



Tea Niittynen

Koulutusmoduulit putkistourakointiyrityksessä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

12.4.2022

Tiivistelmä

Tekijä: Tea Niittynen
Otsikko: Koulutusmoduulit putkistourakointiyrityksessä
Sivumäärä: 43 sivua + 1 liite
Aika: 12.4.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine: Kemian prosessitekniikka
Ohjaajat: Lehtori Timo Seuranen
Laskenta- ja kehitysinsinööri Lasse Kuusijärvi

Insinööriyössä luotiin kaksi koulutusmoduulia Recion Oy:n sisäistä koulutusta varten. Koulutusmoduulit käsittelevät metallisten teollisuusputkistojen lujuustarkastelua standardisarjan SFS-EN 13480 mukaisesti sekä isometristä piirustusta. Koulutusmoduulit on suunnattu yrityksessä aloittaville uusille suunnittelijoille ja myös muille henkilöille, jotka eivät ole aiheiden parissa työskennelleet tai kokevat tarvitsevansa kertausta. Moduulit luotiin Microsoft PowerPoint -ohjelmalla.

Lujuuslaskentakoulutusmoduuliin valittiin tarkastelun kohteeksi kolme yrityksessä yleisesti käytettyä putkistokomponenttia. Komponenteiksi valikoituivat suora putki, kupera pääty ja yksittäinen istutettu haaritus. Moduulissa käydään jokaisen komponentin lujuuslaskenta läpi vaihe kerrallaan esimerkkien kautta. Moduulin alussa käydään läpi lujuuslaskennassa käytettyjen lähtötietojen teoriaa lyhyesti. Yrityksessä käytetään lujuuslaskelmiin laskentapohjaa.

Isometrisessä piirustusmoduulissa käsitellään piirustuksen sisältöä yleisesti sekä etenkin lujuuslaskennan näkökulmasta. Moduulissa käydään esimerkkien avulla läpi, mitä asioita isometrisissä piirustuksissa tulee esiintyä ja minkälaisia asioita isometrisistä piirustuksista tulisi tarkastaa.

Koulutusmoduulit esiteltiin koeryhmälle, jotta varmistettiin moduulien selkeys ja voitiin tehdä tarvittavat lisäykset ja muutokset ennen niiden julkaisua.

Yrityksessä muita usein käytettyjä putkistokomponentteja ovat suora pääty ja kartio. Kehitysideana on luoda vielä vastaavanlaiset lujuuslaskentakoulutusmoduulit näille komponenteille.

Avainsanat: lujuuslaskenta, isometrinen piirustus, standardi

Abstract

Author: Tea Niittynen
Title: Training modules for a Company Providing Piping Services
Number of Pages: 43 pages + 1 appendices
Date: 12 April 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major: Chemical Engineering
Supervisors: Timo Seuranen, Senior Lecturer
Lasse Kuusijärvi, Calculation Engineer

In this thesis two training modules were created for internal use in Recion Oy. The first training module is focused on strength calculation according to standard series SFS-EN 13480 "Metallic industrial piping". The second module is about isometric drawings. Training modules are targeted on new designers starting in the company and for other persons who have not been working with strength calculations or need some recapitulation. Modules were created by using the Microsoft PowerPoint program.

Three commonly used piping components in the company were selected for the strength calculation module. The components selected were straight pipe, dished end, and isolated set-in branch. The module presents strength calculation of each component step-by-step with examples. At the beginning of the module, there is a short introduction to the initial data for strength calculations. The company uses a calculation template for the strength calculations.

The isometric drawing module concentrates on drawing contents in general, and some problems especially from the perspective of strength calculation. Module uses examples to demonstrate what to focus on in calculations and what kind of issues to check from isometric drawings.

The training modules were presented to a test group for review. The test group proposed additions and changes to the modules before their release.

Other frequently used piping components in the company are a flat end and a cone. The development idea is to create a similar strength calculation package later for these components.

Keywords: strength calculation, isometric drawing, standard

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Koulutusmoduulit	2
3	Lujuuslaskenta	3
3.1	Lähtötiedot	3
3.1.1	Paine ja lämpötila	4
3.1.2	Korroosiovara	5
3.1.3	Aineenpaksuus ja toleranssi	5
3.1.4	Hitsausliitoksen lujuuskerroin	8
3.1.5	Suunnittelujännitykset	9
3.2	Suoran putken tarkastelu	10
3.3	Yksittäiset aukot putkessa	11
3.3.1	Vahvistustavat	12
3.3.2	Rajoitukset	13
3.3.3	Laskenta	17
3.3.4	Vahvistamaton aukko	19
3.3.5	Erikoishaaroitukset	20
3.4	Kupera pääty	20
3.4.1	Rajoitukset	21
3.4.2	Päättytyypit	23
4	Isometrinen piirustus	26
4.1	Otsikkotaulu	27
4.2	Osaluettelo	28
4.3	Paineastiakilpi	30
4.4	Piirustus	31
4.5	Isometrinen piirustus osana lujuuslaskentaa	32
5	Toteutus	33
5.1	Lujuuslaskentamoduuli	33
5.2	Isometrinen piirustusmoduuli	38
5.3	Käynti Recion Oy:n konepajalla	40

6 Yhteenveto ja kehitysideat

41

Lähteet

43

Liite 1: Tilatun seinämänpaksuuden tarkastelu

Lyhenteet

- CAD: *Computer Aided Design*. Tietokoneavusteinen suunnittelu.
- DN: *Dimension Nominal*. Nimellissuuruus.
- MT: *Magnetic-particle Testing*. Magneettijauhetarkastus. Rikkomaton aineenkoetusmenetelmä.
- MTO: *Material Take-off*. Materiaaliluettelo.
- NDT: *Non-Destructive Testing*. Rikkomaton aineenkoetus.
- PED: *Pressure Equipment Directive*. Painelaitedirektiivi 2014/68/EU.
- PT: *Penetrant Testing*. Tunkeumanestetarkastus. Rikkomaton aineenkoetusmenetelmä.
- RT: *Radiographic Testing*. Radiografinen tarkastus. Rikkomaton aineenkoetusmenetelmä.
- UT: *Ultrasonic Testing*. Ultraäänitarkastus. Rikkomaton aineenkoetusmenetelmä.
- VT: *Visual Testing*. Visuaalinen tarkastus. Rikkomaton aineenkoetusmenetelmä.

1 Johdanto

Insinööriyön tavoitteena on luoda koulutusmateriaalia yrityksen sisäistä koulutusta varten. Työssä luodaan kaksi uutta koulutusmoduulia, jotka käsittelevät metallisten teollisuusputkistojen lujuuslaskentaa standardisarjan SFS-EN 13480 mukaan sekä isometristä piirustusta ja sen käyttöä osana lujuuslaskentaa. Koulutusmateriaalit on pääasiassa suunnattu yrityksessä aloittaville uusille suunnittelijoille.

Lujuuslaskentakoulutusmoduuliin on valittu kolme eri komponenttia, joiden laskentaa tarkastellaan vaihe vaiheelta. Tavoitteena on luoda standardia kevyempää tekstiä ja helpommin ymmärrettävissä olevaa koulutusmateriaalia uusille työntekijöille. Lujuuslaskentamoduulin keskeinen sisältö painottuu lujuuslaskennan käytännön suoritukseen laskentatiedostoa hyödyntäen. Moduulissa tarkastellaan suoran putken, putkessa sijaitsevan yksittäisen aukon ja kuperan päädyn lujuuslaskennat.

Isometrinen piirustuskoulutusmoduuli käsittelee piirustuksen sisältöä, sen vaatimuksia sekä piirustuksen käyttöä lujuuslaskentaa suoritettaessa. Lisäksi työssä tarkastellaan standardeja SFS-EN 13480-3, SFS-ISO 6412, PSK 5803 sekä muita aiheeseen liittyviä standardeja.

Insinööriyö tehtiin Recion Oy:lle. Recion on teollisuuden putkistopalveluihin erikoistunut yritys, jonka ydinosuamista ovat korkeapaineputkistot. Recion tarjoaa projektipalveluita, putkistosuunnittelua, erilaisten komponenttien valmistusta ja asennuksia sekä kuumasinkitystä useille eri teollisuuden aloille. Asiakkaita ovat muun muassa kattilanvalmistajat, ydinvoimalat, voimalaitokset ja prosessiteollisuuden yritykset. [1.]

2 Koulutusmoduulit

Koulutusmoduulit on laadittu niin, että niistä voi aloittaa ilman aikaisempaa kokemusta aiheesta tai vastaavanlaisista työtehtävistä. Lujuuslaskentamoduuli on suunnattu pääasiassa aloittaville suunnittelijoille ja muille kertauksena. Isometrinen piirustusmoduuli on suunnattu aloittaville suunnittelijoille, minkä lisäksi se voi toimia koulutusmateriaalina myös muiden työtehtävien parissa aloittaville työntekijöille.

Yrityksessä ei ole aiemmin ollut lujuuslaskentaan liittyvää koulutusmateriaalia uusille suunnittelijoille. Sen sijaan materiaalina ovat toimineet standardit ja Painelaitedirektiivin 2014/68/EU (PED) mukainen laskenta- ja tarkastusohje. PED laskenta- ja tarkastusohje pitää sisällään viittaukset standardeihin ja muuta yleistä tietoa. Ohje ei kuitenkaan anna vinkkejä laskennan yksityiskohtiin. [2.] Lujuuslaskentaan liittyville koulutusmoduuleille on tarvetta yrityksessä.

Tavoitteena on luoda standardeja helpompi ja nopeampi tapa tutustua aiheeseen. Tarkoituksena on tehdä niin sanottu muistiinpano, josta selviää, kuinka laskentatiedostoa käytetään lujuuslaskennassa. Työn tavoitteena ei ole kuitenkaan avata kaikkia standardin esittämiä kaavoja laskennan onnistumiseksi. Pääpainotus pidetään käytännön tekemisessä – tosin moduulin alussa on tiivistelmät oleellisista lähtötiedoista. Kalvosarjassa käydään lävitse suoran putken laskenta, yksittäisen aukon laskenta suorassa putkessa sekä kuperan päädyn tarkastelu. Moduulissa tarkastellaan esimerkkejä käynnissä olevasta projektista.

Lujuustarkastelua tehdessä olennaisena osana ovat isometrinen piirustus ja muotokappalepiirustus. Tässä insinööriyössä aihe rajattiin ainoastaan isometriseen piirustukseen, ettei työstä tulisi liian laaja. Tavoitteena isometrisessä piirustusmoduulissa on käydä lävitse lujuuslaskennan kannalta olennaisia tietoja. Lisäksi käydään läpi yleistä tietoa, joka ei välttämättä ole selvää henkilölle, joka ei ole aiemmin työskennellyt isometristen piirustusten parissa. Moduuliin tuodaan esimerkkejä aiemmista projekteista.

3 Lujuuslaskenta

Lujuuslaskentaa hyödyntämällä voidaan varmistaa komponenttien ja laitekoko-
naisuuksien turvallinen toiminta. Putkistoon vaikuttaa monia kuormitustapauksia
koko sen käyttöajan ajan, mitä ovat esimerkiksi lämpötila, sisäinen sekä ulkoinen
paine, putkiston ja sen sisällön paino, sisällön dynaamiset vaikutukset, ilmasto-
olosuhteet ja värähtelyt. Lujuustarkastelua tarvitaan, jotta pystytään todenta-
maan putkistorakenteen kestävyys painekuormitusten suhteen. Tässä insinööri-
työssä käsitellään metallisten teollisuusputkistojen lujuuslaskentaa eurooppalai-
sen standardisarjan SFS-EN 13480 mukaan. [3, s. 14–15.]

Putkistoon kohdistuvat kuormitukset jaetaan primäärisiin ja sekundäärisiin jänni-
tyksiin. Primääriset jännitykset ovat esimerkiksi pysyviä kuormia ja sisäistä pai-
netta sekä niihin liittyviä poikkeuksellisia kuormituksia. Sekundaariset jännityk-
set ovat lämpölaajenemisesta ja jännityksen vaihteluvälistä johtuvia kuormituk-
sia. Tässä insinööriytyössä lujuuslaskennalla tarkoitetaan komponenttien sisäistä
paineenkestoa. Insinööriytyössä ei tarkastella ollenkaan oman painon aiheutta-
mia jännityksiä ja sekundäärisiä jännityksiä eli komponenttien pituussuuntaista
kestävyyttä. [4, s. 20–21.]

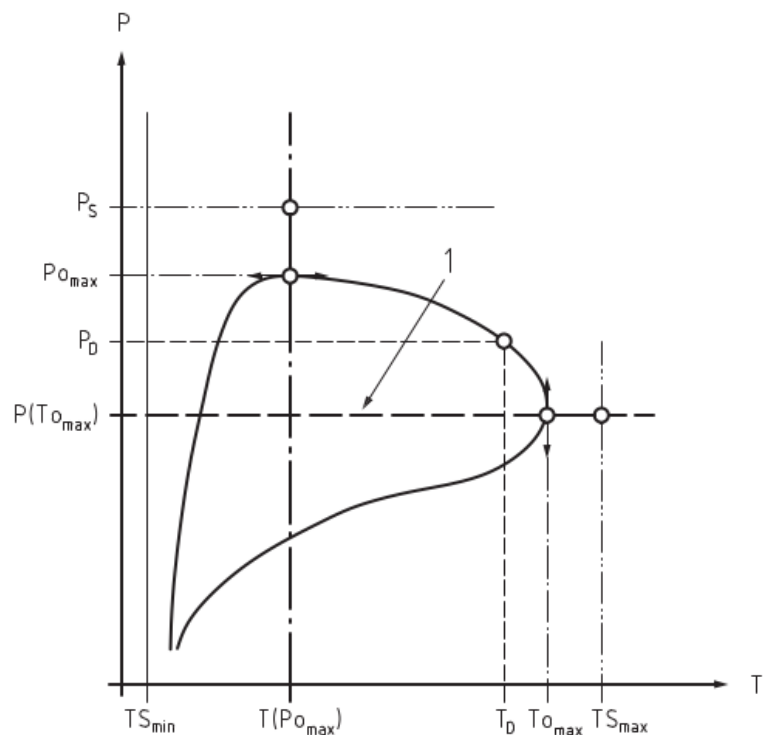
3.1 Lähtötiedot

Seuraavissa alaluvuissa käsitellään lujuustarkasteluun vaadittavia lähtötietoja.
Laskennan vaatimat lähtötiedot löytyvät useasta eri lähteestä. Käyttö- ja koeti-
lan paine, lämpötila ja korroosiovara tulevat prosessisuunnittelusta, ja ne on
yleensä esitetty linjaluetelossa, isometrisessä piirustuksessa ja muotokappale-
piirustuksessa. Korroosiovara esitetään paineastiakilvessä. Komponentin mate-
riaali ja materiaalistandardi on esitetty hankintaluetelossa (MTO) ja piirustusten
osaluetteloissa. Komponentin tarkemmat dimensiot on korkeapaineputkistokom-
ponenteilla esitetty muotokappalepiirustuksesta.

