

Joanna Luokkanen

**EN 13480-3 -STANDARDIN MUKAISTEN PUTKISTOKOMPONENTTIEN LU-
JUUSLASKENTAPOHJAN KEHITTÄMINEN TAULUKKOLASKENTAOHJEL-
MALLA**

**EN 13480-3 -STANDARDIN MUKAISTEN PUTKISTOKOMPONENTTIEN LU-
JUUSLASKENTAPOHJAN KEHITTÄMINEN TAULUKKOLASKENTAOHJEL-
MALLA**

Joanna Luokkanen
Opinnäytetyö
Syksy 2023
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Joanna Luokkanen

Opinnäytetyön nimi: EN 13480-3 -standardin mukaisten putkistokomponenttien lujuuslaskentapohjan kehittäminen taulukkolaskentaohjelmalla.

Title of thesis: Development of the Strength Calculation Basis for Pipeline Components According to the EN 13480-3 -Standard with a Spreadsheet Program.

Työn ohjaajat: Timo Kiviahde ja Juha Kortessalo

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2023

Sivumäärä: 39 + 3 liitettä

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää toimeksiantajan EN 13480-3 -standardin mukaisen putkistokomponenttien lujuuslaskentapohjaa ja päivittää laskentapohja voimassa olevien standardien mukaiseksi. Laskentaohjelma on luotu Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Laskentaohjelman tarkoitus on määrittää minimi materiaalipaksuus putkistokomponenteille käyttöolosuhteiden mukaisesti.

Työn toimeksiantajana toimi Enmac Oy. Enmac on insinööritoimisto, joka tekee mekaniikka-, sähkö ja automaatio-, laitos-, putkisto- ja prosessisuunnittelua. Lisäksi Enmac tekee järjestelmätoimituksia, kemikaalien lastaus- ja purkupaikkojen suunnittelua sekä asennuspalveluja. Enmacilta saa myös monipuolisia energia- ja ympäristöpalveluita.

Laskentaohjelman kehittäminen perustuu standardiin, ja kehittämisen tavoitteena oli tehdä laskentaohjelmasta helppokäyttöinen ja uusimpien standardien mukainen. Laskentapohjaa kehitettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Laskentaohjelman materiaalitiedot olivat vanhojen standardien mukaisia, joten materiaalilistat tuli käydä läpi uusimpien standardien kanssa ja päivittää arvot materiaalilistaan. Jotta laskentaohjelmalla saadaan standardin mukaiset lopputulokset, tuli laskenta-kaavat myös tarkistaa uusimpien standardien mukaisiksi ja korjata virheet. Laskentapohjaa haluttiin kehittää sillä tavoin, että lähtöarvot täytyy syöttää vain yhteen lähtöarvot-välilehteen. Muut välilehdet haluttiin lukita, jottei niihin pääsisi tulemaan näppäilyvirheitä.

Opinnäytetyö perustuu metallisten teollisuusputkistojen EN 13480-3 -standardiin sekä materiaalistandardeihin EN 10216-2, EN 10273, EN 10217-7 ja EN 10222-2. Materiaalistandardit tähän opinnäytetyöhön valikoituivat sen perusteella, että ne ovat toimeksiantajan eniten käytetyt materiaalistandardit.

Lujuuslaskentapohja päivitettiin uusimpien standardien mukaiseksi, ja näin ollen lujuuslaskennassa käytettävä lujuuslaskentapohja on näiden tietojen osalta ajan tasalla. Lopputuloksena saatiin helppokäyttöisempi, selkeämpi ja turvallisempi lujuuslaskentaohjelma, sillä virheiden mahdollisuudet laskennassa pienenevät huomattavasti. Kehittämistä voidaan vielä jatkaa päivittämällä muita harvemmin käytettyjä materiaalistandardien tietoja uusimpien standardien mukaisiksi.

Asiasanat: EN-13480, putkistosuunnittelu, laitossuunnittelu, lujuuslaskenta

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	TYÖSSÄ KÄYTETYT STANDARDIT	6
2.1	EN-13480-3	6
2.2	EN 10216-2	7
2.3	EN 10273	7
2.4	EN 10217-7	7
2.5	EN 10222-2	8
3	PUTKIKOMPONENTTIEN MITOITUS EN 13480-3 -STANDARDISSA.....	9
3.1	Tunnukset ja niiden yksiköt	9
3.2	Laskentapaine	11
3.3	Laskentalämpötila	12
3.4	Suunnitteluolosuhteet	12
3.5	Ainepaksuus.....	14
3.6	Hitsausliitoksen lujuuskerroin	16
3.7	Suunnittelujännitys	16
3.7.1	Ajasta riippumaton suunnittelujännitys	16
3.7.2	Aikariippuvainen suunnittelujännitys	18
3.8	Pienin vaadittu seinämänpaksuus, suora putki.....	18
3.9	Pienin vaadittu seinämänpaksuus, putkikäyrä.....	19
3.9.1	Tarkempi laskutapa sisäsyryllä	20
3.9.2	Tarkempi laskutapa ulkosyryllä	23
3.9.3	Tarkempi laskutapa käyrille, joiden seinämänpaksuus on vakio sisä- ja ulkosyryllä	24
3.10	Pienin vaadittu seinämänpaksuus, aukot ja haaroitukset	25
3.10.1	Vahvistustavat.....	28
3.10.2	Yksittäiset aukot.....	33
4	EXCEL-LASKENTAPOHJAN KEHITTÄMINEN	36
5	YHTEENVETO	38
	LÄHTEET.....	39

1 JOHDANTO

Laitossuunnittelun yksi tärkeä osa-alue on putkistosuunnittelu, joka edellyttää sekä standardien vaatimusten että viranomaismääräyksiä täyttymistä. Putkistokomponenttien lujuuslaskennalla voidaan varmistaa komponenttien turvallisuus ja toiminnallisuus sekä optimoida valmistuskustannukset.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää ja päivittää toimeksiantajan EN-13480-3 -standardin mukaista lujuuslaskentapohjaa. Laskentapohjan tarkoituksena on määrittää minimi materiaali-paksuus eri putkikomponentissa ja tietyissä käyttöolosuhteissa. Tehtävänä on tarkistaa lujuuslaskentapohjan kaavat ja päivittää materiaalistandardit uusimpien standardien mukaisiksi. Lisäksi tehtävänä oli kehittää laskentapohjaa siten, että lähtöarvot voidaan syöttää yhteen paikkaan ja muut välilehdet voidaan lukita, jottei niihin pääsisi näppäilyvirheitä.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Enmac Oy. Enmac Oy on insinööritoimisto, joka palvelee tuotekehityksissä, teknisessä suunnittelussa, laitos- ja prosessisuunnittelussa, teollisuusautomaatioissa ja teknisessä laskennassa. Enmacin toimialaan kuuluu mekaniikka-, sähkö- ja automaatio-, laitos-, putkisto- ja prosessisuunnittelu sekä järjestelmätoimitukset. Lisäksi Enmac suunnittelee ja asentaa kemikaalien lastaus- ja purkupaikkoja sekä palvelee monipuolisissa energia- ja ympäristötekniisissä asioissa. (1.)

Tämä opinnäytetyö sisältää lyhyet esittelyt työssä käytetyistä standardeista (SFS-EN 13480-3, SFS-EN 10216-2, SFS-EN 10273, SFS-EN 10217-7 ja SFS-EN 10222-2), standardin SFS-EN 13480-3 mukaisen putkistokomponenttien mitoituksen periaatteet, joita tarvittiin Excelin luomiseen ja kehittämiseen, sekä Excel-lujuuslaskentapohjan kehittämisen. Materiaalistandardit tähän opinnäytetyöhön valittiin sillä perusteella, että ne ovat toimeksiantajan useimmin käytetyt materiaalistandardit.

2 TYÖSSÄ KÄYTETYT STANDARDIT

Standardit ovat virallisia asiakirjoja, joihin on kirjattu vaatimuksia ja suosituksia, jotka ovat yhteisesti sovittuja. Standardeissa on myös kerrottu ominaisuuksia tuotteille ja niiden valmistukselle ja testaustukselle. Standardien määrittämisen yhteiset sopimukset tekevät arkkitehtuurimme turvallisemmaksi ja sujuvammaksi, sillä niiden tärkeimpänä tehtävänä on suojella kuluttajia ja ympäristöä. Isoimmat standardointijärjestöt ovat kansainväliset ISO ja IEC, eurooppalaiset CEN, Cenelec ja ETSI, saksalainen DIN ja suomalaiset SFS ja SESKO (2). Tässä opinnäytetyössä on käytetty SFS-standardeja, mikä tarkoittaa, että ne ovat Suomen standardisoimisliiton julkaisemia standardeja (3).

Tässä opinnäytetyössä laskentapohjaan ja kaavoihin on käytetty SFS-EN 13480-3 -standardin mukaista putkimitoitusta ja materiaalistandardeista laskentapohjaan tarkistettavaksi on poimittu toimeksiantajan eniten käytetyt materiaalistandardit SFS-EN 10216-2, SFS-EN 10273, SFS-EN 10217-7 ja SFS-EN 10222-2.

Laskentapohjan materiaalistoihin tarvittiin jokaisesta materiaalistandardista jokaisen teräslajin murtolujuus R_m , ylempi myötöraja eri seinämäpaksuuksilla huoneenlämpötilassa, venymisrajojen $R_{p0,2}$ ja $R_{p0,1}$ vähimmäisarvot korotetuissa lämpötiloissa ja virumismurtoarvo S_{rt} arvot 200 000 tunnissa eri lämpötiloissa. Nämä arvot löytyvät materiaalistandardeista.

2.1 EN-13480-3

Tämän opinnäytetyön pohjana on EN 13480-3-standardi, joka määrittää vaatimukset metallisten teollisuusputkistojen laskentaan ja suunnitteluun kannatuksineen. EN 13480 -standardi käsittelee metallisia teollisuusputkistoja ja tässä työssä käytetty osa 3 on tarkoitettu suunnitteluun ja laskentaan. Osan 3 laskentaohjeita käytetään käyttö- ja koeolosuhteisiin sekä esiasetus-, esijännitys-, huuhtelu- ja puhdistustilanteisiin. Opinnäytetyössä on käytetty standardin kohtia 1–6.2, jotka ovat soveltamisala, velvoittavat viittaukset, termit, määritelmät, tunnuksien ja yksiköt, suunnittelun perusteet, suunnittelujännitykset, sisäisen paineen alaisten putkiston rakenneosien suunnittelu suorille putkille, sekä putkitaivutuksille ja -käyrille. Lisäksi käytettiin kohtia 8.1–8.4, jotka käsittelevät aukkoja ja haaroituksia. (4.)

Jokaiseen rakenneosaan, vaurioitumistapaan, kuormitukseen ja materiaaliominaisuuteen on otettava huomioon tapauskohtaisesti rakenteelliset ominaisuudet. Putkistoihin kohdistuu kuormia, joita ovat muun muassa sisäinen ja ulkoinen paine, värähtelyt, lämpötila, putkiston ja sisällön paine, sisällön dynaamiset vaikutukset, ilmastolliset kuormat, maaperän ja rakennuksen liikkeet, sekä maanjäristykset. (4, luku 4.2.)

2.2 EN 10216-2

EN 10216-2 standardi määrittelee kuumalujien seostamattomien ja seostettujen pyöreiden saumattomien teräsputkien tekniset toimitusehdot kahdelle eri testausluokalle. Standardi SFS-EN 10216 käsittelee saumattomia painelaiteteräsputkia ja tämä standardiosa 2 käsittelee kuumalujia seostamattomia ja seostettuja teräsputkia. Tätä osaa voidaan soveltaa muillekin kuin pyöreille poikileikkauksille. (5, luku 1.)

Teräslajit P235GH, P195GH ja P265GH on luokiteltu standardin SFS-EN 10020 mukaisesti seostamattomiksi laatuteräksiksi ja muut on teräslajiltaan luokiteltu seostetuiksi erikoisteräksiksi (5, luku 5.1). SFS-EN 10020 -standardi on asiakirja teräslajien määritelmästä ja luokittelusta (6). Seostamattomien terästen nimikkeessä P tarkoittaa painelaitetekäyttöä, numerot tarkoittavat myötörajan vähimmäisarvoa huoneenlämpötilassa alle 16 mm:n seinämänpaksuuksilla ja GH on kuumalujan teräksen tunnus. Seostettujen terästen nimikkeet on muodostettu niiden kemiallisen koostumusten mukaan. (5, luku 5.2.)

2.3 EN 10273

SFS-EN 10273 materiaalistandardi esittää tekniset toimitusehdot painelaiteteräksistä ja tarkennettuna kuumavalssatuille hitsattaville kuumalujille terästangoille eri seinämänpaksuuksilla. Teräslajit P235GH, P250GH, P265GH, P295GH, P355GH, P275NH ja P355NH ovat standardin SFS-EN 10020 mukaan seostamattomia laatuteräksiä ja muut ovat seostettuja erikoisteräksiä (6).

2.4 EN 10217-7

SFS-EN 10217 on standardi hitsatuista painelaiteteräsputkista, ja osa 7 käsittelee materiaalina hitsattuja austeniittis-ferriittisiä ja austeniittisiä ruostumattomia pyöreitä teräsputkia ja niiden teknisiä

toimitusehtoja kahdelle eri testausluokalle. Tämä standardi pätee painelaitteissa matalissa lämpötiloissa, korotetuissa lämpötiloissa ja huoneenlämpöisiin korroosionkestäviin putkiin. (8, luku 1.)

