



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

TUTKIMUSLEIJUPETIKATTILAN SUUNNITTELU, KILPAILUTUS JA KÄYTTÖÖNOTTO

TEKIJÄ: Olli Juutilainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Olli Juutilainen			
Työn nimi Tutkimusleijupetikattilan suunnittelu, kilpailutus ja käyttöönotto			
Päiväys	20.5.2015	Sivumäärä/Liitteet	66/9
Ohjaajat Jukka Huttunen ja Seppo Ryyänen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Savonia-ammattikorkeakoulu			
Tiivistelmä			
<p>Tässä opinnäytetyössä käsitellään Savonia-ammattikorkeakoulun Varkauden kampuksen tiloihin tulevan tutkimus- ja koulutuskäyttöön suunnittelun leijupetikattilan suunnittelua, hankintaa ja kilpailutusta. Leijupetikattila on polttolaite, jossa leijuvan hiekkakerroksen seassa poltettava polttoaine luovuttaa siihen sitoutuneen energian lämpönä, jota voidaan käyttää hyväksi energiantuotannossa. Itse leijupetikattilaan kuuluu useita eri oheisjärjestelmiä ja rakenteita, joiden avulla järjestelmästä saadaan toimiva kokonaisuus.</p> <p>Yhteistyökumppanien ja yritysten kanssa käydyissä keskusteluissa esiin nousseita toiveita, näkökulmia ja tutkimuskohteita on pyritty ottamaan huomioon tutkimusleijupetikattilan suunnittelun eri vaiheissa. Yritykset ja yhteistyökumppanit ovat tutkimuskeskuksen tulevia asiakkaita, jotka tulevat tekemään tutkimusta nyt rakennetulla laitteistolla.</p> <p>Työssä on esitetty teoriaa yleisesti leijupetikattilassa käytettävistä ratkaisuista ja verrattu niitä tutkimuskeskukselle tulevaan leijupetikattilaan. Pääpainoarvo työssä on leijupetikattilan mekaanisen suunnittelun perusteiden läpi käymisessä ja kattilan oheisjärjestelmien ja niihin liittyvien yksityiskohtien esittelyssä. Pääpolttoaineena toimivan kierrätyspolttoaineen (REF) käyttöön on kiinnitetty erityishuomiota tässä opinnäytetyössä. Kattilarakenteessa olevien osien ja oheisjärjestelmien mitoitusperusteita ja laskentaa on käyty läpi rajatusti eri kokonaisuuksien osalta.</p> <p>Tutkimusleijupetikattilan kilpailutusvaiheesta työssä on kerrottu hankintamenetelmien valinnoista ja käytännöistä. Työssä on myös kuvattu tarjouspyyntödokumenttien rakennetta, saapuneiden tarjousten arviointia ja perusteet hankintapäätöksen tekemisestä.</p> <p>Käyttöönottovaiheen suunnittelussa on esitetty yleisimmät testit, joita tehdään käyttöönotettaville laitteille. Lisäksi kohdassa on kerrottu myös käyttöönoton etenemisen vaiheet ja siinä käytettävät dokumentit. Erillinen käyttöönottosuunnitelma voidaan toteuttaa hyödyntäen opinnäytetyössä läpi käytyjä asioita.</p> <p>Opinnäytetyö on toteutettu Savonia-ammattikorkeakoulun toimeksiantamana ja se on ollut osa projektiassistenttina tehtyä työtä tutkimuskeskushankkeen parissa. Työssä on kerrottu kahden vuoden aikana projektissa koettuja onnistuneita asioita ja esitetty myös parannusehdotuksia tulevien samankaltaisten projektien varalle.</p>			
Avainsanat			
BFB-kattila, leijupetikattila, tutkimuskeskus, leijukerroskattila, kuplapetikattila, suunnittelu, kilpailutus, käyttöönotto			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Technology			
Author Olli Juutilainen			
Title of Thesis Designing, tendering and commissioning of a BFB-boiler for research purposes			
Date	20.5.2015	Pages/Appendices	66/9
Supervisors Jukka Huttunen and Seppo Ryyänen			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences			
<p>Abstract</p> <p>This Bachelor's degree thesis is about designing, tendering and commissioning of a bubbling fluidized bed (known as BFB) boiler for research and educational purposes. The BFB-boiler is located in the facilities of Savonia University of Applied Sciences in Varkaus Campus. The BFB-boiler is a burner where feeded fuel is burning in a bubbling sand bed. Chemical energy inside the fuel is transformed into heat energy in the burning process. Heat energy can be used later in energy production. There are several different parts and sub-systems in the whole BFB-boiler which, all combined, make a working system.</p> <p>Aspirations, point of views and research ideas which came out in the meetings with the partners and companies were taken into consideration in the designing process of the boiler. These partners and companies will be future customers who will use the services provided by the research center when it is in commission.</p> <p>In this work it is presented theories of common solutions used in bubbling fluidized bed boilers and then they are compared to BFB-boiler designed for the research center. The main focus in this work is on the mechanical designing principles of the boiler and presentation of sub-systems and details involved. Recovered fuel which is the main fuel for the boiler is covered more extensively than other fuel types in this work. The Presentation of calculations and sizing of the parts in the boiler structure and sub-systems are limited in this work.</p> <p>In the tendering phase of the BFB-boiler the thesis describes the selection of tendering methods and practical issues. There is also a description of request for a quotation, the evaluation process of the arrived offers and grounds for making the procurement decision.</p> <p>Designing the commissioning for the BFB-boiler includes the usual tests which are carried out for the equipment before the commissioning. Also in the work it is described the phases of commissioning and documents used in the procedure. Plans for commissioning the BFB-boiler can be produced by using the details in this thesis.</p> <p>This thesis is initiated by Savonia University of Applied Sciences and it has been part of the work done as a project assistant in the research center project. In this work there is a description of successful results in the project and also proposals for improvements for similar upcoming projects.</p>			
Keywords			
BFB-boiler, boiler, research center, designing, 3D-modeling, tendering, commissioning			

SISÄLTÖ

1	LYHENTEET JA TERMIT:	7
2	JOHDANTO	9
2.1	Opinnäytetyön taustaa	9
2.2	Tavoitteet ja toteutus.....	12
3	TEORIAKATSAUS LEIJUPETIKATTILASTA.....	12
3.1	Tulipesärakenne	12
3.2	Leijukerroksen käyttäytyminen.....	13
3.3	Polttoaineet ja niiden ominaisuudet.....	13
3.3.1	Kierrätyspolttoaine (REF) leijupetikattilassa.....	14
3.4	Palamisen teoria	15
3.5	Savukaasujen puhdistusmenetelmät.....	16
3.6	Kattilapintojen korroosio.....	18
3.7	Tyypilliset toiminta-arvot	18
4	TUTKIMUSKOhteita LEIJUPETIKATTILOISSA	19
4.1	Korkean lämpötilan korroosio.....	19
4.2	Pyrolyysiöljyn käyttö polttoaineena	19
4.3	Lämpötilaprofiilin stabilointi	20
4.4	Petihiekan sintraantuminen	20
4.5	Polttoaineiden sekoitussuhteiden mittaukset	20
4.6	Savukaasun suodattimien toiminta eri polttoaineilla.....	21
5	TUTKIMUSLEIJUPETIKATTILAN SUUNNITTELU	21
5.1	Laitoksen esisuunnittelu	21
5.2	PI-kaaviot, taselaskenta ja laitelistaus	22
5.3	Kattilarungon rakenne	22
5.3.1	Segmentti a1	23
5.3.2	Segmentti a2	25
5.3.3	Segmentti a3	26
5.3.4	Segmentti a4	27
5.3.5	Segmentti a5	30
5.3.6	Palamisilmansyöttö ja kiertokaasu	32
5.3.7	Tarkastusluukut	37

5.3.8	Mittausyhteet.....	37
5.3.9	Tulenkestävät ja lämpöä eristävät keraamit	40
5.3.10	Kannakointi	40
5.3.11	Lämpölaajentumiset	41
5.3.12	Likaantuminen	42
5.3.13	Polttoaineensyöttötorvi.....	43
5.3.14	Hiekan- ja kalkinsyöttö	43
5.3.15	Räjähdystorvi.....	44
5.3.16	Tuhkanpoistojärjestelmä.....	44
5.3.17	Ammoniakinsyöttö.....	45
5.4	Tutkimusleijupetikattilaan liittyvät oheisjärjestelmät	45
5.4.1	Teräsrakenteet.....	45
5.4.2	Jätelämpökattila.....	45
5.4.3	Korroosiontestauskammio	47
5.4.4	Venttiilit ja instrumentit	48
5.4.5	Savukaasukanavat	49
5.4.6	Puhaltimet ja pumput.....	49
5.4.7	Savukaasun puhdistusjärjestelmät.....	50
5.4.8	Polttoaineen varastointi ja kuljetus kattilalle.....	51
5.4.9	Pyrolyysiöljypoltin ja oheisjärjestelmät.....	53
5.4.10	Automaatiojärjestelmä.....	53
5.5	Layout-suunnittelu	54
5.6	Materiaalivalinnat.....	56
5.6.1	Kattilarakenteet	57
5.6.2	Kustannusvaikutukset.....	57
5.7	Työpiirrustukset leijupetikattilasta	57
5.8	Suunnittelun ongelmakohdat	58
5.9	Komponenttien valinta vaatimusten ja kustannusten välillä.....	60
6	TUTKIMUSLEIJUPETIKATTILAN KILPAILUTUS.....	60
6.1	Julkinen hankinta	60
6.1.1	Hankintamenettelyn suunnittelu ja valinta	60
6.1.2	Tarjouspyyntödokumentit	61
6.1.3	Tarjousten arviointi ja hankintapäätöksen tekeminen	62

6.1.4	Leijupetikattilan rakenteiden ja oheisjärjestelmien kilpailutus	62
7	KÄYTTÖÖNOTON SUUNNITTELU	63
7.1	Aloituskokous	64
7.2	FAT-testaus	64
7.3	SAT-testaus	64
7.4	Suorituskykytesti	65
7.5	Käyttöönottodokumentaatio	65
	LÄHTEET	66

LIITTEET

LIITE 1: TASELASKENTA

LIITE 2: PÄÄKOKONAISUUKSIEN PI-KAAVIOT

LIITE 3: TYÖPIIRRUSTUKSET - SEGMENTTI A1

LIITE 4: TYÖPIIRRUSTUKSET - SEGMENTTI A2

LIITE 5: TYÖPIIRRUSTUKSET - SEGMENTTI A3

LIITE 6: TYÖPIIRRUSTUKSET - SEGMENTTI A4

LIITE 7: TYÖPIIRRUSTUKSET - SEGMENTTI A5

LIITE 8: TYÖPIIRRUSTUKSET - YLEISET TARVIKKEET

LIITE 9: TYÖPIIRRUSTUKSET - TERÄSRAKENTEET

1 LYHENTEET JA TERMIT:

BFB-kattila (Bubbling fluidized bed)	Leijupetikattila, jossa polttoaineen palaminen tapahtuu kuplivan hiekan seassa.
CFB-kattila (Circulating fluidized bed)	Kiertopetikattila, jossa polttoaineen palaminen tapahtuu kattilassa kiertävän hiekan seassa.
Ilmalaatikko, windbox	Tutkimusleijupetikattilan alin segmentti, josta primääri-ilmansyöttö toteutetaan siinä olevien leijutusilmasuuttimien avulla.
Arina	Kattilassa olevan palotilan alapinta.
Leijupeti	Kerrosleijupoltossa kupliva peti, jolla on selkeä raja ennen kaasutilaa.
Kaasutila, palotila (freeboard)	Leijupedin yläpuolelle jäävä vapaa tila kattilan sisällä.
Takaveto	Voimakattilan palotilan jälkeinen osa, jossa yleisesti erilliset lämmönsiirtopinnat sijaitsevat.
Ilmansyöttöyhteet	Läpivienti kattilan palotilaan keraamikerrosten läpi.
Palamisilma	Ilmaa, jota vaaditaan polttoaineen palamiseen.
Kiertokaasu	Puhdistettua savukaasua, jolla voidaan hallita palamisreaktiota kattilassa.
Sähkösuodatin	ESP. Savukaasun puhdistusjärjestelmä, jossa savukaasu ohjataan varattujen levyjen läpi.
Letkusuodatin	Savukaasun puhdistusjärjestelmä, jossa savukaasu ohjataan kangaspussien läpi.
Pesuri	Savukaasun puhdistusjärjestelmä, jossa vesisuihkulla puhdistetaan savukaasua.
Agglomerointi	Rakeistaminen, jossa materiaalia muovataan tasakokoiseksi rakeiksi.

Sykloni	Dynaaminen eroitin, jonka toiminta perustuu massavaikutukseen.
Luvo (Luftvorwärmer)	Palamisilman esilämmitin.
Eko, eco (Economizer)	Syöttöveden esilämmitin.
Tulistin (Superheater)	Tulistin. Lämmönvaihdin, jossa vesihöyry lämmitetään höyrystymislämpötilaa korkeampaan lämpötilaan.
Lämpötilaprofiili	Kattilan lämpötilan vaihtelun kuvaaja kattilan palotilassa korkeussuunnassa.
REF (Recovered fuel)	Kierrätyspolttoaine. Tässä tapauksessa jaoteltu ja murskattu yhdyskuntajätteestä valmistettu polttoaine.
Pyrolyysiöljy	Bioöljy. Pyrolyysillä biomassasta tuotettua nestemäistä polttoainetta.
Jätelämpökattila	Lämmöntalteenottokattila. BFB-tutkimuskattilan tuottaman lämmön talteenotossa käytettävä kattila, jossa vesikierto. Tutkimuskeskuksen tapauksessa se on valmispakettina ostettu biokattila.
Korroosiontestauskammio	BFB-tutkimuskattilan oheisjärjestelmä savukaasujen aiheuttamien korroosiovaikutusten tutkimiseen.
Normikuutio (m ³ n)	Kaasun tilavuus normaaliolosuhteissa. (1 bar, 20°C, kosteus 0%)
FAT-testi	Factory acceptance test. Tehdastesti, jolla testataan laitteen tekninen toimivuus yleensä valmistajan tiloissa.
SAT-testi	Site acceptance test. Käyttöönottotestaus, jolloin suurin osa mittalaitteista ja ohjauspiireistä on käytössä.

2 JOHDANTO

2.1 Opinnäytetyön taustaa

Energiatutkimuskeskus on osa Entek EAKR – teollisen mittakaavan energiateknologian kehitysympäristö -hanketta, jossa Varkaudessa ja sen läheisyydessä oleville energia-alan toimijoille tarjotaan ympäristö, jossa on valmiudet tutkia, kehittää ja testata eri polttoaineiden vaikutusta palamiseen, materiaalien korroosioikäytymiseen ja muodostuvien päästöjen hallintaan ja mittaukseen. Ympäristössä on mahdollista toteuttaa energiatekniikan perusopetukseen kuin myös yritysten tarpeisiin räätälöityjä koulutuksia.

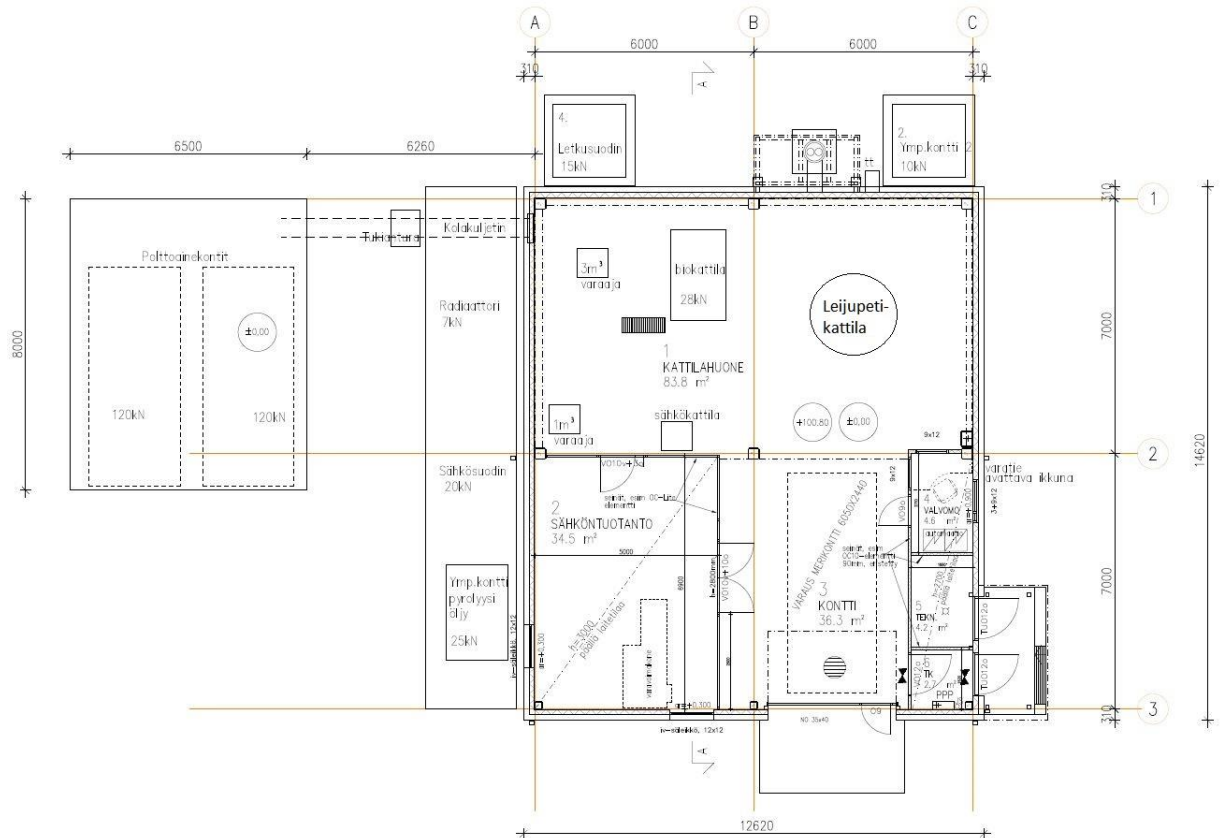
Kuvassa 1 näkyvä tutkimuskeskus on rakennettu Savonia-ammattikorkeakoulun Varkauden kampuksen yhteyteen. Keskuksen tarkoituksena on tukea energiatekniikan koulutusta ja tuoda lisää käytännönläheisyyttä opiskeluihin Varkauden kampuksella. Hankkeen rahoittajina toimivat Euroopan Unioni, alueen yritykset ja Savonia-ammattikorkeakoulu Oy.



KUVA 1. Energiatutkimuskeskus.

Kuvassa 2 on esitetty pääpiirteittäin tutkimuskeskuksessa olevien laitteiden paikat, huoneiden sijainnit ja rakennuksen mitat. Tutkimushallissa on lattiapinta-alaa 168m², jossa laitteita on sijoitettu kolmelle eri korkotasolle noin 12 metriä korkean hallin sisällä.

Laitetekonaisuudet koostuvat kahdesta pääosasta, kattilahuoneesta ja sähköntuotantotilasta. Ne ovat erotettu toisistaan kevytelementtiseinillä, jolloin leijupetikattilan läheisyydestä tulevat epäpuhtaudet eivät pääse vaikuttamaan sähköntuotantotilan laitteisiin. Valvomo on pyritty sijoittamaan lähelle leijupetikattilaa, jolloin siihen on suora näköyhteys. Pääsähkökeskus on valvomon vieressä.



KUVA 2. Tutkimuskeskuksen pohjapiirustus. (ENERGIATUTKIMUSHALLI 2014c)

Tutkimuskeskusympäristö on rakennettu pääosin tutkimusleijupetikattilan ympärille. Kyseessä oleva kattila koostuu neljästä erillisestä segmentistä ja takavedosta, jotka ovat kiinnitetty toisiinsa pulttiliitoksilla. Tällä tavoin kattilan valmistus, asennus ja kunnossapito on pyritty tekemään mahdollisimman helpoksi.

Kuvassa 3 näkyvän tutkimusleijupetikattilan teho on 250-300 kW ja se on suunniteltu projektiryhmän ja Savonian oppilaiden opinnäytetöiden tuotoksena hankkeen käyttöön. Perusidea kattilan rakenteesta on tullut aikaisemmin käytössä olleelta, saman kokoluokan kattilalta Lappeenrannan yliopiston ja IVO:n tutkimusympäristöistä.

Suunnitteluprosessin aikana on pyritty ottamaan huomioon laitetoimittajien, yhteistyökumppanien ja yritysten näkökulmat. Kattilan rakenteiden suunnittelun pohjana on käytetty yllä mainitun, saman kokoluokan kattilan 3D-malleja.



KUVA 3. Tutkimusleijupetikattila.

Pääpolttoaineena tutkimuskattilalla on tarkoitus käyttää kierrätyspolttoainetta (REF). Tukipolttoaineena voidaan käyttää haketta, turvetta tai pellettiä. Polttoaineita voidaan testata eri seossuhteilla ja seurata niiden vaikutusta palotapahtumaan ja syntyviin savukaasuihin. Tutkimuskeskuksen tiloihin tulevassa erillisessä jätelämpökattilassa on mahdollista polttaa ja testata biopolttoaineita liikkuvalla arinalla tai pyrolyysiöljyä sille tarkoitetun polttimen avulla.

Tutkimuskattilassa ei ole omaa vesipiiriä lämmön-, tai sähköntuotantoon. Syntyvät savukaasut ajetaan ym. jätelämpökattilan lämmönsiirtopintojen läpi, jotka ovat kytkettyinä laitossessa olevaan lämminvesivaraajaan. Lämminvesivaraajan avulla lämpö voidaan hyödyntää laitoksen sisätilojen lämmityksessä. Syntynyt hukkalämpö voidaan myös ajaa tarvittaessa radiaattorin kautta ulkoilmaan,

käyttää polttoaineen kuivaukseen polttoainevarastoissa tai pumpata maalämpöpumpun avulla lämpökaivoon. Maalämpökaivoon on asennettu lämpötilan mittaukseen tarkoitettu kuitukaapeli, jolla voidaan mitata kaivossa vallitseva lämpötila metrin välein. Tämä on myös yksi laitoksen tutkimuskohteista.

2.2 Tavoitteet ja toteutus

Opinnäytetyön tavoitteena on määrittää ja dokumentoida tutkimuskattilassa käytetyt suunnitteluperusteet ja tekniset yksityiskohdat. Lisäksi osana työtäni on kuvailla kilpailutusvaiheeseen liittyviä menetelmiä ja käytäntöjä, sekä suunnitella käyttöönotto tutkimuskattilalle. Pääpainoarvo opinnäytetyölläni tulee olemaan suunnitteluperusteiden läpi käymisessä ja kattilan toimintaan vaikuttavien teknisten yksityiskohtien määrittämisessä ja dokumentoimisessa.

Insinööriä toteutetaan Savonia-ammattikorkeakoulun toimeksiantamana osana projektiassistentin toimenkuvalla toteutettua työtä. Projektiassistentin toimenkuvaan on kuulunut prosessi-, putkisto-, laite- ja laitossuunnittelua, sekä laitteiden vaatimusten määrittelyä, hankintaa ja asennuksien valvontaa. Toteutuspaikkana on projektiryhmän käyttöön varattuja luokkahuoneita Savonia AMK:n Varkauden kampuksen tiloista, sekä tutkimuskeskus.

3 TEORIAKATSAUS LEIJUPETIKATTILASTA

Tässä teoriaosuudessa keskitytään käymään läpi leijupetikattilan rakennetta ja siihen liittyviä komponentteja ja laskentaa. Normaalisti käytössä olevien voimalaitoskattiloiden vesihöyrypiirin osuus teoriasta on vähäistä johtuen tulevan tutkimuskattilan rakenteesta, jossa ei tule olemaan vesihöyrypiiriä sähköntuotantoon tai lämmön talteenottoon. Tutkimuskattilassa lämpöenergia otetaan talteen erillisen jätelämpökattilan avulla.

3.1 Tulipesärakenne

Viime vuosikymmenien aikana leijukerros poltto on yleistynyt laajasti. Syynä on mm. se, että polttotapa mahdollistaa eri polttoaineiden, myös huonolaatuisten, polton samassa kattilassa hyvällä hyötysuhteella. Lisäksi käytettävä alhainen polttolämpötila vähentää typenoksideista johtuvia päästöjä ja rikkiä voidaan poistaa savukaasuista syöttämällä kalkkia suoraan tulipesään. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen ja Pakkanen 2000, 153)

Tulipesän rakenne muodostuu arinasta, kuplivasta hiekkakerroksesta ja kaasutilasta hiekkapedin yläpuolella. Leijupetikattilasta puhuttaessa pedillä on selkeä raja, jossa se loppuu ja sen yläpuolinen kaasutila alkaa. Tällöin hiekkapedillä ja kaasutilalla on selkeä paine-ero, jonka avulla voidaan määrittää vallitsevan pedin korkeus. Leijupetikattila eroaa kiertopetikattilasta leijutusnopeuden ja rakenteen osalta. Kiertopetikattilassa hiekka kiertää takaisin arinalle syklonin kautta. Leijupedin ja kaasutilan välistä paine-eroa ei tällöin ole. (Huhtinen ym. 2000, 153)

Tulipesän pohjana on alaosassa oleva ilmanjakoarina, joka vuorataan tulenkestävällä massalla kulumisen ja kuumentumisen estämiseksi. Se koostuu joko teräslevyyn tai jäähdytysputkistoon hitsatuista suuttimista. Painehäviö arinalla tulee olla 30-50% leijupedin painehäviöstä, jolloin varmistetaan ilman tasainen jakautuminen petiin. Pohjatuhkaa poistetaan arinalla olevan aukon kautta. Poistettu hiekka seulotaan ja siitä poistetaan kuona. Puhdistettu hiekka palautetaan kattilaan. (Huhtinen ym. 2000, 153)

Pedin suuren lämpökapasiteetin ansiosta polttomenetelmä soveltuu hyvin kosteiden polttoaineiden polttoon eikä kuivausta tarvita. Kuumaan hiekkakerrokseen sekoittuva kostea polttoaine kuivuu nopeasti ja lämpenee syttymislämpötilaan. Suuri lämpökapasiteetti myös tasaa tehokkaasti polttoaineen laatuheilahteluja. (Huhtinen ym. 2000, 153)

3.2 Leijukerroksen käyttäytyminen

Nopeutettaessa ilmavirtaa pedin painehäviö kasvaa ja tietyssä pisteessä se on kasvanut hiekkakerroksen hydrostaattisen paineen suuruiseksi. Silloin ilmavirtauksen hiekkapartikkeleihin kohdistama voima on yhtä suuri kuin maan vetovoima ja hiekkakerros leijua. (Huhtinen ym. 2000)

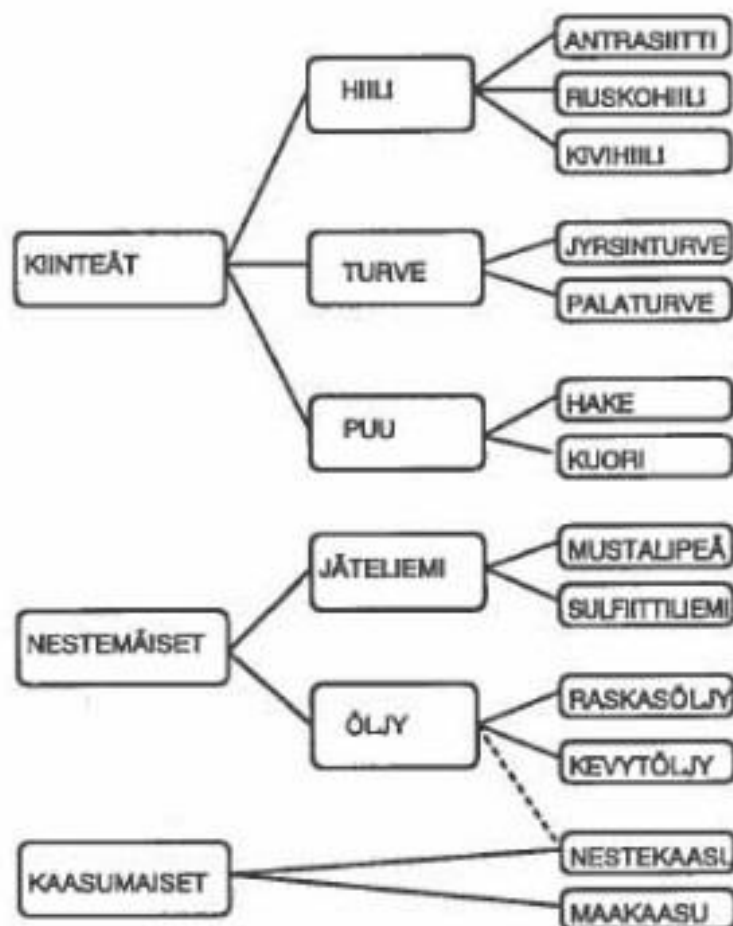
Nopeutta, jolloin kerros alkaa leijua nimitetään minimileijutusnopeudeksi. Tämä nopeus riippuu hiekan hiukkaskoosta. Mitä pienempi hiukkaskoko on, sitä helpommin peti saadaan leijumaan. Leijutusnopeus lasketaan ilmavirran ja kattilan poikkipinta-alan mukaan. (Huhtinen ym. 2000)

3.3 Polttoaineet ja niiden ominaisuudet

Polttolaitteiden tehtävänä on saada polttoaine palamaan, jolloin polttoaineeseen sitoutunut kemiallinen energia vapautuu lämmöksi. Jotta polttoaine palaisi, on polttoaine ja palamisilma saatava polttolaitteessa tehokkaaseen kosketukseen toistensa kanssa ja seos syttymään. Palamisen hyötysuhteen tulee olla hyvä eli polttoaineen pitää palaa mahdollisimman täydellisesti niin, että ilmaylimäärä jää mahdollisimman vähäiseksi. Lisäksi palamisen tulee polttolaitteessa tapahtua tasaisesti ja halutulla teholla ja palamistehoa on voitava säätää tarpeen mukaan. (Huhtinen ym. 2000, 126)

Höyrykattiloissa energia veden höyrystämiseen ja höyryn tulistamiseen saadaan tuotettua polttoaineilla. Polttoaineesta palamisreaktiossa vapautuu lämpöenergiaa sen reagoiessa hapen kanssa. Polttoaineet valitaan niiden riittävyden, tuotantokustannusten ja ympäristövaikutusten perusteella. Höyrykattiloissa käytettävät polttoaineet voidaan jakaa kiinteisiin, nestemäisiin ja kaasumaisiin polttoaineisiin, jotka vaativat omat polttotekniikkansa. (Huhtinen ym. 2000, 27)

Kuvassa 4 on esitetty yleisimmät höyrykattiloissa käytettävät polttoaineet.



KUVA 4. Höyrykattiloissa käytettävät polttoaineet. (Huhtinen ym. 2000, 27)

3.3.1 Kierrätyspolttoaine (REF) leijupetikattilassa

Kierrätyspolttoaineen luokittelussa käytetään SFS 15359 standardia, joka on ollut käytössä vuodesta 2011 asti. Laatuluokitus tehdään mittaamalla polttoaineen tehollista lämpöarvoa, klooripitoisuutta ja elohopeapitoisuutta. Se luokittelee kierrätyspolttoaineen ominaisuudet asteikolla 1-5. Tällöin polttoaineen luokkakoodi voi olla esimerkiksi NCV 2; Cl 3; Hg 4. (SFS 15359, 2011, 14)

Käsiteltävä jäte sisältää normaalisti käsittelyprosessissa murskauksen, seulonnan, metallin magneettisen erotuksen, ei magneettisen metallin erotuksen ja lopuksi raskaiden kappaleiden eroituksen ilmaluokittimella. Syntyvän polttoaineen palakoko on luokkaa 50-100 mm. Jos halutaan noin 20 mm palakoolla olevaa polttoainetta siihen tarvitaan erillistä jälkimurskainta. (VTT 2007, 12)

Kierrätyspolttoaineiden palava aines voidaan jakaa kahteen osaan. Biomassaosa on pääosin puuta ja puusta valmistettua paperia ja kartonkia ja loppu palava osuus on yleensä muoveja, pieniä määriä kumia ja tekstiilejä. Kierrätyspolttoaineet ovat yleensä hyvin reaktiivisia, eli hyvin palavia. Nopeasti reagoivat osat kuten kalvomaiset muovit tai pölymäinen polttoaine voivat aiheuttaa ongelmia kattilatasapainossa. Tämän takia syötettävä polttoaine tulisi olla mahdollisimman homogeenistä. (VTT 2007, 40)

Biopolttoaineet ja kierrätyspolttoaineet, sekä niiden poltosta syntyvät tuhkat ovat kalsium- ja alkalipitoisia. Kierrätyspolttoaineessa on myös vaihtelevasti klooria. Nämä polttoaineet likaavat kattilapintoja selvästi enemmän kuin fossiiliset polttoaineet ja turve. Myös kuumakorroosiota tapahtuu enemmän tulistinpinnoilla, jonka aiheuttaa kloori yhdessä alkalien kanssa. (VTT 2007, 42)

Kierrätyspolttoaineiden kanssa rinnakkaispoltossa yhteensopivia polttoaineita ovat erityisesti turve ja kivihiili. Turve ja kivihiili ovat rikkiä sisältäviä polttoaineita ja niiden tuhkien kalsiumin ja alkalien pitoisuudet ovat alhaisia. Kierrätyspolttoaineessa olevat alkalit sulfatoituvat rikin ansiosta, jolloin kloori vapautuu kloorivetyä (HCl) savukaasuun. Korroosoivan vaikutuksen ehkäisemiseksi pyritään erityisesti välttämään suolayhdisteiden syntymistä kattilassa. (VTT 2007, 46)

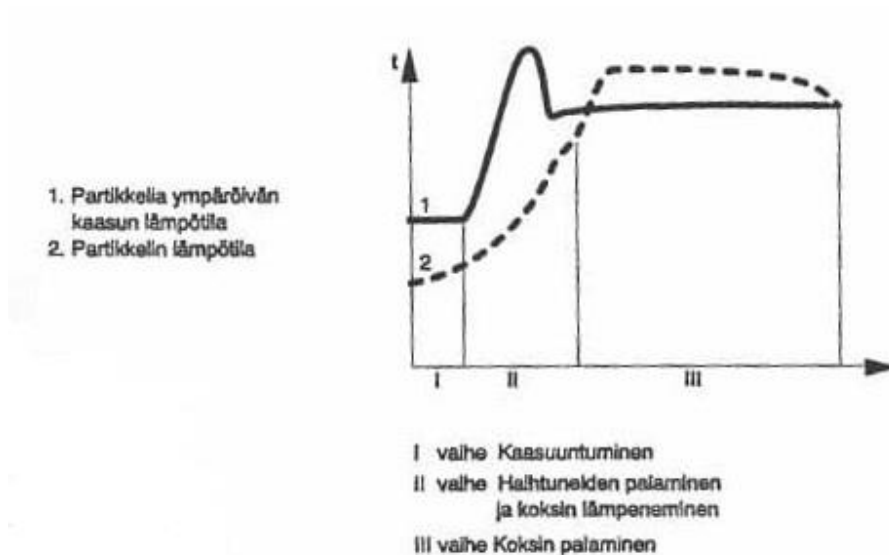
Kierrätyspolttoaineiden käyttö lisää voimalaitoksella huoltotarvetta ja sitä kautta kunnossapidon kustannuksia. Kierrätyspolttoainetta käyttöönotettaessa laitoksilla tarvitaan myös investointeja esimerkiksi polttoaineensyöttöön, savukaasujen puhdistukseen ja päästömittaukseen. Tärkeää on optimoida edullisen polttoaineen ja lisääntyvien ylläpitokustannusten välillä. (VTT 2007, 4)

3.4 Palamisen teoria

Palamisella tarkoitetaan aineen kemiallista yhtymistä happeen. Polttoaineiden palavia, hapen kanssa reagoivia aineita ovat hiili (C), vety (H), rikki (S) ja typpi (N). Näistä aineista palaessaan lämpöä vapauttavat hiili, vety ja rikki. (Huhtinen ym. 2000, 79)

Kuvassa 5 on esitetty kiinteiden polttoaineiden palamisen vaiheet. Kiinteän polttoaineen palamisen ensimmäisessä vaiheessa polttoaineesta poistuvat ympäristön lämmön vaikutuksesta kosteus ja haihtuvat aineet. Yleensä märät kiinteät polttoaineet kuivataan ennen polttamista. Polttoaineeseen jäänyt kosteus poistuu juuri ennen polttamista, kun partikkeli lämmitetään 400 - 600 °C lämpötilaan sekunnin murto-osassa. Samalla polttoaineesta haihtuvat kaasuntuvat komponentit.