3.1.1 Paine ja lämpötila

Käyttöpaine p_o ja käyttölämpötila t_o ovat ne paineen ja lämpötilan arvot, jotka esiintyvät todellisuudessa prosessin ajon aikana. Käyttöpaine p_o ja käyttölämpötila t_o eivät saa ylittää putkistolle suurinta sallittua painetta PS ja korkeinta sallittua lämpötilaa TS . [3, s. 15.]

Laskennat on suoritettava niin, että käyttöpaine p_o ja käyttölämpötila t_o vastaavat pahinta mahdollista samanaikaista tilapistettä (p_o, t_o) eli paine/lämpötilayhdistelmää. Yksittäisellä putkella voi olla useita eri tilapisteitä (p_o, t_o) , sillä prosessia voidaan ajaa eri käyttöpaineella p_o ja käyttölämpötilalla t_o riippuen prosessin ajotavasta. Paine- ja lämpötilayhdistelmät näkyvät kuvassa 1. [3, s. 15; 5.]



Selite

1 normaalit toimintaolosuhteet

Kuva 1. Paine- ja lämpötilayhdistelmät [6, s. 24].

Jokaiselle käyttöpaineen ja käyttölämpötilan tilapisteelle (p_o, t_o) on määritettävä laskentapaine p_c , joka ei saa alittaa käyttöpainetta p_o . Laskentalämpötilan t_c arvona käytetään korkeinta lämpötilaa laskentapaineessa p_c , joka esiintyy normaalien käyttöolosuhteiden aikana putken seinämän puolivälissä. Laskentapainetta p_c ja laskentalämpötilaa t_c käytettäessä tulisi siis suorittaa laskenta usealle tilapisteelle (p_o, t_o) . [3, s. 15–16.]

Vaihtoehtoisesti voidaan määrittää laskentapaineeksi p_c käytettäväksi normaalin käyttötilanteen maksimipainetta P_{omax} ja laskentalämpötilaksi t_c normaalin käyttötilanteen maksimilämpötilaa T_{omax} , vaikka ne eivät välttämättä todellisuudessa vaikuttaisikaan samanaikaisesti. Yleensä käytetään laskentapaineena ja laskentalämpötilana PS ja TS , jolloin laskenta suoritetaan vain kerran ja mitoitus on varmasti turvallisella puolella. [3, s. 15–16; 6, s. 23.]

3.1.2 Korroosiovara

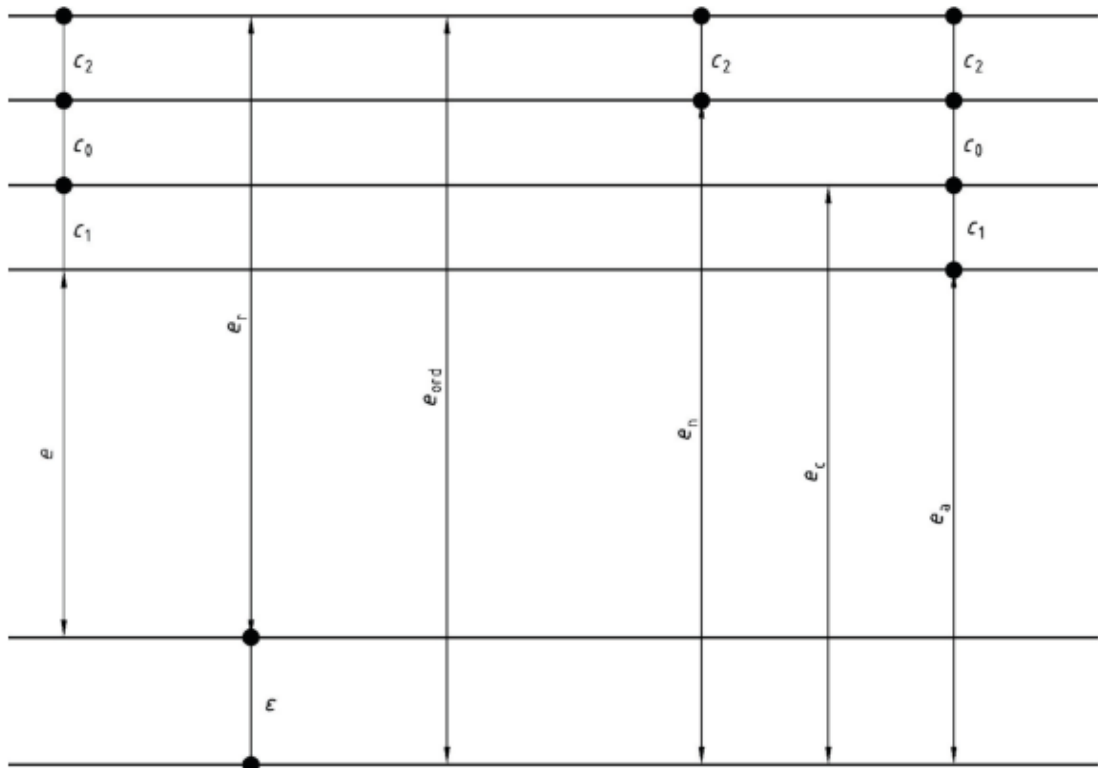
Putkistokomponenteille esiintyy korroosiota, joka ohentaa ajan kuluessa seinämää. Siksi suunniteltuihin seinämävahvuuksiin lisätään korroosiovara c_o . Korroosion suuruuteen vaikuttavat putkistossa virtaava fluidi ja valittu putkiston materiaali. Myös ulkoiset olosuhteet voivat vaikuttaa korroosion muodostumiseen. Korroosiovarassa c_o huomioidaan eroosion vaikutus. Piirustuksissa ilmoitetaan korroosiovaran c_o suuruus, jotta tarkastus ja mahdolliset myöhemmin tehtävät muutokset olisi helpompi toteuttaa. [7, s. 36; 8; 3, s. 20.]

3.1.3 Aineenpaksuus ja toleranssi

Putkistostandardi sisältää useita seinämänpaksuuteen liittyviä muuttujia, joilla on keskinäisiä riippuvaisuuksia. Seinämiä käytetään useampaan tilanteeseen: laskentaan, ilmoittamaan valmistuksessa mitattava minimiseinämä ja hankintaan.

Putkille ja putkiston komponenteille on määritettävä vähimmäispaksuus. Vähimmäispaksuus on riippuvainen tuotteen valmistusmenetelmästä. [3, s. 20.]

Kuvassa 2 on esitettyä ainepaksuus tilattuna keskimääräisellä seinämänpaksuudella.



Kuva 2. Ainepaksuus tilattuna keskimääräisellä seinämänpaksuudella [3, s. 21].

Minimiseinämä e on pienin vaadittu paksuus, jolla saavutetaan paineenkesto-
huomioimatta paksuuslisiä ja -toleransseja. Minimiseinämä e tulee ratkaista
standardissa SFS-EN 13480-3 esitetyillä kaavoilla. [3, s. 21.]

Seinämän paksuustoleranssi c_1 on joko materiaalistandardissa ilmoitettu tole-
ranssi tai valmistajan ilmoittama toleranssi. Ohenemisvara c_2 on puolestaan val-
mistuksen aikaisen ohenemisen arvo. Ohenemista tapahtuu esimerkiksi kuuma-
ja kylmämuovauksissa, urittamisessa ja kierteittäessä. [3, s. 21.]

Pienin vaadittu seinämän paksuus, jossa on huomioitu paksuuslisät ja -toleranssit, merkitään tunnuksella e_r . Tilattu ainepaksuus e_{ord} on paksuus, joka sisältää minimiseinämän e , paksuuslisät, paksuustoleranssit ja ylimääräisen paksuuden ε . Nimellispaksuus e_n , joka esiintyy piirustuksissa, sisältää minimiseinämän e , korroosiovaran c_0 , paksuustoleranssin c_1 ja ylimääräisen paksuuden ε . Joustavuusanalyysissä käytetty korroosion tai eroosion vaikutuksen jälkeen jäänyt seinämänvahvuus merkitään tunnuksella e_c . [3, s. 21.]

Analyysipaksuus e_a sisältää minimiseinämän e ja ylimääräisen paksuuden ε . Analyysipaksuutta e_a käytetään lujuustarkistuksessa. Analyysipaksuus e_a määritetään joko kaavalla (1) tai kaavalla (2) seuraavasti: [3, s. 21–22.]

$$e_a = e + \varepsilon \quad (1)$$

tai

$$e_a = e_{ord} - c_0 - c_1 - c_2 \quad (2)$$

e_a on analyysipaksuus

e on pienin vaadittu paksuus ilman paksuuslisiä ja -toleransseja

ε on ylimääräinen paksuus

e_{ord} on tilattu paksuus

c_0 on korroosiovara

c_1 on paksuustoleranssi

c_2 on ohenemisvara.

Putkien toleranssit ovat tyypillisesti prosentiosuuksia nimellisseinämistä. Sen vuoksi standardin kaavoissa ei putkia tarkasteltaessa käytetä paksuusyksikkö-versiota. Tilatun paksuuden e_{ord} tulee olla vähintään seuraava kuin kaavassa (3) tai sama johdettuna hieman eri muotoon, kaavassa (4) [3, s. 23]:

$$e_{ord} \geq (e + c_0 + c_2) * \frac{100}{100-x} \quad (3)$$

tai

$$\frac{e_{ord}}{100/(100-x)} \geq e + c_0 + c_2, \quad (4)$$

joissa paksuustoleranssi c_1 on ilmoitettu prosenttiosuutena x .

e_{ord} on tilattu paksuus

e on pienin vaadittu paksuus ilman paksuuslisiä ja -toleransseja

c_0 on korroosiovara

c_2 on ohenemisvara

c_1 on paksuustoleranssi

x on paksuustoleranssi prosenttiosuutena.

Kaavalla (3) tarkasteltaessa toleranssi lisätään pienimmän vaaditun paksuuden e , korroosiovaran c_0 ja ohenemisvaran c_2 summaan. Kun tarkastellaan tilatun paksuuden e_{ord} vaatimusten täyttymistä kaavalla (4), toleranssi vähenee tilatun paksuuden e_{ord} seinämänvahvuudesta. Liitteessä 1 on esitetty laskenta-esimerkki, jossa tarkastellaan, täyttääkö tilattu paksuus e_{ord} standardin vaatimukset hyödyntäen kaavoja (3) ja (4).

3.1.4 Hitsausliitoksen lujuuskerroin

Osa komponenteista sisältää hitsausliitoksia, jotka vaikuttavat seinämän vaadittavan paksuuden määrittämiseen. Tällöin seinämän vaadittua paksuutta määritettäessä laskentakaavoissa esiintyy rakenneosan mitoittava hitsausliitoksen lujuuskerroin z . Esimerkiksi hitsausliitoksen lujuuskerroin z esiintyy lieriön, kartion ja pallon laskennassa. [3, s. 23; 9, s. 27.]

Kun kyseessä on esimerkiksi lieriön pituushitsi tai kierresauma, kartion pituushitsi tai useasta osasta valmistetun pallokuoren, kuperan päädyn tai puolipallopäädyn liitoshitsi, on kyseessä mitoittava hitsausliitos, ja hitsausliitoksen lujuuskerroin z tulee huomioida. Mitoittavia hitsausliitoksia eivät ole rungon ja yhteen välinen hitsausliitos, pelkän puristusjännityksen alainen hitsausliitos ja lieriön tai kartion liittyminen poikittaisella hitsausliitoksella toiseen lieriöön, kartioon, laippaan tai päätyyn lukuun ottamatta puolipallopäätyä. Hitsausliitoksen lujuuskerroin z ei saa ylittää arvoja seuraavasti:

- $z = 1$, kun hitsausliitokselle tehdään rikkova tai rikkomaton aineenkoetus
- $z = 0,85$, kun hitsausliitokselle tehdään rikkomatonta aineenkoetusta pistokokeina
- $z = 0,7$, kun hitsausliitos tarkastetaan ainoastaan silmämääräisesti. [3, s. 23; 9, s. 27.]

Jokainen hitsausliitos on tarkastettava visuaalisesti (VT). Liitoksen lujuuskertoimen ollessa välillä $0,7 < z \leq 0,85$ on suoritettava joko magneettijauhe- (MT), tunkeumaneste- (PT), radiografinen (RT) tai ultraäänitarkastus (UT) kymmenelle prosentille hitsausliitoksen pituudesta. Liitoksen lujuuskertoimen ollessa yli $0,85$ on edellä mainituista tarkastuksista suoritettava jokin hitsausliitoksen jokaiselle kohdalle. [10, s. 17.]

Saumattomalle putkelle ja virumisalueella toimiville seosteräsputkistokomponenteille hitsausliitoksen lujuuskertoimen z arvo on yksi [11, s. 135].

3.1.5 Suunnittelujännitykset

Lujuuslaskelmissa käytetään suunnittelujännitystä. Suunnittelujännitys voidaan jakaa ajasta riippumattomaan nimelliseen suunnittelujännitykseen sekä aikariippuvaan nimelliseen suunnittelujännitykseen. [3, s. 24.]

