\mu) \ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right) + r_1^2 r_0^2(1+\mu)}{r_1^2(1-\mu) + r_0^2(1+\mu)} \right], \quad (31)$$

jossa p = paine
 r_i = levyn sisähalkaisijan säde
 r_0 = reiän säde
 μ = poissonin vakio.

Paineesta johtuva maksimomomentti ulkoreunalla saadaan kaavan (31) avulla

$M_{(r_paine,jäykkä)}$

$$\begin{aligned} &= (4 \text{ N/mm}^2)/8 [(103 \text{ mm})^2 - 2 \cdot (27,5 \text{ mm})^2 + ((27,5 \text{ mm})^4 \\ &\cdot (1 - 0,3) - 4 \cdot (27,5 \text{ mm})^4 \cdot (1 + 0,3) \ln((103 \text{ mm})/(27,5 \text{ mm})) \\ &+ (103 \text{ mm})^2 \cdot (27,5 \text{ mm})^2 \cdot (1 + 0,3)] / ((103 \text{ mm})^2 \cdot (1 - 0,3) \\ &+ (27,5 \text{ mm})^2 \cdot (1 + 0,3))] = 4985 \text{ Nmm/mm}, \end{aligned}$$

Maksimimomentti sisäreunalla (tangentti) voidaan laskea kaavan (32) avulla

$$M_{t_paine,jäykkä} = \frac{p}{8} \left[\frac{(1-\mu^2)(r_1^4 - r_0^4 - 4r_0^2 r_1^2 \ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right))}{r_1^2(1-\mu) + r_0^2(1+\mu)} \right], \quad (32)$$

jossa p = paine
 r_i = levyn sisähalkaisijan säde
 r_0 = reiän säde
 μ = poissonin vakio.

Paineesta johtuvaksi maksimomentiksi sisäreunalla saadaan kaavan (32) avulla

$M_{(t_paine,jäykkä)}$

$$\begin{aligned} &= (4 \text{ N/mm}^2)/8 [((1 - 0,3^2) \cdot ((103 \text{ mm})^2 - (27,5 \text{ mm})^4 - 4 \\ &\cdot (27,5 \text{ mm}) \cdot (103 \text{ mm})^2 \\ &\cdot \ln((103 \text{ mm})^2/(27,5 \text{ mm}))) / ((103 \text{ mm})^2 \cdot (1 - 0,3) \\ &+ (27,5 \text{ mm})^2 \cdot (1 + 0,3))] = 3793 \text{ Nmm/mm} \end{aligned}$$

Aksiaaliseen voimasta johtuva maksimimomentti ulkoreunalla (radiaali) voidaan laskea kaavan (33) avulla

$$M_{r_axial,jäykkä} = -\frac{F}{4\pi} \left[\frac{2(1 + \mu)r_0^2 \ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right) + (1 - \mu)(r_1^2 - r_0^2)}{(1 - \mu)r_1^2 + (1 + \mu)r_0^2} \right], \quad (33)$$

jossa F = aksiaalivoima
 r_i = levyn sisähalkaisijan säde
 r_0 = reiän säde
 μ = poissonin vakio.

Kaavalla (33) saadaan aksiaalivoimasta johtuvaksi maksimimomentiksi ulkoreunalla

$$\begin{aligned} M_{r_axial,jäykkä} &= -(26966 \text{ N})/4\pi [(2 \cdot (1 + 0,3) \cdot (27,5 \text{ mm})^2 \\ &\cdot \ln((103 \text{ mm})/(27,5 \text{ mm})) + (1 - 0,3) \cdot ((103 \text{ mm})^2 \\ &- (27,5 \text{ mm})^2))/((1 - 0,3) \cdot (103 \text{ mm})^2 + (1 + 0,3) \\ &\cdot (27,5 \text{ mm})^2)] = 2423 \text{ Nmm/mm} \end{aligned}$$

Aksiaaliseen voimasta johtuva maksimimomentti sisäreunalla (tangenti) voidaan laskea kaavan (34) avulla

$$M_{t_axial,jäykkä} = \frac{F}{4\pi} \left[\frac{(1 - \mu^2)[(r_1^2 \left(2 \ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right) - 1\right) + r_0^2)]}{(1 - \mu)r_1^2 + (1 + \mu)r_0^2} \right], \quad (34)$$

jossa F = aksiaalivoima
 r_i = levyn sisähalkaisijan säde
 r_0 = reiän säde
 μ = poissonin vakio.

