

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Konetekniikka
Kone- ja tuotesuunnittelu

Kimmo Tielinen

Painelaitedirektiivi ja teollisuusputkiston suunnittelu

Opinnäytetyö 2018

Tiivistelmä

Kimmo Tielinen
Painelaitedirektiivi ja teollisuusputkiston suunnittelu, 30 sivua
Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Konetekniikka
Kone- ja tuotesuunnittelu
Opinnäytetyö 2018
Ohjaajat: Lehtori Veli-Pekka Jurvanen, Saimaan ammattikorkeakoulu,

Opinnäytetyön tarkoituksena on selventää paineenalaisen putkiston suunnittelua. Opinnäytetyössä avataan tärkeimpiä asioita painelaitedirektiivistä ja putkiston suunnitteluun liittyvistä standardeista.

Aiheeseen perehtyminen alkoi jo tammikuussa 2018 Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla olleella painelaiteturssilla. Kurssilla perehdyttiin pääasiassa painelaitedirektiiviin. Teollisuusputkistojen suunnitteluun liittyviin standardeihin ja käytäntöihin perehdyin työnantajani toimeksiannosta. Olen syventynyt asiaan jo pitkän aikaa. Opinnäytetyössä suurimmaksi tehtäväksi jäi kasata ydinkohdat hankkimastani materiaalista.

Onnistuin omasta mielestäni avaamaan hyvin painelaitedirektiivin avainkohtia ja lainsäädäntöön piilotettuja määräyksiä. Suurin apu tässä oli Mika Löfin luennoima painelaitedirektiivi- kurssi. Painelaitteiden suunnitteluun liittyvistä standardeista avasin tarpeelliset asiat oman osaamiseni rajoissa. Kaikkea putkistoihin liittyvää asiaa ei ole mielekästä avata yhdessä työssä. Painelaitetyyppejä ja putkistoja on niin paljon erilaisia, että jokaisen erityisominaisuuksien selvittämien jää lukijan vastuulle.

Asiasanat: Painelaitedirektiivi, Paineenalainen putkisto, Suunnittelu, SFS-EN 13480,

Abstract

Kimmo Tielinen

Pressure equipment directive and design of metallic industrial piping, 30 Pages

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Mechanical engineering

Design

Bachelor's Thesis 2018

Instructor: Mr Veli-Pekka Jurvanen, lecturer, Saimaa University of Applied Sciences

The purpose of the thesis is to clarify design phases of piping systems. The thesis also considers the pressure equipment directive and the standards of design of pressurised piping systems.

Studying the subject started in January 2018. LUT University held a course called pressurised equipment legislation. The main subject of the course was the Pressure Equipment Directive (2014/68/EU) (PED). I familiarized myself with standards and practices considering designing of industrial piping while working in the University. The main challenge of the thesis was to summarize all the key components of my knowledge.

The thesis succeeded in finding the key points of PED and designing standards. The greatest help in gathering information was the course held by Mika Löf. The key components of design standards were considered based on writer's own knowledge. There are many kinds of pressure equipment and pipe systems it is impractical to consider them all in one thesis.

Keywords: Pressure Equipment Directive, Pressurised piping system, Design, SFS-EN 13480,

Sisällys

1	Johdanto	5
2	Painelaitedirektiivi	5
2.1	Luokitus	7
2.2	Moduulit	11
2.3	Hyvä konepajakäytäntö.....	12
2.4	EU:n vaatimustenmukaisuusvakuutus	12
2.5	Painelaitteen valmistajan velvollisuudet.....	13
2.6	CE-merkintä.....	13
2.7	Painelaitteen markkinoille saattaminen ja käyttöönotto	14
2.8	Olennaisten turvallisuusvaatimusten mukainen suunnittelu.....	14
2.9	Olennaisten turvallisuusvaatimusten mukainen valmistus	16
3	Metalliset teollisuusputkistot	17
3.1.1	Suunnitteluarvojen määrittäminen: Paineen ja lämpötilan tilapisteet	17
3.1.2	Suunnitteluarvojen määrittäminen: Dynaamiset kuormat	18
3.1.3	Suunnitteluarvojen määrittäminen: Värähtelyt	18
3.1.4	Suunnitteluarvojen määrittäminen: Liitoksen lujuuskerroin.....	18
3.2	Suunnittelujännityksen määrittäminen	19
3.2.1	Ei austeniittinen teräs	20
3.2.2	Austeniittinen teräs.....	20
3.3	Putkenosien suunnittelu.....	20
3.4	Suoran putken pienin vaadittu seinämäpaksuus.....	21
3.5	Käyrän pienin vaadittu seinämäpaksuus.....	21
3.6	Putkenosien valinta.....	22
3.6.1	Laippojen valinta	22
3.6.2	Päittäishitsattavat putkenosat.....	23
4	Valmistus ja tarkastukset	25
4.1	Painekoe.....	25
5	Yhteenveto ja pohdinta	28
6	Kuvat	29
7	Lähdeluettelo	30

1 Johdanto

Opinnäytetyön tavoitteena on avata painelaitteisiin ja painelaitteiden suunnitteluun liittyviä avainkohtia ja toimia apuvälineenä paineenalaisten putkistojen suunnittelussa. Opinnäytetyössä keskitytään paineenalaisten putkistojen suunnitteluun, mutta työssä sivutaan myös muita yleisiä painelaitteasioita. Opinnäytetyön pääosissa ovat Painelaitedirektiivi 2014/68/EU ja Standardi SFS-EN 13480 Metallisten teollisuusputkistojen suunnittelu.

Opinnäytetyössä ei käsitellä putkiston valmistusta eikä mekaanista suunnittelua. Opinnäytetyössä ei käsitellä painelaitteen tarkistuksia.

Painelaitedirektiivistä olennaisin asia, joka työssä käydään läpi on painelaitteen luokittelu. Luokittelu on tärkein asia koko laitteen valmistuksen kannalta. Jos luokittelu epäonnistuu, on laitetta erittäin vaikea saada asetettua markkinoille.

Metalliset teollisuusputkistot- standardista käydään läpi putkiston osien suunnittelua ja painekokeen paineen määrittämistä. Putkenosien standardiin perustuvaa valintaa avataan myös työssä.

Tämän opinnäytetyön lukijan toivotaan seuraavan viitteissä mainittuja standardeja ja direktiivejä samaa tahtia, kun lukija syventyy tekstiin. Tämä opinnäytetyö avaa lukijalle painelaitteiden ja direktiivien perusteet, johon lukijan täytyy syventyä itse tarkemmin sisäistääkseen direktiivien ja standardien sanoma.

2 Painelaitedirektiivi

Seuraavassa kappaleessa selvennetään painelaitedirektiivin 2014/68/EU avainkohtia.

Painelaitedirektiiviä 2014/68/EU kuuluu käyttää kaikkien painelaitteiden ja kokonaisuuksien suunnitteluun, valmistukseen ja vaatimustenmukaisuuksien arviointiin, jos laitteen suurin sallittu käyttöpaine on yli 0.5 bar (Direktiivi 2014/68/EU 1 artikla kohta 1). Tämä on hyvä yleissääntö kaikkiin painelaitteisiin. Jos paine on yli 5 bar laitteiston suunnittelun ja käytön vaatimukset täytyy tarkistaa direktiivistä ja kansallisesta lainsäädännöstä.

Painelaitedirektiivin tarkoitus on varmistaa, että kaikki painelaitteet suunnitellaan, valmistetaan, tarkastetaan ja tarvittaessa varustetaan ja asennetaan siten, että painelaitteen turvallisuus on taattu.

Painelaitedirektiiviä ei sovelleta maakaasun siirtoputkistoon. Siirtoputkisto alkaa viimeisestä venttiilistä, joka on sijoitettu laitoksen alueelle. (Direktiivi 2014/68/EU 1 artikla kohta 2 a) Direktiiviin ei kuulu myöskään yksinkertaiset paineastiat (Direktiivi 2014/68/EU 1 artikla kohta 2 c). Yksinkertainen paineastia on valmistettu hitsaamalla ja se saa sisältää vain tyypeä tai ilmaa. Yksinkertaisia paineastioita ei lämmitetä liekillä. Säiliö on valmistettu teräksestä. (Direktiivi 2014/29/EU 1 artikla kohta 1) Tarkempi määritelmä löytyy direktiivistä 2014/29/EU.

Painelaitteella tarkoitetaan säiliöitä, putkistoja ja paineenalaisia lisälaitteita. (Direktiivi 2014/68/EU 2 artikla kohta 1)

Painelaitedirektiivissä sanotaan *”säiliöllä” tarkoitetaan paineenalaista sisältöä sisältämään suunniteltua ja valmistettua päällystä, mukaan lukien kiinteät liitoskapaleet aina siihen liitoskohtaan asti, jolla se liitetään muihin laitteisiin; säiliössä voi olla yksi tai useampi kammio”* (Direktiivi 2014/68/EU 2 artikla kohta 2).