Toisessa vaiheessa kaasuntuvat komponentit alkavat syttyä palamaan, jolloin lämpötila kohoaa polttoainehiukkasen ympärillä ja se alkaa lämmitä. Kolmannessa vaiheessa koksipartikkeli syttyy palamaan ja sen lämpötila nousee ympäristön lämpötilaa korkeammaksi ja alkaa luovuttamaan lämpöä ympäristöön. (Huhtinen ym. 2000, 83)



KUVA 5. Kiinteiden polttoaineiden palaminen. (Huhtinen ym. 2000, 82)

Kun tunnetaan polttoaineen koostumus, voidaan laskea tarvittavan palamisilman ja muodostuvien savukaasujen määrä. Muodostuvien savukaasujen ominaisuuksista voidaan päätellä palamisen täydellisyyttä ja ilmamäärän oikeellisuutta. (Huhtinen ym. 2000, 83)

3.5 Savukaasujen puhdistusmenetelmät

Ilmansuojelulaki ja -asetukset määräävät ilmaan tulevien päästöjen ja ilmanlaadun sääntelyyn liittyvät periaatteet. Laki koskee pääasiassa kiinteiden lähteiden, kuten energiatuotantolaitoksien ja tehtaiden päästöjä. (Huhtinen ym. 2000, 250)

Savukaasujen kiinteiden epäpuhtauksien erottaminen ja puhdistaminen on mahdollista monilla erilaisilla eroitintyyeillä. Tällaisia ovat sähkösuodattimet, dynaamiset eroitimet, letkusuodattimet ja savukaasupesurit. (Huhtinen ym. 2000, 252)

3.5.1.1 Sähkösuodatin

Sähkösuodattimen toimintaperiaatteena on kaasuvirrassa olevien hiukkasten varaaminen negatiivisesti, kun ne kulkevat ionisoituneen vyöhykkeen läpi. Tämän jälkeen varautuneet hiukkaset eroitetaan voimakkaassa sähköisessä kentässä. Sähkösuodatin koostuu emissioelektrodista ja erotuselektrodista. Niiden välinen suurjännite on 30-70kV, joka aiheuttaa voimakkaan sähkökentän elektrodien väliseen tilaan. Erotuselektrodiin kiinnittynyt pöly poistetaan joko ravistuslaitteistolla tai vesihuuhtelulla.

Sähkösuodattimen käyttöä eri prosessien pölyneroitina puoltavat seuraavat tekijät:

- Voidaan käsitellä suuria kaasumääriä
- Käyttöikä on pitkä
- Sopii lähes kaikkien prosessien pölyn ominaisuuksille
- Maksimikäyttölämpötila 420 °C

- Taloudellinen käyttö pienen painehäviön ja sähkönkulutuksen vuoksi
- Voidaan mitoittaa myös korkeille eroitusasteille pienillä hiukkasilla (alle 1 μ m)

(Huhtinen ym. 2000, 253)

3.5.1.2 Dynaamiset eroittimet

Dynaamisten eroittimien toiminta perustuu massavaikutukseen. Rakenteeltaan näitä eroittimia on monenlaisia, mutta yleisin on sykloni. Sykloniin pölypitoinen kaasu johdetaan tangentiaalisesti tai aksiaalisesti, jonka jälkeen johtosiipien avulla saadaan aikaan spiraalin muotoinen liikerata kohti syklonin pohjaa. Tällöin massavaikutuksesta pölyhiukkaset sinkoutuvat kohti syklonin pintaa ja valuvat pohjalla olevaan poistoaukkoon. Puhdistunut ilma imetään pois syklonin keskeltä. Syklonin eroitusasteeseen vaikuttavat koko, kaasun nopeus, viskositeetti ja syklonin muoto. Sisääntulonopeus on yleensä luokkaa 15-20 m/s. Suurten savukaasumäärien puhdistuksessa sykloni kannattaa jakaa useaan pieneen sykloniin (multisykloni), jolloin eroitusaste paranee. (Huhtinen ym. 2000, 253)

3.5.1.3 Kangassuodattimet

Kangassuotimissa pölypitoinen savukaasu puhdistetaan johtamalla se kankaan läpi. Kangasmateriaalina voi toimia luonnonkuitu, mineraalikuitu tai synteettinen kuitu. Kangaslaatuksen kehityksen myötä niillä pystytään suodattamaan 200 - 250 °C kaasuja, mikä vähentää savukaasun jäädytystarvetta. Yleisin kangassuodatin tyyppi on letkusuodatin, joka on periaatteeltaan toisesta päästä auki oleva kangaspussi. Kankaalle kerrostunut pöly parantaa osaltaan suodattimen eroitussuhdetta. Eroitussuhde kangassuodattimella on hyvä ja painehäviö on luokkaa 500 - 1500 Pa. Suodatinkankaalle kertyvä pöly voidaan poistaa mekaanisesti ravistamalla, paineilmasyöksyllä tai ultraäänien avulla. Lisäksi myös kankaan voi puhdistaa puhtaalla ilmalla huuhtelemalla, joka virtaa vastakkaiseen suuntaan kuin puhdistettava kaasu. Letkusuodattimia voidaan käyttää ns. puolikuivassa rikinpoistomenelmässä, jossa käytetään hyödyksi kalkkia. (Huhtinen ym. 2000, 253)

3.5.1.4 Savukaasupesuri

Pesurissa epäpuhtaat savukaasut ja vesi joutuvat kosketuksiin keskenään, jolloin niiden välisen suuren nopeuseron vaikutuksesta vesi hajoaa pieneksi pisaroiksi ja agglomeroituu savukaasussa olevien pölyhiukkasten kanssa. Syntyneet vesi-pölypisarat eroitetaan pisaneroittimessa. Pesureiden käyttö pölyneroituksessa on melko vähäistä, johtuen siitä syntyvien jätevesien käsittelyn tarpeesta. Selluteollisuudessa pesurit ovat kuitenkin yleisiä, koska poistokaasujen sisältämä lämpö ja kemikaalit voidaan palauttaa uudelleen prosessiin. Hyötynä on myös savukaasun puhdistus paikoissa, jossa lämpötila on korkea, jolloin muita pölyneroitumenetelmiä ei voida käyttää. (Huhtinen ym. 2000, 255)

3.5.1.5 Pölyneroitusmenetelmien eroitusasteet

Eroitusaste riippuu olennaisesti savukaasussa olevan kiintoaineen hiukkaskoosta. Kaikilla menetelmillä saadaan suuret hiukkaset eroitettua hyvinkin tarkasti. Taulukossa 1 on esitetty yleisimpien pölyneroitusmenetelmien eroitusasteet.

TAULUKKO 1. Pölyneroitusmenetelmien eroitusasteet. (Huhtinen ym. 2000, 256)

Puhdistin	hiukkaskoko < 0,5 µm	hiukkaskoko > 0,5 µm
Sykloni	alle 40 %	50-97 %
Multisykloni	alle 60 %	75-100 %
Sähkösuodatin	70 %	97-100 %
Pesuri	90 %	98-100 %
Letkusuodatin	99,5 %	100 %

3.6 Kattilapintojen korroosio

Suurin osa korroosioilmiöistä tapahtuu vesiliuosten läsnäollessa. Veden jäätyessä tai höyrystyessä korroosio käytännöllisesti loppuu. Korotetussa paineessa, esimerkiksi höyrykattiloissa vesi säilyy nestemäisessä olomuodossa myös kiehumispisteen jälkeen, jolloin sähkökemiallinen korroosio on mahdollinen. Myös väkevien happojen ollessa korroosioympäristössä voi sähkökemiallista korroosiota tapahtua veden kiehumispistettä huomattavasti korkeammassakin lämpötiloissa. Selkeää rajaa sähkökemiallisen ja korkealämpötilakorroosion välillä ei ole näistä syistä johtuen. (Promaint 2008, 21)

Useimmat metallit reagoivat ilman hapen kanssa muodostaen oksidikerroksen. Sanotaan, että metallit hapettuvat eli korrodoituvat. Lämpötilan kohotessa reaktionopeus kasvaa, ja erityyppisiä oksidiyhdisteitä voi muodostua. Korkean lämpötilan korroosiolla tarkoitetaan yleensä metallin syöpymistä "kuivassa" kaasussa korkeassa lämpötilassa, eli ympäristössä, jossa metallin pinnalle ei muodostu vettä. Poisluettuna tästä on savukaasuista muodostuva vesi-rikkihapposeos, joka lauhtuu metallin pinnalle. Syövyttäviä nestemäisiä aineita voivat olla myös esim. sula suola tai kuona. Korkeissa lämpötiloissa tapahtuva syöpyminen on yleensä tasaista syöpymistä, joskin harvemmin pistemäistä syöpymistä. Tällöin korroosion kulku tulee tasaiseksi ja se on usein helposti ennakoitavissa. (Promaint 2008, 127)

3.7 Tyypilliset toiminta-arvot

Kuvassa 6 on esitetty leijupetikattiloissa normaalissa ajotilassa olevia toiminta-arvoja. Tulevan tutkimusleijupetikattilan toiminta arvot tulevat olemaan hyvin paljon normaalin leijupetikattilan kaltaisia. Jossain määrin arvoja voidaan vaihdella testaustarpeiden mukaan.

Tilavuusrasitus	0,1–0,5 MW/m ³
Poikkipintarasitus	0,7–3 MW/m ²
Petin painehäviö	6,0–12 kPa
Leijutusnopeus	0,7–2 m/s
Petin korkeus	0,4–0,8 m
Primääri-ilman lämpötila	20–400 °C
Sekundääri-ilman lämpötila	20–400 °C
Petin lämpötila	700–1000 °C
Kaasutilan lämpötila	700–1200 °C
Sekundääri-ilman osuus	30–70 %
Ilmakerroin	1,1–1,4
Petin tiheys	1000–1500 kg/m ³

KUVA 6. Leijupetikattiloiden toiminta-arvoja. (Huhtinen ym. 2000, 159)

4 TUTKIMUSKOhteITA LEIJUPETIKATTILOISSA

Tutkimuskeskushankkeen tarkoituksena on ollut luoda lähialueen yrityksille ja yhteistyökumppaneille tutkimusympäristö, jossa on mahdollisuus kehittää, tutkia ja testata voimalaitosympäristössä esiintyviä ongelmakohtia. Tutkimuskäyttöön tarkoitettun pienen kokoluokan leijupetikattilan pienet käyttökustannukset, tutkimuskohteiden monipuolisuus ovat eduksi koevoimalaitosympäristössä. Tutkimuksien toteutukseen tarvittavat laitemodifikaatiot ja -korjaukset saadaan tehtyä nopeasti ja vähäisillä resursseilla verrattuna suuren kokoluokan leijupetikattilaan. Tällä tavoin tutkimukseen käytettävät kustannukset saadaan pysymään suhteellisen alhaisina. Tutkimusleijupetikattila on suunniteltu ominaisuuksiltaan vastaamaan suuremman kokoluokan leijupetikattiloita, vaikkakaan 100% vastaavuuteen ei ole mahdollista päästä.

4.1 Korkean lämpötilan korroosio

Kierrätyspolttoaineita käytettäessä syntyvien haitallisten kloori ja alkalimetallien aiheuttama kuumakorroosio lisää kunnossapidon tarvetta voimalaitoksilla. Korkeissa lämpötiloissa esiintyvässä korroosiossa lämmönsiirtopinnoille lauhtuvista kuona-ainesta johtuva tasainen syöpyminen aiheuttaa lämpöpintojen kulumista.

Tutkimuskeskusympäristöön suunniteltu erillinen korroosiontestauskammio, jonka läpi on mahdollista ajaa tuotettuja savukaasuja leijupetikattilalta, jätelämpökattilalta tai niiden välisistä linjoista. Lisäksi tutkimusleijupetikattilassa on useita yhteitä, joiden avulla kuumakorroosion vaikutusten testaus onnistuu myös esimerkiksi takavedon lämmönsiirtimille varattujenpaikkojen avulla.

4.2 Pyrolyysiöljyn käyttö polttoaineena

Pyrolyysiöljy eli bioöljy on puusta hapettomissa olosuhteissa ”kuivatislattua” polttoainetta, jonka käyttämistä polttoaineena on pyritty kehittämään energiantuotannossa. Pyrolyysiöljyn käyttö on

vielä vähäistä ja sen kehittäminen kustannustehokkaaksi ja helppokäyttöiseksi polttoaineeksi on toimijoiden tavoitteena.

Pyrolyysiöljyn korkea vesipitoisuus, pieni lämpöarvo suhteessa muihin polttoöljyihin ja sen suuri viskositeetti tuottavat ongelmia sen käytössä polttoaineena. Pyrolyysiöljyä joudutaan lämmittämään ennen pumppausta polttimelle, sen suuren viskositeetin vuoksi.

Tutkimuskeskuksella on käytössään pyrolyysiöljypoltinjärjestelmä, jolla voidaan tehdä testauksia sen ollessa kiinni biokattilassa. Syntyneistä savukaasuista ja tuhkasta voidaan tehdä mittauksia samaan tapaan kuten leijupetikattilankin kohdalla. Polttoainevarastona toimii lämmitetty IBC-kontti, johon on asennettu sekoitinjärjestelmä.

4.3 Lämpötilaprofiilin stabilointi

Jätteenpoltossa erityisten tärkeää on lämpötilaprofiilin tasaaminen koko kattilan pituudelta, jolloin palaminen on mahdollisimman täydellistä. Palotilaan ei haluta kuumia pisteitä, joissa termisiä typpipitoisuuksia pääsee muodostumaan. Tutkimusleijupetikattilan lämpötilaprofiilia pystytään muokkaamaan ilmansyöttöpaikkojen korkoasemia muuttamalla ja kiertokaasun suhdetta muuttamalla. Tällä tavoin voidaan simuloida oikean kokoluokan kattiloiden polttoaineen palamisreaktioita.

4.4 Petihiekan sintraantuminen

Leijupetikattiloissa pedin lämpötila pyritään pitämään reilusti alle käytettävän polttoaineen tuhkan sulamislämpötilan. Kotimaisilla polttoaineilla tämä on noin 900 °C. Mikäli pedissä oleva tuhka alkaa sulamaan tai edes pehmenemään se voi aiheuttaa petihiekan sintraantumista. Sintraantuneiden kappaleiden poisto kattilasta vaatii yleensä kattilan alasajon.

Leijupetikattilan yhtenä tutkimuskohteena on tutkia petihiekan sintraantumista korkeissa lämpötiloissa. Tarkoituksena on aiheuttaa tarkoituksella olosuhteet, jolloin petihiekka alkaa sintraantumaan ja näin päästä vaikuttamaan sen muodostumiseen. Tutkimusleijupetikattilassa on pedin kohdalla vaihdettava rakenne, mikäli kattilassa pääsee syntymään sintraantumista, joka aiheuttaa kattilarakenteille vaurioita.

4.5 Polttoaineiden sekoitussuhteiden mittaukset

Leijupetikattilassa ja biokattilassa tapahtuvista palamisreaktioista syntyviä savukaasuja voidaan tutkia ja mitata eri käyttötarkoituksessa. Esimerkiksi pääpolttoaineena yhdyskuntajätteen (70%) ja tukipolttoaineena turpeen (30%) poltosta syntyvien savukaasujen ominaisuuksia ja korrosoivia vaikutuksia on mahdollista seurata tutkimuskeskuksella.

Tutkimuskeskus tarjoaa yrityksille ja yksityisille toimijoille peruslaboratoriopalveluja, joihin sisältyvät mm. polttoaineiden lämpöarvon mittaukset. Leijupetikattilan savukaasulinjoista ja kattilarakenteista

on mahdollista mitata normaalien mittauksien lisäksi myös savukaasun kaasukomponenttimittauksia FTIR-laitteistolla. Tutkimuskeskuksen piipussa on yhteitä päästöjen referenssimittausta varten.

Tuhkanpoistojärjestelmän poistoyhteestä on mahdollista ottaa tuhkanäytteitä kahden sulkupellin välistä. Tuhkaa jäähdytetään ilmalla, ennen näytteenottoyhteen paikkaa.

4.6 Savukaasun suodattimien toiminta eri polttoaineilla

Savukaasun suodattimien toimivuus ja eroituskyky vaihtelee käytettävän polttoaineen mukaan. Eryteisesti öljyiset ja tervaavat polttoaineet tuottavat ongelmia savukaasun puhdistusjärjestelmille. Niiden eroituskykyä on mahdollista parantaa testaamalla eri komponentteja suodattimien sisäosissa.

Tämä vaatii savukaasun hiukkasmittausta varten yhteet ennen ja jälkeen savukaasun puhdistusjärjestelmiä. Tämä on otettu huomioon putkistosuunnittelussa.

5 TUTKIMUSLEIJUPETIKATTILAN SUUNNITTELU

Tutkimusleijupetikattilan mekaanisen suunnittelun lähtökohtana on ollut kattilan toimintaan vaikuttavat vaatimukset, halutut ominaisuudet ja myöhempien muutostöiden huomioiminen. Järkevillä materiaalivalinnoilla, standardoitujen osien käytöllä ja työstettävien kappaleiden muotojen huomioimisella on pyritty vähentämään kattilarakenteen valmistuskustannuksia.

Suunnittelussa on otettu huomioon, että testauskäytössä olevilla laitteilla ja kappaleilla ei oletettavasti ole yhtä pitkä elinkaari, kuin normaalissa voimalaitosympäristössä. Tämä on pyritty huomioimaan suunnitteluvaiheessa. Oletettavasti vikaantuvien, ennalta määritettyjen kattilaosien, kuten arinarakenteen ja syöttösuuttimien korvaaminen uusilla on toteutettavissa. Yritysten ja yhteistyökumppanien toiveet ja tarpeet on myös pyritty huomioimaan kattilasuunnittelussa.

5.1 Laitoksen esisuunnittelu

Tutkimuskeskusprojektin alkuvaiheesta lähtien projektiryhmän käytössä on ollut tietopankkina vaatimusmäärittely, johon projektin edetessä on päivitetty tietoa ja vaatimuksia eri kokonaisuuksien osalta. Tämä lista on päivittynyt sitä mukaan, kun tekniset yksityiskohdat ovat tarkentuneet kirjallisuuden, energia-alan toimijoiden ja laitetoimittajien näkemyksien mukaan.

Vaatimusmäärittelyn tarkoitus on ollut auttaa projektihenkilöstöä määrittämään tulevien laitteiden teknisiä vaatimuksia hankintaa varten ja olla tietopankkina projektihenkilöstön vaihtuvuuden aiheuttaman tiedon katoamisen minimoimiseksi. Vaatimusmäärittelyn ideana on ollut myös se, että saamme laitokseen parhaiten sopivimmat mahdolliset komponentit punnitsemalla niiden hyvät ja huonot puolet eri näkökulmista.

5.2 PI-kaaviot, taselaskenta ja laitelistaus

Tutkimusleijupetikattilan prosessisuunnittelun selkärankana on toiminut PI-kaaviot, laitelistaukset ja taselaskenta. Näiden suunnittelun osalta tärkeiden dokumenttien avulla prosessi- ja laitossuunnittelua, sekä laitehankintoja on pystytty viemään eteenpäin.

PI-kaavioiden avulla on mietitty mitä putkilinjoja, venttiileitä, mittauksia ja laitteita järjestelmään tulisi määrittää, jotta se on toimintakykyinen. Kaaviot antavat yleiskuvan toteutettavasta kokonaisuudesta. Jokaiselle komponentille ja linjalle on määritetty oma tunnus ja niiden paikka ja tehtävä prosessissa on tarkasti mietitty. PI-kaaviot päivittyivät projektin aikana useaan otteeseen, kun tarkennuksia ja parannuksia on toteutettu.

Taselaskennassa on määritetty tutkimuskattilassa käytettävien polttoaineiden ominaisuudet ja seossuhde, käytettävä kuorma, sekä ilmakerroin. Käytettävien polttoaineiden osalta on määritetty sisältämien yhdisteiden prosentuaaliset osuudet, kosteus ja alempi lämpöarvo. Syötettyjen lähtöarvojen avulla laskentapohja laskee tarvittavan polttoainemäärän, palamisilman tarpeen, syntyvien savukaasujen määrän, hyötysuhteen ja häviöt. Taselaskentapohja on muokattavissa käytettävien polttoaineiden osalta. Taselaskennan perusteella on pystytty määrittämään savukaasukanavien ja laitteiden teknisiä vaatimuksia. Mitoitus on toteutettu käyttäen prosessin osalta arvoja, jotka ovat yläkanttiin suhteessa normaalitilanteeseen.

PI-kaavioiden ja taselaskennan avulla tarvittavat laitteet on koottu laitelistaukseen. Laitelistauksessa on näkyvillä kaikki tutkimuskeskuksessa olevat laitteet ja putkilinjat. Jokaiselle positiolle on määritetty vaatimuksia prosessissa siinä pisteessä vallitsevien arvojen perusteella. Esimerkiksi lämpötilan mittauksen tulee kestää savukaasukanavassa kyseisessä pisteessä vallitseva lämpötila tai venttiilin säätöominaisuudet tulevat olla tarpeeksi tarkat ilmansyöttöön menevässä linjassa. Laitelistaus on myös elintärkeä osa automaation suunnittelussa osana käytettävää I/O- listausta.

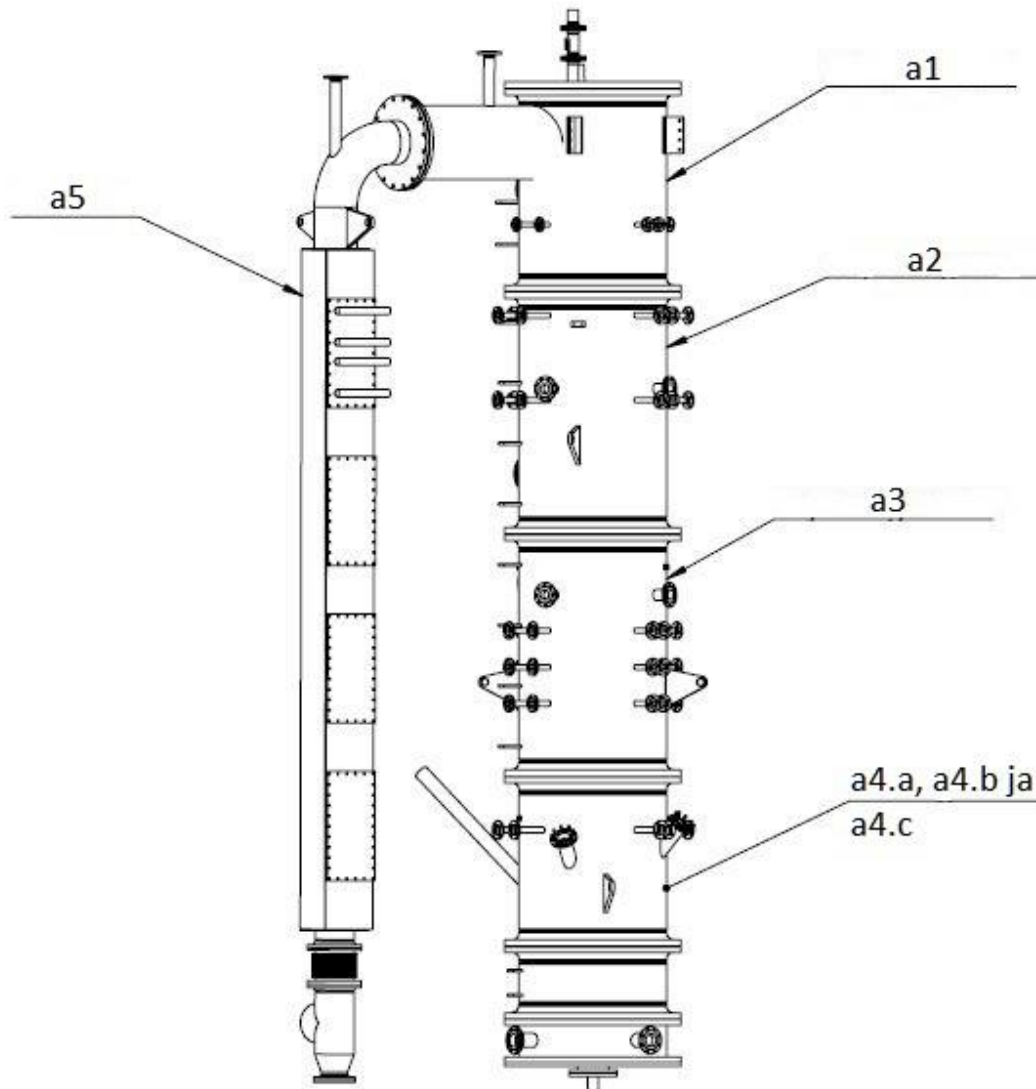
5.3 Kattilarungon rakenne

Tutkimuskäyttöön tarkoitetun leijupetikattilan 3D-mallien suunnittelussa on käytetty SolidWorks-ohjelmistoa. Kyseinen suunnitteluohjelmisto on ollut projektihenkilöstön päätyökaluna suunnittelun osalta koko projektin aikana laite-, laitos-, putkisto- ja teräsrakennesuunnittelussa.

Suunnitteluohjelmiston avulla tuotettujen 3D-mallien ja työpiirrustusten avulla laitteiden ja osien hankintaa on pystytty viemään eteenpäin.

Tutkimusleijupetikattila on jaettu neljään eri pulttiliitoksilla toisiinsa kiinni olevaan segmenttiin, sekä takavedosta koostuvaan kokonaisuuteen. Segmenttien halkaisijat laippojen kohdilla ovat 1455 mm ja runkoputkien osuuksilla 1220 mm. Segmenttien kiinnityskohdissa pulttiliitosten tiivistyksenä on käytetty keraamista villaa.

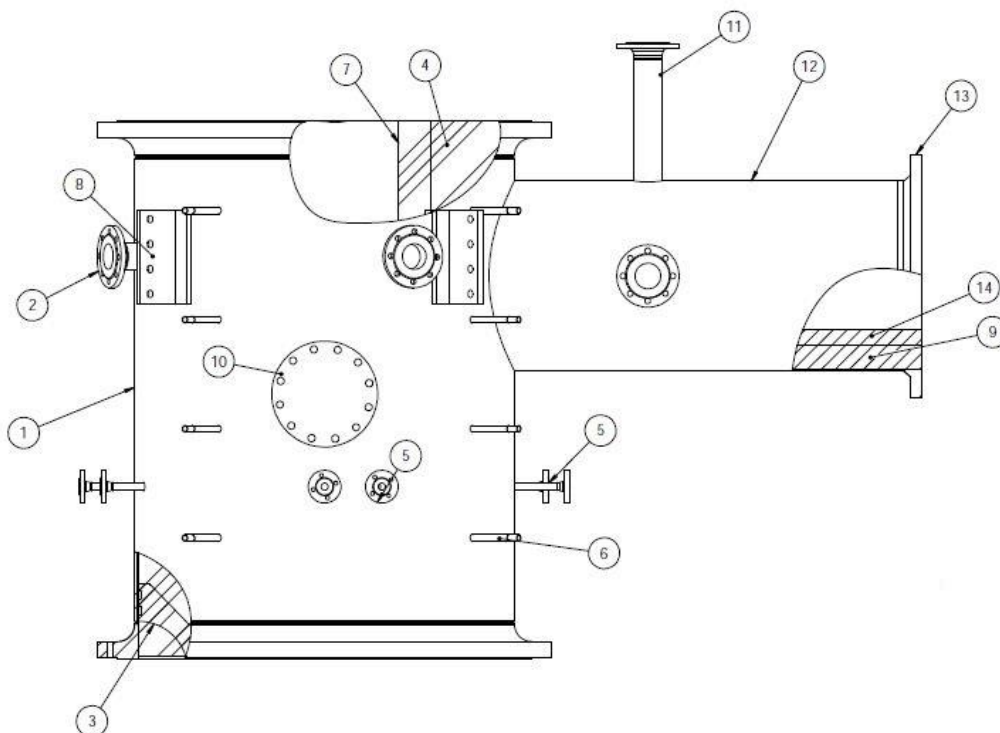
Alin segmentti on jaettu kahteen pienempään osaan ja ilmalaatikkoon, josta hiekkapedin leijutukseen tarvittava primääri-ilmansyöttö toteutetaan. Jokaisen segmentin sisällä on tulenkestävä ja lämpöä eristävä keraaminen rakenne. Takaveto koostuu tulenkestävästä teräksestä kootusta putkimutkasta ja levyrakenteesta, jossa on neljä paikkaa varattuna lämmönsiirtimille. Segmentit on nimetty ylimmästä segmentistä lähtien alaspäin kuvan 7 mukaisesti.



KUVA 7. Kattilarunko. (ENERGIATUTKIMUSHALLI 2014b)

5.3.1 Segmentti a1

Kuvassa 8 on esitetty kattilan ylin, eli segmentti a1. Kattilasegmentin korkeus on 1725 mm. Tämän kappaleen yläosasta palotilassa syntyneet savukaasut ohjataan takavedon lämmönsiirtopinnoille. Palotilan halkaisija kattilarakenteen sisällä on nousevalla osuudella 494 mm ja savukaasun poistoyhteen kohdalla 350 mm. Poistoyhteen korkeus arinan pinnasta on 7220 mm. Tämä on se matka arinan pinnalta kanavaan, josta savukaasut poistetaan palotilasta takavedolle. Segmentti a1:n päälle tulee tulenkestävästä teräksestä valmistettu umpipailla, jossa on räjähdystorvi, näkölasia ja yhteydet sondille ja öljypolttimelle.



KUVA 8. Segmentti a1 (ENERGIATUTKIMUSHALLI 2014b)

Segmentissä a1 on neljä kappaletta kiinnityskorvia, joista kattilarakenne on tuettuna leijupetikattilan ympärille rakennettuihin teräsrakenteisiin. Kyseisessä segmentissä ei ole muita kattilan kannakointiin tarkoitettuja kohtia. Nämä kiinteät kannakkeet pystyvät kantamaan kaikkien segmenttien yhteenlasketun painon.

Ilmansyöttöyhteitä on yhdellä korkotasolla, jotka ovat 6400 mm korkeudella arinan pinnasta. Mittausyhteitä on yhteensä 12 kappaletta, joista neljä on DN80 kokoluokan mittausyhteitä ja kahdeksan DN15 kokoluokan 3/4 " muhvilla varustettua anturipaikkaa. Tarkastusluukku on keskellä nousevaa osuutta.

Kuvassa näkyvät myös kattilan sisällä olevat tulenkestävät ja lämpöä eristävät keraamit, jotka ovat tuettuna kattilaputken sisäpintaan hitsatuilla kannakkeilla. Taulukossa 2 on esitetty tiivistettynä segmentissä a1 käytetyt komponentit ja niiden ominaisuudet.

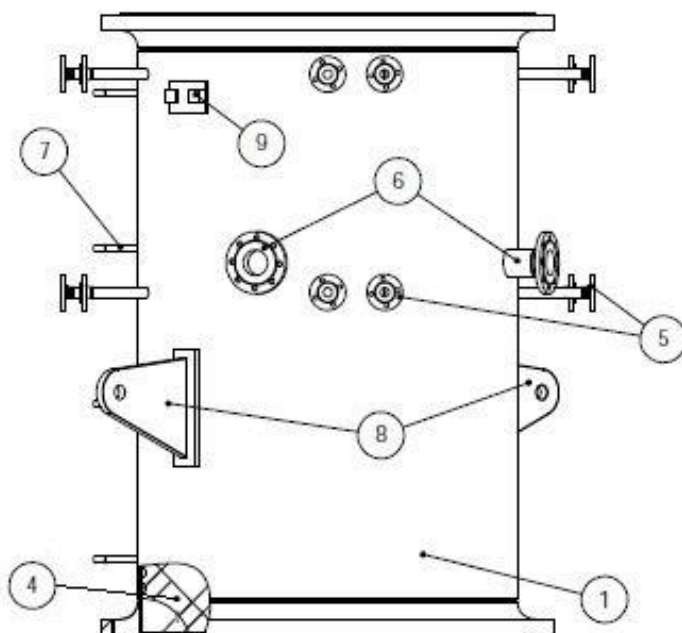
TAULUKKO 2. Segmentti a1 (ENERGIATUTKIMUSHALLI 2014b)

ITEM NO.	DESCRIPTION	DIMENSIONS	MATERIAL	QTY.
1	Runkoputki + kauluslaipat	L=1725mm Ø1220mm s=5	S235JRG2 P250GH	1
2	Päästömittausyhde	L=505mm DN80	Putki 1.4828/253MA Laippa 1.4301	2
3	Keraamien kannake	s=5	1.4828/253MA	4
4	Lämpöä eristävä keraami	Paksuus 250 mm	S-ISOL / S-1100 E	1
5	Ilmansyöttöyhde	L=538mm DN20	Putki 1.4828/253MA Laippa 1.4301	8

6	Mittausyhde	L=555mm DN15	Putki 1.4828/253MA Muhvi 1.4301	8
7	Tulenkestävä keraami	Paksuus 101 mm	CALDEFLOW LM 74 A	1
8	Kattilan kiinteät kannakkeet	20 mm teräslevy	S235JRG2	4
9	Lämpöä eristävä keraami (poistoyhde)	Paksuus 127 mm	S-ISOL / S-1100 E	1
10	Huoltoyhde	L=612mm DN200	Putki 1.4828/253MA Laippa 1.4301	1
11	Päästömittausyhde	L=582mm DN80	Putki 1.4828/253MA Laippa 1.4301	2
12	Poistoyhteen runkoputki	L=1326mm DN600	S235JRG2	1
13	Poistoyhteen kauluslaippa	DN600 EN 1092-1	1.4301	1
14	Tulenkestävä keraami (poistoyhde)	Paksuus 52 mm	CALDEFLOW LM 74 A	1

5.3.2 Segmentti a2

Kuvassa 9 näkyvä segmentti a2 on kattilarakenteen toiseksi ylin pulttiliitoksella muihin segmentteihin kiinnitetty osakokonaisuus. Tämän lieriön muotoisen kappaleen korkeus on 2000 mm ja kattilarakenteen sisällä olevan palotilan halkaisija on 494 mm.



KUVA 9. segmentti a2 (ENERGIATUTKIMUSHALLI 2014b)

Tässä segmentissä on kannakekorvat jousikannakkeen kiinnitykselle, sekä ohjauspalat liukukannakkeen asennusta varten. Jousikannake sallii kattilan lämpölaajenemisen pystysuunnassa ja liukukannake estää rakenteen vääntymisen sivuttaissuunnassa.

