

LUT-YLIOPISTO
LUT School of Energy Systems
LUT Kone
BK10A0402 Kandidaatintyö

EU PAINELAITEDIREKTIIVIN JA EN TUOTESTANDARDIN KÄYTÖN
VAIKUTUKSET TULITORVIKATILAN VALMISTUSKUSTANNUKSIIN
SUOMESSA

HOW AFFECTS EU PRESSURE EQUIPMENT DIRECTIVE AND USE OF EN
STANDARDS TO MANUFACTURING COSTS OF SHELL BOILERS IN FINLAND

Kuopiossa 31.8.2020

Mikael Löf

Tarkastaja TkT Harri Eskelinen

Ohjaaja DI Kimmo Kerkkäinen

TIIVISTELMÄ

LUT-Yliopisto
LUT Energiajärjestelmät
LUT Kone

Mikael Löf

EU Painelaitedirektiivin ja EN tuotestandardin käytön vaikutukset tulitorvikattilan valmistuskustannuksiin Suomessa

Kandidaatintyö

2020

31 sivua, 7 kuvaa, 2 taulukkoa

Tarkastaja: TkT Harri Eskelinen

Ohjaaja: DI Kimmo Kerkkäinen

Hakusanat: tulitorvikattila, valmistuskustannukset

Työssä tutkittiin Euroopan Unionin yhtenäisen painelaitelainsäädännön eli painelaitedirektiivin, sekä tulitorvikattilan valmistusta tukevan SFS-EN 12953 tuotestandardin käytön vaikutusta tulitorvikattilan suunnittelun vaatimusten kautta yksilöitäviin valmistuskustannuksiin verrattuna vastaaviin kustannuksiin perustuen kumottuun kansalliseen lainsäädäntöön sekä kumottuihin kansallisiin SFS standardeihin. Työssä verrattiin kumottujen SFS standardien sekä SFS-EN 12953 standardin ohjeistuksia koskien tulitorvikattilan mitoitusta, vaadittuja testauksia sekä rikkomattoman aineenkoetuksen laajuutta. Hitsaukseen tai rikkomattomaan aineenkoetukseen menetelmiin tai päteväinteiin liittyvät muutokset tai kehitys rajataan työssä arvioitavien valmistuskustannusten ulkopuolelle, samoin yleisen hintojen nousun vaikutus.

Tutkimuksen perusteella voi todeta rakenteen osien mitoituksen vaatimusten pysyneen ennallaan tai sitten kasvaneen. Vaatimukset eivät ole vähentyneet minkään tulitorvikattilan osan mitoituksessa. Rikkomattoman aineenkoetuksen laajuuden osalta tulos on vaatimusten kasvamisen osalta vieläkin yksiselitteisempi. Selkeästi suurempi osa tulitorvikattilan hitseistä tulee tarkastaa rikkomattomin menetelmin voimassa olevaa tuotestandardia seurattaessa. Silloin kun rikkomatonta aineenkoetusta ei tehdä laisinkaan, tulee huomattavia lisävaatimuksia tulitorvikattilan koeponnistukseen.

Tuotestandardi sarjan SFS-EN 12953 seuraaminen tulitorvikattilan valmistuksessa on nostanut suunnittelun kautta muodostuvia tulitorvikattilan valmistuskustannuksia verrattuna kumottuihin SFS standardeihin. Kattilan tehon ja suunnittelupaineen kasvaessa valmistuskustannukset nousevat suhteessa enemmän kuin pienitehoisen ja matalapaineisen tulitorvikattilan valmistuksessa.

ABSTRACT

LUT University
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Mikael Löf

How affects EU Pressure equipment directive and use of EN standards to manufacturing costs of shell boilers in Finland

Bachelor's thesis

2020

31 pages, 7 figure, 2 table

Examiner: D. Sc. (Tech.) Harri Eskelinen

Supervisor: M. Sc. (Tech.) Kimmo kerkkäinen

Keywords: shell boiler, manufacturing costs

Meaning of thesis was to study effects of using EU pressure equipment directive and harmonized product standard SFS-EN 12953 to design thorough manufacturing costs of shell boiler comparing to similar costs using repealed national pressure equipment law and repealed SFS standards. Study was based on comparing instructions of dimensioning, testing and amount of non-destructive testing between repealed SFS standards and SFS-EN 12953 standard. Changes and evolution in procedures of welding and non-destructive testing, and overall price development is limited off as design thorough manufacturing costs in this study.

Based on study, can be noticed, that dimensioning of parts of shell boiler according to the standard SFS-EN 12953 leads only to either similar or more expensive structures than using repealed SFS standards. In case of amount of non-destructive testing results are even more clear. Instructions leads only to larger amount of non-destructive testing when non-destructive testing shall be done. When not, significantly higher pressure on proof test of shell boiler takes place.

Following of the harmonized product standard SFS-EN 12953 on manufacturing of shell boiler has raised design thorough manufacturing costs comparing to repealed SFS standards. When power and size of the shell boiler and design pressure increases, design thorough manufacturing costs increase in relation more than in shell boilers with less power and size and pressure.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO

1	JOHDANTO	6
2	TULITORVIKATTILAN RAKENNE JA RAKENTAMINEN	8
3	RAKENTEEN MITOITUS	11
	3.1 Suunnittelupaine	11
	3.2 Suunnittelu lämpötila.....	12
	3.3 Painerungon materiaalit ja niiden mekaaniset ominaisuudet.....	13
	3.4 Varmuuskertoimet ja materiaalien suunnittelujännitykset	14
	3.5 Kulumis- ja materiaalitoleranssien ja muovausprosessien lisä	15
	3.6 Hitsauksen lujuuskerroin	15
	3.7 Koeponnistus	16
	3.8 Tulitorven mitoitus	17
	3.9 Kääntökammion vaippalierion mitoitus.....	19
	3.10 Kattilan päätyjen mitoitus	20
	3.11 Vaippalierion mitoitus	23
	3.12 Tuki- ja sidoselimet	23
4	RIKKOMATTOMAN AINEENKOETUKSEN LAAJUUS	25
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	28
	LÄHTEET	30

SYMBOLILUETTELO

p_d	Suunnittelupaine [MPa]
PS	Suurin sallittu käyttöpaine [MPa]
p	Suunnittelupaine [MPa] SFS 2610 mukaan
t_d	Suunnittelulämpötila [°C]
TS	Suurin tai pienin sallittu lämpötila [°C]
t	Suunnittelulämpötila [°C] SFS 2610 mukaan
TS	Suurin tai pienein sallittu lämpötila [N/mm ²]
f_d	Suunnittelujännitys [N/mm ²]
σ_{sall}	Sallittu jännitys [N/mm ²] SFS 2610 mukaan
S	Varmuuskerroin [1]
η	varmuuskerroin [1] SFS 2610 mukaan
$R_{p0,2}$	Materiaalin 0,2 % venymän myötöraja [N/mm ²]
$R_{p0,2,20}$	Materiaalin 0,2% venymän myötöraja 20°C lämpötilassa [N/mm ²]
σ_l	Laskentalujuus [N/mm ²] SFS 2610 mukaan
c_2	Kulumislisä [mm]
c_2	Ohenemisvara [mm] SFS 2610 mukaan
c_l	Materiaalitoimitustoleranssien ja muovausprosessien lisä [mm]
c_l	Muovaus- ja toleranssivara [mm] SFS 2610 mukaan
v	Hitsauksen lujuuskerroin [1]
v	Lujuuskerroin [1] SFS 2610 mukaan
p_t	Koepaine [MPa]
p_t	Koepaine [MPa] SFS 2610 mukaan
u	Epäpyöreys [%]
e	Epäpyöreys [%] SFS 2610 mukaan

1 JOHDANTO

Eduskunnan päätöksen mukaisesti säädettiin 27.8.1999 Painelaitelaki N:o 869 /1/, joka julkaistiin 3.9.1999 ja astui voimaan 29.11.1999. Tämän lain nojalla Kauppa- ja teollisuusministeriö teki 30.9.1999 päätöksen N:o 938 painelaitteista /2/, joka julkaistiin 7.10.1999 ja astui voimaan 29.11.1999.

Päätöksen N:o 938 sisältö perustuu Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiviin 97/23/EY /3/, joka annettiin 29.5.1997, ja jonka tavoitteena oli jäsenvaltioiden painelaitteita koskevan lainsäädännön lähentäminen. Tästä direktiivistä 97/23/EY käytetään nimitystä painelaitedirektiivi. Uusi lainsäädäntöpuite NLF (New Legislative Framework) tarkoituksenaan yhtenäistää direktiivejä johti painelaitedirektiivi uudelleen laatimiseen. Muutokset olivat pieniä, mutta selkeyden vuoksi painelaitedirektiivi laadittiin uudelleen direktiiviksi 2014/68/EU /4/, joka annettiin 15.5.2014. Jäsenvaltioiden oli noudattava uutta painelaitedirektiiviä 19.7.2016 alkaen. Vanha painelaitedirektiivi kumottiin samana päivänä. Uusi painelaitelaki 1144/2016 /5/ ja sen nojalla annettu valtioneuvoston asetus 1548/2016 /6/ tulivat voimaan 1.1.2017.

Painelaitedirektiivin tavoitteen, jäsenvaltioiden painelaitteita koskevan lainsäädännön lähentämisen, selkein syy oli painelaitteiden suunnittelun, valmistamisen ja tarkastamisen yhtenäistäminen Euroopan Unionin alueella. Näin painelaitteita voitaisiin ostaa ja myydä jäsenvaltiosta toiseen, ilman kansallisen lainsäädännön rajoitteita, ja taata näin valmistajien kilpailukyky koko Euroopan markkina-alueella.

Niitä painelaitteita koskien, jotka määritetään kuuluvaksi painelaitedirektiivin alaisuuteen, on valmisteltu EN tuotestandardeja. Näitä standardeja noudattaen painelaitteen voisi suunnitella, valmistaa ja tarkastaa niin, että painelaitedirektiivin ehdot ja vaatimukset täyttyisivät.