2.5 EN 10222-2

SFS-EN 10222 on standardi nimeltään painelaiteteräkset ja takeet. Osa 2 on kuumalujat ferriittiset ja martensiittiset teräkset. Näille esitetään standardissa kemiallista koostumusta ja mekaanisia ominaisuuksia koskevat vaatimukset. (9.) Standardin SFS-EN 10020 luokittelun mukaan teräslajit P235GH, P245GH, P250GH, P265GH, P280GH, P295GH ja P305GH ovat seostamattomia laatu-teräksiä. Muut teräslajit on luokiteltu seostettuihin erikoisteräksiin (6).

3 PUTKIKOMPONENTTIEN MITOITUS EN 13480-3 -STANDARDISSA

Tämän opinnäytetyön pohjana on tämän hetken uusien metallisten teollisuusputkistojen standardi SFS-EN 13480-3:2017+A1:2021+A2:2020+A3:2020+A4:2021. Osa 3 käsittelee suunnittelua ja laskentaa ja määrittelee vaatimukset metallisille teollisuusputkistojärjestelmille kannatuksineen. Tässä luvussa esitetään putkikomponenttien mitoitus EN-13480-3 standardissa. Luvussa esitetään opinnäytetyössä käytetyt tunnuksot ja niiden yksiköt, laskentapaine, laskentalämpötila, suunnitteluolosuhteet, ainepaksuus, hitsauksen lujuuskerroin, suunnittelujännitys ja pienin vaadittu seinämänpaksuus suoralla putkella, putkikäyrällä sekä aukoissa ja haaroituksissa.

3.1 Tunnuksot ja niiden yksiköt

Tämä opinnäytetyö sisältää kaavoja, joissa käytetään tunnuksia eri suureille. Taulukossa 1 esitetään tarvittavat tunnuksot ja niiden yksiköt.

TAULUKKO 1 Opinnäytetyössä esitetyt tunnuksot ja niiden yksiköt

Tunnus	Kuvaus	Yksikkö
p_0	Käyttöpaine	MPa
t_0	Käyttölämpötila	°C
t_c	Laskentalämpötila	°C
c_0	Korroosio- tai eroosiovara	mm
PS	Suurin sallittu paine	bar
TS	Suurin sallittu lämpötila	°C
c_1	Materiaalistandardista saatavan negatiivisen paksuustoleranssin itseisarvo tai valmistajan ilmoittama arvo	mm
c_2	Ohenemisvara mahdollista valmistuksen aikaista ohenemista varten	mm
e_c	Korroosion tai eroosion jälkeinen seinämänpaksuus, jota käytetään joustavuusanalyyseissä	mm
e_r	Pienin vaadittu seinämänpaksuus paksuuslisien ja toleranssien kanssa	mm
e_{ord}	Tilattu ainepaksuus (missä c_2 on usein 0; ts. suora putki)	mm

ε	Tilattavan ainepaksuuden e_{ord} valinnan tuloksena tuleva ylimääräinen paksuus	mm
e_n	Nimellispaksuus (piirustuksissa)	mm
e_a	Rakennepaksuus, jota käytetään lujuustarkistuksessa	mm
e_{exp}	Odotettavissa oleva (keskimääräinen) seinämäpaksuus	mm
D_o	Ulkohalkaisija	mm
D_i, d_i	Sisähalkaisija	mm
e	Pienin sallittu seinämäpaksuus	mm
P_c	Laskentapaine	MPa
f	Suunnittelujännitys	MPa
z	Liitoksen lujuuskerroin	-
e_{int}	Pienin vaadittu seinämäpaksuus ilman paksuuslisä ja toleransseja taivutuksen sisäsyryllä	mm
R	Putkitaivutuksen tai -käyrän taivutussäde (keskilinja)	mm
e_{ext}	Pienin vaadittu seinämäpaksuus ilman paksuuslisä ja toleransseja taivutuksen ulkosyryllä	mm
f_{cr}	Virumisalueen suunnittelujännitys	MPa
S_{RTt}	Standardien antama virumismurtolujuuden keskiarvo tarkasteltavalle materiaalille tarkasteltavassa lämpötilassa t ja tarkasteltavalla kestoajalla T (tunteina), kun tulosten hajontavyöhyke ei poikke keskiarvosta yli 20 %.	MPa
S_{fcr}	Käyttöön mukainen varmuuskerroin	-
f_{test}	Painekokeen jännitys	MPa
A	Murtovenymä (pitkittäinen)	%
R_{eHt}	Ylemmän myötörajan pienin määritetty arvo laskentalämpötilassa, kun lämpötila on korkeampi, kuin huoneenlämpö	MPa
R_m	Teräslajin murtolujuus	MPa
$R_{p0.1t}$	Kappaleen jännitys venyttyä 0,2 % tietyssä lämpötilassa	MPa
$R_{p0.2t}$	Kappaleen jännitys venyttyä 0,1 % tietyssä lämpötilassa	MPa
$R_{p1,0}$		
B	Laskentakerroin putkikäyrien seinämäpaksuuksille, kun seinämäpaksuus on vakio	-
B_{ext}	Laskentakerroin putkikäyrien ulkosyryän seinämäpaksuuksille	-

B_{int}	Laskentakerroin putkikäyrien sisäsyrjän seinämänpaksuuksille	-
r	Putkitaivutuksen kaarevuussäde kuvan 3 mukaan	mm
e_{ab}	Yhteen laskentapaksuus	mm
e_{as}	Kuoren tai päädyn laskentapaksuus	mm
D_{eq}	Kuoren laskennallinen halkaisija kuoreen nähden kohtisuorassa olevan aukon keskipisteessä	mm
f_s	Kuoren suunnittelujännitys	MPa
f_b	Haaran suunnittelujännitys	MPa
f_{pl}	Vahvistuslevyn suunnittelujännitys	MPa
l_b	Aukkojen keskipisteiden välinen etäisyys	mm
$A_p, A_{fs}, A_{fb}, A_{fpl}$	Pinta-alat	mm ²
X_L, X_s, X	Etäisyydet	mm

3.2 Laskentapaine

Putkistojärjestelmän komponenttien mitoituksen perustana on käyttöpaineen p_0 ja käyttölämpötilan t_0 tilapiste (p_0, t_0). Tilapisteen täytyy vastata pahinta mahdollista paine- tai lämpötilaolosuhdetta, joka vaikuttaa pitkäkestoisesti ja samanaikaisesti mitoitettavassa putkistossa. Samanaikaisesti vaikuttavat lämpötila-/paine yhdistelmät on siis otettava huomioon mitoituksessa, mikä johtaa suurimpaan vaadittavaan seinämänpaksuuteen. Suurin sallittu paine putkistojärjestelmän rakenneosille perustuu määritellyn materiaalin mekaanisiin ominaisuuksiin ja määritellylle lämpötilalle sekä varmuuskertoiminen huomioimiselle. Tilapäisiä poikkeamia ei tarvitse ottaa huomioon, mikäli poikkeamien jännitys ei ole 10 % suurempi eikä kestoiltaan pidempi kuin 10 % mistä tahansa valitusta käyttöjaksosta.

Laskentapaine tulee määritellä jokaiselle paineen ja lämpötilan tilapisteelle (p_0, t_0). Laskentapaineen P_c täytyy olla suurempi kuin käyttöpaine p_0 , ja käyttöpaineen p_0 tulee taas olla pienempi kuin määrätty suurin sallittu paine PS . Toinen vaihtoehto on käyttää sitä käyttöpaine/käyttölämpötila yhdistelmää (P_c, t_c), joka johtaa laskennallisesti korkeimpaan jännitykseen tai suurimpaan seinämänpaksuuteen. Tällöin lämpötilan t_c vastaava paine P_c voi olla alhaisempi kuin PS . Jos laskenta-

lämpötila t_c on kuitenkin sellaisella alueella, että materiaalin virumismurtolujuusominaisuudet vaikuttavat nimelliseen suunnittelujännitykseen, pitää laskennassa käyttää käyttöpainetta p_0 ja sitä vastaavaa lämpötilaa t_0 . (4, luku 4.2.3.4.)

3.3 Laskentalämpötila

Laskentalämpötilan t_c täytyy olla korkein mahdollinen lämpötila, joka saavutetaan putken seinämän puolivälissä normaaleissa käyttöolosuhteissa ja laskentapaineessa P_c . Käyttölämpötilan t_c tulee olla pienempi kuin putkistolle määritelty suurin sallittu lämpötila TS .

Laskentalämpötila määritetään ulkopuolelta eristämättömille ja sisäpuolelta vuoraamattomille putkiston osille lämpötilan mukaan. Jos sisällön lämpötila on alle 40 °C , käytetään laskentalämpötilana sisällön lämpötilaa. Jos sisällön lämpötila on 40 °C tai enemmän, laskentalämpötila on 95 % sisällön lämpötilasta venttiileille, päädyille, putkille, hitsattaville putken osille ja muille osille, joita voidaan verrata putken paksuuteen. Laskentalämpötila on 90 % sisällön lämpötilasta laipoille, 85 % sisällön lämpötilasta laippaliitoksille ja 80 % sisällön lämpötilasta ruuveille. Laskentalämpötila ei kuitenkaan saa olla alle 40 °C , paitsi jos se on erikseen määritetty kokeen tai lämmönsiirtolaskelmien avulla.

Ulkopuolelta eristetyn putkiston osien laskentalämpötila on oltava sama kuin sisällön lämpötila, ellei laskelmat ja kokeet edellytä jonkin toisen lämpötilan käyttöä. Vuorattujen putkien laskentalämpötila tulee määrittää erikseen ja ne tulee perustua lämmönsiirtolaskelmille tai kokeille. (4, luku 4.2.3.5.)

3.4 Suunnitteluolosuhteet

Normaali olosuhteet ovat ne olosuhteet, joissa prosessi on normaalissa käyttötilanteessa ja vakioolosuhteessa. Normaalissa käyttöolosuhteessa laskennassa on otettava huomioon sisäinen paine, ulkoinen paine, hydrostaattinen paine, putkiston paino, lämpölaajeneminen, eristeen paino, sisällön paino, esijännitys, rakennuksen painuminen, jousi- ja vakiovoimakannattimien vaikutus, kannakoinnin reunaehdot, sekä kiintopisteiden, kannattimien ja liittyvien laitteiden siirtymät ja kiertymät. (4, luku 4.2.5.1.)

Satunnaiset käyttöolosuhteet ovat normaaleja käytön aikana tapahtuvia kuormia, esimerkiksi sulkuventtiilien käyttö tai reaktivoimat. Satunnaisissa käyttöolosuhteissa on otettava huomioon normaalien kuormitusten lisäksi iskunvaimentimien vaikutukset, varoventtiilien toiminta, ulosvirtauksen reaktivoimat, dynaamiset iskumaiset kuormat, normaaleista käyttöolosuhteista poikkeavat lämpötilat, jousi- ja vakiovoimakannattimien vaikutus, mahdolliset ilmastovaikutukset ja seismiset kuormat. (4, luku 4.2.5.2.1.)

Puhdistuksen aikaisissa kuormitustilanteissa laskennassa on otettava huomioon kaikki staattiset, kinemaattiset ja dynaamiset reunaehdot. Tällöin on tutkittava sisäinen paine, eristyksen paino, puhdistusaineen paino, putkiston paino, kannakointi, esijännitys, lämpölaajeneminen, lukitut- ja lukitsemattomat jousi- ja vakiovoimakannattimet sekä kiintopisteiden, kannattimien ja liittyvien laitteiden siirtymät ja kiertymät. (4, luku 4.2.5.2.2.)

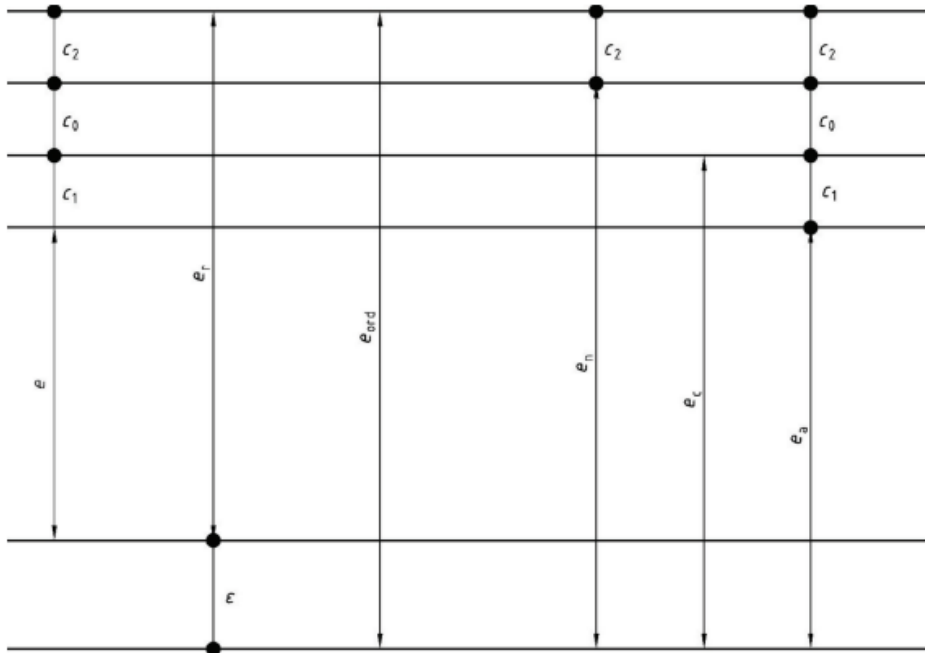
Höyrypursotusten- ja ulospuhalluksen aikaisissa kuormitustilanteissa on otettava kaikki dynaamiset ja staattiset reunaehdot huomioon. Tässä tilanteessa on otettava huomioon läpipuhalluspaineet, muuttunut putkiston geometria, esijännitys, voimat poistoaukossa lämpölaajeneminen, kannakointi, putkiston paino, eristyksen paino, lukitut ja lukitsemattomat jousi- ja vakiovoimakannattimet, sekä kiintopisteiden, kannattimien ja liittyvien laitteiden siirtymät ja kiertymät. (4, luku 4.2.5.2.3.)