Palamisilmansyöttökehä on vaihdettavissa kahdelle eri korkotasolle. Vaihtoehtoinen ilmansyöttötaso on mitoiltaan identtinen ym. tason kanssa, jotta voidaan hyödyntää valmiina olevaa putkistoa ja

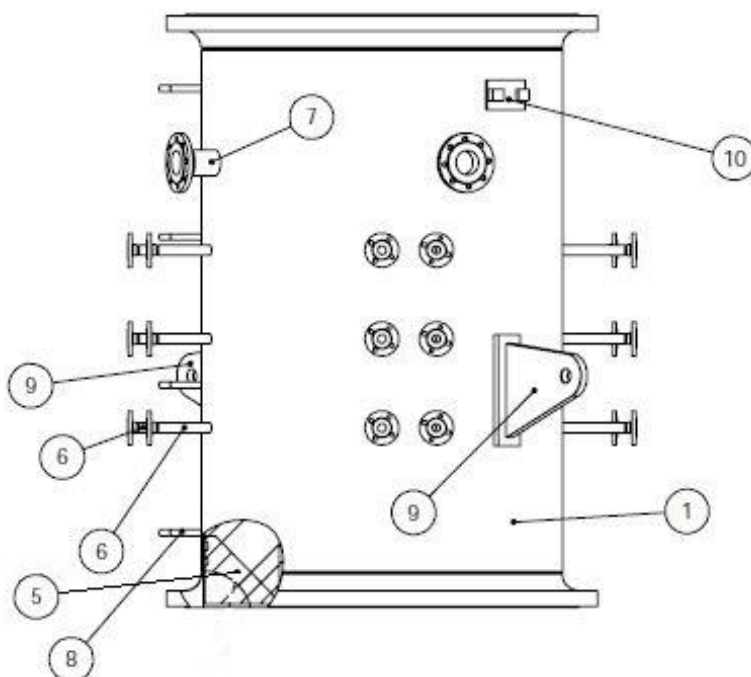
siinä olevia venttiileitä. Mitta-anturipaikkoja kattilasegmentissä on kahdeksan kappaletta. DN 80 kokoluokan mittausyhteitä on kaksi kappaletta.

TAULUKKO 3. Segmentti a2 (ENERGIATUTKIMUSHALLI 2014b) * ei näy piirustuksessa.

ITEM NO.	DESCRIPTION	DIMENSIONS	MATERIAL	QTY.
1	Runkoputki + kauluslaipat	L=2000mm Ø1220mm s=5	Putki S235JRG2 Laipat P250GH	1
2*	Lämpöä eristävä keraami	Paksuus 250 mm	S-ISOL / S-1100 E	1
3*	Huoltoyhde	L=612mm DN200	Putki 1.4828/253MA Laippa 1.4301	1
4	Keraamien kannake	s=5mm	1.4828/253MA	4
5	Ilmansyöttöyhde	L=612mm DN25	Putki 1.4828/253MA Laippa 1.4301	16
6	Päästömittausyhde	L=505mm DN80	Putki 1.4828/253MA Laippa 1.4301	2
7	Mittausyhde	L=555mm DN15	Putki 1.4828/253MA Muhvi 1.4301	8
8	Kannakekorvat jousikannakkeille	20mm teräslevy	S235JRG2	2
9	Kynsiohjaimet liukukannakkeelle	Kynsiohjain SFS 5367	S235JRG2	2
10*	Tulenkestävä keraami	Paksuus 101 mm	CALDEFLOW LM 74 A	1

5.3.3 Segmentti a3

Kuvassa 10 näkyvä segmentti a3 on hyvin samankaltainen segmentin a2 kanssa. Sen kokonaiskorkeus on myös 2000 mm. Tulipesän halkaisija segmentin sisällä on 494 mm.



KUVA 10. Segmentti a3 (ENERGIATUTKIMUSHALLI 2014b)

Kattilarakenteen kolmanteen segmenttiin on sijoitettu sekundääri-ilmansyöttökehät, jotka ovat vaihdettavissa kolmelle eri korkotasolle. Näistä tasoista on alustavissa suunnitelmissa normaalissa ajossa käytössä vain yksi kerrallaan.

Mittaukseen tarkoitettuja yhteitä kattilarungossa on kahdeksan ja DN 80 kokoluokan mittausyhteitä kaksi kappaletta. Paikat lämpötila-antureille on pyritty valitsemaan sopivalle etäisyydelle sekundääri-ilmansyöttöyhteistä, jolloin sekundääri-ilmansyötön toimivuutta voidaan seurata tarkasti.

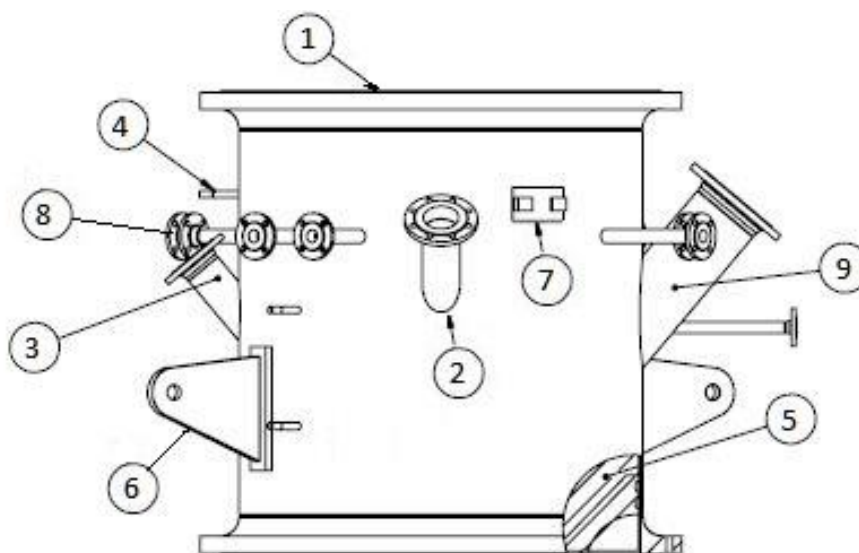
Jousi- ja liukukannakkeiden korvakkeet ovat vastakkaisella puolella segmentin a2 vastaavien kanssa, jolloin riiputuksesta saadaan mahdollisimman stabiili.

TAULUKKO 4. Segmentti a3 (ENERGIATUTKIMUSHALLI 2014b) * ei näy piirrustuksessa.

ITEM NO.	DESCRIPTION	DIMENSIONS	MATERIAL	QTY.
1	Runkoputki + kauluslaipat	L=2000mm Ø1220mm s=5	Putki S235JRG2 Laipat P250GH	1
2*	Huoltoyhde	L=526mm DN300	Putki 1.4828/253MA Laippa 1.4301	1
3*	Tulenkestävä keraami	Paksuus 101 mm /173 mm	CALDEFLOW LM 74 A	1
4*	Lämpöä eristävä keraami	Paksuus 250 mm	S-ISOL / S-1100 E	1
5	Keraamien kannake	s=5	1.4828/253MA	4
6	Ilmansyöttöyhde	L=612mm DN25	Putki 1.4828/253MA Laippa 1.4301	24
7	Päästömittausyhde	L=505 DN80	Putki 1.4828/253MA Laippa 1.4301	2
8	Mittausyhde	L=555mm DN15	Putki 1.4828/253MA Muhvi 1.4301	8
9	Kannakekorvat jousikannakkeille	20mm teräslevy	S235JRG2	2
10	Kynsihjaimet liukukannakkeelle	Kynsihjain SFS 5367	S235JRG2	2

5.3.4 Segmentti a4

Segmentti a4 koostuu kolmesta erillisestä osakokonaisuudesta, jotka ovat kiinni toisissaan pulttiliitoksilla. Kuvassa 11 oleva a4.a segmentti on korkoasemaltaan leijutettavan hiekkapedin yläpuolella. Segmentin korkeus on 1440 mm. Huomionarvoista on, että tässä segmentissä kattilarakenteen sisällä olevan palotilan halkaisija laskee 350 millimetriin.



KUVA 11. Segmentti a4.a (ENERGIATUTKIMUSHALLI 2014b)

Segmenttiin a4.a on on sijoitettu yhteet polttoaineen-, hiekan- ja kalkinsyötölle. Polttoaineensyöttötorven pudotusputken päähän on mahdollista tehdä "hyppyri", jolloin syötettävä polttoaine leviää pedin päälle. Vaihtoehtoisesti polttoaine voidaan syöttää suoraan leijutettavaan hiekkakerrokseen. Tässä määrävänä tekijänä on polttoaineen palakoko ja koostumus.

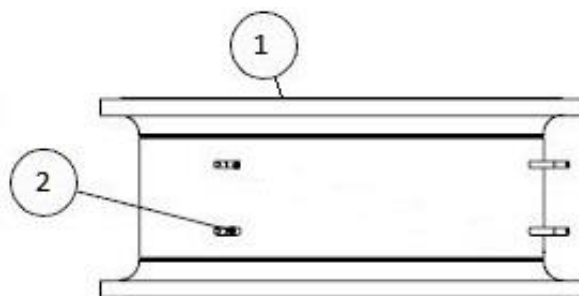
Hieman polttoaineensyöttötorven yläpuolella on yksi ilmansyöttötaso, jolla voidaan syöttää palamisilmaa palotilaan heti polttoaineensyötön jälkeen. Öljypolttimen ja näkölasin yhde, sekä hiekan- ja kalkinsyöttötorvi ovat kohdistettu sopivassa kulmassa suoraan hiekkapedin keskelle.

TAULUKKO 5. segmentti a4.a (ENERGIATUTKIMUSHALLI 2014b) * ei näy piirrustuksessa.

ITEM NO.	DESCRIPTION	DIMENSIONS	MATERIAL	QTY.
1	Runkoputki + kauluslaipat	L=1400mm Ø1220mm s=5	Putki S235JRG2 Laipat P250GH	1
2	Hiekan- ja kalkinsyöttöyhde	L=962mm DN100	Putki 1.4828/253MA Laippa 1.4301	1
3	Öljypolttimen yhde	L=962mm DN100	Putki 1.4828/253MA Laippa 1.4301	1
4	Mittausyhde	L=555mm DN15	Putki 1.4828/253MA Muhvi 1.4301	8
5	Keraamien kannake	s=5	1.4828/253MA	4
6	Kannakekorvat jousikannakkeille	20mm teräslevy	S235JRG2	2
7	Kynsihjaimet liukukannakkeelle	Kynsihjain SFS 5367	S235JRG2	2
8	Ilmansyöttöyhde	L=612mm DN25	Putki 1.4828/253MA Laippa 1.4301	8
9	Polttoaineensyöttötorvi	L=1256mm DN200	1.4060	1

10*	Näkölasin yhde	L=950mm DN100	1.4828/253MA	1
11*	Tulenkestävä keraami	Paksuus 173 mm	CALDEFLOW LM 74 A	1
12*	Lämpöä eristävä keraami	250 mm	S-ISOL / S-1100 E	1

Kuvassa 12 oleva segmentti a4.b on leijutettavan hiekkapedin kohdalla oleva osakokonaisuus, jonka korkeus on 600 mm. Kattilan sisällä olevan palotilan halkaisija on tässä kohdassa 350 mm.



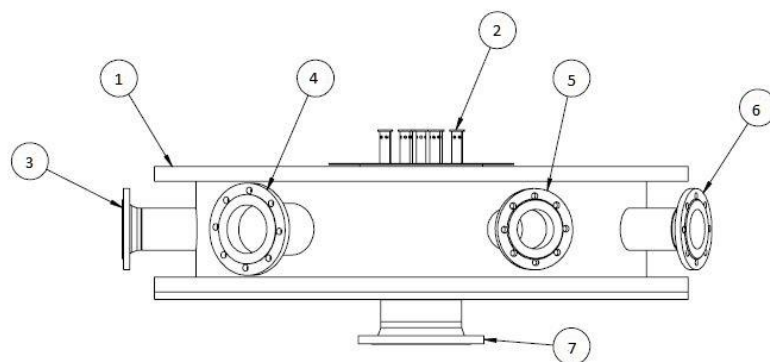
KUVA 12. Segmentti a4.b (ENERGIATUTKIMUSHALLI 2014b)

Läpivientiyhteitä leijutettavan pedin kohdalla on neljä, jotka ovat DN 15 kokoluokan mittauripaikkoja. Tämä osakokonaisuus on pulttiliitoksella kiinni muissa a4 segmentin osissa, jotta se on vaihdettavissa korvaavaan, mikäli petihiekka sintraantuu vaurioittaen kattilan sisärakenteita.

TAULUKKO 6. Segmentti a4.b (ENERGIATUTKIMUSHALLI 2014b) * ei näy piirrustuksessa.

ITEM NO.	DESCRIPTION	DIMENSIONS	MATERIAL	QTY.
1	Runkoputki + kauluslaipat	L=600mm Ø1220mm s=5	Putki S235JRG2 Laipat P250GH	1
2	Mittausyhde	L=555mm DN15	Putki 1.4828/253MA Muhvi 1.4301	4
3*	Keraamien kannake	s=5	1.4828/253MA	4
4*	Tulenkestävä keraami	Paksuus 173 mm	CALDEFLOW LM 74 A	1
5*	Lämpöä eristävä keraami	Paksuus 250 mm	S-ISOL / S-1100 E	1

Kuvassa 13 oleva a4.c kappale toimii kattilan arinarakenteena. Sen tehtävänä on palamisilman, kiertokaasun, sekä kattilan lämmitykseen tarkoitettujen Leister-puhaltimien tuottamien kaasujen sekoittaminen ja syöttö palotilaan. Ilmalaatikon sivussa on yhteen palamisilman, kiertokaasun, savukaasun ja leister-puhaltimien liitännöille.



KUVA 13. Segmentti a4.c (ENERGIATUTKIMUSHALLI 2014b)

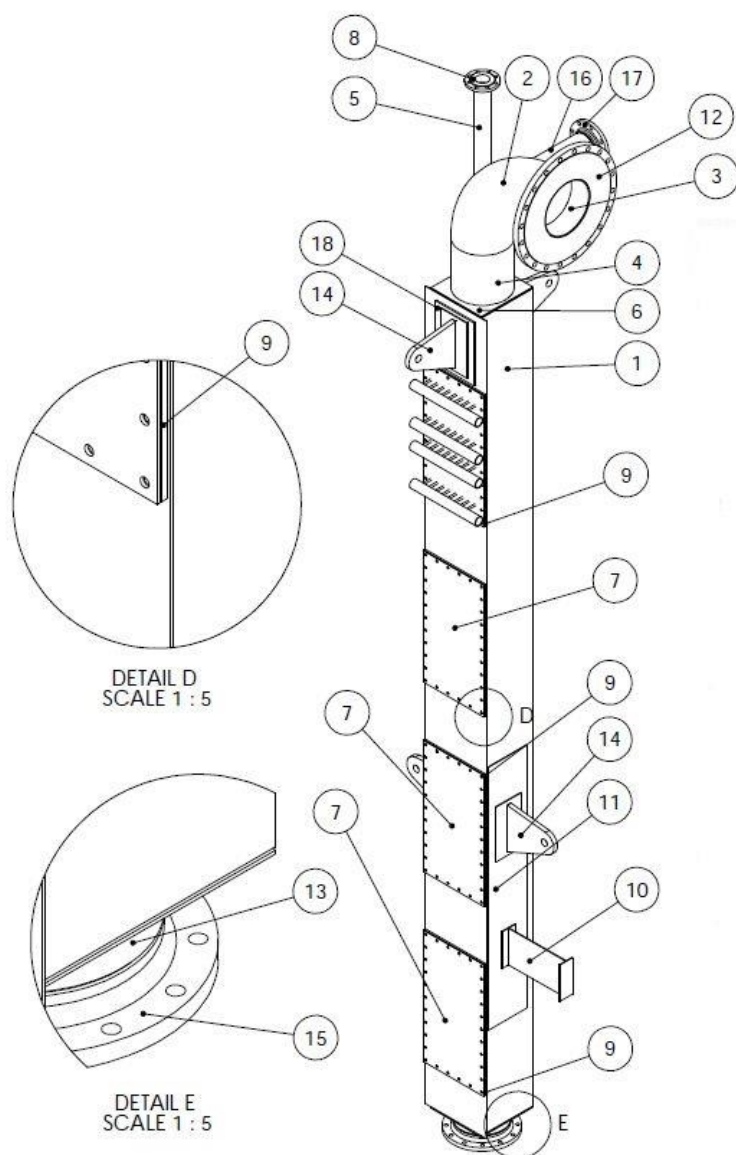
Segmentissä a4.c on leijutusilmaa varten suunnitellut suuttimet, jotka saavat aikaan pedissä leijutus-efektin. Niiden mitoitusperusteista on tarkempi kuvaus kohdassa Primääri-palamisilmansyöttö.

TAULUKKO 7. Segmentti a4c. (ENERGIATUTKIMUSHALLI 2014b)

ITEM NO.	DESCRIPTION	DIMENSIONS	MATERIAL	QTY.
1	Runkorakenne	L = 366mm	S235JRG2	1
2	Ilmansyöttösuuttimet	9 kpl ilmasuuttimia	1.4828	1
3	Palamisilman ja kiertokaasun syöttöyhde1		S235JRG2	1
4	Palamisilman ja kiertokaasun syöttöyhde2		S235JRG2	1
5	Savukaasu korroosiontestaus kammiolta		S235JRG2	1
6	Leister polttimen liityntäyhde		S235JRG2	1
7	Tuhkanpoistoyhde	L = 86 mm	S235JRG2	1

5.3.5 Segmentti a5

Kuvassa 14 näkyvä segmentti a5, eli takaveto on putkimutkasta ja peltirakenteesta koostuva osakokonaisuus. Siihen on suunniteltu neljä kappaletta lämmönsiirtimille tarkoitettuja paikkoja. Takavedossa ei ole ollenkaan keraamista rakennetta eristämään lämpöä tai suojaamaan teräspintoja. Tulenkestävästä austeniittisesta teräksestä valmistetun peltirakenteen seinämänvahvuus on 5 mm. Kannakointikohtiin on hitsattu lisävahvikkeina teräslevyjä tukemaan rakennetta, kun se kattilan ollessa ajossa kuumenee noin 900 °C-asteeseen.



KUVA 14. Segmentti a5. (ENERGIATUTKIMUSHALLI 2014b)

Yläosassa on standardimitoitettu putkimutka ja laippapinta kiinnitykseen ylimpään kattikasegmenttiin. Mutkan kohdalla on yhde, josta savukaasua voidaan ajaa korroosiontestauskammioon. Myös sondi on mahdollista työntää kohtisuoraan segmentti a5:n sisälle mutkakohdan päällä olevasta yhteestä.

TAULUKKO 8. Segmentti a5. (ENERGIATUTKIMUSHALLI 2014b) * ei näy piirustuksessa.

ITEM NO.	DESCRIPTION	DIMENSIONS	MATERIAL	QTY.
1	Takavedon runko-osa	L=5600mm s=5	1.4828/253MA	1
2	Putkimutka	DN350	1.4828/253MA	1
3	Putki	L=136mm DN350	1.4828/253MA	1
4	Putki	L=342mm DN350	1.4828/253MA	1
5	Mittausyhteen putki	L=620mm DN80	1.4828/253MA	1

6	ylakansi	PI 400 x 410 s=10	1.4828/253MA	1
7	Lämmönsiirrinpaikkojen kansi	PI 480 x 900 s=5	1.4828/253MA	4
8	Kauluslaippa	DN80	1.4301	1
9	Kauluspala	s=15	1.4828/253MA	4
10	Liukukannake	PI 450 x 250 s=5	1.4828/253MA	1
11	Tukilevy	PI 300 x 1800 s=5	1.4828/253MA	1
12	Kiinnityslaippa	Ø780mm s=40mm lähtöreikä DN350 putkelle	1.4828/253MA	1
13	Alaosan muunnospala	L=85mm s=5,6 ja 10	1.4828/253MA	1
14	Tulenkestävä kannake	s=30	1.4301	4
15	Kauluslaippa	DN300	1.4828/253MA	1
16	Savukaasun väliottoyhde	L=500 DN150	1.4828/253MA	1
17	Kauluslaippa	DN150 PN16	1.4301	1
18	Kannakkeen tukilevy	PI 300 x 430 s=10	1.4828/253MA	2
19*	Kannakkeen tukilevy	PI 300 x 430 s=5	1.4828/253MA	1

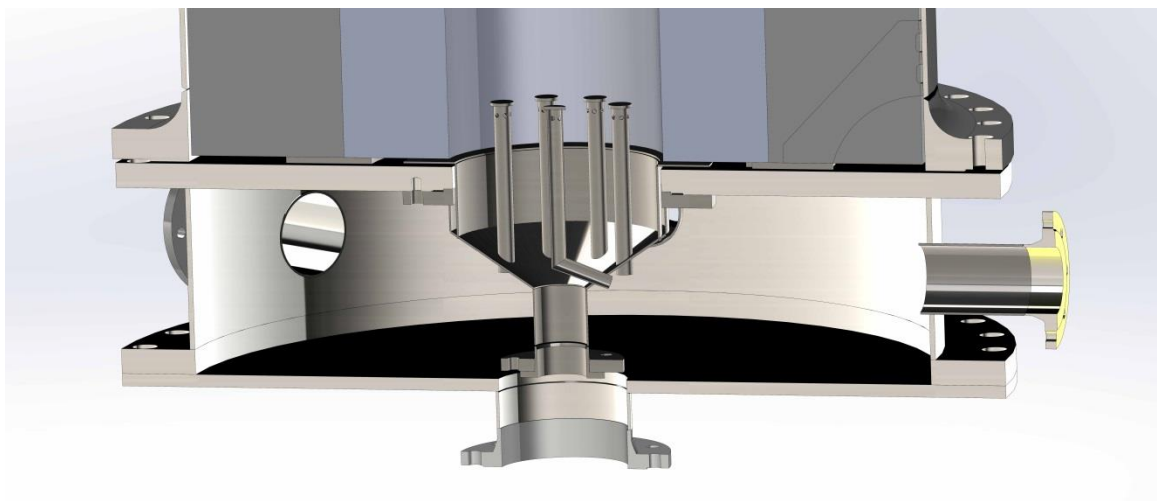
5.3.6 Palamisilmansyöttö ja kiertokaasu

Palamisilman vaihteistamisen avulla päästään vaikuttamaan kattilassa tapahtuvaan palotapahtumaan. Palaminen tapahtuu täydellisemmin, kun palamisilmaa on saatavilla riittävästi oikeassa kohdassa palotapahtumaa.

Tutkimusleijupetikattilassa kiertokaasua on myös mahdollista käyttää hyväksi palamisen lämpötilaprofiilin tasaamiseksi ja paikallisten lämpötilahuippujen vähentämiseksi. Nämä lämpötilaprofiilissa näkyvät piikit ovat haitallisia termisten tyyppiyhdisteiden muodostumisen kannalta.

5.3.6.1 Primääri-palamisilmansyöttö

Primääri-ilmansyöttö on toteutettu kuvassa 15 näkyvän ilmalaatikon kautta, jonka sisäpintaan on pulteilla kiinnitettävissä leijutusilmansyöttöön tarkoitettu arinarakenne. Arinarakenteessa on 9 kappaletta ilmansyöttösuuttimia, jossa jokaisessa on 6 reikää. Näiden suuttimien avulla petihiekan leijutus saadaan toteutettua. Arinaa jäähdytetään ilmalaatikossa kiertävällä palamisilmalla. Ilmansyöttösuuttimien rakenne on toteutettu siten, että ne ovat tarvittaessa vaihdettavissa. Primääri-ilmansyötön osuus ilmamäärästä on noin 50%.



KUVA 15. Leikkauskuva ilmalaatikosta.

5.3.6.2 Palamisilmasuuttimien mitoitus

Palamisilmansyöttösuuttimien mitoituksessa on otettu huomioon ennalta määrätyt ehdot, jotta ilma jakaantuisi tasaisesti koko pedin alueelta. Paine suuttimen jälkeen tulee olla vielä tarvittavan suuri, jotta ilma pääsee tunkeutumaan hiekkapedin lävitse. Palamisilmapuhaltimen tuottama ylipaine on määräävä tekijä hiekkapedin paksuudelle. Hiekkapedin ollessa 500 mm vaatii se vielä suuttimen jälkeen 5000 Pa ylipaineen. Maksimissaan painehäviö suuttimessa saa olla noin 5000 Pa.

Taselaskennasta on saatu tarvittavan palamisilman osuudeksi täydellä kuormalla yhteensä 462 m³n/h. Suutinten reiät on mitoitettu siten, että 40%:lla tarvittavasta ilmamäärästä primääriilmansyötössä niissä tapahtuu noin 1000 Pa painehäviö lämpötilan ollessa 500 °C. Tällöin mitoituksessa käytettävä ilmamäärä on 462 m³n/h * 50% * 40% = 92 m³n/h. Seuraavaksi määritetään suuttimissa olevien reikien koko ja lukumäärä.

Tämä tapahtuu laskemalla reikien kokonaispinta-ala. Määritetään reiän halkaisijaksi 6 mm ja reikien lukumääräksi yhteensä 54kpl. Palamisilman tiheys on 1.28 kg/m³n, kun ilmankosteus on 66 %.

$$A = \left(\pi * \frac{(0,006m)^2}{4} \right) * 54 = 0,0015 m^2$$

Nopeus suuttimessa riippuu suuttimelle tulevasta tilavuusvirrasta, joka taas on riippuvainen käytettävän palamisilman lämpötilasta. Palamisilman tiheys muuttuu lämpötilan muuttuessa. Tämän jälkeen lasketaan tilavuusvirta ja nopeus suuttimessa eri lämpötiloissa.

$$\rho^{20^\circ\text{C}} = 1,19 \text{ kg/m}^3$$

$$Qv^{20^\circ\text{C}} = \left(\frac{92 \text{ m}^3\text{n/h}}{1,19 \text{ kg/m}^3 / 1,28 \text{ kg/m}^3\text{n}} \right) / 3600 = 0,0275 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho^{100^\circ\text{C}} = 0,94 \text{ kg/m}^3$$

$$Qv^{100^\circ\text{C}} = \left(\frac{92 \text{ m}^3\text{n/h}}{0,94 \text{ kg/m}^3 / 1,28 \text{ kg/m}^3\text{n}} \right) / 3600 = 0,0315 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho^{200^\circ\text{C}} = 0,74 \text{ kg/m}^3$$

$$Qv^{200^\circ\text{C}} = \left(\frac{92 \text{ m}^3\text{n/h}}{0,74 \text{ kg/m}^3 / 1,28 \text{ kg/m}^3\text{n}} \right) / 3600 = 0,0445 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho^{300^\circ\text{C}} = 0,61 \text{ kg/m}^3$$

$$Qv^{300^\circ\text{C}} = \left(\frac{92 \text{ m}^3\text{n/h}}{0,61 \text{ kg/m}^3 / 1,28 \text{ kg/m}^3\text{n}} \right) / 3600 = 0,0539 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho^{400^{\circ}\text{C}} = 0,52 \text{ kg/m}^3$$

$$Qv^{400^{\circ}\text{C}} = \left(\frac{92 \text{ m}^3\text{/h}}{0,52 \text{ kg/m}^3 / 1,28 \text{ kg/m}^3\text{n}} \right) / 3600 = 0,0632 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho^{500^{\circ}\text{C}} = 0,45 \text{ kg/m}^3$$

$$Qv^{500^{\circ}\text{C}} = \left(\frac{92 \text{ m}^3\text{/h}}{0,45 \text{ kg/m}^3 / 1,28 \text{ kg/m}^3\text{n}} \right) / 3600 = 0,0726 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{\text{suutin}20^{\circ}\text{C}} = \frac{0,0275 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0021 \text{ m}^2} = 13,1 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{suutin}100^{\circ}\text{C}} = \frac{0,0315 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0021 \text{ m}^2} = 15,0 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{suutin}200^{\circ}\text{C}} = \frac{0,0445 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0021 \text{ m}^2} = 21,2 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{suutin}300^{\circ}\text{C}} = \frac{0,0539 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0021 \text{ m}^2} = 25,7 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{suutin}400^{\circ}\text{C}} = \frac{0,0632 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0021 \text{ m}^2} = 30,1 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{suutin}500^{\circ}\text{C}} = \frac{0,0726 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0021 \text{ m}^2} = 34,6 \text{ m/s}$$

Painehäviö reiässä lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$\text{painehäviö reiässä} = 0,5 * \rho * \left(\frac{V}{Cd} \right)^2, \text{ jossa}$$

ρ = ilman tiheys lämpötilassa

v_{suutin} = ilmavirtauksen nopeus suuttimessa

$Cd = 0,7$

$$\Delta p_{20^{\circ}\text{C}} = 0,5 * 1,19 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left(\frac{13,1 \text{ m/s}}{0,7} \right)^2 = 396 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{100^{\circ}\text{C}} = 0,5 * 0,94 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left(\frac{15,0 \text{ m/s}}{0,7} \right)^2 = 504 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{200^{\circ}\text{C}} = 0,5 * 0,74 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left(\frac{21,2 \text{ m/s}}{0,7} \right)^2 = 639 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{300^{\circ}\text{C}} = 0,5 * 0,61 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left(\frac{25,7 \text{ m/s}}{0,7} \right)^2 = 774 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{400^{\circ}\text{C}} = 0,5 * 0,52 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left(\frac{30,1 \text{ m/s}}{0,7} \right)^2 = 909 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{500^{\circ}\text{C}} = 0,5 * 0,45 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left(\frac{34,6 \text{ m/s}}{0,7} \right)^2 = 1044 \text{ Pa}$$

Aikaisemmin kohdassa 3.7 Tyypilliset toiminta-arvot käytiin läpi normaalin leijupetikattilan primääri-palamisilman lämpötila, joka on välillä 20 - 400 °C. Tutkimusleijupetikattilalla tullaan käyttämän tästä vielä korkeampia lämpötiloja. Yllä esitettyjen laskelmien mukaan palamisilman lämpötilan ollessa 500 °C painehäviö suuttimessa on 1044 Pa, joka on alussa määrättyjen ehtojen mukainen. Nopeus suuttimessa on tällöin 47,6 m/s. Leijutusnopeus koko pedin halkaisijalla (350 mm) laskettuna ym. arvoilla on 0,29 m/s 20 °C asteessa ja 0,76 m/s 500 °C asteessa.

Laskelmista voidaan huomata, että mitä korkeampi palamisilman lämpötila on, sitä suuremmaksi nopeus suuttimessa kasvaa ja sitä kautta myös painehäviö kasvaa. Laskelmien mukaan alussa määritetty määrä suuttimia ja niihin porattuja reikiä on leijutusilman osalta toimiva ratkaisu.

Laskentapohjasta löytyy myös laskelmat pedin minimileijutusnopeudeksi käytettäessä eri halkaisijaltaan olevia hiekkapartikkeleita. Mitä pienempi on hiekan jyvän halkaisija, sitä pienemmällä nopeudella pedin leijutus lähtee käyntiin. Laitoksella on varattuna useita hiekkasäkkejä petimateriaaliksi. Niiden halkaisijat vaihtelevat 0,5 mm - 1,3 mm. Tarkemmat laskelmat löytyvät liitteestä 1.

5.3.6.3 Sekundääri- ja tertiääri-palamisilmansyöttö

Sekundääri- ja tertiääri-ilmansyöttöyhteet ovat neljällä eri korkotasolla kattilasegmenteissä normaalin ajon aikana. Yhdelle tasolle on sijoitettu kahdeksan kappaletta ilmansyöttösuuttimia. Ilmansyöttötasojen korkoasemaa voidaan vaihtaa tarvittaessa usealle eri korkoasemalle varapaikkojen avulla. Kuvassa 16 on näkyvillä segmentin a3 sekundääri-ilmansyötölle asennettu ilmansyöttökehä, sekä kaksi kappaletta varapaikkoja ylä- ja alapuolella. Sekundääri-ilman osuus on noin 30% ja tertiääri-ilman noin 20%.



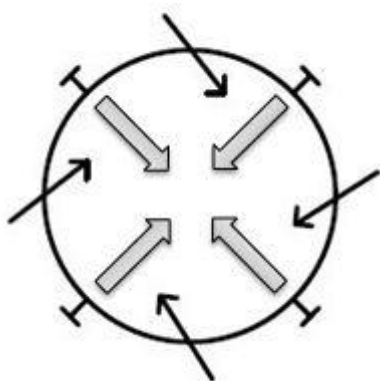
KUVA 16. Sekundääri-ilmansyöttöyhteet.

TAULUKKO 9. Ilmansyöttötasojen arvot (ENERGIATUTKIMUSHALLI 2014a)

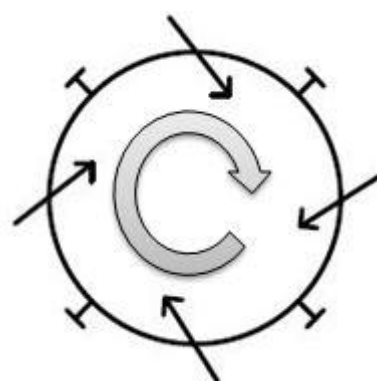
Kattilasegmentti	Ilmansyöttötasojen määrä segmentissä	Viipymäaika polttoaineensyötöstä (sek)	Korkoasemat Arinan pinnasta (mm)	Osuus ilmamäärästä (%)
A4 (Primääri)	1	<0,4	0 1500	50
A3 (Sekundääri)	3	0,4-1,1	2500 2800 3100	30
A2 (Tertiääri)	2	2,1-2,6	5000 5700	10
A1 (Tertiääri)	1	2,6-3,1	6400	10

5.3.6.4 Ilmansyöttösuuttimien suuntaus palotilassa

Ilmansyöttösuuttimien suuntausta voidaan muuttaa polttoaineen ja hapen sekoittumisen tutkimiseksi. Normaalisissa tilanteissa palamilmansyöttö on toteutettu kohtisuoraan kattilan keskipistettä kohti kuvan 17 mukaisesti. Vaihtoehtoisesti ilmansyötön korkotasolla voi toteuttaa myös pyörteellä kuvan 18 mukaisesti tai näiden menetelmien yhdistelmänä. Tämä voi mahdollisesti vaikuttaa myös poltossa tapahtumaan viipymäaikaan ja polttoaineen sekoittumiseen hapen kanssa.



KUVA 17. Ilmansyöttö kohtisuoraan (ENERGIATUTKIMUSHALLI 2014d)



KUVA 18. Ilmansyöttö pyörteellä (ENERGIATUTKIMUSHALLI 2014d)

5.3.7 Tarkastusluukut

Tarkastusluukkuja on kolmessa ylimmässä kattilasegmentissä. Ne ovat DN 200 kokoluokan kauluslaipallisia yhteitä, joista päästään tarvittaessa huoltamaan kattilan sisäosia. Materiaalina putken osalta on käytetty kuumankestävää terästä (253MA/EN 1.4835) ja kauluslaipan materiaaliksi on valittu ruostumaton teräs (EN 1.4301). Kuvassa 19 on esitetty segmentin a3 tarkastusluukku.



KUVA 19. Tarkastusluukku.

Tarkastusluukkujen umpilaippapinnat saattavat kuumentua tulenkestävän ja eristävän keraamikerroksen puuttumisen vuoksi tarkastusluukkujen kohdalta. Näissä kohdissa joudutaan käyttämään eristekerrosta kattilan ulkopuolella. Toinen vaihtoehto on tehdä putkikyhteen sisälle eristyspinta.

5.3.8 Mittausyhteet

Kattilan segmenteissä on useita yhteitä lämpötilan, paineen ja paine-eron mittausta varten. Lämpötilanmittaukset on sijoitettu korkeustasossa hieman palamisilman syöttöpaikkojen yläpuolelle, jolloin päästään mittaamaan tarkasti palamisilman vaikutusta palotilassa.