Tämä tarkoittaa sitä, että säiliö loppuu laippaan. Jos putkisto jatkuu säiliöstä laippaliitoksella, putkiston paineluokka ei määriy säiliön paineluokan mukaan. Eli luokan 4 säiliöön ei tarvitse tehdä luokan 4 mukaista putkistoa, vaan putkisto arvioidaan omana kokonaisuutenaan. Putkistojen ja säiliöiden luokittelu käydään läpi myöhemmin.

Putkistolla direktiivissä tarkoitetaan aineiden liikuttelemiseen tarkoitettua osia, jotka on liitetty toisiinsa. Putkistoihin kuuluu putki tai putkiverkko, putkiston lisäosat, paljetasaimet ja letkut (Direktiivi 2014/68/EU 2 artikla kohta 3). Putkiston lisäosiin kuuluvat muun muassa venttiilit. Putkesta tehdyt lämmönvaihinkierukat vastaavat putkistoa.

Laitetekonaisuudella tarkoitetaan valmistajan yhtenäiseksi ja toiminnalliseksi kokonaisuudeksi kokoamia useita painelaitteita (Direktiivi 2014/68/EU 2 artikla kohta 6).

Paineella painelaitedirektiivissä tarkoitetaan ylipainetta. Painelaitedirektiivin mukaan ilmanpaine on 0 bar. Tyhjiössä olisi -1bar paine. Suurin sallittu käyttöpaine merkitään merkinnällä (PS) (Direktiivi 2014/68/EU 2 artikla kohta 8). Tällä merkinnällä ilmoitetaan suurin sallittu paine, jolle laite on suunniteltu.

Valmistajan ilmoittama suurin ja pienin sallittu lämpötila merkitään merkinnällä (TS) (Direktiivi 2014/68/EU 2 artikla kohta 9). Tilavuus merkitään merkinnällä V (Direktiivi 2014/68/EU 2 artikla kohta 10). Tilavuudella tarkoitetaan jokaisen kammion omaa tilavuutta. Esimerkiksi lämmönvaihtimeen merkitään sekundääri ja primääri kammion tilavuus.

Pysyvä liitos on liitos, jota ei voi irrottaa työkaluilla (Direktiivi 2014/68/EU 2 artikla kohta 13). Hitsauspalko on pysyvä liitos. Käyttöönottolla tarkoitetaan sitä, kun painelaitteen käyttäjä käyttää painelaitetta ensimmäisen kerran (Direktiivi 2014/68/EU 2 artikla kohta 17). Painelaitetta ei käyttöönoteta, kun valmistaja tekee käyttökokeita tai painekoetta.

Vaatimustenmukaisuuden arvioinnilla tarkoitetaan asiakirjaa, jossa arvioidaan onko painelaitedirektiivin vaatimukset täytetty (Direktiivi 2014/68/EU 2 artikla kohta 27).

2.1 Luokitus

Paineenalainen putkisto on luokiteltava, jotta tiedetään minkälaisia vaatimuksia putkiston valmistukselle, suunnittelulle ja tarkastuksille täytyy asettaa.

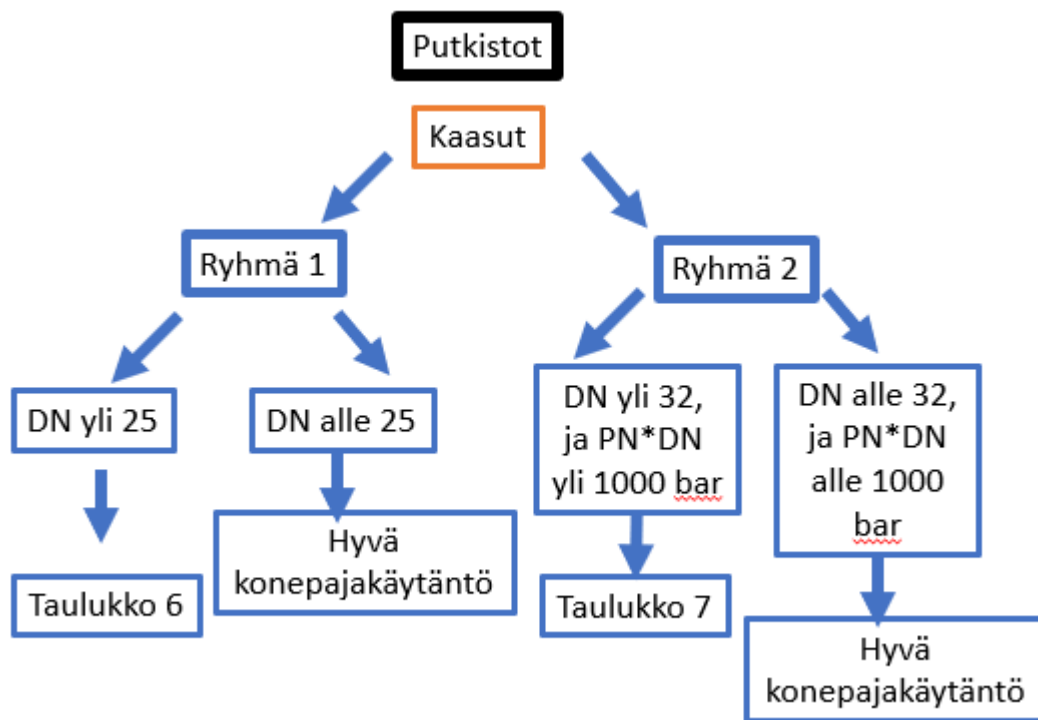
Painelaitedirektiivin 2014/68/EU 4 artiklasta tarkistetaan mistä taulukosta pitää valitaan kyseisen painelaitteen luokka.

Putkistot voidaan kahteen erityyppisiin putkistoihin. Putkistossa voi virrata kaasua tai nestettä.

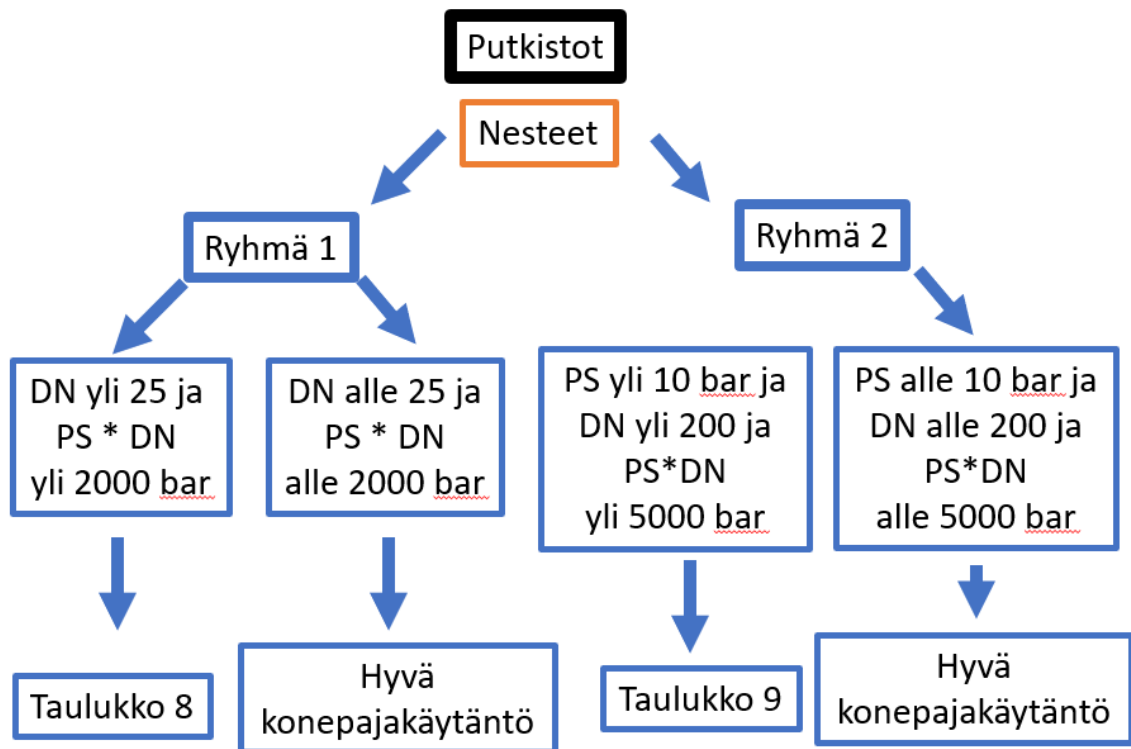
Vesi voidaan luokitella kumpaankin luokkaan sillä se voi esiintyä kaasuna tai nesteenä. 110 °C lämmin vesi muodostaa 0.5 bar painetta, jos vesi on suljetussa tilassa (Ryti, H & Skyttä, O. 1963). Yli 110 asteinen vesi on höyryä.

