



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Dora Horto

Standardien vertailu putkistosuunnitelussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

6.11.2020

Tekijä Otsikko	Dora Horto Standardien vertailu putkistosuunnittelussa
Sivumäärä Aika	46 sivua + 6 liitettä 6.11.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine	kemiantekniikka
Ohjaajat	tehdassuunnittelun päällikkö Sami Nisula lehtori Timo Seuranen
<p>Insinööriyön tavoitteena oli vertailla eri standardeilla laadittujen putkilinjojen massoja ja tuottaa dataa putkistotarjouksien laatimiseen. Työn taustalla olivat eri putkistandardit, joiden mukaan suunniteltujen putkilinjojen massoissa esiintyy vaihtelua. Putkilinjojen massoilla on suora vaikutus projektin kokonaiskustannuksiin, sillä putkiston osuus kustannuksista voi olla merkittävä. Työ tehtiin ANDRITZ Oy:lle.</p> <p>Putkistandardit määrittävät vähimmäisvaatimukset putkistoissa käytettäville materiaaleille, putkien mitoitukseen, putkistojen valmistukseen ja asennukseen sekä tarkastukseen ja testaukseen. EN-putkistoja koskevat määräykset ja turvallisuusvaatimukset esitellään painelaitedirektiivissä, sekä Tukesin kemikaaliputkistoja käsittelevässä oppaassa. Standardien valinnassa tulee ottaa huomioon myös eri standardien mukaisten komponenttien saatavuus ja toimitusajat.</p> <p>Standardien vertailuun valittiin neljä eri standardia, joita olivat eurooppalainen EN, amerikkalainen ASME, japanilainen JIS ja ruotsalainen SSG. Tutkimusosuuteen valittiin 6 putkilinjaa aiemmin toteutetuista projekteista, jotka työssä suunniteltiin uudelleen eri standardien mukaan. Putkilinjat mallinnettiin AVEVA E3D -ohjelmalla ja niistä tulostettiin isometrit. Isometrien komponenttiedoista laskettiin putkistokomponenttien massat yhteen, jolloin putkilinjalle saatiin kokonaisuus. Saatuja kokonaisuusmassoja vertailtiin putkilinjaryhmittäin.</p> <p>Selvimmät erot putkilinjojen massoihin saatiin metrimäärältään pitkillä linjoilla, erityisesti putkilinjaryhmässä 6. Vertailuun valittujen putkilinjojen halkaisijoilla ei todettu olevan suurta merkitystä tuloksiin. Tulosten perusteella ei voida sanoa, että yksi vertailuun valituista standardeista olisi kustannustehokkaampi putkistosuunnittelun kannalta, kuin muut standardit. Työn tuloksia voidaan hyödyntää myös jatkotutkimuksen laatimisessa. Jatkotutkimuksissa tulisi tehdä laajempi otanta eri maiden standardeihin sekä putkilinjoihin.</p>	
Avainsanat	standardi, ASME, SSG, JIS, putkilinja, putkispesifikaatio

Author Title	Dora Horto Comparison of standards in piping
Number of Pages Date	46 pages + 6 appendices 6 November 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major	Chemical Engineering
Instructors	Sami Nisula, Plant Engineering Manager Timo Seuranen, Lecturer
<p>The aim of the thesis was to compare masses of pipelines, which were designed according to different piping standards and to produce data for preparation of pipeline offers. The study is based on different piping standards according to which there is variation in the masses of pipelines. Masses of pipelines have straight impact on the total cost of project because the pipeline's share of the cost can be significant. The client of the thesis was AN-DRITZ Oy.</p> <p>Piping standards specify the minimum requirements for materials used in pipelines, sizing on pipes, and fabrication, installation, inspection and testing of pipelines. Regulations and safety requirements for EN-pipelines are presented in the Pressure Equipment Directive and in the Tukes's guide for safety requirements for chemical piping. The availability of components and delivery times must also be considered when choosing standards.</p> <p>For comparison of the standards, four different standards were selected: European EN, American ASME, Japanese JIS and Swedish SSG. 6 pipelines were selected for the research from previously implemented projects. Pipelines were redesigned according to different standards. The pipelines were modeled with AVEVA E3D software and piping isometric drawings were printed. The component data of the isometric drawing included mass data for piping components. The masses of the piping components were added together to obtain the total mass for the pipeline. The total masses were compared by pipeline group.</p> <p>The most obvious differences in the masses of the pipelines were obtained with the longest pipelines, especially with Pipeline Group 6. The diameters of the pipelines selected for this comparison were not found to have a significant effect on the results. On the basis of the results it cannot be said that one of the standards selected for comparison would be more cost-effective in terms of piping than the other standards. The results of the research can also be used in the preparation of further research. Further research should include wider sampling of standards of different countries, as well as pipelines.</p>	
Keywords	standard, ASME, JIS, SSG, pipeline, pipe specification

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Standardit	2
2.1	Kansainväliset standardisoimisjärjestöt	3
2.2	Eurooppalainen standardisoimisjärjestö	3
2.3	Suomen standardisointijärjestelmä	4
3	Teollisuusputkistoja koskeva lainsäädäntö ja standardit	5
3.1	Painelaitedirektiivi	5
3.2	Kemikaaliputkistojen turvallisuusvaatimukset	6
3.3	EN-standardit	8
3.4	PSK:n putkiluokkastandardit	9
3.5	ASME	10
3.6	SSG	13
3.7	JIS	16
4	Putkistosuunnittelu	17
4.1	Putkistosuunnittelun tavoitteet	18
4.2	3D-suunnittelu	19
4.3	Putkimateriaalit	19
4.4	Putkiston osat	20
5	Putkistojen kustannukset	22
5.1	Materiaalien kustannukset	23
5.2	Toimitusajat	24
6	Putkilinjojen suunnittelu	24
6.1	Materiaalin valinta	25
6.2	Putkilinjojen mallinnus	25
6.3	ASME-putkilinjojen mitoitus	26

7	Putkilinjojen toteutus ryhmittäin	27
7.1	Putkilinjaryhmä 1 (SSG)	29
7.2	Putkilinjaryhmä 2 (JIS)	30
7.3	Putkilinjaryhmä 3 (ASME)	33
7.4	Putkilinjaryhmä 4 (EN)	33
7.5	Putkilinjaryhmä 5 (ASME)	34
7.6	Putkilinjaryhmä 6 (ASME)	34
8	Tulokset	35
9	Yhteenveto	38
	Lähteet	40
	Liitteet	
	Liite 1. 1-SSG-PUB-600-MAS25A-linjan isometri	
	Liite 2. 1-ASME-PUB-600-ANSI10S-linjan seinämän paksuuden laskenta	
	Liite 3. Putkilinjojen komponenttien massat	
	Liite 4. JIS-putkilinjan massalaskenta	
	Liite 5. 2-ASME-PUB-400-ANSI5S-linjan seinämän paksuuden laskenta	
	Liite 6. 4-ASME-ELM-500-ANSI5S-linjan seinämän paksuuden laskenta	

Lyhenteet

ASME	American Society of Mechanical Engineers. Amerikkalainen insinöörien yhdistys.
CEN	European Committee for Standardization. Eurooppalainen standardoimisjärjestö.
DN	Diametre nominal. Putken nimelliskoko.
ISO	International Organization for Standardization. Kansainvälinen standardoimisjärjestö.
JIS	Japanese Industrial Standards. Japanin teollisuusstandardit.
PED	Pressure Equipment Directive. Painelaitedirektiivi 2014/68/EU.
SFS	Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
SEP	Sound Engineering Practice. Hyvä konepajakäytäntö.
SSG	Standard Solutions Group. Ruotsalainen standardoimisjärjestö.
TUKES	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto.

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on vertailla eri putkistandardeilla suunniteltujen putkilinjojen materiaalityyppejä. Lisäksi työssä tarkastellaan putkistokomponenttien saatuutta sekä toimitusaikoja. Taustalla ovat erilaiset putkistandardit, joiden mukaan suunniteltujen putkistojen materiaalityypit voivat vaihdella. Materiaalityypeillä on suora vaikutus putkistojen kustannuksiin, jotka voivat olla jopa 20 prosenttia koko projektin kustannuksista [1]. Materiaalityyppien erot ovat erityisen tärkeitä sellu- ja paperiteollisuudessa, sillä prosesseissa käytettävät paineet ja lämpötilat ovat alhaisia [2, s. 5].

Työssä vertaillaan halkaisijaltaan suuria putkilinjoja, jotka aiheuttavat merkittävimmät materiaalityypit. Putkilinjat valitaan aiemmin toteutetuista projekteista, suunnitellaan uudelleen eri standardien mukaan ja mallinnetaan AVEVA Everything 3D -suunnitteluohjelmalla. Tämän jälkeen putkilinjoista tehdään materiaalityypin massalaskenta ja saatuja tuloksia vertaillaan keskenään. Vertailtaviksi standardeiksi työhön valittiin amerikkalainen ASME (American Society of Mechanical Engineers), eurooppalainen EN, ruotsalainen SSG (Standard Solutions Group) ja japanilainen JIS (Japanese Industrial Standards).

Työn tavoitteena on tuottaa yritykselle dataa, jota voidaan hyödyntää putkistotarjouksien laadinnassa. Lisäksi työn tavoitteena on perehdyttää työn tekijä eri putkistandardeihin. Aihetta ei ole aiemmin tutkittu yrityksessä.

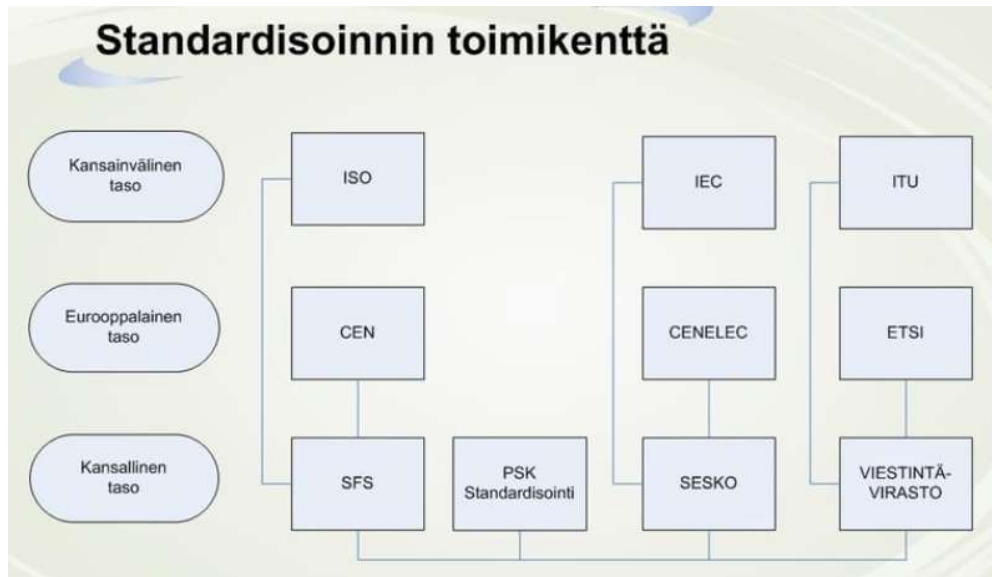
Työ on tehty ANDRITZ Oy:lle (kirjoitetaan jatkossa Andritz), joka on osa Andritz-konsernia. Andritz toimii neljällä pääliiketoiminta-alueella, joita ovat sellu- ja paperiteollisuus, metalli- ja terästeollisuus, vesivoimateollisuus sekä erotusteknologiat. Liiketoiminta-alueista sellu- ja paperiteollisuus on merkittävin, vuonna 2019 sen osuus oli n. 50 prosenttia tilauskannasta. Andritz toimittaa maailmanlaajuisesti tehtaita, laitteita, järjestelmiä ja palveluja, sekä vesivoimalaitoksia, pumppuja ja erotusteknologiaratkaisuja julkiselle ja yksityiselle sektorille. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Itävallassa Grazissa. Työntekijöitä Andritz-konsernilla on n. 27 800 yli 280 toimipisteessä. Andritz Oy:n tuotealueita ovat puunkäsittely, kuituprosessit, kemikaalien talteenotto ja massankäsittely. [3; 4.]

2 Standardit

Standardien voidaan ajatella olevan yrityksille ja yhteiskunnalle yhteisiä ohjeita, jotka yhtenäistävät tuotteita, palveluja ja menetelmiä kaikilla aloilla. Yhteisesti sovitut käsitteet ja määritelmät vähentävät virheitä ja väärinkäytöksiä, sekä parantavat tuotteiden laatua. Standardisointi varmistaa tuotteiden ja järjestelmien yhteensopivuuden ja -toimivuuden. Lisäksi standardisointi takaa tuotteiden ja järjestelmien turvallisuuden siihen käyttöön ja niihin olosuhteisiin, joihin ne on tarkoitettu. [5.] Standardit ovat julkaisuja, jotka ovat kaikkien saatavilla. Niiden käyttö ei ole pakollista, mutta se on usein käytännöllisin tapa täyttää viranomaisvaatimukset. [6, s. 5.]

Standardit laaditaan työryhmissä ja järjestöjen teknisissä komiteoissa. Työryhmät muodostuvat asiantuntijoista, jotka edustavat mm. teollisuutta, testaus- ja tutkimuslaitoksia, viranomaisia, käyttäjiä ja kuluttajia. [7.] Tavoitteena on päästä yhteisymmärrykseen huomioimalla eri osapuolten näkökannat. Asiantuntijat edustavat alansa parasta asiantuntemusta ja tarjoavat uusinta tietoa alalta. [5.]

Standardisointi voidaan jakaa kolmelle eri tasolle, joita ovat kansainvälinen, eurooppalainen ja kansallinen taso [8]. Kuvassa 1 on esitetty standardisoinnin eri tasot Suomen näkökulmasta.



Kuva 1. Standardisoinnin eri tasot [8].

Eri mailla on käytössä erilaisia standardeja ja eri näkökulmasta tarkastellessa standardisoinnin tasojen jakautuminen olisi erilainen. Itse standardit voidaan jakaa perustandardeihin, tuotestandardeihin ja menetelmästandardeihin [9].

2.1 Kansainväliset standardisoimisjärjestöt

Kansainvälisiä standardoimisjärjestöjä ovat ISO (International Organization for Standardization), IEC (International Electrotechnical Commission) ja ITU (International Telecommunication Union). ISO on näistä laajin itsenäinen kansalaisjärjestö, joka muodostuu kansallisista standardoimisjärjestöistä. [10.] ISON tavoitteena on valmistaa maailmanlaajuisesti merkittäviä kansainvälisiä standardeja, jotka olisivat käytössä kaikkialla. Sen jäsenmaat voivat vahvistaa ISO-standardeja kansallisiksi standardeiksi. Euroopassa CENin (European Committee for Standardization) vahvistamat kansalliset standardit ovat EN ISO -standardeja. Kansainvälisistä standardoimisjärjestöistä IEC on sähköalan kansainvälinen standardisointijärjestö ja samalla ISON tärkein yhteistyökumppani. Kolmas kansainvälinen standardisoimisjärjestö, ITU, on YK:n alainen kansainvälinen televiestintäliitto. [11, s. 5; 12.]

2.2 Eurooppalainen standardisoimisjärjestö

Eurooppalaisessa standardoimisjärjestössä CENissä laaditaan eurooppalaiset standardit, eli EN-standardit. CENillä on jäsenenä 32 järjestöä ja liitännäisjäsenenä 19 maan standardisointielimet. CENin jäsenmaiden tulee vahvistaa kaikki EN-standardit kansallisesti ja kumota niiden kanssa ristiriidassa olevat standardit, jolloin kaikilla sen jäsenmailla on voimassa samat standardit [13; 14].

CEN on yksi kolmesta Euroopan standardisoinnin organisaatioista. Muita organisaatioita ovat CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) ja ETSI (European Telecommunications Standards Institute). CEN tarjoaa perustan Euroopan standardien kehitykselle ja muille teknisille dokumenteille, sekä tukee standardointitoimia useilla eri aloilla. Suurin osa standardeista on luotu teollisuuden toimesta ja tarpeesta. [15.] Euroopan unioni toimii yhteistyössä eurooppalaisten standardoimisjärjestöjen kanssa [16].

Yhdenmukaistetulla standardilla (harmonized standard) tarkoitetaan eurooppalaisten standardisoimisjärjestöjen laatimaa standardia, joka on eurooppalaisen lainsäädännön jatke. EN-standardien yhdenmukaistamisesta päättää Euroopan komissio. [7.] Yhdenmukaistettujen standardien mukaan kaikkien kansallisten standardoimisjärjestöjen on saatettava EN-standardit voimaan kansallisella tasolla, mutta niiden soveltaminen on vapaaehtoista. Jokaisella jäsenmaalla on oma tunnus, jota käytetään yhdessä EN-liitteen kanssa. Suomessa yhdenmukaistetut standardit vahvistetaan SFS-standardeiksi, joiden tunnus on SFS-EN. [17.]

2.3 Suomen standardisointijärjestelmä

Suomessa on käytössä hajautettu standardisointijärjestelmä, jonka keskusjärjestöinä toimivat SFS ry (Suomen Standardisoimisliitto ry) ja SESKO ry (Suomen sähkö- ja elektronikka-alan kansallinen standardisointijärjestö ry) [7]. SESKO ry on Suomen sähkötekniikan alan standardisointijärjestö, joka toimii Suomen edustajana kansainvälisessä (IEC) ja eurooppalaisessa (CENELEC) yhteistyössä. Telealan kansallista standardointia koordinoi Liikenne ja viestintävirasto Traficom. Keskusjärjestöjen päätehtäviä ovat standardien laadinta, vahvistaminen, julkaiseminen, myynti ja tiedottaminen. Pääosa SFS-standardeista perustuu kansainvälisiin tai eurooppalaisiin standardeihin. [18; 19; 20.]

SFS:n standardisointiryhmät pitävät standarditoiminnan ajankohtaisena, vastaavat Suomen kannanotoista standardiehdotuksiin ja nimeävät asiantuntijat työryhmiin, sekä eurooppalaisiin ja kansainvälisiin kokouksiin. SFS:n standardisointiryhmiä (SR) on monia, esimerkkinä SFS/SR 102 Mittayksiköt, SFS/SR 154 Kaasun ja öljyn käyttölaitteet ja laitteistot, SFS/SR 209 Elintarvikeanalytiikka ja SFS/SR 239 Kiertotalous. Osasta standardisointiryhmien toiminnasta vastaavat SFS:n toimialayhteisöt, kuten SESKO ry ja Traficom. [21.] Toimialayhteisöt harjoittavat standardisointitoimintaa tietyllä alalla. Ne laativat standardit SFS:n kanssa yhteistyössä, mutta huolehtivat itsenäisesti oman alansa standardisoinnista. [22.]

Suomessa toimiva PSK Standardisointi on teollisuuden ja sitä palvelevien yritysten yhteinen kehitysyksikkö, jonka tavoitteena on tukea jäseniensä kotimaista sekä kansainvä-

listä liiketoimintaa standardisoinnilla ja koulutuksella. PSK-standardit ovat käytännönläheisiä työkaluja, joiden pohjana käytetään eurooppalaisia ja kansainvälisiä standardeja. [23.]

3 Teollisuusputkistoja koskeva lainsäädäntö ja standardit

Teollisuusputkistoja koskevia lainsäädäntöjä ja standardeja on monia, ja ne vaihtelevat alueittain ja laitoksittain. Putkistandardit määrittävät vähimmäisvaatimukset putkistoissa käytettäville materiaaleille, putkien mitoittamiseen, putkistojen valmistukseen ja asennukseen, sekä tarkastukseen ja testaukseen [24, s. 5]. Kaikki putkijärjestelmät tulee suunnitella kuljettamaan nestettä tai kaasua turvallisesti ja luotettavasti [25, s. 3].