Aikariippuvaista nimellistä suunnittelujännitystä käytetään, kun toimitaan virumisalueella. Virumista tapahtuu teräksillä korkeissa lämpötiloissa jännityksen alaisena. Viruminen on ajasta riippuvaa pysyvää muodonmuutosta, kuten venymää ja raerajakolojen muodostumista. [12, s. 102.]

Suunnittelujännityksen määrittäminen sisältää laskentakaavoja, joiden mukaan lasketaan suunnittelujännitys kaikille suunnittelu- ja koeolosuhteille. Suunnittelujännityksen arvona käytetään pienintä arvoa, joka saadaan laskettua edellisen jaottelun perusteella. Suunnittelujännitystä määritettäessä on käytettävä standardissa SFS-EN 13480-2 esitettyjen materiaalistandardien mukaisia materiaaliominaisuusarvoja. [3, s. 24.]

3.2 Suoran putken tarkastelu

Suoran putken pienin vaadittu seinämänpaksuus e , huomioimatta paksuuslisiä ja -toleransseja, määritetään putken ulkohalkaisijan avulla kaavojen (5) ja (6) mukaan halkaisijasuhteesta riippuen seuraavasti: [3, s. 27.]

Jos $D_o / D_i \leq 1,7$:

$$e = \frac{p_c D_o}{2fz + p_c} \quad (5)$$

Jos $D_o / D_i > 1,7$:

$$e = \frac{D_o}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{fz - p_c}{fz + p_c}} \right) \quad (6)$$

D_o on putken ulkohalkaisija

D_i on putken sisähalkaisija

e on pienin vaadittu paksuus ilman paksuuslisiä ja -toleransseja

p_c on laskentapaine

f on suunnittelujännitys

z on hitsausliitoksen lujuuskerroin.

3.3 Yksittäiset aukot putkessa

Tässä luvussa tarkastellaan yksittäisiä pyöreitä aukkoja, jotka sijaitsevat putkessa. Kappaleessa käsitellään ainoastaan hitsattuja yhteitä, jotka sijaitsevat kohtisuorassa runkoputkeen nähden. Kuvassa 3 näkyy tämän kaltainen runkoputkeen hitsaamalla liitetty yhde, joka on kohtisuorassa runkoon nähden.



Kuva 3. Haaroitus suorassa putkessa kohtisuoraan runkoon nähden.

Istutushitsausliitoksen rikkomaton aineenkoetus eli NDT-tarkastus suoritetaan pintatarkastusaineella, joka on värillistä nestettä. Pintatarkastuksen tarkoituksena on varmistaa hitsausliitoksen virheettömyys. Jos poikkeamia löytyy, ne voidaan vielä korjata valmistusvaiheessa. [13.] Kuvassa 3 näkyy pintatarkastettu hitsausliitos.

3.3.1 Vahvistustavat

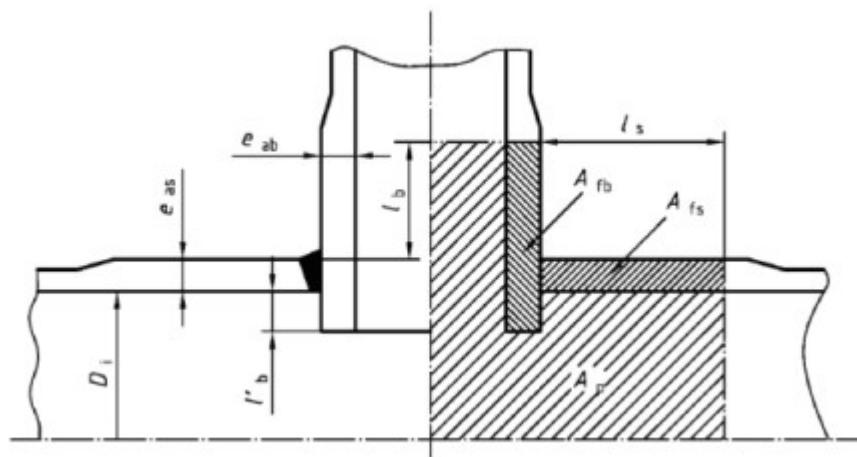
Kun putkeen tehdään aukko, sen paineenkesto alenee. Hävitetty painetta kantava pinta-ala tulee kompensoida vahvistuksella. Vahvistus on tehtävä joillakin seuraavista tavoista tai niiden yhdistelmällä:

- kasvattamalla runkoputken seinämnpaksuutta
- kasvattamalla yhteen seinämnpaksuutta
- pintaan hitsatuilla vahvistuslevyillä. [3, s. 63.]

Vahvistuksen on kuljettava kokonaan putken ja/tai yhteen ympäri [3, s. 63].

Koska korkeapaineputkistoissa ei käytetä vahvistuslevyjä, niitä ei käsitellä tässä insinööriyössä enempää.

Kuvassa 4 näkyy vahvistusvaihtoehdot kasvattamalla runkoputken ja/tai haaran seinämnpaksuutta.



Kuva 4. Vahvistus kasvattamalla runkoputken ja/tai haaran seinämnpaksuutta [3, s. 70].

Kun vahvistus tehdään kasvattamalla runkoputken seinämnpaksuutta, sen tulee olla suurempi verrattuna aukottomaan runkoputken seinämän paksuuteen. Vahvistettu seinämnpaksuus tulee olla vähintään pituudella l_s . Vahvistettu pituus l_s mitataan yhteen ulkokuoren pinnasta. [3, s. 70.]

Kasvattamalla yhteen seinämänpaksuutta vahvistus voidaan tehdä joko yhteen sisä- tai ulkopuolelle. Vahvistettu seinämänpaksuus tulee olla vähintään pituudella l_b . Vahvistettu pituus l_b aloitetaan mittaamaan runkoputken ulkokuoren pinnasta. [3, s. 65, 70.]

Kappaleista, joihin tulee vahvistava pituus l_s ja/tai l_b , pyritään tekemään niin lyhyet kuin mahdollista, mutta standardin vaatimukset huomioituna. Toisin sanoen vahvistava pituus tulee sille etäisyydelle kuin standardi määrittää, minkä jälkeen alkaa kalibroinnit ja viisteet. Kappaleista pyritään tekemään mahdollisimman lyhyet, koska paksumpi materiaali maksaa ja painaa enemmän. Mitä kevyempi kappale on, sitä edullisempi se on myös kannakkeiden kannalta. [13.]

Jos virtausteknisesti on tarkoitus päästä mahdollisimman pieniin häviöihin, haaran sisähalkaisijan tulee olla mahdollisimman suuri. Lisäksi auttaa, että aukon kulmissa on pyöristykset. [5.]

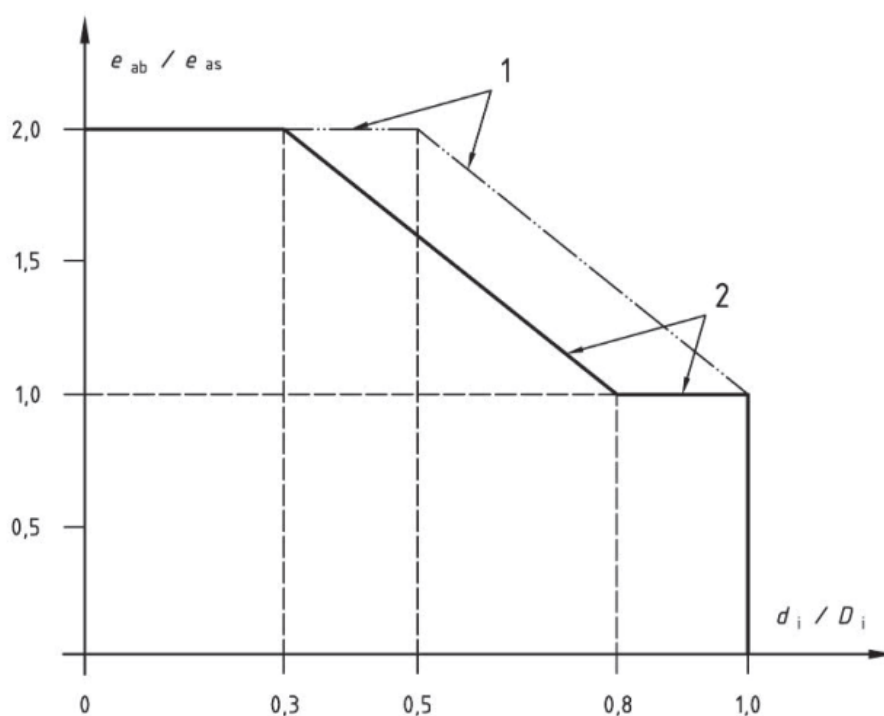
3.3.2 Rajoitukset

Putkessa sijaitsevaa yksittäistä aukkoa tarkasteltaessa on seuraavat rajoittavat tekijät huomioitava:

- paksuussuhde
- epäjatkuvuuskohdat
- vahvistustavat
- laskentamenetelmä
- runko- ja haaraputkessa erilainen materiaali
- yhteen sisähalkaisija korkeintaan yhtä suuri kuin rungon sisähalkaisija (kuva 5)
- halkaisijasuhde virumisalueella. [3, s. 61–65, 74.]

Paksuussuhde

Laskennassa käytettävää haaran paksuutta on rajoitettava, jos paksuussuhde e_{ab}/e_{as} ylittää kuvassa 5 näkyvät arvot. Kaavassa e_{ab} on yhteen redusoitu analyysipaksuus ja e_{as} on runkoputken analyysipaksuus. [3, s. 61.]



Selite

- 1 vain jos $f \leq 250 \text{ N/mm}^2$
- 2 vain jos $f > 250 \text{ N/mm}^2$

Kuva 5. Paksuussuhde halkaisijoiden d_i/D_i suhteen funktiona [3, s. 61].

Epäjatkuvuuskohdat

Aukon sijaitessa lähellä epäjatkuvuuskohtaa voi geometriasta muodostua rajoitavia tekijöitä. Kun putki, jossa aukko sijaitsee, on liitetty kuperaan tai suoraan päätyyn, kartion suureen päähän, paljetasaimeen tai laippoihin, on etäisyyden x oltava vähintään kaavassa (7) esitetty epäjatkuvuuskohdan ja aukon välillä. [3, s. 62.]

$$x \geq \max (0,2 l_s ; 3,0 e_{as}) \quad (7)$$

x on pienin etäisyys seuraavaan epäjatkuvuuskohtaan

l_s on vahvistavan osan pituus runkoputkelle

e_{as} on runkoputken seinämän analyysipaksuus.

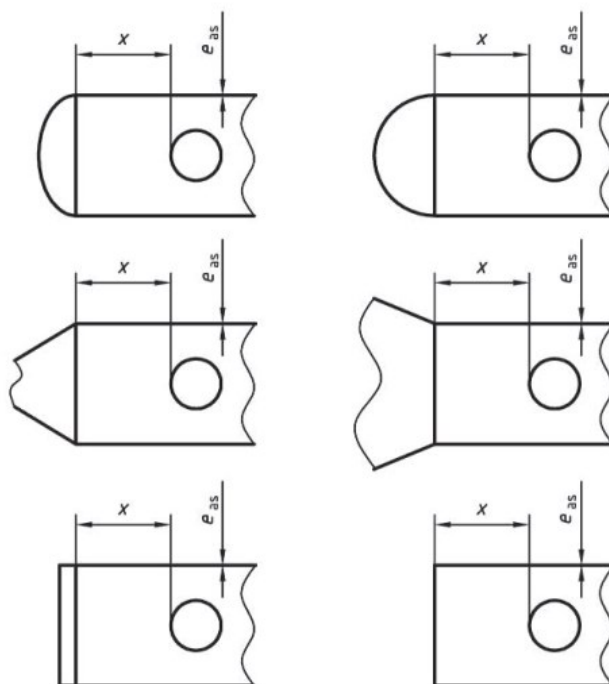
Kun putki, jossa aukko sijaitsee, on liitetty kartion pieneen päähän, puolipallonmuotoiseen kuoreen tai muuhun lieriömäiseen, ei-samakeskeiseen kuoreen, on etäisyyden x oltava vähintään kaavassa (8) esitetty epäjatkuvuuskohdan ja aukon välillä [3, s. 62].

$$x \geq l_s \quad (8)$$

x on pienin etäisyys seuraavaan epäjatkuvuuskohtaan

l_s on vahvistavan osan pituus runkoputkelle.

Kuvassa 6 on havainnoitu etäisyyttä x aukon ja erilaisten epäjatkuvuuskohtien välillä.



Kuva 6. Putkessa sijaitseva aukko [3, s. 62].

Vahvistustavat

Vahvistustapana on käytettävä jotakin edellä mainituista kolmesta eri menetelmästä tai niiden yhdistelmästä. Esimerkiksi hitsausliitoksia ei voida mieltää vahvistustavaksi, eikä niistä tule painetta kantavaa poikkipinta-alaa lisää. [3, s. 63; 5.]

Laskentamenetelmä

Laskentamenetelmä muodostaa rajoittavan tekijän silloin, kun kappaleen paineenkesto on pienempi kuin vaadittava paineenkesto [3, s. 64, 70]. Vahvistavien pituuksien tulee mahtua kappaleen rajojen sisäpuolelle. Käytettävä laskentataulukko tai -ohjelma voi myös rajata tarkasteltavan kappaleen muotoja (esimerkiksi verrattaessa kuvien 4 ja 7 kappaleiden muotoja).

Runko- ja haaraputkessa erilainen materiaali

Jos materiaaleilla on erisuuruiset suunnittelujännitykset, käytetään haaroituksen laskennassa runkoputkelle suunnittelujännitystä f_s . Haaroituksen puolella materiaalien eroavaisuus on huomioitava, ja suunnittelujännitys f_b on kaavan (9) mukaisesti [3, s. 71].

$$f_b = \min (f_b ; f_s) \quad (9)$$

Yhteen sisähalkaisija korkeintaan yhtä suuri kuin rungon sisähalkaisija

Yhteen sisähalkaisija saa olla korkeintaan yhtä suuri kuin runkoputken sisähalkaisija. Esimerkiksi, jos runkoputken ja yhteen ulkohalkaisijat ja seinämänvahvuudet ovat samat, runkoputken toleranssi ei saa olla suurempi kuin yhteen vastaava toleranssi. [14.]