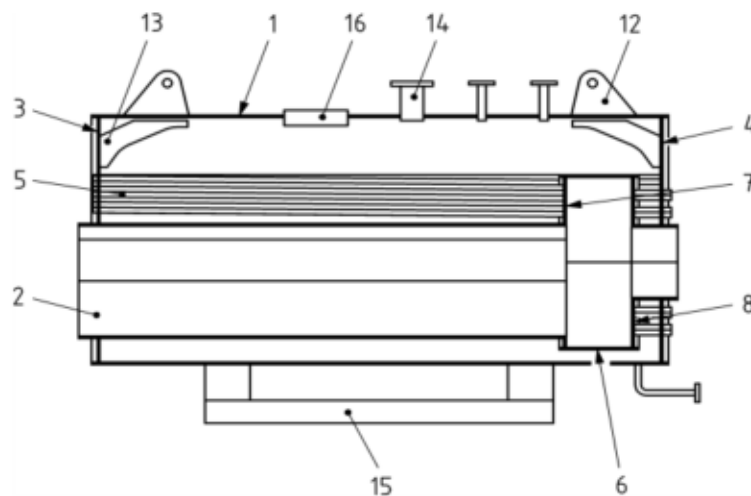
Tulitorvikattilan suunnittelua, rakentamista ja turvalliseen käyttöön varustelua varten on tekninen komitea CEN/TC 269 valmistellut harmonisoidun eurooppalaisen standardisarjan EN 12953 ”Tulitorvikattilat”, osat 1 - 14. Aiemmin suomessa tulitorvikattilan

suunnittelussa, valmistuksessa ja tarkastuksessa käytetyt SFS-standardit kumottiin, eikä niiden käyttö olisi taannut automaattisesti painelaitedirektiivin asettamien vaatimusten täyttymistä.

Tässä kandidaatin työssä tutkitaan miten tulitorvikattilan valmistuskustannukset ovat muuttuneet, kun kansallisten SFS-standardien ja TTK (Tekninen Tarkastus Keskus) - ohjeiden sijasta ryhdyttiin käyttämään harmonisoitua SFS-EN 12953 tuotestandardia. Suunnitteluun ja valmistukseen liittyvän työn tekemiseen käytetty aika sekä valmistukseen liittyvien hinnanmuutosten vaikutukset rajataan pois kustannusvertailusta.

2 TULITORVIKATTILAN RAKENNE JA RAKENTAMINEN

Erilaisia rakenteeltaan hiukan toisistaan poikkeavia tulitorvikattiloita on kymmeniä. Merkittävimmät eroavaisuudet ovat höyry- ja nestekattilan välillä. Höyrykattila vaatii höyrytilan kylläistä höyryä varten, nestekattila taas on aina täynnä nestettä. Nestekattilat ovat pääasiassa vesikattiloita, mutta myös esimerkiksi öljyä voidaan kuumentaa tulitorvikattilassa teollisuuden käyttöön. Tulitorvikattilan perusmallina voisi pitää kolmivetoista, vaakamallista ja märkäperäistä tulitorvikattilaa. Kuvassa 1 on esitelty sellaisen höyrykattilan rakenne. Oleellista tällaisessa tulitorvikattilassa on se, että kaikki liekin tai savukaasun koskettamat paineenalaiset pinnat ovat kattilan nesteen jäähdyttämiä. Tämä tarkoittaa, että myös lämmönsiirtoa tapahtuu kaikissa näissä pinnoissa.



Selite

- 1) Lieriömäinen vaippa
- 2) Tulitorvi (1. veto): esimerkiksi suora tai poimutettu tai varustettu jäykistepaljein
- 3) Kattilan etuputkilevy (tai etulevy riippuen kokoonpanosta)
- 4) Kattilan takalevy (tai takaputkilevy riippuen kokoonpanosta)
- 5) Tuliputket (2. veto tai 3. veto) (mahdollisesti sideputkilla tai ankkuritangoilla)
- 6) Lieskakammio (kääntökammion vaippa)
- 7) Lieskakammion putkilevy
- 8) Lieskakammion takaseinä (märkäperäinen kattila)
- 12) Nostokorvat
- 13) Polvilevyt
- 14) Yhteet
- 15) Tuet

Kuva 1. Kolmivetoinen tulitorvikattila höyryntuotantoon (SFS-EN 12953-1:2012 s.10).

Tulitorvikattilat ovat saaneet alkunsa teollisuuden höyryntarpeen kattamisesta. Ensimmäiset versiot olivat yksivetoisia, eli käytännössä sisälsivät vain tulitorven, vesitilan ja höyrytilan höyryntuotantoa varten. Rakenteen kehittyessä saatiin kattilan painetta sekä lämpötilaa nostettua, sekä polttoainetehokkuutta lisättyä. Polttoainetehokkuus, tai tässä tapauksessa kattilan hyötysuhde, onkin sängen merkittävä tekijä nykyisin. Mutta vaikka ekologiset arvot sekä kustannustehokkuus ovat merkittäviä myyntivaltteja, eivät niihin tulitorvikattilan rakentamista aiemmin tai nykyisinkään ohjaavat standardit ole kantaa ottaneet.

Tulitorvikattilan suunnittelu alkaa aina tarpeen määrytyksestä. Halutaanko tehdä höyryä vai lämmittää vettä tai jotain muuta nestettä. Minkä verran täytyy kattilan teho olla, ja kuinka kovassa paineessa ja lämpötilassa sisältöä halutaan jakaa prosessiin. Lämpötekninen mitoitus tehdäänkin aina ensin tulitorvikattilalle. Samalla saadaan virtaustekninen mitoitus, joka on myös oleellinen asia kattilan käyttökustannusten sekä kestävyuden kannalta. Nämä asiat suunnittelija mitoittaa optimoiden haluamallaan tarkkuudella tavoitelämpötiloja sekä savukaasuvirtauksia. Kun lämpötekninen mitoitus on valmis, siirtyy tiedot rakennesuunnittelijalle. Lähtötietoina hän saa kattilan maksimi käyttöarvot, paineen ja lämpötilan. Lisäksi hänellä on tiedot tulitorven mitoista, tuliputkien määrästä sekä mitoista. Kun kattilan ulkomitat, ja sisämitat, ovat tiedossa, voi painettakantavan kattilarungon mitoitus, sisältäen rakenteen ja tarkastuksien suunnittelun, alkaa.

Tulitorvikattilan varsinainen rakentaminen koostuu suunnittelusta, fyysisestä valmistamisesta sekä tarkastamisesta. Tarkastaminen on osittain valmistuksen laadunhallintaa, josta vastaa tulitorvikattilan valmistaja, ja osittain lakiin perustuvaa valvontaa, josta suorittaa tarkastuslaitos, ja jonka tarkoitus on lähinnä tulevan käyttöturvallisuuden ennakoiminen. Käyttöturvallisuuden ennakoimiseen kuuluu tuotteen suunnitelmien, valmistuksen sekä tarkastamisen onnistumisen arviointi. Käytännössä tarkastuslaitos varmistaa tuotteen standardinmukaisuuden. Ennen painelaitedirektiivin voimaantuloa tarkastuslaitos oli viranomainen, nykyisin tarkastuslaitos on ministeriön nimittämä luvanvarainen viranomaisen edustaja. Standardin mukainen tuote on täyttänyt myös sen hetkisen voimassa olevan painelaitelain vaatimukset, niin ennen painelaitedirektiivin voimaantuloa kuin sen jälkeenkin. Kansallinen paineastialaki ohjeisti vuonna 1973: ”Paineastia on niin rakennettava ja sijoitettava ja sitä on niin hoidettava ja

käytettävä, ettei siitä aiheudu henkilö-, omaisuus-, tai ympäristövahinkoja” /Paineastialaki N:o 98 /1973 2 §/ /7/. Painelaitedirektiivin jälkeen voimaan tullut viimeisin uudistunut painelaitelaki muotoili asian lähes samoin: ”Painelaite on suunniteltava ja valmistettava, ja sitä on hoidettava ja käytettävä, ja se on tarkastettava niin, ettei se vaaranna kenenkään terveyttä, turvallisuutta eikä omaisuutta”. /Painelaitelaki 1144/2014 5 §/. Tavoite on siis pysynyt hyvin samanlaisena viimeisen 45 vuoden aikana.

Yleisiä variaatioita kattilasta ovat myös nykyisin kiinteän biopolttoaineen arinapolton vuoksi lisääntyneet pystymalliset tulitorvikattilat. Näitä ei kuitenkaan voida toteuttaa höyrykattilana, joten niillä katetaan pääosin erilaisia lämmitystarpeita.

Jotta tulitorvikattila olisi painelaitedirektiivin alainen painelaite, ja CE-merkittävä tuote, sen on tarkoitettu höyryn tai ylikuumennetun veden tuotantoon yli 110°C lämpötilassa. Painelaitedirektiiviä ja CE-merkintää, sekä tuotestandardia SFS-EN 12953 sovelletaan myös rakenteeltaan vastaaville kuumaöljykattiloille. Standardissa SFS-EN 12953-1:2012 /8/ on erilaisten tulitorvi-tuliputkikattiloiden mahdollisia rakenteita ja niiden nimityksiä, sekä suunnittelussa käytettävät muuttujat.

Ennen painelaitedirektiivin voimaan tuloa suomessa paineastiavalmistus perustui soveltuvien valmistuslupien hankintaan. Viranomainen myönsi työn vaativuutta vastaavan valmistusluvan, jonka saadakseen valmistaja osoitti pätevyytensä suorittamalla näytetyön. Painelaitedirektiivi lähtee ajatuksesta, että kuka tahansa saa ryhtyä valmistamaan tulitorvikattilaa, valmistuksen ja lopputarkastuksen aikana varmistetaan vaatimusten täyttyminen jokaisen valmistettavan tulitorvikattilan osalta. Nämä kustannukset katsotaan yhteneviksi vertailussa, vaikka osa niistä uuden lainsäädännön mukaan kohdistuukin selkeämmin juuri käynnissä olevaan valmistukseen.