Painelaitteissa olevat aineet jaetaan ryhmiin. Ryhmä 1 on vaaralliset aineet. Ryhmä 2 on vaarattomat aineet. Vesi luokitellaan Ryhmään 2 vaikka se onkin vaarallista höyrynä. Ryhmän 1 aineet on määritetty tarkemmin painelaitedirektiivin 13 artiklassa. (Direktiivi 2014/68/EU 4 artikla kohta 1).

Alla olevat kaaviot ovat tehty painelaitedirektiivin 2014/68/EU artiklan 4 kohdan 1 vaatimusten mukaisiksi. Kuva 1 kuvaa kaasua siirtävien putkistojen luokittelua. Kuva 2 kuvaa nestettä siirtävien putkistojen luokittelua.



Kuva 1 Kaasua siirtävien putkistojen luokittelu



Kuva 2 Nestettä siirtävien putkistojen luokittelu

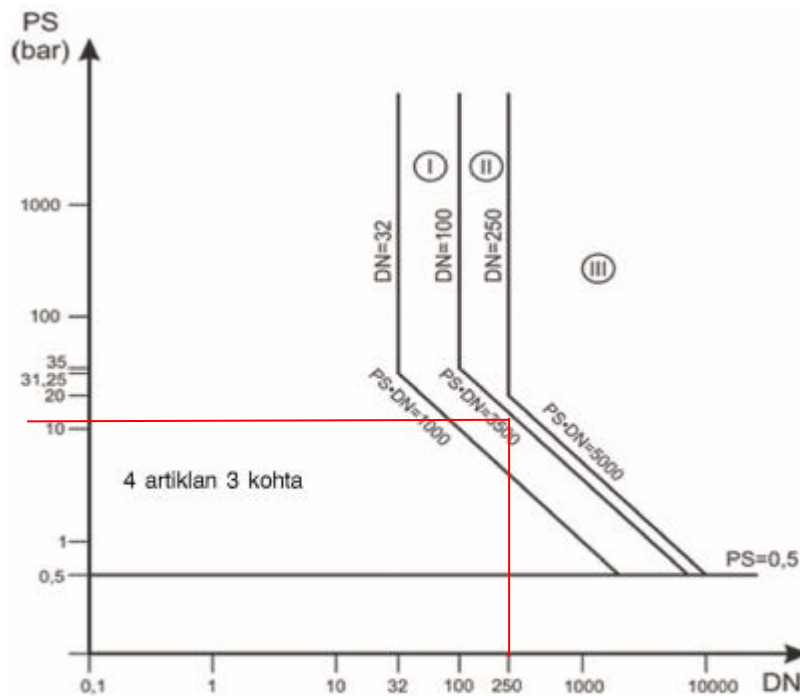
Esimerkiksi luokitellaan putkisto, jonka sisältönä on vesihöyry. Suurin sallittu käyttöpainne on 14bar. Putkiston koko on DN250. Lämpötila 198°C.

Koska putkistossa virtaa kaasu täytyy putkiston luokittelussa käyttää kaasuputkistojen luokitteluun tarkoitettua luokittelukaaviota. Kaasuputkistojen luokittelu-kaavio on esitetty kuvassa 1. Vesi on Ryhmän 2 aine. Putkiston DN on yli 32. Kun tiedämme paineen voimme laskea seuraavan tarvittavan arvon kaavasta 1.

$$P_s * DN > 1000 \quad (1)$$

$$14 \text{ Bar} * 250 = 3500 \quad (2)$$

Kaavan 2 tulosta huomaamme, että kaikki taulukon 7 valitsemiseen vaadittavat vaatimukset täyttyvät. Valitsemme taulukon 7.



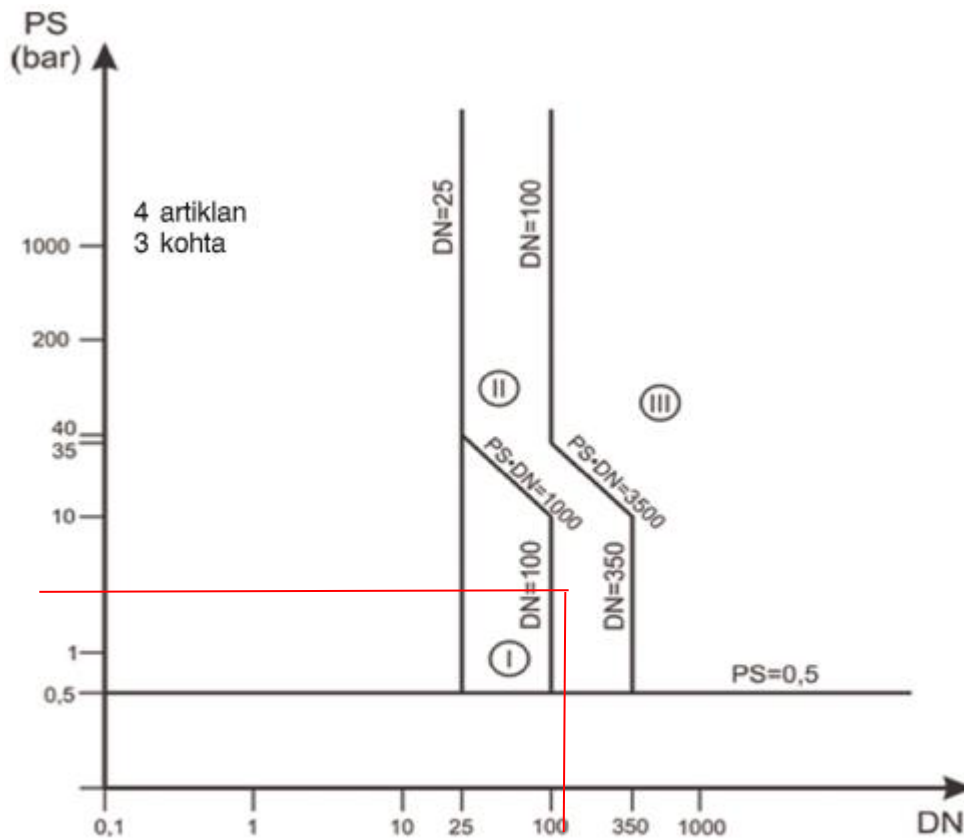
Taulukko 7

Kuva 3 Painelaitedirektiivin 2014/68/EU liitteen 2 taulukko 7

Taulukosta 7, joka on esitetty kuvassa 3, katsomme pysty- akselista paineen ja vaaka-akselista DN koon. Näiden risteämäkohta määrittää painelaitteen luokan. Tämä on piirretty kuvaan punaisilla viivoilla. Taulukoita tulkittaessa on tärkeätä muistaa, että jos taulukoissa esiintyvät raja arvot eivät ylity putkisto luokituu alempaan luokkaan. Eli rajaviivalta mennään alaspäin.

Luokitellaan vielä putkisto, jossa aineena on maakaasu. Putkiston suurin sallittu käyttöpaine on 4 bar. Suurin sallittu sisällön lämpötila on 50°C. Putkiston koko on DN125.

Kuvasta 1 voimme todeta, että tämä putkisto luokitellaan taulukon 6 mukaan. Koska nestekaasu on ryhmän 1 aine ja putkiston DN koko on suurempi kuin 25. Taulukko 6 on esitetty kuvassa 4.



Taulukko 6

Kuva 4 Painelaitedirektiivin 2014/68/EU liitteen 2 taulukko 6

Taulukosta 6 näemme, että arvojen PS ja DN leikkauskohta on luokan 2 sisällä. Tämä määrittää, että putkisto on luokan 2 painelaite.

2.2 Moduulit

Painelaitteen valmistusta varten täytyy valita valmistusmoduuli. Tämä moduuli määrittää mitä kaikkea laitteelle täytyy tehdä, jotta laite voidaan saattaa markkinoille. Markkinoille saattamista käsitellään käsitellään myöhemmin tässä työssä.

Moduuli määrittyy painelaitteen luokituksen mukaan. Korkeammalle luokitellun painelaitteen valmistuksella on suuremmat vaatimukset kuin alemman luokan painelaitteella. Lisäksi moduulia valitessa on tärkeää muistaa, että korkeampaa moduulia voi aina käyttää. Esimerkiksi moduulin A sijasta voi käyttää halutessaan korkeinta moduulia G tai muita korkeampi-arvoisia moduuleita. Kuvassa 5 on esitetty painelaitteiden luokat ja niiden vaatimat moduulit.

I	=	moduuli A
II	=	moduuli A2, D1, E1
III	=	moduuli B (suunnittelutyypin) + D, B (suunnittelutyypin) + F, B (tuotantotyyppi) + E, B (tuotantotyyppi) + C2, H
IV	=	moduuli B (tuotantotyyppi) + D, B (tuotantotyyppi) + F, G, H1

Kuva 5 Painelaitteen valmistuksessa käytettävät moduulit. Painelaitedirektiivi 2014/68/EU.