Halkaisijasuhde virumisalueella

Jos toimitaan virumisalueella, haaroituksen ja runkoputken sisähalkaisijoiden suhteen täytyy olla korkeintaan 0,8. Toisin sanoen $d_i/D_i \leq 0,8$. [3, s. 74.]

3.3.3 Laskenta

Vierekkäisiä haaroituksia käsitellään yksittäisinä aukkoina, jos kaava (10) toteutuu seuraavasti [3, s. 67]:

$$L_b \geq \frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2} + l_{s1} + l_{s2} \quad (10)$$

L_b on vierekkäisten haaroitusten keskipisteiden välinen etäisyys

d_1 on yhteen 1 ulkohalkaisija

d_2 on yhteen 2 ulkohalkaisija

l_{s1} on yhteen 1 runkoputken vahvistavan osan pituus

l_{s2} on yhteen 2 runkoputken vahvistavan osan pituus.

Seuraavat kaavat pätevät, kun vahvistus suoritetaan kasvattamalla runkoputken ja/tai yhteen seinämän paksuutta. Kaavat eivät ole voimassa, jos haaroituksen ja runkoputken halkaisijoiden suhde on välillä $d_i/D_i > 0,8$ ja toimitaan virumisalueella. [3, s. 70, 74.]

Rungon vahvistava pituus saadaan kaavasta (11) seuraavasti [3, s. 69]:

$$l_s = \sqrt{D_{eq} e_{as}}, \quad (11)$$

jossa D_{eq} saadaan kaavasta (12)

$$D_{eq} = D_o - e_{as} \quad (12)$$

Vastaavasti yhteen vahvistava pituus saadaan kaavasta (13) seuraavasti [3, s. 70]:

$$l_b = \sqrt{d_{eqb}e_{ab}}, \quad (13)$$

jossa d_{eqb} saadaan kaavasta (14)

$$d_{eqb} = d_o - e_{ab} \quad (14)$$

l_s on vahvistavan osan pituus runkoputkelle

D_{eq} on runkoputken kuoren laskennallinen halkaisija kuoreen nähden kohtisuorassa suunnassa olevan aukon keskipisteessä

e_{as} on runkoputken seinämän analyysipaksuus

D_o on runkoputken ulkohalkaisija

l_b on vahvistavan osan pituus yhteelle

d_{eqb} on yhteen kuoren laskennallinen halkaisija kuoreen nähden kohtisuorassa suunnassa olevan aukon keskipisteessä

e_{ab} on yhteen seinämän analyysipaksuus, redusoitu

d_o on yhteen ulkohalkaisija.

Lisäksi kaavan (15) on toteuduttava seuraavasti [3, s. 70]:

$$\left(f_b \frac{p_c}{2}\right) A_{fb} + \left(f_s \frac{p_c}{2}\right) A_{fs} \geq p_c A_p, \quad (15)$$

jossa vahvistuksena vaikuttavat poikkipinta-alat A_{fb} ja A_{fs} kuvan 4 kappaleelle määritetään kaavoilla (16) ja (17) ja painekuormitettu pinta-ala A_p kaavalla (18) [3, s. 70].

$$A_{fb} = e_{ab}l_b + e_{ab}(e_{as} + l'_b) \quad (16)$$

$$A_{fs} = e_{as}l_s \quad (17)$$

$$A_p = \frac{D_i}{2} \left(l_s + e_{ab} + \frac{d_i}{2} \right) + \frac{d_i}{2} (l_b + e_{as}) - l'_b e_{ab} \quad (18)$$

f_b on suunnittelujännitys yhteen lujuusarvoilla

p_c on laskentapaine

A_{fb} on yhteen vahvistuksena vaikuttava poikkipinta-ala

f_s on suunnittelujännitys runkoputken lujuusarvoilla

A_{fs} on runkoputken vahvistuksena vaikuttava poikkipinta-ala

A_p on painekuormitettu pinta-ala

e_{ab} on yhteen seinämän analyysipaksuus, redusoitu

l_b on vahvistavan osan pituus yhteelle

e_{as} on runkoputken seinämän analyysipaksuus

l'_b on istutuksen läpimenevä pituus

l_s on vahvistavan osan pituus runkoputkelle

D_i on runkoputken sisähalkaisija

d_i on yhteen sisähalkaisija.

3.3.4 Vahvistamaton aukko

Vahvistusta ei vaadita, jos kaava (19) toteutuu seuraavasti [3, s. 70]:

$$d_i \leq 0,14 \sqrt{D_{eq} e_{as}} \quad (19)$$

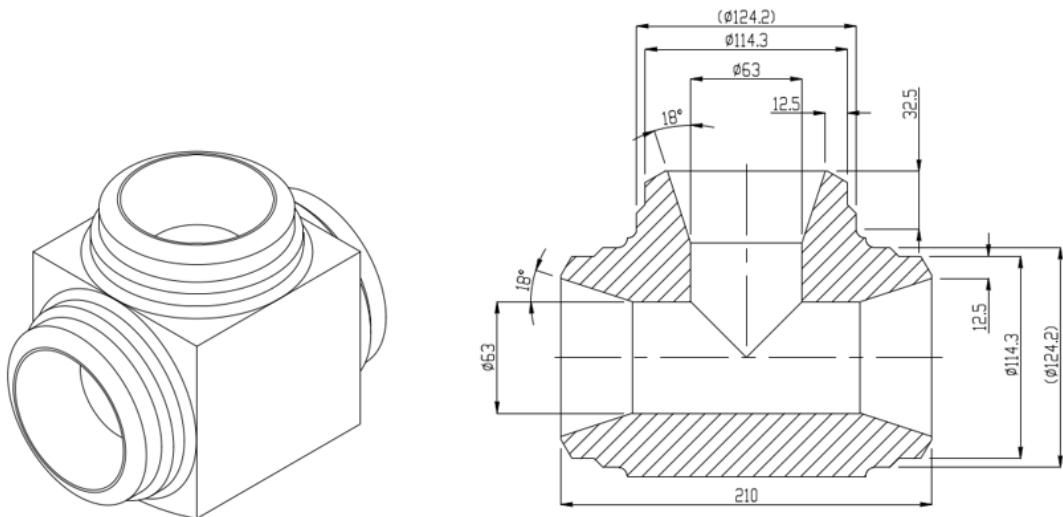
d_i on yhteen sisähalkaisija

D_{eq} on runkoputken kuoren laskennallinen halkaisija kuoreen nähden kohtisuorassa suunnassa olevan aukon keskipisteessä

e_{as} on runkoputken seinämän analyysipaksuus.

3.3.5 Erikoishaaroitukset

Haaroituskappaleet voidaan tehdä myös koneistamalla takeista ja pyörötangoista. Kuvassa 7 näkyy esimerkki erikoishaaroituksesta, joka on standardin SFS-EN 10253-2 mukainen tyypin B haaroituskappale. [5; 15.]



Kuva 7. Standardin SFS-EN 10253-2 mukainen erikoishaaritus [15].

Erikoishaarituksen paineenkesto voidaan määrittää kappaleessa 3.3.3 määritellyllä painealamenetelmällä. Käytännössä tämä voidaan suorittaa ottamalla CAD-piirustuksesta vahvistuksena vaikuttavat poikkipinta-alat A_{fb} ja A_{fs} , ja verrata niitä painekuormitettuun pinta-alaan A_p kaavan (15) mukaisesti.

3.4 Kupera pääty

Tässä kappaleessa käsitellään ainoastaan kaaripäätyjä. Kaaripäädyn laskennassa tulee huomioida, ettei päädyn seinämänpaksuus ole merkittävästi ohuempi kuin liittyvän komponentin vaipan paksuus. Jos päädyn seinämänpaksuus on merkittävästi ohuempi, komponenttien välille voi muodostua liitännäongelmia. [14.]

3.4.1 Rajoitukset

Kaaripäädyn tulee täyttää jokainen seuraavista ehdoista [3, s. 43]:

$$r_i \leq 0,2D_i$$

$$r_i \geq 0,06D_i$$

$$r_i \geq 2e$$

$$0,001D_i \leq e \leq 0,08D_i$$

$$R_i \leq D_o$$

r_i on taiteen sisäpuolinen säde

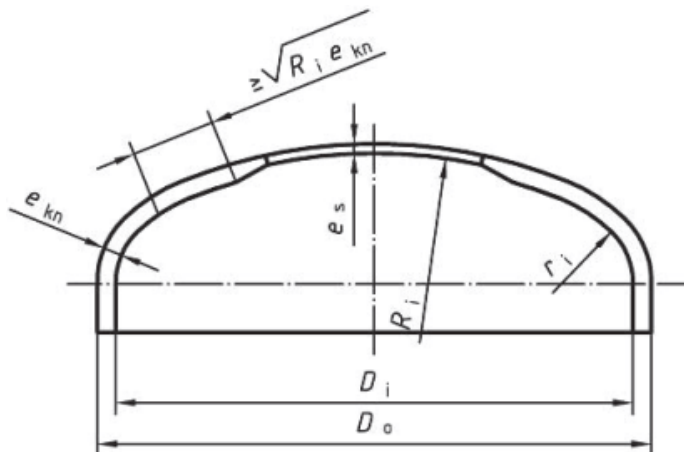
D_i on päädyn sisähalkaisija

e on pienin vaadittu paksuus ilman paksuuslisiä ja -toleransseja

R_i on kaaripäädyn kalottiosan säde

D_o on päädyn ulkohalkaisija.

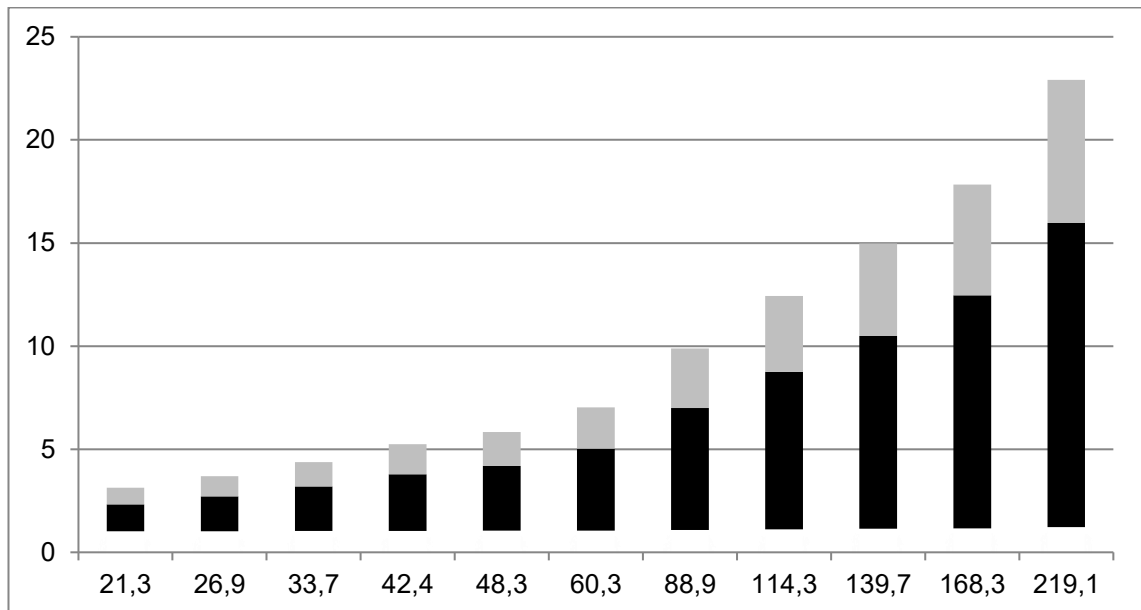
Kuvassa 8 näkyy standardin SFS-EN 13480-3 mukainen kaaripääty sekä edellä mainittujen symbolien merkitykset kuvan muodossa.



Kuva 8. Standardissa SFS-EN 13480-3 esitetty kaaripääty [3, s. 44].

Standardin rajoitukset tulevat usein vastaan suunniteltaessa kaaripäätyjä korkeapaineputkistoille. Kuvassa 9 on verrattu standardin SFS-EN 13480-3 mukaisesti tarkasteltua kaaripäätyä standardin AD2000-B3 mukaan tarkasteltuun.

Vaaka-akselilla on kuperan päädyn ulkohalkaisija ja pystyakselilla on kuperan päädyn seinämäpaksuuden rajat. Kuvaajassa näkyvät mustat pylväät ovat rajat, joiden sisällä kaaripäädyn seinämävahvuuden tulee olla täyttääkseen standardin SFS-EN 13480-3 vaatimukset. Vastaavasti harmaan ja mustan pylvään summa on raja-alue, jonka sisällä kaaripäädyn seinämävahvuuden tulee olla täyttääkseen standardin AD2000-B3 vaatimukset. [2; 5.]



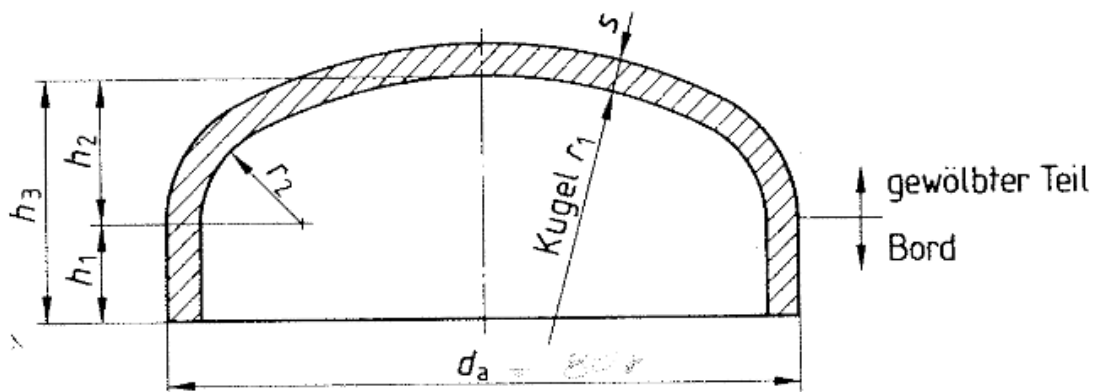
Kuva 9. Kaaripäädyn seinämäraajat standardien SFS-EN 13480-3 (musta pylväs) ja AD2000-B3 (musta ja harmaa pylväs) mukaan [2].