3.1 Painelaitedirektiivi

EU:n laatimaa painelaitedirektiiviä (PED) (2014/68/EU) sovelletaan sellaisten kiinteiden painelaitteiden suunnitteluun, valmistukseen ja vaatimustenmukaisuuden arviointiin, joiden suurin sallittu paine on yli 0,5 baaria (ylipainetta). Direktiivi tuli voimaan 20. heinäkuuta 2016. Painelaitedirektiivin tavoitteena on varmistaa sen soveltamisalaan kuuluvien tuotteiden, eli painelaitteiden ja laitekokonaisuuksien, vapaa liikkuvuus ja korkea turvallisuustaso. Direktiivissä painelaitteella tarkoitetaan säiliöitä, putkistoja, varolaitteita ja paineenalaisia lisälaitteita. [26.]

PED pohjautuu painelaitelakiin (1144/2016), joka sisältää painelaitteiden suunnittelun, valmistuksen ja käytön lakitason säännökset. Valtioneuvoston asetus painelaitteista (1548/2016) sisältää painelaitedirektiivin tekniset vaatimukset, mutta ei sen liitteitä. Valtioneuvoston asetus painelaiteturvallisuudesta (1549/2016) sisältää säännökset painelaitteiden sijoituksesta, rekisteröinnistä, kattilalaitosten käytön valvonnasta ja painelaitteiden asennus-, korjaus- ja muutostöistä. [27.] Painelaitteiden on täytettävä lainsäädännön asettamat turvallisuusvaatimukset, sillä niistä ei saa aiheutua vaaraa terveydelle, turvallisuudelle tai omaisuudelle. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) valvoo näiden tavoitteiden toteutumista. [28.]

Painelaitteet luokitellaan kasvavan vaaran mukaan luokkiin I–IV. Luokitusta varten niiden sisällöt jaetaan kahteen luokkaan. Ryhmään 1 kuuluvat CLP-asetuksessa, eli Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksessa (EY) N:o 1272/2008, määritellyt aineet ja seokset, jotka on luokiteltu vaarallisiksi asetuksen liitteessä I vahvistettujen vaarojen mukaan. Ryhmään 1 kuuluvia aineita ja seoksia ovat mm. kategorian 1 ja 2 syttyvät nesteet ja kaasut, sekä kategorioiden 1, 2 ja 3 hapettavat nesteet ja kiinteät aineet. Ryhmä 2 muodostuu aineista ja seoksista, jotka eivät sisälly ryhmään 1. [28; 29.]

Painelaitteiden vaatimustenmukaisuuden arviointimenetelmä, eli arviointimoduuli, määrittyy painelaitteen luokan mukaan. Painelaitteen valmistaja voi halutessaan kuitenkin soveltaa korkeampaan luokkaan tarkoitettua menetelmää. Arviointimenetelmillä varmistetaan painelaitteen täyttävän painelaitedirektiivin vaatimukset. Arviointimoduulit on lueteltu PED:n liitteessä III. CE-merkinnällä osoitetaan painelaitteen direktiivin vaatimustenmukaisuus. [26.]

SEP (Sound Engineering Practice), eli hyvä konepajakäytäntö, tarkoittaa painelaitteiden ja laitekokonaisuuksien suunnittelua ja valmistusta Euroopan talousalueeseen kuuluvassa valtiossa hyvän konepajakäytännön mukaisesti niin, että niiden turvallinen käyttö voidaan taata. Painelaitteen valmistaja on vastuussa hyvän konepajakäytännön noudattamisesta. [7.]

3.2 Kemikaaliputkistojen turvallisuusvaatimukset

Kemikaaliputkistojen turvallisuusvaatimukset on koottu Tukesin laatimaan oppaaseen. Opas esittelee kemikaaliturvallisuuslainsäädännöstä ja painelaitelainsäädännöstä johtuvia velvoitteita kemikaaliputkistojen suunnitteluun, valmistukseen, käyttöön, kunnossapitoon ja dokumentointiin. Kemikaaliputkistoihin sovelletaan vähintään painelaitesäädösten luokan I vaatimuksia, vaikka putkistot eivät niiden mukaan kuuluisikaan luokkaan I. [30, s. 3.]

Kemikaalisäädösten ja painelaitesäädösten soveltamisessa vaaditaan tarkkuutta, sillä molempien lainsäädäntöjen vaatimukset ovat voimassa yhtäaikaisesti ja molempien on

3.3 EN-standardit

EN-standardeissa putkikoot annetaan nimelliskokoina. Standardeissa annetaan myös seinämänpaksuussarjat eri putken halkaisijoille. [31.] Nimelliskoolla (DN) tarkoitetaan putkiston kaikille osille yhteistä koon esitystapaa, pois lukien osat, joista annetaan ulkohalkaisija tai kierrekoko. Nimellissuuruus ilmoitetaan antamalla etuliite DN ja luku, joka on pyöristetty viitearvo todellisesta koosta, esimerkiksi DN100. [32.] EN-putkistojen, eli EN-standardien mukaan suunniteltujen putkistojen, suunnittelussa tärkein standardi on metallisia teollisuusputkistoja koskeva standardi SFS-EN 13480, joka koostuu kahdeksasta osasta. EN-putkistojen suunnittelussa voidaan käyttää myös valmiiksi lujuuslas-kettuja PSK:n putkiluokkia.

Paineluokalla (PN) tarkoitetaan putkiston osien mekaanisten ominaisuuksien ja mittojen yhteensopivuutta. Putkiston suurin sallittu käyttöpaine riippuu mm. suunnittelupaineesta, materiaalista, osan mitoituksesta ja sallitusta lämpötilasta. Tarkoituksena on, että samoilla PN- ja DN-merkityillä osilla on samat liitosmitat yhteensopivia laippoja varten. Paineluokka muodostetaan kirjaimista PN ja suurettomasta luvusta, esim. PN 16. [33.]

EN-standardeissa laipat on mitoitettu huoneenlämpötilassa kaikissa kuormitustapauksissa (asennus, koeponnistus, käyttötilanne). Teräslaippoja koskevat määräykset on annettu standardissa SFS-EN 1092-1. Laippamerkintä Laippa EN 1092-1/11/B2/DN200 x 9/PN 100/P245GH tarkoittaa tyyppin 11 laippaa, jolla tiivistepinnan tyyppi on B2, nimelliskoko DN200, seinämänpaksuus 9 mm, paineluokka PN 100 ja materiaali P245GH. Laippojen kanssa on käytettävä standardissa määriteltyjä ruuvikokoja ja lukumääriä. [33.]

Standardin mukaista teräslaippaliitosta, jonka materiaalivaatimukset on määritelty, voidaan käyttää osana paineputkistoa. Tällöin suurin sallittu paine määräytyy laippamateriaalin ja suunnittelulämpötilan mukaan, eikä liitoksen kestävyyttä tarvitse erikseen tarkastella, jos standardissa SFS-EN 13480-3 määritetyt ehdot täyttyvät. [34, s. 35.]

3.4 PSK:n putkiluokkastandardit

PSK:n putkiluokkastandardeja ovat ryhmän 42 standardit. Putkiluokalla tarkoitetaan yhdenmukaista käytäntöä, jossa samaan putkilinjaan soveltuvat putket ja putkenosat on mitoitettu ja materiaalit määritetty valmiiksi. Putkiluokkia voidaan käyttää putkistosuunnittelun, -hankinnan, -rakentamisen ja kunnossapidon apuvälineenä. Putkiluokkien määrittely pohjautuu aina kansallisiin ja kansainvälisiin standardeihin [32; 35, s. 1.]

Käytettävä putkiluokka määräytyy virtaavan aineen, korroosio-olosuhteiden, paineen ja lämpötilan mukaan. Putkiluokkien mitoitus perustuu putkiluokan nimellispaineeseen huoneenlämpötilassa eli 20 °C:ssa. Putkiluokkastandardien mukaiset seinämän paksuudet on annettu putkille ja putkenosille kussakin putkiluokkastandardissa erikseen. Seinämän paksuudet on laskettu SFS-EN 13480-3 standardin mukaan, eikä erillisiä suunnittelupaineen- ja lämpötilan yhdistelmiä tarvitse laskea komponenteille erikseen. Jokaiselle putkiluokalle on määritetty paine-lämpötilakäyrä, joka kertoo putkiluokan komponenttien paineenkeston eri lämpötiloissa. [32; 35, s. 1.]

Putkiluokan tunnus muodostetaan kuvan 3 mukaisesti. Tunnuksen alussa oleva E-kirjain kertoo putkiluokan noudattavan yhdenmukaistettuja EN-standardeja. E-kirjaimen jälkeen annetaan putkiluokan nimellispaineen lukuarvo (baareina) ja tunnuksen loppuun tulevat materiaalitunnus, sekä mahdollinen lisätunnus, joka kertoo esimerkiksi valmistustavasta. Kuvan 3 esimerkissä on kyseessä standardin PSK 4233 mukainen putkiluokka, jossa paineluokka on 16 ja materiaali on hitsattu austeniittinen ruostumaton CrNi-teräs. [35, s. 2–3.]

Esimerkki:	Putkiluokka	PSK 4233	E	16	H1	A
Nimi						
Standardi						
EN-viite ¹⁾						
Nimellis-paine						
Materiaalitunnus						
Lisätunnus						

Kuva 3. Putkiluokan merkintä. [35, s. 2.]

Standardin mukaista putkiluokan tunnusta ei saa käyttää, jos putkiluokkaan on tehty pienikin muutos [36].

3.5 ASME

ASME (American Society of Mechanical Engineers) laatii ja ylläpitää yli kuuttasataa standardia ja niiden kokoelmaa ja se on vakiinnuttanut asemansa mm. painelaitteiden standardisoinnissa. ASME Boiler & Pressure Vessel Code (BPVC) -kokoelman standardit kattavat paineastioiden suunnittelun, valmistuksen ja tarkastuksen. ASME B31.1 (power piping) ja ASME B31.3 (process piping) sisältävät vähimmäisvaatimukset putkistojen suunnitteluun, materiaaleihin, valmistukseen ja tarkastukseen. ASME-standardeissa materiaalit luokitellaan käyttökohteittain. [37; 38.]

ASME-standardeissa putkikoot määritellään nimelliskokojen, NPS:n (Nominal Pipe Size), mukaan. Alun perin ASME-putkissa käytettiin vain kolmea seinämän paksuutta, joita olivat Standard (STD), Extra Strong (XS) ja Double Extra Strong (XXS). Teollisuuden kehittyessä ja putkien vaihtelevissa paine- ja lämpötilaolosuhteissa kolme kokoa eivät kuitenkaan riittäneet, ja putkikokotaulukoihin tehtiin monia muutoksia ja lisäyksiä perustuen teolliseen käyttöön ja mm. API:n (American Petroleum Institute) ja ASTM:n (American Society for Testing and Materials) standardeihin. Nykyään ASME-putkille sei-

nämän paksuudet annetaan SCH-mittasarjoina (schedule-mittasarjoina). SCH-mittasarjat ovat dimensiottomia lukuja. Hiiliteräksillä koot STD ja SCH 40 ovat identtisiä putkikokoon NPS 10 (DN250) asti, ja koot XS ja SCH 80 ovat identtisiä putkikokoon NPS 8 (DN200) asti. [39, s. 1–2; 40.]

Kaikilla tietyn kokoisilla putkilla on sama ulkohalkaisija, riippumatta seinämän paksuuden mittasarjasta. SCH-mittasarjan kasvaessa putken ulkohalkaisija pysyy samana, mutta sisähalkaisija pienenee, kun seinämän paksuus kasvaa. [41.] ASME B36.19M -standardissa määritetään ruostumattomille teräsputkille SCH-mittasarjat 5S, 10S, 40S ja 80S, jotka ovat eri kokoja kuin ASME B36.10M-standardin hiiliteräsputkien SCH-mittasarjat 5, 10, 40 ja 80. Päätettä S käytetään erottamaan standardien putket toisistaan. [39, s. 1.] Taulukossa 1 on esitetty standardien SCH-mittasarjojen erot keltaisella korostettuna, sekä NPS-nimelliskokojen vastaavuus DN-nimelliskokoihin.

Taulukko 1. Ruostumattomasta teräksestä ja hiiliteräksestä valmistettujen putkien seinämän paksuuksien erot, sekä nimelliskokojen vastaavuus. Seinämän paksuudet on annettu millimetreinä (mm). [39, s. 4–13; 42, s. 3–5.]

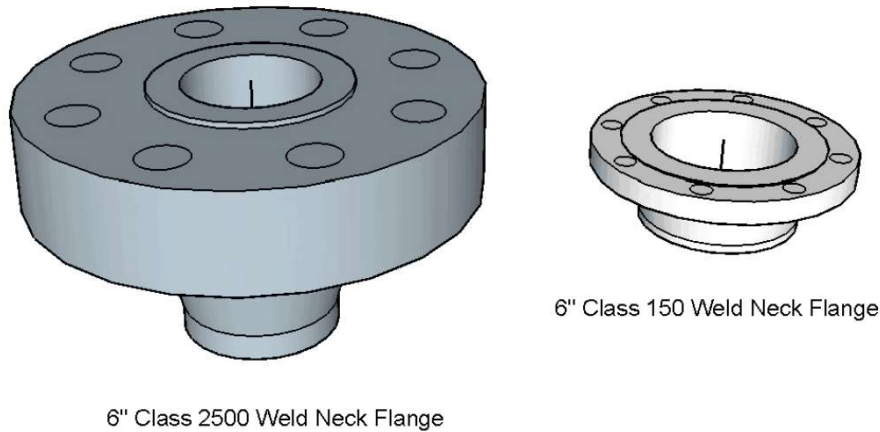
Putki- koko		Seinämän paksuus [mm]							
		5S	5	10S	10	40S	40	80S	80
DN	NPS	ASME B36.19M	ASME B36.10M	ASME B36.19M	ASME B36.10M	ASME B36.19M	ASME B36.10M	ASME B36.19M	ASME B36.10M
15	1/2"	1,65	1,65	2,11	2,11	2,77	2,77	3,73	3,73
25	1"	1,65	1,65	2,77	2,77	3,38	3,38	4,55	4,55
32	1 1/4"	1,65	1,65	2,77	2,77	3,56	3,56	4,85	4,85
40	1 1/2"	1,65	1,65	2,77	2,77	3,68	3,68	5,08	5,08
50	2"	1,65	1,65	2,77	2,77	3,91	3,91	5,54	5,54
80	3"	2,11	2,11	3,05	3,05	5,49	5,49	7,62	7,62
100	4"	2,11	2,11	3,05	3,05	6,02	6,02	8,56	8,56
125	5"	2,77	2,77	3,4	3,4	6,55	6,55	9,53	9,53
150	6"	2,77	2,77	3,4	3,4	7,11	7,11	10,97	10,97
200	8"	2,77	2,77	3,76	3,76	8,18	8,18	12,7	12,7
250	10"	3,4	3,4	4,19	4,19	9,27	9,27	12,7	15,09
300	12"	3,96	3,96	4,57	4,57	9,53	10,31	12,7	17,48
350	14"	3,96	3,96	4,78	6,35	9,53	11,13	12,7	19,05
400	16"	4,19	4,19	4,78	6,35	9,53	12,7	12,7	21,44
450	18"	4,19	4,19	4,78	6,35	9,53	14,27	12,7	23,83
500	20"	4,78	4,78	5,54	6,35	9,53	15,09	12,7	26,19
600	24"	5,54	5,54	6,35	6,35	9,53	17,48	12,7	30,96
750	30"	6,35	6,35	7,92	7,92	-	-	-	-

Taulukon mukaan putkikoon kasvaessa hiiliteräsputkien seinämän paksuudet kasvavat merkittävästi ruostumattomiin teräputkiin verrattuna. Tyypillisesti putken seinämän paksuus on kontrolloitu muuttuja, ja sisähalkaisijan sallitaan vaihdella. Putken seinämän paksuuden toleranssi on 12,5 prosenttia. [25, s. 6–7.] ASME-putkien mitoitukset perustuvat käyttöpaineeseen. Suunnittelijan tulee laskea putkelle tarvittava seinämän paksuus valitsemissa olosuhteissa, esimerkiksi ASME B31 -standardien mukaan. [39, s. 2.]

Mittasarjojen 5, 5S, 10 ja 10S kokoisia putkia ei voida liittää kierrelitoksilla ohuen seinämän takia, vaan ne on hitsattava [43]. Tämän takia halkaisijaltaan pienille putkille (alle DN100) valitaan usein ylimitoitettua seinämän paksuudet, esim. 40S, jotta putket voidaan liittää kierrelitoksilla [44].

ASME on kehittänyt laipoille paineluokat (class) lämpötilan (°F) ja paineen (psi) perusteella. Paineluokkia ovat 150, 300, 400, 600, 900, 1500 ja 2500, ja ne ovat dimensiottomia lukuja. [45, s. 2.] Usein laippojen paineluokista puhutaan kuitenkin paunoissa, esim. 150 paunan (lb) laippa [46]. ASME B16-standardit määrittävät paine-lämpötila luokitukset, materiaalit, mitat, toleranssit, merkinnät ja testauksen venttiileille, laipoille, putkistovarusteille ja tiivisteille. Paineluokilla viitataan suurimpaan sallittuun paineeseen, jonka tietystä materiaalista valmistettu laippa kestää lämpötilan kohotessa. [45, s. 1–2.]

Laipan paineluokan kasvaessa lisääntyy laipan lämmön- ja paineenkesto-ominaisuudet, sekä paino ja koko [46]. Kuvassa 4 on havainnollistettu saman nimellisuuruuden, mutta eri paineluokkien laippojen kokoeroja.



Kuva 4. Putkikoon 6” ja paineluokkien 2500 ja 150 kauluslaipat [46].

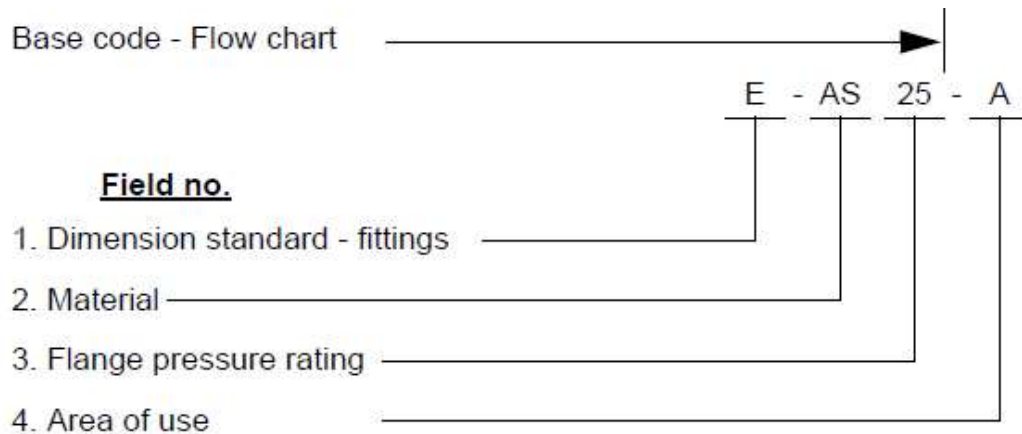
ASME-standardeissa pulttien ja laipan pulttireikien halkaisijat on määritetty vain tuumakokoina. [45, s. 69.]

3.6 SSG

SSG (Standard Solutions Group) on Ruotsissa toimiva standardoinnin yritys, joka tarjoaa ja ylläpitää teknisiä standardeja Ruotsin teollisuudelle [47]. SSG7650E-standardi antaa suositukset putkistojärjestelmien suunnitteluun, sekä putkistojen luokitteluun ja tarkastuksiin. Standardissa annetaan suosituksia siitä, mitä materiaaleja ja komponentteja suunnittelijan tulisi käyttää, riippuen putkessa virtaavista väliaineista. [48.]