Poikkeuksellisina käyttöolosuhteina pidetään tilanteita, joita tapahtuu vain harvoin. Laskettaessa poikkeuksellisia käyttöolosuhteita on otettava huomioon kaikki kuormitustekijät normaaleista käyttöolosuhteista ja niiden lisäksi on otettava huomioon mahdolliset ilmastovaikutukset, kuten poikkeukselliset tuuli- tai lumikuormat ja seismiset kuormat. (4, luku 4.2.5.3.)

Koeolosuhteiden laskennassa on otettava huomioon kaikki dynaamiset, staattiset ja kinemaattiset reunaehdot. Koeolosuhteissa on tutkittava esijännitys, putkiston paino, eristyksen paino, sisäinen paine, lämpölaajeneminen, koeponnistuksessa käytettävän väliaineen paino, kannakointi, lukitut ja lukitsemattomat jousi- ja vakiovoimakannattimet, sekä kiintopisteiden, kannattimien ja liittyvien laitteiden siirtymät ja kiertymät. (4, luku 4.2.5.4.)

3.5 Ainepaksuus

Seinämän vähimmäispaksuus määritetään putkien ja putkenosien valmistusmenetelmät huomioon ottaen. Korroosio voi olla sisäistä tai ulkoista. Kuvassa 1 havainnollistetaan ainepaksuus, missä on esitetty kaikki paksuudet, korroosiovara c_0 , paksuustoleranssi c_1 ja ohenemisvara c_2 . Kuva soveltuu suorille putkille ja putkitaivutuksille ja tilattuna keskimääräisellä seinämänpaksuudella. (4, luku 4.3.)



KUVA 1 Ainepaksuus (4, kuva 4.3–1.)

Kuvasta 1 voidaan tulkita ainepaksuuden laskennasta seuraavat kaavat 1, 2, 3 ja 4.

$$e + c_1 + c_0 + c_2 = e_r \quad \text{KAAVA 1}$$

$$e_r + \varepsilon = e_{ord} \quad \text{KAAVA 2}$$

$$e_n = e_{ord} - c_2 \quad \text{KAAVA 3}$$

$$e_c = e_n - c_0 \quad \text{KAAVA 4}$$

Analyysipaksuus on oltava korroosion jälkeinen alhaisin paksuus, ja se määritetään joko kaavalla 5 tai 6, kun putket on tilattu keskimääräisellä seinämänpaksuudella.

$$e_a = e + \varepsilon$$

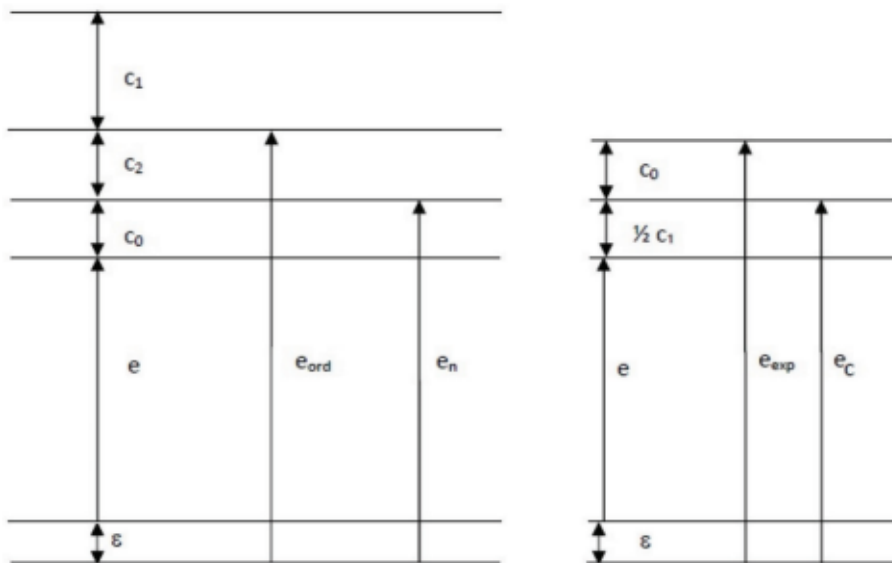
KAAVA 5

tai

$$e_a = e_{ord} - c_0 - c_1 - c_2$$

KAAVA 6

Kuva 2 havainnollistaa ainepaksuutta, mikä soveltuu suorille putkille ja taivutuksille ja tilattuna minimiseinämänpaksuudella ja vain plusoleranssein.



KUVA 2 Ainepaksuus (1, 4.3–2)

Kun putket on tilattu minimiseinämänpaksuudella ja plusoleranssein, analyysipaksuus lasketaan kaavan 7 mukaisesti.

$$e_a = e_{ord} - c_0 - c_2$$

KAAVA 7

Jos toleranssin c_1 arvo ilmoitetaan pituusyksikössä, komponentin tilatun paksuuden on oltava kaavan 8 mukainen ja jos toleranssin c_1 arvo ilmoitetaan prosentiosuutena x tilatusta paksuudesta, komponentin tilatun paksuuden on oltava kaavan 9 mukainen. (4, luku 4.3.)

$$e_{ord} \geq e + c_0 + c_1 + c_2$$

KAAVA 8

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

KAAVA 9

Kuvasta 2 voidaan tulkita myös kaavat 10 ja 11.

$$e_{exp} = \varepsilon + e + \frac{1}{2}c_1 + c_0$$

KAAVA 10

$$e_c = e_{exp} - c_0$$

KAAVA 11

3.6 Hitsausliitoksen lujuuskerroin

Liitoksen lujuuskerrointa z käytetään, kun lasketaan putkikomponentille paksuutta, jotka sisältävät yhden tai useamman päittäishitsin. Laitteille, joille tehdään vain silmämääräinen tarkastus, lujuuskerroin z on 0,7. Laitteille, joille tehdään satunnaisesti rikkomatonta aineenkoetusta lujuuskerroin z on 0,85. Laitteille, joille tehdään aina rikkomaton tai rikkova aineenkoetus varmistaen, ettei liitosjoukossa ole merkittäviä hitsausvirheitä, lujuuskerroin z on 1. Laskennassa poikkeuksellisissa käyttöolosuhteissa ja koeolosuhteissa ei tarvitse ottaa huomioon lujuuskerrointa. (4, luku 4.5)

3.7 Suunnittelujännitys

Suunnittelujännityksenä pitää käyttää pienintä arvoa lasketusta ajasta riippumattomasta jännityksestä ja lasketusta aikariippuvaisesta jännityksestä. Suunnittelujännitys täytyy määrittää kaikille suunnittelu- ja koeolosuhteille.

3.7.1 Ajasta riippumaton suunnittelujännitys

Ajasta riippumattomien ei-austeniittisten terästen suunnittelujännitys tulee olla kaavan 12 mukainen.

$$f = \min \left\{ \frac{R_{eHt}}{1,5} \text{ tai } \frac{R_{p0,2t}}{1,5}; \frac{R_m}{2,4} \right\}$$

KAAVA 12

Koeolosuhteissa on huomioitava, että painekokeen jännitys f_{test} ei ylitä arvoa 95 % R_{eH} tai 95 % $R_{p0,2}$ määritellyssä koelämpötilassa. Austeniittisissä teräksissä suunnittelujännitys määräytyy murtovenymän mukaan. Suunnittelujännityksen tulee olla kaavan 13 tai 14 mukainen, kun $A \geq 35$ %. Tapauksissa, joissa $R_{m,t}$ tunnetaan, suunnittelujännityksen tulee olla kaavan 15 mukainen.

$$f = \frac{R_{p1,0} t}{1,5} \quad \text{KAAVA 13}$$

$$f = \min \left\{ \frac{R_m t}{3}; \frac{R_{p1,0} t}{1,2} \right\} \quad \text{KAAVA 14}$$

Kun $A \geq 35 \%$, painekokeessa jännitys ei saa ylittää suurempaa seuraavista arvoista: $95 \% R_{p1,0}$ määritellyssä koelämpötilassa ja $45 \% R_m$ määritellyssä koelämpötilassa. Kun $35 \% > A \geq 30 \%$, käytetään kaavaa 15.

$$f = \min \left\{ \frac{R_{p1,0} t}{1,5}; \frac{R_m}{2,4} \right\} \quad \text{KAAVA 15}$$

Kun $35 \% > A \geq 30 \%$, painekokeessa jännitys ei saa ylittää arvoa $95 \% R_{p1,0}$ määritellyssä koelämpötilassa. Kun $A < 30 \%$, käytetään kaavaa 13. Jos materiaalistandardi antaa eri arvot pitkittäiselle ja poikittaiselle murtovenymälle, tulee laskennassa käyttää näistä matalampaa arvoa. Kun $A < 30 \%$, painekokeessa jännitys ei saa ylittää $95 \% R_{eH}$ tai $95 \% R_{p0,2}$ määritellyssä koelämpötilassa. (4, luku 5.2.)

Ajasta riippumattomien nikkeli-, kromi-nikkeli- ja kromiterästen suunnittelujännitys riippuu annetusta vähimmäismurtovenymästä huoneenlämpötilassa (4, luku 5.2.3). Valuterästen suunnittelujännitys tulee olla kaavan 16 mukainen. Painekokeessa jännitys ei saa ylittää arvoja $\frac{R_{eH}}{1,4}$ tai $\frac{R_{p0,2}}{1,4}$ määritellyssä koelämpötilassa. (4, luku 5.2.4.)

$$f = \min \left(\frac{R_{eH} t}{1,9} \text{ tai } \frac{R_{p0,2} t}{1,9}; \frac{R_m}{3,0} \right) \quad \text{KAAVA 16}$$

Teräkset, joilla ei ole erityistä laadunvarmistusta kaavan 12 mukainen suunnittelujännitys tulee jakaa varmuuskertoimella, joka on vähintään 1,2. Jos materiaalistandardissa ei ole seostamattomien terästen myötörajoja korotetuissa lämpötiloissa, voidaan käyttää kaavaa 17, jossa t on välillä 20°C ja 150°C . Jännitys ei saa ylittää arvoa $95 \% R_{eH}$ määritellyssä koelämpötilassa. (4, luku 5.2.5.)

$$R_{p0,2} = R_m \frac{720-t}{1400} \quad \text{KAAVA 17}$$

3.7.2 Aikariippuvainen suunnittelujännitys

Hitsatuilla putkilla ja putkenosien hitseillä on otettava huomioon virumislujuusarvot, jos niitä on saatavilla. Muutoin käytetään pienempää arvoa täytemateriaalin tai perusmateriaalin virumislujuusarvosta pienennettynä 20 %:lla. Terästen virumisalueen suunnitteluolosuhteet tulee olla kaavan 18 mukaiset.

$$f_{cr} = \frac{S_{RTt}}{S_{fcr}}$$

KAAVA 18

S_{fcr} varmuuskerroin riippuu käyttöiästä ja taulukosta 2 on nähtävissä, miten käyttöikä vaikuttaa varmuuskertoimeen ja mitä varmuuskerrointa on käytettävä eri käyttöikien mukaan. Varmuuskertoimen on oltava taulukon 2 mukainen. Virumismurtolujuus, joka liittyy suunniteltuun käyttöikään, interpoloidaan logaritmisella aika-akselilla ja logaritmisella jännitysakselilla avulla. Painekokeessa jännitys ei saa ylittää arvoja 95 % R_{eH} , 95 % $R_{p1,0}$ ja 95 % $R_{p0,2}$ määritellyssä koelämpötilassa.

TAULUKKO 2 Ajasta riippuvan keskimääräisen virumismurtolujuuden varmuuskerroin (4, taulukko 5.3.2-1.)

Suunniteltu käyttöikä ^a	Ilman virumisen seuranta ^c		Virumisen seurannalla ^c	
	Mekaaninen ominaisuus	S_{fcr}	Mekaaninen ominaisuus	S_{fcr}
$10\ 000 \leq T \leq 100\ 000$	S_{RTt}	1,5	S_{RTt}	1,25
$100\ 000 < T < 200\ 000$	S_{RTt}^d	1,5 ^d	S_{RTt}	1,25
$T = 200\ 000$	S_{RTt}^d	1,5 ^d	$S_{R\ 200\ 000\ h\ t}$	1,25
			$S_{R\ 150\ 000\ h\ t}^b$	1,35
			$S_{R\ 100\ 000\ h\ t}^b$	1,5

^a Jos suunniteltua käyttöikää ei ole määritetty, on käytettävä 200 000 h mukaista keskimääräistä virumismurtolujuutta sekä vastaavaa varmuuskerrointa S_{fcr} .