3 RAKENTEEN MITOITUS

Ennen painelaitedirektiivin voimaantuloa tulitorvikattilan rakentamisen perusteena olivat SFS-standardit, joista useimmat pohjautuivat aikakautensa saksalaiseen DIN standardeihin. Lisäksi Teknillinen tarkastuskeskus (TTK) antoi lisäavuksi ohjeensa TTK-ohje 12/84/P /9/ ”Tulitorvi-tuliputkikattiloiden rakennesuosituksia”. Lähes jokaiselle erityyppiselle painettakantavalle osarakenteelle oli oma mitoitusstandardinsa. Tulitorvikattilan monimuotoisesta rakenteesta johtuen käytettävien standardien määrä oli melkoinen. Painelaitedirektiivin myötä tulivat käyttöön harmonisoidut SFS-EN standardit. Yksi standardisarja SFS-EN 12953 antaa kaikki tarvittavat ohjeet tulitorvikattilan suunnitteluun, valmistukseen ja tarkastamiseen.

Mitoituksen tulosten vertailun esittämistä kumottujen ja voimassa olevan standardien välillä hankaloittaa se, että muuttujien nimitys ja symbolit poikkeavat osittain toisistaan. Muuttujat esitetään tekstissä pääasiassa sanallisena voimassa olevien standardien mukaisena, mutta nimitystä vastaava symboli, sekä vastaava muuttuja, jota käytettiin kumotussa SFS standardissa, esitetään myös symboliluettelossa.

Kuten suunnittelulla yleensäkin, mitoituksen, valmistuksen ja tarkastamisen suunnittelulla on merkittävä vaikutus myös tulitorvikattilan valmistuskustannuksiin. Suunnitelmien optimoiminen huomioiden käytetyt materiaalit, käytettävissä olevat valmistus- ja tarkastusmenetelmät ovat osa suunnittelijan ammattitaitoa. Näiden suunnittelijoiden, kuten ei myöskään valmistavien konepajojen sekä niiden henkilökunnan pätevyintien mahdollista vaikutusta valmistuskustannuksiin ei huomioida.

3.1 Suunnittelupaine

Suunnittelupaineella p_d tarkoitetaan painetta, jota käytetään tulitorvikattilan rakenteiden mitoittamiseen. Suunnittelupaine on vähintään tulitorvikattilan suurinta sallittua painetta P_S vastaava paine, mutta huomioi tarvittaessa staattisen tai dynaamisen paineenlisäyksen. Tulitorvikattilan rakenne on harvoin sellainen, että staattiset tai dynaamiset paineenlisäykset vaikuttaisivat sen suunnittelupaineeseen. Kumottu SFS 2610 /10/ standardi määritteli huomioimaan staattiset sekä dynaamiset paineenlisäykset jos niiden suuruus oli yli 5%

suunnittelupaineesta. SFS-EN 12953-3: 2016 /11/ mukaisesti vastaava raja on 3% tai enemmän.

3.2 Suunnittelu lämpötila

Suunnittelulämpötilan t_d kautta määritetään painerungossa käytettävien materiaalien lujuusominaisuudet korotetuissa lämpötiloissa. Suunnittelulämpötila on vähintäänkin tulitorvikattilan suurinta sallittua sisällön lämpötilaa TS vastaava lämpötila. Painetta kantavien osien lujuusarvot määritetään metallin arvioidun keskilämpötilan mukaan. Sekä vanhat SFS standardit että uusi SFS-EN standardi tekee konservatiivisia oletuksia siitä mikä mitoitettavan osan keskilämpötila on, kun metallin toisella puolella on lämmitettävä sisältö, ja toisella puolella mahdollisesti liekin tai savukaasun koskettava lämmönsiirtopinta. Suunnittelulämpötilan päälle huomioidaan lämpötilalisä, jonka arvo määräytyy huomioiden lämmönsiirtopintojen säteilevä tai johtuva lämpövaikutus, sekä mitoitettavan osan paksuus. Näin muodostuvaa laskentalämpötilaa t_c käytetään metallin laskentalujuuden määrittämiseksi.

Kumottu SFS 2863 /12/ standardi antoi perusteet laskentalämpötilan määrittämiseksi, joskin joidenkin osien suunnittelustandardeissa oli lisäksi erikoismääräyksiä laskentalämpötilan määrittämiseksi niiden osien mitoitusta varten. SFS-EN 12953-3 standardi antaa ohjeet laskentalämpötilan määrittämiseksi. Huomioitavaa on, että vanhoissa SFS standardeissa suunnittelulämpötila muuttuja vastaa SFS-EN standardien muuttujaa laskentalämpötila. SFS 2863 standardin muuttuja korkein sallittu seoslämpötila vastaa SFS-EN standardin muuttujaa suunnittelulämpötila.

SFS-EN 12953-3 poikkeaa SFS 2863 standardista lähtökohdallisesti siten, että sen mukaan tulitorvikattilan suunnittelulämpötila on vähintään kattilan painetta vastaavan kylläisen höyryn lämpötila, vaikka kyseessä olisi vesikattila. SFS 2863 standardi salli muille kuin höyrykattiloiden käyttää korkeimpana sallittuna seoslämpötilana kattilan sisällön maksimi lämpötilaa. Tämä olisi vaikuttanut merkittävästi esimerkiksi kaukolämpökattiloiden (10 bar, 120°C) suunnitteluun, elleivät viranomaiset SFS-EN standardin selkeästä määräyksestä huolimatta olisi sallineet käyttää suunnittelulämpötilana vesikattilan sisällön lämpötilaa, kunhan kattila varustettaisiin sisällön lämpötilan nousua rajoittavalla termostaatilla. Arinapoltossa, jossa tulipesään on varastoitunut polttoainetta, eikä polttoaineen syötön

katkaiseminen johda tulipesän liekin välittömään sammumiseen, sovelletaan kuitenkin SFS-EN standardin ohjeistusta.

SFS-EN standardi jaottelee lämpötilalisiä tarkemmin, riippuen painetta kantavaa pintaa koskettavan savukaasun lämpötilasta. Kumottu SFS standardi määrittelee perinteisen tulitorvikattilan osille mitoitukseen ainoastaan tulipesän säteilyn alaiset osat sekä savukaasun koskettamat osat. Standardien välisten erojen vaikutuksista käytettäväksi valittuihin lämpötilalisiin ja sitä kautta osien mitoitukseen, esitellään tarkemmin eri osien mitoitusta käsittelevissä kappaleissa.

Jos suunniteltavana on tulitorvikattila, jossa on rakenteita kuten tulistimet, tai osa painerungosta ei toimi lämmönsiirtopintana, vaan se on suojattu muurauksella, niin SFS-EN 12953 standardista ei löydy tarvittavaa tietoa lämpötilalisistä. Silloin tarvittava tieto löytyy muista harmonisoiduista SFS-EN tuotestandardeista.

3.3 Painerungon materiaalit ja niiden mekaaniset ominaisuudet

KTMP 391/1984 /13/ paineastian suunnittelusta ja valmistuksesta ohjeisti, että rakenneaineiden tuli olla SFS standardien mukaisia ja niistä tulee olla määräysten mukainen aineodistus. Standardi SFS-EN 12953-2:2012 /14/ määrittää, että tulitorvikattilan painerungon valmistuksessa tulee käyttää harmonisoitujen SFS-EN materiaalistandardien mukaisia teräksiä ja niiden kemiallinen koostumus ja tarvittavat mekaaniset ominaisuudet osoitetaan standardin EN 10204:2004 /15/ mukaisella sulatuskohtaisella aineodistuksella. Poikkeuksena on ollut ja on edelleenkin tarkastuslaitoksen erikoisluvalla hyväksytyt materiaalit, joiden soveltuvuudesta valmistukseen esitetään tarpeelliset perusteet.

Tulitorvikattiloiden maksimi paine ja lämpötila jäävät sen verran alhaisiksi, että ne harvoin vaativat seostettujen terästen käyttöä. Seostamattomat hiiliteräkset, joille taataan sulatuskohtaisesti lujuusarvot korotetuissa lämpötiloissa riittävät useimmiten. Painelaitedirektiivi esittää vaatimukset, että painelaitteissa käytettävien terästen tulee olla riittävän sitkeitä, ja tämä osoitetaan sulatuskohtaisesti. Tähän riittää standardin mukaisella kokeilla taattu murtovenymän minimi arvo 14% ja Charpy -V (ISO-V) mukainen iskusitkeyden minimiarvo 27J alimmassa suunnittelulämpötilassa, mutta korkeintaan lämpötilassa 20°C. Seostamattomat hiiliteräkset ovat lähtökohtaisesti sitkeitä lämpötila-

alueella, jossa tulitorvikattila toimii, joten näillä uusilla vaatimuksilla ei ollut käytännössä vaikutusta tulitorvikattiloiden materiaalivalintaan.

Materiaalstandardien muutosten vaikutukset tulitorvikattiloiden valmistuskustannuksiin ovat jääneet olemattomiksi. Oikeastaan ainoa suunnittelun kautta tulitorvikattilan valmistuskustannuksiin vaikuttanut materiaalien muutos on ollut se, että muutamille SFS standardien mukaisille materiaaleille annettiin hieman suurempia lujuusarvoja korotetuissa lämpötiloissa valmistajan testauksen perusteella. Harmonisoitujen SFS-EN standardien myötä kauppanimikkeet pääsääntöisesti poistuivat, ja lujuusarvot korotetuissa lämpötiloissa yhtenäistettiin vastaamaan vastaavien harmonisoitujen standardien mukaisten terästen lujuusarvoja.