Jos painelaitteen valmistajalla on epävarmuutta painelaitteen valmistukseen liittyvissä asioissa, on viisainta valita Moduuli G. Moduulissa G ilmoitettu laitos tarkistaa tekniset asiakirjat suunnittelun ja valmistusmenetelmien osalta, arvioi käytettävät materiaalit, hyväksyy pysyviä liitoksia koskevat menetelmät, tarkistaa pätevöinnit ja tekee koeponnistukset laitteelle (Direktiivi 2014/68/EU Liite 2 Moduuli 10 kohta 4).

2.3 Hyvä konepajakäytäntö

Jos painelaitteen luokittelussa selviää, että painelaite voidaan valmistaa 4 artiklan 3 kohdan mukaan ne voidaan valmistaa hyvän konepajakäytännön mukaan. Tämä ei tarkoita sitä, että laitteita voi rakentaa huolimattomasti.

Laitteet täytyy suunnitella ja valmistaa, jotta laitteiden turvallisuus voidaan taata. Laitteiden mukana täytyy tulla riittävät käyttöohjeet. Hyvän konepajakäytännön mukaisiin laitteisiin ei saa kiinnittää CE- hyväksyntää. (Direktiivi 2014/68/EU 4 artikla kohta 3)

2.4 EU:n vaatimustenmukaisuusvakuutus

EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus on tärkein dokumentti, joka liittyy painelaitteeseen. EU- vaatimustenmukaisuusvakuutuksella todistetaan, että painelaite on valmistettu ja suunniteltu painelaitedirektiivin määräysten mukaisesti. Kun valmistaja laatii EU-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen, valmistaja ottaa vastuun siitä, että painelaite on suunnitellut ja valmistettu direktiivin mukaisesti. (Direktiivi 2014/68/EU 17 artikla)

2.5 Painelaitteen valmistajan velvollisuudet

Kun valmistaja saattaa luokan 1 tai korkeamman luokan painelaitetta markkinoille, valmistajan täytyy varmistaa, että laitteet on suunniteltu ja valmistettu liitteen 1 mukaan. Jos painelaite on luokiteltu luokan 1 tai korkeammaksi laitteeksi täytyy painelaitteelle tehdä EU- vaatimustenmukaisuustodistus ja laitteeseen täytyy kiinnittää CE- merkintä. Valmistajan tulee säilyttää vaatimustenmukaisuustodistus ja tekniset asiakirjat kymmenen vuotta, siitä lähtien kun laite on saatettu markkinoille. Valmistajan täytyy valvoa, että sarjatuotannossa painelaitteen valmistuksen laatu pysyy suunnitellulla tasolla. Painelaitteeseen on merkittävä sarjanumero, josta laitteen pystyy tunnistamaan. (Direktiivi 2014/68/EU artikla 6)

Painelaitteen mukana on tultava dokumentaatio, josta selviää valmistusvuosi, painelaitteen tunnus eli sarja-, tyyppi tai eränumero, valmistusnumero ja painelaitteen suurin sallittu paine ja suurin sallittu lämpötila. Joissain tapauksissa voidaan merkitä pienin sallittu lämpötila (Direktiivi 2014/68/EU Liite 1 kohta 3.3). Painelaitteen mukana tulevan dokumentaation on oltava helposti kuluttajan ymmärtämällä kielellä kirjoitettua. Ohjeiden tulee olla helppotajuisia. (Direktiivi 2014/68/EU 6 artikla kohta 7)

Painelaitteen mukana on myös tultava käyttöohjeet. Käyttöohjeissa tulee käydä läpi painelaitteen asennus, käyttöönotto, käyttö ja painelaitteen huolto. Käyttöohjeissa on toistettava CE-merkintään kiinnitetty tiedot. Käyttöohjeissa ei tarvitse toistaa laitteen- tai painelaittekokonaisuuden sarjanumeroa. (Direktiivi 2014/68/EU Liite 1 kohta 3.4)

2.6 CE-merkintä

CE- merkintä kiinnitetään säiliöihin, kattiloihin, putkistoihin ja laitekokonaisuuksiin. Putkistoja ei ole tarpeellista erikseen CE-merkitä, jos laitekokonaisuudessa on putkistot mukana. Jos putkistossa on CE-merkintä, kun putkistoa asennetaan laitekokonaisuuteen CE-merkintää ei poisteta. Painelaitteisiin on asennettava CE-merkintä ennen kuin painelaite saatetaan markkinoille. Hyvän konepajakäytännön mukaisia laitteita ei CE-merkitä. (Direktiivi 2014/68/EU)

2.7 Painelaitteen markkinoille saattaminen ja käyttöönotto

Painelaitteen saa ottaa käyttöön ja asettaa markkinoille vain, jos laitteet on asennettu, huollettu ja laitetta käytetään painelaitedirektiivin mukaisesti. Kansallisella lainsäädännöllä voidaan antaa tiukempia vaatimuksia laitteen käytölle kuin mitä painelaitedirektiivissä on annettu. (Direktiivi 2014/68/EU 3 artikla)

2.8 Olennaisten turvallisuusvaatimusten mukainen suunnittelu

Painelaitteet täytyy valmistaa, tarkistaa ja asentaa niin, että laitteiden turvallisuus on taattu, jos laitteita käytetään asianmukaisesti. Laitetta suunniteltaessa ja valmistettaessa on poistettava tai pienennettävä kaikkia vaaroja siinä määrin kuin kohtuudella voidaan. Ne vaarat, joita ei voida poistaa, täytyy suojata tarvittavin toimin, joita voivat olla esimerkiksi kuumen putken eristäminen. Käyttäjille täytyy tiedottaa jäljellä olevista vaaroista. Jos laitteeseen jää vielä vaaroja, jotka aiheutuvat käyttäjävirheestä on nämä vaarat poistettava. Jos tämä ei ole mahdollista on käyttökunnalle ilmoitettava vaaroista ja opastettava oikea käyttötapa. (Direktiivi 2014/68/EU Liite 1 kohta 1)

Painelaitteet suunnitellaan siten, että ne ovat turvallisia koko käyttöeliniän. Suunnittelussa pitää käyttää asianmukaisia varmuuskertoimia (Direktiivi 2014/68/EU Liite 1 kohta 2). Painelaitedirektiivi määrää, että painelaitteen suunnittelussa on otettava huomioon käyttötarkoitusta vastaavat kuormitukset ja kohtuudella ennakoitavissa olevat olosuhteet, jotta painelaitteesta tulee turvallinen. Erityisesti on otettava huomioon sisäinen- ja ulkoinen paine, lämpötilat, sisällön massa, dynaamiset kuormat tuulesta ja liikenteestä, ulkomailla maanjäristykset, putken kiinnityksestä aiheutuvat jännitykset, korrosio ja epästabiliin aineiden hajoaminen. (Direktiivi 2014/68/EU Liite 1 kohta 2.2.1)

Epästabiliin aineiden hajoamisella tarkoitetaan kaasun, nesteen tai kiinteän aineen kemiallisen koostumuksen muutosta. Painelaitteiden kohdalla eksotermiset reaktiot ovat päähuolenaihe. Eksotermisissä reaktioissa vapautuu lämpöä ja mahdollisesti lähtöaineesta riippuen kaasua, jotka voivat paineistaa painelaitetta. (Kotro, E 2018.) Esimerkiksi vetyperoksidi on yli 30% pitoisuuksina kemiallisesti epästabili. Vetyperoksidin epästabilius laukeaa iskusta. Epästabilius voi laukea

muun muassa lämmöstä, iskusta ja kosketuksesta veteen tai ilmaan. (Harvard Campus Services. 2012.)

Painelaitteen lujuuden todistaminen pitää perustua joko laskentaan tai kokeelliseen menetelmään. (Direktiivi 2014/68/EU liite 1 kohta 2.2.2) Laskentamenetelmässä laitteen kestävyys todistetaan laskemalla osien kestävyys kaavoilla. Kokeellisessa menetelmässä laite tuhotaan paineella.

Painelaitteen suunnittelussa käytettävät paineet eivät saa olla pienempiä kuin suurimmat sallitut paineet. Suunnittelussa käytettävissä paineissa on otettava huomioon staattiset-, dynaamiset paineet ja epästabiliin sisältöjen hajoaminen. Jos painelaitteessa on useampi kammio, on näiden kammioiden suunnittelussa otettava laskennassa huomioon kammioiden eri paine. Suunnittelussa on käytettävä kammioiden suurinta- ja pienintä painetta. Suunnittelulämpötilan varmuusrajan täytyy olla riittävä. On otettava huomioon kaikki paineen ja lämpötilan yhdistelmät, jotka voivat esiintyä ennakoitavissa olevissa käyttöolosuhteissa. (Direktiivi 2014/68/EU Liite 1 kohta 2.2.3)

Paineenkestolaskelmissa on käytettävä riittäviä materiaalin ominaisuusarvoja, jotka perustuvat todistettuun tietoon (Direktiivi 2014/68/EU Liite 1 kohta 2.2.3). Sopivia ominaisuusarvoja löytää standardista SFS-EN 13480:2017.