Kaavan (34) perusteella maksimi ominaistaivutusmomentiksi saadaan

$$M_{t_{axiaal},jäykkä} = \frac{26966 \text{ N}}{4\pi} \left[\frac{(1 - 0,3^2) \cdot [((103 \text{ mm})^2 \cdot (2 \cdot \ln(\frac{103 \text{ mm}}{27,5 \text{ mm}}) - 1) + (27,5 \text{ mm})^2)]}{(1 - 0,3) \cdot (103 \text{ mm})^2 + (1 + 0,3) \cdot (27,5 \text{ mm})^2} \right]$$

$$= 4233 \text{ Nmm/mm.}$$

Ulko- tai sisäkehällä vallitseva maksimi ominaistaivutusmomentti voidaan laskea summaamalla reunoilla vaikuttavat momentit. Ulkokehällä vaikuttava momentti saadaan laskettua kaavan (35) avulla

$$M_{max,ulko} = M_{r_{paine},jäykkä} + M_{r_{axiaal},jäykkä} \quad (35)$$

jossa $M_{r_{paine},jäykkä}$ = maksimimomentti ulkoreunalla (paine)

$M_{r_{axiaal},jäykkä}$ = maksimimomentti ulkoreunalla (aks.).

Kaavan (35) perusteella maksimi ominaistaivutusmomentiksi saadaan

$$M_{max,ulko} = \frac{4985 \text{ Nmm}}{\text{mm}} + \frac{2423 \text{ Nmm}}{\text{mm}} = 7408 \text{ Nmm/mm}$$

Laskennassa täytyy etsiä maksimi ominaistaivutusmomentti. Ulkokehällä vaikuttavan momentin lisäksi täytyy laskea sisäkehällä vaikuttava momentti, joka saadaan laskettua kaavan (36) avulla

$$M_{max,sisä} = M_{t_{paine},jäykkä} + M_{t_{axiaal},jäykkä} \quad (36)$$

jossa $M_{t_{paine},jäykkä}$ = maksimimomentti sisäreunalla (paine)

$M_{t_{axiaal},jäykkä}$ = maksimimomentti ulkoreunalla (aksiaali).

Kaavan (36) perusteella maksimi ominaistaivutusmomentiksi saadaan

$$M_{max, sisä} = \frac{3739 \text{ Nmm}}{\text{mm}} + \frac{4233 \text{ N}}{\text{mm}} = 8026 \text{ Nmm/mm}$$

Standardin SFS-EN 12516 mukaisesta ehdosta, voidaan selvittää levyn vaadittava paksuus kaavan (37) avulla

$$\sigma_i = \frac{6M_i}{h^2} \leq 1,5f \rightarrow h = \sqrt{\frac{6 \cdot M_{max}}{SF \cdot f}}, \quad (37)$$

jossa h = minimi levynpaksuus

M_{max} = maksimi ominaistaivutusmomentti

SF = varmuusluku

f = maksimijännitys.

Kaavan (37) perusteella levyn minimipaksuudeksi saadaan

$$h = \sqrt{\frac{6 \cdot 8026 \text{ Nmm/mm}}{1,5 \cdot 135,3 \text{ N/mm}^2}} = 15,4 \text{ mm}$$

Olemassa olevan DN200 adapterin levyn paksuus on 20mm, jolloin levy on tarpeeksi kestävä. Laskuissa on otettu suunnittelun kannalta oleellinen varmuusluku jo huomioon.

7 RISKIANALYYSI

Painelaitedirektiivin liitteen 1 mukaisesti on tehtävä riskianalyysi. Riskianalyysin tekoon on hyödynnetty myös Koneturvallisuuden standardia SFS-EN ISO 12100. Riskianalyysiin on otettu huomioon kaikki poraamistilanteessa mahdolliset vaarat taulukosta B.1. Kaikille riskeille on etsitty ehkäisykeinot sekä arvioitu kyseisen riskin todennäköisyyttä. Taulukossa 7 on esitetty riskianalyysi poralaitteen B40 käytöstä.