3.4 Varmuuskertoimet ja materiaalien suunnittelujännitykset

Tulitorvikattilan osien mitoituksessa käytetty materiaalin suunnittelujännitys f_d saadaan jakamalla materiaalin laskentalämpötilassa määritetty materiaalin laskentalujuus varmuuskertoimella S . Varmuuskertoimen määrittämiseen vaikuttaa rakenneaine, laskentalujuuden perustana oleva lujuusarvo sekä kuormituksen luonne. Tulitorvikattiloiden käyttö tapahtuu äärimmäisen harvoin väsyttävän kuormituksen alaisena tai niin korkeissa lämpötiloissa, että materiaalin virumiskestävyys olisi määräävä. Materiaalien ollessa yksinomaan valssattua tai taottua seostamatonta tai korkeintaan niukkaseosteista terästä, sekä laskentalämpötilan ollessa aina yli 110°C , varmuuskertoimen valinta perustuu käytännössä aina materiaalin myötörajan $R_{p\ 0,2}$ arvoon.

Kumottu standardi SFS 2610 sekä SFS-EN 12953-3 antavat molemmat saman varmuuskertoimen valittujen materiaalien sallittujen jännitysten määrittämiseksi. Varmuuskertoimena käytetään arvoa 1,5. Joidenkin osien mitoituksessa käytetään tästä yleisestä varmuuskertoimesta poikkeavia laskentaohjeessa määritettyjä varmuuskertoimia.

Mitoituksessa kestoehto on se, ettei valituilla rakenne materiaaleilla ja seinämävahvuuksilla laskettaessa tulitorvikattilan rakenneosien vertailujännitykset ylitä suunnittelujännityksien arvoja.

3.5 Kulumisliisä sekä materiaalitoimitustoleranssien ja muovausprosessien lisä

Kulumisliisä c_2 tarkoittaa sitä osaa tulitorvikattilan materiaalien paksuudesta, joka voi tulitorvikattilan käytön aikana syöpyä tai kulua pois, joko korroosion eli kemiallisen reaktion tai sitten eroosion seurauksena. Materiaalitoimitustoleranssien ja muovausprosessien lisä c_1 tarkoittaa joko materiaalin muovauksessa varauduttuun materiaalin oheneman määrää, tai sitten materiaalin valmistustoleranssin sallimaa nimellismittan alitusta. Kulumisliisän sekä materiaalitoimitustoleranssien ja muovausprosessien lisän määrittämisestä vastaa suunnittelija. Materiaalitoimitustoleranssin määrittää materiaalistandardit ja valittu toleranssiluokka, mutta suunnittelija vastaa niiden huomioimisen suunnittelussa.

SFS 2610 käytti kulumisliisästä termiä ohenemisvara, ja määrittä ohenemisvaraksi vähintään 1mm ainepaksuuden ollessa yli 3mm. Käytännössä ohenemisvarana pidettiin 1mm veden koskettamille pinnoille ja 1mm savukaasun koskettamille pinnoille. SFS-EN 12953-3 määrittää tulitorvikattiloille kulumisliisäksi 0,75mm, ja tämä arvo on vakiintunut käytettäväksi kulumisliisänä SFS-EN mukaisessa mitoituksessa, kaikille osille.

Materiaalitoimitustoleranssi ja muovausprosessien lisäistä käytettiin SFS 2610 mukaan nimitystä muovaus- ja toleranssivara. Näiden vaikutus mitoitukseseen ei ole riippuvainen lainsäädännön muutoksista, joten näiden vaikutuksia ei tarvitse arvioida. Materiaalistandardien päivittyminen ja muovaavien valmistusprosessien muuttuminen vaikuttaisi mitoituksen lopputulokseen muutoinkin hyvin vähäisesti.

3.6 Hitsauksen lujuuskerroin

Hitsauksen lujuuskerroin v on oleellinen osa hitsatun liitoksen arvioitua kestävyyttä. Se kuvaa hitsatun liitoksen vähimmäislujuuden suhdetta hitsaamattomaan perusaineeseen. Oletus on, että mitoittavat hitsit ovat vähintäänkin tasalujia liitoksia. Koska hitsausliitoksessa saattaa kuitenkin olla sisäisiä virheitä, jotka heikentävät hitsausliitoksen lujuutta, hitsin lujuuskertoimella huomioidaan laskennassa mahdollisuus näiden virheiden esiintymiseen suhteessa suoritettujen ainetta rikkomattomien testausten (NDT) määrään. Mitoituksessa tämä tarkoittaa rakenteen sallitun jännityksen kertomista hitsauksen lujuuskertoimella.

Kumottu SFS 2226:1972 /16/ standardi ohjeisti hitsausliitoksen lujuuskertoimen valintaan ennen harmonisoidun SFS-EN12953 standardisarjan käyttöä. SFS 2226 standardi antoi mahdollisuuden käyttää kahdelta puolelta hitsatun (tai yhdeltä puolelta juuritukea vasten hitsatun) mitoittavan päittäisliitoksen hitsauksen lujuuskertoimen arvoa 1, 0,85, tai 0,7 (yhdeltä puolelta ilman juuritukea hitsatut päittäisliitokset 1, 0,8 tai 0,6). Lujuuskertoimen arvon 1 käyttö edellytti hitsin täydellistä tarkastamista sisäisten virheiden varalta. Arvon 0,85 tai 0,8 käyttö vaati vähintäänkin 10% hitsistä tarkastettavaksi sisäisten virheiden varalta. Lujuuskertoimen 0,7 tai 0,6 käyttö mahdollisti ainetta rikkomattomien tarkastuksien poisjättämisen. Käytännössä tämä tarkoitti, että laskennassa materiaalin lujuutta pienennetään jopa 30 – 40%, eikä sisäisiä virheitä hitseistä etsitty lainkaan.

SFS-EN 12953-3 sallii kolmen eri lujuuskertoimen käytön. Lujuuskerroin voi olla 1, 0,85 tai 0,7. Lujuuskertoimen arvoja 1 ja 0,85 käytettäessä, liittyvien NDT tarkastuksien määrä kerrotaan standardissa SFS-EN 12953-5:2020 /17/. Kun käytetään lujuuskerrointa 0,7, ei NDT tarkastuksia suoriteta, mutta koeponnistus suoritetaan normaalia määritystä suuremmalla koepaineella. Koepaine on sen verran suuri, että se saattaa olla mitoittava kuormitustilanne joillekin tulitorvikattilan osille.

3.7 Koeponnistus

Tulitorvikattilan nestepainekoe perustuu painelaitedirektiivin vaatimuksenmukaisuuden arviointiin liittyvään lopputarkastukseen, jonka osana tulee CE-merkittävälle painelaitteelle suorittaa koeponnistus rakenteen lujuuden varmistamiseksi. Ennen painelaitedirektiivin voimantuloa kauppa- ja teollisuusministeriön paineastia-asetuksen 549/1973 /18/, muutoksen 672/1975 mukaisesti paineastian rakennetarkastuksen osana tuli suorittaa paineastian painekoe.

Kumottu SFS 3321:1983 /19/ määrittäi nestepainekoe tehtäväksi koepaineella p_t , joka oli 1,3 kertaa suurin sallittu käyttöpaine. SFS-EN 12953-3 määrittää, että nestepainekoe suoritetaan kaavan (1) tai (2) mukaisesti lasketulla koepaineella, kumpi arvoista antaa suuremman arvon (SFS-EN 12953-3: 2016, s.11).

$$p_t = 1,25 \times p_c \times \frac{R_{p0,2\ 20}}{R_{p0,2\ tc}} \quad (1)$$

$$p_t = 1,43 \times p_c \quad (2)$$

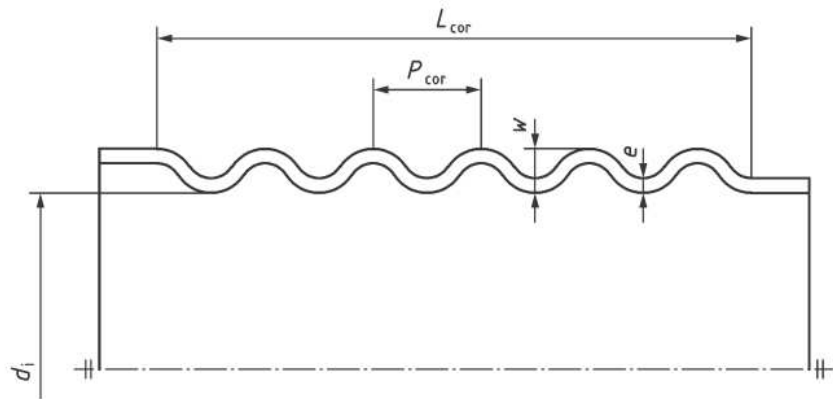
Poikkeuksena on hitsauksen lujuuskertoimella 0,7 mitoitettut tulitorvikattilat, joiden nestepainekoe tulee suorittaa kaavan (3) mukaisella koepaineella (SFS-EN 12953-3: 2016, s.7).

$$p_t = 1,25 \times p_c \times \frac{R_{p0,2\ 20}}{R_{p0,2\ tc}} \times \frac{e_{cs} - c_2}{e_{cs}} \quad (3)$$

Koeponnistustilanteessa ei tulitorvikattilan rakenneosien vertailujännitykset saa olla suurempia kuin 95% niiden $R_{p0,2\ 20}$ myötöraja-arvosta huoneenlämpötilassa. Kaavan (3) mukaisesti määritetyllä koepaineella ponnistettaessa, täytyy varmistaa tulitorvikattilan rakenneosien kestävyys koeponnistustilanteessa huolellisesti. Koepaine muodostuu sen verran suureksi, että kaikkien rakenneosien mitoitus pelkästään suurinta sallittua painetta vastaa ei välttämättä riitä, vaan ainevahvuudessa täytyy olla lisävarausta koeponnistustilanne ja sen vertailujännitysrajoitukset huomioiden.

3.8 Tulitorven mitoitus

Tulitorvikattilan tulitorvet voi jakaa kahteen päätyyppiin. Suorat sileät tulitorvet sekä aallotetut tulitorvet. Koska tulitorvikattilan tulitorvi on ulkoisen paineen alainen, sen mitoitus perustuu laskelmiin, jotka selvittävät sen kestävyuden kimmoista tai kimmotonta lommahdusta vastaan. Halkaisijan lisäksi merkittävä tekijä laskelmissa on tulitorven jäykistämätön pituus. Ulkoisen paineen kuormittaman tulitorven epäpyöreys, jonka vaikutus tulitorven lommahduserkkyyteen on merkittävä, on rajoitettu laskentakaavojen pätemiseksi. Sallittu epäpyöreys suoralle tulitorvelle on 1,5% ja aallotetulle tulitorvelle 1%.