Kuvaajasta nähdään, että standardin AD2000-B3 mukaisesti tarkasteltujen kaaripäätyjen seinämävahvuus rajat ovat laajemmat. Toisin sanoen kaaripäädyn seinämävahvuus ei ole niin rajoitettu kuin standardin SFS-EN 13480-3 mukaisesti tarkastellun kaaripäädyn.

Seinämävahvuusrajat tulevat vastaan korkeapaineputkistoissa kaaripäädyille usein siten, että päädyn seinämä ei saa olla standardin määrittämien rajoitusten vuoksi vaadittavan paksu, jotta komponentin paineenkesto täytyisi [5]. Standardi määrittää

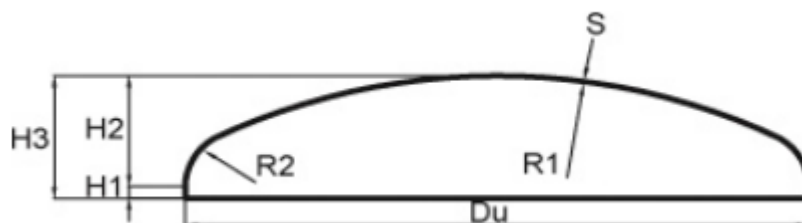
3.4.2 Päätytyypit

Putkistoissa yleisimmin käytettyjä päätytyyppejä ovat niin kutsuttu Korbogen eli syvä pääty ja Klöpper eli matala pääty. Kuvassa 10 näkyy standardin DIN 28 013 mukainen syvä pääty.



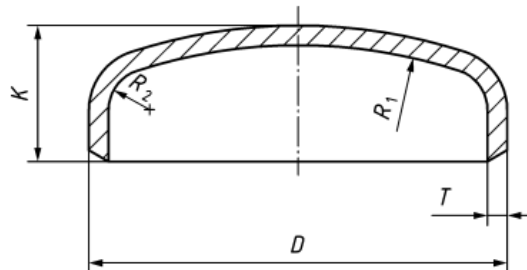
Kuva 10. Korbogen -pääty [16].

Kuvassa 11 on esitetty matala pääty. Matalia päätyjä käytetään enimmäkseen matalapaineputkistoissa, kun kaaripäädyn nimellissuuruus DN on suuri. Matala pääty vie vähemmän materiaalia verrattuna syvään päätyyn, minkä vuoksi matalia päätyjä hyödynnetään suurissa DN-kokoluokissa kustannussyistä. Tämän päädyn paineenkesto on pienempi kuin vastaavan paksuisen ja halkaisijan syvän päädyn. Matalan päädyn soveltuvuus lujuuslaskennallisesti voidaan tarkastella esimerkiksi standardin SFS-EN 13480-3 mukaisesti. [5.]



Kuva 11. Matala pääty [17].

Nykyiset standardin SFS-EN 10253-2 mukaiset kaaripäädyt ovat syviä päätyjä. Kuvassa 12 on esitetty kyseisen standardin mukainen kaaripääty.



Key

R_1 approximately equal to $0,8 \times D$

R_2 approximately equal to $0,15 \times D$

Kuva 12. Standardin SFS-EN 10253-2 mukainen kaaripääty [18].

Korkeapaineputkistoissa käytetään syviä kaaripäätyjä tai puolipallopäätyjä. Kuvassa 13 näkyy standardin SFS-EN 10253-2 mukaisesti valmistettu syvä kaaripääty. Kuva 13 vastaa kuvan 12 piirustusta. Standardin mukaisten päätyjen soveltuvuus valittuun käyttökohteeseen tarkastellaan lujuuslaskuin. Vaihtoehtoisesti voidaan hyödyntää PSK-standardien paineluokkia. [5.]

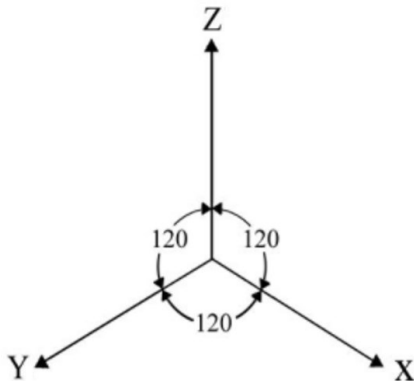


Kuva 13. Standardin SFS-EN 10253-2 mukainen kaaripääty.

Jos kaaripäätä täytyy keventää, jotta siihen liittyvä komponentti saadaan liitettyä päätyyn, voidaan liitäntäpäähän paineenkesto tarkastella suoran putken laskeuttamismenetelmällä. [14.]

4 Isometrinen piirustus

Isometrinen esitystapa on määritelty standardisarjassa SFS-ISO 6412 projisointimenetelmäksi, jossa projektiotasoon nähden jokainen kolmesta kulmasta on kallistettu samaan kulmaan [19, s. 5]. Projektiotasosta katsottuna jokaisen akselin välinen kulma on 120° , mikä näkyy kuvassa 14.



Kuva 14. Isometrinen projektio [20].

Isometristä putkistopiirustusta käytetään esittämään putket ja putkilinjat yksinkertaistettuina, pelkkää keskiviivaa käyttäen. Piirustus antaa putkistosta havainnollisen ja kolmiulotteisen vaikutelman, esitettynä 2D-kuvantona [21, s. 2; 20]. Linjaa kuvaavia viivoja ei yleensä piirretä mittakaavassa [22].

Isometrisessä piirustuksessa tulee esittää putkisto ja sen laiteliitännät mitoitettuna sekä putkiston sijainti mitoitettuna sivu- ja korkeussuunnassa. Piirustuksessa esitetään myös varusteet mitoitettuina sekä niiden asennot. [21, s. 3.]



Putkiston tunnistetietojen, kuten esimerkiksi putkilinja- ja laitetunnuksien, tulee selvitä piirustuksesta. Lisäksi esitetään virtaussuunnat, vietot, putkiston toimitusrajat, kannakointi, esijännitykset, putkiluokat, eristys, hitsaus- ja koeponnistustiedot, tarkastus- ja viranomaisvaatimukset sekä liittyvien dokumenttien numerot. [21, s. 3.]

Normaali käytäntö on esittää yksi putkilinja yhtä isometristä piirustusta kohden. Myös liittyvien putkilinjojen tunnukset ilmoitetaan. Isometriseen piirustukseen voidaan lisätä yksityiskohtaisia kuvaintoja ja erikseen sovittuja asioita tarpeen vaatiessa. [21, s. 3.]

4.1 Otsikkotaulu

Standardissa SFS-EN ISO 7200 määritellään isometrisissä piirustuksissa ja muissa teknisissä tuotedokumenteissa käytettävät otsikkotaulujen tietokentät, joiden tarkoitus on yhtenäistää helpottaa dokumenttien vaihtoa. Standardi määrittelee, mitä otsikkoalueen tietokenttiä asiakirjan tulee sisältää, sekä lisäksi välttämättömät tietokentät. [23, s. 8–10.]

Otsikkotaulu sijoitetaan arkin oikeaan alareunaan, kun arkkikoko on A0–A3. Kun kyseessä on A4-kokoinen arkki, otsikkotaulu sijoitetaan lyhyemmän sivun alareunaan. [24, s. 2–3.] Kuvassa 15 näkyy esimerkki isometrisen piirustuksen otsikkotaulusta.

	Asiakirja tite	Malli	Massa kg.		Suhde	Tekijä	E Niskanen
	Dokumentti- tyyppi	Tyypipiirustus			1:1	Tark.	A Henell
	Otsikko / Lisäotsikot				Piir.n:o		
	Kilpi ja asteikko Liite 1				PSK 7353-1		
	Rev.	Julkaistu pvm.	Koko	no. / lkm.	Kielikoodi		
		7.12.2020	A1	1 / 1	FI		

Kuva 15. PSK Standardisoinnin esittämä otsikkotaulumalli [25].

Isometrisessä piirustuksessa on oltava omistajan nimi, joka voi olla yrityksen tai toiminimen nimi, lyhennetty kauppanimike, logo tai virallisen omistajan nimi. Asiakirjasta on ilmettävä lisäksi otsikko, tunnistenumero, asiakirjatyypin, julkaisu-päivämäärä, hyväksyneen henkilön ja asiakirjan valmistaneen tai muuttaneen henkilön nimet. [23, s. 10–14.]

Isometrisessä piirustuksessa voi esiintyä muutostunnus, joka kuvaa asiakirjan muutostilan. Muutostunnus voidaan ilmaista joko kirjaimin tai numeroin. [23, s. 10.] Muutokset kootaan yleensä omaan taulukkoonsa muutosselitteineen, niin kutsuttuun revisiotaulukkoon.

4.2 Osaluettelo

Osaluettelon vähimmäisvaatimukset on esitetty standardissa SFS-ISO 7573. Osaluettelo voi olla joko erillinen asiakirja, tai se voidaan sisällyttää isometriseen piirustukseen. Luettelo voidaan sijoittaa otsikkoalueen yhteyteen tai muualle isometrisessä piirustuksessa. Taulukossa 1 on esitetty standardissa SFS-ISO 7573 kuvattu esimerkki tietokentistä ja niiden järjestyksestä. Tietokentät sekä sarakkeiden järjestys ovat vapaavalintaisia, mutta vähintään yksi yksilöivä elementti vaaditaan. [26, s. 8–10.]

Taulukko 1. Standardin SFS-ISO 7573 esimerkki osaluettelosta [26, s. 10].

Osaviite	Määrä	Yksikkö	Viite-tunnus	Osan-mero	Osan nimitys	Tekninen tieto, nimike	Huomaukset
xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx

Isometrisessä piirustuksessa esiintyvät osat voidaan merkitä osaviitteillä. Osaviitteen tarkoitus on tunnistaa osat keskenään osaluettelossa ja piirustuksessa. Jos piirustuksessa esiintyy useita samanlaisia osia, ne on merkittävä samalla osaviitteellä. [26, s. 10.]

Osaluettelossa määrä viittaa osien lukumäärään tai materiaalin määrään kokonpanossa. Jos lukuarvo ”määrä”-sarakkeessa tarkoittaa kappalemäärää, voidaan jättää yksikkö merkitsemättä. Muussa tapauksessa, kun numeroarvo tarkoittaa esimerkiksi tilavuutta, pituutta tai muuta vastaavaa, yksikkö tulee ilmoittaa. ”Määrä”- ja ”yksikkö”-sarakkeet voidaan myös yhdistää yhdeksi sarakkeeksi. [26, s. 10.]

Viitetunnus on yksilöivä tunniste jokaiselle osalle tai materiaalille, joten jokaisella osalla on eri viitetunnus, vaikka käytettäisiin useita samanlaisia osia. Osanumero on myös yksilöllinen tunnus rakenteen osalle tai materiaalille. Otsikko-aulussa osan nimitys on sanallinen tunnus osalle tai materiaalille. [26, s. 10.]

Tekninen tieto voi pitää sisällään materiaalin, mittoja, suoritusarvoja, valmistajan nimikkeen, liittyvän standardin tai muita ominaisuuksia. Osanumero ja tekninen tieto toimivat yksilöivinä elementteinä, joista osaluettelossa on esiinnyttävä vähintään toisen. Lisäksi osaluetteloon voidaan lisätä huomautuksia, jotka voivat sisältää mitä tahansa lisätietoa. [26, s. 12.]

Taulukossa 2 on esitetty toinen yksinkertaisempi esimerkki osaluettelosta. Osaluettelosta selviää komponenttien kuvaukset ja osaviitteet, dimensioidot sekä komponenttien materiaali ja materiaalistandardi. ”Määrä”- ja ”yksikkö”-sarakkeet on yhdistetty samaan sarakkeeseen. Myös kappaleiden massat on ilmoitettu osaluettelossa. Tässä osaluettelossa ei ole käytetty muita sarakkeita ollenkaan.

Taulukko 2. Yksinkertainen esimerkki osaluettelosta.

Osaluettelo					
Osaviite	Määrä	Kuvaus	Dimensiot	Materiaali	Massa
1	0.5 m	Putki EN 10216-2	33.7 x 2.6	P235GH EN 10216-2	1
2	1.9 m	Putki EN 10216-2	33.7 x 4.5	P235GH EN 10216-2	6.16
3	2	Käyrä 3D EN 10253-2-A	33.7 x 2.6	P235GH EN 10253-2	0.22

Osaviitteet osaluettelossa ja piirustuksessa ovat tärkeitä, jotta valmistajat pystyvät esivalmistamaan ja asentamaan oikean komponentin oikeaan paikkaan [5].

Osaluettelossa massatieto on tärkeä etenkin valmistuksen kannalta, jotta pystytään valitsemaan sopivan kokoiset ja kappaleen massan kestävät valmistuslaitteet ja kestävät nostovälineet. Esimerkiksi 2 000 kg kestävillä nostoliinoilla ei voida nostaa 6 000 kg painavaa kappaletta. [27.]

Valmistuksen kannalta on olennaista tietää kappaleen osien massat painopisteen sijainnin määrittämiseksi, jotta kappale voidaan kiinnittää asianmukaisesti.

Mutkikkaan kappaleen painopiste ei ole niin helposti pääteltävissä kuin suoran putken kohdalla. Osaluetteloon merkityt massatiedot ovat tärkeitä, jotta valmistajien ei tarvitse arvioida kappaleen massaa. [27.]