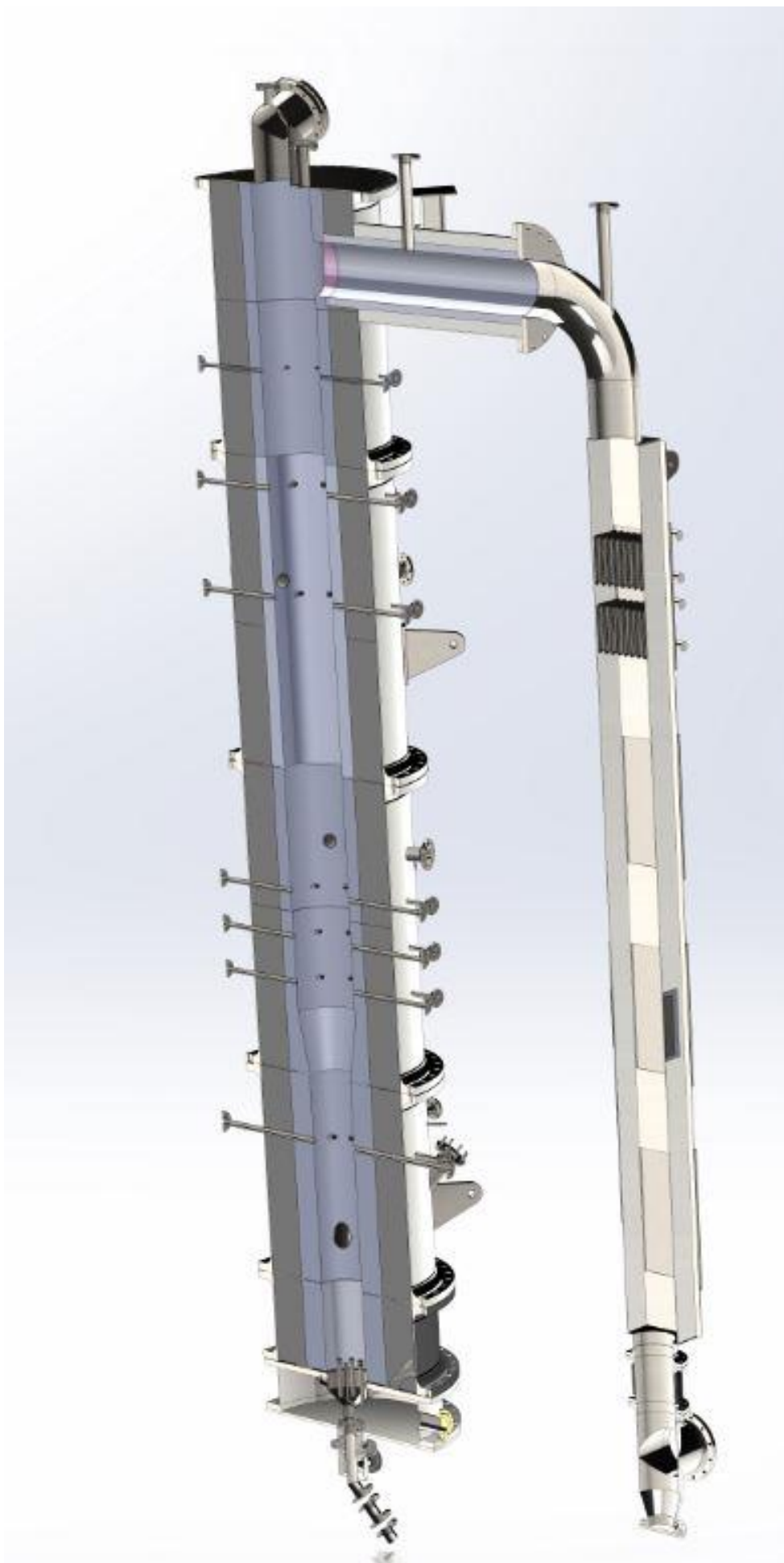
Tutkimusleijupetikattilassa on alustavasti 15 lämpötilanmittausta kattilarungossa, jotka on jaoteltu ympäri kattilarakennetta. Paineenmittauksia on kaksi kappaletta, sekä paine-eron mittaus toteutetaan leijutettavan pedin ylä- ja alapuolelta. Jäännöshappea mitataan kattilan palotilan jälkeen. Varapaikkoja lisämittausten asentamiselle on reipas kymmenkunta.



KUVA 20. DN 15 mittausyhteet.

Kuvassa 20 näkyvät lämpötilanmittausyhteet ovat DN15 kokoluokan yhteitä $\frac{1}{2}$ tuuman kierrelitioksella. Niiden avulla voidaan mitata kattilasta lämpötilaa, painetta, paine-eroa, sekä myös syöttää esimerkiksi ammoniakki-vesiliuosta palotilaan.

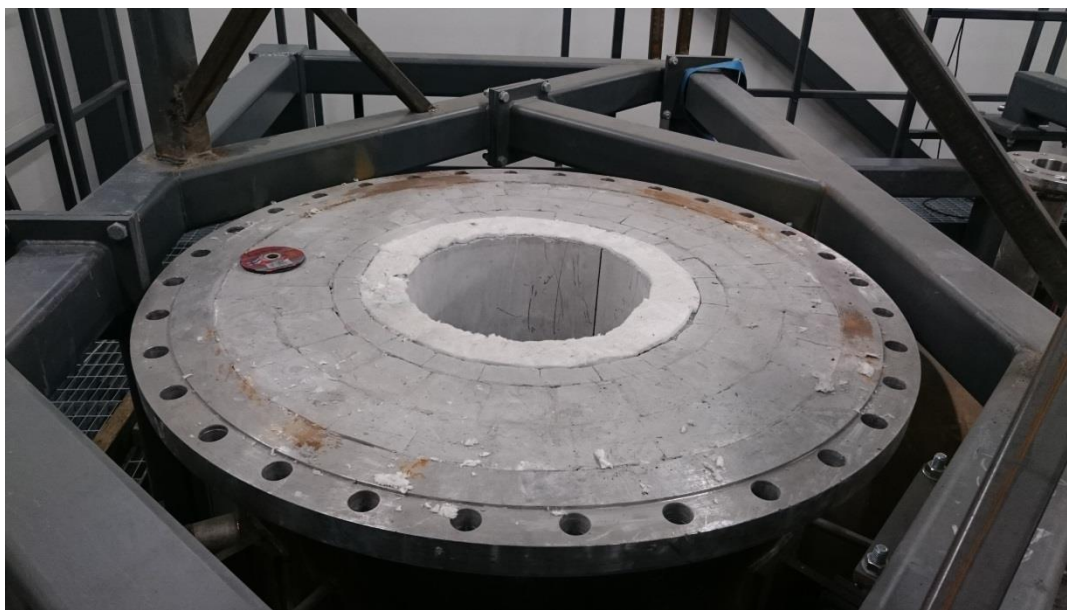
Kuvassa 21 on esitetty leikkauskuva leijupetikattilan 3D-mallista, jossa on nähtävillä läpivientiyhteet kattilan palotilaan. Tulenkestävät- ja eristävät keraamikerrokset ja palamisilma esilämmitin (LUVO) ovat myös erotettavista kuvassa.



KUVA 21. Leikkauskuva leijupetikattilasta.

5.3.9 Tulenkestävät ja lämpöä eristävät keraamit

Tutkimusleijupetikattilan sisärakenne koostuu tulenkestävästä ja lämpöä eristävästä keraamikerroksesta. Segmenttien alaosaan on suunniteltu kuumankestävästä teräksestä valmistetut kannakkeet, jotka tukevat keraamikerroksia kattilasegmenttien ollessa irti toisistaan asennus- ja korjausvaiheessa. Segmenttien välisiin laippaliitoksiin on asennettu eristeeksi keraamista eristepeittoa vähentämään lämpövirtoja liityntäkohdista ja ehkäisemään vuotokohtia.



KUVA 22. Keraamikerrokset.

Kuvassa 22 on esitetty kattilan sisällä olevat keraamikerrokset. Jokainen kattilassa oleva yhde menee kummankin keraamikerroksen läpi palotilaan asti. Keraamien lämmitys kattilan ylösajon aikana on kriittistä keraamien kestävyuden kannalta. Sopiva lämmitysnopeus on 1,5 - 5 °C /min. Suuremmissa kattiloissa se on luokkaa 3 °C / min. Lisäksi kattilaosia purettaessa, korjattaessa tai sisäosia nuohottaessa keraameja ei saa kolhia, koska ne hakeavat herkästi.

5.3.10 Kannakointi

Kattilan kannakointi on toteutettu yläpuolelta roikottamalla, jolloin lämpötilan muutosten aiheuttamat lämpölaajenemiset tapahtuvat kattilarungon suunnassa lattiatasoa kohti. Kuvassa 23 on näkyvillä ylimmän segmentin kiinteä kannake. Näitä kiinteitä kannakkeita on ylimmässä segmentissä neljä kappaletta tasaisella jaolla kattilan ympärillä. Nämä kiinteät kannakkeet pystyvät kantamaan kaikkien kattilasegmenttien painon, joka on noin 13 000 kg.

Lisäksi jokaisessa kolmessa seuraavassa segmentissä on kaksi kappaletta jousikannakkeita ja liukukannakkeita pitämässä kattilan tuettuna myös alemmista tasoista. Jousikannakkeet ovat aina vuorotellen eri puolella kattilasegmenttejä. Tällöin kannakointi on mahdollisimman stabiili. Kuvassa 24 esitetyt jousikannakkeet ovat mitoitukseltaan 1 700 kg asti ja ne sallivat kattilarungon lämpölaajentumisen korkeussuunnassa.



KUVA 23. Kiinteä kannakointi



KUVA 24. Liuku- ja jousikannake

Takavedossa on myös yläosasta kiinteä kannakointi 20 mm kierretangolla, sekä kaksi kappaletta jousikannakkeita, jotka sallivat lämpölaajentumisen korkeussuunnassa. Takavedon peltirakenteen seinämänvahvuus on vain 5 mm, jonka takia tukilevyjä on hitsattu rakenteeseen kannakkeiden kiinnityskohdissa.

5.3.11 Lämpölaajentumiset

Kattilarakenteissa lämpölaajentumiset on pyritty minimoimaan tulenkestävän ja lämpöä eristävien keraamien avulla. Palotilan tulevissa yhteissä on huomioitu pieni välys, jotta ne eivät laajentuessaan repisi palotilan sisäpintojen keraameja pilalle. Leijupetikattilan ulkopinnan lämpötila pyritään pitämään maksimissaan noin 60 °C asteessa. Tällöin kattilan kokonaispituus ei tule kasvamaan lämmitessään laskennallisesti kuin noin 10 mm. Itse leijupetikattila on roikotettuna yläosastaan kiinteästi laajeten vapaasti alaspäin. Jousikannakkeet sallivat lämpölaajentumisen pystysuorassa suoraan alaspäin.

Polttoaineensyöttötorvessa ja hiekan- ja kalkinsyöttötorvessa on suoralla osuudella palkeet, jotka ottavat lämpölaajentumisen vastaan. Ilmansyöttöyhteiden osalta pystysuorassa putkituksessa on tehty riittävästi mutkia, jotka käyttäytyvät haitarin tavoin, jolloin lämpölaajentuminen on hallinnassa.

Takavedon osalta lämpötilojen aiheuttaman muutokset on ongelmallista. Tällä osalla ei ole ollenkaan keraamikerroksia ja näin lämpötilan muutos tulee olemaan hyvin suuri, jolloin lämpölaajentuminen

muodostuu ongelmaksi kattilarakenteille. Laskennallisesti tämä on luokkaa 100 mm koko takavedon pituudelta. Palamisilman esilämmitin (Luvo) on sijoitettu heti takavedon alku päähän, jotta lämpötilaa saataisiin laskettua heti, kun kattilan omat keraamikerrokset loppuvat. Lisäksi kattilan yläosassa on yhteitä mahdollista myöhempää jäähdytyspiirin asennusta varten, mikäli takavedon suuri lämpötila tuottaa ylitsepääsemättömiä ongelmia.

Takavedon kannakointi on suoritettu kiinteästi yläosasta kattilarakenteiden tapaan. Kaksi kappaletta jousikannakkeita ja tulenkestävä palje ottaa lämpölaajentumisen vastaan 9 metrisen kappaleen alaosassa. Takavedon eristys on hoidettu eristyspeittoja käyttäen, jotta lämmönsiirtimien paikoille päästään tarvittaessa käsiksi.

5.3.12 Likaantumisen

Kierrätyspolttoaineiden poltossa syntyvien tuhkien kalsium ja alkalipitoisuudet ovat korkeat. Myös klooria syntyy vaihtelevasti. Tällaiset polttoaineet liikaavat kattilapintoja enemmän, kuin fossiiliset polttoaineet ja turve.

Tutkimusleijupetikattilan keraamirakenteisiin, läpivientiyhteisiin ja pussikohtiin tulee todennäköisesti kertymään lentotuhkaa, leijutushiekkaa ja muita epäpuhtauksia. Tutkimuskäytössä kattila voidaan joutua tutkimuskohteesta riippuen puhdistamaan huolellisesti ennen jokaista ajotilannetta. Tällöin sisään ja ulos menevät ainevirrat ovat tasapainossa ja tutkimustuloksista on hyötyä. Tämän kaltainen toimenpide on tehtävä, mikäli tutkimuskattilalla halutaan tehdä tarkkaa tutkimustyötä. Toinen näkökulma on kattilan toiminta normaalin leijupetikattilan tavoin, jolloin nuohousta käytetään lähinnä lämmönsiirtopintojen puhdistukseen kuonasta.

Kattilarakenteen päällä, ylimmässä segmentissä on DN80 kokoluokan paikka sondille, jolla kattilan sisäpinnat voidaan puhdistaa paineilmasuihkun avulla. Nuohouksessa irronneet epäpuhtaudet voidaan kerätä tuhkanpoistojärjestelmän kautta talteen.

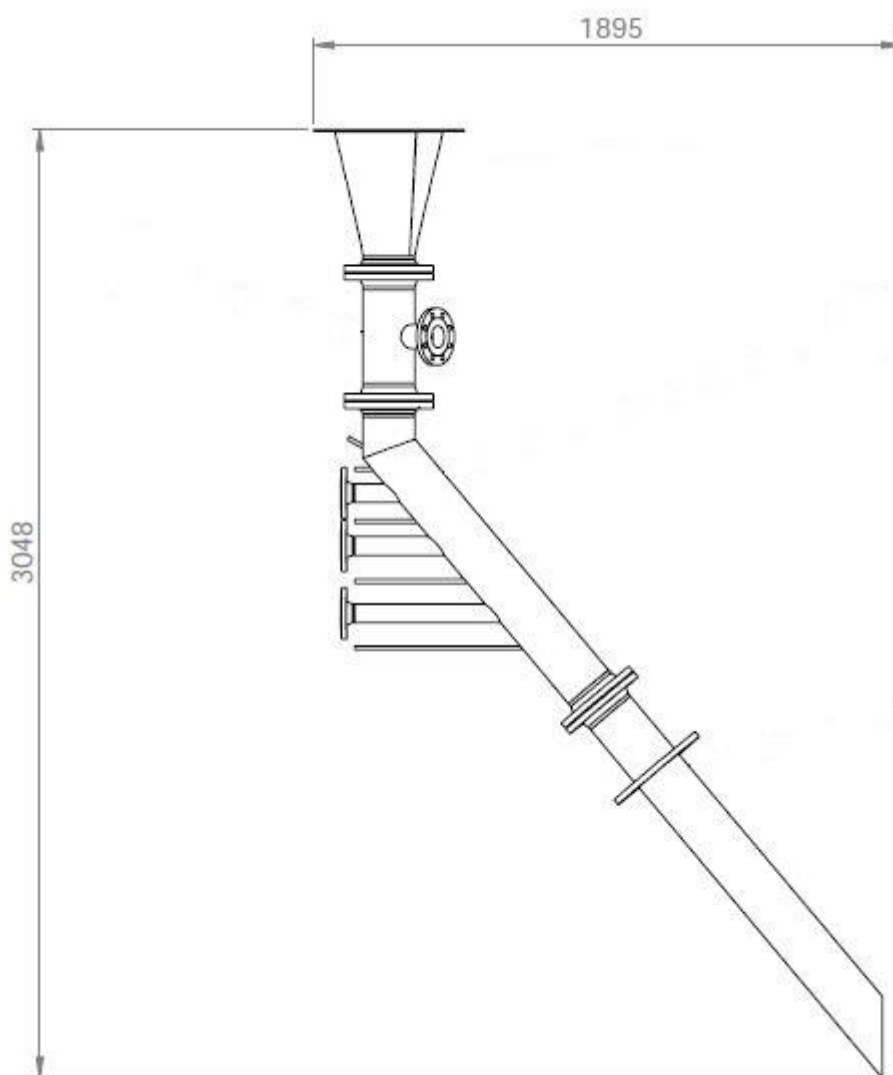
Tutkimusleijupetikattilan vuotokohtat on pyritty minimoimaan tekemällä ns. tuplalaippaliitoksia kattilan yhteille. Tällä tavoin yhteiden rakenteesta on saatu tiivimpi. Vuotokohtia pyritään kattilan käytön aikana seuraamaan paine- ja paine-eromittauksilla.

Tutkimuskattilan savukaasulinjat pyritään pitämään puhtaana tuhkasta riittävän kovalla virtausnopeudella, jolloin savukaasulinjat puhdistavat itse itsensä. Likaantumisen kannalta oleellista on tehdä savukaasulinjojen rakenteista yhtenäisiä ja jouhevia, jolloin linjaan ei tule kohtia, johon tuhka pääsee kertymään. Lisäksi savukaasulinjoissa on yhteitä, joiden avulla voidaan tarvittaessa puhdistaa linjat paineilman avulla.

5.3.13 Polttoaineensyöttötorvi

Polttoaineensyöttötorven tehtävänä on polttoaineen kuljettaminen kattilan palotilaan. DN 150 kokoluokan syöttötorvessa on paineilman syöttöä varten varattuja paikkoja, jotka takaavat polttoaineen sujuvan kulkeutumisen ja mahdollisten tukosten avaamisen. Lisäksi syöttötorvessa on kolme yhdettä palamisilman ja yksi yhde kiertokaasun syöttöä varten.

Kuvassa 25 näkyvän torven yläosassa on muunnoskappale sulkusyöttimen kiinnitykseen, josta polttoainetta pudotetaan syöttötorveen painovoiman avulla. Syöttötorven kattilan palotilaan menevän linjan kulma on 50° suhteessa laitoksen lattiatasoon ja suoraa osuutta ennen mutka kohtaa on noin metrin verran, jolloin polttoaine saa tarvittavan paljon nopeutta ennen kattilalle laskevaa osuutta.



KUVA 25. Polttoaineensyöttötorvi. (ENERGIATUTKIMUSHALLI 2014b)

5.3.14 Hiekan- ja kalkinsyöttö

Hiekka- ja kalkkisiiloja roikotetaan kattilan ympärille rakennetuista teräsrakenteista. Tilavuudeltaan hiekkasiilo on $0,5 \text{ m}^3$ ja kalkkisiilo $0,2 \text{ m}^3$. Kummassakin siilossa on punnitusanturit, jolloin hiekan ja

kalkin määrää voidaan seurata suoraan valvomosta. Hiekansyöttötorvi johtaa leijutushiekkaa suoraan kattilan palotilaan. Kalkinsyöttötorvi on yhteydessä hiekansyöttötorveen. Siilojen täyttö tapahtuu niiden päällä olevasta täyttöyhteestä.

Kummankin torven alla on palje ottamassa vastaan leijupetikattilan lämpölaajentumisen. Lisäksi palje mahdollistaa siilojen punnituksen, koska kiinteä syöttötorvi tukisi liikaa siiloja punnituksen yhteydessä ja näin vääristäisi mittaustuloksia.

Hiekkaa ja kalkkia annostellaan kattilalle kahden giljotiinipellin avulla. Ylempi pelti aukeaa ja täyttää kahden pellin välisen tilan. Tämän jälkeen ylempi menee kiinni ja alempi laskee peltien väliin jääneen määrän hiekkaa tai kalkkia kattilan tulipesään. Yksi syöttökerta giljotiinipeltien avulla lisää petiin $0,48 \text{ dm}^3$ hiekkaa ja $0,42 \text{ dm}^3$ kalkkia. Kyseiset hiekka- ja kalkkimäärät ovat määritetty peltien väliin jäävän taskun tilavuuden mukaan. Hiekan ja kalkin kulkeutumisen takaamiseksi paineilmapillit on asennettu kummankin siilon sisään ja syöttötorveen, joista saadaan tarvittaessa paineilmapulsseja hiekan kuljettamiseksi kattilaan.

5.3.15 Räjähdystorvi

Räjähdystorvi on kattilan päälle tulevaan laippapintaan suunniteltu osakokonaisuus. Sen tehtävänä on toimia kattilan suunniteltuna heikkona kohtana, mikäli kattilassa jostain syystä paine pääsee nousemaan liian korkeaksi. Torvessa on koneistettu kalvo, joka on testattu puhkeavan, kun kalvojen välinen paine-ero saavuttaa määritetyn arvon.

Räjähdystorven yhteydessä päälle tulevassa laipassa on myös paikka näkölasille, öljypolttimelle ja yhde sondin pudottamiseksi kattilan palotilaan. Kattilan päällä olevasta näkölasista on odotetusti paras näköyhteys kattilan sisälle.

5.3.16 Tuhkanpoistojärjestelmä

Tuhkanpoistojärjestelmä on suunniteltu kattilan alimman segmentin alle. Siitä on suora yhde arinarakenteena olevaan osakokonaisuuteen. Poistettavan tuhkan ja hiekan seos on kuumana hyvin juoksevaa ja sitä tulee jäähdyttää ennen näytteenottoa tai tuhkanpoistoa. Jäähdytys on pyritty hoitamaan ilmalaatikon palamisilmalla, sekä omalla jäähdytyslaatikolla, johon johdetaan ilmaa jäähdytystä varten. Aluksi ideana oli käyttää vesijäähdytystä, mutta vesi kondensoituisi poistoputken sisäpintaan ja näin pilaisi otettavat tuhkanäytteet. Järjestelmässä on jäähdytyksen jälkeen giljotiinipellit tuhkan ja petihiekan näytteenottoa varten.

Erillistä tuhkaruuvia tai muuta järjestelmää tuhkan- ja hiekanpoistoon ei ole tällä hetkellä suunnitteilla johtuen tuhkan ja hiekan vähäisestä määrästä näin pienen kokoluokan leijupetikattilassa. Tuhka kerätään poistoputken jälkeen erilliseen säiliöön.

5.3.17 Ammoniakinsyöttö

Tutkimusleijupetikattilassa tullaan käyttämään ammoniakkin ja veden seosta, jota voidaan pumpata neljälle eri tasolle leijupetikattilaa. Ammoniakin syötöllä voidaan vaikuttaa syntyviin typpipäästöihin leijupetikattilaympäristössä. Järjestelmä koostuu ammoniakkisäiliöstä, laimennusjärjestelmästä, pumpusta, putkistosta ja venttiileistä kattilan eri tasoille. Tarkoituksena on mahdollista vielä laimentaa lisää normaalisti käytössä olevaa 25% ammoniakki-vesiliuosta.

Ammoniakki-vesilioksen käytössä on turvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä. Liuosta ei tarvita tämän kokoluokan tutkimuskattilalla kovin suuria määriä, joten sitä tullaan varastoimaan laitoksen sisätiloissa suljetussa astiassa. Sen höyrystymislämpötila on verrattain alhainen, joten säilytysastian jäähdytys tulee huomioida turvallisuusmääräysten mukaisesti.

5.4 Tutkimusleijupetikattilaan liittyvät oheisjärjestelmät

Tutkimusleijupetikattila rakenteineen ei vielä itsessään ole toimiva järjestelmä. Leijupetikattila vaatii monenlaisia oheisjärjestelmiä, kuten mm. puhaltimet, venttiilit, instrumentit ja polttoaineen syöttölaitteet. Nämä kaikki laitteet on kytkettynä laitokselle tulevaan automaatiojärjestelmään, joka ohjaa niitä ennalta määritettyjen ehtojen mukaisesti.

5.4.1 Teräsrakenteet

Tutkimuskeskuksen betonilattiaan on pultattu kattilanrakenteiden, putkiston ja laitteiden tuentaa varten teräsrakenteet. Kulutasot on rakennettu kolmelle eri korkeustasolle kattilan ympärillä, sekä kulkuyhteys materiaalintestauskammion, kolakuljettimelle, välisiilille ja sähköntuotantotilan päälle, jossa on laitetilaa. Kulutasojen suunnittelussa on käytetty standardin mukaisia mittoja ja määräyksiä.

Teräsrakenteet on koottu paikalleen erillisistä osista, jotka on kiinnitetty toisiinsa pulttiliitoksilla. Tämä sen takia, että rakenteet on pystytty kokoamaan paikalleen rakennuksen seinien ja katon ollessa jo valmiina. Myös teräsrakenteiden valmistus ja kuljettaminen asennuspaikalle on ollut helpompaa niiden vaatiman pienemmän tilantarpeen vuoksi. Teräsrakenteiden luujudet on laskettu SolidWorks ohjelmistolla, niissä paikoissa jossa rakennetta on kuormitettu.

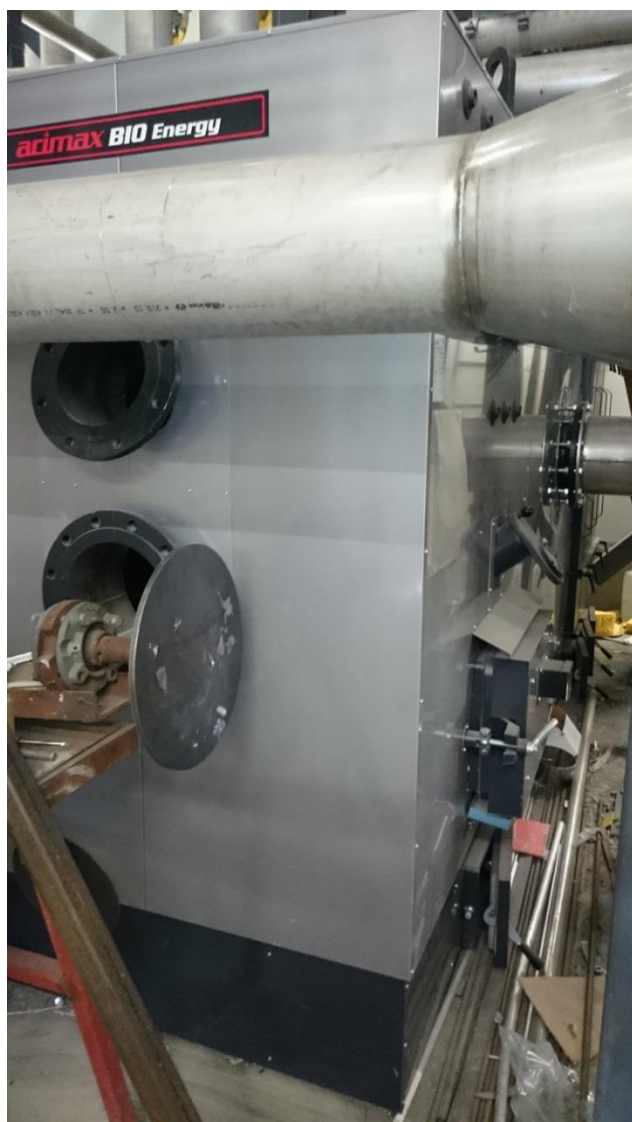
5.4.2 Jätelämpökattila

Tutkimusleijupetikattilan savukaasuissa oleva lämpöenergia on saatava talteen mahdollisimman nopeasti palotapahtuman jälkeen. Muiden laitteiden, kuten puhaltimien, suodattimien ja venttiilien lämpötilankesto ei ole riittävän korkea toimimaan normaalissa ajossa, mikäli savukaasujen sisältämää lämpöä ei saada poistettua.

Jätelämpökattilana toimii 500 kW biokattila, jossa on vesikiertoisia lämmönsiirtopintoja energian talteenottoa varten. Biokattila on savukaasulinjassa heti leijupetikattilan ja syklonin jälkeen. Tällä tavoin on säästetty tulenkestävien materiaalien hankinnassa, sekä putkilinjojen eristystarpeessa.

Jätelämpökattilaa on modifioitu vastaamaan tutkimuskeskusympäristön vaatimuksia. Normaalisti biokattilasta poiketen, kattilassa on tarkoitus polttaa biopolttoaineiden lisäksi myös pyrolyysiöljyä öljypolttimen avulla. Tutkimusleijupetikattilassa normaalisti käytettäviä tukipolttoaineita eli haketta, turvetta ja pellettiä voidaan polttaa myös biokattilalla. Polttoaineensyöttöjärjestelmästä on suunniteltu linja, josta ym. polttoaineita voidaan ajaa suoraan kolakuljettimelta biokattilan omaan polttoaineensyöttöön. Biokattilassa on liikkuvalla arinalla varustettu biopoltin.

Kuvassa 26 näkyvässä biokattila, sekä sen päädyssä oleva yhde pyrolyysiöljypolttimelle. Pyrolyysiöljypolttimen käyttö edellyttää riittävän suurta palotilaa biokattilan sisällä. Kattilan oikealla sivustalla on näkyvässä leijupetikattilalta tuleva savukaasukanava biokattilan palotilaan. Kuumien savukaasujen johtaminen biokattilan sisälle vaatii kattilan sisäpinnalle soveltuvia muurauksia, jotta leijupetikattilan savukaasut eivät aiheuta vaurioita biokattilan sisäosille.



KUVA 26. Jätelämpökattila

Jätelämpökattilan sisään menevien savukaasujen lämpötila voi nousta noin 800 - 900 °C asteeseen. Poistuvien savukaasujen lämpötila pyritään pitämään yli 200 °C, joka on yli rikkikastepisteen, jolloin rikkihappoja ei pääse muodostumaan.

5.4.3 Korroosiontestauskammio

Korroosiontestauskammio on suunniteltu tutkimusleijupetikattilassa tai biokattilassa tuotettujen savukaasujen vaikutusten tutkimiseen eri materiaaleja käytettäessä. Kammio koostuu yhteistä, joiden avulla läpi kulkevan savukaasun lämpötila saadaan halutulle tasolle, joka vastaa oikean leijupetikattilan olosuhteita esimerkiksi takavedon lämmönsiirtopinnoilla. Lisäksi leijupetikattilan takavedossa on neljä eri paikkaa lämmönsiirtopintojen asennusta varten, mikäli halutaan testata kuumakorroosion vaikutusta itse tutkimusleijupetikattilalla.



KUVA 27. Korroosiontestauskammio.

Korroosiontestauskammio on DN 300 kokoluokan teräsputkesta, luukusta ja lukuisista siihen liittyvistä yhteistä muodostettu kammio, jossa on mahdollista testata kohdekappaleille tapahtuvaa kuumakorroosiota. Kammion tulevien yhteiden avulla korroosioon vaikuttavien savukaasujen ominaisuuksiin päästään vaikuttamaan halutulla tavalla.

Testauksessa on mahdollista tutkia kuumakorroosiota eri lämpötiloissa käytettäessä kierrätyspolttoainetta, pyrolyysiöljyä, haketta, turvetta tai pellettiä. Myös polttoaineiden eri sekoitussuhteilla tuotetun savukaasun korroosiotutkimus on mahdollista. Savukaasun lämpötila voidaan säätää halutulle tasolle välillä 200 - 900 °C.

Leijupetikattilan takavedossa on myös neljä paikkaa lämmönsiirtopintojen sijoitusta varten. Yksi paikka on normaalin ajon aikana varattuna palamisilman esilämmitystä varten.

5.4.4 Venttiilit ja instrumentit

Tutkimuskeskuksen venttiilien ja instrumenttien suunnittelussa on luotettu paljon laitetoimittajien näkemyksiin. Prosessissa oleville linjoille on määritetty tietyt arvot mm. lämpötilan, paineen, väliaineen ja tilavuusvirran osalta. Laitteiden tulee ensisijaisesti täyttää nämä vaatimukset. Tämän jälkeen laitetoimittajien kanssa on käyty keskusteluita tarvittavista toimilaitteista, säätöominaisuuksista ja käyttötarkoituksesta prosessissa.

Näiden tietojen perusteella laitelistausta on täytetty ja valittu mahdollisimman soveltuvat laitteet käyttötarkoitukseen. Samalla on pyritty pysymään ennalta määrättyssä budjetissa venttiilien ja instrumenttien osalta. Kuvassa 28 ja 29. on näytetty muutamia esimerkkejä tutkimuslaitoksella olevista venttiileistä.



KUVA 28. Ilmanjakotukin venttiiliryhmä.



KUVA 29. Käsikäyttöinen kolmitieventtiili.

Putkistosuunnittelun erittäin olennainen osa-alue on ollut venttiilien ja instrumenttien tarkkojen mittatietojen saatavuus etukäteen. Erityisesti venttiilien vaatima tila putkilinjasta on tullut olla selvillä, kun putkistoja on suunniteltu. Huomiota suunnittelussa on myös saanut laitteiden vaatimat eristystarpeet, toimilaitteiden/käsikahvojen suuntaus ja yleisesti laitteen luoksepäästävyys. Tästä lisää kohdassa laitoksen layout-suunnittelu.

5.4.5 Savukaasukanavat

Savukaasukanavat on mitoitettu taselaskennan perusteella syntyvien savukaasujen tilavuusvirran, kanavassa vallitsevan lämpötilan ja mitoitusnopeuden mukaan. Mitoitusnopeutena on käytetty savukaasukanavissa 12 m/s ja ilmakanaavissa 15 m/s.

Näiden lähtötietojen perusteella jokaiselle putkistovedolle on määritetty prosentuaalinen osuus savukaasujen kokonaistilavuusvirrasta. Tuloksena on saatu vaadittu kanavahalkaisija, joka on sen jälkeen pyörästetty ylöspäin sitä vastaavaan seuraavaan DN kokoluokkaan. Savukaasukanavissa on pyritty välttämään pussikohtia, joihin lentotuhka voisi jäädä kiinni.

5.4.6 Puhaltimet ja pumput



KUVA 30. Savukaasuimuri.

Tutkimusleijupetikattilan toiminnan kannalta tärkeässä osassa ovat palamisilma- ja kiertokaasupuhaltimet. Näiden puhaltimien tärkein tehtävä on jakaa palamisilma ja kiertokaasu leijupetikattilan eri ilmansyöttötasolle. Palamisilmalle ja kiertokaasulle on suunniteltu omat jakotukit, joista saadaan keskitetysti jaettua halutut ainevirrat kattilasegmenteille. Lisäksi savukaasuimurit luovat alipaineen kattilan palotilaan, sekä takaavat savukaasun kulkeutumisen jätelämpökattilan ja suodattimien lävitse aina piipulle saakka.

Puhaltimet on mitoitettu putkistossa, venttiileissä ja leijupedissä tapahtuvien painehäviöiden mukaan. Venttiilien painehäviöt ovat mitoitettu niiden ollessa painehäviöiden kannalta lähes kiinni, jolloin painehäviö on suurimmillaan. Itse putkilinjoissa tapahtuvat painehäviöt mutkakohdissa ja supistuskappaleiden vaikutuksesta ovat verrattain pienet venttiilien aiheuttamiin painehäviöihin verrattuna. Leijupetikattilan hiekkapeti, jonka arvioitu paksuus tulee olemaan noin 500 mm on suurehko este palamisilman syötössä. Sen painehäviöt ovat luokkaa 1 kPa/100 mm hiekkää.