^b Vain niissä tapauksissa, joissa 200 000 h arvoja ei ole annettu materiaalistandardeissa, on käytettävä 150 000 h tai 100 000 h suunnitellun käyttöiän keskimääräistä virumismurtolujuutta sekä vastaavaa varmuuskerrointa S_{fcr} .

^c Valvonta rikkomattomalla aineenkoetuksella ja/tai lisälaskelmilla liittyen virumisvaurioon D_c .

^d Sallittu vain, jos $\frac{S_{RT\ 200000h}}{S_{RT\ 100000h}} \geq 0,781$ jotta varmistetaan siitä, että 60 % teoreettisesta virumisvauriosta ei ylitä 200 000 h kohdalla.

3.8 Pienin vaadittu seinämänpaksuus, suora putki

Suoran putken pienin sallittu seinämän paksuus e ilman paksuuslisä ja toleransseja on esitetty EN 13480-3 -standardin luvussa 6: sisäisten paineenalaisten putkiston rakenneosien suunnittelu ja kohdassa 6.1: suora putki. Suoran putken seinämänpaksuus voidaan laskea kaavoilla 19, 20, 21, ja 22, riippuen ulko- ja sisähalkaisijan suhteesta.

Jos $\frac{D_o}{D_i} \leq 1,7$:

$$e = \frac{P_c D_o}{2 f z + P_c} \quad \text{KAAVA 19}$$

tai

$$e = \frac{P_c D_i}{2 f z - p_c} \quad \text{KAAVA 20}$$

Jos $\frac{D_o}{D_i} > 1,7$:

$$e = \frac{D_o}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{f z + P_c}{f z - P_c}} \right) \quad \text{KAAVA 21}$$

tai

$$e = \frac{D_o}{2} \left(\sqrt{\frac{f z + P_c}{f z - P_c}} - 1 \right) \quad \text{KAAVA 22}$$

Käytettävä kaava valitaan sen mukaan, onko mitoituksen lähtöarvona ulko- vai sisähalkaisija. Pienin vaadittu seinämänpaksuus voidaan laskea putkelle, kun sen koko, materiaali ja muut parametrit ovat tiedossa. Näillä kaavoilla laskettuun seinämänpaksuuteen lisätään vielä vaaditut paksuuslisät ja toleranssit. (4, luku 6.1.)

3.9 Pienin vaadittu seinämänpaksuus, putkikäyrä

Pienin vaadittu seinämänpaksuus ilman paksuuslisiä ja toleransseja putkikäyrässä voidaan laskea kahdella eri menetelmällä. Putkitaivutuksen seinämänpaksuuden laskenta on esitetty standardin 13480–3 kohdassa 6.2. Normaali tapa lasketaan kaavoilla 23 ja 24.

Sisäsyryllä vaadittu seinämänpaksuus lasketaan kaavalla 23 ja Ulkosyryllä vaadittu seinämänpaksuus lasketaan kaavalla 24. (4, luku 6.2.)

$$e_{int} = e \frac{\left(\frac{R}{D_o}\right)^{-0,25}}{\left(\frac{R}{D_o}\right)^{-0,5}} \quad \text{KAAVA 23}$$

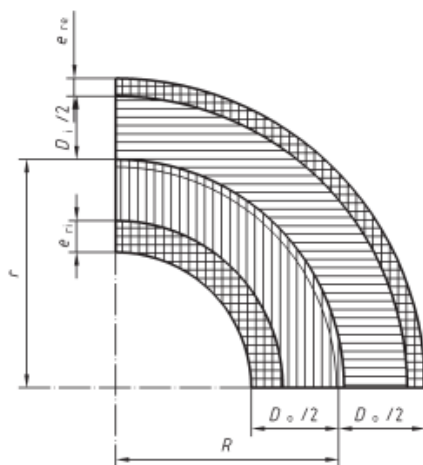
$$e_{ext} = e \frac{\left(\frac{R}{D_0}\right)+0,25}{\left(\frac{R}{D_0}\right)+0,5}$$

KAAVA 24

3.9.1 Tarkempi laskutapa sisäsyrrjällä

Tarkempi tapa on laskea vaadittu seinämänpaksuus kaavoilla 25 ja 26. Kuva 3 havainnollistaa putkitaivutuksen tunnuksia, ja taulukosta 3 nähdään pienin vaadittu seinämänpaksuus ennen induktiotaivutusta.

KUVA 3 Putkitaivutuksen tunnuksia



TAULUKKO 3 Pienin vaadittu putken seinämänpaksuus ennen induktiotaivutusta

Säde	Normaali tapa 6.2.3.1
10 D_0	1,02 e
8 D_0	1,03 e
6 D_0	1,04 e
5 D_0	1,04 e
4 D_0	1,05 e
3 D_0	1,06 e
2,5 D_0	1,08 e
2 D_0	1,10 e
1,5 D_0	1,15 e

Pienin vaadittu seinämänpaksuus mukaan lukien toleranssit ja paksuuslisät putkitaivutuksen sisäsyrrjässä lasketaan kaavalla 25.

$$e_{r\ int} = e_{int} + c_0 + c_1 + c_2$$

KAAVA 25

Putkitaivutuksen sisäsyrjän vaadittu seinämänpaksuus ilman toleransseja ja paksuuslisiä laske-
taan kaavalla 26.

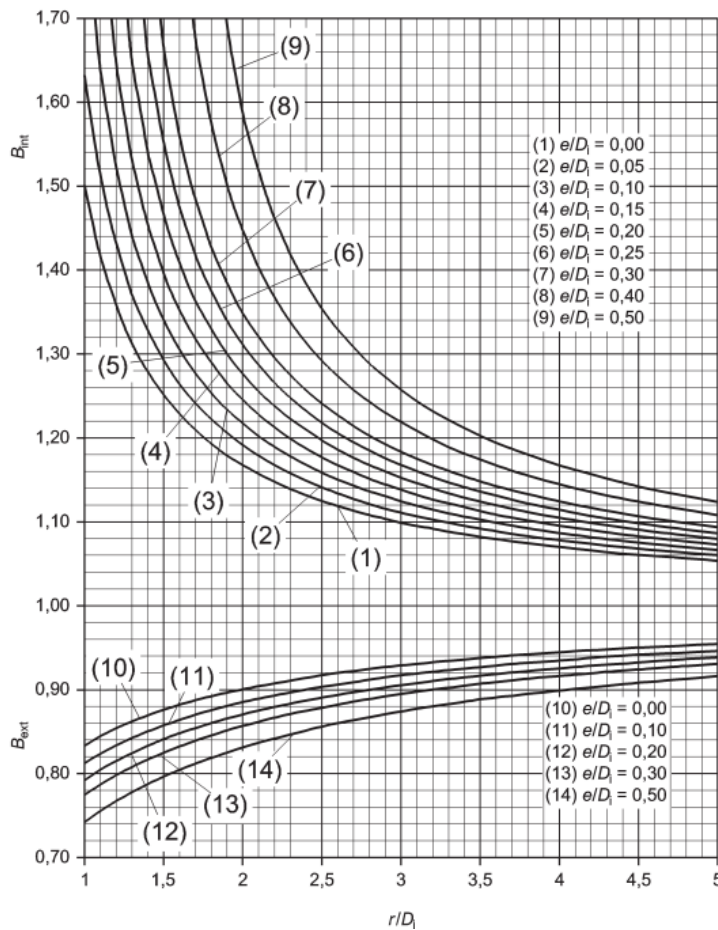
$$e_{int} = eB_{int}$$

KAAVA 26

B_{int} saadaan kaavalla 27 tai 28 riippuen siitä, onko lähtöarvona sisä- vai ulkohalkaisija. Kaavassa
27 B_{int} on $\frac{r}{D_i}$ funktio ja se saadaan myös kuvasta 4.

$$B_{int} = \frac{r}{e} - \frac{D_i}{2e} - \sqrt{\left(\frac{r}{e} - \frac{D_i}{2e}\right)^2 - 2\frac{r}{e} + \frac{D_i}{2e}}$$

KAAVA 27



KUVA 4 Laskentakertoimet B_{int} ja B_{ext} putkitaivutuksille, joiden sisähalkaisija tunnetaan. (4, kuva B.4.1-1)

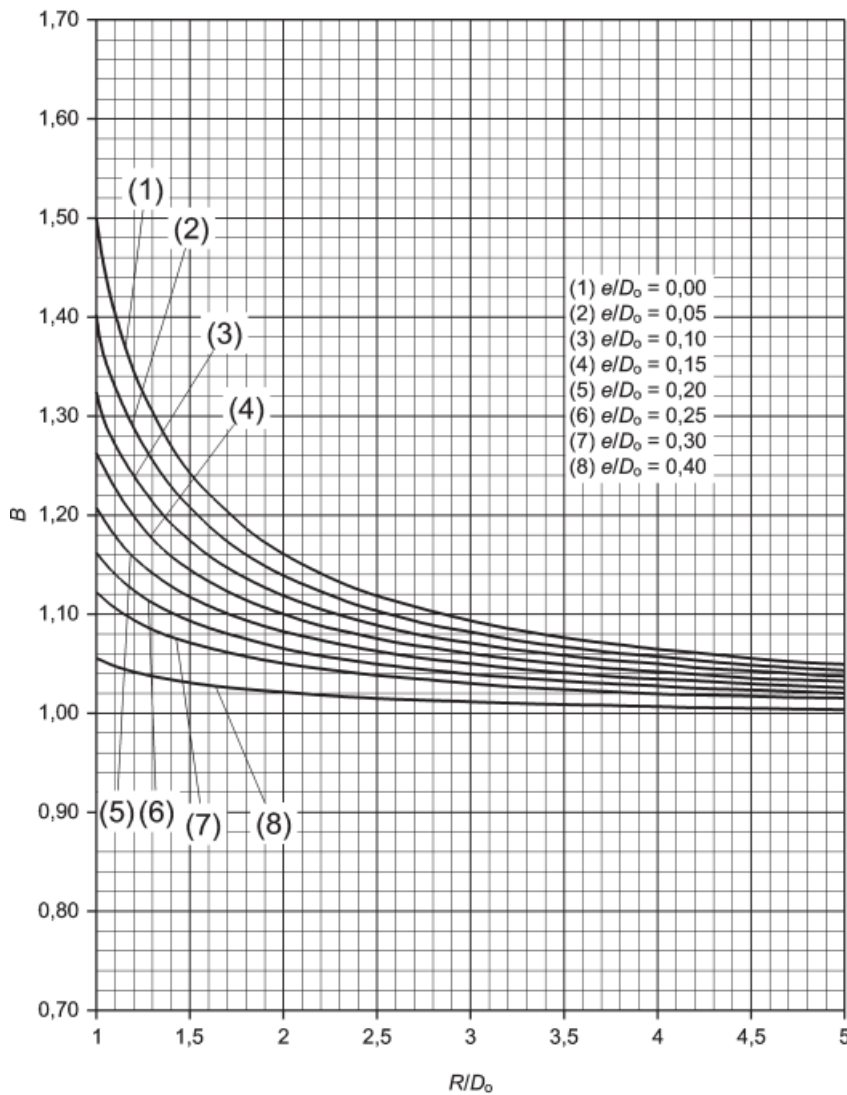
$$B_{int} = \frac{D_o}{2e} + \frac{r}{e} - \left(\frac{D_o}{2e} + \frac{r}{e} - 1\right) \sqrt{\frac{\left(\frac{r}{e}\right)^2 - \left(\frac{D_o}{2e}\right)^2}{\left(\frac{r}{e}\right)^2 - \frac{D_o}{2e} \left(\frac{D_o}{2e} - 1\right)}}$$

KAAVA 28

Putkitaivutukset, joiden ulkohalkaisija tunnetaan, lasketaan kaavalla 29. Kaavassa 29 B_{int} on termin $\frac{r}{D_o}$ funktio ja se saadaan myös kuvasta 5.

$$B_{int} = \frac{D_o}{2e} + \frac{r}{e} - \left(\frac{D_o}{2e} + \frac{r}{e} - 1 \right) \sqrt{\frac{\left(\frac{r}{e}\right)^2 - \left(\frac{D_o}{2e}\right)^2}{\left(\frac{r}{e}\right)^2 - \frac{D_o}{2e} \left(\frac{D_o}{2e} - 1\right)}}$$

KAAVA 29



KUVA 5 Laskentakertoimet B_{int} ja B_{ext} putkitaivutuksille, joiden ulkohalkaisija tunnetaan. (4, kuva B.4.1–2)

Kaavoissa 28 ja 29 esiintyvä termi $\frac{r}{e}$ voidaan laskea kaavalla 30.

$$\frac{r}{e} = \sqrt{\frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{D_o}{2e} \right)^2 + \left(\frac{R}{e} \right)^2 \right\}} + \sqrt{\frac{1}{4} \left(\left(\frac{D_o}{2e} \right)^2 + \left(\frac{R}{e} \right)^2 \right)^2 - \frac{D_o}{2e} \left(\frac{D_o}{2e} - 1 \right) \left(\frac{R}{e} \right)^2} \quad \text{KAAVA 30}$$