**Selite**

- d_i Aallotuksen sisähalkaisija
 e Seinämänpaksuus muovauksen jälkeen
 w Aaltojen nimelliskorkeus
 L_{cor} Aallotuksen kokonaispituus
 P_{cor} Aaltojen välimatka

Kuva 2. Aallotetun tulitorven periaatekuva (SFS-EN 12953-3:2016 s. 70)

Tulitorvikattilan tulitorven halkaisijan ja pituuden valintaan vaikuttaa tietenkin lämpötekninen mitoitus. Lisäksi ennen painelaitedirektiivin voimaan tuloa TTK-ohje 12/84/P antoi suosituksia tulitorven minimi halkaisijalle perustuen siihen tuotuun lämpökuormaan, polttoaineeseen ja valittuun materiaaliin. SFS-EN 12953-3 antaa rajoitukset minimi halkaisijalle sekä minimi pituudelle perustuen lämpökuormaan, polttoaineeseen ja tulitorven materiaaliin.

Laskentalämpötilan määräytymisessä kumotun SFS 2619:1974 /20/ standardin ja SFS-EN 12953-3 välillä ei ole merkittävää eroa. Taulukoon 1 on koottu vertailu standardien laskentalämpötilan määrityksistä.

Taulukko 1. Laskentalämpötilat tulitorvelle.

SFS 2819	SFS-EN 12953-3
Sileä tulitorvi: painetta vastaava kylläisen höyryn lämpötila + 4 x s + 30°C	Sileä tai aallotettu tulitorvi: painetta vastaava kylläisen höyryn lämpötila + 3,5 x s + 35°C
Aallotettu tulitorvi: painetta vastaava kylläisen höyryn lämpötila + 3 x s + 30°C	Tulitorven laskentalämpötila ei saa ylittää arvoa: 420°C

Tulitorvea mitoitettaessa pyritään pääsääntöisesti käyttämään sileää tulitorvea, sillä aallotetulla tulitorvella on pitkä toimitusaika sekä merkittävästi sileää tulitorvea kalliimpi hinta. Toisaalta aallotetun tulitorven ulkoisen paineen kesto on selvästi sileää tulitorvea parempi. Sileää tulitorvea voidaan myös jäykistää lommahduspituuden pienentämiseksi. Pääsääntöisesti voidaan sanoa, että tulitorvi pyritään tekemään sileänä. Optimoinnin paksumman seinämän, lujemman materiaalin ja jäykistämisen välillä, tai näiden yhdistelmille, paineenkeston parantamiseksi tekee suunnittelija. Käytännössä viimeisenä vaihtoehtona siirrytään aallotetun tulitorven käyttöön.

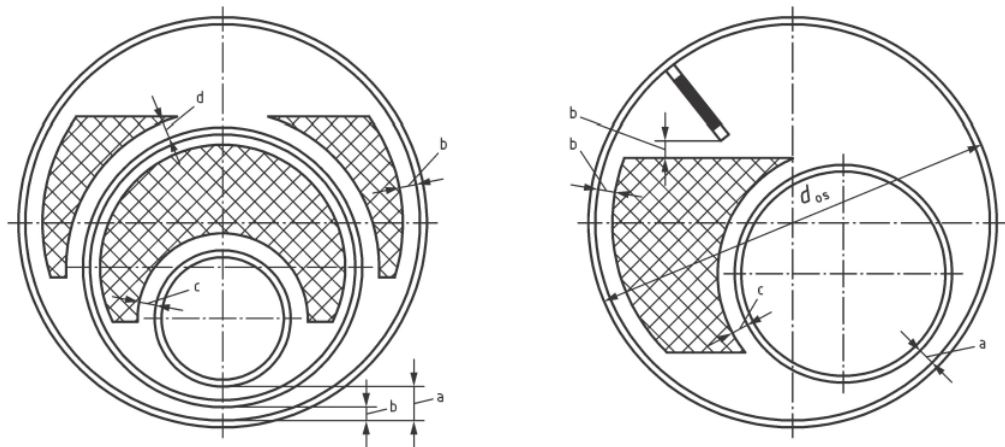
Laskentakaavat tulitorvien mitoitukseen SFS ja SFS-EN standardien välillä poikkeavat ulkoisesti toisistaan melkoisesti, mutta kaavojen lopputulosten osalta ne ovat hyvin lähellä toisiaan. Merkittävimmät erot mitoitukseen tulee sileän tulitorven jäykistämisen rajoituksista SFS-EN 12953-3 standardissa. Sen mukaan sileän tulitorven jäykiste ei saa sijaita suurimman lämmöntuonnin alueella, jos tulitorven paksuus on yli 11mm ja kattilan lämmöntuonti on yli 2MW. Suurimman lämmöntuonnin alueeksi katsotaan etäisyyttä 2 x tulitorven vaadittu minimihalkaisija polttimen päästä tai arinan loppukohdasta mitattuna. Tämä vaikuttaa siihen, että tehon tai käyttöpaineen kasvaessa, mitoitus vaatii huomattavasti aiemmin aallotetun tulitorven käyttöä tulitorvikattilassa.

3.9 Kääntökammion vaippalieriön mitoitus

Kääntökammion vaippalieriö, kuten tulitorvikin, on ulkoisen painekuormituksen alainen osa. Ennen painelaitedirektiivin voimaantuloa kääntökammion vaippa mitoitettiin käyttäen standardia SFS 2862:1987 /21/. Epäpyöreydelle u on määritetty maksimiarvo 0,15%. Laskentalämpötila mitoitukseen määritettiin samoin kuin tulitorvelle, eli standardia SFS 2619 noudattaen. Kestävyys sekä kimmoista että kimmotonta lommahdusta vastaan tutkitaan. SFS-EN 12953-3 käyttää samoja kaavoja kääntökammion lieriön mitoitukseen kuin se käyttää sileän tulitorven mitoitukseen.

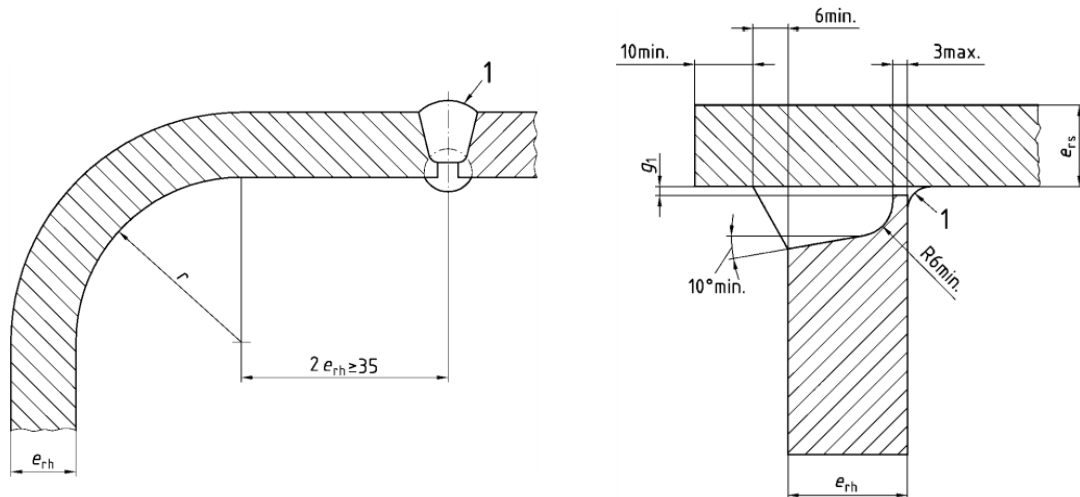
3.10 Kattilan päätyjen mitoitus

Tulitorvikattilan päätyjen mitoitus poikkeaa melkoisesti tavallisen paineastian painekuormitteisen päädyn mitoituksesta. Kyseessä on tuetun päädyn mitoitus, eli päätyihin kiinnitetyt tulitorvikattilan osat, pois lukien normaalit putkiyhteet tai tarkastusaukot päädyissä, ovat kiinni myös kattilan toisessa päädyssä. esimerkiksi 3. vedon tuliputket kulkevat kattilan etupäädyn ja takapäädyn välillä. Tulitorvi taas kiinnittyy kattilan etupäättyyn ja toisesta päästään kääntökammion etupäättyyn. Nämä päätyjen välillä kulkevat osat tukevat päätyjä pienentäen niiden tukematonta pinta-alaa. Samalla kuitenkin jäykästi päätyjen väliin kiinnitetyt tuliputket, lämpölaajenevat enemmän kuin kattilan vaippalieriö johtuen niiden korkeammasta keskilämpötilasta. Samanaikaisesti myös tulitorvi laajenee vielä enemmän kuin tuliputket. Lämpölaajeneminen painaa päätyjä kauemmas toisistaan ja kuormittaa päädyn ja vaipan välistä liitosta. Saman periaatteen mukaisesti myös liitos tulitorven sekä päätyjen, joihin se on kiinnittynyt, välillä kuormittuu. Jotta kattilan rakenne ei olisi liian jäykkä, mitoitusohjeet määrittävät päätyihin jätettäväksi joustoetäisyyksiä tulitorvikattilan rakenteen joustavuuden varmistamiseksi. Tuliputkien etäisyyttä vaippalieriöstä ja tulitorvesta ohjeistetaan näillä joustoetäisyyksillä. Kuvassa 3 nähtävissä minkälaisia joustoetäisyyksiä suunnittelijan tulee huomioida suunnittelussa standardia SFS-EN 12953-3 käytettäessä. Minimi mitat joustoetäisyyksille löytyy standardista.