SSG PED -putkiluokat ovat putkistojen suunnitteluun ja hankintaan liittyviä standardeja. SSG:n putkiluokat ovat PED:n mukaan laadittuja kokoelmia putkikomponenteille, jotka on mitoitettu sisäiselle ylipaineelle lämpötilaan 300 °C asti. Standardit on hyväksynyt Inspecta Sweden Ab, joka on myös myöntänyt todistuksen painelaitteita koskevan EU-direktiivin PED 97/23/EY noudattamisesta. [49.]

Kuvassa 5 on esitetty SSG PED -putkiluokan nimen muodostaminen. Ensimmäinen kirjain kuvaa putkiluokan komponenttien mittastandardia, seuraavat kaksi kirjainta putkiluokan materiaalia, dimensioton luku paineluokkaa ja viimeinen kirjain käyttöaluetta [50, s. 2].



Kuva 5. SSG PED-putkiluokan nimen muodostaminen [50, s. 2].

Kuvassa 6 on esitetty putkiluokkien kirjain- ja numerokoodit. Esimerkkinä putkiluokka MSS10A, joka on metrinen sisämittasarja paineluokalle PN 10 ja materiaalille 1.4307 (ruostumaton teräs). Huomioitavaa on, että ISO-standardien mittasarjat (koodi E) eroavat sisämittasarjan (koodi M) ko'osta. Paineluokalle PN 10L (matalapaineputkisto) suurin sallittu paine on 3 baaria ja suurin sallittu lämpötila 100 °C. [50, s. 2.]

Project standard 1. Dim.-std.		Process information				Pipe & Layout 4. Area of use		
Components	Code	2. Material Group	Code	3. Pressure class Class - Dim.std.	Code	Application	NDT	Code
DIN	D	Carbon steel	CS	PN 10 - DIN	10	Standard	0%	A
ISO	E	Stainless steel	SS	PN 16 - DIN	16	Standard	100%	B
ID	M	Acid resistant steel	AS	PN 25 - DIN	25	Piping for low pressure ¹⁾	0%	L
		Duplex	DU	PN 40 - DIN	40	Project specific	0%	X
		SMO	SM			Project specific	100%	Y
		Monel	MN					
		Titanium	TN					
		Hastelloy	HA					
		FRP	FR					
		uPVC	PV					
		uPVC/FRP	PF					
		E-CTFE/FRP	EF					

Kuva 6. SSG-putkiluokkien kirjain- ja numerokoodit [50, s. 2].

SSG-putkia kutsutaan sisämittasarjanputkistoiksi, sillä SSG-standardeissa putken koon määrittää putken sisähalkaisija. Sisämittasarjan putkilla on kiinteä sisähalkaisija, joka on yhtä suuri kuin putken nimellishalkaisija putkiko'oilte DN80 ja sitä suuremmille. Sisämit-

tasarjan putkistoissa putken seinämän kasvaessa korkeammissa paineluokissa, ulkohalkaisija kasvaa virtaustilavuuden, eli sisähalkaisijan, pysyessä samana. [51, s. 3-4.] Sisämittasarjan laipat ovat kuitenkin yhteensopivia standardin SFS-EN 1092-1 laippojen liittämissämittojen kanssa. [33, s. 130.]

Taulukossa 2 on korostettu keltaisella SSG-putkien ulkohalkaisijoiden kokojen erot eri paineluokissa. Mitat on annettu millimetreinä. Taulukossa D_o tarkoittaa putken ulkohalkaisijaa, T putken seinämän paksuutta ja D_i putken sisähalkaisijaa. Paineluokille PN25 ja sitä suuremmille, putket on standardoitu kokoon DN600 asti.

Taulukko 2. Ruostumattomasta teräksestä valmistettujen SSG-putkien ulkohalkaisijoiden erot eri paineluokissa. Sisähalkaisijat kaikissa paineluokissa pysyvät samoina. [51, s. 3-4; 52, s. 3-4; 53, s. 3-4; 54, s. 3-4.]

DN	PN10			PN16			PN25			PN40		
	D_o , mm	T, mm	D_i , mm	D_o , mm	T, mm	D_i , mm	D_o , mm	T, mm	D_i , mm	D_o , mm	T, mm	D_i , mm
15	21,3	2	17,3	21,3	2	17,3	21,3	2	17,3	21,3	2	17,3
25	33,7	2	29,7	33,7	2	29,7	33,7	2	29,7	33,7	2	29,7
32	42,4	2	38,4	42,4	2	38,4	42,4	2	38,4	42,4	2	38,4
40	48,3	2	44,3	48,3	2	44,3	48,3	2	44,3	48,3	2	44,3
50	60,3	2	56,3	60,3	2	56,3	60,3	2	56,3	60,3	2	56,3
80	84	2	80	84	2	80	84	2	80	86	3	80
100	104	2	100	104	2	100	104	2	100	106	3	100
125	129	2	125	129	2	125	131	3	125	133	4	125
150	154	2	150	154	2	150	156	3	150	160	5	150
200	204	2	200	206	3	200	208	4	200	212	6	200
250	254	2	250	256	3	250	260	5	250	266	8	250
300	306	3	300	308	4	300	312	6	300	320	10	300
350	356	3	350	360	5	350	366	8	350	374	12	350
400	406	3	400	410	5	400	416	8	400	424	12	400
450	458	4	450	460	5	450	466	8	450	474	12	450
500	508	4	500	512	6	500	520	10	500	532	16	500
600	610	5	600	616	8	600	624	12	600	640	20	600
1000	1016	8	1000	1020	10	1000	-	-	-	-	-	-

SSG-standardin putkilla ja putkenosilla on usein huono saatavuus ja pitkät toimitusajat, johtuen niiden pienestä tarpeesta. [55.]

3.7 JIS

JIS-standardeilla (Japanese Industrial Standards) viitataan Japanin teollisuusstandardeihin. Japanin kansallisen standardisoinnin runkona toimiva JISC (The Japanese Industrial Standards Committee) koordinoi standardisointiprosessia ja JSA (Japanese Standards Association) toimii standardien julkaisijana. [56; 57.] JIS-standardit kattavat teollisuuden standardointilain mukaiset teollisuus- ja mineraalituotteet, tiedot, palvelut ja hallintajärjestelmät [58]. JIS-standardit perustuvat ISO-standardeihin, mutta ne sisältävät monia muutoksia [59]. Kuvassa 7 on esitetty JIS-standardien teknisten alueiden jaot ja niitä vastaavat kirjainsymbolit.

Letter Symbol	Division
A	Civil Engineering and Architecture
B	Mechanical Engineering
C	Electronic and Electrical Engineering
D	Automotive Engineering
E	Railway Engineering
F	Shipbuilding
G	Ferrous Materials and Metallurgy
H	Nonferrous Materials and Metallurgy
K	Chemical Engineering
L	Textile Engineering
M	Mining
P	Pulp and Paper
Q	Management System
R	Ceramics
S	Domestic Wares
T	Medical Equipment and Safety Appliances
W	Aircraft and Aviation
X	Information Processing
Y	Service
Z	Miscellaneous

Kuva 7. JIS-standardien tekniset alueet ja niiden kirjainsymbolit [58].

Japanilla on oma sarja standardikoon putkia, jotka perustuvat ISO-standardien mukaan millimetreihin. Putkikokoja merkitään kirjaimella A, joka tarkoittaa metristä putken kokoa. Standardeissa kokoja voidaan myös merkitä kirjaimella B, joka tarkoittaa tuuman putkikokoja, kuten ASME-standardeissa. JIS-standardeissa käytetään ASME-standardien tapaisia putken seinämän paksuuksien SCH-mittasarjoja. [59.] Mittasarjat eivät kuitenkaan

mukaile ASME-standardien kokoja täysin, esimerkiksi ruostumattomalle teräkselle nimelliskoon DN600 ja seinämän paksuuden SCH 5S JIS-standardin mukainen seinämän paksuus on 5,5 mm ja ASME-standardin mukainen paksuus on 5,54 mm [60; 42, s. 5]. Lisäksi JIS-standardeissa on muista standardeista eroavia putkikomponentteja [61].

JIS-standardeissa nimellispaineille käytetään nimitystä K. JIS-standardin mukaisia paineluokkia ovat 5K, 10K, 15K, 20K ja 30K. Paineluokat ovat samantyyliisiä kuin eurooppalaiset PN-paineluokat, mutta eivät kuitenkaan vastaa niitä, sillä niiden mitoitus on erilainen. [62.] Standardin mukaisia teräslaippoja on nimelliskoosta 10A nimelliskokoon 1500A nimellispaineille 5K, 10K, 10K light type, 16K, 20K ja 30K. Nimellispaineen 10K kevytlaippoja (light type flanges) voidaan käyttää tasaiselle virtaukselle lämpötilassa 120 °C tai vähemmän, ja paineessa 0,7 MPa tai vähemmän. [63.]

Laippojen materiaalien tulee olla standardissa JIS B 2220 määriteltyjä, tai vastaavia mekaanisilta ominaisuuksiltaan ja korroosion kestoiltaan. Standardissa huomautetaan ASTM- ja ISO-materiaalien olevan vastaavia tai parempia ominaisuuksiltaan. [63].

4 Putkistosuunnittelu

Putkistosuunnittelu ja siinä käytettävät työkalut ovat kehittyneet viime vuosina paljon. Tehokkaista työkaluista huolimatta putkistosuunnittelu vaatii paljon työtä, sillä suunnittelu tehdään jokaiseen projektiin yksilöllisesti. [64.] Putkistosuunnittelua vaativat projektit voivat olla erikokoisia, pienimmissä projekteissa olemassa olevaan tehtaaseen voidaan lisätä yksi uusi putkilinja, ja suurimmissa projekteissa putkistosuunnittelu laaditaan kokonaan uudelle tehtaalle, ja jopa 10 000 putkilinjalle. [65.]

Putkistolla tarkoitetaan sisällön siirtämiseen tarkoitettuja putkiston osia, jotka on liitetty toisiinsa ja jotka voidaan yhdistää paineelliseen järjestelmään [7]. Putkistoilla voi olla erilaisia käyttötarkoituksia, mutta termillä prosessiputkisto viitataan yleensä putkijärjestelmään, joka kuljettaa fluideja, eli virtaavia väliaineita, teollisuusprosesseissa. Prosessiputkistojen lisäksi teollisuudessa käytetään käyttöhyödykeputkistoja, joita ovat esimerkiksi paineilmaputkistot. [25, s. 1.]

4.1 Putkistosuunnittelun tavoitteet

Putkistosuunnittelun päätavoitteena on määrittää ja asettaa laitteet, putkistot ja muut putkistovarusteet, jotka täyttävät asiaankuuluvat standardit ja lakisääteiset määräykset. Tavoitteena on löytää taloudellinen putken halkaisija ja seinämän paksuus putkistolle. Suunnitelluista putkilinjoista laaditaan tarvittaessa jännitysanalyysit, joissa tulee huomioida prosessin käynnistys- ja pysäytysvaiheet. [25, s. 18–19] Painelaitedirektiivi edellyttää, että suunnittelun on perustuttava laskentamenetelmään tai kokeelliseen menetelmään, jotta painelaitteen tai putkiston riittävä lujuus pystytään takaamaan [66, s. 20].

Putkistosuunnittelu sisältää putkiston reitittämisen, kannakoinnin, venttiilien ja instrumenttien sijoittamisen ja laiteliitäntöjen suunnittelun. Suunnitelluista putkistoista ajetaan materiaallistat, joiden perusteella putkistojen asentamiseen tarvittavat komponentit tilataan. Putkistosuunnittelussa ei ole yhtä oikeaa ratkaisua, mutta yksinkertaisilla ratkaisuilla voidaan säästää kustannuksissa. [64; 65.]

Putkistoon aiheutuu sen käyttöänsä aikana erilaisia kuormituksia. Kuormituksia aiheuttavat mm. putkiston sisäinen ja/tai ulkoinen paine, lämpötila, putkiston oma ja sen sisällön paino, ilmastolliset kuormat, syövyttävät aineet, sisällön dynaamiset vaikutukset, maaperän ja rakennusten liikkeet, värähtelyt ja maanjäristykset. Kuormitukset tulee huomioida suunnittelussa. [34, s. 7.] Putken seinämää kasvattamalla putken mekaaninen kestävyys kasvaa, mikä mahdollistaa suuremmat suunnittelupaineet. Paksuseinämäisillä putkilla joustavuus kuitenkin pienenee. [55.]

Putkistosuunnittelussa laaditaan paljon dokumentteja, kuten kannakekuvia, 3D-malleja, putkistopiirustuksia ja isometrejä. Isometrillä tarkoitetaan 2D-piirustusta, jossa kuvataan putken keskilinjan reitti, sekä komponenttien ja laitteiden sijainti. [67.] Lähtötietoina putkistosuunnittelussa tarvitaan yleiset ohjeet nimeämisistä, layout-suunnitelmat, PI-kaaviot, linjaluetelot, käytettävät putkiluokat ja varustetyypit, sekä laitepiirustukset. Kaikkia lähtötietoja ei kuitenkaan aina ole saatavilla suunnittelun alussa. [68.]

Putkistosuunnittelun työkaluna käytetään putkispesifikaatioita. Putkispesifikaatioissa määritellään putkien ja putkikomponenttien valintaa koskevat tiedot, kuten materiaalit, lämmön- ja paineenkestot, mitat ja virtaavat aineet. Lisäksi niissä määritellään oikean

tyyppiset tiivisteet, pultit ja laipat, sekä ilmoitetaan vastaavuudet standardeihin. Putkispesifikaatiot laaditaan tietyille laitokselle tai projektille erikseen, eivätkä ne ole voimassa muilla laitoksilla tai muissa projekteissa. [69.]

4.2 3D-suunnittelu

3D-suunnittelun käyttö on yleistynyt tehdas- ja putkistosuunnittelussa, ja saatavilla olevia suunnitteluohjelmia on paljon erilaisia. 3D-malleissa voidaan jakaa tietoa eri alojen välillä, ja suunnittelijat voivat työstää samanaikaisesti samaa mallia. 3D-malleihin voidaan tuoda ohjelman ulkopuolelta dataa, esimerkiksi pistepilvinä tai laserkeilauksina. 3D-mallien eduiksi voidaan lukea myös virheiden väheneminen suunnittelussa sekä aika- ja kustannussäästöt. Malleissa tehtävillä törmäystarkastelulla voidaan välttää putkiston asennusvaiheen ongelmia. 3D-suunnitteluohjelmista pystytään tulostamaan suoraan erilaisia dokumentteja, kuten materiaalilistoja ja isometrejä. [70.]

3D-ohjelmien taustalla ovat erilaiset referenssitiedostot ja kirjastot, joista pystytään suoraan luomaan tarvittavia objekteja 3D-malleihin. Objektit kuvastavat laitoksen oikeita komponentteja virtuaalimaailmassa. Jokainen objekti, kuten venttiili, pumppu tai putkikomponentti, sisältää suuria määriä attribuutteja, eli määritteitä, joiden mukaan objekti rakentuu. [70; 71.]

4.3 Putkimateriaalit

Yleisimmin käytettyjä putkimateriaaleja sellu- ja paperiteollisuudessa ovat ruostumattomat ja haponkestävät teräkset, sillä prosesseissa käytetään paljon korroosiota aiheuttavia nesteitä. Korroosiolle altistavia prosessipaikkoja sellun valmistuksesta löytyy esimerkiksi valkaisusta, jossa käytetään mm. klooridioksidia, natriumhydroksidia ja vetyperoksidia, ja haihduttamosta, jossa poltetaan mustalipeää. Virtaavien aineiden lämpötilojen noustessa aineiden epäpuhtauksien konsentraatiot kasvavat ja lisäävät korroosioalttiutta [2, s. 3].

Ruostumattomiksi teräksiksi luokitellaan teräkset, joiden hiilipitoisuus on enintään 1,2 prosenttia ja kromipitoisuus vähintään 10,5 prosenttia. Niiden pääseosaineita ovat kromi

ja nikkeli. Ruostumattomasta teräksestä valmistetut putket sallivat ohuemmat seinämän paksuudet kuin hiiliteräkset, sillä niiden korroosionkesto-ominaisuudet ovat paremmat. [72, s. 8; 73, s. 80.]

Ruostumattomat teräkset voidaan luokitella mikrorakenteen mukaan austeniittisiin, ferriittisiin ja martensiittisiin teräksiin. Näistä austeniittiset ovat eniten käytettyjä. Austeniittisillä ruostumattomilla teräksillä on hyvä korroosionkesto hapettavissa olosuhteissa ja molybdeeniseostettuina myös pelkistävässä olosuhteissa. Molybdeeniseostettuja teräksiä kutsutaan usein haponkestäviksi teräksiksi. Austeniittisillä teräksillä on suuret murto-
lujuudet matalissa lämpötiloissa, eikä niillä ole haurasmurtumataipumusta. [73, s. 78].
Vaativammassa olosuhteissa, joissa esimerkiksi paineet tai lämpötilat ovat suuria, tai virtaavat aineet voimakkaasti syövyttäviä, putkimateriaalina voidaan käyttää duplexia, lasikuitua tai titaania [74].

4.4 Putkiston osat

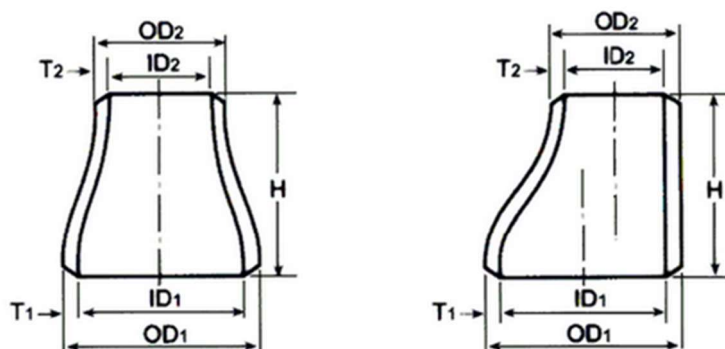
Putkistot koostuvat putkenosista, kuten käyristä, T-kappaleista, supistuskappaleista ja laipoista, sekä putkistovarusteista, kuten venttiileistä, palkeista, lauhteenpoistimista ja sokeointilevyistä. Putkistosuunnitteluun kuuluu erilaisten putkenosien, putkistovarusteiden ja yhteiden valinta. [25, s. 3.] Kuvassa 8 on esitetty erilaisia putkiston osia, joista 90 °:n käyrä on tyypillisin putkistoissa esiintyvä osa.



Kuva 8. Erilaisia putkistokomponentteja [75].

Putkiston haaroitukset tehdään T-kappaleilla tai istutetuilla T-haaroilla. T-kappaleet voivat olla supistavia tai täysikokoisia ja ne ovat kestävämpiä kuin istutetut T-haarat. Istutettu T-haara on usein kuitenkin T-kappaletta edullisempi vaihtoehto. Istutukset voidaan vahvistaa vahvistuslevyillä. [32.]

Supistuskappaleita käytetään joko pienentämään, tai suurentamaan putkikokoa. Supistuskappaleet voivat olla keskeisiä tai epäkeskeisiä. [76.] Kuvassa 9 on esitetty vasemmalla keskeinen supistuskappale ja oikealla epäkeskeinen supistuskappale.