TAULUKKO 7. Riskianalyysi poralaitteen B40 käytöstä

Nr o.	Tyyppi tai ryhmä	Alkuperä	Seuraukset	Todennäköisyys	Ehkäisy
1	Lämpötilasta johtuva vaara	Vuoto vaurioituneen tiivisteen takia tai laitteen huonosta asennuksesta	Palovamma	Kohtalainen	<ul style="list-style-type: none"> Selkeät asennusohjeet Tiivisteen esitarkastus ennen asennusta Koeponnistus Suojavaatteiden käyttö Tarkastussuunnitelma käyttöohjeessa Akselin vapautus ja venttiilin sulku
2	Lämpötilasta johtuva vaara, mekaaninen vaara	Laite tai adapteri hajoaa mekaanisen ylikuormituksen tai liian korkean lämpötilan takia	Palovamma, vammoja lentelivistä osista	Epätodennäköinen	<ul style="list-style-type: none"> Laitteen rungon sekä adapterien paineentestaus Koneen suunnittelu standardien mukaisesti Hitsaussaumojen tarkistus valmistuksessa Materiaalisertifikaatit tilattaessa uusia materiaaleja
3	Lämpötilasta johtuva vaara	Vuotoja, jotka aiheutuvat huonosta poralaitteen kiinnityksestä	Palovamma	Todennäköinen	<ul style="list-style-type: none"> Koeponnistus ennen jokaista porausta Käytä hyväksytyjä laitteita, hitsareita sekä materiaaleja
4	Lämpötilasta johtuva vaara	Vuotoja, jos porataan runkoputken toiselta puolelta läpi	Palovamma	Erittäin epätodennäköinen	<ul style="list-style-type: none"> Käytä oikeaa keskiterää Syöttöpituuden tarkistaminen porattavalle runkoputkelle

5	Lämpötilasta johtuva vaara	Vuotoja, kun laite poistetaan ennen venttiilin sulkemista	Palovamma	Kohtalainen	<ul style="list-style-type: none"> • Painemittarin tarkkailu porauksen aikana • Tarkkailla akselia, joka nousee paineen takia • Käytä tarkistusluetteloa ja etene asianmukaisesti
6	Lämpötilasta johtuva vaara	Kuuma neste poralaitteen irrottamisen yhteydessä	Palovamma	Erittäin todennäköinen	<ul style="list-style-type: none"> • Käsineiden ja suojavaatteiden käyttö • Nesteen vapauttaminen venttiilin tai siihen liitetyn poistoletkun avulla
7	Mekaaninen vaara	Käyttölaitteen momentti ja voima	Poralaite pyörrähtää akselinsa ympäri	Todennäköinen	<ul style="list-style-type: none"> • Kiinteä jalusta • Pidä koneesta tiukasti kiinni • Vähennä syöttönopeutta • Lukitustapin varmistus • Uuden reikäsahan sisäänajo
8	Mekaaninen vaara	Terävät reunat	Leikkautuminen/viilto	Todennäköinen	<ul style="list-style-type: none"> • Käsineiden ja suojavaatteiden käyttö • Työmaa puhtaana esteistä
9	Mekaaninen vaara	Akseli nousee paineen ansiosta hallitsemattomasti	Vammat akselin nostamisessa. Paine nostaa akselia ja käyttölaitetta	Kohtalainen	<ul style="list-style-type: none"> • Kypärän käyttö • Ketjun käyttö korkeassa paineessa
10	Mekaaninen vaara	Akseli nousee hajonneen syöttömutterin takia hallitsemattomasti	Vammat akselin nostamisessa. Paine nostaa akselia ja käyttölaitetta	Erittäin epätodennäköinen	<ul style="list-style-type: none"> • Apuvälineiden käyttö syöttämissä kielletty • Vältä akselin takana seisomista (vaakaporaus) • Akselin pyörittäminen väärään suuntaan kielletty, istukka aukeaa ja akseli lentää ulos • Käytä kypärää • Ketjun käyttö korkeassa paineessa
11	Lämpötilasta johtuva vaara, mekaaninen vaara	Ruuvit adapterissa tai poralaitteessa hajoavat	Palovamma, vammoja lentelivistä osista	Erittäin epätodennäköinen	<ul style="list-style-type: none"> • Laitteen rungon sekä adaptereiden paineentestaus • Koneen suunnittelu standardien mukaisesti • Käytä vain hyväksytyjä pultteja ja muttereita • Kypärän käyttö
12	Mekaaninen vaara	Luvattomat säädöt ja lisäykset tai itsehuolto	Poralaitteen hajoaminen ja hajoavien osien lenteleminen, takertuminen	Todennäköinen	<ul style="list-style-type: none"> • Käytä vain TONISCO-varaosia ja huoltopalvelua • Ota epäilemättä yhteyttä TONISCO-yhtiöihin
13	Mekaaninen vaara	Pyörivät osat	Vammat, kun jokin osa jää kiinni pyörivään komponenttiin	Erittäin epätodennäköinen	<ul style="list-style-type: none"> • Älä käytä löysiä vaatteita tai roikkuvia koruja
14	Melusta johtuva vaara	Melua porauksesta	Kuulovaurio	Erittäin epätodennäköinen	<ul style="list-style-type: none"> • Käytä kuulonsuojausta