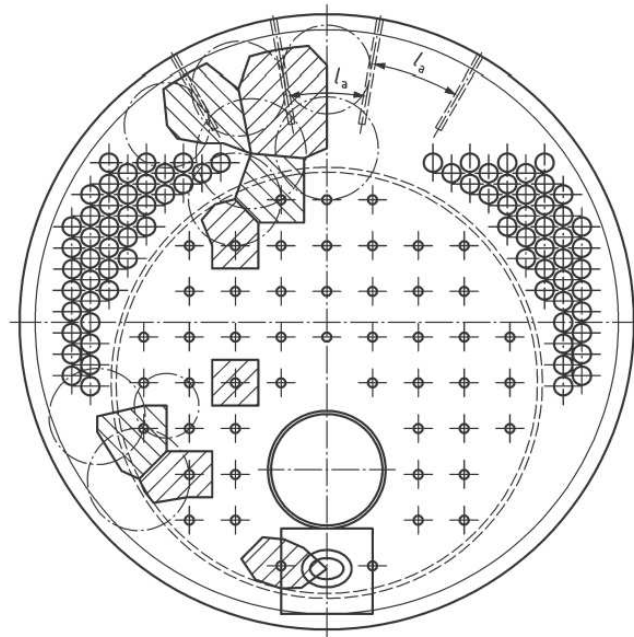
Kuva 3. Huomioitavia joustoetäisyyksiä tulitorvikattilan suunnittelussa (SFS-EN 12953-3:2016 s. 38).

Tulitorvikattilan päädyt voi olla ns. lautaspäätyjä eli muovattuja päätyjä tai sitten suoria päätyjä, jotka on upotettu vaipan sisään. Kuvassa 4 on nähtävissä esimerkkejä päätytyypeistä.



Kuva 4. Muovattu pääty eli ns. lautaspääty sekä vaipan sisään upotettu suora pääty (SFS-EN 12953-4:2002 s. 69-70).

Hakemalla ns. kuormituspiirustuksen avulla suurinta mahdollista tukematonta pinta-alaa päädyssä, saadaan mitoitettua päädyn minimipaksuus. Se, mihin ja minkälaiseen osaan tukematon pinta-ala rajautuu, monta tukipistettä alueen ympärillä on ja minkä muotoinen tukematon pinta-ala on, vaikuttaa päädyn paksuuden laskentaan. Kuvassa 5 nähtävissä minkälaisia paineenkuormittamia alueita esitetään höyrykattilan kuormituspiirustuksessa.



Kuva 5. Kolmivetoisen höyrykattilan takapäätysten kuormituspiirustuksen periaate (SFS-EN 12953-3:2016 s. 44)

Ennen painelaitedirektiivin voimaantuloa tulitorvikattilan päädyt mitoitettiin standardin SFS 2615:1985 /22/ mukaan. SFS-EN 12953-3 mukainen laskentakaava päädyn paksuuden mitoitukseen on vastaava kuin SFS standardissa. Sen sijaan TTK-ohjeen 12/84/P sekä standardin SFS-EN 12953-3 mukaisessa joustoetäisyyksien määrittämisessä on poikkeavuuksia. Etenkin kattilan lieriövaipan halkaisijan ja lämmitettävän pituuden kasvaessa SFS-EN standardi vaatii suurempia joustoetäisyyksiä kattilan rakenteeseen kuin TTK-ohje 12/84/P.

Laskentalämpötilojen määrittämisessä erot ovat pieniä. SFS-EN standardi 12953-3 antaa tarkempia lämpötilalisiä riippuen savukaasun lämpötilasta, tosin savukaasun tarkan lämpötilan määrittäminen eri kohdissa tulitorvikattilaa ei ole helppoa. Merkittävin poikkeus on SFS 2863 standardin salliminen käyttää vesikattilan sisällön lämpötilaa suunnittelulämpötilan pohjana. SFS-EN 12953-3 vaatii savukaasun koskettamilla pinnoilla käytettäväksi suunnittelulämpötilana tulitorvikattilan maksimipainetta PS vastaavaa kylläisen höyryn lämpötilaa suunnittelulämpötilana. Jos kyseessä kaukolämpökattila (16 bar / 120°C), tämä johtaa SFS-EN standardin mukaisessa päätysten mitoituksessa laskentalämpötilan lisäykseen 84°C verrattuna kumottuun SFS standardiin, vaikka

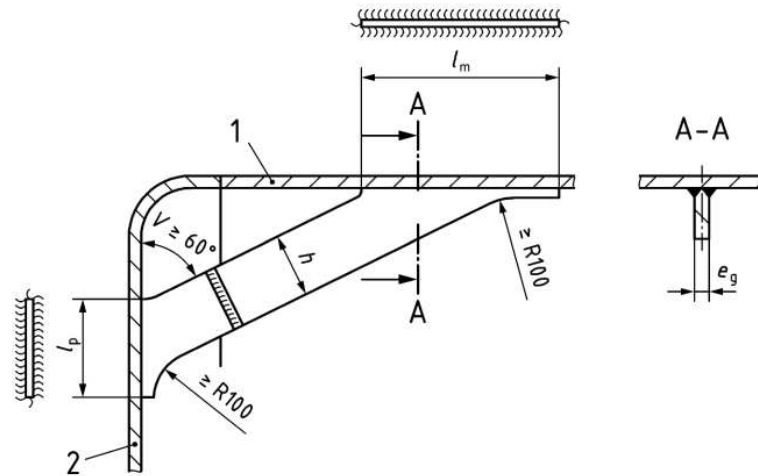
lämpötilalasisien määrittäminen olisikin sama standardien välillä. Riippuen päädyn materiaalista tämä tarkoittaa noin 10 – 15% pienempää laskentalujuutta.

3.11 Vaippalieriön mitoitus

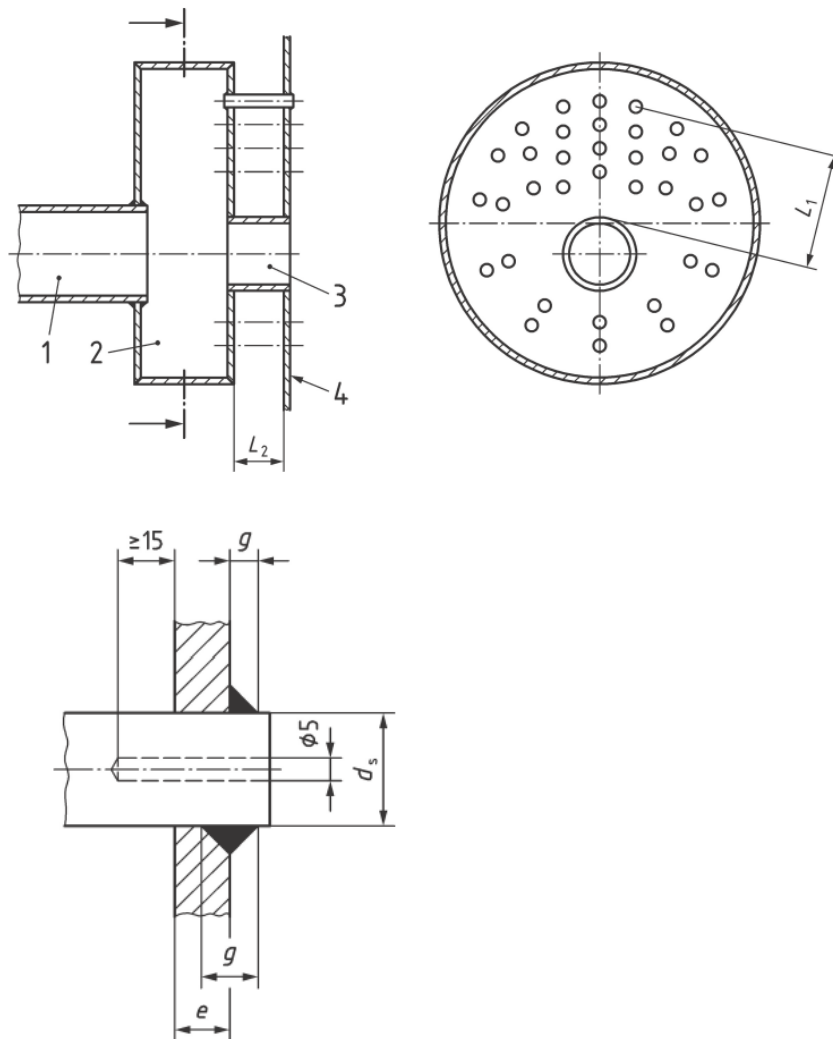
Vaippalieriön mitoitus on kaksivaiheinen. Ensin mitoitetaan aukoton lieriökuori sisäistä painetta vastaan, ja seuraavaksi tarkastetaan kuoren aukkojen kestävyys. Aukoilla tarkoitetaan tarvittavia yhteitä tulitorvikattilan toimimiseksi. Kumotun SFS 2611:1981 /23/ standardin ja SFS-EN 12953-3 standardin välillä ei ole sellaisia eroja lieriövaipan ja sen aukkojen mitoituksessa, että laskentakaavojen lopputuloksissa olisi merkittäviä poikkeavuuksia. Koska ilmoitetut laitokset ovat hyväksyneet nestekattilan lieriövaipan sekä sen yhteiden mitoituksessa suurimman sallitun sisällön lämpötilan TS mukaisen laskentalämpötilan käytön laskennassa, vaikka SFS-EN standardi toisin ohjeistaa, ei näiden osien mitoituksen lopputuloksissa ole juurikaan eroavaisuuksia.