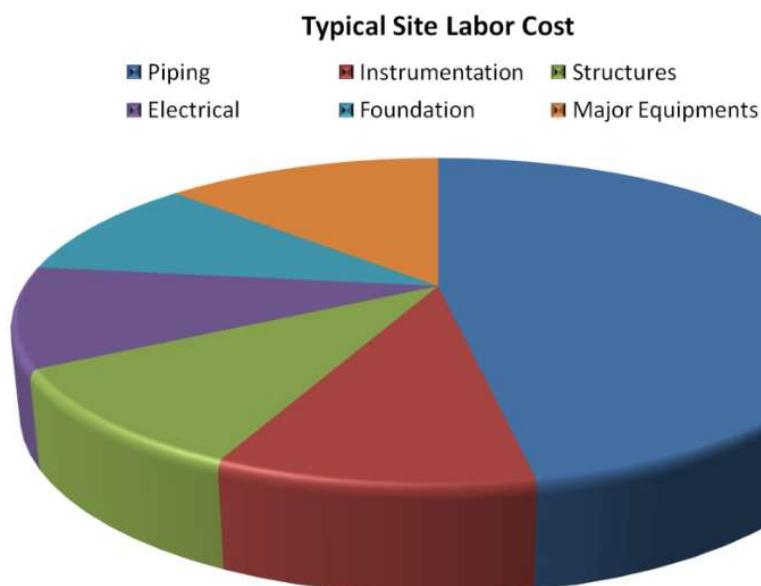
Kuva 9. Keskeinen ja epäkeskeinen supistuskappale [77].

Keskeinen supistuskappale on symmetrinen ja epäkeskeinen epäsymmetrinen. Kuvasta 9 nähdään, että epäkeskeisen supistuskappaleen poikkileikkauksessa toinen sivu on suora, eivätkä päiden keskihalkaisijat ole linjassa keskenään. Epäkeskeisiä supistuskappaleita käytetään mm. pumppujen imulinjoissa, jotta pystytään varmistamaan, että ilmaa ei pääse kerääntymään putkeen. [76.]

Venttiilien päätehtäviä putkistoissa ovat virtauksen sulku, kuristus, säätö ja takaisin virtauksen esto. Venttiilit voivat olla automaattitoimisia, tai käsiventtiileitä. Niiden valintaan vaikuttavat esimerkiksi prosessiolosuhteet, venttiilin koko ja putkilinja. Suurin osa käsiventtiileistä on pieniä palloventtiileitä ja suuremmat läppäventtiileitä. Varoventtiileitä käytetään laitteiston tai putkiston suojaamiseen ylipaineelta. [78.]

5 Putkistojen kustannukset

Putkistojen kustannukset muodostuvat mm. putkiston tarkastusvaatimuksista, eristyksestä, kannakoinnista, materiaaleista ja asennuksesta. Putkilinjojen erilaiset komponentit ja niiden määrät nostavat kustannuksia, sillä komponentit ovat tavallisesti kalliimpia kuin suorat putken osuudet. [68.] Kuvassa 10 on esitetty tyypillinen laitospöytäprojektin asennuskustannusten jakautuminen.



Kuva 10. Tyypillinen asennuskustannusten jakautuminen [79].

Kuvasta havaitaan, että putkistot aiheuttavat merkittävän osan laitosprojektin asennuksien kokonaiskustannuksista.

5.1 Materiaalien kustannukset

Eri materiaalien kustannukset vaihtelevat merkittävästi. Materiaalien osuus putkiston kustannuksista voi olla noin 30 prosenttia, mutta harvinaisilla materiaaleilla vielä enemmän. Putken materiaalin metrihinta määräytyy käytettävän materiaalin, putkikoon ja seinämän paksuuden perusteella. [25, s. 26.]

Hiiliteräksestä valmistetut putket ovat edullisia, mutta putken halkaisijan kasvaessa hiiliteräsputkien seinämän paksuudet kasvavat merkittävästi, jotta putken lujuusominaisuudet säilyvät. Seinämän kasvaessa putken massa kasvaa, jolloin myös kustannukset nousevat. Suurempia putkiston lujuuksia tarvittaessa valitaan seosaineita sisältäviä putkimateriaaleja, jolloin päästään putkiston valmistamisen kannalta optimaaliseen seinämänpaksuuden ja halkaisijan suhteeseen. [74.]

Austeniittisen teräksen hintaan vaikuttaa teräksessä käytettyjen seosaineiden hinnat. Seosaineista erityisesti nikkelin ja molybdeenin hinnat vaikuttavat merkittävästi teräksen kokonaishintaan. Molybdeeniseostetut, eli haponkestävät teräkset, ovat ruostumattomia teräksiä arvokkaampia. Terästen markkinahinnat koostuvat perushinnasta sekä seosainelisästä, ja ne voivat vaihdella vuosittain ja eri maanosissa. Lisähintaa teräkselle aiheuttaa mahdolliset pintakäsittelyt, kuten kuumasinkitys. [80.] Pintakäsittelyn takia pienissä kokoluokissa hiiliteräsputkisto voi tulla kalliimmaksi kuin austeniittisestä teräksestä valmistettu putkisto [68].

Osien saatavuudesta johtuen putkimateriaalien hintaerot voivat olla huomattavia levytavarahan verrattuna. Materiaalien lisäksi eri standardien mukaisilla osilla saatavuus ja kustannukset vaihtelevat, esimerkiksi SSG-osien saatavuus on huonompaa kuin EN-osien. ASME-standardien putket ja komponentit ovat tyyppillisesti paksuseinäisempiä, mutta suurten valmistusmäärien takia ne voivat olla edullisempia kuin vastaavat EN-standardien osat. Lisäksi EN-standardien osilla saatavuus voi olla vaikeaa Euroopan ulkopuolella. Putken seinämän paksuutta valitessa tulee huomioida saatavuus, sillä pitkien toi-

mitusaikojen takia optimaaliset seinämän paksuudet kannattaa korvata paksummilla seinämillä. Joskus toimittajalla voi kuitenkin olla erikoisia, ei-standardoituja, seinämän paksuuksia valmiina saatavilla varastossa, jolloin niiden tilaaminen voi olla kustannustehokkaampaa. [68.]

5.2 Toimitusajat

Erikoismateriaaleja ja -komponentteja tilatessa tulee ottaa huomioon toimitusajat suunnitteluajakautuksessa, sillä toimitusajat voivat olla huomattavan pitkiä [55]. Toimitusajat vaihtelevat erikoismateriaaleilla ja -komponenteilla paljon, sillä pientä määrää ei välttämättä valmisteta tuotantolaitoksella erikseen [68].

Tyypillisesti hiiliteräksisten saumattomien ja saumallisten standardiseinämaisten putkien, sekä putken osien toimitukset tehdään nopeina varastotoimituksina tai tehdastoimituksina. Tehdastoimituksissa toimitusajat ovat varastotoimituksia pidempiä, noin 2–4 kuukautta. Austeniittisten saumallisten teräspankputkien pienten paineluokkien mukaiset osat tehdään yleensä varastotoimituksina, jolloin toimitusaika on 0–4 viikkoa. Myös saumattomien ASME-osien toimitusajat ovat tyypillisesti 0–4 viikkoa ja muiden osien toimitusajat vaihtelevat tapauskohtaisesti. Erikoiskomponenteilla toimitusajat voivat olla jopa 8 kuukautta. Toimitusajat tulee kuitenkin aina varmistaa toimittajalta etukäteen. [74; 68.]

6 Putkilinjojen suunnittelu

Työhön valittiin 6 erilaista putkilinjaa vertailuun aiemmin toteutetuista projekteista. Alkuperäiset putkilinjat suunniteltiin uudelleen eri standardien mukaisiksi, ja kaikille putkilinjoille laskettiin kokonaismassat. Lähtötietoina alkuperäisistä putkilinjoista oli käytössä putkispesifikaatiot, suunnittelupaineet ja -lämpötilat, materiaalit sekä isometrit. Isometreistä saatiin tiedot putkiston osista, sekä osien mitoista.

6.1 Materiaalin valinta

Materiaalit valittiin alkuperäisiä putkilinjojen materiaaleja vastaaviksi. Materiaalin valinnassa käytettiin apuna standardin SFS-EN 10088-1 liitteen A ISON standardisoimien ruostumattomien terästen ja muiden vastaavien ruostumattomien terästen nimikkeiden vertailua. Taulukkoon 3 on listattu työssä käytetyt materiaalit eri standardien nimikkeineen.

Taulukko 3. Materiaalien nimikkeet standardeittain. [73, s. 44, 46.]

Materiaali	EN /SSG	ASME	JIS
ruostumaton teräs	1.4307	304L	SUS304L
haponkestävä teräs	1.4432	316L	SUS316L

PSK:n putkiluokissa ruostumattomalle teräkselle materiaalitunnus oli H1 ja haponkestävälle teräkselle H2. Vastaavasti SSG PED -putkiluokissa ruostumattoman teräksen materiaalitunnus oli SS ja haponkestävän AS. ASME-standardeissa materiaalit on ryhmitelty eri materiaalispesifikaatioihin, mutta näihin perehtyminen rajattiin työn ulkopuolelle. ASME-linjojen materiaalispesifikaatiot valittiin aiemmissa projekteissa samankaltaisissa putkilinjoissa käytettyjen materiaalispesifikaatioiden mukaan.

6.2 Putkilinjojen mallinnus

Työssä yksinkertaistettiin alkuperäisiä putkilinjoja rajaamalla käytettävät putkiston osat suoriin putkiin, käyriin, T-kappaleisiin ja supistuskappaleisiin. Yksinkertaistetut putkilinjat mallinnettiin AVEVA Everything 3D -suunnitteluohjelmalla, eli E3D-ohjelmalla, ensin alkuperäisellä putkispesifikaatiolla. Putkilinjojen mallintamisessa ei huomioitu ilmansuuntia ja koordinaatteja, sillä ne eivät olleet merkittäviä työn kannalta.

Mallinnetuista alkuperäisistä putkilinjoista tehtiin kopiot, joiden putkispesifikaatiot muutettiin halutun standardin mukaisiksi. E3D-ohjelmassa putkispesifikaatiot sisältävät tiedot materiaaleista ja osien mitoista, joten spesifikaatiota muuttamalla putkilinjan komponentit vaihtuivat automaattisesti halutun spesifikaation mukaisiksi. Kaikista mallinnetuista put-

kiloinjoista ajettiin isometrit, joihin ohjelma määrittä linjan osille massat, sekä suorien putkiosuuksien pituudet. Suorien putkiosuuksien pituuksissa ilmeni vaihtelevuutta putkilinjaryhmän sisällä, sillä eri standardeilla komponenttien mitat ovat erilaisia.

Ongelmaksi muodostui JIS-spesifikaatioista puuttuvat massatiedot, joten nämä laskettiin likimääräisesti käsin. Lisäksi E3D-ohjelman putkispesifikaatiokirjastossa ei ollut kaikkia tarvittavia spesifikaatioita. Puuttuville putkispesifikaatioille pystyttiin hyödyntämään saman paineluokan, mutta eri materiaalin spesifikaatioita. Taulukossa 4 on esitetty putkilinjojen ryhmät, standardit joilla ryhmän alkuperäinen putki oli suunniteltu, sekä standardit, joilla ryhmän putkilinjat mallinnettiin.

Taulukko 4. Putkilinjojen ryhmät, alkuperäiset standardit ja standardit, joilla ryhmän putkilinjat mallinnettiin.

Putkilinjaryhmät	Alkuperäinen standardi	SSG	JIS	ASME	EN
Ryhmä 1	SSG	x		x	x
Ryhmä 2	JIS	x	x	x	x
Ryhmä 3	ASME			x	x
Ryhmä 4	EN	x		x	x
Ryhmä 5	ASME	x		x	x
Ryhmä 6	ASME	x		x	x

Taulukosta nähdään, että JIS-standardin mukaisia putkilinjoja saatiin vertailuun vain yksi, joka oli alkuperäinen JIS-linja. Ryhmän 3 linjoihin ei saatu vertailuun SSG-versiota.

6.3 ASME-putkilinjojen mitoitus

Työssä mitoitettiin ASME-putkilinjat ASME B31.1 -standardin mukaan. Standardi antaa mitoitusohjeet suorille putkille, taivutuksille, haaroituksille, päädyle, laipoille ja suuttimille [81]. Suunnittelussa käytettiin alkuperäisen putkilinjan lähtötietoina annettuja suunnittelupaineita ja suunnittelulämpötiloja. Putkilinjat mitoitettiin laskemalla suoralle putkelle pienin vaadittu seinämän paksuus. Hitsatun suoran putken seinämänpaksuus laskettiin kaavalla 1, kun mitoituksen lähtöarvona oli putken ulkohalkaisija.

$$t_m = \frac{PD_o}{2(SEW+Py)} + A \quad (1)$$

t_m on pienin vaadittu seinämänpaksuus [mm]

P on sisäinen suunnittelupaine [MPa]

D_o on standardoitu putken ulkohalkaisija [mm]

SE on suurin sallittu materiaalin jännitys suunnittelulämpötilassa [MPa]

W on hitsausliitoksen lujuuden vähennyskerroin

y on taulukoitu kerroin

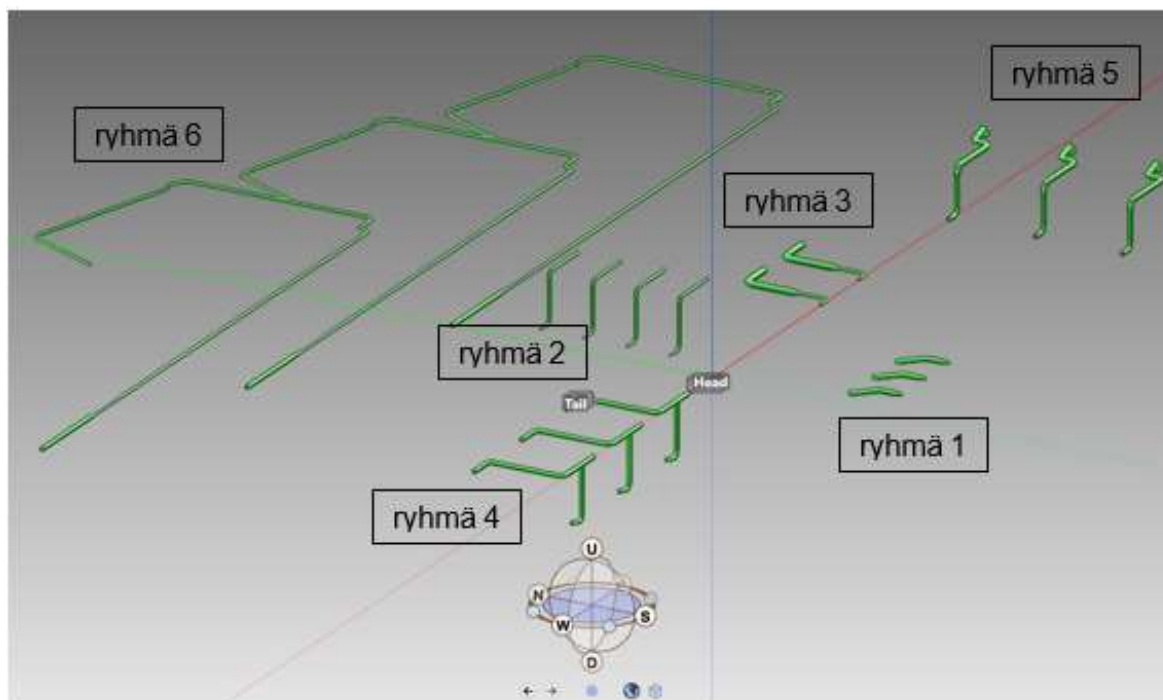
A on paksuuslisien summa [mm].

Suurimman sallitun, sisäisestä paineesta johtuvan, materiaali-jännityksen, SE , arvot luettiin standardin ASME B31.1 liitteen A taulukoista. Laskennassa käytettiin taulukon A-3 (ruostumattomat teräkset) ja materiaalispesifikaation A358 arvoja materiaaleille 304L ja 316L. Taulukoidut SE -arvot sisälsivät hitsausliitoksen kestävyyskerroimen E . Taulukoissa SE -arvot annettiin 100 °F:n välein, joten lämpötilojen väliarvot interpoloitiin lineaarisesti. [81.]

Kaavassa paksuuslisien summa, A , määräytyy käytettävän materiaalin mukaan ja se sisältää kaikki komponentin valmistuksesta ja käytöstä aiheutuvat seinämän ohenemiset. Paksuuslisät muodostuivat tässä työssä seinämän paksuuden toleranssista, joka oli 12,5 prosenttia. [81.]

7 Putkilinjojen toteutus ryhmittäin

Seuraavassa on esitetty putkilinjojen toteutus ryhmittäin. Ryhmät muodostuvat alkupe-
räisestä linjasta, sekä sen perusteella suunnitelluista, eri standardien mukaisista, lin-
joista. Kuvassa 11 on esitetty E3D-ohjelmalla mallinnetut putkilinjat.



Kuva 11. Kuvakaappaus mallinnetuista putkilinjoista E3D-ohjelmassa.

Kuvassa oikealla olevat lyhyimmät putkilinjat ovat ryhmän 1 (jossa alkuperäinen standardi oli SSG) linjoja, edessä keskellä ryhmän 4 (alkuperäinen standardi EN) linjoja ja vasemmalla pisimmät linjat ryhmän 6 (alkuperäinen standardi ASME) linjoja. Keskellä olevat 4 linjaa ovat ryhmän 2 (alkuperäinen standardi JIS) linjoja, seuraavat 2 linjaa ovat ryhmän 3 (alkuperäinen standardi ASME) linjoja ja oikealla takana olevat linjat ryhmän 5 (alkuperäinen standardi ASME) linjoja.

Taulukkoon 5 on koottu putkilinjaluetelo kaikista työn putkilinjoista ja niiden lähtötie-
doista.

Taulukko 5. Putkilinjat ja niiden lähtötiedot.

Alkuperäinen standardi	Putkilinjatunnus	Standardi	Materiaali	Koko	Suunnittelupaine, bar	Suunnittelulämpötilä, °C
SSG	1-SSG-PUB-600-MAS25A	SSG	1.4432	DN600	15	180
	1-EN-PUB-600-E25H2A	EN	1.4432			
	1-ASME-PUB-600-ANSI10S	ASME	316L			
JIS	2-JIS-PUB-400-10K-SUS304	JIS	SUS304	DN400	9,5	95
	2-EN-PUB-400-E16H1A	EN	1.4307			
	2-ASME-PUB-400-ANSI5S	ASME	304L			
	2-SSG-PUB-400-MSS16A	SSG	1.4307			
ASME	3-ASME-PUB-700-30H40	ASME	316L	DN700	21	95
	3-EN-PUB-700-25H2A	EN	1.4432			
EN	4-EN-ELM-500-E16H1A	EN	1.4307	DN500	11	145
	4-ASME-ELM-500-ANSI5S	ASME	304L			
	4-SSG-ELM-500-MSS16A	SSG	1.4307			
ASME	5-ASME-PUB-600-10H24	ASME	304L	DN600	5	100
	5-EN-PUB-600-E6H1A	EN	1.4307			
	5-SSG-PUB-600-MSS10A	SSG	1.4307			
ASME	6-ASME-WCC-500-10H40	ASME	316L	DN500	6	45
	6-EN-WCC-500-E10H2A	EN	1.4432			
	6-SSG-WCC-500-MAS10A	SSG	1.4432			

Putkilinjatunnuksissa on käytetty omaa nimeämiskäytäntöä. Tunnuksen ensimmäinen osa kertoo putkilinjan ryhmän numeron, toinen putkilinjan suunnittelustandardin, kolmas virtaavan aineen, neljäs linjan nimellissuuruuden DN-kokona ja viides putkispesifikaation. Lyhenne PUB tarkoittaa valkaisuamatonta sellumassaa, ELM mustalipeää ja WCC jäähdätyksen kierrätysvettä.