Kaavat 28 ja 29 ovat toimivia eli antavat saman tuloksen vain, jos kaavat 31 ja 32 pätevät. (4, liite B.)

$$D_o = D_i + e_{int} + e_{ext} \quad \text{KAAVA 31}$$

$$R = r - \frac{e_{int} - e_{ext}}{2} \quad \text{KAAVA 32}$$

3.9.2 Tarkempi laskutapa ulkosyrjällä

Putkitaivutuksen ulkosyrjässä pienin vaadittu seinämnpaksuus lasketaan kaavalla 33.

$$e_{r\ ext} = e_{ext} + c_0 + c_1 + c_2 \quad \text{KAAVA 33}$$

Putkitaivutuksen ulkosyrjän pienin vaadittu seinämnpaksuus ilman toleransseja ja paksuuslisää lasketaan kaavalla 34.

$$e_{ext} = e B_{ext} \quad \text{KAAVA 34}$$

Kun sisähalkaisija on tiedossa, B_{ext} saadaan laskettua kaavalla 35. Se saadaan myös kuvasta 4.

$$B_{ext} = \sqrt{\left(\frac{r}{e} + \frac{D_i}{2e} \right)^2 + 2 \frac{r}{e} + \frac{D_i}{2e} - \frac{D_i}{2e} - \frac{r}{e}} \quad \text{KAAVA 35}$$

Kun putken ulkohalkaisija on tiedossa B_{ext} lasketaan kaavalla 36 ja se saadaan myös kuvasta 5.

$$B_{ext} = \frac{D_o}{2e} - \frac{r}{e} - \left(\frac{D_o}{2e} - \frac{r}{e} - 1 \right) \sqrt{\frac{\left(\frac{r}{e} \right)^2 - \left(\frac{D_o}{2e} \right)^2}{\left(\frac{r}{e} \right)^2 - \frac{D_o}{2e} \left(\frac{D_o}{2e} - 1 \right)}} \quad \text{KAAVA 36}$$

Termi $\frac{r}{e}$ lasketaan kaavalla 30 ja kaavat 35 ja 36 antavat saman tuloksen vain, jos kaavat 31 ja 32 pätevät. (4, Liite B.4.1.2.)

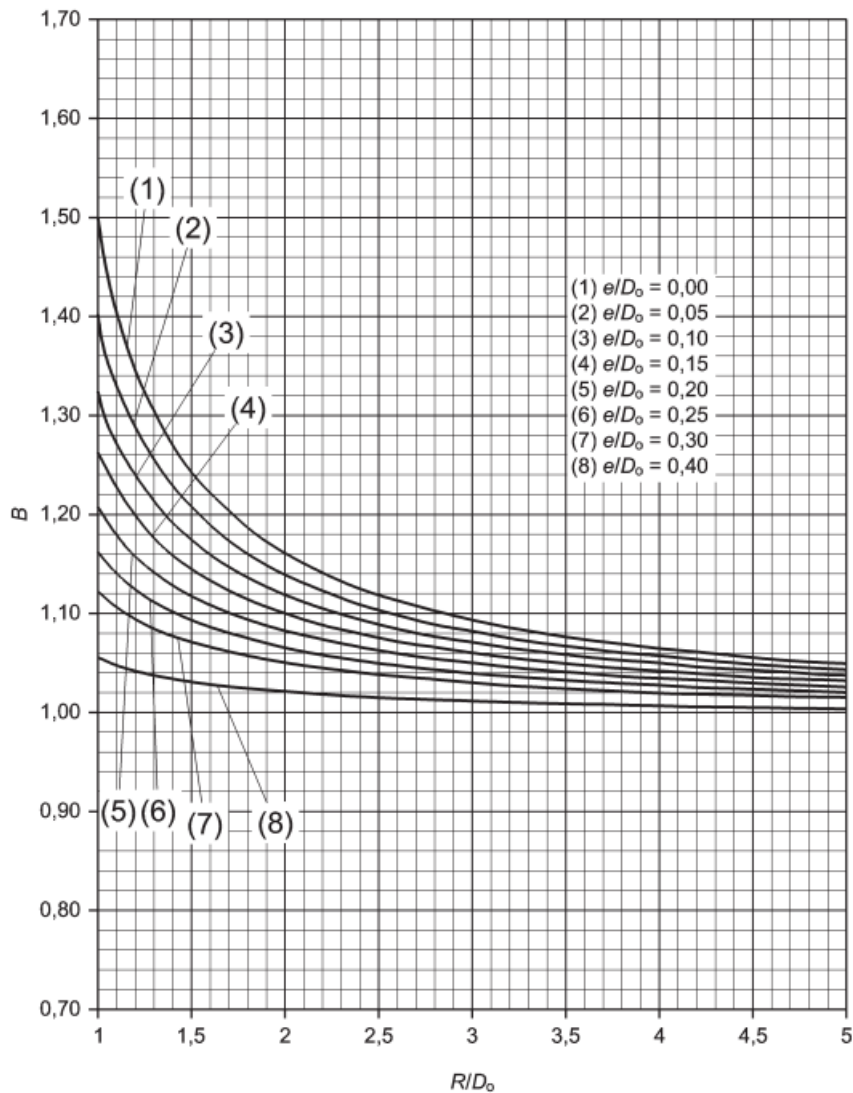
3.9.3 Tarkempi laskutapa käyrille, joiden seinämänpaksuus on vakio sisä- ja ulkosyrjällä

Pienin vaadittu seinämänpaksuus käyrille, joiden seinämänpaksuus on vakio sisä- ja ulkosyrjällä, voidaan laskea kaavalla 37.

$$e_{int} = e_{ext} = eB \quad \text{KAAVA 37}$$

Käyrillä, joiden sisähalkaisija tunnetaan, kerroin $B=B_{int}$ on kaavan 28 mukainen. Kerroin B on $\frac{r}{D_i}$ funktio ja se saadaan myös kuvasta 4. Käyrillä, joiden ulkohalkaisija tunnetaan, kerroin B on kaavan 38 mukainen ja se on termin $\frac{R}{D_o}$ funktio, joka saadaan myös kuvasta 6.

$$B = \frac{D_o}{2e} - \frac{R}{e} + \sqrt{\left(\frac{D_o}{2e} - \frac{R}{e}\right)^2 + 2\frac{R}{e} - \frac{D_o}{2e}} \quad \text{KAAVA 38}$$



KUVA 6 Laskentakertoimet B käyrille, joiden seinämänpaksuus on vakio (4, Liite B.4.1-3.)

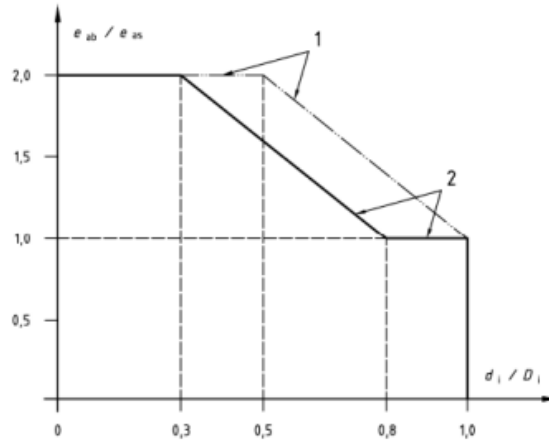
Kaava 28 käytettynä yhdessä kaavan 37 kanssa ja kaava 38 antaa samat tulokset vain, jos kaava 39 toteutuu ja jos $r=R$. (4, Liite B.4.1.)

$$D_o = D_i + 2e_{int}$$

KAAVA 39

3.10 Pienin vaadittu seinämänpaksuus, aukot ja haaroitukset

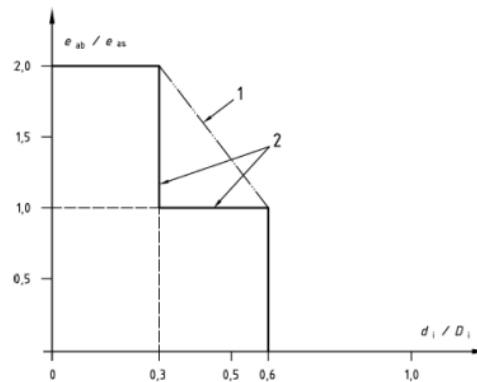
Laskelmissa esiintyvä paksuussuhde $\frac{e_{ab}}{e_{as}}$ ei saa olla kartiokuorilla tai lieriökuorilla suurempi kuin kuvasta 7 saatava arvo ja pallokuorilla ja kuperilla päädyillä paksuussuhde ei saa olla suurempi kuin kuvasta 8 saatava arvo.



Selite

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

KUVA 7 Kartiokuorten ja lieriökuorten paksuussuhde halkaisijoiden $\frac{d_i}{D_i}$ suhteen funktiona. (4, kuva 8.3.1-1.)



Selite

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

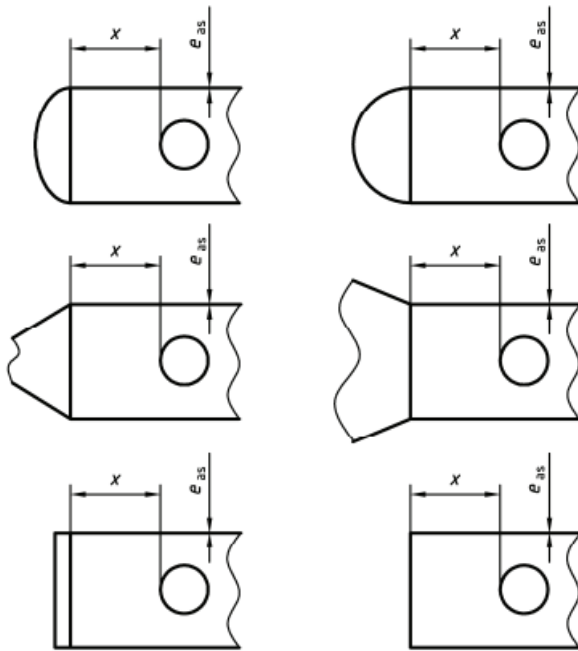
KUVA 8 Pallokuorten ja kuperien päätyjen paksuussuhde $\frac{d_i}{D_i}$ suhteen funktiona. (4, kuva 8.3.1-2.)

Seuraava kohta pätee aukoilta, jotka sijaitsevat epäjatkuvuuskohdan läheisyydessä ja ovat kuoren epäjatkuvuuskohdasta etäisyydellä x , jonka arvo on vähintään yhtä suuri kuin kunkin kuorityypin ilmoitetut arvot. Kun lieriö on liitetty kuperaan päätyyn, laippoihin, suoraan päätyyn/kanteen, kartion suureen päähän tai paljetasaimeen, on voimassa kaava 40.

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

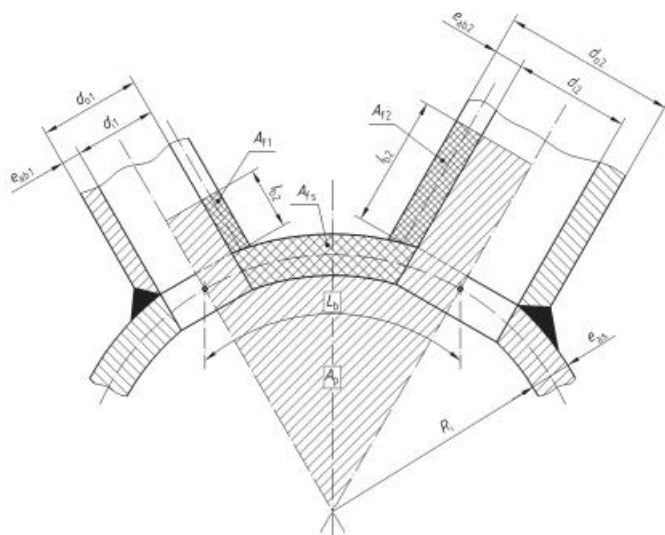
KAAVA 40

Kun lieriö on liitettyä kartion pieneen päähän, lieriömäisiin, ei samankeskisiin kuoriin tai puolipal-
 lomuotoiseen kuoreen, $x \geq l_s$, x nähdään kuvasta 9. (4, luku 8.3.2.)



KUVA 9 Lieriökuoressa oleva aukko (4, kuva 8.3.2–1.)

Pituus l_s nähdään kuvasta 10 ja saadaan kaavasta 41. (4, luku 8.3.2.)