3.12 Tuki- ja sidoselimet

Tuki- ja sidoselimillä tarkoitetaan tulitorvikattilan osia, joilla tuetaan kattilan suoraa levyypintoa ja pyritään optimoimaan niiden paksuus säätämällä niiden tukemattoman pintalan laajuutta tai jäykistämällä niitä. Sidoselimiä ovat tukitangot, tukiputket, polvilevyt ja kääntökammion kattojäykisteet. Tukitankoja käytetään kääntökammion takapäädyn ja kattilan takapäädyn välillä näiden pintojen tukemiseen. Saman voi toteuttaa myös tukiputkillä. Tukiputkia voi tarvittaessa myös käyttää lämmönsiirtoon 2. ja 3. vedon tuliputkien joukossa. Polvilevyt tukevat tulitorvikattilan päätyjä liittyen toisesta päästään kattilan vaippalieriöön. Polvilevyt ovat tyypillisiä tukielimiä höyrykattilan höyrytilan alueella, jossa ei voi käyttää tuliputkia. Myös kookkaissa kattiloissa, oli sitten neste- tai höyrykattiloita, saatetaan käyttää polvilevyjä kattilan päätyjen alaosien tukemiseen. Kääntökammion kattojäykisteitä käytetään silloin kun kääntökammio ei ole kokonaisuudessaan lieriömäinen. Kääntökammion suoraa levyypintaa voi tukea kattojäykisteillä nestetilän kääntökammion aiheuttamaa ulkoista painetta vastaan. Kuvissa 6 – 7 esitetty sidoselimiä.



Kuva 6. Polvilevy tukemassa lautaspäätyä (SFS-EN 12953-3:2016 s. 56).



Kuva 7. Sidetanko kattilan takapäädyn ja käntökammion takapäädyn välissä.

Sidoselinten mitoitus perustui ennen painelaitedirektiivin voimaan tuloa standardiin SFS 3283:1975 /24/. Mitoituskaavat SFS-EN 12953-3 standardiin eivät ole juurikaan muuttuneet, koska mitoitus perustuu näiden osien kohdalla niiden tukeman pinta-alan aiheuttaman kuormituksen ja tukielimen kantavan poikkipinnan vertailuun. Voimassa oleva SFS-EN 12953-3 standardi tuo mukanaan lisävaatimuksia mitoitukseen. Sidetankojen ja sideputkien suunnittelujännityksen määrittämisen varmuuskerrointa S on korotettu arvoon 2,0 kun se kumotun SFS standardin mukaan oli 1,5. Polvilevyjen mitoituksessa päädyn kuormat kantavan poikkileikkauksen mitoitus on pysynyt ennallaan, mutta polvilevyn kiinnityspituuksien mittoihin on tullut lisävaatimuksia. Nämä vaatimukset kasvattavat sidetankojen sekä polvilevyn valmistuksessa käytettyjen materiaali aihion mittoja sekä hitsien pituuksia, joten ne vaikuttavat myös suoranaisesti valmistuskustannuksiin.

4 RIKKOMATTOMAN AINEENKOETUKSEN LAAJUUS

Rikkomaton aineenkoetus eli NDT (Non Destructive Testing), etsii rakenteesta joko sisäisiä virheitä tai pintavirheitä. Useimmiten virheitä etsitään hitsausliitoksista, mutta myös esimerkiksi materiaalin valmistuksessa syntyneitä laminaarisuutta tai muovatun osan säröttömyyttä, voi olla tarpeen tarkastaa. NDT laajuuden ja menetelmien osalta tulee noudattaa sovellettavan standardin minimivaatimuksia huomioiden valitut mitoituksen perusteet. Sisäisten virheiden etsintään käytetään radiografiaan (RT) tai ultraääneen (UT) perustuvia tarkastusmenetelmiä. Pintavirheitä etsitään joko magneettijauhe (MT) tai tunkeumaneste (PT) menetelmillä. Lisäksi kaikki hitsit tulee tarkastaa visuaalisesti (VT) eli silmämääräisesti. Tarkastusmenetelmien suoritus standardien tai kustannuksien muuttumista ei tutkimuksessa oteta huomioon. Vain vaadittujen tarkastuksien laajuutta prosentteina vertaillaan. Koska hitsien visuaalista tarkastusta ei ole velvoitettu SFS-EN standardissa tekemään pätevoidyn tarkastajan toimesta, ei tässä kohden katsota olevan eroa vaatimuksissa kumottujen SFS standardien ja voimassa olevien SFS-EN standardien välillä, vaikka kumotut SFS standardit eivät hitsien visuaalista tarkastusta eritelleetkään.

NDT laajuuden perusteena on mitoittukseen valittu hitsauksen lujuuskerroin. Tulitorvikattilassa mitoittaviksi hitseiksi lasketaan lieriöiden pituushitsit sekä suorien päätyjen mahdolliset päittäishitsit, jos pääty koottu useammasta levystä. Mitoittavaa hitsiä tarkastetaan sisäisten virheiden varalta.

Kumotun SFS 2226 standardin mukaan mitoittavien hitsien laskentaan oli valittavissa kolme erilaista hitsauksen lujuuskerrointa. Hitsauksen lujuuskerrointa 1,0 käytettäessä mitoittavat pituushitsit (lieriöt, päädyt ja tulitorvi) tarkastettiin 100% sisäisten virheiden varalta. Hitsauksen lujuuskerrointa 0,85 käytettäessä vastaava tarkastuslaajuus oli 10%. Kun käytettiin hitsauksen lujuuskerrointa 0,7 ei rikkomatonta aineenkoetusta tehty laisinkaan.

Standardi SFS-EN 12953-5 käyttää samoja hitsauksen lujuuskertoimia, mutta rikkomattoman aineenkoetuksen laajuus kattaa hitsauksen lujuuskerrointa 1,0 tai 0,85 käytettäessä muutakin kuin mitoittavia pituushitsejä. Mukaan tulee lieriöiden ja tulitorven kehähitsien, lieriöiden ja päätyjen välisten hitsien, tukielimien kiinnityshitsien sekä lieriön yhteiden hitsien tarkastamista. Tukielimien kiinnityshitsien sekä lieriön yhteiden hitsauksen rikkomattomaan aineenkoetukseen käytetään pintatarkastusmenetelmiä, muiden hitsien tarkastukseen käytetään sisäisten virheiden etsintään soveltuvia menetelmiä. Kun käytetään hitsauksen lujuuskerrointa 0,85, myös tulitorvikattilan koeponnistuspaine vaikuttaa rikkomattoman aineenkoetuksen laajuuteen. Koepaineen p_t ollessa $\geq 1,85 \times PS$, pienenee tulitorven ja kattilan päädyn välisen T-liitoksen, kääntökammion ja kääntökammion päätyjen välisten hitsien, kääntökammion kulkuaukon hitsien sekä lieriön yhteiden hitsien tarkastuslaajuus. Vaippa lieriön, tulitorven sekä kääntökammion pituus ja kehähitsien väliset risteysalueet tulee tarkastaa sisäisten virheiden varalta, jos tulitorvikattilan suunnittelussa käytetään hitsauksen lujuuskerrointa 1,0 tai 0,85. Tarkastuslaajuudet valittuun lujuuskertoimeen ja koepaineeseen perustuen näkyvät taulukossa 2.

Taulukko 2. Rikkomattoman aineenkoetuksen tarkastuslaajuudet käytettäessä lujuuskertoimia 1,0 ja 0,85 (SFS-EN 12953-5:2020 s. 11-12)

Osa	Hitsilaji	Hitsin sijainti	Standardin EN 12953-4:2018 liitteen A kuvat	Tarkastustekniikka	Alaviitteet	Hitsin tarkastuspituus prosentteina		
						Nestepainekokeen koepaine p_t		
						^h	< 1,85 x PS ^l	≥ 1,85 x PS ^l
						Lujuuskerron		
	1	0,85	0,85					
Kaikki hitsit	—	—	—	Silmämääräinen		100	100	100
Vaippa	Pituushitsi	Vaippalohkossa	Taulukko A.1,	RT tai UT	^a ja ^b	100	10	10
	Kehähitsi	Vaippalohkojen välissä	kuvat A.1...A.5	RT tai UT	^a , ^b ja ^c	25	10	10
	Kehähitsi	Vaippalohkojen ja laipoitettujen päätyjen välissä		RT tai UT	^a , ^b , ^c ja ^d	25	10	10
	T-liitos (päittäishitsi)	Vaipan ja istutetun päätylevyn risteyskohdassa		UT	^b ja ^f	10	10	10
Päätylevyt	Päittäishitsi	Kahden tai useamman osan välissä	Taulukko A.1, kuva B	RT tai UT	^b	100	100	100
Tulitorvet	Pituushitsi	Tulitorven osissa	Taulukko A.1,	RT tai UT	^b	10	10	10
	Kehähitsi	Tulitorven osien välissä ja tulitorven ja jäykistepalkeen välissä	kuvat C.1...C.7	RT tai UT	^a ja ^b	10	10	10
Tulitorvi ja levyt	Kehähitsi	Tulitorven osien ja laipoitettujen päätyjen välissä	Taulukko A.1, kuvat C.1...C.7	RT tai UT	^a ja ^b	10	10	10
	Poikkipinta			RT tai UT		100	100	100
	T-liitos (päittäishitsi)	Tulitorven osien ja istutettujen päätylevyjen välissä		UT	^b , ^e ja ^f	25	25	10
	T-liitos (päittäishitsi)	Tulitorven ja lieskakammion päätylevyjen välissä		UT tai RT ^j	^b	10	10	10
Lieskakammiot	Pituushitsi	Lieskakammion vaipassa	Taulukko A.1,	RT tai UT	^b , ^e ja ^f	25	10	10
	Kehähitsi	Lieskakammion vaipan ja laipoitetun päädyn välissä	kuvat D.1...D.5	RT tai UT	^a ja ^b	10	10	5
	T-liitos (päittäishitsi)	Lieskakammion vaipan ja laipoitetun päädyn välissä		UT tai RT ^j	^b , ^e ja ^f	10	10	5
Lieskakammion kulkuaukko	Pituushitsi	Kulkuaukossa	Taulukko A.1,	RT tai UT	^b	10	10	0
	T-liitos (päittäishitsi)	Kulkuaukon ja kattilan tai lieskakammion päätylevyn välissä	kuvat E.1 ja E.2	UT	^b , ^e ja ^f	10	10	0
Polvilevyt ja katon kannattimet	Päittäishitsatun T-liitoksen reunat [#]	Kannattimen ja levyn välissä	Taulukko A.1, kuvat F.1 ja F.2 Standardin EN 12953-3:2016 kuvat 29 ja 32	PT tai MT	^g	100	100	100
Vaipan aukot	T-liitos (päittäishitsi)	Haaroitukset, putket	Taulukko A.1, kuvat I.1...I.5	PT tai MT		10	10	0

^a Tarkastettavien hitsien prosenttiosuuden on sisällettävä kaikki pituus- ja kehähitsien risteyskohdat. Jokaista pituus- ja kehähitsiä kohden on otettava vähintään yksi radiografinen kuva tai jos tarkastustavaksi on määrätty ultraäänitarkastus, on tarkastus suoritettava vähintään 200 mm pituudelta.