7.1 Putkilinjaryhmä 1 (SSG)

Ensimmäisen putkilinjaryhmän alkuperäinen putkilinja oli toteutettu SSG-standardin mukaisesti MAS25A-putkiloukalla. Putkilinjan materiaali oli 1.4432 (haponkestävä teräs), suunnittelupaine 15 baaria ja suunnittelulämpötila 180 °C. Virtaava väliaine putkistossa oli valkaisuamaton sellumassa. Alkuperäisen putkilinjan osat rajattiin

- suoraan putkeen (DN600)
- kahteen keskeiseen supistuskappaleeseen (DN600x400 ja DN400x300)
- 45 °:n käyrään (R=D+100).

Liitteen 1 kuvassa 1 on esitetty esimerkkinä 1-SSG-MPO-600-MAS25A-linjan isometri. Isometrit tulostuivat A2-kokoisina, joten samassa liitteessä on esitetty myös suurennokset isometrin putkilinjasta (liite 1, kuva 2), sekä komponenttiluettelosta (liite 1, kuva 3).

Alkuperäinen SSG-putkilinja suunniteltiin uudelleen EN- ja ASME-standardeilla. Materiaalin ja suunnitteluarvojen perusteella EN-linjan putkiluokaksi valittiin E25H2A. ASME-linjan materiaaliksi valittiin taulukon 4 mukaan 316L ja putken seinämän paksuus laskettiin ASME B31.1 -standardin mukaisesti kaavalla 1. Seinämän paksuuden laskenta on esitetty liitteessä 2. Pienimmäksi vaadituksi seinämänpaksuudeksi saatiin n. 6,11 mm, joten ASME B36.19M -standardista valittiin tätä suurempi, seuraava seinämänpaksuus 6,35 mm, eli mittasarja SCH 10S. Ensimmäisen putkilinjaryhmän komponenttien massat on esitetty liitteen 3 taulukoissa 1–3.

7.2 Putkilinjaryhmä 2 (JIS)

Toisen putkilinjaryhmän alkuperäinen putkilinja oli toteutettu JIS-standardien mukaisesti putkispesifikaatiolla 10K-SUS304. Spesifikaatiossa 10K tarkoitti paineluokkaa ja SUS304 materiaalia, joka oli ruostumaton teräs. Suunnittelupaineena oli 9,5 baaria ja suunnittelulämpötilana 95 °C. Virtaava väliaine putkistossa oli valkaisuamaton massa. Alkuperäisen putkilinjan osat rajattiin

- suoraan putkeen (DN400)
- keskeiseen supistuskappaleeseen (DN400x200)
- 90 °:n käyrään.

E3D-ohjelman putkispesifikaatiokirjastossa ei ollut valmiina 10K-SUS304-spesifikaatiota, mutta se saatiin kopioitua ohjelmaan alkuperäisestä projektista. Putkilinja mallinnettiin kyseisellä putkispesifikaatiolla ja siitä ajettiin isometri. Isometristä huomattiin, että 10K-SUS304-putkispesifikaatio ei sisältänyt massatietoja putkiston komponenteille, joten massat laskettiin käsin.

Suoralle putkelle laskettiin yksikkömassa (W) JIS G 3468 -standardin mukaisesti (kaava 2). Kaava on määritetty materiaalille SUS304TPY. Materiaalin valmistukseen liittyvä lisämäärite TPY oli määritetty E3D-ohjelman putkispesifikaatiossa, joten se tulostui isometrin tietoihin, ja laskentakaava valittiin sen mukaisesti.

$$W = 0,02491t(D - t) \quad (2)$$

W on putken yksikkömassa [kg/m]

t on putken seinämän paksuus [mm]

D on putken ulkohalkaisija [mm].

Suoralle putkelle laskettiin massatieto kaavalla 3.

$$\text{Suoran putken massa} = \text{putken pituus} \times W \quad (3)$$

W on putken yksikkömassa [kg/m].

Supistuskappaleen massalaskennassa käytettiin katkaistun suoran ympyräkartion tilavuuden kaavaa 4 [9, s. 30]. Kaavalla 4 laskettiin tilavuudet supistuskappaleen ulko- ja sisämittoille. Ulkomittojen tilavuudesta vähennettiin sisämittojen tilavuus, jolloin tulokseksi saatiin supistuskappaleen seinämän tilavuus.

$$V = \frac{\pi h}{12} (D_1^2 + D_1 D_2 + D_2^2) \quad (4)$$

V on suoran ympyräkartion tilavuus [mm³]

h on suoran ympyräkartion korkeus [mm]

D_1 on kartion suurempi halkaisija [mm]

D_2 on kartion pienempi halkaisija [mm].

Käyrän massalaskennassa käytettiin suoran ympyrälieriön tilavuuden kaavaa 5. Ympyrälieriön korkeutena (h) käytettiin käyrän keskihalkaisijan pituutta, joka on yhtä suuri kuin neljäsosa ympyrän piiristä (kaava 6). [9, s. 29.]

$$V = \frac{\pi d^2 h}{4} \quad (5)$$

Kaavalla 6 laskettuun kaavassa 5 käytetty ympyrälieriön korkeus.

$$h = \frac{2\pi R}{4} \quad (6)$$

V on ympyrälieriön tilavuus [mm³]

d on ympyrälieriön halkaisija [mm]

h on ympyrälieriön korkeus [mm]

R on ympyrälieriön säde [mm].

Laskut on esitetty liitteessä 4. Käsien lasketut massat ovat vain likimääräisiä, sillä laskennassa ei huomioitu materiaalin tai mittojen toleransseja. Suoralle putkelle massaksi saatiin 528,6 kg, supistuskappaleelle 13,6 kg ja käyrälle 47,9 kg. Massat eivät eroa merkittävästi muiden ryhmän 2 putkilinjojen komponenttien massoista, joten voitiin olettaa, että ne ovat lähellä komponenttien todellisia massoja.

EN-linjalle putkiluokaksi valittiin E16H1A. ASME-linjalle laskettiin seinämänpaksuus kaavalla 1. ASME-linjan mitoitus on esitetty liitteessä 5. Pienimmäksi vaadituksi seinämänpaksuudeksi saatiin n. 2,20 mm, joten ASME B36.19M -standardista valittiin tätä suurempi seuraava seinämänpaksuus 4,19 mm, eli mittasarja SCH 5S. E3D-ohjelman kirjastossa ei ollut kyseiselle mittasarjalle putkispesifikaatiota, jossa olisi materiaalina ollut ruostumaton teräs, joten mallinnuksessa käytettiin spesifikaatiota, jossa mittasarja oli oikea (SCH 5S), mutta materiaalina oli haponkestävä teräs.

SSG-linjalle putkiluokaksi valittiin MSS16A. SSG-linjaa mallinnettaessa huomattiin, että SSG-standardeissa ei ole määritelty koon DN400x200 supistuskappaletta, joten linja mallinnettiin yhdellä koon DN400x350 supistuskappaleella ja yhdellä koon DN350x200 supistuskappaleella. Lisäksi putkispesifikaatiokirjastosta puuttui MSS16A-spesifikaatio, joten mallinnuksessa käytettiin MAS16A-spesifikaatiota. MAS16A-spesifikaatiossa on samat mitat putkenosilla kuin MSS16A-spesifikaatiossa, mutta materiaalina on haponkestävä teräs. Toisen putkilinjaryhmän komponenttien massat on esitetty liitteen 3 taulukoissa 4–7.

7.3 Putkilinjaryhmä 3 (ASME)

Kolmannen putkilinjaryhmän alkuperäinen putkilinja oli toteutettu ASME-standardien mukaisesti. Putkilinjassa oli käytetty DN700 putkelle erikoisseinämänpaksuutta 12 mm, sillä ASME B36.10M -standardissa ei ole standardoitu kyseistä putkikokoa. Materiaali oli haponkestävä teräs (316L), suunnittelupaine 21 baaria ja suunnittelulämpötila 95 °C. Virtaavana väliaineena putkistossa oli valkaisuamaton massa. Alkuperäinen putkilinja oli toteutettu 30H40-putkispesifikaatiolla, joka oli projektikohtainen spesifikaatio. Alkuperäisen putkilinjan osat rajattiin

- suoriin putkiin (DN700 ja DN400)
- keskeisiin supistuskappaleisiin (DN700x600, DN600x400 ja DN400x350)
- 90 °:n käyriin (Long Radius).

EN-linjalle valittiin putkiluokaksi E25H2A. SSG PED -putkiluokkien standardoimat putkikoot loppuvat paineluokalle PN 25 kokoon DN600, joten SSG-linjaa ei saatu vertailuun mukaan. Kolmannen putkilinjaryhmän komponenttien massat on esitetty liitteen 3 taulukoissa 8–9.

7.4 Putkilinjaryhmä 4 (EN)

Neljännän putkilinjaryhmän alkuperäinen putkilinja oli toteutettu EN-standardin mukaisesti E16H1A-putkiluokalla. Materiaali oli ruostumaton teräs (1.4307), suunnittelupaine 11 baaria ja suunnittelulämpötila 145 °C. Virtaavana väliaineena putkistossa oli mustaliipeä. Alkuperäisen putkilinjan osat rajattiin

- suoriin putkiin (DN500)
- T-kappaleeseen (DN500x500)
- 90 °:n käyriin (tyyppi A, 3D).

SSG-linjan putkiluokaksi valittiin MSS16A. Linja mallinnettiin MAS16A-putkispesifikaatiolla, kuten aiemmin ryhmän 2 SSG-putkilinjassa. ASME-linjan seinämänpaksuus laskettiin kaavalla 1. ASME-linjan mitoitus on esitetty liitteessä 6. Pienimmäksi vaadituksi seinämänpaksuudeksi saatiin n. 3,51 mm, joten ASME B36.19M -standardista valittiin

tätä suurempi seuraava seinämänpaksuus 4,78 mm, eli mittasarja SCH 5S. ASME-linja mallinnettiin käyttämällä haponkestävän teräksen putkispesifikaatiota, kuten aiemmin ryhmän 2 ASME-putkilinjassa. Neljännen putkilinjaryhmän komponenttien massat on esitetty liitteen 3 taulukoissa 10–12.

7.5 Putkilinjaryhmä 5 (ASME)

Viidennen putkilinjaryhmän alkuperäinen putkilinja oli toteutettu ASME-standardien mukaisesti. Materiaali oli ruostumaton teräs (304L), suunnittelupaine 5 baaria ja suunnittelulämpötila 100 °C. Seinämän paksuuden mittasarjana oli SCH 5S. Alkuperäinen linja oli toteutettu 10H24-putkispesifikaatiolla, joka oli projektikohtainen spesifikaatio. Putkilinjan mallinnuksessa käytettiin E3D-ohjelman putkispesifikaatiokirjastossa valmiina olevaa ANSI 5S-spesifikaatiota, jossa komponenttien mitat olivat samat, mutta materiaalina haponkestävä teräs. Virtaavana aineena putkistossa oli valkaisuainemassaa. Alkuperäisen putkilinjan osat rajattiin

- suoriin putkiin (DN500 ja DN600)
- keskeiseen supistuskappaleeseen (DN600x500)
- 90 °:n käyriin (Long Radius).

EN-linjalle valittiin putkiluokaksi E6H1A ja SSG-linjalle MSS10A. SSG-linja mallinnettiin MAS10A-putkispesifikaatiolla, sillä E3D-ohjelman kirjastosta puuttui MSS10A-spesifikaatio. Spesifikaatioissa erona oli vain materiaali, kuten aiemmissa tapauksissa. Viidennen putkilinjaryhmän komponenttien massat on esitetty liitteen 3 taulukoissa 13–15.

7.6 Putkilinjaryhmä 6 (ASME)

Kuudennen putkilinjaryhmän alkuperäinen putkilinja oli toteutettu ASME-standardien mukaisesti. Putkilinja valittiin vertailuun, sillä se oli huomattavasti pidempi kuin muut putkilinjat, ja suunnitteluarvot olivat pienemmät, joten kyseessä oli muita linjoja ”tyypillisempi” linja. Materiaali oli haponkestävä teräs (316L), suunnittelupaine 6 baaria ja suunnittelulämpötila 45 °C. Virtaavana aineena putkistossa oli jäähdytyksen kierrätysvesi. Alkuperäisen putkilinjan osat rajattiin

- suoriin putkiin (DN500, DN400 ja DN300)
- epäkeskeisiin supistuskappaleisiin (DN500x400 ja DN400x300)
- 90 °:n käyriin (Long Radius).

EN-linjalle valittiin putkiluokaksi E10H2A ja SSG-linjalle MAS10A. Kuudennen putkilinjaryhmän komponenttien massat on esitetty liitteen 3 taulukoissa 16–18.

8 Tulokset

Seuraavassa on esitetty työn tulokset sekä pohdittu virhe- ja epävarmuustekijöitä. Työn tulokset on annettu massoina (kg), sillä eri lähteiden ja valmistajien putkien hankintahinnoissa esiintyy vaihtelua. Lisäksi putkikomponenttien hinnoittelu on erilainen kuin suoran putken. Taulukkoon 6 on koottu putkilinjojen kokonaismassat. Taulukossa on korostettu punaisella putkilinjaryhmän painavin putkilinja.

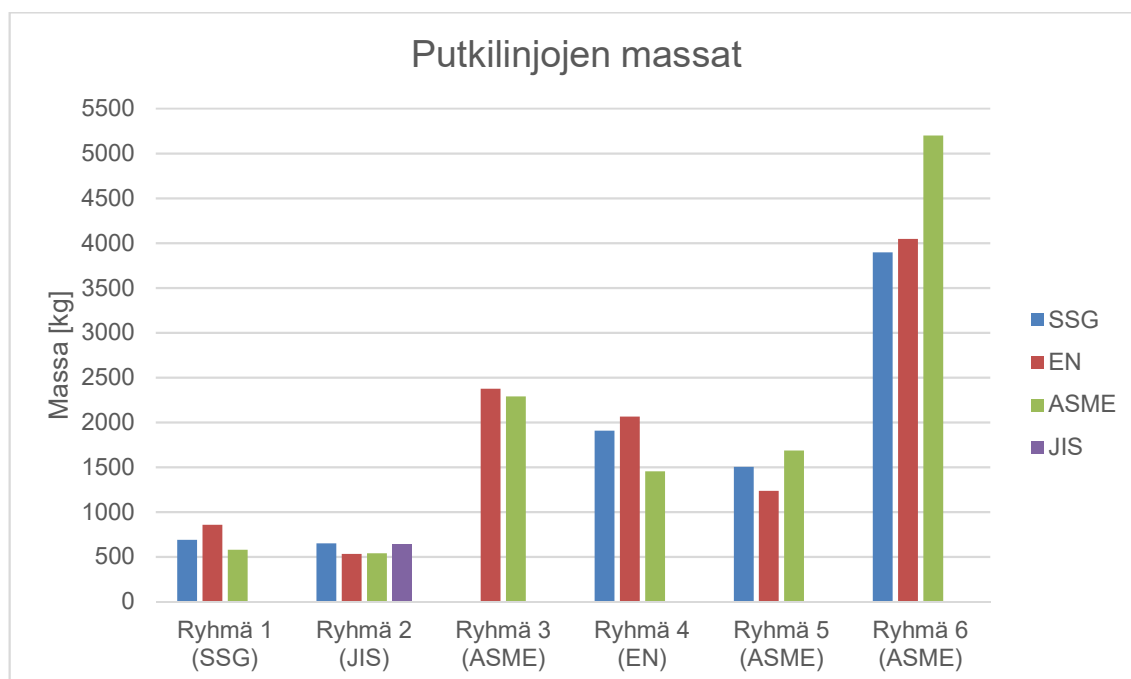
Taulukko 6. Putkilinjojen kokonaismassat.

Putkilinja-ryhmä	Alkuperäinen standardi	Putkilinjatunnus	Standardi	Massa, kg
1	SSG	1-SSG-PUB-600-MAS25A	SSG	689,16
		1-EN-PUB-600-E25H2A	EN	859,22
		1-ASME-PUB-600-ANSI10S	ASME	578,68
2	JIS	2-JIS-PUB-400-10K-SUS304	JIS	638
		2-EN-PUB-400-E16H1A	EN	533,91
		2-ASME-PUB-400-ANSI5S	ASME	540,34
		2-SSG-PUB-400-MSS16A	SSG	651,03
3	ASME	3-ASME-PUB-700-30H40	ASME	2288,55
		3-EN-PUB-700-25H2A	EN	2377,28
4	EN	4-EN-ELM-500-E16H1A	EN	2065,61
		4-ASME-ELM-500-ANSI5S	ASME	1455,79
		4-SSG-ELM-500-MSS16A	SSG	1909,66
5	ASME	5-ASME-PUB-600-10H24	ASME	1686,83
		5-EN-PUB-600-E6H1A	EN	1236,66
		5-SSG-PUB-600-MSS10A	SSG	1504,69
6	ASME	6-ASME-WCC-500-10H40	ASME	5198,53
		6-EN-WCC-500-E10H2A	EN	4046,25
		6-SSG-WCC-500-MAS10A	SSG	3895,45

Taulukosta nähdään, että 50 prosentissa ryhmistä ryhmän painavin putkilinja oli EN-standardin mukainen linja. Tämä eroaa alkuperäisestä olettamuksesta, jonka mukaan ASME-standardien mukaan suunniteltujen putkilinjoiden ajateltiin olevan painavimpia, johtuen seinämän paksuuden SCH-mittasarjoista. Kuitenkin ryhmien 5 ja 6 tulokset, joissa EN-linjat olivat kevyempiä kuin ASME-linjat, tukevat alkuperäistä olettamusta.

Putkilinjoiden massoista laadittiin myös vertailua havainnollistava pylväsdiagrammi (taulukko 7), jossa x-akselilla on esitetty putkilinjaryhmät numeroituina ja y-akselilla putkilinjan massa kilogrammoina. X-akselilla ryhmän jälkeen on suluisissa ilmoitettu ryhmän alkuperäinen standardi. Siniset pylväät kertovat SSG-standardien mukaan mallinnettujen linjojen massat, punaiset EN-standardien mukaisten linjojen massat, vihreät ASME-standardien mukaisten linjojen massat ja violetti pylväs JIS-standardin mukaisen putkilinjan massan.

Taulukko 7. Putkilinjoiden massojen vertailu.



Pylväsdiagrammista havaitaan, että EN- ja SSG-standardien mukaan suunniteltujen putkilinjoiden massat eivät eroa merkittävästi toisistaan. Tämä johtuu yhdenmukaistetuista EN-standardeista, joihin kummankin standardin mukainen putken mitoitus perustuu, jo-

ten ne ovat samankaltaisia. JIS-putkilinjoja ei saatu vertailuun mitoitusohjeiden puuttumisen takia. Alkuperäisen JIS-putkilinjan käsin lasketuissa komponenttien massoissa ei ole huomioitu materiaalin tai mittojen toleransseja, joten JIS-putkilinjan kokonaismassa on vain likimääräinen.

Ryhmissä 1–3 erot ovat pieniä. Ryhmien 1 ja 2 pienien erojen oletetaan johtuvan metrimäärältään lyhyistä putkilinjoista, vaikka linjat olivat halkaisijaltaan suuria. Ryhmän 3 massojen samankaltaisuuteen oletetaan vaikuttavan ASME-linjan erikoisseinämän paksuus. Erikoisseinämän paksuuksilla voidaan valita tarkemmin seinämän paksuus, kuin SCH-mittasarjoilla. Lisäksi EN-standardeissa seinämän paksuuksia on määritetty tiheämmin eri putkiko'oilte, kuin ASME-standardeissa.