KUVA 10 Poikkileikkaus pallokuoresta, jossa on vierekkäiset haarat (4, kuva 8.4.1–2.)

$$l_s = \sqrt{D_{eq} e_{as}}$$

KAAVA 41

D_{eq} lasketaan lieriölle kaavan 42 mukaan ja kartiokuorille kaavan 43 mukaan. (4, luku 8.4.1.)

$$D_{eq} = D_i + e_{as}$$

KAAVA 42

$$D_{eq} = \frac{D_m}{\cos\alpha} - e_{as}$$

KAAVA 43

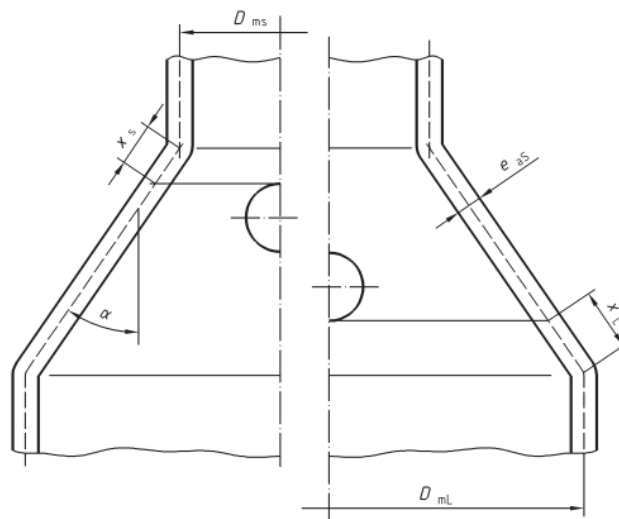
Kun kartiokuoret, joissa on aukko, on liitetty lieriökuoriin, niissä on oltava etäisyydet X_L ja X_S , jotka näkyvät kuvassa 10. Kaavan 44 ja 45 on toteuduttava. (4, luku 8.3.2.)

$$X_L \geq \max\left(0,2\sqrt{\frac{D_{mL}e_{as}}{\cos\alpha}}; 3,0e_{as}\right)$$

KAAVA 44

$$X_S \geq \max\left(\sqrt{\frac{D_{mS}e_{as}}{\cos\alpha}}; 3,0e_{as}\right)$$

KAAVA 45



D_{mL} suureen päähän liitetyn lieriön keskihalkaisija

D_{mS} pieneen päähän liitetyn lieriön keskihalkaisija.

KUVA 11 Kartiokuoreessa oleva aukko (4, kuva 8.3.2–2)

3.10.1 Vahvistustavat

Aukkojen vahvistukseen on eri tapoja. Aukkojen pintaan voidaan hitsata vahvistuslevyjä, yhteen seinämänpaksuutta voidaan kasvattaa, kuoren seinämänpaksuutta voidaan kasvattaa verrattuna aukottoman kuoren seinämänpaksuuteen tai käyttää näiden vahvistustapojen yhdistelmiä. Aukolli-

sen kuoren vahvistuspinta-ala lasketaan antamalla sille ensin oletusarvo, joka tarkistetaan laske-
 malla. (4, luku 8.3.3.) Vahvistusta ei tarvita, jos ehto $d_i \leq 0,14 \sqrt{(D_{eq} e_{as})}$ toteutuu (4, luku
 8.4.2). Suuret aukot, joiden halkaisijoiden suhde on $0,8 < \frac{d_i}{D_i} \leq 1,0$ ei ole sallittuja materiaalin
 virumisalueella (4, luku 8.4.4.).

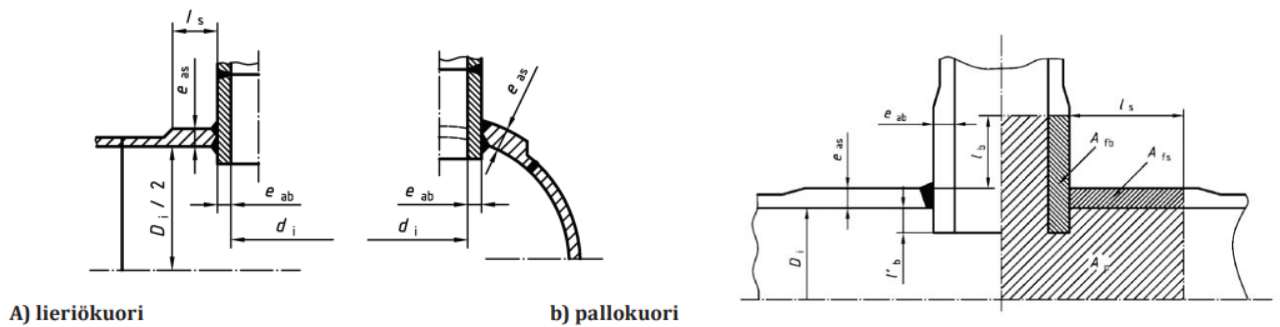
Kun vahvistus tehdään kuoren tai haaran seinämänpaksuutta kasvattamalla, seinämänpaksuus
 täytyy ulottua kuoressa vähintään etäisyyden l_s päähän ja haarassa etäisyyden l_b päähän. Etäisyys
 l_s lasketaan kaavalla 41 ja etäisyys l_b lasketaan kaavalla 46. Etäisyys l_b saadaan, kun kerrotaan l_b
 0,5:llä. Lisäksi kaavan 47 täytyy toteutua. Kuvissa 11 ja 12 havainnollistetaan seinämänpaksuutta
 kasvattamalla tehtyä vahvistusta. (4, luku 8.4.3.)

$$l_b = \sqrt{d_{eq} b e_{ab}}$$

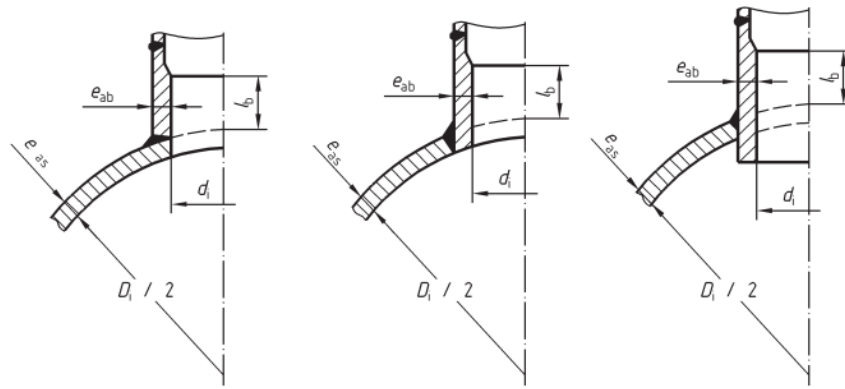
KAAVA 46

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

KAAVA 47



KUVA 12 Kuoren seinämänpaksuutta kasvattamalla tehty vahvistus (4, kuva 8.3.3-1; kuva 8.4.3-1.)



a) pintaan hitsattu

b) istutettu

c) läpimenevä

HUOM. 1 Seinämänpaksuuden lisäys voi olla joko yhteen sisä- tai ulkopuolella.

HUOM. 2 Jos tämä ei ole mahdollista, pitäisi suorittaa kattavampi kimmottoman tilanteen mukainen analyysi.

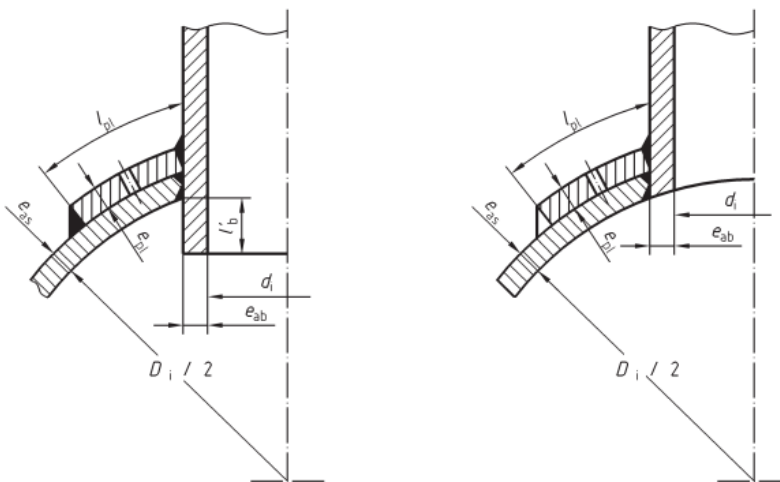
KUVA 13 Yhteen seinämänpaksuutta kasvattamalla tehty vahvistus (1,8.3.3–3)

Vahvistuslevyllä tehdyn vahvistuksen leveys l_{pl} ei saa ylittää l_s arvoa ja vahvistuslevyn paksuus e_{apl} ei saa ylittää kuoren paksuutta e_{as} . Näiden lisäksi kaava 48 täytyy toteutua.

$$\left(f_s - \frac{p_c}{2}\right) (A_{f_s} + A_{f_b} + A_{f_{pl}}) \geq p_c A_p \quad \text{KAAVA 48}$$

Tapauksissa, joissa haaran suunnittelujännitys f_b tai vahvistuslevyn suunnittelujännitys f_{pl} on pienempi kuin kuoren suunnittelujännitys f_s , täytyy kaavan 48 sijasta toteutua kaava 49. Kuvassa 14 havainnollistetaan vahvistuslevyllä tehtyä vahvistusta.

$$\left(f_s - \frac{p_c}{2}\right) A_{f_s} + \left(f_b - \frac{p_c}{2}\right) A_{f_b} + \left(f_{pl} - \frac{p_c}{2}\right) A_{f_{pl}} \geq p_c A_p \quad \text{KAAVA 49}$$

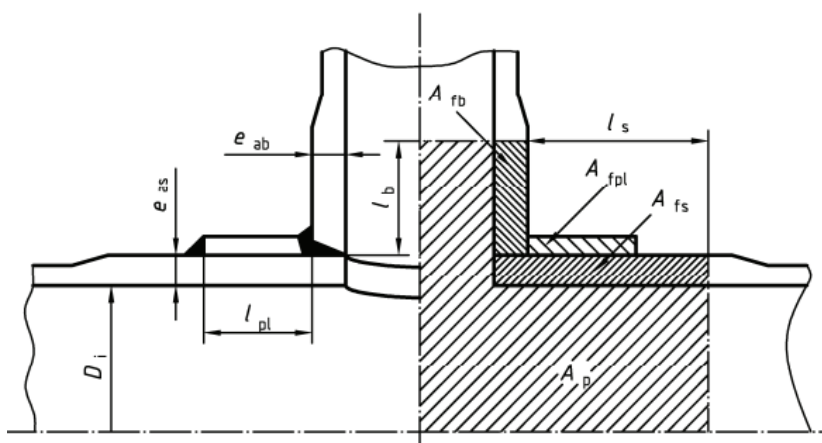


a) läpimenevä

b) istutettu

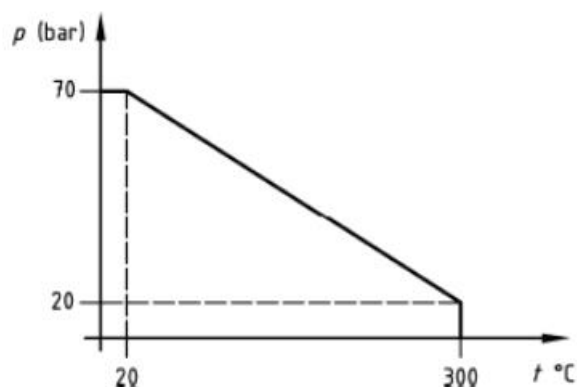
KUVA 14 Vahvistuslevyllä tehty vahvistus (4, kuva 8.3.3–2.)

Kuvassa 15 nähdään lieriökuoren vahvistus vahvistuslevyllä.



KUVA 15 Lieriökuoren vahvistus vahvistuslevyllä (4, kuva 8.4.3–2.)

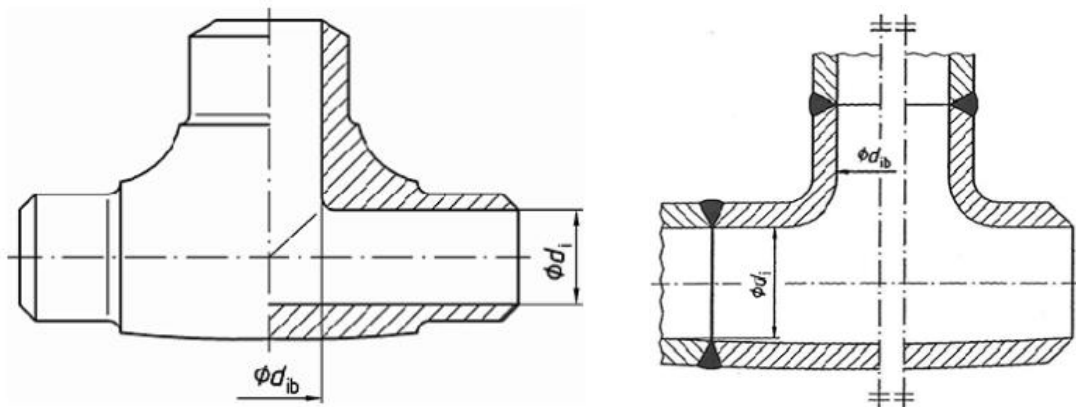
Aukkojen vahvistaminen vahvistuslevyllä edellyttää pysymistä kuvan 16 vaatimissa paine- ja lämpötilarajoissa, sekä halkaisijoiden suhde $\frac{d_i}{D_i} \leq 0,8$ täytyy toteutua. Mikäli vahvistusmateriaali ja kuoren materiaali ovat erit, täytyy huomioida suunnittelujännitykset. Vahvistuksen laskennassa käytetään kyseisistä materiaaleista saatavista suunnittelujännityksistä pienempää arvoa. (4, luku 8.3.)



KUVA 16 Vahvistuslevyn paine- ja lämpötilarajat (4, kuva 8.3.6–1.)