Muita määräviä tekijöitä ovat olleet myös puhaltimissa tarvittava lämpötilankesto, väliaine ja savukaasun tilavuusvirta putkilinjoissa. Kierrosnopeuden muutokset puhaltimissa tullaan hoitamaan taajuusmuuttajien avulla.

5.4.7 Savukaasun puhdistusjärjestelmät

Savukaasun puhdistusjärjestelmistä ensimmäisenä on savukaasukanavassa heti takavedon jälkeen oleva sykloni. Sykloni on dynaaminen erotin, jossa hiukkasten puhdistus tapahtuu massavaikutuksen ansiosta. Savukaasua syötetään tangentialisesti syklonin sisälle, jolloin puhdistimen sisälle syntyvän pyörteen ansiosta raskaat hiukkaset putoavat pohjassa olevaan poistoyhteeseen. Puhdistettu savukaasu imetään syklonin päällä olevan yhteen kautta jätelämpökattilalle.

Tämän jälkeen savukaasulinjassa on sähkösuodatin, joka on räätälöity tutkimuskeskuksen tarvitsemaan mittaluokkaan. Suodattimen toimintaperiaattena on savukaasussa olevien hiukkasten varaaminen negatiivisesti savukaasukanavassa ionisoituneen vyöhykkeen avulla. Tämän jälkeen hiukkaset erotetaan savukaasusta voimakkaan sähköisen kentän avulla. Sähkösuodatin on yleisin savukaasun puhdistusjärjestelmä ja sen etuina ovat suurten kaasumäärien käsittely, suuri lämpötilankesto, pieni painehäviö ja pitkä käyttöikä.

Sähkösuodatin vaatii eristeiden välissä olevia vastuksia, jolla sitä voidaan lämmittää ennen savukaasujen puhdistusta. Tutkimuskeskukselle tulevan sähkösuodattimen puhdistus tapahtuu paineilman avulla. Sähkösuodattimen alla on tuhkasuppilo ja ruuvikuljetin, sekä tuhkan varastointiin tarkoitettu kontti. Tuhkasuppilo tulee olla aina tyhjänä käytön jälkeen ja siinä ei tule varastoida syntynyttä tuhkaa. Mikäli tuhkaa jää suppiloon, se voi jumittua sinne hyvinkin tiukasti kiinni.

Viimeinen tutkimuslaitokselle tuleva savukaasun puhdistusjärjestelmä on letkusuodatin. Se on kangassuodatin, jonka lämpötilankesto on noin 250 °C. Suodatin on viimeisenä puhdistusjärjestelmänä koska se on herkkä savukaasussa oleville kipinöille. Normaalisti letkusuodatin on tämän vuoksi aina syklonin jälkeen. Kuvassa 31 näkyvän suodattimen sisällä roikkuu letkuja, joiden lävitse puhdistettava savukaasu ohjataan. Savukaasu itsessään läpäisee kankaassa olevat reiät, mutta pöly erottuu savukaasusta kerrostuen kankaan pintaan. Kertynyt pöly poistetaan puhdistuskankaalta paineilman avulla. Letkusuodattimen painehäviö on luokkaa 500-1500 Pa.



KUVA 31. Letkusuodatin.

Tutkimuskeskuksen savukaasukanavat ovat suunniteltu siten, että sähkösuodatin ja letkusuodatin ovat ohitettavissa sulkupeltien avulla. Tämä siksi, jos halutaan tehdä tutkimusta vain toisella savukaasun puhdistusjärjestelmällä. Sykloni on heti leijupetikattilan jälkeen savukaasukanavassa, eikä sillä ole suoraa ohituslinjaa ennen jätelämpökattilaa. Kuumaa savukaasua pystytään kyllä ottamaan suoraan heti leijupetikattilan jälkeen erillisen yhteen avulla.

5.4.8 Polttoaineen varastointi ja kuljetus kattilalle

Polttoaineensyöttöjärjestelmä koostuu kahdesta polttoainekontista, kolakuljettimesta, välisiilosta ja syöttötorvesta kattilalle. Syöttöjärjestelmän suunnittelussa on pyritty ottamaan huomioon kierrätyspolttoaineen tuomat haasteet. Saapuva polttoainejae ei välttämättä aina ole tasalaatuista, vaan siitä voi löytyä kappaleita, jotka aiheuttavat ongelmia syötössä.

Polttoaineen varastointiin tutkimuskeskuksen piha-alueella on kaksi erillistä merikonttia, jotka ovat modifioutuja polttoaineen syöttämiseen kolakuljettimelle. Ensimmäisessä kontissa on tarkoitus

säilyttää kierrätyspolttoainetta ja toisessa haketta, turvetta tai pellettiä tukipolttoaineena. Kuvassa 32 näkyvät kontit täytetään hihnakuljettimella niiden päällä olevasta luukusta, joka on varustettu sähköisellä toimilaitteella. Konttien sisä-alapintaa on korotettu eristyksellä, sekä betonivalulla, johon on asennettu putkisto lämmitystä varten. Kolakuljettimessa on myös lämmityspotkisto sen ulkopuolelle jäävällä osuudella.



KUVA 32. Polttoainevarastot ja kolakuljetin.

TAULUKKO 10. Polttoainevarastot.

Merikontti 20" DC	Polttoaine	Ulkomitat (mm)	Sisämitat (mm)	Tilavuus (m ³)	Massa tyhjänä (kg)
Polttoainevarasto 1	Kierrätyspolttoaine (REF)	Pituus 6050 Leveys 2440 Korkeus 2590	Pituus 5874 Leveys 2316 Korkeus 1926	26 m ³	~ 6 500
Polttoainevarasto 2	Hake, turve tai pelletti	Pituus 6050 Leveys 2440 Korkeus 2590	Pituus 5874 Leveys 2316 Korkeus 1926	26 m ³	~ 6 000

Polttoaineen purkaminen kontista on toteutettu tankopurkaimilla, jotka työntävät polttoaineen kolakuljettimelle. Ennen kolakuljettimelle työntymistä konteissa on tasaustelat, joiden avulla polttoainevirta kolakuljettimelle saadaan tasattua. Kummassakin kontissa on neljä kappaletta punnitusantureita, joilla saapuva polttoaine-erä saadaan punnittua. Punnitusta voidaan kalibroida välisiilosta löytyvällä tarkemmalla punnitusanturilla.

Hallin sisällä kolakuljettimen pudotuspään alapuolella on välisiilo, johon kerätään kolakuljettimen avulla haluttu polttoaineseos. Välisiilossa on moottoritoiminen sekoitintela, jolla tuotu polttoaine

saadaan sekoitettua ennen kattilalle syöttämistä. Kaksi kappaletta ruuvikuljettimia työntää polttoaineen sulkusyöttimelle, josta se painovoiman avulla tiputetaan polttoaineensyöttötorveen.

Välisiiloa roikotetaan ketjujen avulla sen päällä olevasta palkista. Ketjurakenteen välissä on punnitusanturi, jolla voidaan mitata välisiilon painoa. Siiloa ei ole tuettu mitenkään laitoksen teräsrakenteisiin ja poistoputkessa on palje, joka ei tue itse siiloa, jolloin punnituksesta saadaan luotettavia arvoja.

5.4.9 Pyrolyysiöljypoltin ja oheisjärjestelmät

Pyrolyysiöljyn polton testaaminen on yksi tutkimuskeskuksen tutkimuskohteita. Laitokselle hankittu pyrolyysiöljypoltin on toimittajan ensimmäinen prototyyppikappale. Se on rullakon päällä kulkeva poltin, joka tullaan kiinnittämään biokattilan päässä olevaan yhteeseen. Yhde on suunniteltu öljypolttimen asennusta varten. Biokattilan sisämitat on suunniteltu pyrolyysiöljypolttimen liekille.

Polttimen mukana hankinnassa on mukana pumppauskoneikko ja liekinhallintajärjestelmä.

Pumpattava pyrolyysiöljy vaatii saattolämmitystä, sekä esilämmityksen polttoainevarastossa.

Polttoainevarastona toimii lämmitetty 1 m³ IBC kontti, jossa on sekoitusjärjestelmä estämässä polttoaineen kerrostumisen.

Pyrolyysiöljyn heikkoja puolia on sen pieni tehollinen lämpöarvo, joka johtuu polttoaineen suuresta vesipitoisuudesta. Tämä voi olla jopa 40% koko öljyn koostumuksesta. Lisäksi polttimen liekkiä joudutaan levittämään palotilassa enemmän verrattuna tavalliseen öljypolttimeen, joka kasvattaa huomattavasti kattilan kokoa.

5.4.10 Automaatiojärjestelmä

Tutkimuskeskuksen automaatiojärjestelmään tullaan liittämään kaikki leijupetikattilaan liittyvät kenttälaitteet. Järjestelmä on räätälöity käytettäväksi tutkimus- ja opetuskäytössä ja tiedonsiirto erillisistä ala-automaatiojärjestelmistä on mahdollista. Automaation ohjausjärjestelmä toimii logiikkasovelluksen kautta ja siihen kuuluvat mukana tarvittavat liityntäkortit ja lisenssit. Automaatiojärjestelmän osana on valvomojärjestelmä, jossa on valmiina historiatietokanta ja trendityökalut.

I/O paikkoja on automaation ohjausjärjestelmässä varattuna seuraavasti:

AI	192 + vara = 248
AO	50 + vara = 80
DI	213 + vara = 272
DO	69 + vara = 88

Järjestelmä pystyy tallentamaan noin 100 mittausta 0,4 sekunnin välein. Loput mittauksista tallentuvat normaalin prosessiautomaation historiatalennusjakson mukaisesti. Mittadataa voidaan siirtää tai poistaa järjestelmästä. Automaatiojärjestelmä ei sisällä playpack-toimintoa, mutta se voidaan toteuttaa käyttämällä historiatietokannan raakadataa ja ohjelmoimalla ominaisuus itse. Trenditietokannasta voidaan seurata ajoarvojen historiatrendejä koko tallennetun historian ajan.

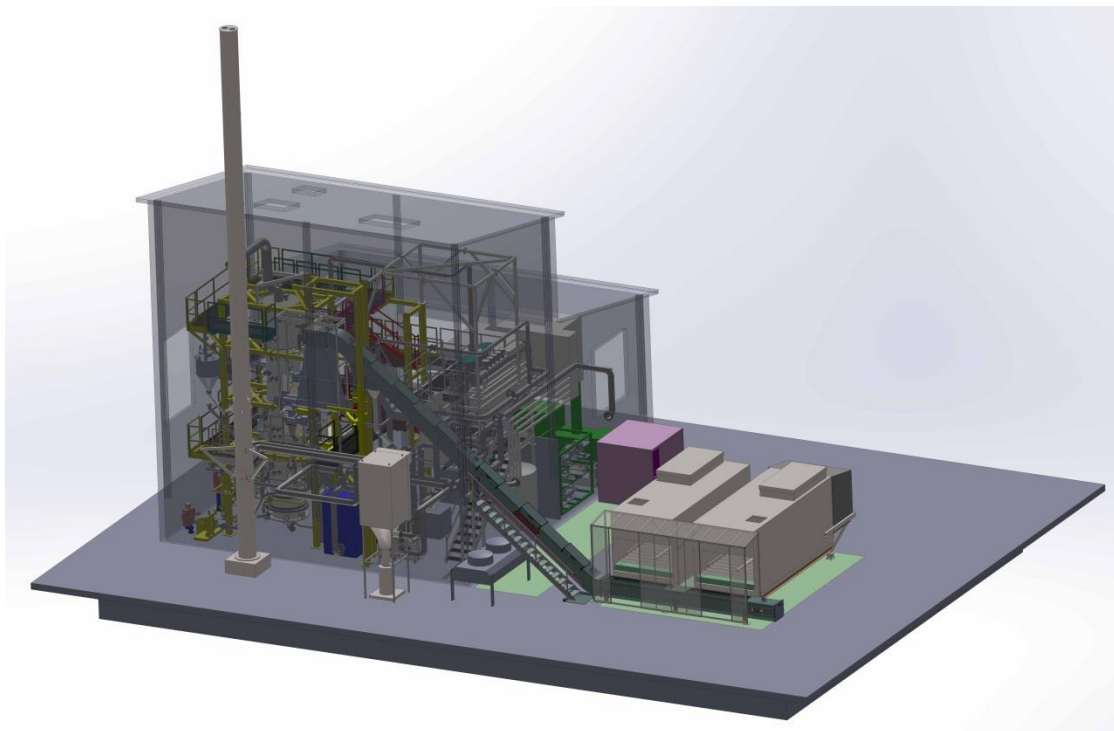
5.5 Layout-suunnittelu

Tutkimuskeskuksen yksi suurimpia suunnitteluun liittyviä osa-alueita on ollut laitoksen layout-suunnittelu. Tutkimuskeskushallin sisälle jokaiselle laitteelle on määritetty sen oma tilanvaraus, sekä liityntä muihin järjestelmiin. Itse tutkimuskeskuksen rakennus oli valmiina, ennen kuin projektitiimi pääsi asentamaan suunnittelemaan teräsrakenteita ja laitteitaan laitoksen sisätiloihin. Tämä aiheutti pienimuotoisia ongelmia erityisesti nostotöiden osalta.

Laitoksen sisälle suunnitellut teräsrakenteet kulkusiltoineen ja tukipalkkeineen ovat olleet yksi tärkeimpiä asennustöihin liittyviä osa-alueita. Kattilaosien, putkistojen ja siilojen kannakoinnit on suoritettu teräsrakenteista. Rakennuksen omia kantavia teräsrakenteita ei ole voitu hyödyntää kiinnityksissä. Teräsrakenteet on koottu laitoksen sisälle erikokoisista osista, jotka on kiinnitetty toisiinsa pulttiliitoksilla. Tämä on tehty osien asennuksen helpottamiseksi ja myöhemmän purkutarpeen vaatiessa rakenteiden irrottaminen toisistaan on mahdollista.

Kulkusiltojen kaiteet ovat useassa paikassa kiinni kulkusilloissa pulttiliitoksella. Erityisesti kattilasegmenttejä vaihdessaessa edessä oleva kulkusilta voidaan irroittaa paikaltaan asenusten ajaksi. Tämä on helpottanut laitteiden nostamista paikoilleen ylemmillä tasoilla. Rakennuksessa on yksi haalaus-aukko oikealla seinustalla, josta suurempia kokonaisuuksia on saatu asennettua kattilarakennelman taakse.

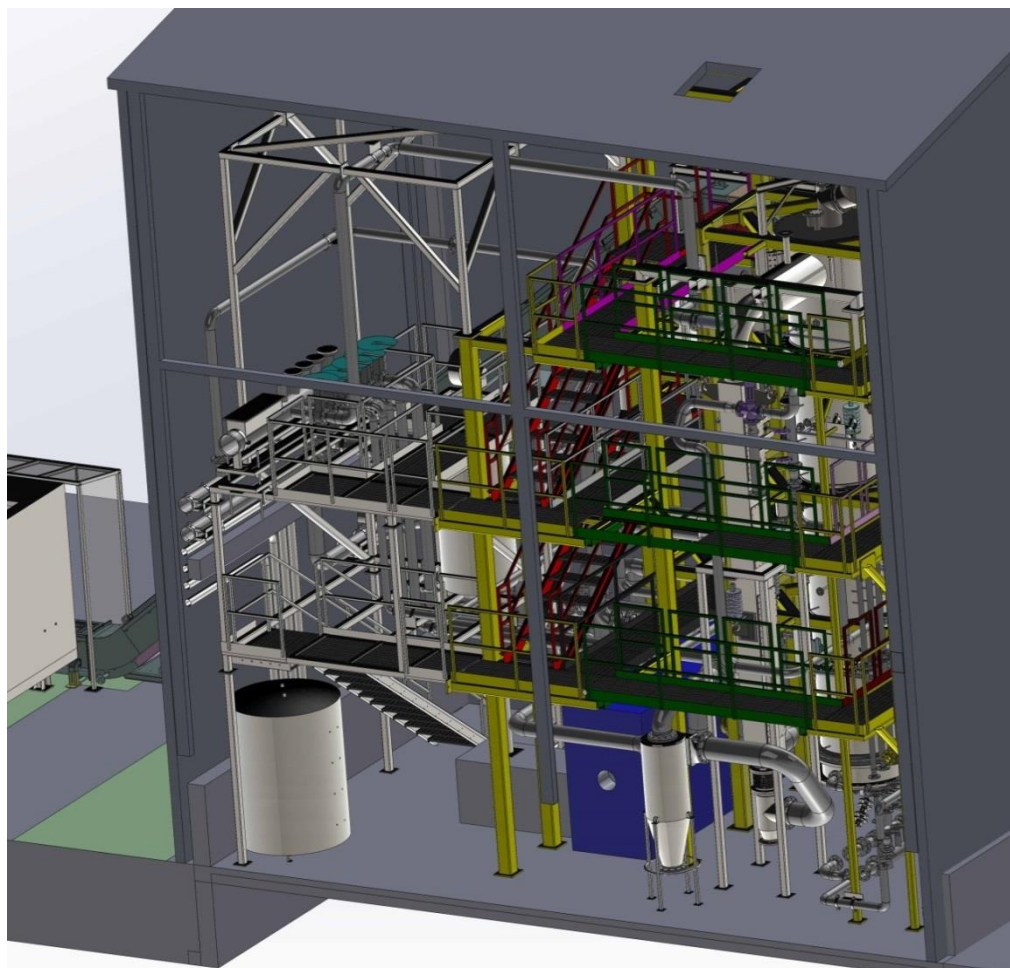
Kuvassa 33 on näkyvillä laitoksen layout-malli. Se on ollut kattilan 3D-suunnittelun ohella yksi projektitiimin tärkeimmistä työkaluista laiteasennuksien osalta. Jokaiselle laitteelle on määrätty mallissa tilanvaraus. Olemme tehneet laitetoimittajien kanssa paljon yhteistyötä laitoksen layoutin avulla, koska heillä on usein ollut tarjota STEP-tiedostomuodossa olevia malleja omista tuotteistaan, joita on päästy sijoittamaan suoraan omaan kokonaisuuteemme. Kuitenkaan aina näin ei ole ollut vaan olemme muuntaneet 2D-kuvista mallin 3D-muotoon ja liittäneet sen laitoksen kokonaislayouttiin.



KUVA 33. Tutkimuskeskuksen layout-malli.

Putkistosuunnittelussa yksi olennainen osa on ollut putkilinjaan tulevien komponenttien luokse päästävyys. Putkilinjat on pyritty vetämään mahdollisimman vähillä mutkakohdilla ja lähellä kulkutasoja, jolloin venttiilien ja instrumenttien kunnossapito on mahdollista. Toimilaitteiden ja käsikahvojen suunnat on pyritty asentamaan kulkutasoihin päin.

Kuvassa 34 on leikkauskuva laitoksen layout-mallista. Kulkuyhteydet kattilalle ylemmillä tasoilla on tehty kolmelle eri tasolle kattilan ympärillä. Näiden tasojen avulla päästään käsiksi kattilasegmentteihin eri korkeustasoilla. Kuvassa vihreällä näkyvät kaiteet ovat irtotavissa tarvittaessa. Korroosiontestauskammion yläpuolelle on asennettu teräsrakenteita, laitteiden nostotöiden helpottamiseksi.



KUVA 34. Leikkauskuva layout-mallista.

5.6 Materiaalivalinnat

Leijupetikattilan, putkistojen ja teräsrakenteiden materiaalivalintojen perusteena on käytetty lujuuden, lämpötilan, kulkevan väliaineen ja kustannusten yhteisvaikutuksesta syntyviä perusteita. Ulkoa ostettujen valmiiden komponenttien osalta olemme luottaneet toimittajien tarjoamiin materiaalivalintoihin, joiden on tullut täyttää määritetyt vaatimukset. Paineenkestolla ei ole kovin suurta merkitystä leijupetikattilassa, koska vesi/höyrypiiriä lämmönsiirtoon siinä ei ole.

Yleisimmät materiaalivalinnat tutkimusleijupetikattilassa ovat seostamaton kuumaluja paineastiateräs P235GH tai rakenneteräkset S235JRG2 ja S355J2G3. Näiden teräslaatuojen myötölujuus on luokkaa 235-355 Mpa ja murtolujuus 360-680 Mpa. Rakenneteräksen lämpötilankesto riippuu sen kuormituksesta.

Ruostumattomat austeniittiset CrNi-teräksiä on käytetty kattilassa olevissa kuumissa paikoissa. Yleisimmät käytetyt teräslaadut ovat olleet EN 1.4301 ja EN 1.4307. Niiden lämpötilankesto on parempi, kuin paineastia- ja rakenneterästen.

Todella kuumissa paikoissa on käytetty kuumankestävää austeniittista ruostumatonta terästä EN 1.4828. Tämän teräslaadun myötö- ja murtolujuus on hyvä vielä todella kuumissakin lämpötiloissa.

5.6.1 Kattilarakenteet

Kattilan ulkoinen runkorakenne koostuu pääosin mustasta hiiliteräksestä (S235JRG2), koska siinä ei ole kovia lämpötilavaatimuksia, kuten takavedossa jossa vaaditaan hyvinkin kovaa lämpötilankestoa. Kattilan ulkoisten teräsrakenteiden lämpötila tulee nousemaan keraamikerrosten ansiosta vain noin 60 °C paikkeille.

Kaikki kattilan sisään menevät yhteet ovat tulenkestävää austeniittista terästä (EN 1.4828). Niiden laipat kattilan ulkopuolella ovat ruostumatonta terästä (EN 1.4301). Kattilan sisälämpötila voi nousta noin 1000 °C, joten tulenkestävät materiaalit ovat suotavia kattilayhteiden osalta.

Takaveto on lähes kokonaan kuumankestävää austeniittista terästä (EN 1.4828). Kuumankestävän teräksen murtolujuus on hyvä vielä todella kuumissakin paikoissa, mutta silti se on pyritty tukemaan hyvin kannakkeilla, jotta se kestäisi vaikeat olosuhteet.

5.6.2 Kustannusvaikutukset

Kattilan materiaalivalintoja tehtäessä on väkisinkin jouduttu katsomaan osille syntyviä hintoja. Erityisesti kuumankestävät austeniittista terästä sisältävät paikat ovat olleet huomattavasti kalliimpia, kuin tavallisesta ruostumattomasta teräksestä tai rakenneteräksestä tehdyt kappaleet. Nämä kustannusvaikutukset huomioon ottaen on pyritty tekemään kokonaisvaltaisesti paras ratkaisu materiaalivalinnoissa.

5.7 Työpiirrustukset leijupetikattilasta

Työpiirrustukset luotiin Solidworks-suunnitteluohjelmistolla. Pohjana työpiirrustuksissa on käytetty tutkimuskattilasta tehtyjä 3D-malleja. Joitakin 3D-malleja muokattiin hieman ennen työpiirrustusten luomista, jotta automaattiset osaluettelot ja materiaalit saatiin järjestelmästä ulos. Työpiirrustuksiin ja osaluetteloihin tuli jonkin verran myös käsin tehtyjä korjauksia ajan puutteen vuoksi.

Työpiirrustuksissa on esitetty valmistettävien kappaleiden osapiirrustukset ja kokoonpanopiirrustukset. Piirrustuksissa näkyvät kappaleiden mitat, toleranssit, pinnankarheudet, hitsausmerkinnät, ainepaksuudet, materiaalit ja tarvittaessa leikkauskuvat ja sanalliset selvennykset kappaleiden ja kokoonpanojen valmistuksesta. Standardoitujen kappaleiden osalta ei osapiirrustuksia ole tehty, ellei niihin ole haluttu jonkinlaista modifikaatiota. Työpiirrustusten ohessa kattilarakenteesta luotiin katkaisulistat ja osaluettelot työpiirrustusten tueksi.

Katkaisulistoissa on määritetty tarvittavat metrimäärät putkikappaleissa ja niiden katkaisupituudet, jolloin hukkapaloja putkiosien osalta tulisi mahdollisimman vähän. Muutamasta usein toistuvasta kappaleesta, kuten mittausyhteistä tehtiin alikokoonpanokuvat, joita valmistettiin tietty kappalemäärä. Tämän jälkeen alikokoonpanot liitettiin työpiirrustusten mukaisesti pääkokoonpanoihin.

Työpiirrustukset tarkastettiin ennen hankinnan aloittamista suunnittelutoimistossa, jonka suunnittelija antoi korjausehdotuksia liittyen valmistettaviin työkuviin. Tämä auttoi tekemään tarvittavat muutokset työpiirrustuksiin ja kilpailutus kattilarakenteiden valmistamisesta päästiin aloittamaan.

Hitsausmerkinnät laitettiin kokoonpanopiirrustuksissa suuntaa antavasti, jolloin jätettiin toimittajan omalle hitsausinsinöörille mahdollisuus korjata niitä tarvittaessa. Tämän edellytyksenä oli, että rakenteen lujuus tai muut ominaisuudet eivät kärsisi muutoksesta.

5.8 Suunnittelun ongelmakohdat

Suunnittelun alussa projektitiimillä ei ollut vielä selkeää kuvaa rakennettavista kohteista. Oli vain tiedossa, että pitäisi rakentaa toimiva leijupetikattila tutkimus- ja opetuskäyttöön. Yhteistyökumppaneilta oli saatu listaus kohteista, joita leijupetikattilaympäristössä halutaan tutkia. Myös projektissa mukana olevien henkilöiden aikaisempi kokemus tämän kokoluokan tutkimuskeskuksen rakentamisesta oli vähäistä.

Talon ulkopuolelta ostettujen konsulttien avulla saatiin kasattua tietoa leijupetikattilan ja oheisjärjestelmien yksityiskohdista, joiden avulla suunnittelua päästiin viemään eteenpäin. Myöhemmin, laitteiden hankintavaiheessa eri järjestelmien toimittajien kanssa pidetyt palaverit auttoivat paljon hankittavien laitteiden ominaisuuksien määrittämisessä ja sitä kautta myös tutkimusleijupetikattilan suunnitelmat päivittyivät.

Suunnitteluohjelmisto SolidWorks toimi hyvin kattilasuunnittelussa ja sen rakenteiden mallintamisessa ja työkuviin luomisessa. Kun tehtyjen mallien määrä alkoi kasvaa räjähdysmäisesti, siirryttiin Enterprise PDM dokumenttien hallintajärjestelmään. Ilman tätä järjestelmää versiointi ja usean mallintajan samanaikainen työskentely olisi ollut mahdotonta.

Ongelmia tuotti myöhemmässä vaiheessa myös valmiiden laitekirjastojen puuttuminen. Standardiosien mallinnukseen oikeilla mittasuhteilla ja materiaaleilla käytettiin paljon aikaa. Vielä tämänkin jälkeen joissain kohdissa tuli virheitä mallinnettujen ja standardoitujen osien eroavaisuuksien vuoksi.

Eryisesti putkistosuunnittelun osalta laitekirjastojen puuttuminen aiheutti paljon ylimääräistä työtä projektitiimille. Putkistosuunnittelun työvälineenä SolidWorks ei välttämättä ole paras ratkaisu suunnitteluohjelmistoksi. Ohjelmistolla kyllä saatiin toteutettua tarvittavat putkistot, mutta se oli työlästä verrattuna esimerkiksi PDMS:llä tehtyyn putkistosuunnitteluun.

Suunnitteluohjelmistojen välinen tiedonsiirto on myös yksi suunnittelun ongelmakohdista. Ensin tämä tuli ilmi, kun tutkimuskeskushallin pohja- ja teräsrakennepiirrustusten perusteella laitoksesta tuli toteuttaa layout-malli. AutoCAD-ohjelmistolla tehdyistä 2D-piirrustukset muunnettiin SolidWorks ohjelmistoon, joiden avulla 3D-malli saatiin luotua. Myöhemmässä vaiheessa kun laitetoimittajilta

saatiin omia 3D-malleja mm. STEP-tiedostona, ne saatiin hyvin pienellä työmäärällä liitettyä layout-malliin.

Laitoksesta luodun layout-mallin tiedostokoko alkoi paisua projektin loppuvaiheessa niin suureksi, että suunnittelukäyttöön hankituilla pöytätietokoneilla oli vaikeuksia avata mallia. Tällöin jouduimme jättämään pienempia osakokonaisuuksia pois mallista, jos niitä ei sinne välttämättä tarvittu. Lisäksi lay-outin muokkaaminen oli hyvin hankalaa joissain tilanteissa, kun selvää ohjetta MATE-komennoille, joilla määritetään osien väliset kiinnitykset toisiinsa ei ollut. Tällöin jokainen mallin parissa työskennellyt suunnittelija lisäsi MATE-komentoja parhaaksi näkemällään tavalla eri kappaleisiin. Myöhempi kappaleiden muokkaaminen, liikuttaminen tai poistaminen osoittautui hankalaksi, kun kyseiseen kappaleeseen määritetyt komennot liikuttivat myös toistakin kappaletta määrittämisen mukaan. Ristiinmäärittäykset käytännössä räjäyttivät koko layout-mallin. Monessa kohtaa vain itse kappaleen tehnyt mallintaja pystyi järkevällä työmäärällä tekemään tarvittavat korjaukset mallintamaansa kappaleeseen.

Layout-suunnittelun alussa tutkimuskeskusrakennuksesta olisi ollut hyvä saada ajan tasaista tietoa rakennuksen sisäseinille tulevien teräsrakenteiden mitoista ja niille tapahtuneista muutoksista. Lisäksi LVI-putkien reityksen muutoksista johtuen tutkimuskattilaa kannattelevien teräsrakenteiden ja laitokselle tulevien komponenttien paikkoja muutettiin suunnittelussa ja myös työmaalla turhan monta kertaa. Tämä ongelma olisi ehkä poistunut, jos tiedonkulku rakennuksen rakennuttajan ja laitoksen käyttäjän välillä olisi ollut sujuvampaa. Toisaalta projektitiimin olisi pitänyt vaatia enemmän ajantasaisia dokumentteja ongelmakohtista.

Suunnittelun aikaisen tiedonkulun kanssa projektitiimillä ei ollut suurempia ongelmia, koska tiimi oli pääosin samassa työhuoneessa. Kahvitauot olivat välillä enemmänkin projektipalavereita, kuin taukoja työn välissä. Tällöin pystyttiin vaihtamaan aina muutama sana suunnitteluun liittyvistä yksityiskohdista ja ratkaisuihin. Lisäksi projektiryhmän käytössä oli WhatsApp-ryhmä ja Trello, joihin raportoitiin töiden edistymisestä ja tärkeimmistä niihin liittyvistä asioista. WhatsApp on ilmainen tekstiviesteihin pohjautuva keskustelusuovellus mobiililaitteille ja Trello on ilmainen käyttöliittymä organisointiin ryhmän kesken.

Teknisessä mielessä haastavia suunnittelun aikana ilmenneitä kohtia ovat olleet ilmansyöttösuuttimien mitoitus ja rakenne, suuttimien kestävyys, lämpölaajentumisten huomioiminen, kattilan vuotokohtien ehkäiseminen, ja takavedon keraamikerrosten puuttuminen ja siitä johtuva lämpörasitus rakenteisiin.

Ilmansyöttösuuttimien mitoituksen ja rakenteen toimivuus on ollut haastava suunnitella. Nyt tutkimuskeskukselle tulevat suuttimet testataan eri kokoisella hiekkajakeella ja katsotaan miten leijutusefekti saadaan toimimaan eri lämpötiloissa. Petihiekan valuminen syöttösuuttimiin poratuista rei'istä ilmalaatikon sisälle on yksi ongelmakohta. Myös syöttösuuttimien reikien suuntaus on pyritty toteuttamaan siten, että palamisilmaa ei syötetä rei'istä suoraan toista suutinta kohti, jolloin suurella nopeudella suihkuava palamisilma ei polta toista suutinta.

Tutkimusleijupetikattilassa on useita yhteitä ja tiivistuspintoja. Kattilan tiiveys voi osoittautua ongelmaksi, kun kattilaa otetaan käyttöön. Paine-eromittauksilla pyritään selvittämään mahdollisia vuotokohtia kattilarakenteessa ja putkistoissa. Lämpölaajentuminen takavedossa ja muissa putkilinjoissa vääntää mutkakohdissa laippapintoja, jolloin vuotoja voi esiintyä tiivisteiden välistä. Palkeita saatetaan joutua lisäämään putkilinjoihin myös jälkikäteen, vaikka nämä laajentumiset on pyritty huomioimaan putkistosuunnittelussa.

Takavedon keraamikerrosten puuttumisen vuoksi sen rakenteessa on ajotilanteessa erityisen korkea lämpötila. Tämä merkitsee todella suurta lämpölaajentumista ja rakenteiden lujuusominaisuuksien heikkenemistä. Lisätukia voidaan joutua asentamaan myöhemmässä vaiheessa takavedon rakenteille.

5.9 Komponenttien valinta vaatimusten ja kustannusten välillä

Laitteiden ja osakokonaisuuksien suunnittelussa ja valmiina tilattujen komponenttien osalta projektitiimi on tehnyt valintoja hankinnan suhteen. Vaikuttavat tekijät ovat kokonaisuudet toiminnallisuus ja kustannustekijät. Tutkimuskeskukselle ei ole aina voitu hankkia kaikista parasta ja suorituskyvyltään yliveraista tuotetta, koska sen hinta on ollut liian korkea projektin budjettiin nähden.

Tällöin on usein kuljettu keskitietä hankinnan osalta ja tehty päätöksiä, että hankittava laite toimii tarvittavan hyvin määritetyssä paikassa ja se saadaan tarpeeksi edullisesti tutkimuskeskuksen käyttöön. Aina on kuitenkin pyritty jättämään mahdollisuus sen paremman komponentin myöhemmän asennuksen varalle, mikäli huomataan myöhemmin, että ostettu komponentti ei toimi ollenkaan valitussa paikassa.

6 TUTKIMUSLEIJUPETIKATTILAN KILPAILUTUS

6.1 Julkinen hankinta

Julkisilla hankinnoilla tarkoitetaan sellaisia tavara-, palvelu- ja rakennusurakkapalveluita, jotka hankintalainsäädännössä määritellyt hankintayksiköt tekevät oman organisaationsa ulkopuolelta. Näitä hankintayksiköitä ovat mm. valtio, kunta, kuntayhtymä ja valtion liikelaitokset. Julkiset hankinnat tulee tehdä noudattaen kansallisia hankintalakeja ja EU-hankintadirektiivejä. Näiden säännösten pääperiaatteina ovat hankintojen avoin ja tehokas kilpailuttaminen, sekä tarjoajien tasapuolinen ja syrjimätön kohtelu. (Työ- ja elinkeinoministeriö.)

6.1.1 Hankintamenettelyn suunnittelu ja valinta

Tutkimusleijupetikattilan eri komponenttien hankinta on jaettu eri osa-alueisiin, joiden ominaiset tunnusmerkit ovat jakaneet ne eri hankintamenettelyiden alaiseksi. Julkisten hankintojen kokonaismäärä koko tutkimuskeskusprojektissa on ollut noin 30 hankinnan paikkeilla. Näiden

hankintojen euromääräiset arvot, ilman arvonlisäveroa ovat määrittäneet hankintalain mukaiset hankintamenettelyt. Projektitiimin käytössä on ollut eri kokoisten hankintojen varalle erilliset hankintapohjat, jotka ovat nopeuttaneet hankintadokumenttien kasaamista ja näin myös koko hankintaprosessia. Toteutetusta hankinnasta on ennen tarjouspyyntövaihetta pyritty tekemään mahdollisimman tarkka hinta-arvio, jonka perusteella hankintalaji on pystytty määrittämään.

6.1.1.1 Avoin menettely ja kynnysarvot

Avoimella menettelyllä tarkoitetaan hankintamenettelyä, jossa hankintayksikkö julkaisee hankinnasta hankintailmoituksen HILMA:ssa, jolloin kaikki halukkaat toimijat voivat tehdä tarjouksen. Avoimessa menettelyssä valinta eli tarjoajien kelpoisuuden tarkastaminen tehdään vasta, kun tarjoukset on saatu. (Hankinnat.fi.)