Painelaitteen suunnittelussa on otettava huomioon metallin väsyminen, viruminen ja korroosio. Virumisesta on laskettava teoreettinen käyttöikä. Jos laite paineistetaan useita kertoja on otettava huomioon metallin väsyminen. (Direktiivi 2014/68/EU Liite 1 kohta 2.2.3) Jos laite suunnitellaan SFS-EN 13480 standardin mukaisesti ja laitetta ei paineisteta yli 1000 kertaa ei väsymisanalyysia tarvitse tehdä. (SFS-EN 13480-3:2017 kohta 10.2)

Jos painelaitteessa on pika-avattava kansi, ei kantta saa pystyä avaamaan laitteen ollessa paineellinen. (Direktiivi 2014/68/EU Liite 1 kohta 2.3)

Painelaite täytyy suunnitella siten, että painelaitteelle voidaan tehdä asianmukaiset tarkastukset (Direktiivi 2014/68/EU Liite 1 kohta 2.4). Eli painelaitteessa täytyy olla hoitotasot, joista painelaitetarkastaja voi tehdä esimerkiksi sisäpuolisia

tarkastuksia. Laitteeseen kuuluu suunnitella tarpeellinen määrä tarkastusaukkoja, josta voidaan tarkistaa laitteen kunto. Tämä ei ole tarpeellista, jos painelaite on niin pieni, että siihen ei voi asentaa tarkistusluukkuja, painelaite vahingoittuu tarkistettaessa sisätilan kuntoa tai painelaitteen sisältämä aine ei aiheuta kulumista painelaitteen valmistuksessa käytetyille materiaalille. (Direktiivi 2014/68/EU Liite 1 kohta 2.4)

Painelaite on suunniteltava siten, että painelaitteelle ei tule paineiskuja. Painelaitteeseen ei saa myöskään muodostua tarpeetonta tyhjiötä, joka voi aiheuttaa laitteen lommahtamisen. Painelaite pitää pystyä tarkistamaan, puhdistamaan ja huoltamaan turvallisesti. (Direktiivi 2014/68/EU Liite 1 kohta 2.5.)

Jos painelaite kuluu korroosion vaikutuksesta, on painelaitteen seinämänpaksuutta lisättävä tarpeellinen määrä. (Direktiivi 2014/68/EU Liite 1 kohta 2.6) Jos laite kuluu eroosion vaikutuksesta, on laite suunniteltava siten, että vaikutukset voidaan minimoida valitsemalla suurempi seinämänpaksuus. Laite voidaan myös suunnitella siten, että kuluvat osat voidaan vaihtaa. (Direktiivi 2014/68/EU Liite 1 kohta 2.7)

2.9 Olennaisten turvallisuusvaatimusten mukainen valmistus

Osien valmistelussa ei saa aiheutua vikoja, halkeamia tai mekaanisten ominaisuuksien muuttumista materiaaliin, jotka voivat vaikuttaa laitteen turvallisuuteen (Direktiivi 2014/68/EU Liite 1 kohta 3.1.1). Pysyviin liitoksiin ei saa tulla laitteen turvallisuutta vaarantavia pintavirheitä tai sisäisiä vikoja (Direktiivi 2014/68/EU Liite 1 kohta 3.1.2). Pintavirheitä voivat olla esimerkiksi reunahaavat tai roiskeet. Sisäisiä virheitä voivat olla esimerkiksi kuonasulkeumat. Hitsaajalla täytyy olla pätevyys tehdä valmistettavan laitteen mukaisia liitoksia (Direktiivi 2014/68/EU Liite 1 kohta 3.1.2).

Painelaitteen jokainen osa tulee olla jäljitettävissä (Liite 1 kohta 3.1.5). Eli painelaitteen osien sulatusnumerot pitää merkitä, joko suoraan putkeen tai tehdä putkistosta kartta, jossa putkenosien sulatusnumerot ja muut tiedot on esitelty. Painelaitteiden osien mukana tulevat materiaalitodistukset pitää säilyttää.

Painelaitteelle pitää tehdä loppukoe. Loppukokeen tarkoituksena on varmistaa painelaitteen vaatimusten mukaisuus. Tarkastus tehdään arvioimalla silmämääräisesti hitsaussaumot ja osien plastinen myötäminen. Painelaitteen asiakirjojen avulla tarkistetaan painelaitedirektiivin vaatimusten mukaisuus. (Direktiivi 2014/68/EU Liite 1 kohta 3.2.1)

Painelaitteelle on tehtävä myös painekoe. Yleensä painekoe tehdään nestepainekokeena, mutta jos nestepainekoe on haitallinen, voidaan se tehdä myös muulla paineella. (Direktiivi 2014/68/EU Liite 1 kohta 3.2.2) Jos painekoe tehdään ilman nesteen painetta, se voidaan tehdä kaasun paineella. Esimerkiksi kaasupainekokeessa voidaan käyttää typpi kaasua.

Painelaittevalmistajan on määritettävä painelaitteen dokumentaatioon painelaitteen suunnittelussa käytettävät materiaaliarvot. Valmistajan on liitettävä dokumentaatioon todistukset käytetyistä materiaaleista. (Direktiivi 2014/68/EU Liite 1 kohta 4.2) Painelaittevalmistajan on saatava kaikista käytetyistä materiaaleista materiaalitodistukset, jotka todistavat materiaalin olevan materiaalitodistuksen mukainen. (Direktiivi 2014/68/EU Liite 1 kohta 4.3)

3 Metalliset teollisuusputkistot

Kaikkien paitsi hyvän konepajakäytännön mukaisten painelaitteiden on täytettävä Painelaitedirektiivin 1014/68/EU Liitteen 1 olennaiset turvallisuusvaatimukset. Helpoiten Liitteen 1 vaatimukset suunnittelun osalta täyttyy, kun käytetään hyvin suunnittelukohteeseen soveltuvaa standardia. Paineenalaiset putkistot, jotka on valmistettu teräksestä, on helpointa suunnitella standardin SFS-EN 13480 mukaan. Seuraavaksi käsittelemäni luku perustuu pääosin standardiin SFS EN 13480 Metalliset teollisuusputkistot. Osa 3.

3.1.1 Suunnitteluarvojen määrittäminen: Paineen ja lämpötilan tilapisteet

Putkistoa suunniteltaessa on tilaajan tai valmistajan määritettävä putkistolle suurin sallittu paine ja lämpötila. Suunnittelupaine ja -lämpötila voivat olla suurempia

kuin suurin sallittu paine ja lämpötila. Suunnittelulämpötilan ja paineen yhdistelmän tulee kuvata pahinta mahdollista kuormitusta, joka putkiston käytön aikana voi syntyä. (SFS-EN 13480-3:2017 kohta 4.2.3.3)

Laskentapaine ei saa olla pienempi kuin käyttöpaine. Laskentalämpötilan on oltava korkein lämpötila, joka putkistossa saavutetaan. Paksuseinämaisissä putkistoissa laskentalämpötilaksi voidaan määrittää putken seinämän keskiosassa vallitseva lämpötila. Eristämättömille laipoille voidaan sallia laskentalämpötilaksi 90% sisällön lämpötilasta. Eristämättömille venttiileille, putkille, päädyille ja hitsattaville putkenosille voidaan sallia 95% sisällön lämpötilasta laskentalämpötilaksi. Ulkopuolelta eristetyn putken ja putkenosien lämpötila on aina yhtä suuri kuin putkiston sisällön (SFS-EN 13480-3:2017 kohta 4.2.3.5).

3.1.2 Suunnitteluarvojen määrittäminen: Dynaamiset kuormat

Putkiston suunnittelussa on otettava huomioon dynaamiset kuormitukset. (SFS-EN 13480-3:2017 kohta 4.2.4.3)

Dynaamisia kuormituksia voi syntyä muun muassa putkistossa liikkuvan aineen hitaudesta. Putkistoon voi syntyä paine iskuja, jos kuumaan putkistoon pääsee kylmää nestettä. Kylmä neste voi höyrystyä ja saada aikaan suuria paineaaltoja. Tämä ilmiö voi aiheuttaa pahoja putkistorikkoja. Englanniksi ilmiötä kutsutaan nimellä Water hammer.

3.1.3 Suunnitteluarvojen määrittäminen: Värähtelyt

Putkisto on suunniteltava siten, että putkiston käytöstä aiheutuvat värähtelyt saadaan minimoitua tai poistettua. Värähtelyä voi syntyä esimerkiksi iskuista, kompressoreista, tuulikuormista ja paineenvaihteluista. (SFS-EN 13480-3:2017 kohta 4.2.4.6)

3.1.4 Suunnitteluarvojen määrittäminen: Liitoksen lujuuskerroin

Putkiston osien seinämäpaksuuksia laskettaessa tarvitaan kerrointa z . z kerrointa tarvitaan, kun laskettavassa komponentissa on päittäishitsi. (SFS-EN 13480-3:2017-3 kohta 4.5) Yleensä tällaiset osat on valmistettu levyistä.