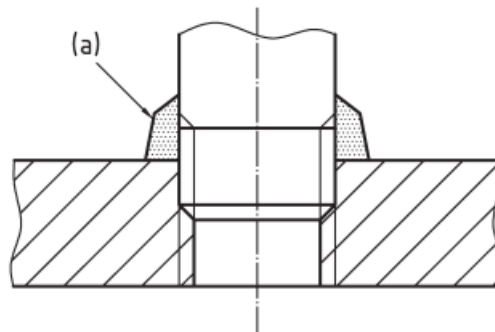
Ulospäin kaulustettuja haaroituksia voidaan käyttää vain, jos austeniittisilla teräksillä $\frac{d_i}{D_i} \leq 1,0$ ja muilla materiaaleilla $\frac{d_i}{D_i} \leq 0,8$. Jos kaulustetun haaroituksen todellinen seinämänpaksuus ei ole tiedossa, pinta-alat A_{fs} ja A_{fb} täytyy kertoa 0,9:llä. Virumisalueella halkaisijoiden suhde $\frac{d_i}{D_i} \leq 0,7$ ja suunnittelujännitys täytyy laskea 90 %:iin lasketusta arvosta. (4, luku 8.3.8.) Taotulle T-kappaleelle

kyseiset rajoitukset eivät päde, mikäli seinämänpaksuus voidaan taata. Kuvassa 16 nähdään taottu T-kappale koneistetulla reiällä ja muottiin taottu T-kappale. (4, luku 8.3.9.)



KUVA 17 Taottu T-kappale koneistetulla reiällä ja muottiin taottu T-kappale (4, kuva 8.3.9–1; kuva 8.3.9–2.)

Virumisalueella ei saa käyttää haaroituksia putkitaivutuksissa tai käyrissä (4, luku 8.3.10). Haaroitukset, jotka on kiinnitetty kierteellä, tulee täyttää myös vaatimuksia. Paineen yläraja on 40 bar ylipainetta, lämpötilan yläraja on 400 °C, yhteen halkaisija on enimmillään DN 50 ja kierteet tulee olla hyvässä kunnossa. Lisäksi tiivistyshitsausta tulee käyttää, jos suunnittelulämpötila on yli 200 °C tai suunnittelupaine on yli 16 bar. Kuvassa 18 nähdään kierteellä kiinnitetty haaroitus. (4, luku 8.3.11.)



Selite

(a) valinnainen tiivistyshitsaus

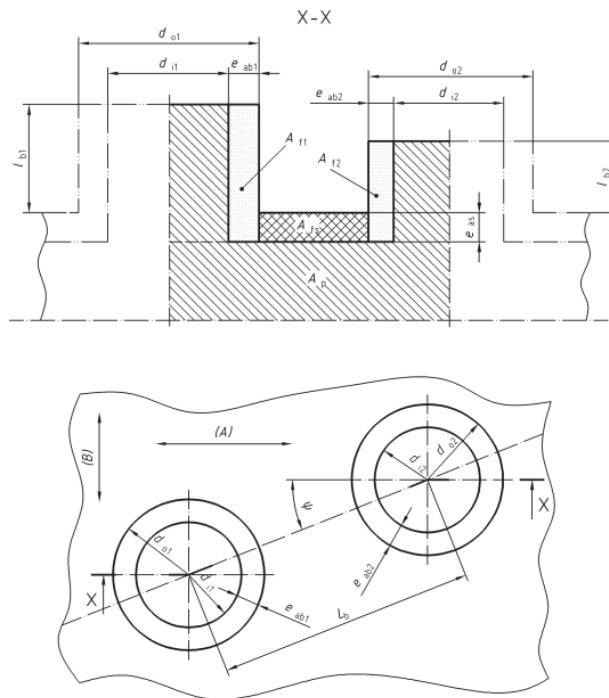
KUVA 18 Haaroitus kierteellä kiinnitettynä (4, kuva 8.3.11-1.)

3.10.2 Yksittäiset aukot

Vierekkäiset aukot käsitellään yksittäisinä aukkoina, jos haaroitusten tai aukkojen keskipisteiden välinen etäisyys L_b toteuttaa kaavan 50. Kuvat 10 ja 19 havainnollistavat kaavoissa käytettyjä tunnuksia.

$$L_b \geq \frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2} + 2l_s$$

KAAVA 50



Selite

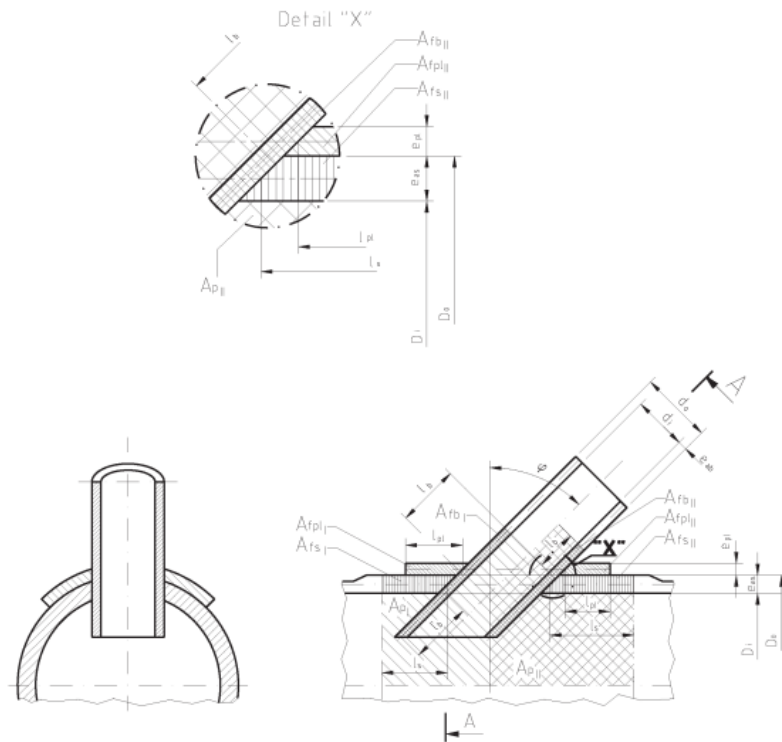
- (A) pituussuunta
- (B) kehän suunta

KUVA 19 Lieriökuori vierekkäisillä haaroilla, joiden kulma kuoren akseliin nähden on ψ (4, kuva 8.4.4-1.)

Vinoissa haaroituksissa käytetään ehtoa $l_{p1} \leq l_s$ ja kaavoja 41, 48 ja 49. Pinta-alan A_p laskennassa käytetään kaavaa 51. Kuvassa 20 havainnollistetaan vinoa haaroitusta. (4, luku 8.4.3.)

$$d = \frac{d_i}{\cos\phi}$$

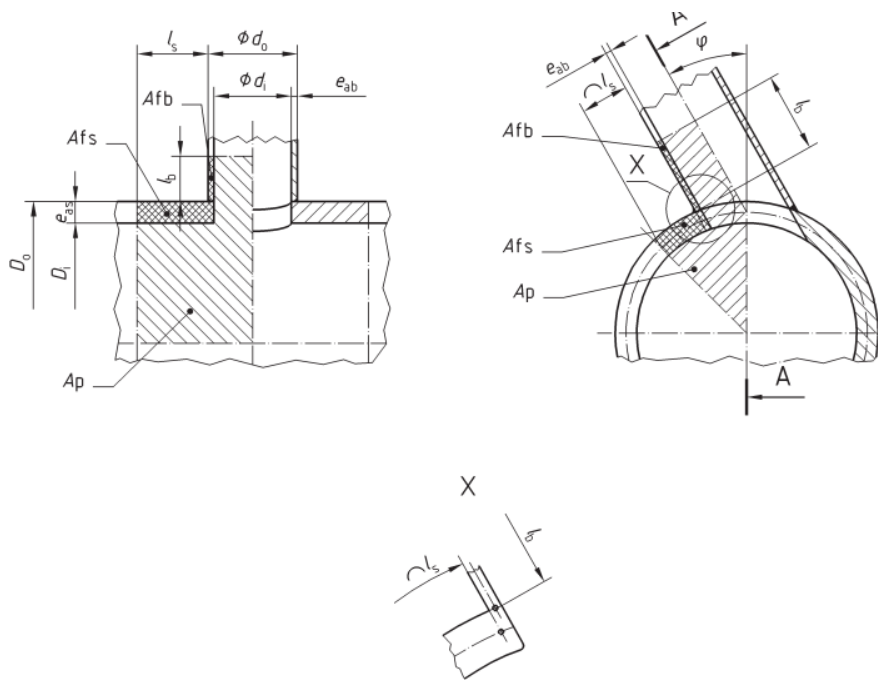
KAAVA 51



HUOM. Lämpimeneviä yhteitä suunniteltaessa olisi huomioitava virtauksen aiheuttamat vaikutukset.

KUVA 20 Vinon haaroituksen vahvistus lieriö- ja kartiokuoressa (4, kuva 8.4.3–3.)

Kuvassa 21 nähdään epäkeskeisen haaroituksen vahvistus lieriö- tai kartiokuoressa. (4, luku 8.4.3.)

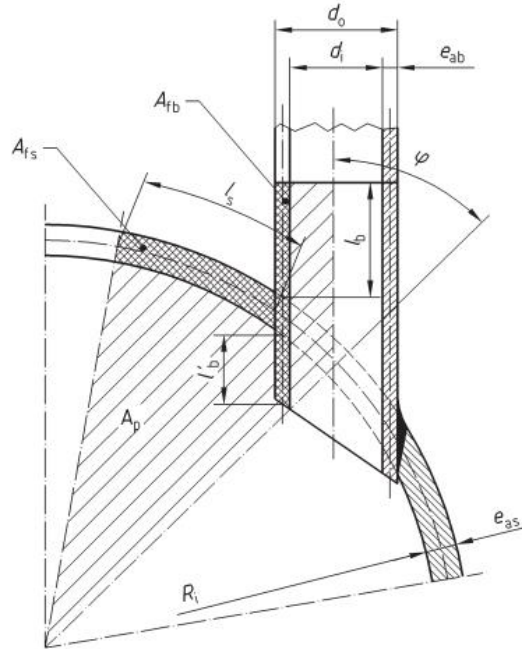


a) Poikkileikkaus

b) Leikkaus X-X

KUVA 21 Epäkeskeisen haaroituksen vahvistus lieriö- tai kartiokuoressa (4, kuva 8.4.3–4.)

Vinot haaroitukset pallokuoressa vahvistus lasketaan kaavoilla 47, 48 ja 49. Pinta-ala A_p lasketaan kaavalla 51. Kuoren suurin pituus lasketaan kaavalla 41 ja yhteillä se lasketaan kaavalla 46. Kuvassa 21 havainnollistetaan vinon haaroituksen vahvistamista kuperissa päädyissä tai pallokuoressa. (4, luku 8.4.3.)



HUOM. Läpimeneviä yhteitä suunniteltaessa olisi huomioitava virtauksen aiheuttamat vaikutukset.

KUVA 22 Vinojen haaroitusten vahvistaminen pallokuoressa ja kuperissa päädyissä (1,8.4.3–5.)

4 EXCEL-LASKENTAPOHJAN KEHITTÄMINEN

Tämän opinnäytetyön tehtävänä oli kehittää lujuuslaskentapohjaa Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Lujuuslaskentapohja oli hieman hankalakäyttöinen ja tehtävänä oli kehittää sitä helppokäyttöisemmäksi ja tehdä laskentaohjelmasta turvallisen käyttää, jotta virheiden mahdollisuudet laskentoja tehdessä pienenisivät. Lisäksi tarkoituksena oli päivittää lujuuslaskentapohjan materiaalistat ja laskentapohjan kaavat uusimpien standardien mukaisiksi. Laskentapohja on tehty englanniksi, sillä Enmac Oy on kansainvälinen yritys ja dokumentaatio tehdään englannin kielellä.

Laskentapohjan tarkoituksena on määrittää minimi materiaalipaksuus eri putkikomponentissa ja tietyissä käyttöolosuhteissa. Laskentapohja koostui viidestä välilehdestä. Ensimmäinen oli suoran putken ja taivutuksen materiaalipaksuuden laskenta, toinen oli putkiliittimen materiaalipaksuuden laskenta, kolmas oli aukkojen ja haaroitusten materiaalipaksuuden laskenta, neljäs oli supistusputken materiaalipaksuuden laskenta ja viidennessä välilehdessä oli listattu materiaalistandardit, materiaalit ja niiden ominaisuudet materiaalistandardien mukaan.

Tehtävänä oli ottaa käsittelyyn suora putki, taivutukset, aukot ja haaroitukset. Laskentapohja toimii siten, että valitaan materiaalistandardi materiaalistatista, valitaan materiaali, syötetään lähtöarvot eli laskentapaine P_c , laskentalämpötila t_c , ulkohalkaisija D_o , tilattu seinämänpaksuus e_{ord} , korroosio- tai eroosiovara C_o , ohennemisvara C_2 ja liitoksen lujuuskerroin z . Näiden pohjalta laskentaohjelmaan syötetyt kaavat laskevat tulokset. Yksi tehtävistä oli tarkistaa ja korjata nämä kaavat uusimman EN 13480-3 standardin kaavojen mukaisiksi.