Tulosten kannalta merkittävin ero putkilinjojen massoista löytyy ryhmän 6 ASME- ja EN-linjojen väliltä. Ryhmässä 6 suunnitteluarvot olivat pienet ja putkilinja pitkä, joten kyseessä oli sellu- ja paperiteollisuudelle muita linjoja tyypillisempi putkilinja. Työssä suunniteltujen ASME-linjojen massoja tarkasteltaessa tulee huomioda, että tässä työssä putkilinjojen mitoitukset on tehty suoran putken pienimmän vaaditun seinämän paksuuden mukaan, eikä komponenttien paineenkestoa ole tarkasteltu erikseen. Komponenttien erillinen mitoitus olisi voinut vaikuttaa ASME-putkilinjojen seinämän mittasarjan valintaan. Lisäksi kolmannen putkilinjaryhmän alkuperäisessä ASME-putkilinjassa oli käytetty erikoisseinämänpaksuutta, joka ei ollut tähän vertailuun täysin tarkoituksenmukainen.

Epävarmuutta työn tuloksiin aiheuttaa haponkestävän teräksen käyttö ruostumattoman sijaan osassa putkilinjoista. Haponkestävän ja ruostumattoman teräksen tiheyksiin vaikuttaa terästen nikkeliipitoisuus. Tiheys haponkestävälle teräkselle on $8,0 \text{ kg/dm}^3$ ja ruostumattomalle teräkselle $7,9 \text{ kg/dm}^3$ [82; 83]. Erot tiheyksien välillä eivät ole tässä työssä merkittäviä, ja yleensä massoja laskettaessa käytetään kyseisille materiaaleille samaa tiheyttä $8,0 \text{ kg/dm}^3$ [61].

Epävarmuutta tuloksiin aiheuttaa myös AVEVA E3D -ohjelman antamat materiaalityön painot. E3D-ohjelmassa tarkat materiaalityön painot saadaan vain putkikomponenteille, joiden tiedot on syötetty ohjelmaan osavalmistajan painotaulukoiden mukaan. Vaihtoehtoisesti ohjelma voi laskea painotiedot osien geometriasta, mutta tällöin epätarkkuus lisääntyy mo-

nimutkaisten komponenttien osalta. Andritzin käyttämässä katalogissa PSK-putkiluokkien komponentit ovat painotietojen osalta taulukoiden mukaisia. E3D-ohjelman muiden spesifikaatioiden osalta massoissa voi olla epätarkkuuksia. Erityisesti erikoisseinämänpaksuuksille massat ovat vain likimääräisiä. [84.]

9 Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli selvittää eri standardien mukaan suunniteltujen putkilinjojen eroavaisuuksia materiaalipainoissa. Materiaalipainot vaikuttavat suoraan putkistojen kustannuksiin, joten oli tarpeen tuottaa yritykselle dataa, jota voitaisiin hyödyntää putkistotarjouksien laatimisessa.

Taustateorian selvitys oli olennainen osa työtä. Teoriaosuudessa perehdyttiin eri putkistostandardeihin sekä lakien määräyksiin ja velvoitteisiin, jotka koskevat teollisuusputkistoja. Myös putkistosuunnittelu oli työn toteutuksen kannalta olennainen osa teoriatarkastelua. Työn tutkimusosuudessa vertailtiin ASME-, EN-, SSG- ja JIS-standardien mukaan suunniteltuja putkilinjoja. Putkilinjoja valittiin työhön 6 kappaletta aiemmin toteutetuista projekteista. Putkilinjojen suunnittelussa uudet putkispesifikaatiot valittiin saatavilla olevien lähtötietojen perusteella. Materiaalin massalaskennan työkaluna käytettiin AVEVA E3D -ohjelmaa, jolla putkilinjat mallinnettiin ja mallinnetuista linjoista ajettiin isometrit.

Selvittämättä jäi JIS-standardien mukaisten putkilinjojen massat, ja niiden sijoittuminen massavertailussa. Yhden JIS-putkilinjan perusteella, johon massat on laskettu likimääräisesti käsin, ei pystytä sanomaan JIS-linjojen olevan halvempia tai kalliimpia muihin linjoihin verrattuna.

Selvimmät tulokset massojen vertailuun saatiin metrimäärältään pitkillä putkilinjoilla, erityisesti ryhmässä 6. Tulosten perusteella voidaan päätellä, että putken nimellisuuruudella kokoluokissa DN400–DN600 ei ole yhtä suurta merkitystä saman ryhmän putkilinjojen massojen eroihin, kuin putkilinjan metrimääräisellä pituudella on. Voidaan myös todeta, että massojen erojen kannalta putkilinjan materiaali ei ollut merkitsevä.

Työn tulosten perusteella ei voida sanoa, että yksi vertailuun valituista standardeista olisi kustannustehokkaampi putkistosuunnittelun kannalta, kuin muut standardit. Teoriassa ASME-standardien putket sekä putkenosat ovat paksuseinäisempiä kuin EN-putket ja putkenosat, mutta silti suurten valmistusmäärien takia ASME-standardin valinta voi tulla edullisemmaksi. SSG- ja EN-standardien osilla ei ole suurta vaihtelevuutta massoissa, mutta SSG-osilla saatavuus on yleensä huonompaa.

Työn tuloksia voidaan hyödyntää myös jatkotutkimuksen laatimisessa. Tutkimusta voisi jatkaa perehtymällä putkistokomponenttien mitoittamiseen ja valintaperusteisiin. Vertailuun olisi merkitsevää ottaa mukaan myös laippaliitokset, sillä eri standardien laipoissa on eroja. Lisäksi putkilinjoja tulisi tutkia laajemmin: samoilla suunnitteluarvoilla tulisi suunnitella useampia putkilinjoja. Jatkotutkimuksissa voisi ottaa myös laajemman otannan standardeihin, esimerkiksi Kiinan ja Thaimaan standardit voisi ottaa mukaan vertailuun. Lisäksi jatkotutkimuksissa voisi vertailla tarkemmin EN- ja ASME-standardien mukaan suunniteltujen putkilinjojen eroja useammilla suunnitteluarvoilla.

Lähteet

- 1 Kolmetz, Karl. 2014. General process plant cost estimating. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 2 Comparison ISO/ANSI Piping System. Verkkoaineisto. OSTP. <https://www.ostp.biz/sites/313/content/docs/OSTP_Comparison_ISO_ANSI_20141014.pdf>. Luettu 2.9.2020.
- 3 Passion for innovative technologies that shape the world. Verkkoaineisto. ANDRITZ. <<https://www.andritz.com/group-en/about-us>>. Luettu 3.9.2020
- 4 Company presentation. 2020. Verkkoaineisto. ANDRITZ GROUP. <<https://www.andritz.com/group-en/about-us>>. Luettu 3.9.2020.
- 5 Standardit. Verkkoaineisto. Yrittäjät. <<https://www.yrittajat.fi/yrittajan-abc/innovatiot-ja-aineeton-omaisuus/standardit-317950>>. Päivitetty 30.10.2020. Luettu 1.9.2020.
- 6 Terässtandardit. 2019. Verkkoaineisto. METSTA ry. <https://www.sfs.fi/files/1483/Teraskirjanen_A5_2019-11_web.pdf>. 11/2019. Luettu 2.9.2020.
- 7 Hämäläinen, Jukka. 2020. Standardit. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 8 PSK Standardisointi. Verkkoaineisto. PSK Standardisointi. <<https://psk-standardisointi.fi/psk/yleista/>>. Luettu 1.9.2020.
- 9 Valtanen, Esko. 2012. Tekniikan taulukkokirja. 19. painos. Mikkeli: Genesis-Kirjat Oy.
- 10 Structure and governance. Verkkoaineisto. ISO. <<https://www.iso.org/structure.html>>. Luettu 1.9.2020.
- 11 ISO Strategy 2016-2020. Verkkoaineisto. ISO. <<https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/en/PUB100364.pdf>>. Luettu 23.10.2020.
- 12 Kansainvälinen standardisointi. Verkkomateriaali. SFS ry. <https://www.sfs.fi/standardien_laadinta/mita_standardisointi_on/standardisoinnin_maailmankartta/kansainvalinen_standardisointi>. Luettu 3.9.2020.

- 13 Standardisoinnin maailmankartta. Verkkomateriaali. SFS ry. <https://www.sfs.fi/standardien_laadinta/mita_standardisointi_on/standardisoinnin_maailmankartta>. Luettu 3.9.2020
- 14 Eurooppalainen standardisointi. Verkkomateriaali. SFS ry. <https://www.sfs.fi/standardien_laadinta/mita_standardisointi_on/standardisoinnin_maailmankartta/eurooppalainen_standardisointi>. Luettu 3.9.2020.
- 15 Who we are. Verkkomateriaali. CEN. <<https://www.cen.eu/about/Pages/default.aspx>>. Luettu 1.9.2020.
- 16 EU ja standardisointi. Verkkomateriaali. SFS ry. <https://www.sfs.fi/standardien_laadinta/mita_standardisointi_on/standardisoinnin_maailmankartta/eurooppalainen_standardisointi/eu_ja_standardisointi>. Luettu 3.9.2020.
- 17 Yhdenmukaistetut standardit. Verkkomateriaali. SFS ry. <https://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/uusi_lahestymistapa_-_new_approach/yhdenmukaistetut_standardit>. Luettu 3.9.2020.
- 18 SESKO ry. Verkkomateriaali. SESKO ry. <https://www.sesko.fi/sesko_ry>. Luettu 1.9.2020.
- 19 Standardointi luo pohjan tekniselle ohjaukselle. Verkkomateriaali. Traficom. <<https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/standardointi-luo-pohjan-tekniselle-ohjaukselle>>. Luettu 23.10.2020.
- 20 Mikä SFS on?. Verkkomateriaali. SFS ry. <https://www.sfs.fi/sfs_ry>. Luettu 1.9.2020.
- 21 SFS:n standardisointiryhmät. Verkkomateriaali. SFS ry. <https://www.sfs.fi/standardien_laadinta/sfs_n_standardisointiryhmat>. Luettu 7.9.2020.
- 22 SFS:n toimialayhteisöt. Verkkomateriaali. SFS ry. <https://www.sfs.fi/sfs_ry/sfs_n_organisaatio/toimialayhteisot>. Luettu 7.9.2020.
- 23 PSK Standardisointi. Verkkomateriaali. PSK Standardisointi. <<https://psk-standardisointi.fi/psk/yleista/>>. Luettu 1.9.2020.
- 24 SFS-EN 13480-1. Metallic industrial piping. 2017 Part 1: General. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

- 25 Bhatia, A. Process Piping Fundamentals, Codes and Standards. Verkkoaineisto. CEDengineering.com. <<https://www.cedengineering.com/userfiles/Process%20Piping%20Fundamentals,%20Codes%20and%20Standards%20%20-%20Module%201.pdf>>. Luettu 2.9.2020.
- 26 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi. 2014. 2014/68/EU. 15.5.2014.
- 27 PSK 4911. Teollisuuden kone- ja laitehankinnat. 2020 Painelaitteet. Käsitteet ja määrittelyt. Helsinki: PSK Standardisointi.
- 28 Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi. Verkkoaineisto. Tukes. <<https://tukes.fi/tietoa-tukesista/materiaalit/painelaitteet/painelaitteiden-suunnittelu-valmistus-ja-vaatimustenmukaisuuden-arviointi>>. Luettu 3.9.2020.
- 29 Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus. 2008. 1272/16.12.2008.
- 30 Kemikaaliputkistojen turvallisuusvaatimukset. 2017. Verkkoaineisto. Tukes. <https://tukes.fi/documents/5470659/6372605/Kemikaaliputkistojen_turvallisuusvaatimukset.pdf/b2bc9865-b89c-4231-9a36-38c90f60814c/Kemikaaliputkistojen_turvallisuusvaatimukset.pdf>. Luettu 3.9.2020.
- 31 SFS-EN 10253-2. Päittäishitsattavat putkenosat. 2007. Osa 2: Toimituseräkohtaisesti tarkastettavat seostamattomat teräkset ja ferriittiset seosteräkset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 32 Joronen, Olli-Pekka. 2020. PSK Putkiluokat. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 33 SFS-EN 1092-1. Laipat ja laippaliitokset. Pyöreät laipat putkille, venttiileille, yhteille ja varusteille, PN-mitoitetut. 2018. Osa 1: Teräslaipat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 34 SFS-EN 13480-3. Metalliset teollisuusputkistot. 2017. Osa 3: Suunnittelu ja laskeutuminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 35 PSK 4201. Putkiluokat. 2017. Määrittely. Helsinki: PSK Standardisointi.
- 36 PSK 2640. Teollisuuden kone ja laitehankinnat. 2011. Putkistosuunnittelun toteutusperiaatteita. PSK Standardisointi.
- 37 ASME, ASTM ja SAE. Verkkoaineisto. SFS ry. <https://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/julkaisut/ulkomaiset_julkaisut/astm_asme_ja_sae>. Luettu 2.9.2020.

- 38 Rökköläinen, Heikki. 2018. Prosessiteollisuuden putkistosuunnitteluspesifikaation päivittäminen. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Lutpub-tietokanta.
- 39 ASME B36.10M. 1996. Welded and seamless wrought steel pipe. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
- 40 Nisula, Sami. 2020. Plant Engineering Manager, ANDRITZ Oy, Kotka. Keskustelu 7.9.2020.
- 41 ASME/ANSI B36.10/19 – Carbon, Alloy and Stainless Steel Pipes - Dimensions. Verkkomateriaali. The engineering ToolBox. <https://www.engineeringtoolbox.com/steel-pipes-dimensions-d_43.html>. Luettu 7.9.2020.
- 42 ASME B36.19M. Stainless Steel Pipe. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
- 43 Nominal Pipe Size and Schedule. Verkkomateriaali. The Process Piping. <<https://www.theprocesspiping.com/nominal-pipe-size-and-schedule/>>. Luettu 7.9.2020.
- 44 Nisula, Sami. 2020. Plant Engineering Manager, ANDRITZ Oy, Kotka. Keskustelu 5.10.2020.
- 45 ASME B16.5, Pipe flanges and flanged fittings. 2003. NPS ½ through NPS 24 metric/inch standard. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
- 46 Flange Ratings and Flange Classes for ASME Flanges. Verkkomateriaali. Hardhat Engineer. <<https://hardhatengineer.com/asme-ansi-flange-ratings-pressure-temperature-ratings/>>. Luettu 2.9.2020.
- 47 About SSG. Verkkomateriaali. SSG. <<https://www.ssg.se/en/about-ssg/>>. Luettu 3.9.2020.
- 48 SSG's pipe standard – an important tool for consultants. 2019. Verkkomateriaali. SSG. <<https://www.ssg.se/en/get-inspired/customer-cases/ssgs-pipe-standard--an-important-tool-for-consultants/>>. Luettu 11.9.2020.
- 49 Dra nytta av SSG PED Rörklasser. 2011. Verkkomateriaali. SSG. <<https://www.mynewsdesk.com/se/ssg/news/dra-nytta-av-ssg-ped-roerklasser-20676>>. Luettu 11.9.2020.
- 50 SSG 7829E. PED pipe classes – list. 2011.
- 51 SSG 7831. PED- rörklass MSS10A. 2009.

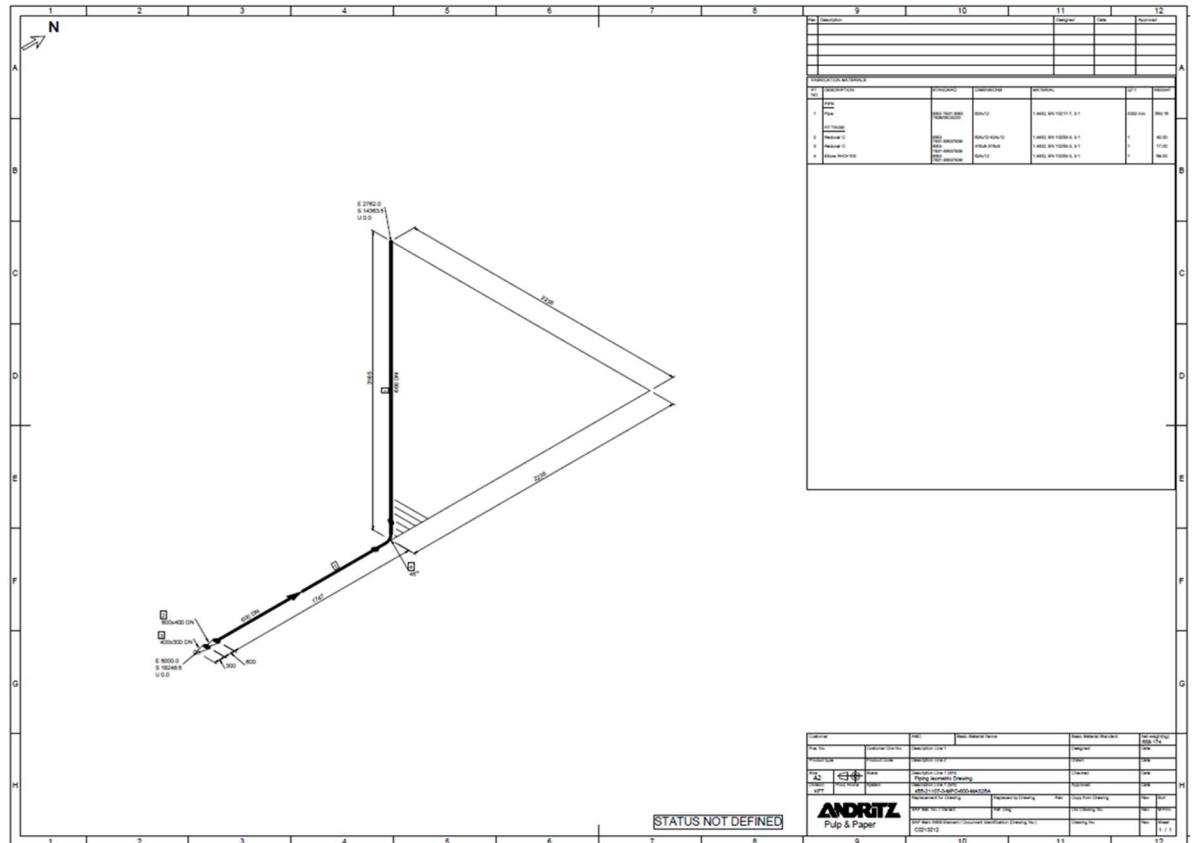
- 52 SSG 7832. PED- rörklass MSS16A. 2009.
- 53 SSG 7833. PED- rörklass MSS25A. 2009.
- 54 SSG 7834. PED- rörklass MSS40A. 2009.
- 55 Nisula, Sami. 2020. Plant Engineering Manager, ANDRITZ Oy, Kotka. Keskustelu 16.9.2020.
- 56 JIS Standard. Verkkoaineisto. Equipoutlet. <<http://www.equipoutlet.com/jis-standard.html>>. Luettu 9.9.2020.
- 57 Our roles. Verkkoaineisto. Japanese Industrial Standards Committee. <https://www.jisc.go.jp/eng/jisc/index_e.html>. Luettu 4.9.2020.
- 58 Coverage of JIS. Verkkoaineisto. Japanese Industrial Standards Committee. <<https://www.jisc.go.jp/eng/jis-act/coverage-jis.html>>. Luettu 4.9.2020.
- 59 JIS G 3455:2005. Carbon steel pipes for high pressure service. 2005. Tokyo: Japanese Standards Association.
- 60 JIS G 3468:2004. Large diameter welded stainless steel pipes. 2004. Tokyo: Japanese Standards Association.
- 61 Nisula, Sami. 2020. Plant Engineering Manager, ANDRITZ Oy, Kotka. Keskustelu 19.10.2020.
- 62 Working Pressure Range. Verkkoaineisto. KITZ Corporation. <https://www.kitz.co.jp/english2/pressure_range.html>. Luettu 15.9.2020.
- 63 JIS B 2220:2004. Steel pipe flanges. 2004. Tokyo: Japanese Standards Association.
- 64 Kohvakka, Mari. 2018. Kattilalaitoksen prosessiputkiston esisuunnittelun kehittäminen. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Lutpub-tietokanta.
- 65 Jaatinen, Taisto. Yleistä putkistosuunnittelusta. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 66 SFS-EN 10253-2. Päittäishitsattavat putkenosat. 2007. Osa 2: Toimituseräkohtaisesti tarkastettavat seostamattomat teräkset ja ferriittiset seosteräkset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

- 67 Kuusijärvi, Lasse. 2020. Isometrin piirtäminen ja sisältö sekä as-built-piirustukset. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 68 Jaatinen, Taisto. 2020. Putkistosuunnittelu. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 69 Sölken, Werner. 2008. What are piping specifications?. Verkkoaineisto. Pipe Fabrication Institute. <http://www.wermac.org/documents/piping_specifications_what_are.html>. Luettu 22.10.2020.
- 70 Paulin, Seppo & PSK työryhmä 24/2. 2020. 3D Plant design systems. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 71 AVEVA E3D Design. Verkkoaineisto. AVEVA Group. https://www.aveva.com/content/dam/aveva/documents/brochures/AVEVA-E3D-Design_Plant-2019.pdf.core-download.inline.pdf. Luettu 19.10.2020.
- 72 SFS-EN 10020. Teräslajien määritelmät ja luokittelu. 2000. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.
- 73 SFS-EN 10088-1. Ruostumattomat teräkset. 2014. Osa 1: Ruostumattomien terästen luettelo. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.
- 74 Hämäläinen, Jukka. 2020. Putkistomateriaalit. Luentomateriaalit. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 75 Introduction to Piping System. Verkkoaineisto. The Process Piping. <<https://www.theprocesspiping.com/introduction-to-piping-system/>>. Luettu 7.9.2020.
- 76 Reducers in Process Piping. Verkkoaineisto. The Process Piping. <<https://www.theprocesspiping.com/reducers-in-process-piping/>>. Luettu 27.10.2020.
- 77 Stainless & carbon steel butt-welding fittings. Wellgrow Industries Co. Verkkoaineisto. <https://www.pipefittingweb.com/butt-weld/pdf/Eccentric-Reducer.pdf> Luettu 15.10.2020.
- 78 Jaatinen, Taisto. 2020. Käsiventtiilit. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 79 Overview to Piping Engineering. Verkkoaineisto. The Process Piping. <<https://www.theprocesspiping.com/overview-to-piping-engineering/>>. Luettu 27.10.2020.