Osaluettelo voidaan tehdä monisivuisessa piirustuksessa joko sivukohtaiseksi tai kaikille sivuille yhteiseksi luetteloksi. Haasteena molemmissa ovat muutokset piirustuksissa. Sivukohtaisessa osaluettelossa ongelmaksi muodostuu esimerkiksi, jos lehtien vaihdoksiin tulee muutoksia, jolloin osat saattavat joutua väärille sivuille ja jokaisen osan korjaaminen on työlästä. Yhtenäinen osaluettelo ei ole niin miellyttävä lukea asennus- ja valmistusvaiheessa kuin sivukohtainen luettelo. Jos putkenosiin tulee muutoksia 3D-mallissa, osanumerointi voi muuttua isometrisen piirustuksen ajossa. [28.]

4.3 Paineastiakilpi

Jokaisessa painelaitteessa on oltava CE-merkintä, jonka lisäksi on ilmoitettava valmistajan nimi ja osoite, mahdollisen maahantuojaan nimi ja osoite, valmistusvuosi, painelaitteen tunnus sen luonteen omaisesti sekä korkeimmat ja alimmat sallitut raja-arvot. Olennaisia raja-arvoja ovat esimerkiksi suurin sallittu paine PS ja suurin sallittu lämpötila TS . [29; 30, s. 5.]

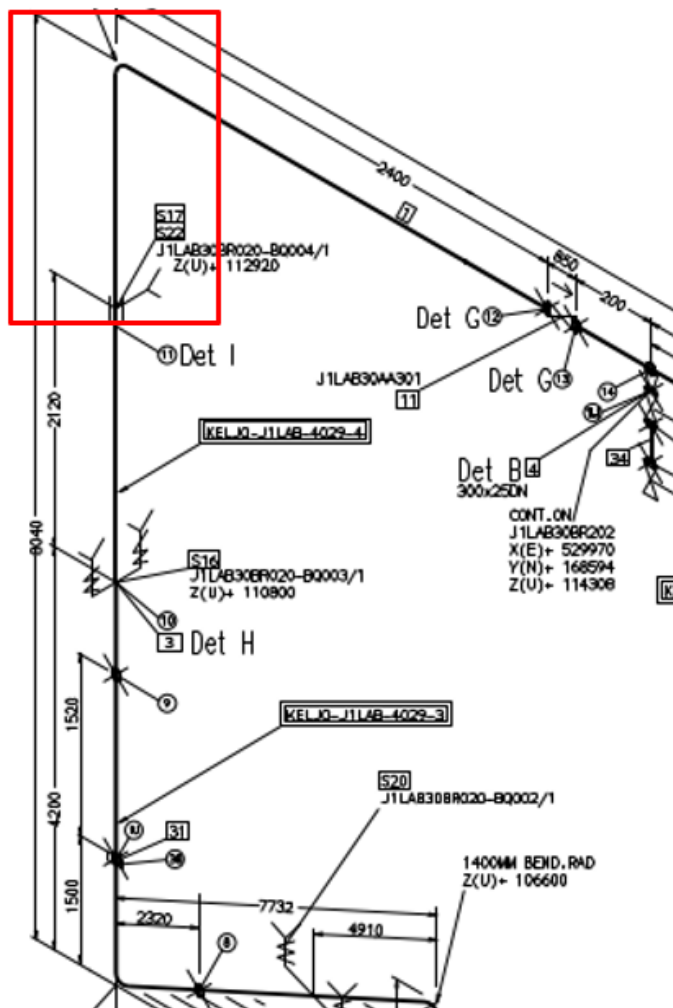
Painelaitetyypistä riippuen on ilmoitettava muita olennaisia tietoja, jotta painelaitteen asennus, käyttö ja huolto on turvallista suorittaa. Muita tietoja ovat esimerkiksi putkiston nimellissuuruus DN, varolaitteen asetuspainne ja koeponnistuksen koepainne P_t ja päivämäärä. [29; 30, s. 5.]

Tiedot on kiinnitettävä painelaitteeseen tai painelaitteeseen kiinnitettyyn kilpeen [30]. Paineastiakilven tiedot merkitään myös isometriseen piirustukseen.

4.4 Piirustus

Isometrisestä piirustuksesta on erotuttava selkeästi muotoviiva eli putkilinjan kulkureitti, mittaviiva ja liittyvät sekä piilossa olevat muodot. Viivatyytit ja -leveydet on määritelty tarkemmin standardeissa SFS-EN ISO 128-20 ja SFS-ISO 128-24. [31, s. 3.]

Jokainen osa on mitoitettava vain kerran piirustuksessa tai osaluettelossa ja jokaisella elementillä on oltava pituus [31, s. 4; 22]. Tämänkaltaisessa mitoituksessa voi tulla haasteita asennustyömaalla, jos asennus suoritetaan toisessa järjestyksessä kuin 3D-mallissa. Kuvan 16 esimerkissä ylimmän kannakkeen etäisyys taivutuksesta pitää laskea muiden mittojen avulla.



Kuva 16. Kannakkeen etäisyys taivutuksesta [32].

Akselien suuntaiset kokonaismitat on merkittävä piirustukseen, jos välimittoja on useita. Liitosmittojen ja kulmien on oltava näkyvillä piirustuksessa. [31, s. 4; 22.]

Isometrisiin piirustuksiin lisätään valmistuksen tarvitsemat yksityiskohtaiset kuvannot. Kuvantojen määrä pyritään pitämään niin pienenä kuin mahdollista, mutta kuitenkin riittävänä esivalmistusta ja asennusta varten. Korkeapaineputkistoisometreihin tehdään valmistusta varten haaroituksista aina kuvannot tai erillisperustukset. [31, s. 3–4; 33.]

Lisäksi piirustuksiin voidaan lisätä muita valmistusta helpottavia tietoja kuten taitustaulukko, hitsausliitostaulukko ja NDT-tarkastukseen liittyviä tietoja tai viittauksia muihin dokumentteihin. Näiden lisäys tapahtuu projektihenkilöiden toiveista.

4.5 Isometrinen piirustus osana lujuuslaskentaa

Isometrinen piirustus on olennainen osa komponenttien lujuustarkastelua. Osa laskennan vaatimista lähtötiedoista löytyy isometrisestä piirustuksesta. Näitä ovat korroosiovara, laskenta- ja koeolosuhteiden paineen ja lämpötilan arvot, materiaalitiedot, dimensiot ja viittaukset muihin tarvittaviin dokumentteihin.

Osaviitteen avulla voidaan varmentaa lujuustarkastelun kohteena olevan kappaleen ja isometrisessä piirustuksessa esiintyvän kappaleen olevan sama. Isometrisessä piirustuksessa on myös viittaukset liittyviin piirustuksiin, joista löytyy lisää laskennassa tarvittavia lähtötietoja.

Isometrisessä piirustuksessa ilmoitettu materiaalistandardi on myös tärkeä tieto laskennan kannalta, sillä samaa materiaalia voidaan valmistaa usean eri materiaalistandardin mukaisesti. Lujuuslaskennassa toleranssin suuruus on materiaalistandardiriippuvainen.

5 Toteutus


Työssä paneuduttiin useisiin standardeihin, jotka toimivat koulutusmoduulien perustana. Koulutusmoduulit luotiin käyttäen Microsoft PowerPoint -ohjelmaa. Moduulien opetus käytiin lävitse koeryhmän avulla, jotta varmistettiin sisällön ymmärrettävyys. Lisäksi insinööriyön aikana vierailtiin Recion Oy:n konepajalla.

5.1 Lujuuslaskentamoduuli

Lujuuslaskentamoduulin aiherajaus täytyi rajata tarkasti, ettei moduulista ja insinööriyöstä tule liian laaja. Aihe rajattiin koskemaan taivuttamattoman suoran putken, yksittäisen kohtisuorassa istutetun haaroituksen ja kaaripäädyn tarkastelua. Lujuustarkastelua vaativia putkistokomponentteja olisi useita muitakin, joista yleisimpiä yrityksessä käytettyjä edellä mainittujen lisäksi ovat y-kappale, puolipallopäätty, suora päätty, kartio ja erikoishaaroitukset.

Rajauksella diasarjasta tuli 49 diaa pitkä, huomioiden ettei aineistossa käydä muuttujien teoriaa ja laskentakaavoja syvällisesti läpi. Jos moduuliin olisi otettu mukaan muuttujien laskenta välivaiheineen, olisi diasarjasta tullut moninkertaisesti pidempi. Näin ollen päätettiin aiherajaus pitää muutamassa tarkasti rajatussa komponentissa ja käytännön suorituksessa, jotta aihekokonaisuus säilyy ja on miellyttävä lukea.

Moduuli alkaa lujuustarkastelun lähtötietoihin liittyvällä teoriaosuudella. Kuvassa 17 näkyy yksi dia teoriaosuudesta ja moduulin visuaalinen ilme.



Liitoksen lujuuskerroin

Osa komponenteista sisältää hitsausliitoksia, jotka vaikuttavat seinämän vaadittavan paksuuden määritykseen laskennallisesti. Tällöin seinämän vaadittua paksuutta määritettäessä laskentakaavoissa esiintyy rakenneosan mitoittava liitoksen lujuuskerroin z . Hitsausliitokset vaikuttavat mitoitukseen seuraavasti:

Vaikuttaa mitoitukseen	Ei vaikuta mitoitukseen
<ul style="list-style-type: none"> • Lieriön pituushitsi tai kierresauma • Kartion pituushitsi • Useasta osasta valmistetun pallokuoren, kuperan päädyn tai pallopäädyn liitoshitsit 	<ul style="list-style-type: none"> • Kuoren ja yhteen välinen liitos • Pelkän puristusjännityksen alainen liitos • Lieriön tai kartion poikittainen hitsausliitos toiseen lieriöön, kartioon, laippaan tai päätyyn lukuun ottamatta puolipallopäätyä

Liitoksen lujuuskertoimen z arvo ei saa ylittää seuraavia arvoja:

- $z = 1$, kun hitsausliitokselle tehdään rikkova tai rikkomaton aineenkoetus. Saumattomalle putkelle tai viruma-alueella toimivalle putkistolle z on aina 1.
- $z = 0,85$, kun hitsausliitokselle tehdään rikkomatonta aineenkoetusta pistokokeina
- $z = 0,7$, kun hitsausliitos tarkastetaan ainoastaan silmämääräisesti

Kuva 17. Lujuuslaskentamoduuli käsittelee alkuun teoriaa tiivistetysti.

Moduulissa ensimmäinen esimerkkilaskenta koskee suoran putken tarkastelua. Kuvassa 18 on esitettyä yrityksessä lujuustarkastelussa käytetty laskentapohja. Jokaiselle komponentille on oma välilehtensä laskentataulukossa. Kuvassa 18 näkyy suoran putken tarkastelu laskentapohjaa hyödyntäen.

Putken seinämä EN 13480-3:2017 mukaan		Dokumentin nro
Projekti:		23.2.22
Systeemi/linja:		TNii
Laskentapaine p_c	MPa	12,00
Laskentalämpötila t_c	°C	515,0
Sallittu jännitys f (SRT200th, SF=1,25)	N/mm ²	172,40
Korroosiovara c_0	mm	1,0
Pitkittäissauman hitsauskerroin z		1,00
Materiaali	X10CrMoVNb9-1 EN10216-2:2014	
Putki		
Putken ulkohalkaisija d_o	mm	660,0
Seinämän paksuustoleranssi c_1	EN10216-2 %	12,50
Suoran putken minimiseinämä $e+c_0$	(6.1) mm	23,20
Suoran putken nimelliminiseinämä e_r	mm	26,51
Valittu seinämä e_{ord}	mm	40,00
	N	
Suurin aukon koko ilman vahvistuksia	mm	155,1
Taivutus		
Taivutussäde r	r/d = 0 mm	
Kerroin B_{int}	(B.4.1-3)	
Kerroin B_{ext}	(B.4.1-9)	
	minimi	
Seinäma sisäsyöryllä e_{int}	(B.4.1-1) mm	
Seinäma ulkosyöryllä e_{ext}	(B.4.1-7) mm	
Suurin sallittu epäpyöreys u	mm	
	mm	
Taivutuksen jälkeen seinämä sisäsyöryllä $e_{ord,int}$	mm	
Taivutuksen jälkeen seinämä ulkosyöryllä $e_{ord,ext}$	mm	
Koepaine	<input type="checkbox"/> Koepaine ON/OFF	
Sallittu jännitys koetilassa (koepaineen määrittelyssä) f_{test}	N/mm ²	262,5
Koeponnistuspaine P_{test}	MPa	20,30
Suurin sallittu jännitys koetilassa $f_{test,max}$	N/mm ²	427,5
Suurin sallittu paine valitulle putkelle koetilassa $P_{test,max}$	MPa	46,4
Suurin sallittu paine valitulle taivutukselle koetilassa $P_{test,max}$	MPa	
Lopputulokset:		
Valittu putki täyttää standardin laskentavaatimukset		
Valittu putki: 660 x 40 X10CrMoVNb9-1		
	Laipat EN1092-1 (1.painos) Annex E	
		Normin valinta $x=EN 12952-3$, tyhjä=EN 13480-3
		<input type="checkbox"/> Valittu : EN 13480-3 (putkisto)
		Ulkor. oheneminen (%) Sred
1.Induktiotaivutus		49,5 22,69 Ind <3
2.Neutraaliksi kesk. (kylmätaivutus: #JAKO/0/1) ##### R/Do		
3.Neutr.aks. sisäsyöryllä		200,0 -30,0
4.Muu ohenema (%)		0 40
Ulkoreuna		% Sred
1.Induktiotaivutus		49,46 22,69
Sisär. paksuneminen (%)		% Sred
Induktiotaivutus paja		-114,3 0,00
		0 40
35,00 Laskentahalkaisijan tai -seinämän syöttö		
Laskentaseinämä		0 mm
Toleranssit		mm %
Hitsattu putki, EN10217-2		3,2 8,0
Hitsattu putki matala lt, EN10217-4		3,2 8,0
Kierres. hitsattu putki, EN10217-5		2,0 5,0
Saumaton putki, EN10216-2		5,0 12,5
Saumaton putki matala lt, EN10216-		5,0 12,5
Saumaton rst putki, T1/T2 EN10216-		6,0 15,0
Kylmämuov. putki, T3 EN10216-5&E		4,0 10,0
Kylmämuov. putki, T4 EN10216-5		3,0 7,5
Levyputki, DIN17177		0,5 1,3
Saumaton putki, DIN17175		5,0 12,5
Muu		0,0
Valittu: Saumaton putki, EN10216-2		0,01
Lujuusarvon antotapa		Valitun sei
Luettu sall. jännitys f		172,40 194 Suora putk
Anna lask. lujuus		157 Taivutus si
Varmuuskerroin SF		1,5 Taivutus ul
Anna mater. nimi		T2 DIN 17850 Putken pai
<input type="checkbox"/> Valittu: Luettu sall. jännitys f		90° taivut.
Saumattoman putken dimensioita (EN10216-2)		
Normaaliseinäma		20 mm
Edellinen seinämä		36 mm 29
Seuraava seinämä		45 mm 31
Edellinen halkaisija		610 mm 22
Do putki, taivutus		
Di putki, taivutus		
Käyrä		
Kartio		
Pallovaippa, p		
Pallovaippa, k		
Kupera pääty		
Suora pääty, ps		
Suora pääty, k		
Vaipan haaroitus, p		
Vaipa		

Kuva 18. Lujuustarkastelussa käytetty laskentatiedosto.