Kun laitteelle tehdään rikkova tai rikkomaton aineenkoestus, jolla varmistetaan, että koko kappaleen liitoksissa ei ole haitallisia hitsausvirheitä voidaan z arvona käyttää lukua 1. Laitteelle, jolle tehdään rikkomatonta aineenkoetusta, voidaan käyttää z arvoa 0.85. Laite, jolle ei tehdä muuta kuin silmämääräinen tarkistus hitsauspalkoihin käytetään z arvoa 0.7. (SFS-EN 13480-3:2017-3 kohta 4.5)

3.2 Suunnittelujännityksen määrittäminen

Kun putkistoa suunnitellaan, on putkistolle määritettävä suunnittelujännitys. Tätä jännitystä käytetään kaikkien putkenosien mitoituksessa. Tässä opinnäytetyössä oletamme, että kaikki putkiston osat tehdään samasta teräslaadusta.

Standardissa suunnittelujännitys määritetään valitun metallityypin mukaan. Helppointa on määrittää suunnittelujännitys yleisesti käytetyille painelaiteteräksille. Standardi jakaa teräksen austeniittisiin ja ei-austeniittisiin teräksiin. Tutut ruostumattomat teräslaadut 1.306 ASTM nimeltään 304L tai 1.4404 ASTM nimeltään 316L ovat austeniittisiä teräksiä.

Standardi SFS-EN 13480:2017-2 määrittää materiaalistandardit, josta löytyvät sallitut jännitykset. Standardissa taulukko D1-1 opastaa oikean teräsosia koskevan standardin löytämiseen.

Haluamme määrittää ruostumattomasta teräslevystä valmistetun putkenosan sallitut jännitykset korotetussa lämpötilassa. Katsomme standardista SFS EN 13480:2017-2 taulukosta D1-1, että halutusta metallista löytyvät tiedot ovat standardissa Painelaiteteräkset. Levytuotteet. Osa 7: Ruostumattomat teräkset SFS-EN 1028:2016. Standardista löytyy taulukko 13, jossa määritetään valitun teräksen $R_{p0,2t}$ ja $R_{p1,0t}$ arvot.

$R_{p0,2t}$ arvo kuvaa kuinka suuri jännitys kappaleessa on, kun kappale on venynyt 0.2% tietyssä lämpötilassa. $R_{p1,0t}$ kuvaa samaa asiaa, tässä tapauksessa vain venymä on 0.1%.

Levystä tehdyille osalle, joka on valmistettu 1.4404 teräksestä $R_{p0,2t}$ arvo lämpötilassa 250 °C on 127 MPa ja $R_{p1,0t}$ arvo lämpötilassa 250 °C on 157 MPa.

3.2.1 Ei austeniittinen teräs

Ei austeniittisella teräksellä suunnittelujännityksen täytyy olla pienin kaavasta 3 lasketuista arvoista. (SFS-EN 13480-3:2017 kohta 5.2.1.1)

$$f = \frac{R_{eHt}}{1,5} \text{ tai } \frac{R_{p0,2t}}{1,5} \text{ tai } \frac{R_m}{2,4} \quad (3)$$

3.2.2 Austeniittinen teräs

Austeniittisella teräksellä suunnittelujännitys määrittyy murtovenymän mukaan. Esimerkiksi teräslevylle, joka on valmistettu 1.4404 teräksestä murtovenymä on minimissään 40%. Tämä tieto löytyy standardista SFS-EN 10028-7:2016 Taulukosta 9.

Koska valitulla teräksellä murtovenymä on suurempi kuin 35% käytetään kaavaa 4. (SFS-EN 13480-3:2017 kohta 5.2.2.1)

$$f = \frac{R_{p1.0t}}{1,5} \quad (4)$$

Tällä kaavalla 5 saamme suunnittelujännitykseksi laskettua kaavan mukaisesti 104 MPa.

$$f = \frac{157 \text{ Mpa}}{1,5} = 104,6 \text{ Mpa} \quad (5)$$

Jos austeniittisen teräksen murtovenymä on pienempi kuin 35% mutta suurempi kuin 30% käytetään kaavaa 6. (SFS-EN 13480-3:2017 kohta 5.2.2.1) Tästä kaavasta valitaan pienempi tulos suunnittelujännitykseksi.

$$f = \frac{R_{p1.0t}}{1,5} \text{ tai } \frac{R_m}{2,4} \quad (6)$$

3.3 Putkenosien suunnittelu

Tässä kappaleessa laskemme kuvitteelliseen putkistoon osia. Putkistoon on määritetty suunnittelujännitys f edellisessä kappaleessa. Suunnittelujännitykseksi määritettiin 104 MPa. Suunnittelupaine P_c laitteelle on 40bar. Käyttöpaineeksi valitaan 35bar. Putkiston koko on DN 80. DN 80 kokoisen putkiston ulkohalkaisija on 88.9 mm.

3.4 Suoran putken pienin vaadittu seinämäpaksuus

Suoran putken seinämäpaksuus e voidaan laskea kaavalla 7, jos ulkohalkaisijan suhde sisähalkaisijaan on alle 1.7. Tätä kaavaa käytettäessä putken ulkohalkaisija pysyy vakiona ja seinämävahvuus kasvaa putken sisäpuolelle.

$$e = \frac{P_c * D_o}{2 * f * z + P_c} \quad (7)$$

Kun kaavaan 7 sijoitetaan edellä määritellyt arvot, voidaan laskea putken pienin laskennallinen seinämävahvuus. Kaavassa 8 on laskettu vaadittu seinämävahvuus. Suunnittelijan täytyy muistaa, että tässä seinämävahvuudessa ei ole otettu huomioon korroosiovaroja tai valmistuksen varoja. On aina turvallisinta valita seuraava mahdollinen vakioseinämävahvuus eikä juuri mitat täyttävää vaihtoehtoa.

$$e = \frac{4 \text{ MPa} * 88,9 \text{ mm}}{2 * 104 \text{ MPa} * 0,85 + 4 \text{ MPa}} = 1,97 \text{ mm} \quad (8)$$

3.5 Käyrän pienin vaadittu seinämäpaksuus

Standardi SFS-EN 13480-3 antaa laskentakaavoja putkikäyrien seinämävahvuuden laskentaan. Yleensä putkikäyrien sisäseinämävahvuus on suurempi kuin ulkoseinämävahvuus. Putken sisäseinämävahvuus lasketaan kaavalla 9

$$e_{int} = e * \frac{\frac{R}{D_o} - 0,25}{\frac{R}{D_o} - 0,5} \quad (9)$$

Käyrän seinämävahvuuden laskentaan vaaditaan putkikäyrän säde. Tuotetoimittaja Onninen toimittaa EN 10253-4 standardin mukaisia käyriä. Tavarantoimittajan käyrien säde on laskettavissa toimittajan antamasta kaavasta 9. Kaavaan täytyy sijoittaa arvo D . Arvo D on käyrän ulkohalkaisija.

$$R = 1,5 * D = 1,5 * 88,9 \text{ mm} = 113,5 \text{ mm} \quad (9)$$

Kun kaavaan 10 on sijoitettu tarvittavat arvot, voidaan laskea käyrän pienin laskennallinen seinämävahvuus käyrän sisäreunassa. Kun käytetään suurempi säteisiä käyriä, saadaan käyrän seinämävahvuutta pudotettua.

$$e_{int} = 1.97 * \frac{\frac{133,35 \text{ mm}}{88,9 \text{ mm}} - 0,25}{\frac{133,35 \text{ mm}}{88,9 \text{ mm}} - 0,5} = 2,45 \text{ mm} \quad (10)$$

3.6 Putkenosien valinta

Kaikkia putkenosia ei ole tarpeellista eikä järkevää alkaa itse mitoittamaan. T-haarat, supistukset ja laipat ovat standardoitu Euroopan yhtenäisten normien mukaan EN standardeihin. EN standardin mukaiset teräslaipat on standardoitu standardiin SFS-EN 1092-1. Päittäishitsattavat putkenosat on standardoitu standardiin SFS-EN 10253-4. (Kiwa inspecta 2018) Edellä mainituista standardeista löytyy putkenosien ja laippojen mitat ja paineenkestotaulukot.



3.6.1 Laippojen valinta

Laippojen PN luokitus on hyvä tapa mitoittaa laipat normaalille käyttölämpötila-alueelle. Normaali käyttölämpötila-alue RT laipoille on -10 – 50 °C. Jos laippaa käytetään yli 50 asteen lämpötilassa on laipan paineenkesto p/t laskettava. (SFS-EN 1092-1 Liite F F.1.1). Standardi SFS-EN 1092-1 antaa valmiita taulukoita, joista paineenkeston voi tarkistaa eri laippatyypeille eri lämpötilassa.