- 80 Carpen, Leena; Kivikoski, Harri; Nippala Eero; Talja, Asko & Törnqvist, Jouko. 2006. Ruostumaton teräs maa- ja vesirakentamisessa. Verkkoaineisto. VTT. <<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/workingpapers/2006/W65.pdf>>. 20.12.2006. Luettu 7.10.2020.
- 81 ASME B31.1. ASME Code for Pressure Piping. 2018. Power Piping. New York: The Amerikan Society of Mechanical Engineers.
- 82 Forta 316L/4404. Verkkoaineisto. Outokumpu. <<https://secure.outokumpu.com/steelfinder/properties/GradeDetail.aspx?OKGrade=4404&Category=Forta>>. Luettu 28.10.2020.
- 83 Core 304L/4307. Verkkoaineisto. Outokumpu. <<https://secure.outokumpu.com/steelfinder/properties/GradeDetail.aspx?OKGrade=4307&Category=Core>>. Luettu 28.10.2020.
- 84 Tiihala, Antti. 2020. Development Engineer, Andritz Oy, Kotka. Keskustelu 6.10.2020.

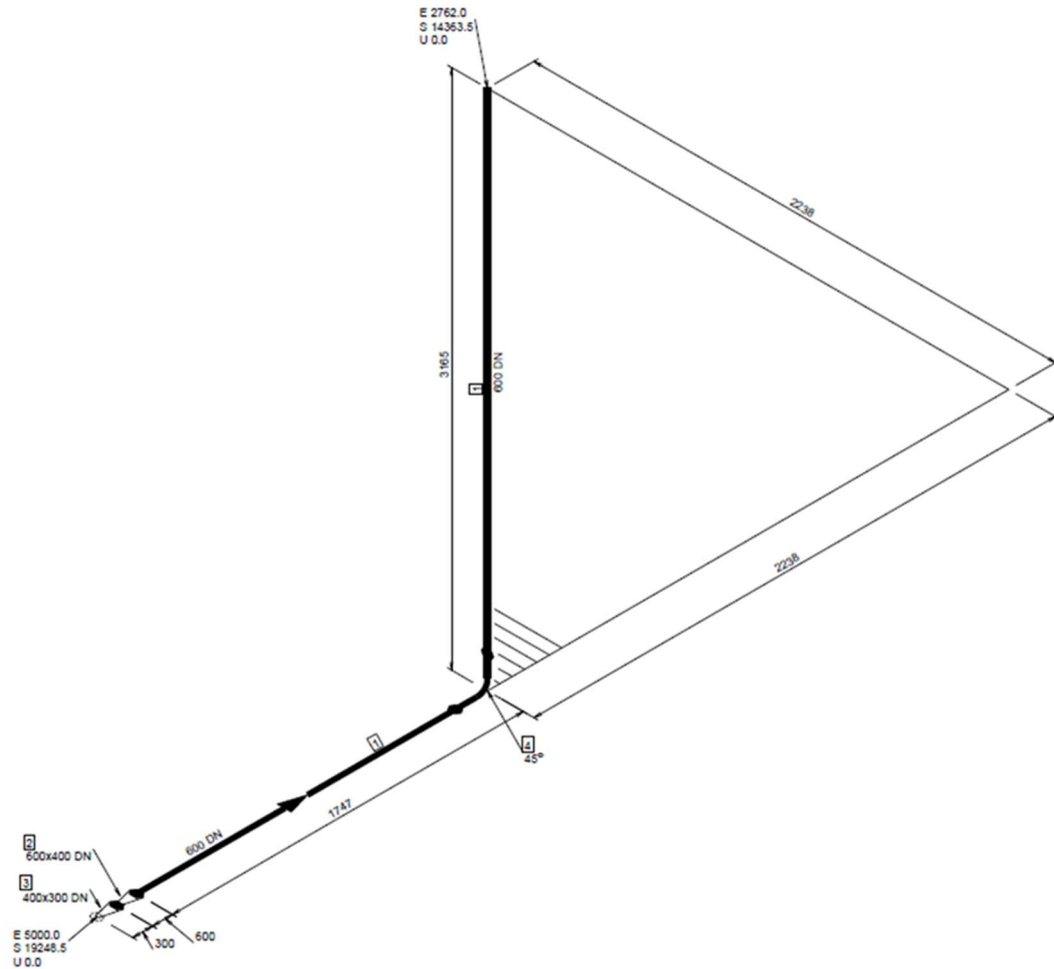
1-SSG-PUB-600-MAS25A-linjan isometri

Kuvassa 1 on esitetty 1-SSG-PUB-600-MAS25A-linjan isometri.



Kuva 1. 1-SSG-PUB-600-MAS25A-linjan isometri.

Kuvassa 2 on esitetty 1-SSG-PUB-600-MAS25A-linjan isometrin putkilinjasta suurentava kuva.



Kuva 2. 1-SSG-PUB-600-MAS25A-linjan isometristä otettu suurennos putkilinjasta.

Kuvassa 3 on esitetty 1-SSG-PUB-600-MAS25A-linjan isometrin komponenttiluettelosta suurentava kuva.

FABRICATION MATERIALS						
PT NO	DESCRIPTION	STANDARD	DIMENSIONS	MATERIAL	QTY	WEIGHT
1	PIPE					
	Pipe	SSG 7831-SSG 7839/ISO4200	624x12	1.4432, EN 10217-7, 3.1	4332 mm	563.16
FITTINGS						
2	Reducer C	SSG 7831-SSG7839	624x12-424x12	1.4432, EN 10253-3, 3.1	1	40.00
3	Reducer C	SSG 7831-SSG7839	416x8-316x8	1.4432, EN 10253-3, 3.1	1	17.00
4	Elbow R=D+100	SSG 7831-SSG7839	624x12	1.4432, EN 10253-3, 3.1	1	69.00

Kuva 3. 1-SSG-PUB-600-MAS25A-linjan isometristä otettu suurennos putkilinjasta.

1-ASME-PUB-600-ANSI10S- linjan seinämän paksuuden laskenta

Seuraavassa on esitetty ASME B31.1 -standardin mukaan laskettu pienin vaadittu seinämän paksuus putkijäljelle 1-ASME-PUB-600-ANSI10S.

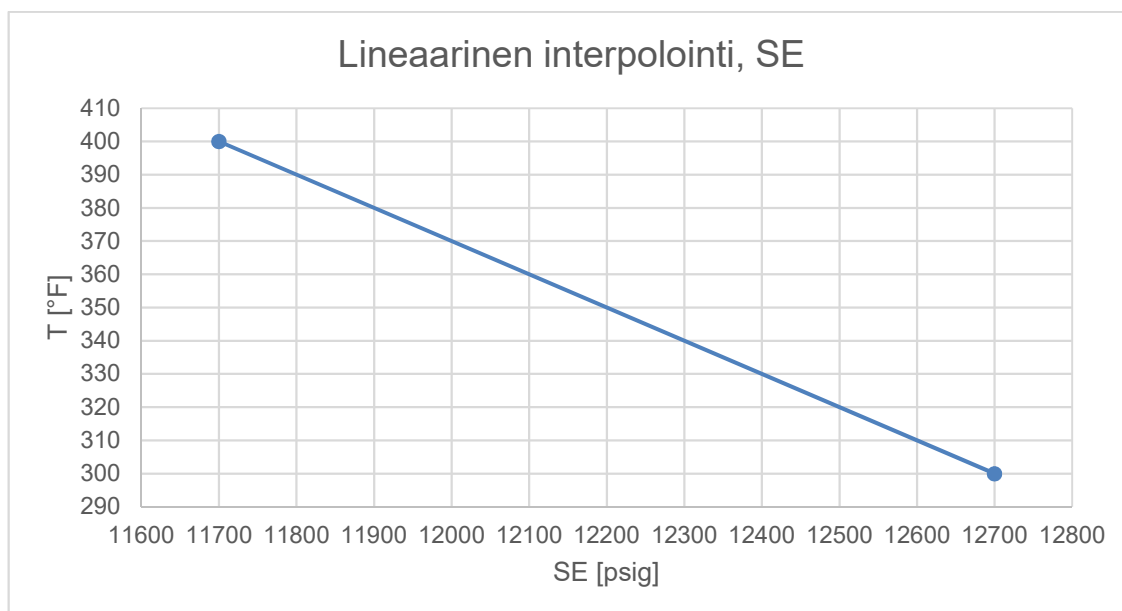
Aluksi määritettiin materiaalin 316L jännityksen arvo, SE, suunnittelulämpötilassa 356 °F. ASME B31.1 -standardin liitteen A taulukossa A-3 on listattu SE arvoja 100 °F:n välein, joten tarvittava arvo interpoloitiin lineaarisesti lämpötilojen 300 °F ja 400 °F väliltä. Taulukon A-3 antamat SE arvot muutettiin valmiiksi yksikköön psig (1 ksi = 1000 psig) alla olevan taulukon 1 mukaisesti.

Taulukko 1. SE-arvojen yksiköiden muutos

°F	SE		SE	
		ksi		psig
300	12,7	ksi	12700	psig
400	11,7	ksi	11700	psig

Taulukon arvoista muodostettiin kuvaaja SE-arvon lineaarista interpolointia varten (taulukko 2).

Taulukko 2. Materiaalin 316L SE-arvon lineaarinen interpolointi.



Kuvaajasta 2 saatiin SE arvoksi 12 150 psig:tä.

Laskentapaine P muutettiin yksiköstä bar yksikköön psig alla olevan mukaisesti.

$$15 \text{ bar} = 15 \text{ bar} \times 14,503773773 = 217,5566 \dots \text{psig}$$

Alla on laskettu pienin vaadittu seinämän paksuus ennen paksuuslisä.

$$t_m = \frac{217,5566 \dots \text{psig} \times 610 \text{ mm}}{2((12150 \text{ psig} \times 1) + (217,5566 \dots \text{psig} \times 0,4))} = 5,42245 \dots \text{mm}$$

Paksuuslisät laskettiin huomioimalla seinämän paksuuden toleranssi 12,5 %.

$$A = 0,125 \times 5,42245 \dots \text{mm} = 0,67780 \dots \text{mm}$$

Seinämän paksuuden toleranssin mukaiset paksuuslisät lisättiin laskettuun pienimpään vaadittuun seinämänpaksuuteen.

$$t_m = 5,42245 \dots \text{mm} + 0,67780 \dots \text{mm} = 6,100267428 \text{ mm} \approx 6,11 \text{ mm}$$

Putkilinjojen komponenttien massat

Seuraavassa on esitetty putkilinjojen komponenttien massat taulukoituina (taulukot 1–18). Taulukoiden sarakkeessa QTY ilmoitetaan suoralle putkelle pituus millimetreinä ja muille komponenteille ilmoitetaan kyseisen komponentin kappalemäärä. Tiedot on kerätty taulukoihin tulostettujen isometrien komponenttiluetteloista, sekä osalle käsin lasketuista tuloksista.

Taulukoissa 1–3 on putkilinjaryhmän 1, jossa alkuperäinen standardi oli SSG, komponenttien massat. Taulukossa 1 on esitetty 1-SSG-PUB-600-MAS25A-linjan komponenttien massat.

Taulukko 1. 1-SSG-PUB-600-MAS25A-linjan komponenttien massat

1-SSG-PUB-600-MAS25A					
Komponentin kuvaus	Standardi	Mitat [mm]	Materiaali	QTY	Massa [kg]
Pipe	SSG 7831-SSG 7839/ISO4200	624x12	1.4432	4332	563,16
Reducer C	SSG 7831-SSG 7839	624x12 - 424x12	1.4432	1	40,00
Reducer C	SSG 7831-SSG 7840	416x8 - 316x8	1.4432	1	17,00
Elbow R=D+100	SSG 7831-SSG 7841	624x12	1.4432	1	69,00

Taulukossa 2 on esitetty 1-EN-PUB-600-E25H2A-linjan komponenttien massat.

Taulukko 2. 1-EN-PUB-600-E25H2A-linjan komponenttien massat.

1-EN-PUB-600-E25H2A					
Komponentin kuvaus	Standardi	Mitat [mm]	Materiaali	QTY	Massa [kg]
Pipe	EN 10217-7	610x10	1.4432	4209	635,56
Reducer C, Type A	EN 10253-4	610x10 - 406,4x10	1.4432	1	75,30
Reducer C, Type A	EN 10253-4	406,4x6,3 - 323,9x6,3	1.4432	1	13,86
Elbow Type A, 3D (r=1,5xD)	EN 10253-4	610x12,5	1.4432	1	134,50

Taulukossa 3 on esitetty 1-ASME-PUB-600-ANSI10S-linjan komponenttien massat.

Taulukko 3. 1-ASME-PUB-600-ANSI10S-linjan komponenttien massat.

1-ASME-PUB-600-ANSI10S					
Komponentin kuvaus	Standardi	Mitat [mm]	Materiaali	QTY	Massa [kg]
Pipe	ASME B36.19M	610x6,35	ASTM A358 Gr TP316L CL 2	4154	395,75
Reducer C	MSS SP-43	610x6,35 – 406,4x6,35	ASTM A403 Gr CR316L	1	81,89
Reducer C	MSS SP-43	406,4x4,78 – 323,8x4,78	ASTM A403 Gr CR316L	1	31,02
Elbow, Long Radius	MSS SP-43	610x6,35	ASTM A403 Gr CR316L	1	70,02

Taulukoissa 4–7 on esitetty putkilinjaryhmän 2, jossa alkuperäinen standardi oli JIS, komponenttien massat taulukoituna. Taulukossa 4 on esitetty 2-JIS-PUB-400-10K-SUS304-linjan komponenttien massat.

Taulukko 4. 2-JIS-PUB-400-10K-SUS304-linjan komponenttien massat.

2-JIS-PUB-400-10K-SUS304					
Komponentin kuvaus	Standardi	Mitat [mm]	Materiaali	QTY	Massa [kg]
Pipe	JIS G 3468	406.4x5	SUS304 TPY	10572	528,6
Reducer JIS B 2313 C	JIS B 2313	406.4x5 - 216.3x5	SUS304	1	13,6
Elbow JIS B 2313 Sch10S	JIS B 2313	406.4x5	SUS304	2	95,8

Taulukossa 5 on esitetty 2-EN-PUB-400-E16H1A-linjan komponenttien massat.

Taulukko 5. 2-EN-PUB-400-E16H1A-linjan komponenttien massat.

2-EN-PUB-400-E16H1A					
Komponentin kuvaus	Standardi	Mitat [mm]	Materiaali	QTY	Massa [kg]
Pipe	EN 10217-7	406.4x4	1,4307	10373	420,11
Reducer C, Type A	EN 10253-4	406.4x4 - 219.1x4	1,4307	1	17,2
Elbow Type A, 3D (r=1,5xD)	EN 10253-4	406.4x5	1,4307	2	96,6

Taulukossa 6 on esitetty 2-ASME-PUB-400-ANSI5S-linjan komponenttien massat.

Taulukko 6. 2-ASME-PUB-400-ANSI5S-linjan komponenttien massat.

2-ASME-PUB-400-ANSI5S					
Komponentin kuvaus	Standardi	Mitat [mm]	Materiaali	QTY	Massa [kg]
Pipe	ASME B36.19M	406,4x3,96	AISI304	10572	439,33
Reducer C, Type A	MSS SP-43	406,4x4,19 - 218x4,19	AISI304	1	23,29
Elbow Type A, 3D (r=1,5xD)	MSS SP-43	406,4x3,96	AISI304	2	77,72

Taulukossa 7 on esitetty 2-SSG-PUB-400-MSS16A-linjan komponenttien massat.

Taulukko 7. 2-SSG-PUB-400-MSS16A-linjan komponenttien massat.

2-SSG-PUB-400-MSS16A					
Komponentin kuvaus	Standardi	Mitat [mm]	Materiaali	QTY	Massa [kg]
Pipe	SSG 7832	410x5	1,4307	10767	548,04
Reducer C	SSG 7832	410x5 - 360x5	1,4307	1	7,16
Reducer C	SSG 7832	360x5 - 210x5	1,4307	1	15,83
Elbow R=D+100	SSG 7832	410x5	1,4307	2	80

Taulukoissa 8 ja 9 on esitetty putkilinjaryhmän 3, jossa alkuperäinen standardi oli ASME, komponenttien massat taulukoituna. Taulukossa 8 on esitetty 3-ASME-PUB-700-30H40-linjan komponenttien massat.

Taulukko 8. 3-ASME-PUB-700-30H40-linjan komponenttien massat.

3-ASME-PUB-700-30H40					
Komponentin kuvaus	Standardi	Mitat [mm]	Materiaali	QTY	Massa [kg]
Pipe	ASME B36.10M/ASME B16.25	711x12	ASTM A358 Gr TP316L CL 2, CC	7340	1468,00
Pipe	ASME B36.10M/ASME B16.25	406.4x6,35	ASTM A358 Gr TP316L CL 2, CC	3140	220,74
Reducer C	ASME B16.9/ASME B16.25	711x12 - 610x12	ASTM A403 Gr WP316L-W	1	112,00
Reducer C	ASME B16.9/ASME B16.25	610x9,53-406.4x9,53	ASTM A403 Gr WP316L-W	1	65,54
Reducer C	ASME B16.9/ASME B16.25	406.4x6.35 - 355.6x6.35	ASTM A403 Gr WP316L-W	1	23,88
Elbow Long Radius, 90	ASME B16.9/ASME B16.25	711x12	ASTM A403 Gr WP316L-W	1	330,00
Elbow Long Radius, 90	ASME B16.9/ASME B16.25	406.4x6,35	ASTM A403 Gr WP316L-W	1	68,39

Taulukossa 9 on esitetty 3-EN-PUB-700-25H2A-linjan komponenttien massat.