Hankintalain mukaisella kynnysarvolla tarkoitetaan yksittäisen hankinnan suurinta mahdollista ennakoitua arvoa. Ennakoitu arvo määrittää sen sovelletaanko hankintaan kansallista menettelyä vai EU-menettelyä. (Hankinnat.fi.)

TAULUKKO 11. Kynnysarvot. (ENTEK EAKR 2012)

Euroa	Hankintalaji	Kynnysarvo
30 000	Tavara-, palveluhankinnat	Kansalliset kynnysarvot
200 000	Tavara-, palveluhankinnat Suunnittelukilpailut	EU-kynnysarvot

6.1.1.2 Kansallisen kynnysarvon alittavat hankinnat

Kansallisten kynnysarvojen alittavien eli alle 30 000 euron hankintojen osalta menettelynä on noudatettu savonian omia sääntöjä, joiden mukaan yli 15 000 euron hankinnoissa on toimittava avoimen menettelytavan mukaan. Kuitenkaan näiden hankintojen osalta ei tarvitse tehdä ilmoitusta HILMA-järjestelmään, kuten yli 30 000 euroa ylittävistä hankinnoista. Näistä hankinnoista käytetään nimitystä pienhankinnat.

Pienhankintojen osalta hankintadokumentaatio lähetetään tarkoituksen mukaisesti valituille vähintään kolmelle toimittaja-ehdokkaalle. Tarjousaika on hyvä jättää vähintään 2-3 viikkoa, jotta toimittajat kerkeävät syventyä tarjouspyyntödokumentteihin. Aivan pienimmissä, alle 4 000 euron hankinnoissa on hyväksytty myös puhelimitse tai sähköpostilla toteutettuja tarjouksia, joista on tehty muistio tukemaan käytyjä keskusteluja.

6.1.2 Tarjouspyyntödokumentit

Tarjouspyynnössä on määritetty hankinnan kohde ja lyhyt kuvaus hankinnan luonteesta ja käyttötarkoituksesta. Pienemmissä hankinnoissa tekniset vaatimukset on listattu jo

tarjouspyynnössä. Sitävastoin suurempien hankintojen kuten leijupetikattilan runkorakenteiden osalta on tehty erilliset liitteet teknisille vaatimuksille.

Tarjouspyynnössä on listattuna hankinnan kuvauksen lisäksi mm. valittu hankintamenettely, yleiset toimitusehot, maksuehto ja toimitusehdot. Lisäksi tarjouspyyntöön on sisällytetty ohjeita tavarankirjoittamisesta, kokonaishinnan jaottelusta, käytettävistä alihankkijoista, tavarankirjoittajien vastuusta ja huolto- ja varaosista. Tarjouspyynnössä on päiväys, jolloin tarjoukset tulee viimeistään jättää tarjottavasti tuotteesta tai palvelusta.

Tekniset vaatimukset ovat listattuna joko tarjouspyynnössä tai niistä on tehty erillisiä dokumentteja tarjouspyynnön liitteeksi. Teknisten vaatimusten osalta laitteesta tai palvelusta on pyritty antamaan mahdollisimman tarkka kuva hankittavasta kokonaisuudesta. Tällöin toimittajan on ollut helpompi laskea tarjottavan tuotteen tai palvelun hinta, sekä se tutkimuskeskusprojekti on saanut sellaisen laitteen käyttöönsä, jota se on alunperin halunnutkin. Joitakin pieniä viilauksia on voitu tehdä jälkikäteen kirjallisen sopimuksen teon yhteydessä, kunhan ne eivät ole nostaneet kokonaishankinnan hintaa.

Hankintadokumenteissa olemme käyttäneet liitteenä todistusta tarjoajan soveltuvuudesta. Tällä pyritään varmistamaan tavarantoimittajan taloudelliset edellytykset ja soveltuvuus toimittaa tarjouspyynnössä määritetty laite tai palvelu.

Lisäksi hankinnoissa on ollut mukana tarjouslomake, johon on ollut listattuna tärkeimmät vaatimukset kilpailutettavasta kokonaisuudesta. Toimittaja on merkinnyt lomakkeeseen täyttääkö tuote määritetyt vaatimukset ja lisännyt huomioita, jos heillä on ollut jotain huomautettavaa asiaan liityen.

6.1.3 Tarjousten arviointi ja hankintapäätöksen tekeminen

Saapuneet tarjoukset on avattu, kun niiden määräaika on mennyt umpeen. Tutkimuskeskuksen laitteiden hankintojen valintaperusteena on ollut usein pelkästään hinta. Tällöin tarjottu tuote on täyttänyt tekniset vaatimukset ja näin on soveltuva tutkimuskeskuksen käyttöön.

Joissain tilanteissa on tehty tarjouspyynnön osalta pisteytysjärjestelmä, jossa on mitattu laitteen suorituskykyä ja laatua pisteytysjärjestelmän avulla. Tällöin valintaperusteena on voinut esimerkiksi olla 50 % kokonaishinnasta ja 50 % pisteytyksen tuloksesta. Nämä valintaperusteet on ilmoitettu etukäteen tarjouspyynnössä.

6.1.4 Leijupetikattilan rakenteiden ja oheisjärjestelmien kilpailutus

Tutkimusleijupetikattilan rakenteiden kilpailutuksessa arvioitu hinta ylitti kansalliset kynnyksarvot, jotka ovat 30 000 euroa. Tällöin hankintamenettelyksi valikoitui avoin menettely, jolloin tarjouspyyntö ja hankintadokumentit tulee laittaa HILMA-järjestelmään. Hinta-arvio ei ylittänyt EU-

kynnysarvojen 200 000 euron rajaa, jolloin hankinnasta ei ollut tarvetta ilmoittaa koko Euroopan laajuisesti.

Tutkimusleijupetikattilan rakenteiden kilpailutuksessa tarjouspyyntöön tehtiin määrätyks kohteesta ja kuvaus hankittavasta kokonaisuudesta, sekä lisäksi yllä mainitut asiat mm. yleisistä toimitusehdoista. Tarjouspyyntöön lisättiin yleisiä vaatimuksia esimerkiksi hitsauksien laadusta, käytettävistä materiaaleista, pintakäsittelyistä ja toleransseista. Tarjouspyynnössä kerrottiin tilauksen yhteydessä vaadittavista dokumenteista ja annettiin yleisohjeet teknisten työpiirrustusten ja osaluetteloiden osalta.

Tarjouspyynnön liitteeksi laitettiin dokumentti vakuutuksesta tarjoajan soveltuvuudesta toteuttamaan haluttu kokonaisuus. Tarjouslomake kuului myös liitteiden joukkoon, jossa toimittaja pääsi antamaan kommentteja, sekä ottamaan kantaa pystyykö se toteuttamaan halutut kokonaisuudet.

Valmistuksen ja tarjouksen hinnan laskemisen kannalta toimittajalle tärkeimmät dokumentit eli työpiirrustukset ja osaluettelot olivat liitettynä mukaan tarjouspyyntöön liitteeksi. Näiden työpiirrustusten osalta yleisohjeita oli myös kirjoitettuna tarjouspyynnön etusivulle.

Näiden dokumenttien avulla tutkimusleijupetikattilan hankinta pystyttiin viemään maaliin asti ja laitokselle saatiin halutunlaiset kattilarakenteet asennusta varten. Pieniä muutoksia ja kyselyitä valitun toimittajan kanssa tuli kyllä vielä hankintavaiheenkin jälkeen, mutta se on normaalia tämän kaltaisen kokonaisuuden hankinnassa.

Leijupetikattilan oheisjärjestelmien kilpailutusmenetelmien valinta vaihteli suuresti niiden arvioidun hinnan vuoksi. Pienet kokonaisuudet, kuten sykloni, letkusuodatin, ja hiekka- ja kalkkisiilot olivat kokoluokaltaan alle kansallisten kynnysarvojen, jolloin kilpailutusmenetelmäksi valittiin pienhankinnat. Tällöin tarjouspyyntödokumentit lähetettiin suoraan vähintään kolmelle toimittaja-ehdokkaalle.

Leijupetikattilan rakenteiden kanssa samassa hintaluokassa olivat teräsrakenteiden, putkistojen, polttoaineensyöttäjärjestelmän, venttiilien ja instrumenttien, jätelämpökattilan, automaation ja sähköurakan kaltaiset suuremmat kokonaisuudet. Näiden kokonaisuuksien osalta hankinnassa on noudatettu myös kansallisten kynnysarvojen ylittävää avointa menettelyä, joista hankinta-ilmoitus on mennyt HILMA-tietojärjestelmään.

7 KÄYTTÖÖNOTON SUUNNITTELU

Käyttöönoton turvallinen suorittaminen ilman ongelmia edellyttää seuraavien toimintojen suorittamista ennen käyttöönoton aloittamista;

- Aloituskokous
- FAT-testaus

- SAT-testaus
- Sähköistys valmiina ja tarkastettuna
- Ohjelmallinen toteutus tarkastettuna
- Laitteistojen väliset yhteydet valmiina, tarkastettuina ja testattuina protokolien mukaisesti
 - Mekaaninen tarkastus ja dokumentointi

(Kotanen 2011.)

7.1 Aloituskokous

Aloituskokous pidetään noin kaksi viikkoa ennen käyttöönoton aloitusta. Kokoukseen osallistuu tilaajan lisäksi laitteiden toimittajat ja käyttöönottaja. Kokous on hyvä pitää ennen käyttöönoton aloitusta, koska siinä on vielä mahdollista keskustella laitteisiin liittyvistä asioista ja tehdä tarvittaessa muutoksia. (Kotanen 2011.)

Tutkimusleijupetikattilan käyttöönoton osalta käyttöönoton aloituskokoukseen olisi hyvä tulla ainakin automaatiojärjestelmän toimittaja, sekä suurempien laitekokonaisuuksien toimittajat. Itse tutkimusleijupetikattilan käyttöönotto tullaan toteuttamaan projektitiimin kesken, yhdessä automaatiojärjestelmän toimittajan kanssa.

7.2 FAT-testaus

Tehdastesti eli FAT-testi (factory acceptance test) suoritetaan yleensä toimittajan tai valmistajan tiloissa. Testissä simuloidaan automaation mittaukset ja ohjaukset asettamalla yksitellen jokainen I/O ja sen jälkeen tarkastetaan elektroniikan, sekä ohjelmiston toimivuus. Tehdastesti on rajattu yleensä tekniseen toimivuuteen. (Kotanen 2011.)

Ohjelmallinen toteutus todetaan yleensä FAT-testauksen yhteydessä. Ohjelmisto on hyvä tarkastaa mahdollisten ohjelmistovirheiden varalta, koska pienikin virhe ohjelmakoodissa voi aiheuttaa esimerkiksi moottorin pyörimisen väärään suuntaan. (Kotanen 2011.)

7.3 SAT-testaus

SAT-testaus (site acceptance test) toteutetaan laitteiden asennuspaikalla, jolloin laitteita ajetaan ns. "kylmänä". Tässä käyttöönototestauksessa on mukana jo enemmistö mittaus- ja ohjauspiireistä, jolloin saadaan oikeaa tilannetta vastaavia arvoja. (Kotanen 2011.)

Sähkölaitteille tehdään tarvittavat kokeet ja todetaan niiden toimivuus. Kaikki painonapit ja kytkimet ym. tulevat olla kytkettyinä ja toiminnassa. Sähköistys tulee olla ammattimaisesti toteutettu ja käyttöönottomittaukset suoritettuna. Moottorien pyörimisliike kanavien suuntaisesti tarkistetaan ja dokumentoidaan. (Kotanen 2011.)

7.4 Suorituskykytesti

Lopullinen ohjelman ja automaatiojärjestelmän välinen testaus tehdään, kun koko laitteisto on otettu käyttöön. Suorituskykytestissä järjestelmää ajetaan normaalioloissa, sekä ääriolosuhteissa, jotta toimintavarmuus voidaan turvata.

7.5 Käyttöönottodokumentaatio

Käyttöönottaja dokumentoi aloituspalaverissa ja muissa kokouksissa käydyt asiat, sekä myös käyttöönoton aikana ilmenneet asiat työmaalla. Valokuvia on hyvä käyttää dokumentoinnin apuna erityisesti jos käyttöönotossa on huomattu vikaantunut laite tai ongelmakohta. (Kotanen 2011.)

Käyttöönotosta tehdään viikko- tai päiväsuunnitelma, jossa ilmenee milloin mitään osakokonaisuutta ollaan ottamassa käyttöön. Tämän avulla voidaan ennakoida tulevien käyttöönottojen vaatimuksia ja resursseja. (Kotanen 2011.)

Käyttöönottaja seuraa yleisesti operaattoreiden toimintaa valvomossa käyttöönoton aikana ja kirjaa mahdolliset puutteet ylös. Käyttöönoton yhteydessä koulutetaan samalla henkilöitä, jotka tulevat vastaamaan käyttöönotettavien laitteiden toiminnasta. (Kotanen 2011.)

Käyttöönottoa ennen laaditaan tarkastuslistat käyttöönotettavista laitteista, joissa on näkyvissä laitteiden nimet ja positiot, sekä niille tehtävät toimenpiteet käyttöönoton yhteydessä. Listassa tulee olla kohta, johon merkitään onko toimenpide suoritettu. Dokumentissa tulee olla myös huomiokohta, johon voi kirjoittaa kommentteja tai huomioita käyttöön otettavasta laitteesta. (Kotanen 2011.)

LÄHTEET

HUHTINEN, Markku, KETTUNEN, Arto, NURMINEN, Pasi, PAKKANEN, Heikki 2000. Höyrykattilatekniikka. 5. uusittu painos. Helsinki. Oy Edita Ab

VTT 2007. Kierrätyspolttoaineiden ominaisuudet ja käyttö. Helsinki. Edita Prima Oy. [Viitattu 2015-04-29] Saatavissa: <http://www2.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2416.pdf>

SFS-EN 15359 2011. Kiinteät kierrätyspolttoaineet. Vaatimukset ja luokat. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.

PROMAINT. Kunnossapitoyhdistys. Useita eri tekijöitä. 2008. SKY-Korroosiokäsikirja. 4. painos. KP-Media Oy

ENERGIATUTKIMUSHALLI 2014a. Pilotin katselmointi [Word - tiedosto]. [Viitattu 2015-02-24]. Sijainti: Savonia-ammattikorkeakoulu. Intranet.

ENERGIATUTKIMUSHALLI 2014b. Leijupeti Valmistuskuvat [PDF - tiedosto]. [Viitattu 2015-02-25]. Sijainti: Savonia-ammattikorkeakoulu. Intranet.

ENERGIATUTKIMUSHALLI 2014c. Rakennuksen pohjapiirustus. [PDF - tiedosto] [Viitattu 2015-01-13]. Sijainti: Savonia-ammattikorkeakoulu. Intranet.

ENERGIATUTKIMUSHALLI 2014d. BFB-Ilma ja savukaasu PI-kaavio [PDF - tiedosto]. [Viitattu 2015-02-25]. Sijainti: Savonia-ammattikorkeakoulu. Intranet.

ENTEK EAKR 2012. Kilpailutusohjeet [Word - tiedosto]. [Viitattu 2015-02-25]. Sijainti: Savonia-ammattikorkeakoulu. Intranet.

TYÖ- JA ELINKEINOMINISTERIÖ. Julkinen hankinta. [Viitattu 2015-04-21]. Saatavissa: https://www.tem.fi/kuluttajat_ja_markkinat/julkiset_hankinnat

HANKINNAT.FI. Kynnysarvot. [Viitattu 2015-04-21] Saatavissa: <http://www.hankinnat.fi/fi/julkinen-hankinta/kynnysarvot/Sivut/default.aspx>

KOTANEN, Markku 2011. Käyttönoton ohjeistus. Opinnäytetyö. [Viitattu 2015-04-27]. Sijainti: <https://www.theseus.fi/handle/10024/28067>

LIITTEET
LIITE 1: TASELASKENTA

Energiatutkimuskeskus		Pa-teho		J/s	Polttoaineen massavirta				4,19 kJ/kgK
250 kW Leijupetikattila		kW	250	=>	250000	0,02403 kg/s			vesimäärä 3000 kg
						86,5218 kg/h			lämpötilaero 50 C
						14,5357 t/vko	Pa-tiheys		Energiakapasita 628500 kJ
						96,9044 m3/vko	150 kg/m3		Aika 2514 s
	Ilmamäärä	Polttoaineen määrä		96,9044	Pa-tiheys				
	500 m³/h (ilmaa)	0,0001602 m3/s			Savukaasut 0,149777 m³/s		539,19697 m³/h		
	0,1388889 m³/s (ilmaa)	0,5768122 m3/h			Palamisilma 0,128 m³/s		461,96994 m³/h		
	0,0416197 kg/s (polttoainetta)				Hyötysuhde 81,50 %				
	149,83109 kg/h (polttoainetta)				Savukaasut 0,183775 m³/s		661,59138 m³/h		
	0,9988739 m3/h (polttoainetta)				0,157454		566,83428 m³/h		
Palamisilma									
Ilmanpaine	p	1,013 bar	Vesihöyrnpaine	p _v	2,339 kPa				
Ilman lämpötila	T	293,15 K	Suht. kosteus	φ	66 %				
Ilman lämpötila	t	20 °C	Vesihöyryä ilmassa	0,0152 mol	Kosteuden suht. osuus	0,0155			
KUORMA									
	Mw	0,25	0,13	2. SÄTEILYHÄVIÖ		Säteilyhäviö Q _{st} = C × (Q _i) ^{0,7}			
Kuorma nimelliskuormasta	%	100 %	50 %						
Ilmakerroin	N	-	1,60	1,40					
O ₂ -pitoisuus	%	9,4 %	6,5 %	Nimellisteho Q _n		MW	0,25		
Ominaisilmamäärä	kJ/yks.P	3,3371	3,3371	Kuorma		MW	0,25	0,13	
Ominaisavukaasumäärä	kJ/yks.P	4,2297	4,2297	Kerroin C		-	11,57	11,57	
Savukaasua / polttoaineyks.	G	kJ/yks.P	6,767	5,922	Säteilyhäviöteho		Q _{st}	kW	4,38
Savukaasun loppulämpötila	ts	°C	200	125	Säteilyhäviö		I _{st}	%	1,75
Savukaasun entalpia	ig	kJ/kg	280,08	173,52	HÄVIÖT YHTEENSÄ		k _{av}	%	18,47
Ilmamäärä / polttoaineyks.	L	kJ/yks.P	5,339	4,672	KATTILAN HYÖTY		n	%	81,53
Palamisilman lämpötila	tref	°C	25	25					89,29
Palamisilman entalpia	iL	kJ/m3n	32,5	32,5					81,50
Polttoaineen hyötylämpöarvo	Hi	kJ/yks.P	10402	10402					89,20
Palamishyötysuhde	η _f		0,990	0,985					
Savukaasuhäviö	isk	%	16,72	8,55					
Palamishyötysuhde	n	%	83,28	91,45					
MAKSIMISAVUKAASUMÄÄRÄ KATTILASTA									
Savukaasumäärä (hyötysuhde mukana)									
661,5913756 m³/h									
Savukaasun mitoitusnopeus									
12 m/s									
Lämpötila	Lämpötila	Tiheys	Tilavuusvirta	Ala	Kanavahalkaisija				
[C]	[K]	kg/m³	m³/s	m²	m	mm			
1100	1373,15	0,2480527	0,9238697	3325,9309	0,0769891	0,156545	313,09		
700	973,15	0,3500113	0,6547455	2357,0839	0,0545621	0,131786	263,573		
500	773,15	0,440553	0,5201834	1872,6603	0,0433486	0,117466	234,932		
300	573,15	0,5942834	0,3856213	1388,2368	0,0321351	0,101138	202,276		
200	473,15	0,7198848	0,3183403	1146,025	0,0265284	0,091893	183,785		
Savukaasu									
Savukaasumäärä (hyötysuhde mukana)									
539,197 m³/h Kokonaismäärä prosentteina 100 %									
Savukaasun mitoitusnopeus									
12 m/s									
Lämpötila	Lämpötila	Tiheys	Tilavuusvirta	Ala	Kanavahalkaisija				
[C]	[K]	kg/m³	m³/s	m²	m	mm			
1100	1373,15	0,248052664	0,7529538	2710,634	0,062746151	0,141324875	282,65		
700	973,15	0,350011319	0,5336176	1921,023	0,044468133	0,118973301	237,947		
500	773,15	0,440552952	0,4239495	1526,218	0,035329124	0,106045318	212,091		
300	573,15	0,594283373	0,3142814	1131,413	0,026190115	0,091304833	182,61		
200	473,15	0,719884846	0,2594473	934,0104	0,021620611	0,082958147	165,916		

Ilma

Ilmamäärä (hyötysuhde mukana)							
461,9699414 m ³ /h		Kokonaismäärä prosentteina			100 %		
Savukaasun mitoitusnopeus							
15 m/s							
Lämpötila	Lämpötila	Tiheys	Tilavuusvirta		Ala	Kanavahalkaisija	
[C]	[K]	kg/m ³	m ³ /s	m ³ /h	m ²	m	mm
1050	1323,2	0,26418	0,6057	2237,836	0,040382046	0,1133755	226,7510047
825	1098,2	0,31831	0,5027	1857,295	0,03351513	0,103287	206,5739302
500	773,15	0,45211	0,3539	1307,624	0,023596251	0,0866656	173,3311265
300	573,15	0,60987	0,2624	969,3652	0,017492325	0,0746189	149,2377964
27	300,15	1,16458	0,1374	507,6419	0,009160466	0,0539988	107,9975376

Kokonaismäärä kiertokaasulle

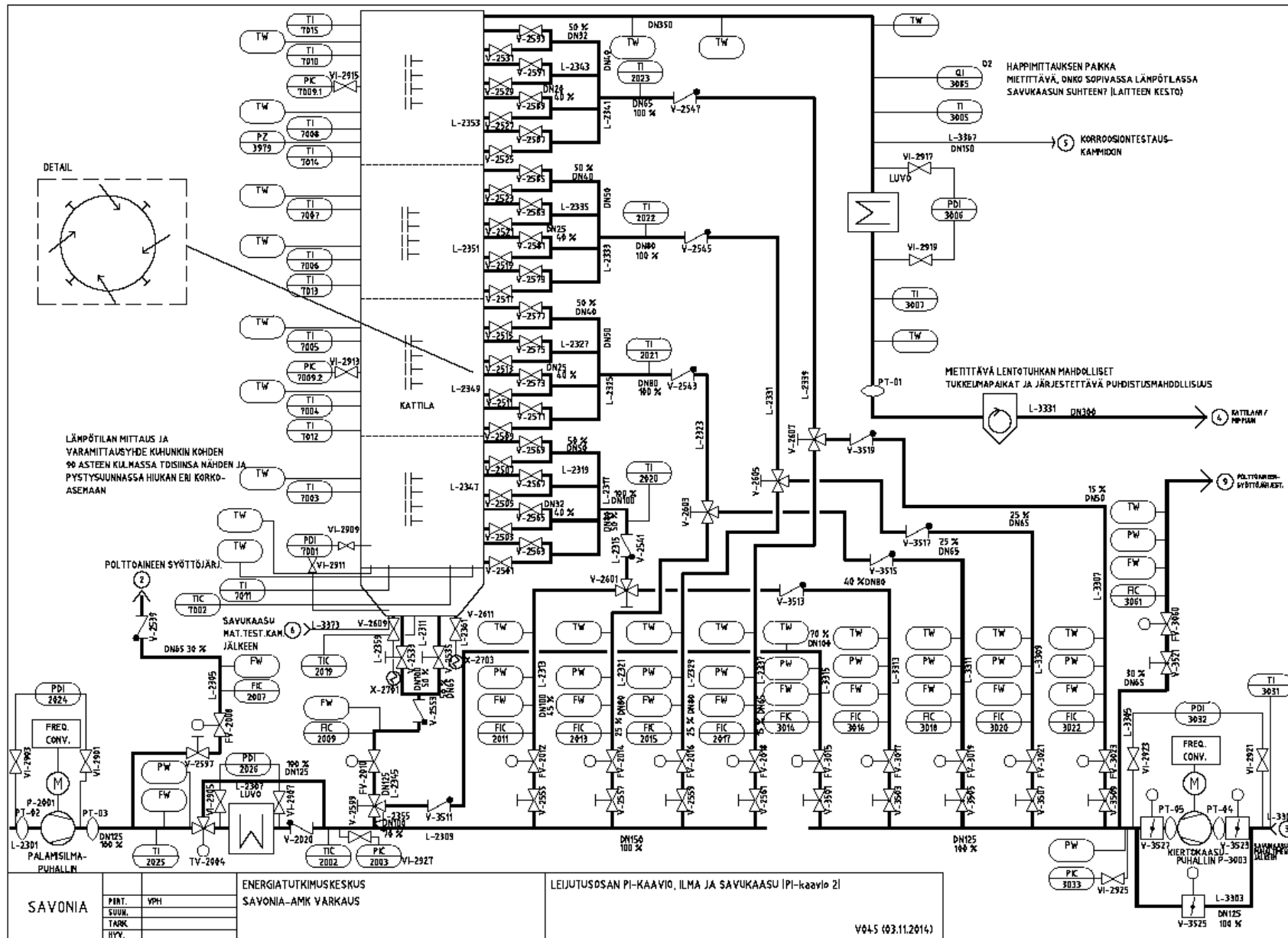
360 m³/h

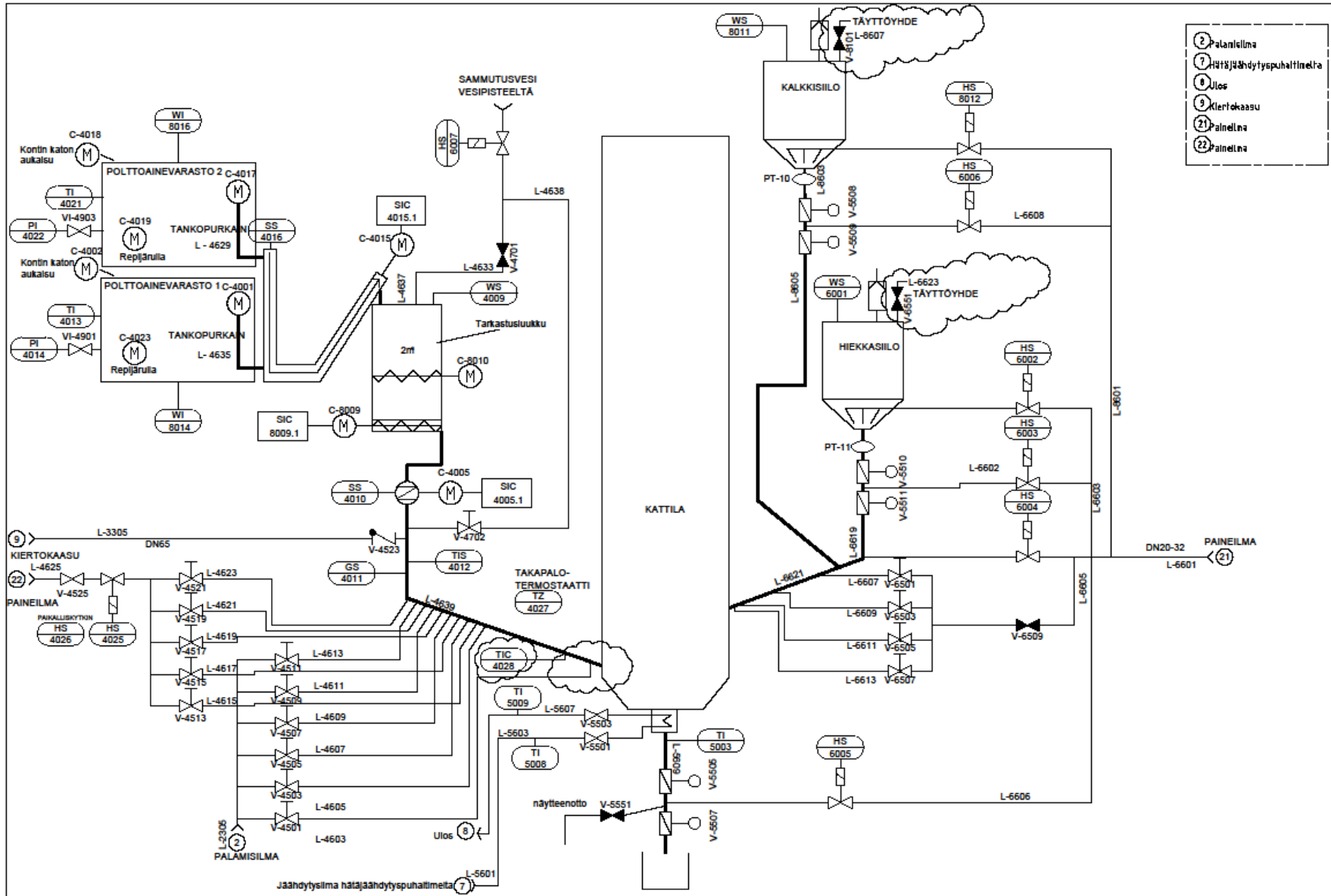
Savukaasu

Savukaasumäärä (hyötysuhde mukana)							
108 m ³ /h		Kokonaismäärä prosentteina			30 %		
Savukaasun mitoitusnopeus							
12 m/s							
Lämpötila	Lämpötila	Tiheys	Tilavuusvirta		Ala	Kanavahalkaisija	
[C]	[K]	kg/m ³	m ³ /s	m ³ /h	m ²	m	mm
1050	1323,15	0,257426229	0,1453	523,164	0,009688231	0,0555	111,07
825	1098,15	0,3101703	0,1206	434,201	0,00804076	0,0506	101,18
300	573,15	0,594283373	0,0629	226,62	0,004196659	0,0365	73,098
250	523,15	0,651081936	0,0575	206,85	0,003830554	0,0349	69,837
27	300,15	1,134810978	0,033	118,677	0,002197727	0,0264	52,898

										O2	N2	H2O		
Palamisilman ominaistarve		3,3371	m ³ n / kgP	Palamisilman moolimäärä						17,22	64,93	1,27	83,42 =mol	
Savukaasujen ominaismäärä		4,2297	m ³ n / kgP	Palamisilman tiheys (kostea)		1,27972	kg/m ³ n			31,999	28,013	18,015		
SAVUKAASUT										551,10579	1818,861	22,90262228	2392,869523 =g	
											eko			
	mol	g/mol	mol _t	g	% til.	m ³ n	kJ	kJ/m ³ n	kJ/mol	kJ/m ³ n	kJ			
CO2	23,4841	44,01	23,484	1033,5	9,61 %	0,526372	191,999	364,76	8,17572	364,76	192,00			
SO2	0,0236	64,065	0,0236	1,5	0,010 %	0,00053	0,20741	391,4	8,77285	391,40	0,21			
N2	116,85	28,013	155,805	4364,6	63,73 %	3,492208	911,816	261,1	5,8523	261,10	911,82			
H2O	45,8329	18,015	46,596	839,4	19,06 %	1,044395	318,848	305,294	6,84286	305,29	318,85			
O2	30,9461	31,999	18,568	594,1	7,59 %	0,416176	111,874	268,814	6,02519	268,81	111,87			
yht.		27,95	244,48	6833,2	100,00 %	5,4797	1534,7	280,079	6,278	280,08	1534,74			
Kuivia savukaasuja		9,94	197,88	5993,75		4,44								
Savukaasun tiheys				1,247	kg/m ³ n	O2 kuivissa savukaasuissa				9,383 %				
Palamisilmaa		n _i	5,339	m ³ n/kgP	0,513	m ³ n/MJ	CO2 kuivissa savukaasuissa				11,87 %	233,0252162	g/m ³ n	
Savukaasua		n _{sk}	6,232	m ³ n/kgP	0,599	m ³ n/MJ	SO2 kuivissa savukaasuissa				341,5	mg/m ³ n	146	mg/MJ
											eko			
	mol	g/mol	mol _t	g	% til.	m ³ n	kJ	kJ/m ³ n	kJ/mol	kJ/m ³ n	kJ			
CO2	23,4841	44,01	23,484	1033,5	9,87 %	0,526372	116,253	220,857	4,95028	220,86	116,25			
SO2	0,0236	64,065	0,0236	1,5	0,01 %	0,00053	0,12601	237,794	5,32991	237,79	0,13			
N2	116,85	28,013	155,805	4364,6	65,46 %	3,492208	566,963	162,351	3,63893	162,35	566,96			
H2O	45,8329	18,015	46,341	834,8	19,47 %	1,038696	196,386	189,07	4,23782	189,07	196,39			
O2	30,9461	31,999	12,378	396,1	5,20 %	0,27745	46,0234	165,88	3,71803	165,88	46,02			
yht.		27,86	238,03	6630,5	100,00 %	5,3353	925,8	173,516	3,889	173,52	925,75			
Kuivia savukaasuja		9,84	191,69	5795,70		4,30								
Savukaasun tiheys				1,243	kg/m ³ n	O2 kuivissa savukaasuissa				6,458 %				
Palamisilmaa		n _i	4,672	m ³ n/kgP	0,449	m ³ n/MJ	CO2 kuivissa savukaasuissa				12,25 %			
Savukaasua		n _{sk}	5,565	m ³ n/kgP	0,535	m ³ n/MJ	SO2 kuivissa savukaasuissa				352,5	mg/m ³ n	146	mg/MJ

LIITE 2: PÄÄKOKONAISUUKSIEN PI-KAAVIOT





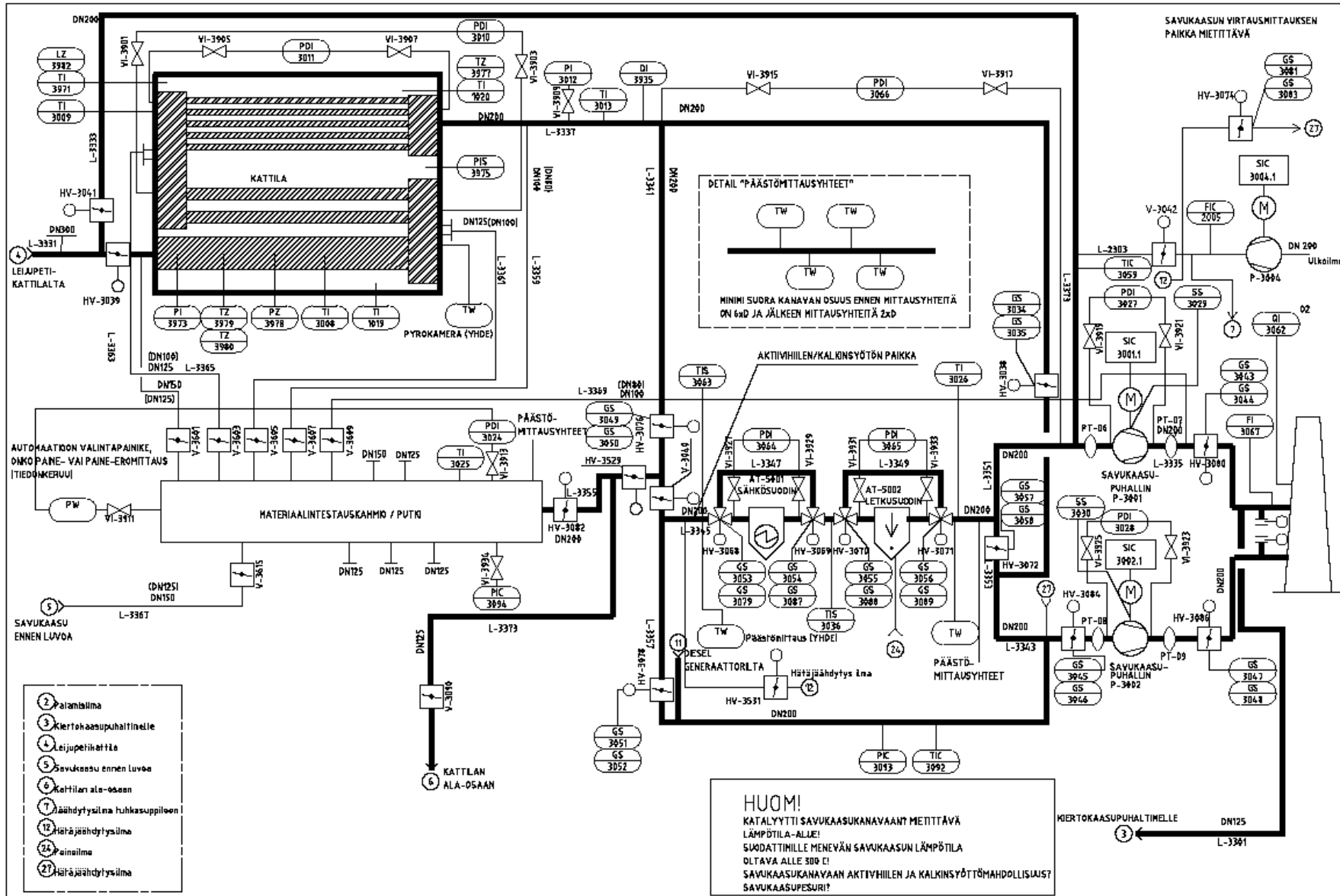
- ② Palamisilma
- ⑦ Jäähdytyspuhallinilta
- ⑧ Uloas
- ⑨ Kiertokaasu
- ⑪ Painelma
- ⑫ Painelma

SAVONIA	PIRT.	VPH
	SUUN.	
	TARK.	
	HYV.	