Valitaan esimerkkiputkistollemme sopiva paineluokka EN standardin mukaiselle laipalle. Putkiston lämpötila tulee olemaan 250 °C. Suunnittelupaine on 40 Bar. Putkisto tehdään austeniittisesta ruostumattomasta teräksestä 1.4404. Standardin SFS-EN 1092-1 kohdasta G.3 voimme katsoa austeniittisesta teräksestä valmistettujen laippojen paineenkeston korotetussa lämpötilassa.

Taulukosta G.4.1-6 PN40 voimme todeta, että PN40 luokan paineluokan laippa ei kestä kuin 29.9 bar paineen lämpötilassa 250°C. PN 63 paineluokan laippa kestä 47.1 Bar. Laipan valinta on esitetty alla olevassa kuvassa 6. Valittu laippa kestä hyvin osassa vallitsevan paineen ja lämpötilan tilan.

Taulukko G.4.1-7 PN 63

PN	Ryhmä	Materiaalin nro	suurin sallittu lämpötila TS °C															
			RT	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	560	570	580	590	600
			suurin sallittu paine PS bar															
63	10E0	1.4307	63,0	54,3	48,6	44,1	41,1	38,1	36,3	34,8	33,7	32,7	27,6	25,5	23,4	21,6	19,5	17,7
	10E1	1.4311	63,0	63,0	63,0	56,1	52,5	50,1	48,3	46,8	45,7	44,7						
	11E0	1.4301	63,0	57,3	51,6	47,1	43,5	40,5	38,7	37,5	36,7	36,0	27,6	25,5	23,4	21,6	19,5	17,7
	12E0	1.4541	63,0	62,4	58,8	55,8	53,1	50,1	48,3	46,8	45,7	44,7	42,6	38,7	35,4	32,1	28,8	25,8
	12E0	1.4550	63,0	63,0	58,8	55,8	53,1	50,1	48,3	46,8	45,7	44,7						
	13E0	1.4404	63,0	59,7	54,3	50,1	47,1	43,5	41,7	40,5	39,4	38,4						
	14E0	1.4401	63,0	63,0	57,3	53,1	50,1	46,8	45,0	43,2	42,4	41,7	41,1	40,5	40,0	39,5	39,0	35,4
	15E0	1.4571	63,0	63,0	61,8	58,8	55,8	52,5	50,7	49,2	48,3	47,4	47,1	46,6	46,2	42,3	38,4	34,8
	16E0	1.4462	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0											
	11E0	1.4948	63,0	57,3	51,6	47,1	44,1	41,1	39,6	38,1	36,7	35,4	33,9	33,0	32,6	32,1	29,4	26,7
	12E0	1.4941	63,0	60,3	57,3	54,3	52,8	51,6	50,1	48,6	47,1	45,6	44,1	42,8	42,0	38,1	34,2	30,6

Kuva 6 PN 63 laipan p/t taulukko. Standardi SFS-EN 1092-1.

3.6.2 Päittäishitsattavat putkenosat

Päittäishitsattaville putkenosille ei ole suoraan annettu PN luokkia. Päittäishitsattavia osia ovat käyrät, supistukset ja t- haarat. Päittäishitsattavat osat on jaettu kahteen luokkaan, jotka ovat A ja B luokka.

3.6.2.1 Tyypin A osat

Tyypin A putkenosat ovat yleensä vedetty tai puristettu putkesta. Tyypin A putkenosien paineenkesto on pienempi kuin samalla halkaisijalla ja seinämänvahvuudella olevalla putkella. Tyypin A osille on määritettävä painekerroin. (SFS-EN 10253-4 kohta 7.2)

Tyypin A putkenosissa painekerroin kertoo prosentteina kuinka paljon osa kestää saman vahvuisen ja saman materiaalisen putken paineenkestosta (SFS-EN 10253-4 Kohta B.4.2). Alla on standardissa EN 10253-4 kohdassa B.4 esiintyvä kaava 11. Tällä kaavalla voidaan laskea A tyypin putkenosan paineenkesto. Jotta paineenkesto voidaan määrittää, täytyy kaavaa muokata suunnittelijalle sopivaan muotoon.

$$X = \frac{\text{Putkenosan paineenkestävyys}}{\text{Putken paineenkestävyys}} * 100 \% \quad (11)$$

Kun kaava 11 on muokattu sopivaan muotoon, joka on esitetty kaavassa 12, voidaan siihen sijoittaa tarvittavat arvot. Arvo X on putkenosan painekerroin. Standardi EN 1023-4 antaa tyyppin A käyrille, supistuksille ja t-haaroille painekertoimia.

Valitaan esimerkiksi DN25 putkelle t-haara käyttäen apuna putkenosien painekertoimia. Putkiston suunnittelupaine on 40 bar ja suunnittelujännitys on määritetty olevan 104 MPa.

DN25 putkelle sopivia t-haaran vakio seinämävahvuuksia on 1.6 mm, 2,3 mm ja 4.5 mm standardissa EN 10253-4. Suunnittelijan on kokeiltava erilaisten putkenosien sopivuutta kohteeseen hyödyntäen painekerrointa X.

Kokeillaan seinämävahvuutta 2.3 mm. Seinämävahvuudelle 2.3mm kertomiseksi X on annettu arvo 39 standardissa EN 10253-4 taulukossa C.2. Ensimmäiseksi täytyy määrittää kuinka suuren paineen vastaavan seinämävahvuuden omaava putki kestää.

Normaalisti putken seinämävahvuus laskettaisiin kaavalla numero 7. Tässä tapauksessa täytyy kaavaa muokata sopivampaan muotoon, jotta kaavasta voidaan ratkaista arvo P_c . Kun kaavaa muokataan, saadaan siitä tehtyä kaavan 12 mukainen.

$$P_c = \frac{2 * f * z}{\frac{D_o}{e} - 1} \quad (12)$$

$$P_c = \frac{2 * 104 \text{ MPa} * 0,85}{\frac{33,7 \text{ mm}}{2,3} - 1} = 12,95 \text{ MPa} \approx 129 \text{ Bar} \quad (13)$$

Ylläolevasta kaavasta 13 saamme tulokseksi 129 bar. 2.3 seinämävahvuudella oleva putki kestää annetuilla suunnittelujännityksillä tämän verran. Näitä tietoja hyödynnetään alla olevaan kaavaan 14.

$$\text{Putkenosan paineenkestävyys} = \frac{X * \text{Putken paineenkestävyys}}{100 \%} \quad (14)$$

$$\text{Putkenosan paineenkestävyys} = \frac{39 * 129 \text{ bar}}{100} = 50.3 \text{ bar} \quad (15)$$

Koska kaavasta 15 saatiin tulokseksi 50.7 bar t-haara kelpaa 40 bar suunnittelu-paineella olevaan putkistoon.

3.6.2.2 Tyypin B osat

Tyypin B putkenosia on vahvistettu. Tyypin B osien runko osaa vahvistetaan. Esimerkiksi t-haaroissa on kasvatettu seinämävahvuutta joka kohdassa (SFS-EN 10253-4 kohta 7.3). Tyypin B osille standardi ei anna painekertoimia, koska niille ei ole tarvetta.

Tyypin B putkenosat kestävät yleisesti ottaen saman paineen kuin samanhalkaisijainen ja seinämävahvuuksinen putki. Putken pitää olla valmistettu samasta materiaalista. (SFS-EN 10253-4 liite B kohta B1)

4 Valmistus ja tarkastukset

4.1 Paineet

Valmiille painelaitteelle täytyy tehdä painekoe (Direktiivi 2014/68/EU Liite 1 kohta 3.2.2). Paineet tehdään yleensä vedellä paineistamalla. Tämä on turvallisinta sillä vesi ei painu kasaan. Koska vesi ei painu kasaan ovat epätodennäköiset laitteistorikot koeponnistuksen aikana turvallisempia kuin paineilmalla. Paineet voidaan tehdä myös kokoon painuvalla aineella esimerkiksi typpi kaasulla tai paineilmalla, jos vesi on haitallista laitteelle.

Nestepaineet koepaine on direktiivin mukaan korkeampi arvo seuraavista kaavoista 16 ja 18. (Direktiivi 2014/68/EU Direktiivi liite 1 7.4).