Taulukko 9. 3-EN-PUB-700-25H2A-linjan komponenttien massat.

3-EN-PUB-700-25H2A					
Komponentin kuvaus	Standardi	Mitat [mm]	Materiaali	QTY	Massa [kg]
Pipe	EN 10217-7	711x12.5	1.4432	7340	1607,46
Pipe	EN 10217-7	406.4x5	1.4432	3562	179,52
Reducer C, Type A	EN 10253-4	711x12.5 - 610x12.5	1.4432	1	61,30
Reducer C, Type A	EN 10253-5	610x10-406.4x10	1.4432	1	75,30
Reducer C, Type A	EN 10253-6	406.4x6.3 - 355.6x6.3	1.4432	1	8,90
Elbow Type A, 3D (r=1,5D)	EN 10253-7	711x12.5	1.4432	1	368,00
Elbow Type A, 3D (r=1,5D)	EN 10253-8	406.4x8	1.4432	1	76,80

Taulukoissa 10–12 on esitetty putkilinjaryhmän 4, jossa alkuperäinen standardi oli EN, komponenttien massat taulukoituna. Taulukossa 10 on esitetty 4-EN-ELM-500-E16H1A-linjan komponenttien massat.

Taulukko 10. 4-EN-ELM-500-E16H1A-linjan komponenttien massat.

4-EN-ELM-500-E16H1A					
Komponentin kuvaus	Standardi	Mitat [mm]	Materiaali	QTY	Massa [kg]
Pipe	EN 10217-7	508x6,3	1.4307	19189	1523,61
T-piece	EN 10253-4	508x10-508x10	1.4307	1	142
Elbow Type A, 3D (r=1.5xD)	EN 10253-4	508x8	1.4307	4	400

Taulukossa 11 on esitetty 4-ASME-ELM-500-ANSI5S-linjan komponenttien massat.

Taulukko 11. 4-ASME-ELM-500-ANSI5S-linjan komponenttien massat.

4-ASME-ELM-500-ANSI5S					
Komponentin kuvaus	Standardi	Mitat [mm]	Materiaali	QTY	Massa [kg]
Pipe	ASME B 36.19M	508x4,78	ASTM A358 Gr TP316L CL2	19546	1158,1
T-piece	MSS SP-43	508x4,78-508x4,78	ASTM A403 Gr CR316L	1	53,49
Elbow , Long Radius	MSS SP-43	508x4,78	ASTM A403 Gr CR316L	4	244,2

Taulukossa 12 on esitetty 4-SSG-ELM-500-MSS16A-linjan komponenttien massat.

Taulukko 12. 4-SSG-ELM-500-MSS16A-linjan komponenttien massat.

4-SSG-ELM-500-MSS16A					
Komponentin kuvaus	Standardi	Mitat [mm]	Materiaali	QTY	Massa [kg]
Pipe	SSG7831	512x6	1.4432	20604	1572,09
T-piece	SSG7831	512x10-512x10	1.4432	1	97,9
Elbow , R=D+100	SSG7831	512x6	1.4432	4	239,67

Taulukoissa 13–15 on esitetty putkilinjaryhmän 5, jossa alkuperäinen standardi oli ASME, komponenttien massat taulukoituna. Taulukossa 13 on esitetty 5-ASME-PUB-600-10H24-linjan komponenttien massat.

Taulukko 13. 5-ASME-PUB-600-10H24-linjan komponenttien massat.

5-ASME-PUB-600-10H24					
Komponentin kuvaus	Standardi	Mitat [mm]	Materiaali	QTY	Massa [kg]
Pipe	ASME B36.19M	610x5.54	ASTM A358 Gr TP316L CL 2	9417	776,62
Pipe	ASME B36.19M	508x4.78	ASTM A358 Gr TP316L CL 2	3958	234,51
Reducer C	MSS SP-43	610x5.54-508x5.54	ASTM A403 Gr CR316L	1	78,69
Elbow Long Radius	MSS SP-43	610x5.54	ASTM A403 Gr CR316L	5	523,75
Elbow Long Radius	MSS SP-43	508x4.78	ASTM A403 Gr CR316L	1	73,26

Taulukossa 14 on esitetty 5-EN-PUB-600-E6H1A-linjan komponenttien massat.

Taulukko 14. 5-EN-PUB-600-E6H1A-linjan komponenttien massat.

5-EN-PUB-600-E6H1A					
Komponentin kuvaus	Standardi	Mitat [mm]	Materiaali	QTY	Massa [kg]
Pipe	EN 10217-7	610x4	1.4307	9417	573,50
Pipe	EN 10217-7	508x4	1.4307	4165	211,17
Reducer C, Type A	EN 10253-4	610x4-508x4	1.4307	1	16,79
Elbow Type A, 3D (r=1,5D)	EN 10253-4	610x4	1.4307	5	374,60
Elbow Type A, 3D (r=1,5D)	EN 10253-4	508x4	1.4307	1	60,60

Taulukossa 15 on esitetty 5-SSG-PUB-600-MSS10A-linjan komponenttien massat.

Taulukko 15. 5-SSG-PUB-600-MSS10A-linjan komponenttien massat.

5-SSG-PUB-600-MSS10A					
Komponentin kuvaus	Standardi	Mitat [mm]	Materiaali	QTY	Massa [kg]
Pipe	SSG	610x5	1.4432	1119	850,44
Pipe	SSG	508x4	1.4432	4283	227,64
Reducer C	SSG	610x5-510x5	1.4432	1	20,90
Elbow R=D+100	SSG	610x5	1.4432	5	357,91
Elbow R=D+100	SSG	508x4	1.4432	1	47,80

Taulukoissa 16–18 on esitetty putkilinjaryhmän 6, jossa alkuperäinen standardi oli ASME, komponenttien massat taulukoituna. Taulukossa 16 on esitetty 6-ASME-WCC-500-10H40-linjan komponenttien massat.

Taulukko 16. 6-ASME-WCC-500-10H40-linjan komponenttien massat.

6-ASME-WCC-500-10H40					
Komponentin kuvaus	Standardi	Mitat [mm]	Materiaali	QTY	Massa [kg]
Pipe	ASME B36.19M	508x4.78	ASTM A358 Gr TP316L CL2	10185	603,46
Pipe	ASME B36.19M	406.4x3.96	ASTM A358 Gr TP316L CL2	100029	4157,21
Pipe	ASME B36.19M	323.8x3.96	ASTM A312 Gr TP316L	3818	119,31
Reducer E	MSS SP-43	508x4.78-406.4x4.78	ASTM A403 Gr CR316L	1	52,41
Reducer E	MSS SP-44	406.4x4.19-323.8-4.19	ASTM A403 Gr CR316L	2	54,44
Elbow, Long Radius	EN 10253-4	406.4x3.96	ASTM A403 Gr CR316L	8	211,7

Taulukossa 17 on esitetty 6-EN-WCC-500-E10H2A-linjan komponenttien massat.

Taulukko 17. 6-EN-WCC-500-E10H2A-linjan komponenttien massat.

6-EN-WCC-500-E10H2A					
Komponentin kuvaus	Standardi	Mitat [mm]	Materiaali	QTY	Massa [kg]
Pipe	EN 10127-7	508x4	1.4432	10185	516,38
Pipe	EN 10127-7	406.4x3.2	1.4432	100236	3247,65
Pipe	EN 10127-7	323.8x2.6	1.4432	4042	84,88
Reducer E, Type A	EN 10253-4	508x4-406.4x4	1.4432	1	13,71
Reducer E, Type A	EN 10253-4	406.4x3.2-323.8x3.2	1.4432	2	14,2
Elbow Type A, 3D (r=1,5xD)	EN 10253-4	406.4x3.2	1.4432	8	169,43

Taulukossa 18 on esitetty 6-SSG-WCC-500-MAS10A-linjan komponenttien massat.

Taulukko 18. 6-SSG-WCC-500-MAS10A-linjan komponenttien massat.

6-SSG-WCC-500-MAS10A					
Komponentin kuvaus	Standardi	Mitat [mm]	Materiaali	QTY	Massa [kg]
Pipe	SSG 7831-SSG7839	508x4	1.4432	10185	516,38
Pipe	SSG 7831-SSG7839	406x3	1.4432	101337	3080,64
Pipe	SSG 7831-SSG7839	306x3	1.4432	3930	89,6
Reducer E	SSG 7831-SSG7839	508x4-408x4	1.4432	1	13,69
Reducer E	SSG 7831-SSG7839	408x4-308x4	1.4432	2	21,36
Elbow R=D+100	SSG 7831-SSG7839	408x4	1.4432	8	173,78

JIS-putkilinjan massalaskenta

Seuraavassa on esitetty 2-JIS-PUB-400-10K-SUS304-linjan massalaskenta. Kappaleiden lasketut massat on korostettu tekstissä **lihavoinnilla**. Aluksi määritettiin yksikkömassa, W , suoran putken osuuden massalaskentaa varten.

$$W = 0,02491 \times 5\text{mm} \times (406,4\text{mm} - 5\text{mm}) = 49,99437 \text{ kg/m}$$

Yksikkömassaksi saatiin 49,99437 kg/m joka pyöristettiin 50 kg/m. Lasketun yksikkömassan avulla saatiin määritettyä suoralle putken osuudelle massa, kun isometrin mukaan putken pituus oli 10 572 m.

$$\text{Suoran putken massa} = 50 \text{ kg/m} \times 10\,572\text{m} = \mathbf{528,6 \text{ kg}}$$

Supistuskappaleen massa laskettiin määrittämällä suoran ympyräkartion kaavalla tilavuudet supistuskappaleen ulko- ja sisämitoille. Supistuskappaleen ulkomitoilla laskettu kartion tilavuus V_1 ja sisämitoilla laskettu tilavuus V_2 laskettiin alla olevasti.

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{\pi \times 355,6 \text{ mm}}{12} \times ((406,4 \text{ mm})^2 + 406,4 \text{ mm} \times 216,3 \text{ mm} + (216,3 \text{ mm})^2) \\ &= 27\,914\,884,61 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{\pi \times 355,6 \text{ mm}}{12} \times ((396,4 \text{ mm})^2 + 206,3 \text{ mm} \times 396,4 \text{ mm} + (206,3 \text{ mm})^2) \\ &= 26\,203\,689,57 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Lopullinen supistuskappaleen seinämän tilavuus saatiin vähentämällä supistuskappaleen ulkomitoilla lasketusta tilavuudesta sisämitoilla laskettu tilavuus.

$$\begin{aligned} V_{\text{supistuskappale}} &= V_1 - V_2 = 27\,914\,884,61\text{mm}^3 - 26\,203\,689,57 \text{ mm}^3 \\ &= 1\,711\,195,07 \text{ mm}^3 = 1,71119507 \text{ dm}^3 \end{aligned}$$

Supistuskappaleen massan määrittämiseksi haettiin JIS G 3468 -standardista perusmassa materiaalille SUS304TPY. Perusmassa tarkoittaa ruostumattoman teräksen, jonka paksuus on 1 mm ja pinta-ala 1 m², massaa. Perusmassa materiaalille SUS304TPY oli 7,93 kg/m³.

$$m_{\text{supistuskappale}} = 1,71119507 \text{ dm}^3 \times 7,93 \text{ kg/dm}^3 = 13,56977667 \text{ kg} \approx \mathbf{13,60 \text{ kg}}$$

JIS-putkilinjan 90°:en käyrän massa laskettiin suoran ympyrälieriön tilavuuden kaavalla. Käyrän keskihalkaisijan pituus on sama kuin ympyrälieriön tilavuuden kaavassa suoran ympyrälieriön korkeus h. Käyrän keskihalkaisijan pituus, eli tässä ympyrälieriön korkeus, laskettiin jakamalla ympyrän piiri neljällä.

$$h = \frac{2 \times \pi \times 609,6 \text{ mm}}{4} = 957,5574408 \text{ mm}$$

Käyrälle laskettiin tilavuudet ulkohalkaisijan sekä sisähalkaisijan mukaan. Ulkohalkaisijan mukaan laskettu käyrän tilavuus V₁ ja sisähalkaisijan mukaan laskettu käyrän tilavuus V₂ on esitetty alla.

$$V_1 = \frac{\pi \times (406,4 \text{ mm})^2 \times 957,5574408 \text{ mm}}{4} = 124\,211\,588,3 \text{ mm}^3$$

$$V_2 = \frac{\pi \times (396,4 \text{ mm})^2 \times 957,5574408 \text{ mm}}{4} = 118\,174\,019,7 \text{ mm}^3$$

Lopullinen käyrän seinämän tilavuus saatiin vähentämällä käyrän ulkomitoilla lasketusta tilavuudesta sisämitoilla laskettu tilavuus.

$$V_{\text{käyrä}} = 124\,211\,588,3 \text{ mm}^3 - 118\,174\,019,7 \text{ mm}^3 = 6\,037\,568,6 \text{ mm}^3 \\ = 6,0375686 \text{ dm}^3$$

Käyrän massa laskettiin lasketun käyrän tilavuuden, sekä standardin mukaisen perusmassan mukaan.

$$m_{\text{käyrä}} = 6,0375686 \text{ dm}^3 \times 7,93 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} = 47,87791899 \text{ kg} \approx \mathbf{47,90 \text{ kg}}$$

2-ASME-PUB-400-ANSI5S-linjan seinämän paksuuden laskenta

Seuraavassa on esitetty ASME B31.1 –standardin mukaan laskettu pienin vaadittu seinämän paksuus putkilinjalle 2-ASME-PUB-400-ANSI5S.

Aluksi määritettiin materiaalin 304L jännityksen arvo, SE, suunnittelulämpötilassa 203 °F. SE-arvona käytettiin lämpötilaa 200 °F vastaavaa arvoa 14,3 ksi (=14300 psig). Lisäksi laskentapaine P muutettiin yksiköstä bar yksikköön psig alla olevalla tavalla.

$$9,5 \text{ bar} = 9,5 \text{ bar} \times 14,503773773 = 137,7858 \dots \text{psig}$$

Alla on laskettu pienin vaadittu seinämän paksuus ennen paksuuslisää.

$$t_m = \frac{137,7858 \dots \text{psi} \times 406,4 \text{ mm}}{2 \times ((14300 \text{ psig} \times 1) + (137,7858 \dots \text{psig} \times 0,4))} = 1,9503 \dots \text{mm}$$

Paksuuslisät laskettiin huomioimalla seinämän paksuuden toleranssi 12,5 %.

$$A = 0,125 \times 1,9503 \dots \text{mm} = 0,2437 \dots \text{mm}$$

Seinämän paksuuden toleranssin mukaiset paksuuslisät lisättiin laskettuun pienimpään vaadittuun seinämänpaksuuteen.

$$t_m = 1,9503 \dots \text{mm} + 0,2437 \dots \text{mm} = 2,194189803 \text{ mm} \approx 2,20 \text{ mm}$$

4-ASME-ELM-500-ANSI5S-linjan seinämän paksuuden laskenta

Seuraavassa on esitetty ASME B31.1 -standardin mukaan laskettu pienin vaadittu seinämän paksuus putkijäljelle 4-ASME-ELM-500-ANSI5S.

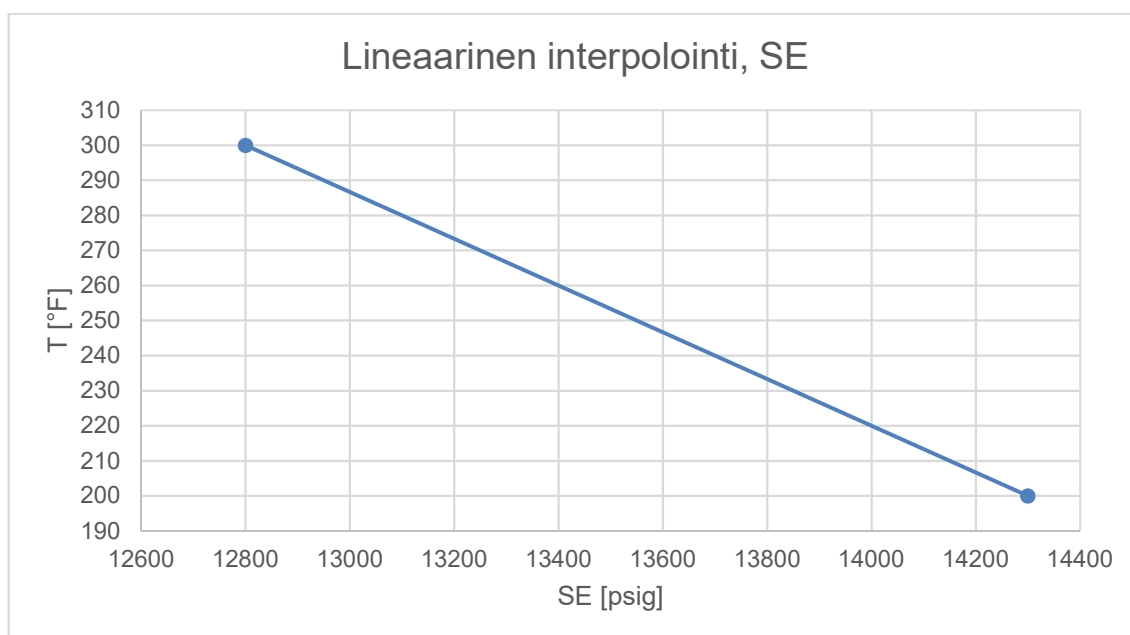
Aluksi määritettiin materiaalin 304L jännityksen arvo, SE, suunnittelulämpötilassa 293 °F. ASME B31.1 -standardin liitteen A taulukossa A-3 on listattu SE arvoja 100 °F:n välein, joten tarvittava arvo interpoloitiin lineaarisesti lämpötilojen 200 °F ja 300 °F väliltä. Taulukon A-3 antamat SE arvot muutettiin valmiiksi yksikköön psig (1 ksi = 1000 psig) alla olevan taulukon 1 mukaisesti.

Taulukko 1. SE-arvojen yksiköiden muutokset.

F	SE		SE	
200	14,3	ksi	14300	psig
300	12,8	ksi	12800	psig

Taulukon arvoista muodostettiin kuvaaja lineaarista interpolointia varten alla olevan mukaisesti (taulukko 2).

Taulukko 2. Materiaalin 304L SE-arvon lineaarinen interpolointi.



Kuvaajasta 2 saatiin SE-arvoksi 12 950 psig.

Laskentapaine P muutettiin yksiköstä bar yksikköön psig alla olevalla tavalla.

$$11 \text{ bar} = 11 \text{ bar} \times 14,503773773 = 159,5415 \dots \text{psig}$$

Alla on laskettu pienin vaadittu seinämän paksuus ennen paksuuslisää.

$$t_m = \frac{159,5415 \dots \text{psi} \times 508 \text{ mm}}{2((12950 \text{ psig} \times 1) + (159,5415 \dots \text{psig} \times 0,4))} = 3,1138 \dots \text{mm}$$

Paksuuslisät laskettiin huomioimalla seinämän paksuuden toleranssi 12,5 %.

$$A = 0,125 \times 3,1138 \dots \text{mm} = 0,389236 \dots \text{mm}$$

Seinämän paksuuden toleranssin mukaiset paksuuslisät lisättiin laskettuun pienimpään vaadittuun seinämänpaksuuteen.

$$t_m = 3,1138 \dots \text{mm} + 0,389236 \dots \text{mm} = 3,503122 \dots \text{mm} \approx 3,51 \text{ mm}$$