ENERGIATUTKIMUSKESKUS
SAVONIA-AMK VARKAUS

LEIJUTUSJÄRJESTELMÄN PI-KAAVIO, POLTTOAINE, TUHKA, HIEKANSYÖTTÖ IPI-kaavio 1)

V038 (03.12.2014)



- 2 palamisilma
- 3 kiertoaerupuhaltimelle
- 4 leijupetikattila
- 5 savukaasu ennen luvoa
- 6 kattilan ala-osaan
- 7 jäähdytysilma hukkasuppiloon
- 12 jäähdytysilma
- 24 paineilma
- 27 jäähdytysilma

HUOM!
 KATALYTTI SAVUKAASUKANAVAAN METITÄVÄ
 LÄMPÖTILA-ALUE!
 SUODATTIMILLE MENEVÄN SAVUKAASUN LÄMPÖTILA
 OLTAVA ALLE 300 °C!
 SAVUKAASUKANAVAN AKTIIVIHILEN JA KALKINSYÖTTÖMÄHDOLLISUUS?
 SAVUKAASUPESURI!

SAVONIA	PIRT.	YPH
	SUUN.	YPH
	TARK.	JHU
	HYV.	JHU

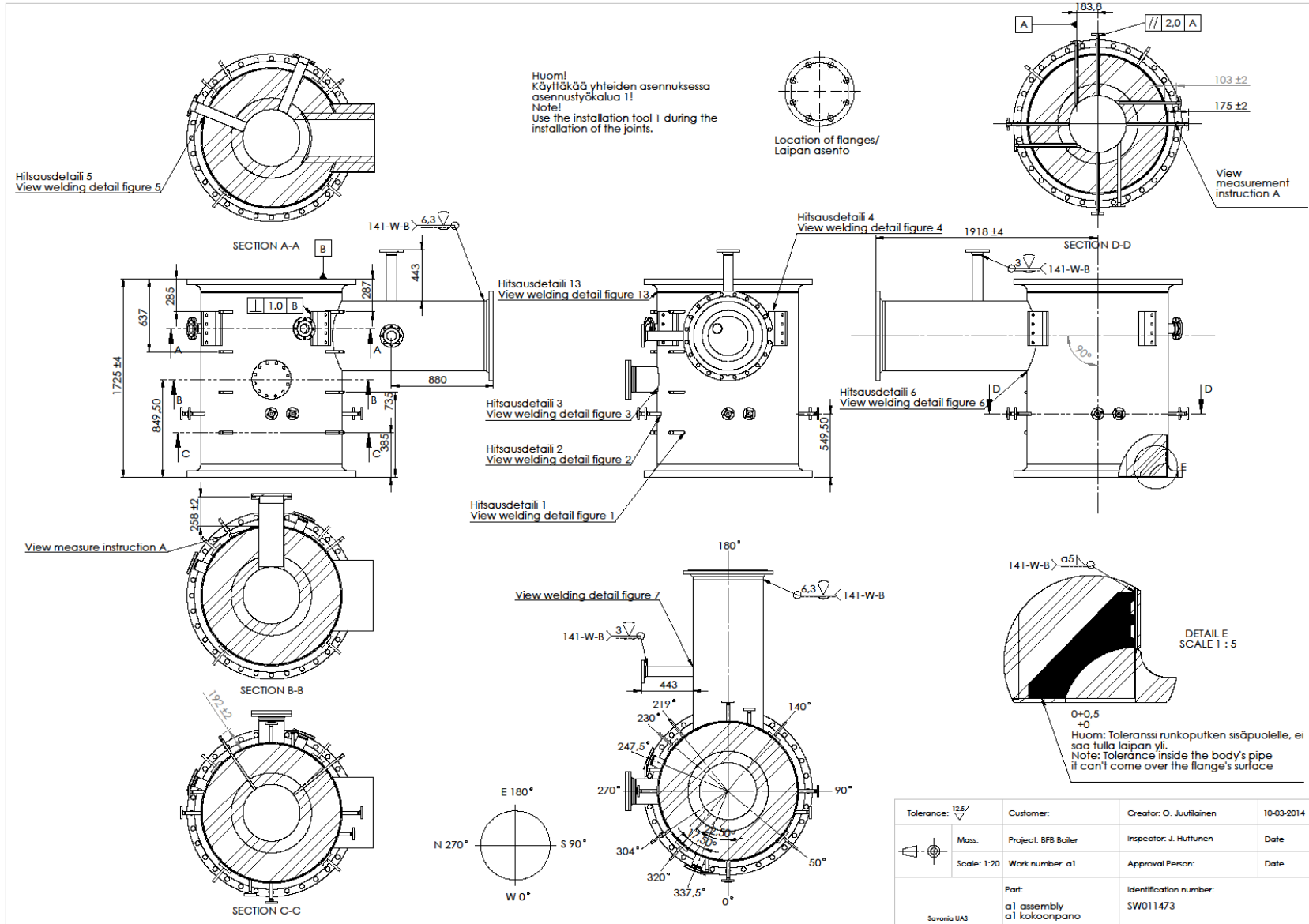
ENERGIATUTKIMUSKESKUS
 SAVONIA-AMK VARKAUS

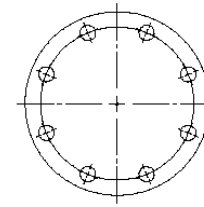
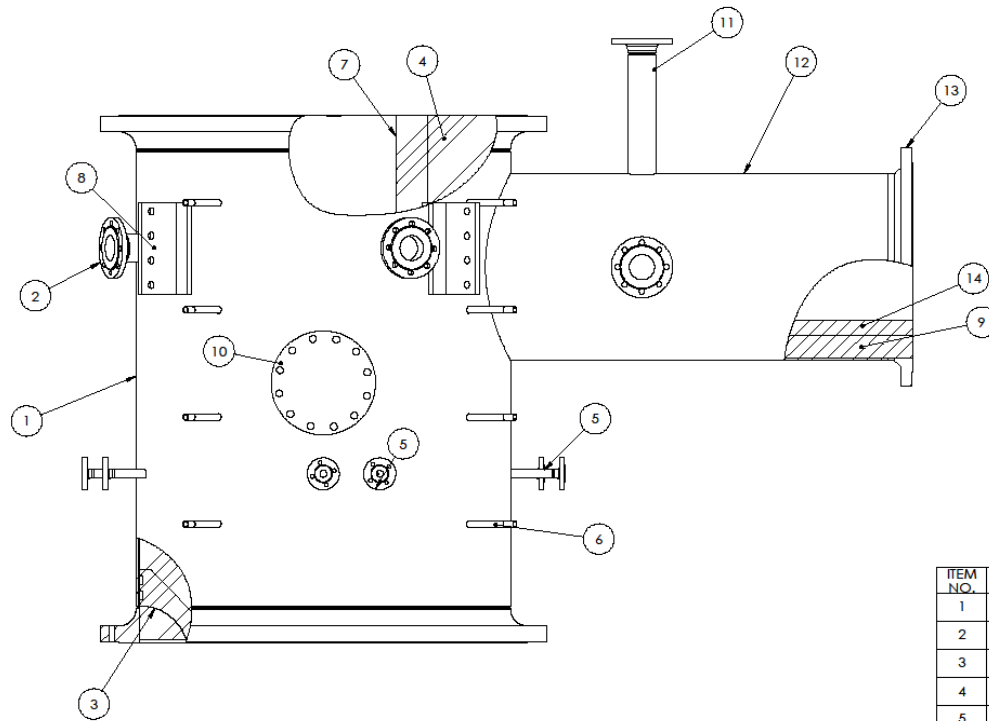
SAVUKAASU JA MATERIAALINTESTAUSKAMMIO (PI-kaavio 3)

V061 119.03.2015

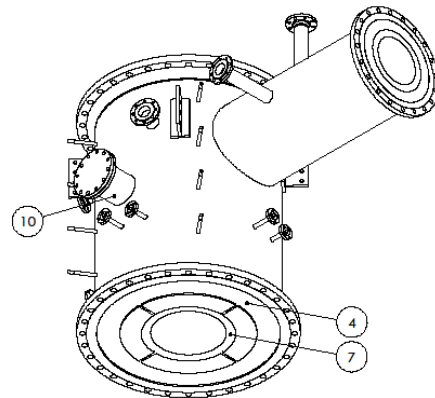
✕
 TOMITUSRAJA
 ✕

LIITE 3: TYÖPIIRUSTUKSET - SEGMENTTI A1



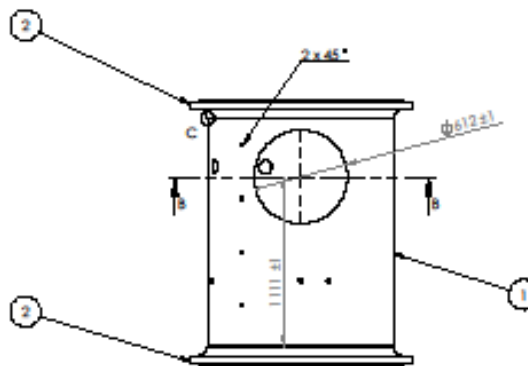
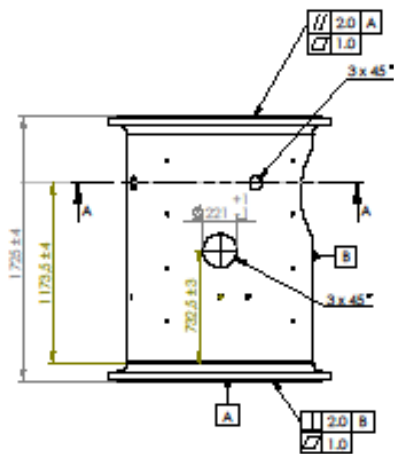
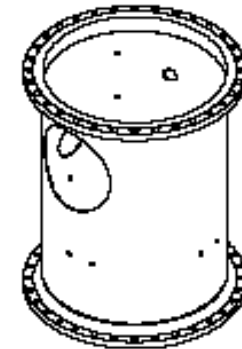
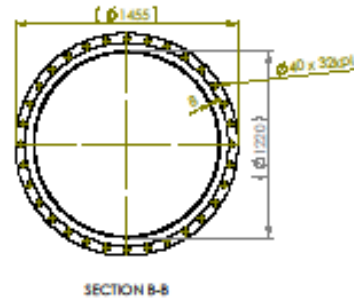
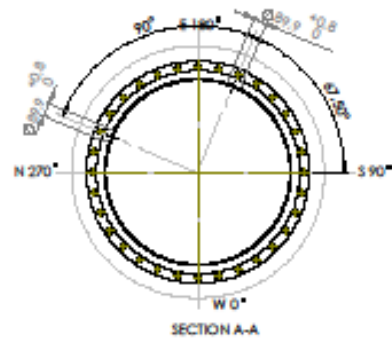


Location of flanges/
Laipan asento



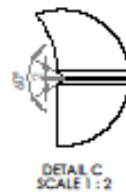
ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	Standard	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a1.01	SW011472.Runkoputki_ylin		Boiler segment a1	S235JRG2	1
2	c1.01	SW012998		Flue gas measurement joint DN 80		2
3	c2.01	SW012039		Ceramic support plate and brackets	S235JRG2	4
4		SW012488		Insulation ceramic		1
5	c1.02	SW012947		Input air pipe DN20		8
6	c1.03	SW012966		Sensor inlet		8
7		SW011458.Ylmmänsegmentin_keraami_assembly		Insulation ceramic		1
8	a1.03	SW014435		Slide bracket		1
9		SW013004		Insulation ceramic		1
10	a1.04	SW014969		Maintenance joint		1
11	a1.01.05.01	SW014983		Measurement joint DN 80		2
12	a1.01.05.a1	x_Takaveto_Jahto_DN400		P 610 x 6,3 L=1326	S235JRG2	1
13	a0.07	SW14479	1092-1	Flange DN600 PN10	1.4301	1
14				Fireproof ceramic		1

Tolerance: $\frac{12.5}{\sqrt{L}}$	Customer:	Creator: O. Juutilainen	27-03-2014
Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huttunen	Date
Scale: 1:10	Work number: a1	Approval Person:	Date
Savonia UAS	Part: Top segment's assembly	Identification number: SW11473	



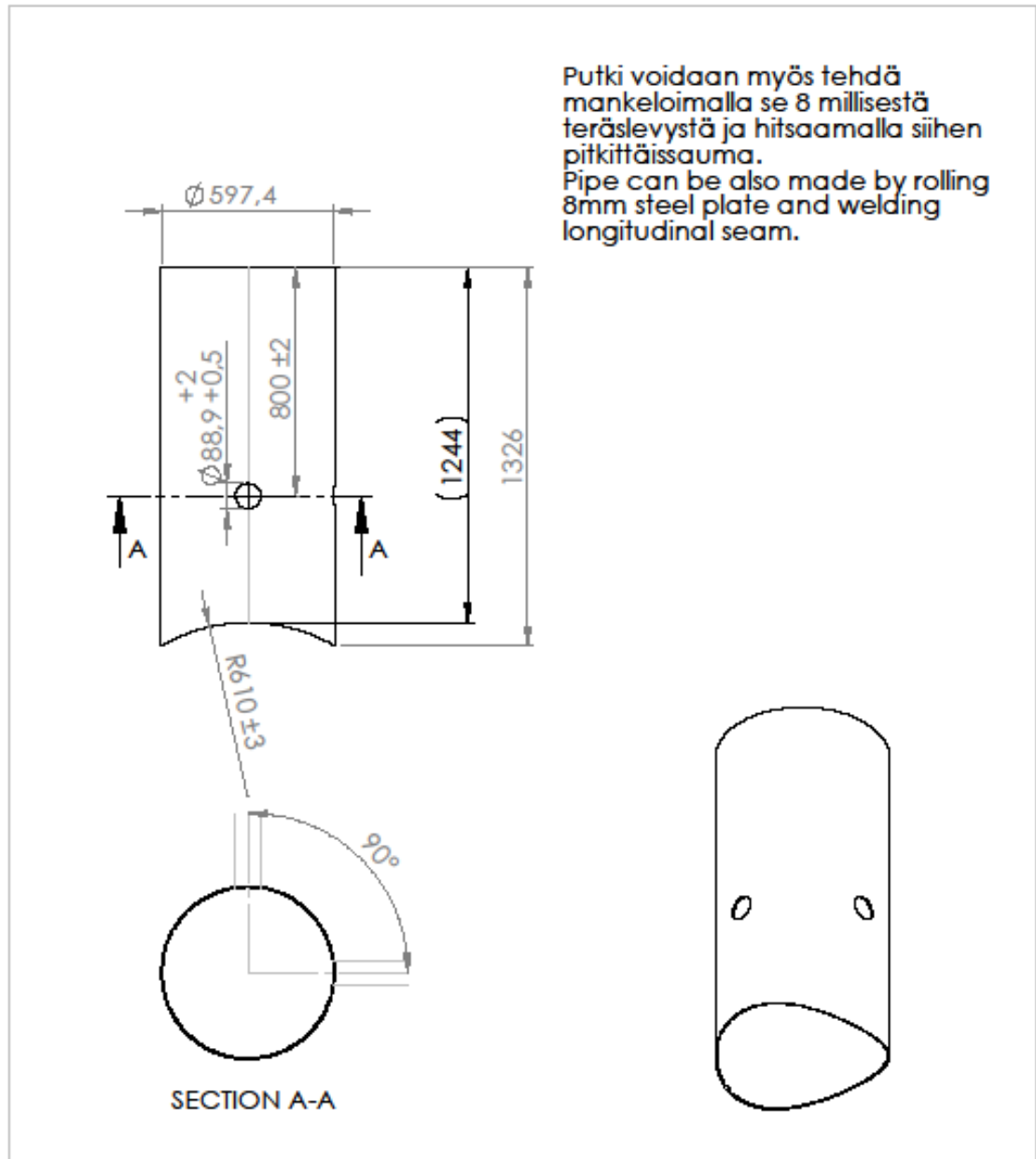
HUOM!
KATSO LEVITYSKUVA
RUNKOPUTKESTA, josta löytyy
pienien reikien paikat.

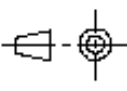
NOTE!
VIEW THE DISTRIBUTED FIGURE OF
BODY PIPE, from which you can find
the locations of the small holes.

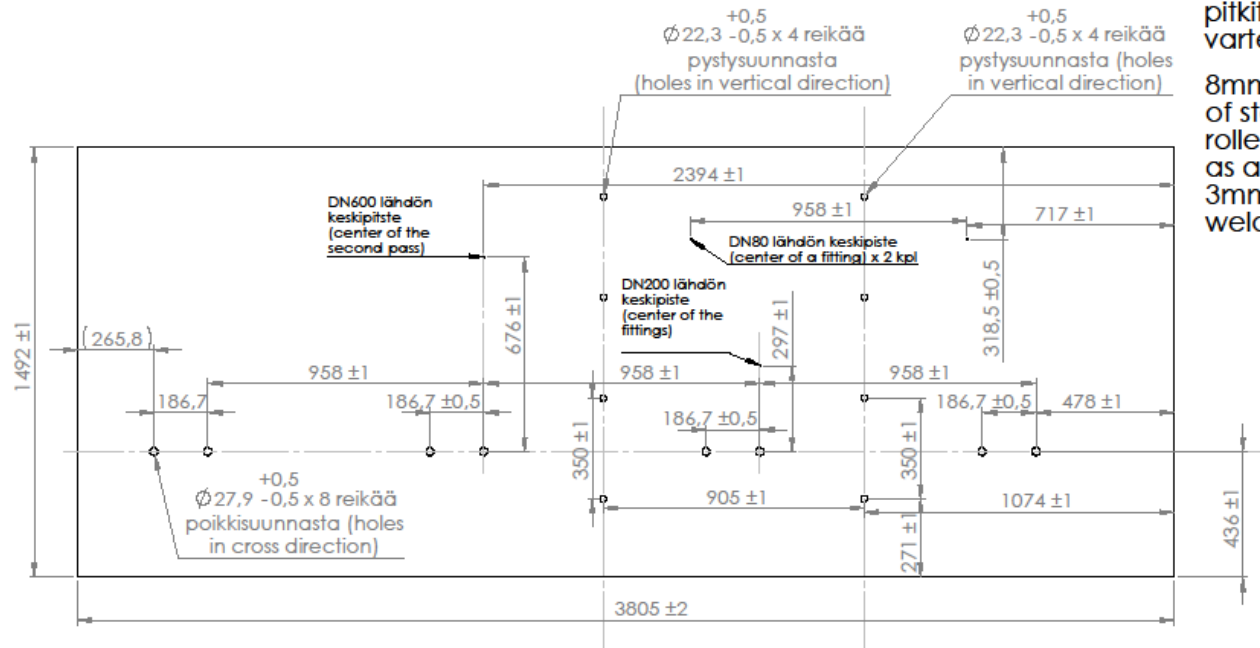


ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a1.02	SWD11472 Runkoputki eli ylin	P 1200 x 8 L=1492	S235JRG2	1
2	a0.03	ORT200 PN10 Laippa	DN 1200 PN10 Flange	1.0460	2

Tolerance: ± 0.1	Customer:	Creator: G. Juvola	31-09-2014
Max:	Project: BFB boiler	Inspector: J. Huttunen	Date:
Scale: 1:20	Work number: a1.01	Approval Person:	Date:
Part: Top segment body pipe and flange	Identification number: SWD11472		



ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a1.01.05.a1		P 610 x min. 6,3 L=1326	S235JRG2	1
Tolerance: $\frac{12,5}{\nabla}$		Customer:	Creator: O. Juutilainen	06-03-2014	
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huttunen	Date	
	Scale: 1:20	Work number: a1.01.05	Approval Person:	Date	
Savonia UAS		Part: Takaveto lähtö ulkoputki DN600 PN10	Identification number: a1.01.05		



8mm teräslevystä valmistettava aihio, joka valssataan pyöreäksi \varnothing 1220mm ylimmän kattilasegmentin rungoksi. Jätetty 3mm väli pitkittäissauman hitsausta varten.

8mm thick billet manufactured of steel sheet, which will be rolled into a round \varnothing 1220mm as a top boiler segment's body. 3mm spacing has been left for welding the longitudinal seam.

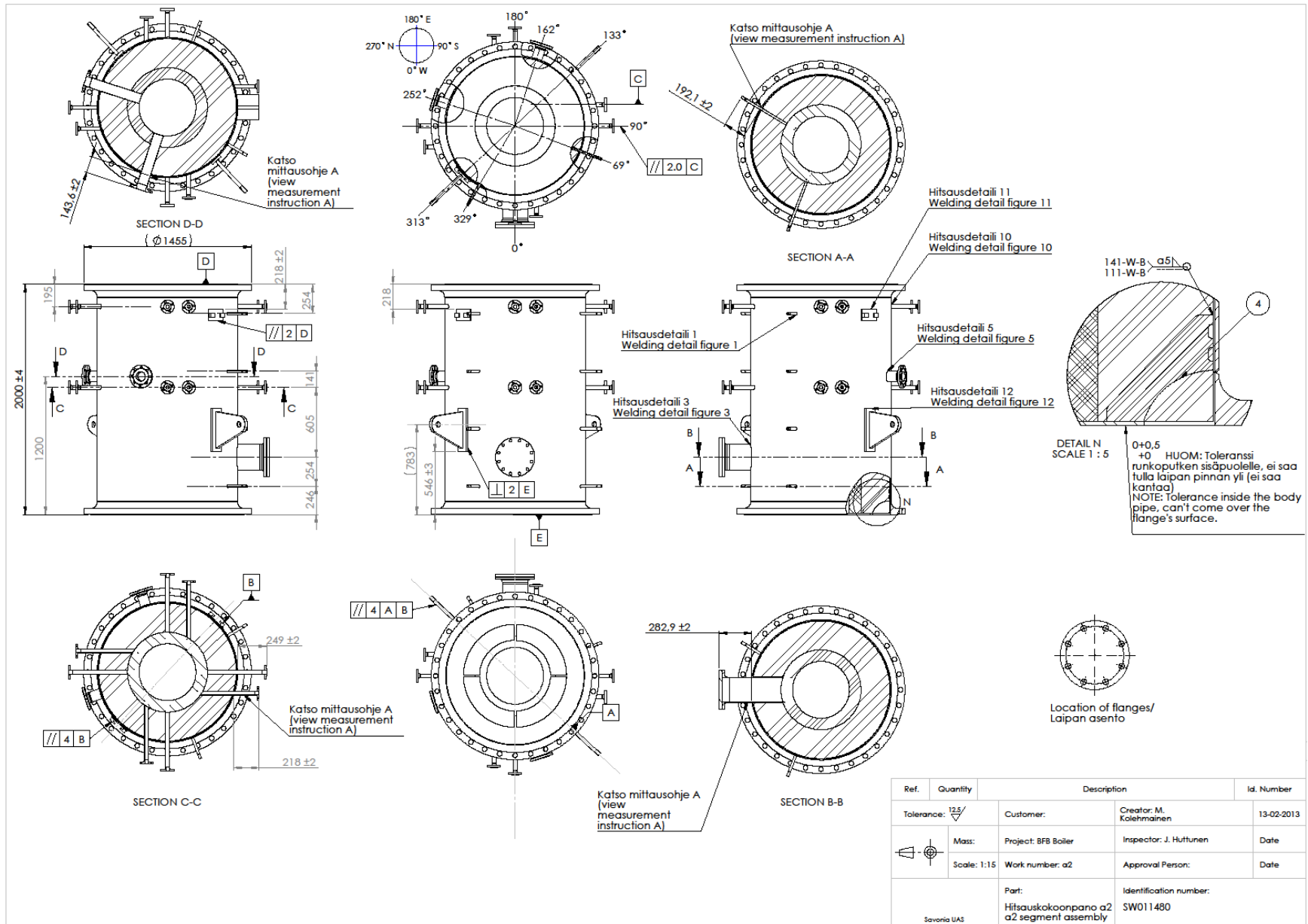
Terävät kulmat viistetään
Sharp edges will be rounded

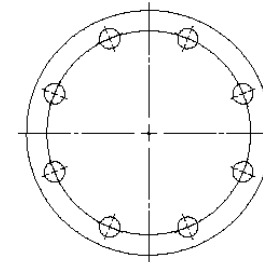
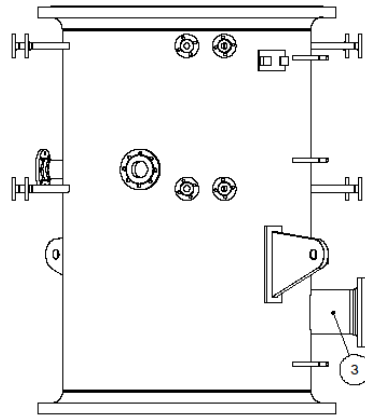
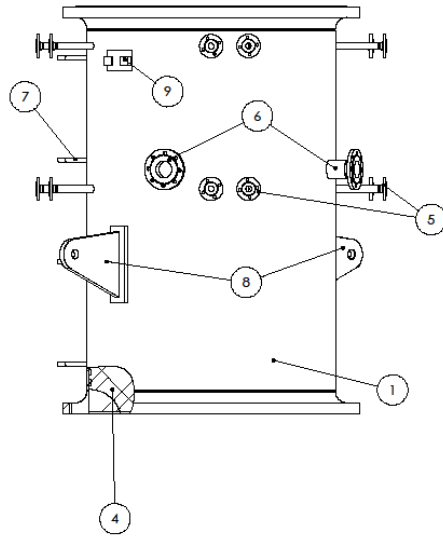
Rest of the bigger holes will be drilled into a ready pipe. View SW11472 (ID:a1.01)

Loput suurempien reikien paikoista porataan valmiiseen putkeen. Ks. SW11472 (ID: a1.01)

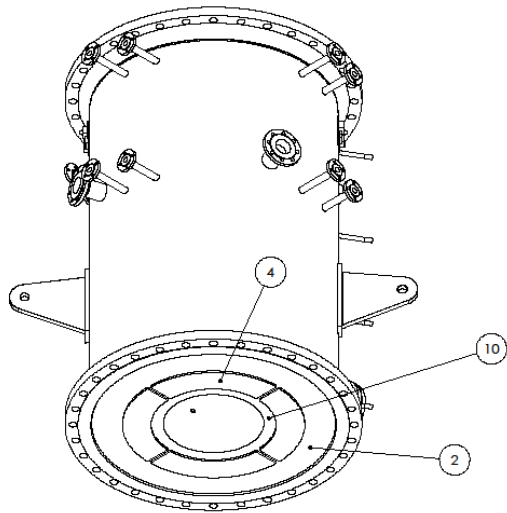
ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a1.02.a1		PI S8 x 3805 x 1441	S235JRG2	1
Tolerance: ∇ 12,5		Customer:	Creator: O. Juutilainen	28-03-2014	
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huftunen	Date	
	Scale: 1:15	Work number: a1.02	Approval Person:	Date	
Part:		Identification number:			
Savonia UAS		Segment a1 body plate Levityskuva kattilarunko		SW014687	

LIITE 4: TYÖPIIRUSTUKSET - SEGMENTTI A2



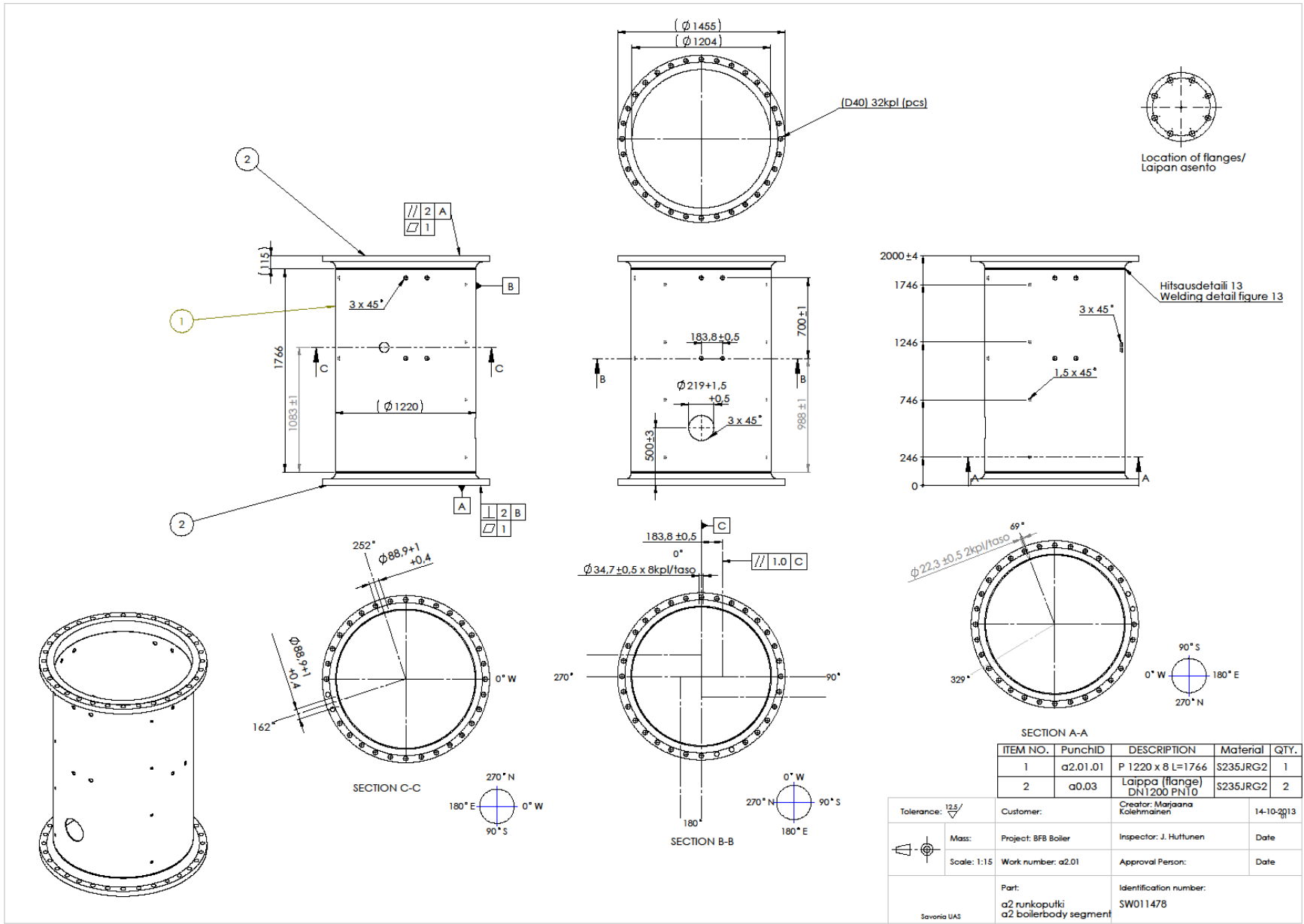


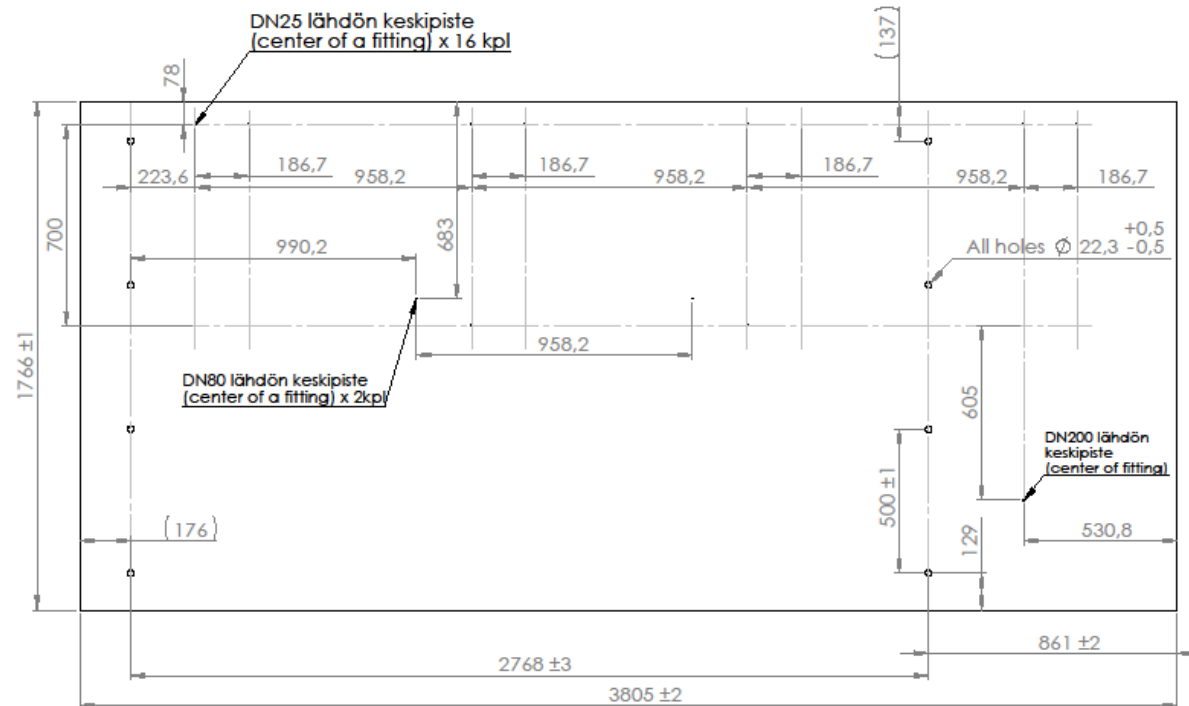
Location of flanges/
Laipan asento



ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	Standard	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a2.01	SW011478.Runkoputki_2.ylin		Boiler segment a2	S235JRG2	1
2		SW011486. 2. ylimmän segmentin_massa_assembly		Ceramic insulation		1
3	a1.04	x x Maintenance assembly DN200		Maintenance joint		1
4	c2.01	SW012039		Ceramic support plate and brackets	S235JRG2	4
5	c1.04	SW012961.sldasmDN32		Air feeding pipe		16
6	c1.01	SW012998		Flue gas measurement joint	1.4828/253MA	2
7	c1.03	SW012966		Sensor joint	1.4828	8
8	c3.01.01	SW013337		Support handles	S235JRG2	1
9	a2.02	SW014434		Slide bracket assembly	S235JRG2	1
10		SW014558		Fireproof ceramic		1

Tolerance: ∇ 12.5/	Customer:	Creator: O. Juutilainen	07-05-2014
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huftunen
	Scale: 1:15	Work number: a2	Approval Person:
Part: Hitsauskokoontamo a2 a2 segment assembly		Identification number: SW011480	
Savonia UAS			





8mm teräslevystä valmistettava aihio, joka valssataan pyöreäksi \varnothing 1220mm ylimmän kattilasegmentin rungoksi. Jätetty 3mm väli pitkäittäissauman hitsausta varten.