Laskentatiedostossa sinisellä värillä olevat tekstit ja numerot ovat syöttösoluja, joihin lähtötiedot lisätään. Riveillä näkyvät kaavaviittaukset standardin SFS-EN 13480-3 kaavoihin. Laskentatiedostossa pystytään syöttämään tarkasteltavan komponentin materiaali ja toleranssitiiedot.

Haaroituslaskennan välilehti laskentatiedostossa on hyvin samantapainen kuin suoran putken välilehti. Jokaisen laskentavälilehden käyttö perustuu samaan tapaan.

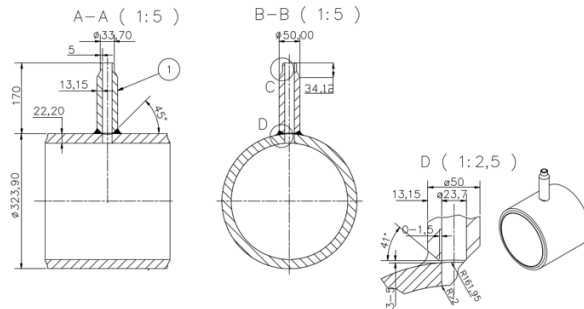
Moduulissa käydään haaroituslaskenta läpi kahden esimerkin kautta. Ensimmäisessä esimerkissä tarkastellaan yksinkertaista haaroitusta. Esimerkissä ei ole lähellä epäjatkuvuuskohtia, joiden vuoksi vahvistavia pituuksia tulisi rajoittaa. Kuvassa 19 näkyy ensimmäisen esimerkin pohjustus moduulissa.

Esimerkki 1. haaroituslaskenta

RECIÓN

Tässä esimerkissä käydään lävitse yksinkertainen esimerkki haaroituslaskennasta. Aloitetaan muotokappalepiirustuksesta, josta selviää komponentin jokainen mitta sekä haaroituksen materiaalitiedot. Runkoputken materiaalitiedot löytyvät isometristä, joka on ilmoitettu muotokappalepiirustuksessa.

Tässä esimerkissä tarkastellaan putkien DN300 ja DN25 välistä haaroitusta. Haaraputken päässä oleva kevennys sijaitsee 34,12 mm osan päästä.



Kuva 19. Ensimmäinen esimerkki haaroituslaskennasta.

Jokaisen lähtötiedon lisäys käydään läpi vaihe vaiheelta. Moduulin dioihin on lisätty kuvakaappauksia laskentatiedostosta, joissa on rajattu sinisellä solut, joista diassa ja laskennan välivaiheessa on kyse. Dioihin on kerrottu, mistä käyttäjä löytää vaadittavat lähtötiedot, ja muita olennaisia asioita laskentaan liittyen. Kuvassa 20 näkyy toleranssin lisäys moduulissa avattuna.

Esimerkki 1. Toleranssin lisäys

RECIÓN

Lisätään toleranssitiedot materiaalistandardin mukaan samalla tavalla kuten suoran putken laskennassa, mutta tässä tapauksessa runko sekä haara valmistetaan eri materiaaleista ja eri materiaalistandardien mukaan. Toleranssi valinta tehdään molemmille erikseen.

- Haaraputken materiaalistandardi löytyy muotokappalepiirustuksesta.
- Runkoputken materiaalistandardi löytyy kyseisen linjan isometristä ja linjaluetelosta.

Käytetään valintaa "muu", kun materiaalistandardia ei löydy valintanauhasta. Valintaa "muu" käytetään myös koneistettujen komponenttien kohdalla. Valinnalla "muu" toleranssin arvo on 0,0 % tai soluun voi itse syöttää toleranssin suuruuden prosentteina.

Rungon sekä haaran valitut toleranssit näkyvät erillisissä soluissa.


Lujusarvot				Luj arvon antotapa x= annetaan, tyhjä=luetaan			
Toleranssit	Runko	%	Yhde	%			
Levyputki, EN10217-2	1,78	8,0	1,05	8,0			
Hitsi putki matala lit, EN10217-4	1,78	8,0	1,05	8,0			
Kierres hitsattu putki, EN10217-5	1,78	8,0	1,05	8,0			
Saumaton putki, EN10216-2	2,78	12,5	1,64	12,5			
Saumaton putki matala lit, EN10216-4	2,78	12,5	1,64	12,5			
Kuumamuov. putki, T1/T2 EN10216-5	3,33	15,0	1,64	12,5			
Kylmämuov. putki, T3 EN10216-5	2,22	10,0	1,32	10,0			
Kylmämuov. putki, T4 EN10216-5	1,67	7,5	0,99	7,5			
Levyputki, DIN17177	0,50	2,3	0,50	3,8			
Saumaton putki, DIN17175	2,78	12,5	1,18	9,0			
Muu	0,0		0,0				
Valittu:	Saumaton putki, EN10216-2		Muu				

Runko		10CrMo9-10 EN10273 2016	
Materiaali			
Sallittu jännitys f (SR2000, SF=1,25)		N/mm ²	172,40
Ulko halkaisija D_o		mm	323,9
Senän paino w_{sp}		mm	22,20
Senän paino w_{sp}		mm	12,50
Aukottoman väipan suurin sallittu paine p_d		(6-1) * (8-3) / (8-4) * (2) mm	20,797
Vahvistava pituus l_v			75,0
Haara		10CrMo9-10 EN10273 2016	
Materiaali			
Sallittu jännitys f (SR2000, SF=1,25)		N/mm ²	78,40
Ulko halkaisija d_o		mm	50,0
Senän paino w_{sp}		mm	13,15
Senän paino w_{sp}		mm	0,00

Kuva 20. Toleranssin lisäys laskentatiedostoon.

Toinen esimerkki käsittelee tilannetta, jossa tarkastelun kohteena olevan haaroituksen lähellä sijaitsee puolipallopäädyn kehäsauma. Tämä epäjatkuvuuskohta tulee huomioida laskennassa, sillä se muodostaa rajoittavan pituuden. Esimerkissä käydään havainnollistamisen vuoksi tilanne myös läpi ilman rajoittavan pituuden huomiointi. Kuvassa 21 on haaroituslaskennan toisen esimerkin pohjustus.

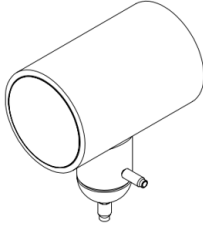
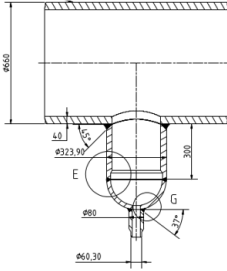
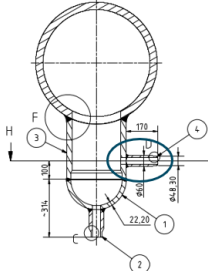
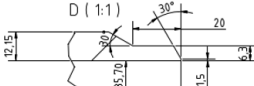
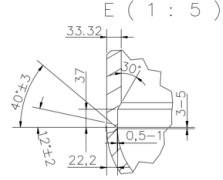
Esimerkki 2. haaroituslaskenta



Käydään lävitse toinen esimerkki haaroituslaskennasta. Tässä esimerkissä käsitellään sinisellä ympyröidyn alueen haaroitusta eli osien 3 ja 4 välistä yksittäistä aukkoa.

Rungon sekä haaran materiaalitiedot löytyvät muotokappalepiirustuksesta.

PARTS LIST				
ITEM	QTY	DESCRIPTION	MATERIAL	STANDARD
1	1	Semi-Spherical End $\varnothing 323,9 \times 30$	X10CrMoVNb9-1	EN10028-2
2	1	Round bar $\varnothing 80 - L=150$	10CrMo9-10	EN 10273
3	1	Pipe $\varnothing 323,9 \times 33,32 - L=350$	X10CrMoVNb9-1	EN10216-2
4	1	Round bar $\varnothing 60 - L=180$	10CrMo9-10	EN 10273


Kuva 21. Toinen esimerkki haaroituslaskennasta.

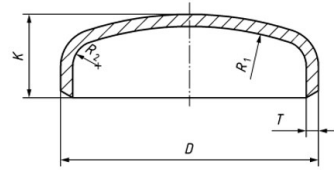
Viimeisenä lujuuslaskentamoduulissa käydään kaaripäädyn laskenta lävitse. Esimerkilaskennassa tarkastellaan standardin SFS-EN 10253-2 mukaista tyyppin A kuperaa päätyä. Kuvassa 22 esitetään pohjustus kaaripäädyn laskenta-esimerkille.

Standardi kupera pääty

Tässä esimerkissä tarkastellaan kuperan päädyn standardi kappaletta. Kupera pääty on standardin EN 10253-2 mukainen, tyyppin A kupera pääty. Standardin EN 10253-2 mukaisille kappaleille ei yleensä piirretä muotokappalepiirustusta, joten tarvittavat tiedot laskentaa varten löytyvät Material take-off (MTO)-listasta, linjaluetelosta, isometristä ja standardista.


Kappale tulee tarkastella, jotta tiedetään, soveltuuko se kyseiseen tilanteeseen. Standardi määrittelee ainoastaan mitat komponentille eikä esimerkiksi ota kantaa komponentin paineenkestoon, joten se tulee tarkastella tapauskohtaisesti.





Key
 R_1 approximately equal to $0,8 \times D$
 R_2 approximately equal to $0,15 \times D$

LINE POSITION	ITEM	STANDARD	Dimensional	MATERIAL	Pc	Tc
	Cep. 219.1 x 6.3.	EN 10253-2	OD 219.1	16Mo3	5	200



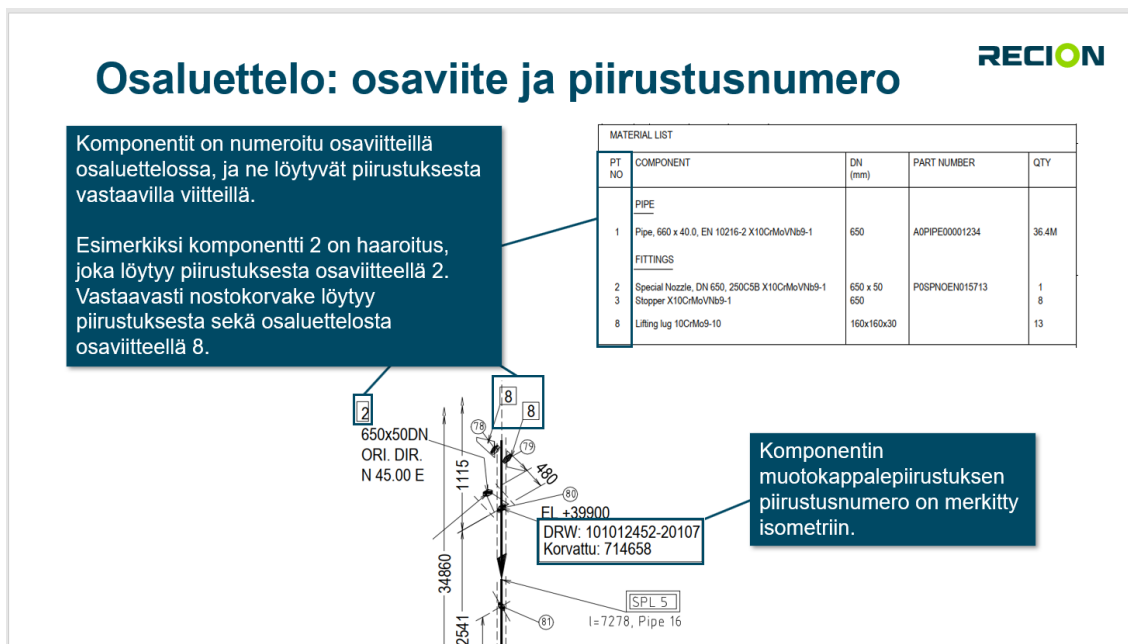
Kuva 22. Esimerkki kuperan päädyn tarkastelusta.

Standardikappaleiden soveltuvuus tulee tarkastella aina tapauskohtaisesti, sillä standardi ottaa kantaa ainoastaan komponentin mittoihin eikä esimerkiksi komponentin paineenkestoon. Standardikappaleille ei yleensä piirretä muotokappalepiirustusta, joten lähtötiedot löytyvät esimerkiksi linjaluetelosta, standardista, isometrisestä piirustuksesta ja MTO-listasta.

5.2 Isometrinen piirustusmoduuli

Isometrinen piirustusmoduuli käsittelee piirustuksen sisältöä yleisesti ja lujuuslaskennan näkökulmasta. Lisäksi moduulissa käydään läpi, minkälaisia syöttövirheitä 3D-mallissa voi olla, ja kuinka ne tulostuvat piirustukseen.