Materiaalistatista tehtävänä oli tarkistaa toimeksiantajan yleisimmin käytetyt materiaalit eli standardeihin EN 10216-2, EN 10273, EN 10217-7 ja EN 10222-2 kuuluvat materiaalit. Materiaalistat olivat vanhentuneet, sillä ne olivat listattu vanhojen standardien mukaisilla tiedoilla. Materiaalistan- dardeista etsittiin materiaalitiedot ja luetteloa korjattiin päivitetyillä arvoilla. Materiaaliluetteloon tarvittiin jokaisen teräslajin murtolujuus, ylempi myötöraja eri seinämänpaksuuksilla huoneenlämpötilassa, virumismurtoarajan arvot 200 000 tunnissa eri lämpötiloissa sekä 0,1 % ja 0,2 % venymisrajojen vähimmäisarvot korotetuissa lämpötiloissa.

Laskentapohjaan luotiin uusi välilehti, joka toimii aloitusvälilehtenä. Tähän välilehteen voidaan syöttää lähtöarvot ja ne siirtyvät automaattisesti laskentavälilehdille. Samoin otsikkotaulut ja projektin

tiedot voidaan syöttää alkuvälilehdelle. Laskentaohjelman käyttö nopeutuu huomattavasti, kun niitä ei tarvitse erikseen kirjoitella eri välilehdille. Muilta välilehdiltä lukittiin laskenta-arvot, jotta niitä ei pääse enää vahingossa muokkaamaan. Lisäksi materiaalilista piilotettiin, jottei sinne pääsisi näppäilyvirheitä. Laskentapohjan ulkoasu muokattiin selkeämmäksi ja laskentasivut yhdenmukaisiksi. Laskentapohjan käyttö on nyt helpompaa, sujuvampaa ja virheiden mahdollisuus on nyt huomattavasti pienempi. Materiaalilistat päivitettiin uusimmilla arvoilla ja kaavat ovat nyt uusimpien standardien mukaisia.

Liitteissä 1, 2 ja 3 näkyy, kuinka Excel-pohja toimii ja millaiset tulossivut siitä saadaan aikaiseksi. Liitteessä 1 näkyy aloitussivu, johon syötetään projektin tiedot, laskennan lähtöarvot ja valitaan pudotusvalikosta materiaalistandardi ja materiaali. Nämä materiaalistandardit, materiaalit ja materiaalien tiedot on lueteltu ja korjattu laskentapohjan viimeisessä välilehdessä. Liitteessä 2 näkyy suoran putken laskennan tulostussivu ja liitteessä 3 taivutuksen tulostussivu. Laskentapohja antaa tulokseksi OK, tai not OK, riippuen siitä, onko laskennan arvot riittäviä vai täytyykö esimerkiksi seinämänpaksuutta kasvattaa.

Lopputuloksena laskentapohjasta saatiin helppokäyttöinen, selkeä ja turvallinen. Laskentapohja on nyt ajan tasalla vaatimusten mukaisesti ja parempi versio käyttää. Opinnäytetyöhön tarvittiin Excelin kehittämisen taitoja sekä laajan kokonaisuuden sisäistämistä teollisuusputkistojen standardeista.

5 YHTEENVETO

Lujuuslaskentapohja perustuu standardin mukaisiin kaavoihin, joten SFS-EN 13480-3 standardiin perustuva opinnäytetyö sisältää paljon teoriaa standardeista ja paljon laskentakaavoja. SFS-EN 13480-3 standardi kattaa metallisten teollisuusputkien suunnittelun ja laskennan. Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Excel-pohjaista putkistokomponenttien lujuuslaskentaohjelmaa helppokäyttöisemmäksi, turvallisemmaksi ja selkeämmäksi. Laskentapohjan materiaalitiedot tuli päivittää uusimpien standardien mukaiseksi.

Työ rajautui suoriin putkiin, taivutuksiin, sekä aukkoihin ja haaroituksiin. Laskentaohjelmalla määritellään näille minimi seinämänpaksuus eri putkikomponenteille eri käyttöolosuhteissa. Materiaalstandardeista valittiin ne, jotka ovat toimeksiantajan eniten käytetyt materiaalistandardit. Laskuri hakee materiaalistandardin valinnan ja materiaalin valinnan mukaan materiaalistasta tarvittavat lujuusarvot ja laskee yhdessä muiden syötettyjen lähtöarvojen ja kaavojen avulla tarvittavan seinämän paksuuden. Laskuria voidaan käyttää dokumentaatiossa ja putkiston mitoituksessa.

Opinnäytetyö oli hyödyllinen toimeksiantajalle, sillä lujuuslaskennan arvot tulee olla ajan tasalla ja laskentapohjan kehittäminen sujuvoittaa lujuuslaskentojen tekemistä. Excel-laskentapohjasta tuli entistä selkeämpi ja helppokäyttöisempi. Opinnäytetyö vaati laajaa perehtymistä ja sisäistämistä teollisuusputkistojen standardeihin sekä Excelin kehittämisen taitoja.

LÄHTEET

1. Enmac Oy. 2023. Ongelmat on tehty ratkottaviksi. Hakupäivä: 1.9.2023. <https://enmac.fi/>.
2. Valmistajat.fi. 2023. Erilaiset standardit. Hakupäivä: 1.9.2023. <https://valmistajat.fi/standardit/erilaiset-standardit>.
3. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2023. Tehokkaampi ja turvallisempi maailma. Hakupäivä: 1.8.2023. <https://sfs.fi/>.
4. SFS-EN 13480-3:2017 + A1:2021 + A2:2020 + A3:2020 + A4:2021. 2021. Metalliset teollisuusputkistot. Osa 3: Suunnittelu ja laskenta. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Hakupäivä 5.6.2023. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>. Vaatii lisenssin.
5. SFS-EN 10216-2:2014 + A1:2019. 2020. Saumattomat painelaiteteräsputket. Tekniset toimitusehdot. Osa 2: Kuumalujat seostamattomat ja seostetut teräsputket. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Hakupäivä 5.6.2023. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>. Vaatii lisenssin.
6. SFS-EN 10200. 2007. Terästuotteiden yleiset toimitusehdot. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Hakupäivä 5.6.2023. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>. Vaatii lisenssin.
7. SFS-EN 10273:2016. 2016. Painelaiteteräkset. Kuumavalssatut hitsattavat kuumalujat terästangot. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Hakupäivä 5.6.2023. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>. Vaatii lisenssin.
8. SFS-EN 10217-7:2021. 2021. Hitsatut painelaiteteräsputket. Tekniset toimitusehdot. Osa 7: Ruostumattomat teräsputket. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Hakupäivä 5.6.2023. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>. Vaatii lisenssin.
9. SFS-EN 10222-2:2017 + A1:2021. 2021. Painelaiteteräkset. Takeet. Osa 2: Kuumalujat ferriittiset ja martensiittiset teräkset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Hakupäivä 5.6.2023. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>. Vaatii lisenssin.

EN 13480-3:2017			
Metallic industrial piping.			
Part 3: Design and calculation			
Project:		1	
Date:		30/08/2023	
Calculated by:		Joanna Luokkanen	
Drawing:		1	
Line:		1	
Part no:		1	
Input data			
	Calculation pressure	P_c	1.5 Mpa
	Calculation temperature	t_c	300.0 °C
Material			
	Material standard		SFS-EN 10273
	Material		P235GH 16<d<=40
Pipe			
	Outside Diameter	D_o	21.30 mm
	Ordered Wall Thickness	e_{ord}	2.00 mm
	Corrosion or Erosion Allowance	c_o	1.00 mm
	Thinning Allowance	c_2	0.00 mm
	Joint coefficient	z	1.00
Bend/elbow			
	Bend Radius	R	150.0 mm
Nozzle			
	Outside diameter	d_o	33.70 mm
	Ordered Wall Thickness	e_{ord}	4.50 mm
Reducer			
	Outside diameter for bigger end	D_1	76.10 mm
	Ordered wall thickness for bigger end	e_{ord1}	20.00 mm
	Semi angle of cone	α	9.00 °
	Preliminary thickness for the large end junction	$e_{assumed} > e_j$	8.80 mm
	Outside Diameter for smaller end	d_2	60.30 mm
	Ordered Wall Thickness for smaller end	e_{ord2}	8.80 mm
	Radius of curvature of the knuckle	r	5.00 mm

EN 13480-3:2017
Metallic industrial piping.
Part 3: Design and calculation

Project:	1
Date:	30.8.2023
Calculated by:	Joanna Luokkanen
Drawing:	1
Line:	1
Part no:	1

PIPE AND BEND

Input Data

Calculation pressure	P_c	1,5 MPa
Calculation temperature	t_c	300,0 °C

Pipe

Material Standard	SFS-EN 10273	
Material	P235GH 16<d<=40	
Design life time without monitoring	t	200000 h
Design stress	f_s	98,0 MPa
Outside Diameter	D_o	21,30 mm
Inside Diameter	D_i	17,3 mm
Ordered Wall Thickness	e_{ord}	2,00 mm
Corrosion or Erosion Allowance	c_o	1,00 mm
Negative Tolerance	c_1	0,0 %
Thinning Allowance	c_2	0,00 mm
Joint Coefficient	Z	1

Bend

Material Standard	SFS-EN 10273	
Material	P235GH 16<d<=40	
Design stress	f_s	98,0 MPa
Outside Diameter	D_o	21,3 mm
Ordered Wall Thickness	e_{ord}	2 mm
Corrosion or Erosion Allowance	c_o	1,0 mm
Negative Tolerance	c_1	0,0 %
Thinning Allowance	c_2	0,0 mm
Joint Coefficient	Z	1,0
Bend Radius	R	150,00 mm

Results

Pipe 6.1

Ordered Wall Thickness	e_{ord}	2,00 mm	OK
Min. required wall thickness	e_p	0,16 mm	
Analysis wall thickness	e_a	1,00 mm	
Wall thickness included allowance	e_s	1,16 mm	
Max. pressure at calculation temperature	P_{max}	9,66 MPa	
Max. pressure at room temperature	P_{max}	21,11 MPa	
Stress at room temperature	f_p	214,29 MPa	
Hydrostatic pressure test	P_{test}	2,87 MPa	OK

Bend Annex B

Curvature radii of the bend	r	150,0 mm	
Coefficient on the intrados	B_{int}	1,0	
Coefficient on the extrados	B_{ext}	1,0	
Min. required wall thickness on intrados	e_{int}	0,17 mm	
Min. required wall thickness on extrados	e_{ext}	0,16 mm	
Min. required wall thickness w/a on intrados	e_{rint}	1,2 mm	OK
Min. required wall thickness w/a on extrados	e_{rext}	1,2 mm	
Mean stress on intrados	f_{mint}	15,8 MPa	OK
Mean stress on extrados	f_{mext}	14,7 MPa	
Acceptable out of roundness of pipe	c	2,84 %	

EN 13480-3:2017
Metallic industrial piping.
Part 3: Design and calculation

Project:	1
Date:	30.8.2023
Calculated by:	Joanna Luokkanen
Drawing:	1
Line:	1
Part no:	1

PIPE AND ELBOW

Input Data

Calculation pressure	P_c	1,50 MPa
Calculation temperature	t_c	300,0 °C

Pipe

Material Standard	SFS-EN 10273	
Material	P235GH 16<d<=40	
Design life time without monitoring	t	200000 h
Design stress	f_s	98,0 MPa
Outside Diameter	D_o	21,30 mm
Inside Diameter	D_i	17,3 mm
Ordered Wall Thickness	e_{ord}	2,00 mm
Corrosion or Erosion Allowance	c_o	1,00 mm
Negative Tolerance	c_1	0,0 %
Thinning Allowance	c_2	0,00 mm
Joint Coefficient	z	1

Elbow

Material Standard	SFS-EN 10273	
Material	P235GH 16<d<=40	
Design stress	f_s	98,0 MPa
Outside Diameter	D_o	21,3 mm
Ordered Wall Thickness	D_{ord}	2,0 mm
Corrosion or Erosion Allowance	c_o	1,0 mm
Negative Tolerance	c_1	0,0 %
Thinning Allowance	c_2	0,0 mm
Joint Coefficient	z	1,0
Bend Radius	R	150,00 mm

Results

Pipe 6.1

Ordered Wall Thickness	e_{ord}	2,0 mm	OK
Min. required wall thickness	e_o	0,16 mm	
Analysis wall thickness	e_a	1,00 mm	
Wall thickness included allowance	e_s	1,16 mm	
Max. pressure at calculation temperature	P_{max}	9,66 MPa	
Max. pressure at room temperature	P_{max}	21,11 MPa	
Stress at room temperature	f_o	214,3 MPa	
Hydrostatic pressure test	P_{test}	2,9 MPa	OK

Elbow Annex B

Curvature radii of the pipe	r	150,0 mm	
Coefficient on the intrados	B	1,0	
Min. required wall thickness on intrados	e_{int}	0,2 mm	
Min. required wall thickness on extrados	e_{ext}	0,2 mm	
Min. required wall thickness w/a on intrados	e_{rint}	1,2 mm	OK
Min. required wall thickness w/a on extrados	e_{rext}	1,2 mm	
Mean stress on intrados	f_{mint}	15,8 MPa	OK
Mean stress on extrados	f_{mext}	14,7 MPa	
Acceptable out of roundness of pipe	c	2,8 %	