Suurin sallittu käyttöpaine (PS) kerrottuna kertoimella 1.43

Standardi SFS-EN 13480-5 tarkastus ja testaus antaa saman kaavan muodossa. (Kaava 16)

$$P_t = 1,43 * PS \quad (16)$$

Kaavaan sijoitetaan PS. Putkiston suurin sallittu käyttöpaine (PS) on valittu putkiston suunnittelu osiossa. Kaavasta 17 tulokseksi saatua koepainetta täytyy verrata kaavasta 18 saatuun paineeseen ja valita suurempi.

$$P_t = 35 \text{ bar} * 1,43 = 50,05 \text{ bar} \quad (17)$$

Painelaitedirektiivissä 2014/68/EU sanotaan -”paine, joka vastaa suurinta kuormitusta, joka käytössä olevaan laitteeseen voi kohdistua suurin sallittu käyttöpaine ja suurin sallittu lämpötila huomioon ottaen, ja kerrottuna kertoimella 1,25”

Tätä tapausta selventää standardissa SFS-EN 13480-5 tarkastus ja testaus koepaineen laskemiseen annettu kaava 18. Kaavaan tarvittava PS on 35 Bar. PS on putkiston suurin sallittu käyttöpaine. Kaavaan tarvittava f on määritetty aiemmin kohdassa 2.2 suunnittelujännityksen määrittäminen.

$$P_t = 1.25 * PS * \frac{f_{test}}{f} \quad (18)$$

Arvo f_{test} on suunnittelujännitys koelämpötilan suunnitteluarvoilla. (EN 13480-5 kohta 9.3.2-2). Arvo f_{test} Voidaan määrittää kaavalla 19.

$$f_{test} = \frac{R_{p1.0 \ 20 \ ^\circ C}}{1,5} \quad (19)$$

Kaavaan täytyy määrittää arvo $R_{p \ 1.0 \ 20 \ ^\circ C}$. Ruostumattoman teräksen 1.4404 1.0% venymiseen tarvittava voima on 270 MPa 20 °C lämpötilassa. Tälle teräkselle tämän tiedon löytää standardista SFS-EN 10028-7 taulukosta 9. Kun kaavaan 19 on sijoitettu tarvittavat arvot, voidaan laskea arvo f_{test} . Arvo f_{test} lasketaan kaavassa 20.

$$f_{test} = \frac{270 \text{ MPa}}{1,5} = 180 \text{ MPa} \quad (20)$$

Tässä vaiheessa olemme laskeneet kaikki tarvittavat tiedot kaavaa 18. Kun kaavaan 18 on sijoitettu tiedot, siitä voidaan ratkaista koepaine P_t kaavassa 21.

$$P_t = 1.25 * 35 \text{ bar} * \frac{180 \text{ MPa}}{104 \text{ MPa}} = 75 \text{ bar} \quad (21)$$

Koska koepaine nousee suuremmaksi kuin suunnittelupaine on tarkistettava, pystyykö jokaista laitteen osaa kuormittamaan koelämpötilassa tällä paineella. Standardi SFS-EN 13480-3 määrää 1.4404 teräkselle, että koeolosuhteissa osassa vaikuttava jännitys ei saa ylittää 95% $R_{p1.0}$ koelämpötilassa eikä 45 %

murtorajasta. (SFS-EN 13480-3 kohta 5.2.2.2). Muille terästyypeille on asetettu vaatimuksia standardin kohdassa 5 suunnittelujännitykset. Alla on laskettu suurimmat sallitut jännitykset kummallekin tilanteelle koeolosuhteisiin kaavoissa 22 ja 23.

$$0.95 * R_{p1.0} = 0.95 * 270 \text{ MPa} = 256 \text{ MPa} \quad (22)$$

$$0.45 * R_m = 0.45 * 530 \text{ MPa} = 238 \text{ MPa} \quad (23)$$

Tarkistamme tässä esimerkissä suoran putken jännityksen koeponnistuspaineella. Standardi SFS-EN 13480-3 antaa kaavan suoran putken seinämänvahvuuden laskemiselle. (kaava 24) Jotta voidaan määrittää putkessa vallitseva jännitys koeponnistustilanteessa, on kaavaa muokattava siten, että kaava ratkaisee jännityksen f

$$e = \frac{P_c * D_o}{2 * f * z + P_c} \quad (24)$$

Kun ylläolevaa kaavaa muokataan, saadaan alla oleva kaavan muoto, joka on esitetty kaavassa 25. Tästä kaavassa ratkaistaan putkessa vallitseva jännitys, kun tiedetään putkessa vallitseva paine P_c , Putken ulkohalkaisija D_o , liitoksen lujuuskerroin z ja putken seinämänpaksuus e .

$$f = \frac{\frac{P_c * D_o}{e} - P_c}{2 * z} \quad (25)$$

Kun tähän kaavaan sijoitetaan suoran putken osan mitat ja koeponnistuspaine saadaan laskettua jännitys f kaavassa 26.

$$f = \frac{\frac{7.5 \text{ MPa} * 88,9}{2.7 \text{ mm}} - 7.5 \text{ MPa}}{2 * 0,85} = 140 \text{ MPa} \quad (26)$$

Tuloksesta voimme päätellä, että kyseinen painelaitteen osan jännitys ei rajoita koeponnistuspainetta, koska jännitys ei ylitä koeolosuhteille sallittuja jännityksiä.

Yleensä painekoe tehdään huoneenlämpöisellä vedellä. On tärkeää tarkistaa, että koelämpötilassa valitulla materiaalilla ei ole riskiä haurasmurtumaan. Jos painelaitteelle joudutaan tekemään koeponnistus pakkasella, on riski ilmeinen.

5 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyössä oli tarkoituksena avata painelaitteiden ja paineenalaisten putkistojen suunnitteluun liittyviä standardeja ja direktiivejä. Tavoitteessa onnistuttiin mainiosti. Opinnäytetyö muodostaa yhtenäisen ketjun, joka alkaa painelaitedirektiivin vaatimusten selvittämisestä jatkuen sopivien suunnittelu standardien läpikäynnillä loppuen viimeisiin lopputarkastuksen vaatimiin asioihin. Opinnäytetyö toimii hyvänä tietopakettina painelaitteista kiinnostuneelle henkilölle. Mielestäni erityisen tärkeää opinnäytetyössä on sen käytännönläheisyys. Tiedon etsiminen työhön syventymisen jälkeen on helppoa selkeän kappalejaon ansiosta.

Opinnäytetyö oli opettavainen prosessi. Työtä tehdessä osaaminen painelaitteiden osalla syventyi huomattavasti. Työtä tehtäessä kertynyt oppi on tullut käyttöön, joka päivä painelaitteiden kanssa töitä tehdessä. Suurin haaste oli tiivistää kaikki tietämys yhteen opinnäytetyöhön. Tästä seuraava looginen työ olisi selvittää painelaitteen valmistukseen liittyviä vaatimuksia ja standardeja. Seuraavassa työssä voitaisiin myös syventyä painelaitteen valmistuksen aikaisiin tarkistuksiin ja testauksiin. Olisi hyvä myös syventyä painelaitteiden hitsaamiseen ja hitsaus- saumoihin.

Selvitystyö oli haastava ja aikaa vievä. Kokonaisuudessaan pohjatyöt tätä opinnäytetyötä varten veivät vuoden muiden töiden ohessa. Mika Löefin pitämä painelaitelainsäädännön kurssi oli hyvä apuväline painelaitelainsäädännön syvällisempään ymmärtämiseen. Pääsin syventymään vielä tarkemmin putkistojen tarkastuksiin ja valmistukseen Kiwa Inspectan järjestämällä kurssilla. Tämä kurssi poisti monia aukkoja osaamisessani.

6 Kuvat

Kuva 7 Painelaitedirektiivin 2014/68/EU liitteen 2 taulukko 7 s.218

Kuva 8 Painelaitedirektiivin 2014/68/EU liitteen 2 taulukko 6 s.218

Kuva 5. Painelaitteen valmistuksessa käytettävät moduulit. Painelaitedirektiivi 2014/68/EU. s.215

Kuva 9 PN 63 laipan p/t taulukko. Standardi SFS-EN 1092-1 s.200

7 Lähdeluettelo

Direktiivi 2014/29/EU. Yksinkertaisten painesäiliöiden asettamista saataville markkinoilla koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta.

Kiwa inspecta 2018. Yhdenmukaistettuja EN-terästandardeja painelaitteisiin PDF Tiedosto.

Kotro, E 2018. Diplomi-insinööri. LUT yliopisto. Yliopisto. Lappeenranta Haastattelu 2.11.2018.

Painelaitedirektiivi 2014/68/EU. Direktiivi painelaitteiden asettamista saataville markkinoilla koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta.

Ryti, H & Skytta, O. 1963 Mollier (h,s)- Piirros vesihöyrylle

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

SFS-EN 10028-7:2016 Painelaiteteräkset. Levytuotteet. Osa 7: Ruostumattomat teräkset.

SFS-EN 10253-4 Päittäishitsattavat putkenosat. Osa 4: Toimituseräkohtaisesti tarkastettavat austeniittiset ja austeniittis-ferriittiset (duplex) teräkset.

SFS-EN 13480-2:2017 Metalliset teollisuusputkistot. Osa 2: Materiaalit.

SFS-EN 13480-3:2017 Metalliset teollisuusputkistot. Osa 3: Suunnittelu ja laskenta.

SFS-EN 13480-4:2017 Metalliset teollisuusputkistot. Osa 4: Valmistus ja asennus.

SFS-EN 13480-5:2017 Metalliset teollisuusputkistot. Osa 5: Tarkastus ja testaus.

Harvard Campus Services. 2012 Potentially Unstable Chemical List https://www.ehs.harvard.edu/sites/ehs.harvard.edu/files/chemical_list_potentially_unstable_chemicals.pdf. Luettu 2.11.2018