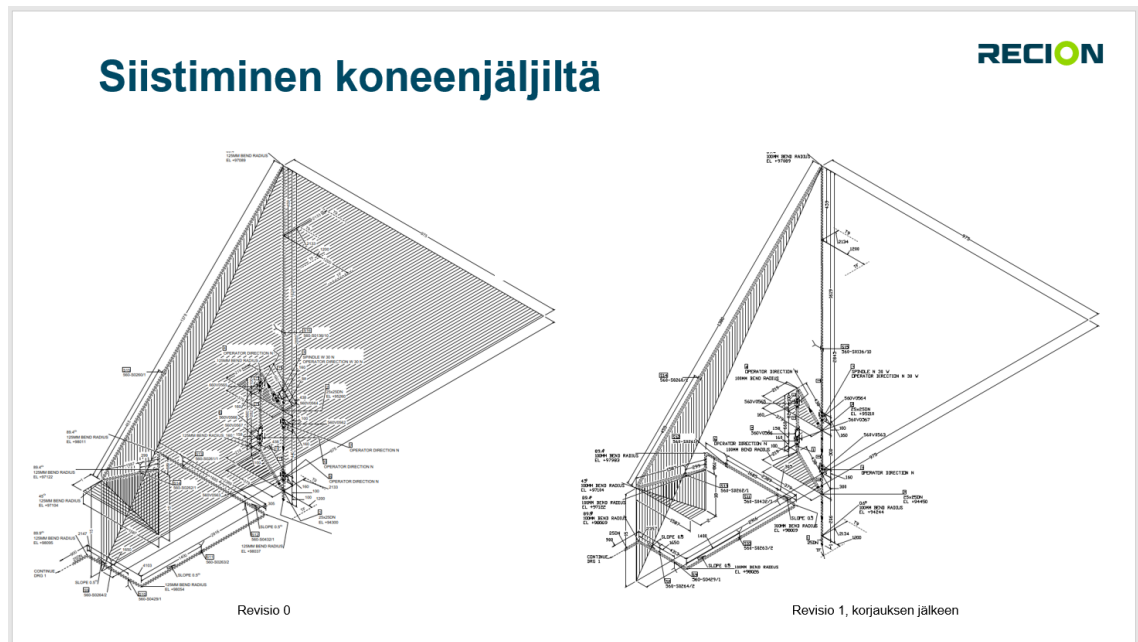
Moduulissa on keskitytty etenkin asioihin, joihin isometrisessä piirustuksessa tulisi kiinnittää huomiota laskennan kannalta. Esimerkiksi kuvassa 23 näkyy, kuinka osaviitteet ja muotokappaleiden piirustusnumerot esitetään piirustuksessa.



Kuva 23. Osaviitteet ja piirustusnumero isometrisessä piirustuksessa.

Moduulissa on käsitelty myös isometriseen piirustukseen tulostuvia 3D-mallista johtuvia syöttövirheitä. Isometriset piirustukset ajetaan 3D-mallista suoraan 2D-muotoon. Jos 3D-mallissa on pienikin virhe, piirustus ei tulostu todenmukaisena ja joudutaan korjaamaan joko 3D-mallia tai piirustusta. 3D-mallissa virhe voi olla esimerkiksi millimetrin eroavaisuus kahden komponentin liitoskohdassa tai väärässä järjestyksessä mallinnetut komponentit.

Kuvassa 24 on esitetty tapaus, jossa 3D-mallissa on virhe, jonka vuoksi piirustukseen tulostuu ylimääräinen apuprojisointitaso. Ylimääräiset apuprojisointitasot tekevät isometrisestä piiruksesta vaikealukuisen. Tämä voi johtaa huomattaviin lisäkustannuksiin asennusvaiheessa.



Kuva 24. Piirustus ennen ja jälkeen korjauksen.

Kuvassa 24 näkyy vasemmalla ensimmäinen versio isometrisestä piirustuksesta ja oikealla korjattu versio. Piirustuksista pyritään tekemään mahdollisimman helppolukuisia, jotta komponenttien valmistus ja asennus olisi sujuvaa.

5.3 Käynti Recion Oy:n konepajalla

Insinööriyön aikana vierailtiin yrityksen konepajalla, joka sijaitsee Ylivieskassa. Vierailun tarkoituksena oli nähdä tilat, valmistuslaitteita ja komponentteja paikan päällä. Vierailulla sai kysellä kysymyksiä ja ottaa valokuvia insinööriyötä ja muutoinkin tulevaisuutta varten. Vierailu oli antoisa kokemus, sillä on aivan eri asia nähdä komponentit ja valmistusmenetelmät todellisuudessa kuin tietokoneen ruudulta.

Lisäksi vierailulta sai hyvää materiaalia ja tietoa insinööriyötä varten. Esimerkiksi koneistaja täsmensi komponenttien massainformaation ja painopisteen tärkeyttä valmistuksessa. Esivalmisteet pyritään tekemään tasomaisiksi ja konttiin tai lavalle sopiviksi, jolloin kuljetuskustannukset ovat pienemmät.

6 Yhteenveto ja kehitysideat

Insinööriyössä luotiin kaksi uutta koulutusmoduulia yrityksen sisäistä koulutusta varten. Koulutusmoduulit käsittelevät lujuustarkastelua ja isometristä piirustusta. Molemmat moduuleista on suunnattu uusille suunnittelijoille, mutta isometrinen piirustusmoduuli voi toimia koulutusmateriaalina myös muissa työtehtävissä aloittaville työntekijöille. Yrityksessä työskentelee myös suunnittelijoita, jotka ovat toimineet yrityksessä ja alalla jo pitkään, mutta he eivät ole tehneet lujuustarkastelua tai edellisestä kerrasta on jo aikaa. Lujuuslaskentamoduuli voi olla hyödyllinen myös näille henkilöille.

Lähdemateriaalina moduuleille toimivat useat aiheeseen liittyvät standardit. Lähdemateriaalia oli saatavilla, sillä molemmat aiheista ovat standardisoituja ja näin ollen vaatimukset ovat tarkasti määriteltynä. Lisäksi insinööriyössä on hyödynnetty yrityksessä eri työtehtävissä toimivien henkilöiden kanssa käytyjä keskusteluja.

Koulutusmoduulit esiteltiin koeryhmälle, jotta voidaan varmistaa niiden selkeys ja ymmärrettävyys sekä tehdä muutoksia tarvittaessa. Lujuuslaskentamoduuli esiteltiin kahdelle suunnittelijalle, joilla molemmilla on pitkä kokemus alalta, mutta lujuustarkastelua he eivät ole tehneet pitkään aikaan eikä se ole heidän päätoiminen työtehtävänsä. Isometrinen piirustusmoduuli esiteltiin hankintaosastolla toimivalle ostoharjoittelijalle, jolla ei ole aiempaa kokemusta isometristen piirustusten parissa työskentelystä. Hän ei myöskään tämänhetkisessä työtehtävässään käytä isometrisiä piirustuksia.

Koeryhmä antoi hyviä tarkennusehdotuksia esitellyistä moduuleista. Nämä tarkennusehdotukset huomioitiin ja pyrittiin täsmentämään ja avaamaan paremmin satunnaisia kohtia moduuleissa. Esimerkiksi lujuuslaskentamoduuliin lisättiin kuvaus virumisesta sekä yksi uusi dia, jossa on avattu nimellisminimiseinäman e_r laskentaesimerkin jokaista keskenään verrattavaa arvoa hieman yksityiskohtaisemmin.

Jatkossa koulutusmoduulisarjaa voisi kehittää eteenpäin, lisäämällä vastaavanlaisia lujuuslaskentamoduuleja myös muista yrityksessä yleisesti käytetyistä putkistokomponenteista. Moduuleissa voitaisiin tarkastella ainakin suoran päädyn ja kartion lujuuslaskenta. Harvemmin esiintyviä komponentteja ovat y-kappale, puolipallopääty ja erikoishaarotukset. Mahdollisuutena on luoda näistä jokaiselle komponentille oma moduulinsa.

Lähteet

- 1 Recion. Verkkoaineisto. Recion Oy. <<https://recion.fi/>>. Luettu 18.3.2022.
- 2 PED laskenta- ja tarkastusohje. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Recion Oy.
- 3 SFS-EN 13480-3. Metalliset teollisuusputkistot. Osa 3: Suunnittelu ja laskenta. 2021. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 4 PSK 2403. Teollisuuden putkistot. Putkiston joustavuusanalyysi. 2022. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry.
- 5 Kuusijärvi, Lasse. Laskenta- ja kehitysinsinööri, Recion Oy, Helsinki. Keskustelu. 4.3.2022.
- 6 SFS-EN 764-1. Pressure equipment – Part 1: Vocabulary. 2016. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 7 Kääriäinen, Joonas. 2017. Sellutehtaiden käyttövarmuuden kehittäminen - putkistojen elinkaaren hallinta. Diplomityö. Oulun yliopisto. Jultika-tietokanta.
- 8 Kuusijärvi, Lasse. Laskenta- ja kehitysinsinööri, Recion Oy, Helsinki. Keskustelu. 15.3.2022.
- 9 SFS-EN 13445-3. Unfired pressure vessels. Part 3: Design. 2021. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 10 SFS-EN 13445-5. Lämmittämättömät painesäiliöt. Osa 5: Tarkastus ja testaus 2021. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 11 SFS-EN 13480-5. Metalliset teollisuusputkistot. Osa 5: Tarkastus ja testaus 2021. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 12 Parhamaa, Pasi. 2015. Mekaanisten laitteiden eheydenhallinta öljynjalostamolla. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Lutpub-tietokanta.
- 13 Turpeinen, Pekka. Vanhempi suunnittelija, Recion Oy, Ylivieska. Keskustelu 2.3.2022.

- 14 Kuusijärvi, Lasse. Laskenta- ja kehitysinsinööri, Recion Oy, Helsinki. Keskustelu. 11.3.2022.
- 15 Muotokappalepiirustus, T-kappale. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentti. Recion Oy.
- 16 DIN 28 013. Gewölbte Böden, Korbbogenform. 1993. Berlin. Deutsche Norm.
- 17 Päätytuotteet, standardimuodot. Verkkoaineisto. <<https://www.paatytuote.com/fi/paatytuotteet/standardimuodot>> Päätytuote Oy. Luettu 28.2.2022.
- 18 SFS-EN 10253-2. Butt-welding pipe fittings. Part 2: Non alloy and ferritic alloy steels with specific inspection requirements. 2021. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 19 SFS-ISO 6412-1. Tekniset piirustukset. Putkistojen yksinkertaistettu esittäminen. Osa 1. Yleisohjeet ja kohtisuora yhdensuuntaisprojektiio. 2018. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 20 Isometric Drawings & Coded Plans, Module 3. Verkkoaineisto. Higher Education Services. <<https://slideplayer.com/slide/10693501/>>. Luettu 17.2.2022.
- 21 PSK 5803. Putkistopiirustukset. Isometrinen piirustus. 2003. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry.
- 22 Isometrin piirtäminen ja sisältö sekä as-built-piirustukset. Luentomateriaali. Recion Oy & PSK Standardisointi.
- 23 SFS-EN ISO 7200. Tekninen tuotedokumentointi. Otsikkoalueen ja asiakirjan ylätunnisteen tietokentät. 2004. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 24 SFS-EN ISO 5457. Tekninen tuotedokumentointi. Piirustuslomakkeiden koot ja rakenne. 2010. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 25 PSK 7353. Putkiston kannakointi. Ripustusjousi ja jousikannake. Liite 1. 2021. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry.
- 26 SFS-ISO 7573. Tekniset tuoteasiakirjat. Osaluettelot. 2009. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 27 Huttunen, Vesa. Koneistaja, Recion Oy, Ylivieska. Keskustelu. 2.3.2022.

- 28 Tuominen, Tomi. Vanhempi suunnittelija, Recion Oy, Helsinki. Keskustelu. 25.3.2022.
- 29 Painelaitedirektiivi. 2014. 2014/68/EU.
- 30 PSK 4917. Teollisuuden kone- ja laitehankinnat. Painelaitteet. Asiakirjamallit. 2020. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry.
- 31 Teknisten piirustusten valmistus- ja tarkastusohje. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Recion Oy.
- 32 Isometrinen piirustus. 2008. Yrityksen sisäinen dokumentti. Recion Oy.
- 33 Kuusijärvi, Lasse. Laskenta- ja kehitysinsinööri, Recion Oy, Helsinki. Keskustelu. 16.2.2022.

Tilatun seinämäpaksuuden tarkastelu

Tarkastellaan esimerkissä kahdella eri tavalla, täyttääkö tilattu seinämäpaksuus standardin EN 13480-3 vaatimukset.

Lähtötiedot:

tilattu paksuus $e_{ord} = 40,00$ mm

pienin vaadittu paksuus ilman paksuuslisiä ja -toleransseja $e = 22,20$ mm

korroosiovara $c_0 = 1,00$ mm

ohenemisvara $c_2 = 0,00$ mm

paksuustoleranssi prosenttiosuutena $x = 12,5$ %

Tarkastellaan toteutuuko kaava (3) seuraavasti:

$$e_{ord} \geq (e + c_0 + c_2) * \frac{100}{100-x} \quad (3)$$

$$40,00 \text{ mm} \geq (22,20 \text{ mm} + 1,00 \text{ mm}) * \frac{100}{100-12,5}$$

$$40,00 \text{ mm} \geq 26,51 \text{ mm}$$

Kaava (3) toteutuu, joten tilattu seinämä täyttää standardin laskentavaatimukset.

Tarkastellaan vaihtoehtoisesti toteutuuko sama esimerkki kaavan (4) avulla seuraavasti:

$$\frac{e_{ord}}{100/(100-x)} \geq e + c_0 + c_2 \quad (4)$$

$$\frac{40 \text{ mm}}{100/(100-12,5)} \geq 22,20 \text{ mm} + 1,00 \text{ mm}$$

$$35 \text{ mm} \geq 23,20 \text{ mm}$$

Kaava (4) toteutuu, joten tilattu seinämä täyttää standardin laskentavaatimukset.

Kaavan (3) mukaisesti tarkasteltuna vaaditun paksuuden marginaali on suurempi kuin kaavalla (4).