15	Sähköstä joh- tuva vaara	Sähköisen käyttölait- teen väärät olosuhteet tai viallinen laite	Sähköisku	Epätoden- näköinen	<ul style="list-style-type: none"> • Vältä veden pääsyä käyttölaittee- seen • Lue käyttölaitteen käyttöohjeet huolellisesti (saatavana Interne- tissä)
----	-----------------------------	---	-----------	-----------------------	--

B40 on toiseksi isoin poralaitte ja porauskoot ovat erittäin isoja. Poralaitteen käyttö suurissa porauksissa edellyttää kokemusta laitteen käytöstä. Poralaitteen käyttö vaatii lisäksi myös sertifiointin kannalta olennaisen käyttöohjeen. Käyttöohjeen täytyy sisältää riskianalyysin kaikki kohdat.

8 YHTEENVETO JA POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli aloittaa yrityksen toiseksi suurimman poralaitteen sertifiointiprosessi. Edellisten sertifikaattien avulla tiedettiin tarvittavat dokumentit ja opinnäytetyö pystyttiin aloittamaan. Prosessin aikana oli tarpeen perehtyä painelaitedirektiiviin sekä muihin vaatimuksiin, joita Armatur 100 asetti painelaitteelle, jotta laitekokonaisuus voidaan määrittää teknisesti kestäväksi sekä turvalliseksi laitteeksi.

Painelaitedirektiivin raja-arvojen mukaisesti olemassa olevan poralaitteen alumiiniseoksesta valmistettua runkoa ei voitu hyväksyttää materiaalin erittäin pienen murtovenymän takia. Poralaitteen runko suunniteltiin uudelleen materiaalivalintaprosessin avulla, joka täyttäisi painelaitedirektiivissä määritetyt minimiarvot. Runko suunniteltiin valmistettavaksi yrityksen omilla työstökeskuksilla ja valmistus hyväksyttiin tuotantopäälliköllä (Erkinheimo 2020).

Poralaittekokonaisuuden heikoimmiksi määritettyjen osien lujuuslaskelmat suoritettiin yhtenä vaatimuksena sertifikaatin saavuttamiseksi. Useissa lujuuslaskelmissa otettiin huomioon jo laskentavaiheessa asetettu varmuusluku ja taulukossa 8 on esitetty varmuusluku kaikkien heikoimmiksi todettujen osien osalta. Poralaitte on lujuuslaskelmien osalta todettu kestäväksi ja sertifikaatin hakua voidaan jatkaa.

TAULUKKO 8. Yhteenveto lujuuslaskelmien varmuusluvuista

Komponentti	Varmuusluku
Syöttömutteri	8,7
Syöttömutterin ruuvit	7,5
Akseli	1,5
Rungon laippa	1,5
Pinolin laakeri	5,22
Pinolin lukitusrengas	3,13
Adapterin putki	2,5...4,5
Adapterin levy	1,5

9 JATKOTUTKIMUSAIHEET

Opinnäytetyössä tarkasteltua poralaitetta on käytetty useita kymmeniä vuosia ja vuoteen 2021 mennessä poralaitteen alumiinirunkoja on hajonnut kolme kappaletta. Alumiinirunko ei ollut painelaitedirektiivin mukaisesti valmistettu, mutta runkojen halkeaminen on todennäköisesti johtunut laitteen väärinkäytöstä.

Opinnäytetyöprosessissa määritettiin useita dokumentteja poralaitteen sertifiointia varten. Kehitetty poralaite ja erityisesti sen runko on todistettu turvalliseksi tuotteeksi, sillä kaikki heikoimmiksi määritetyt osat ovat standardien mukaan määritettyjä ja maksimijännitykset eivät ylitä sallittuja jännityksiä materiaaleissa. Yritys voi jatkaa poralaitteen sertifiointia kirjoittamalla kattavat käyttöohjeet poralaitteen käytöstä, valmistamalla opinnäytetyössä esitetyn rungon ja tekemällä sille Armatur 100 -oppaassa esitetyn painelaitetestaukset. Valmistuksen sekä testauksen aikana runkoon pystytään tekemään tarvittavat muutokset, jotka eivät vaikuta lujuuslaskentoihin tai ne joudutaan tekemään uudestaan. Näiden lisäksi yrityksen täytyy laatia dokumentit poralaitteen yleiskatsauksesta, materiaalien yksityiskohdista (ml. PMA (Particular Material Appraisal) dokumentit), täydelliset osapiirustukset käytetyistä komponenteista sekä tiedot vaadittavista pätevyyksistä painelaitedirektiivin liitteen 1 mukaisesti.