^b Hitsin tarkastettava osuus on kaikissa tapauksissa valittava sattumanvaraisesti.

^c Jos päätylevyt ovat täysin tuetut toisiinsa sidetangoin, sideputkin tai sidetangoin ja lieskakammion tukitangoin, on 10 % kehähitsien pituuksista tarkastettava rikkomattomalla aineenkoetuksella. Kaikki saumojen risteyskohdat on NDT-tarkastettava.

^d Jos laippa on paksumpi kuin päätylevy, on laippa koneistettava kartiomaiseksi ja hitsattava standardin EN 12953-4:2018 liitteen A taulukon A.1 kuvissa A.1... A.3 esitettävällä tavalla.

^e Jos päittäishitsattuja T-liitoksia ei voida fyysisten rajoitusten vuoksi tarkastaa ultraäänellä, on seuraavat vaiheet tarkastettava silmämääräisesti: hitsin esivalmistelu, silloittaminen, juurihiitsi, valmis hitsi. Tämän lisäksi valmiit hitsit on tarkastettava magneettijauhe- tai tunkeumanestetarkastuksella.

^f Hitsin tarkastetun osan sijaintipaikka on merkittävä kattilaan ja kirjattava ylös.

^g Kohteissa, joissa PT tai MT on epäkäytännöllinen tarkastustapa, voidaan käyttää muita, yleisesti tunnettuja tarkastustapoja. Jos magneettijauhe- tai tunkeumanestetarkastuksen jälkeen havaitaan mitään toleranssipoikkeamia (virheitä), on kyseessä olevan polvilevyn tai katon kannattimen hitsit tarkastettava kokonaisuudessaan magneettijauhe- tai tunkeumanestetarkastuksella noudattaen 100 % tarkastuslaajuutta.

^h Sovellettaessa lujuuskertoimia 1,0 on rikkomattoman aineenkoetuksen tarkastuslaajuus riippumaton koeponnistuspaineesta p_t .

ⁱ Koepaine on määriteltävä standardin EN 12953-3:2016 kohdan 5.7.4 mukaisesti ja sen on oltava seuraavien rajojen sisällä: kaavojen (3) ja (4) mukaan laskettu alin koeponnistuspaine sekä kohtien 5.7.4 a), b) ja c) rajoittama suurin sallittu koeponnistuspaine. Tapauksissa, joissa valittu koepaine PT ≥ 1,85*PS ja suunnittelussa käytetty lujuuskerron on 0,85, voidaan soveltaa tässä sarakkeessa esitettyä pienempää rikkomattoman aineenkoetuksen tarkastuslaajuutta.

^j Ultraäänitarkastus (UT) on tavallisesti käytettävä tarkastustapa. Radiografista tarkastusta (RT) voidaan käyttää, jos se on soveltuva tarkastustapa.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Painelaitedirektiivin sekä julkaistujen SFS-EN 12953 standardisarjan osien myötä on tulitorvikattilan valmistuskustannukset kasvaneet. Painelaitedirektiivin ohjeistus ei suunnittelu kustannuksiin vaikuta, koska se ei ota mitoituksellisiin asioihin kantaa, mutta tuotestandardisarjan SFS-EN 12953 noudattaminen kyllä.

Pienimmillään ero valmistuskustannuksissa on mitätön. Pienikokoisissa tulitorvikattiloissa, joiden mitoitus on perustunut lujuuskertoimen 0,7 käyttöön, saattaa korotetun koepaineen vaikutus hävitä standardi levypaksuuksien valintaan. Lähtökohtaisesti vaatimukset ovat kuitenkin lisääntyneet, mitään helpotuksia kumottuihin SFS standardeihin verrattuna ei ole. Mitä suurempi tehoisia ja suurempi paineisia tulitorvikattiloita SFS-EN standardien mukaan suunnitellaan, sitä suuremmaksi ero valmistuskustannuksien välillä kasvaa.

Merkittävin yksittäinen kustannusten nostaja on varmasti tulitorven mitoitukseen liittyvät rajoitukset SFS-EN standardisarjassa, jotka pakottavat aallotetun tulitorven käyttöön selkeästi aiemmin kuin SFS standardit. Tulitorven minimihalkaisija perustuen siihen tuotavaan polttotehoon sekä sileän tulitorven jäykistämisen rajoitukset vaativat aallotetun tulitorven käyttöä alhaisemmassa tehossa ja etenkin selkeästi alhaisemmassa suunnittelupaineessa.

Toinen merkittävä vaikutus on rikkomattoman aineenkoetuksen määrän kasvamisella SFS-EN standardien mukaan lujuuskertoimilla 1,0 ja 0,85 mitoitetuilla tulitorvikattiloilla verrattuna kumottuihin SFS standardeihin. Lieriöiden mitoittavien pituushitsien lisäksi tarkastetaan myös kehähitsejä sekä T-liitoksia sisäisten virheiden varalta. Lisäksi pintatarkastusmenetelmiä käytetään tukielinten sekä vaipan yhteiden tarkastamiseen.

Lisäksi on huomioitava tulitorvikattilan joustava rakenteen varmistamiseksi asetettujen rauhoitusetäisyyksien kasvaminen SFS-EN standardissa entiseen TTK-ohjeeseen verrattuna, etenkin isommissa kattiloissa. Saadakseen saman määrän tuliputkia sijoitettua kattilan päätylevyihin, täytyy päätylevyjen halkaisijaa kasvattaa, ja samalla tietysti päätyihin liittyviä lieriökuoria. Suurempi halkaisija vaatii lieriökuorelta samassa paineessa enemmän

seinämävahvuutta kuin pienempi, oli kyseessä sitten sisäisen kuin ulkoisen paineen kuormittama lieriökuori.

Kuinka suuria nämä rahalliset erot prosentuaalisesti ovat, on vaikea määrittää, mutta pelkästään ostetun aallotetun tulitorven hankintahinta on noin viisinkertainen verrattuna samasta materiaalista samalla seinämävahvuudella valmistaja omassa konepajassa valmistamaan jäykistettyyn suoraan tulitorveen.

LÄHTEET

1. Painelaitelaki 869/1999. Julk. 27.8.1999. 6 s.
2. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaitteista 938/1999. Julk. 30.9.1999. 52 s.
3. Painelaitedirektiivi 97/23/EY. Julk. 29.5.1997. 55 s.
4. Painelaitedirektiivi 2014/68/EU. Julk. 15.5.2014. 96 s.
5. Painelaitelaki 1144/2016. Julk. 19.12.2016. 36 s.
6. Valtioneuvoston asetus 1548/2016 painelaitteista. Julk. 30.12.2016. 10 s.
7. Paineastialaki 98/1973. Julk. 2.2.1973. 2 s.
8. SFS-EN 12953-1:2012. Tulitorvikattilat. Osa 1. Yleistä. Julk. 18.56.2012. 53 s.
9. Teknisen tarkastuskeskuksen TTK-ohje 12/84/P Tulitorvi-tuliputkikattiloiden rakennesuosituksia. Julk. 28.8.1984. 8 s.
10. SFS 2610:1990. Paineastiain mitoitus. Mitoituksen perusteet. Julk.17.9.1990. 8 s.
11. SFS-EN 12953-3:2016. Tulitorvikattilat. Osa 3. Paineenalaisten osien suunnittelu ja laskenta. Julk. 20.5.2016. 213 s.
12. SFS 2683:1974. Paineastiain mitoitus. Erikoismääräykset. Höyrykattilan suunnittelulämpötila. Julk.15.11.1974. 4 s.
13. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös paineastiain suunnittelusta ja valmistuksesta (sisältäen muutoksen 1026/91) 391/1984. Julk. 16.5.1984. 5 s.
14. SFS-EN 12953-2:2012. Tulitorvikattilat. Osa 2. Kattiloiden ja niiden varusteiden paineenalaisiin osiin tarkoitettut materiaalit. Julk. 7.5.2012. 24 s.
15. SFS-EN 10204:2004. Metallituotteiden ainestodistukset. Julk. 21.12.2004 15 s.
16. SFS 2226:1972. Paineastiain hitsaaminen. Hitsausliitosten lujuuskertoimet seostamattomille ja niukkaseosteisille teräksille. Julk. 17.11.1972. 3 s.
17. SFS-EN 12953-5:2020. Tulitorvikattilat. Osa 5. Tarkastukset valmistuksen aikana, dokumentaatio ja paineenalaisten osien tunnusmerkintä. Julk. 27.3.2020. 61 s.
18. Kauppa- ja teollisuusministeriön paineastia asetus (sisältäen muutokset 672/75, 636/77, 1106/81, 257/84, 506/87 ja 1024/91) 549/1973. Julk. 21.6.1973. 8 s.
19. SFS 3321:1983. Paineastiain tarkastus. Paineekoe. Julk. 6.6.1983. 4 s.
20. SFS 2619:1974. Paineastiain mitoitus. Tulitorvi. Ulkoinen paine. Julk. 15.1.1974. 11 s.

21. SFS 2862:1987. Paineastiain mitoitus. Lieriö ja putki. Ulkoinen paine. Julk. 29.6.1987. 8 s.
22. SFS 2615:1985. Paineastiain mitoitus. Suora pääty ja suora kansi. Julk. 20.5.1985. 14 s.
23. SFS 2611:1981. Paineastiain mitoitus. Lieriö ja pallo. Sisäinen paine. Julk. 6.4.1981. 4 s.
24. SFS 3283:1975. Paineastiain mitoitus. Sidoselimet. Julk. 15.2.1975. 7 s.