Sertifikaattia haetaan saksalaisen katsastuslaitoksen kautta. Opinnäytetyössä esitetyt laskelmat ja dokumentit ovat tehty prosessin aikana englanniksi, mutta sertifikaatin hankkimiseksi kaikki dokumentit ovat käännettävä saksankielisiksi. Yrityksen täytyy sertifiointiprosessin loppuvaiheessa etsiä kaikille dokumenteille kääntäjä.

LÄHTEET

Apeland, J. Application of FE-analysis in Design and Verification of Bolted Joints According to VDI 2230 at CERN. 2018. MSc Thesis.

Armatuur 100 -Richtlinien für die Bauteilprüfung von Armaturen im Geltungsbereich der Richtlinie 97/23/EG (Druckgeräte-Richtlinie). 2006

Björk, T. Koneenosien suunnittelu. 6. uud. p. Helsinki: Sanoma Pro, 2014.

DIN 472 - Retaining rings for bores.
<https://www.fasteners.eu/standards/DIN/472/>

Elektrowerkzeuge Eibenstock. 2020. Tuotesivusto. Luettu 10.11.2020.
<https://www.eibenstock.com/en/products/professional-group/steel-and-metal-construction/hand-held-drilling-machine-ehb-32-4-2>

Erkinheimo, J. Tuotantopäällikkö. 2020. Haastattelu 12.10.2020. Haastattelija Pirinen, A. TONISCO System Oy.

Heiniö, S. Tekniikan käsikirja. Osa 2. Jyväskylä: Gummerus, 1967.

ISO 965-1:2013 - ISO general purpose metric screw threads -- Tolerances -- Part 1: Principles and basic data.

Johnson-Metall tuotekatalogi. Luettu 8.1.2021.
<https://www.johnson-metall.com/img/file.php?id=46716>

Nisso, K. Toimitusjohtaja. 2020. Haastattelu 24.4.2020. Haastattelija Pirinen, A. TONISCO System Oy.

PED. Pressure Equipment Directive. Painelaitedirektiivi 2014/68/EU.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/fi/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0068>

RE Group. n.d. Putkistosuunnittelu. Luettu 28.9.2020
<https://www.regroup.fi/putkistosuunnittelu>

Ristonen, T. 2018. Koneenosaoppi, luento 1 – Akselit. Tampereen ammattikorkeakoulu.

SFS-EN 1092-1:2018. Laipat ja laippaliitokset. Pyöreät laipat putkille, venttiileille, yhteille ja varusteille, PN-mitoitetut. Osa 1: Teräslaipat. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 1706:2020. Alumiini ja alumiiniseokset. Valut. Kemiallinen koostumus ja mekaaniset ominaisuudet. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 10025-2:2019. Kuumavalssatut rakenneteräkset. Osa 2: Seostamattomat rakenneteräkset. Tekniset toimitusehdot. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 10083-3. Nuorrutusteräkset. Osa 3: Seostetut teräkset. Tekniset toimintusehdot. Suomen Standardisoimisliitto ry.

SFS-EN 10216-2:2014. Saumattomat painelaiteteräsputket. Tekniset toimintusehdot. Osa 2: Kuumalujat seostamattomat ja seostetut teräsputket. Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN ISO 12100. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 12516-2. Teollisuusventtiilit. Vaipan lujuuden suunnittelu. Osa 2: Laskennallinen menetelmä teräsventtiileiden vaipoille. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 12570. Venttiilit. Venttiilien käsikäyttöön sallitut voimat. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

TONISCO a. n.d. Nettisivut. Luettu 10.11.2020
tonisco.fi/fi

TONISCO b. n.d. Tuotekatalogi. Luettu 10.11.2020
<http://www.tonisco.com/wordpress/wp-content/uploads/FIKATALOGI1.pdf>

VDI 2230 Blatt 1 - 2015-11 Systematic calculation of highly stressed bolted joints