8mm thick billet manufactured of steel sheet, which will be rolled into a round \varnothing 1220mm as a top boiler segment's body. 3mm spacing has been left for welding the longitudinal seam.

Terävät kulmat viistetään

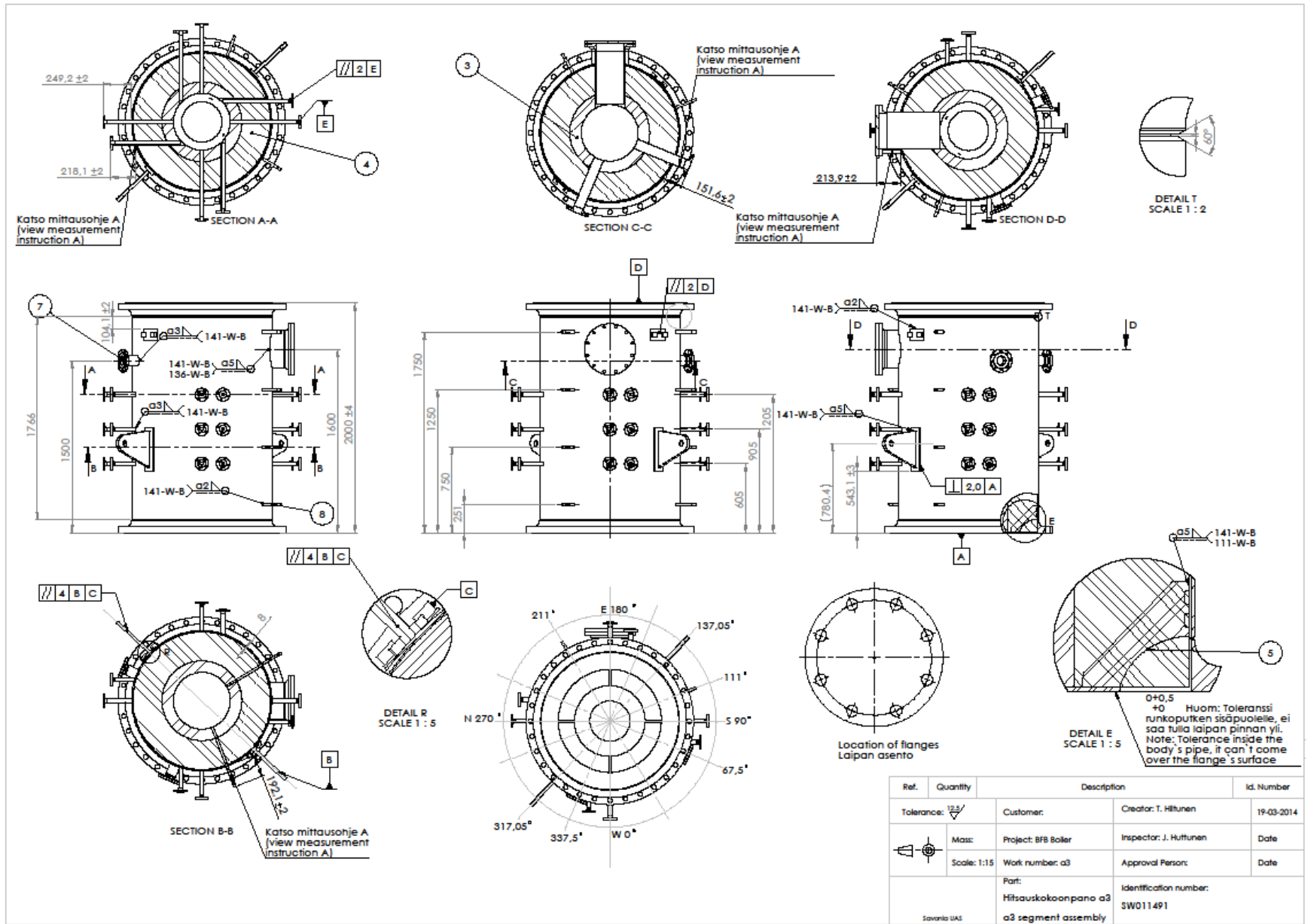
Sharp edges will be swept

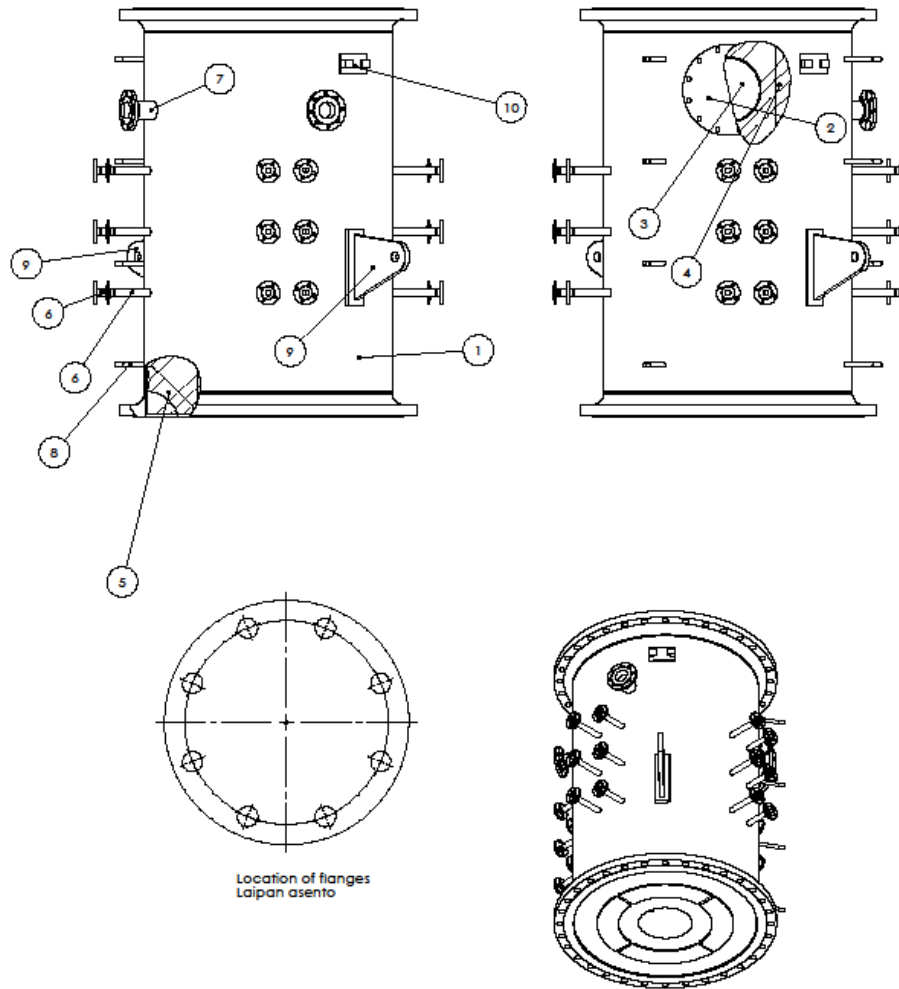
Loput suurempien reikien paikoista porataan valmiiseen putkeen. Ks. SW011478

Rest of the bigger holes will be drilled into a ready pipe. View SW011478

ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a2.01.01.a1		PI 3805 x 1766 S=8	S235JRG2	1
Tolerance: ∇ 12.5/		Customer:	Creator: D. Castiella	13-02-2013	
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huftunen	Date	
	Scale: 1:10	Work number: a2.01.01	Approval Person:	Date	
Savonia UAS		Part: Segment a2 body plate Segmentin a2 levityskuva	Identification number: SW014700		

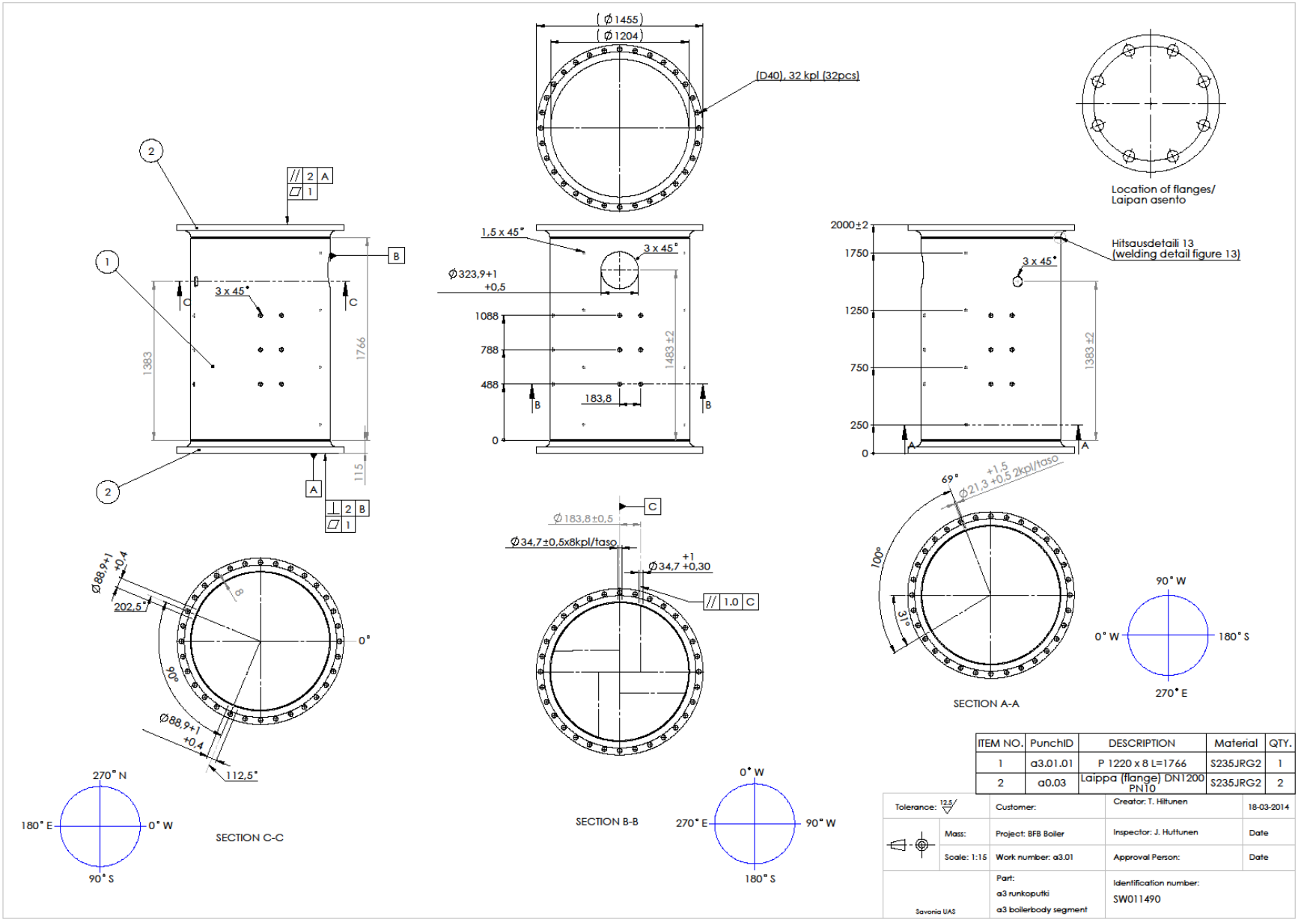
LIITE 5: TYÖPIIRUSTUKSET - SEGMENTTI A3

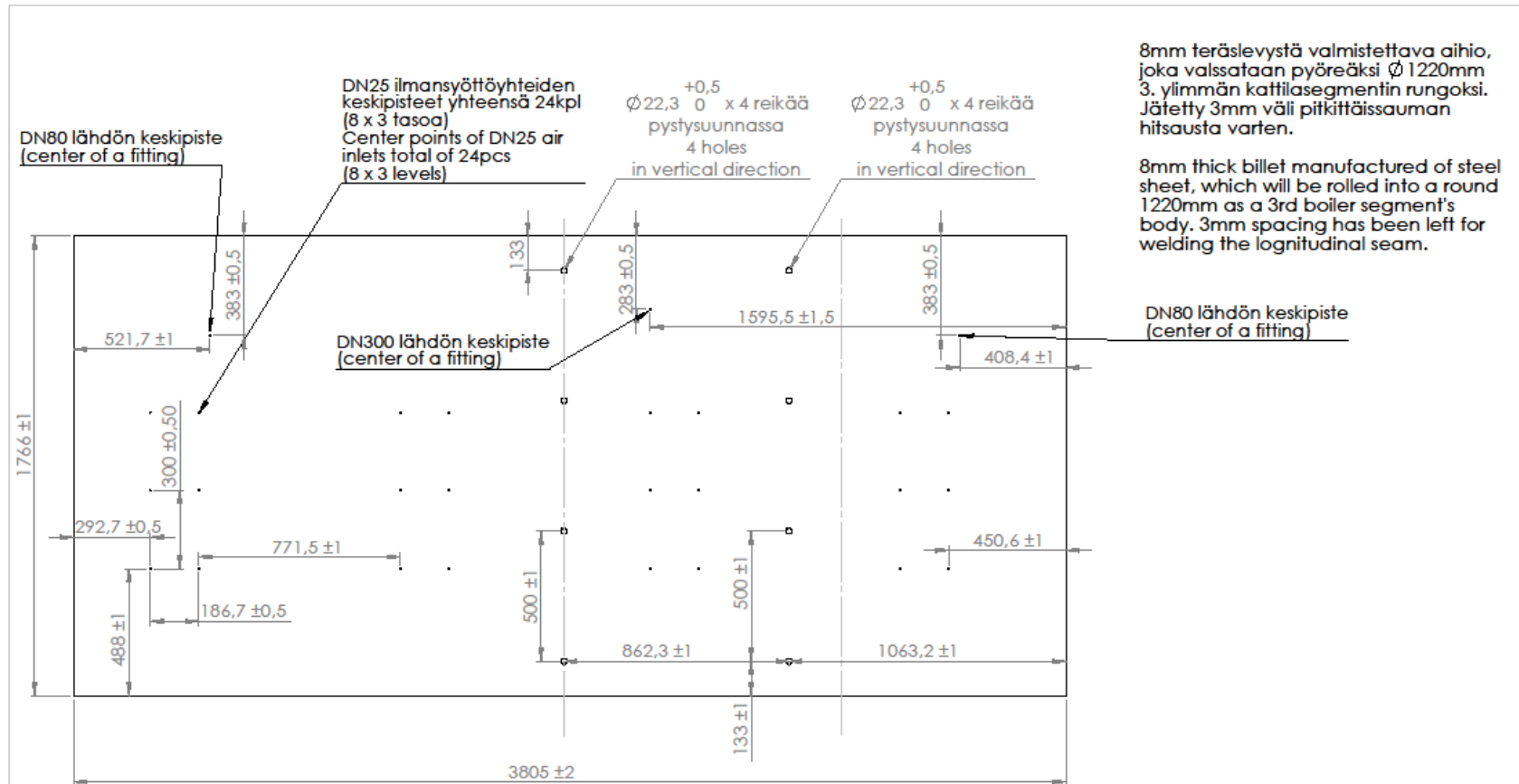




ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	Standard	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a3.01	SW011490. 3. ylin runkoputki		Boiler segment a3	S235JRG2	1
2	a3.01.04	SW01354.näytteeno ttoyhde dn300		Measurement joint		1
3		SW011495. 3.ylin segmentti_keraami_ assembly		Ceramic insulation		1
4		SW012129_3massa		Ceramic insulation		1
5	c2.01	SW012039		Ceramic support plate and brackets	S235JRG2	4
6	c1.04	SW012961.sidasmD N32		Air feeding pipe DN25		24
7	c1.01	SW012998		Flue gas measurement joint DN80		2
8	c1.03	SW012966		Sensor inlet		8
9	c3.01.01	SW013337		Support handle	S235JRG2	1
10	a2.02	SW014433		Slide bracket assembly		1

Tolerance: $\frac{12.5}{\sqrt{}}$	Customer:	Creator: D. Castella	13-02-2013
	Mass: Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huftunen	Date
	Scale: 1:15	Work number: a3	Approval Person: Date
Part: Mitsauskoonpano a3 a3 segment assembly		Identification number: SW011491	

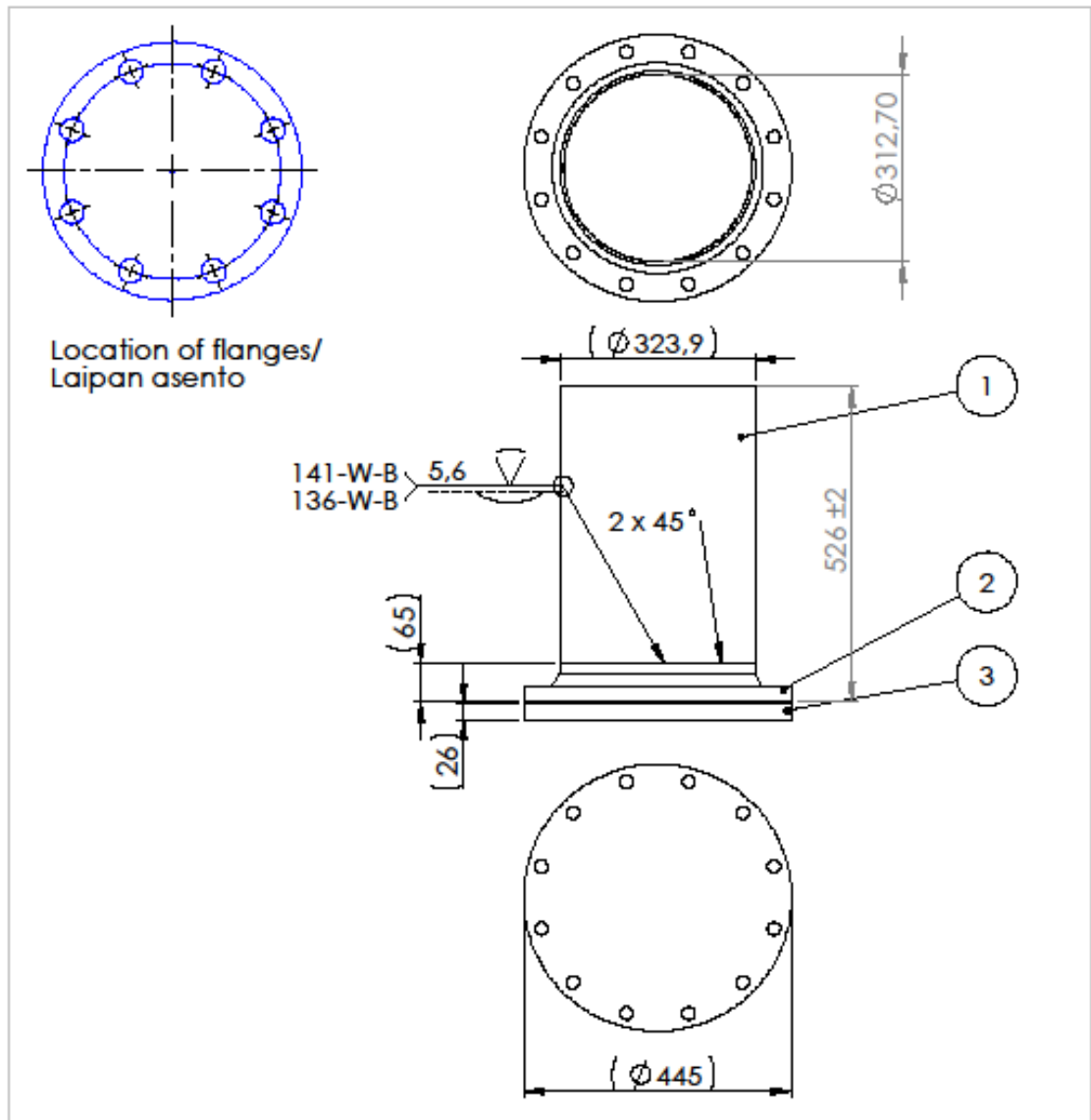




Suuremmat reiät porataan apureikien avulla valmiiksi valssattuun runkoputkeen. ks. SW011472
Bigger holes will be drilled into a ready pipe. View SW011472

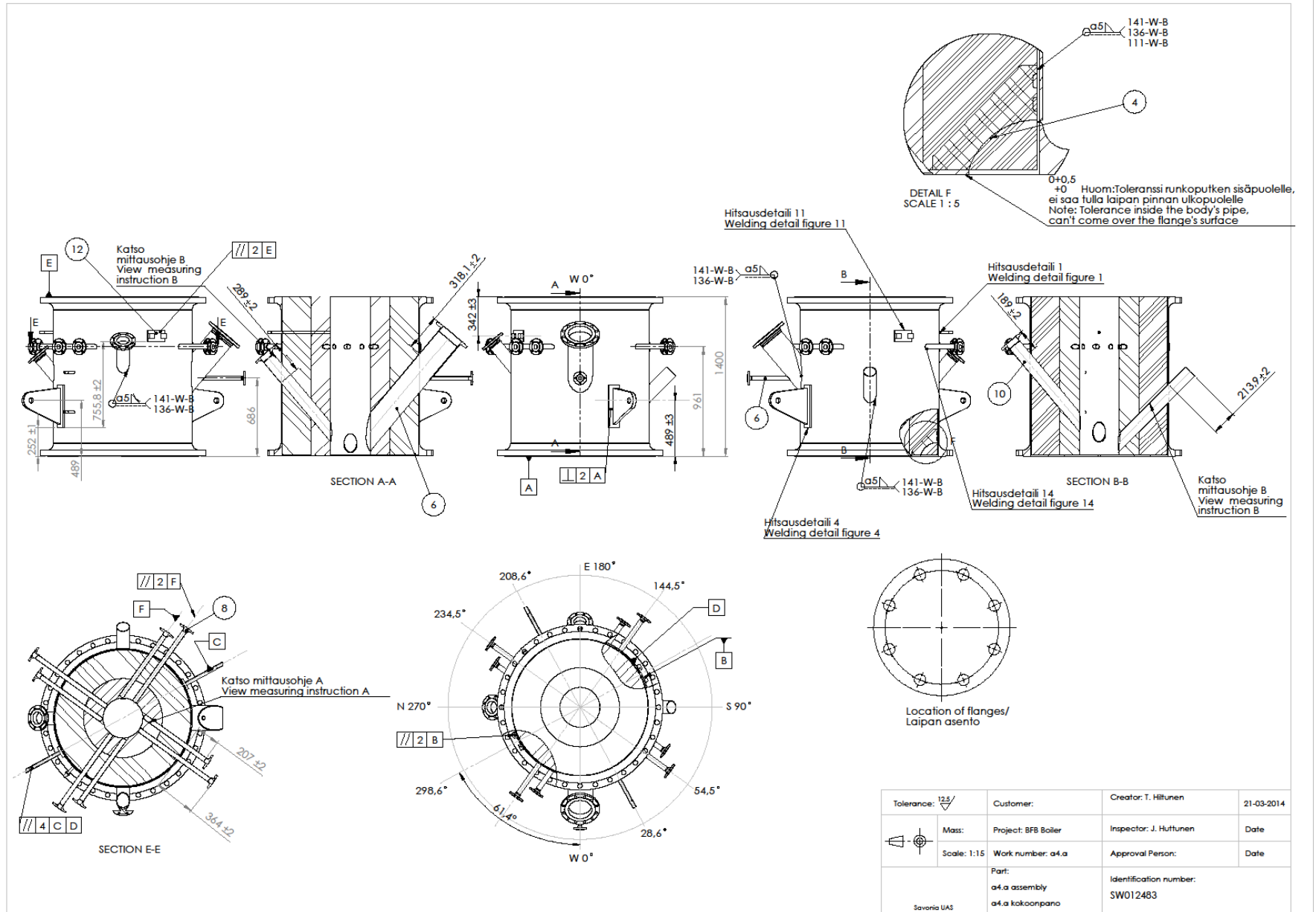
ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a2.01.01.a1	SW014701	PI 3805 x 1766 s=8	S235JRG2	1

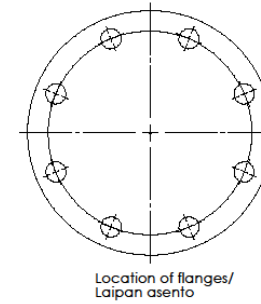
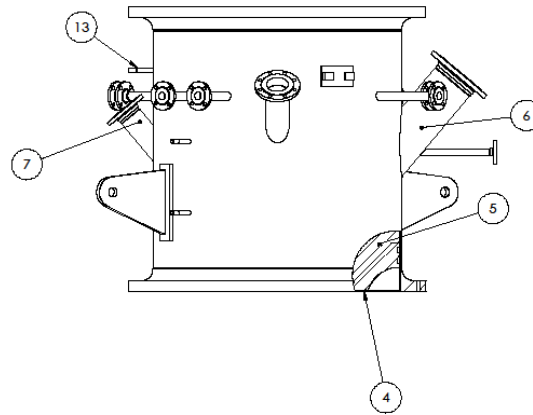
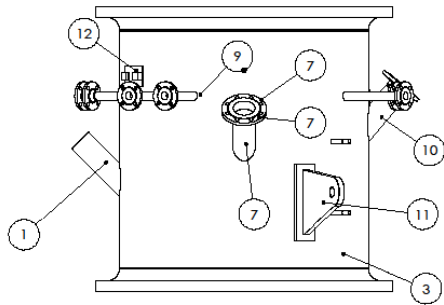
Tolerance: $\nabla \frac{12,5}{}$	Customer:	Creator: T. Hiltunen	02-04-2014
	Mass:	Inspector: J. Huttunen	Date
	Scale: 1:15	Work number: a3.01.01	Approval Person: Date
Savonia UAS	Part: Levityskuva 3. segmentin rungosta Spread sheet image of the 3rd segment	Identification number: SW014701	



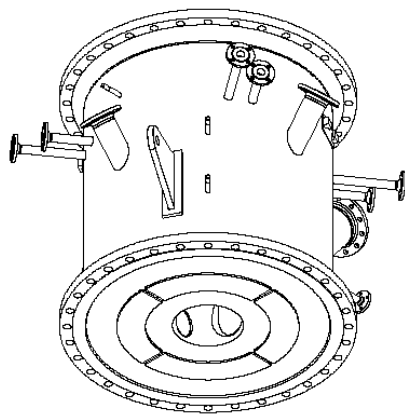
ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a3.01.04.a1		P 323,9 x min.5,6 L =461	1.4828/253MA	1
2	a0.10		Laippa (flange) DN300 PN10	1.4301	1
3	a0.11		Umpilaippa (blind flange) DN300 PN10	1.0460	1
Tolerance: $\frac{12,5}{\sqrt{\quad}}$		Customer:	Creator: T. Hiltunen	18-03-2014	
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huttunen	Date	
	Scale: 1:10	Work number: a3.01.04	Approval Person:	Date	
Savonia UAS		Part: Näytteenottoyhde DN300 Sample fitting DN300	Identification number: SW013054		

LIITE 6: TYÖPIIRRUSTUKSET - SEGMENTTI A4





Location of flanges/
Laiipan asento



ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	Standard	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a4.a01.03	SW013064		Pipe for peek glass	1.4828/253MA	1
2		SW011344		Ceramic insulation		1
3	a4.a01	SW011884		Boiler segment a4.a	S235JRG2	1
4	c2.01	SW012039		Ceramic support plate and brackets	S235JRG2	4
5		SW012347		Ceramic insulation		1
6	a4.a01.06	SW013060		Fuel feeding pipe DN200	1.0460	1
7	a4.a01.05	SW013061		Sand feeding pipe DN100		1
8	c1.05	SW012840.slidasmD N40		Input air pipe DN32		4
9	c1.06	SW014861		Input air pipe DN32		4
10	a4.a01.05	SW013062		Sand feeding pipe DN100		1
11	c3.01.01	SW013337		Support handles		1
12	a2.02	SW014433		Slide bracket assembly		1
13	c1.03	SW012966		Sensor inlet	1.4828/253MA	3

	Tolerance: 12.5/	Customer:	Creator: T. Hiltunen	07-04-2014
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huttunen	Date
	Scale: 1:15	Work number: a4.a	Approval Person:	Date
	Part: a4.a assembly a4.a kokoonpano	Identification number: SW012483		

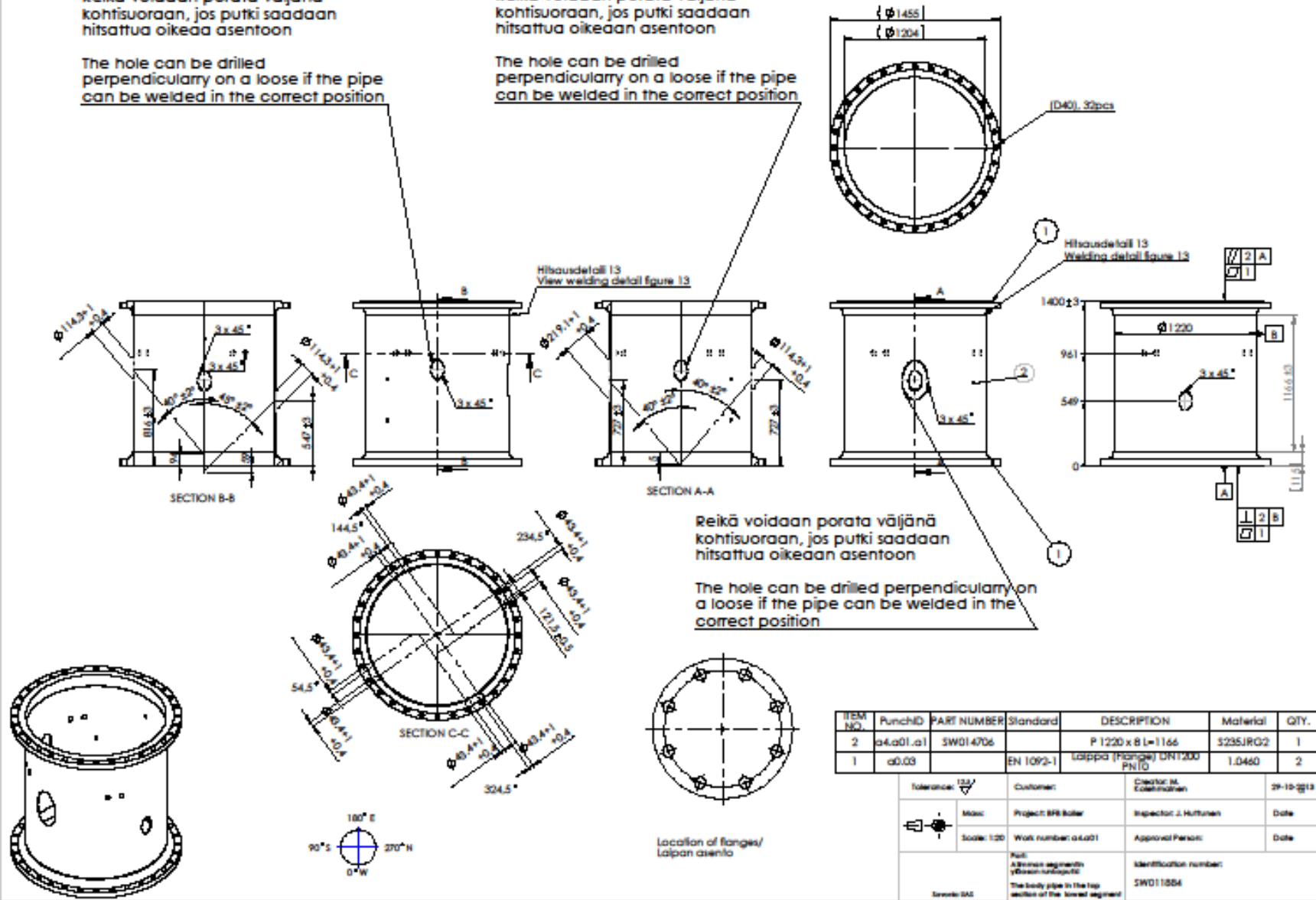
Savonia UAS

Reikä voidaan porata väljänä kohtisuoraan, jos putki saadaan hitsattua oikeaan asentoon

The hole can be drilled perpendicular on a loose if the pipe can be welded in the correct position

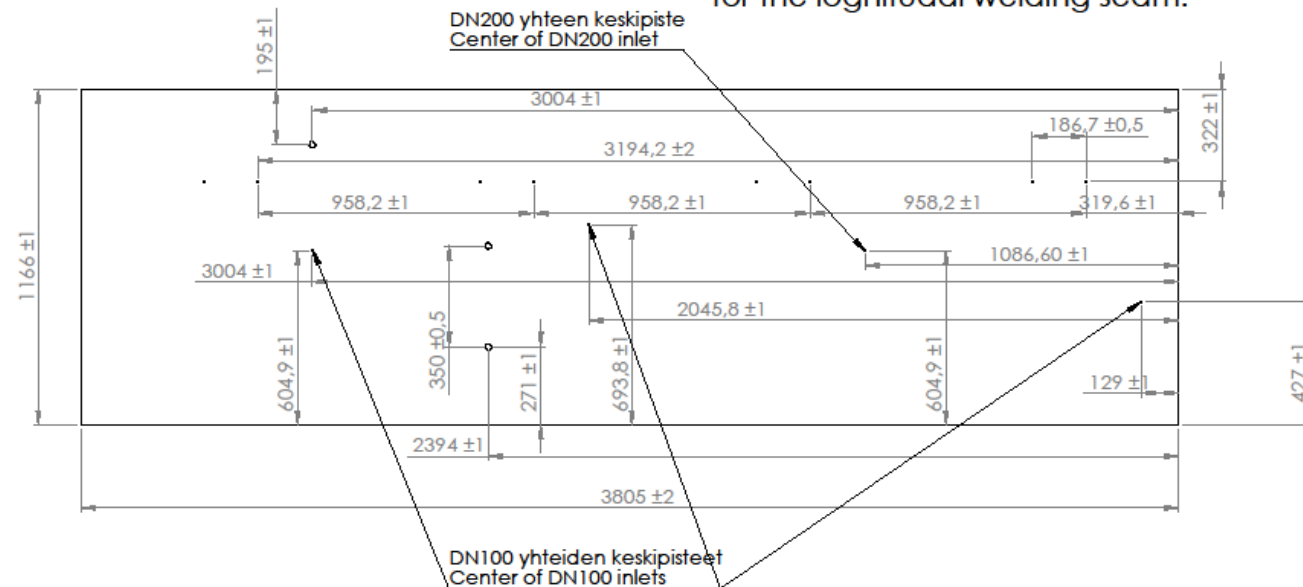
Reikä voidaan porata väljänä kohtisuoraan, jos putki saadaan hitsattua oikeaan asentoon

The hole can be drilled perpendicular on a loose if the pipe can be welded in the correct position



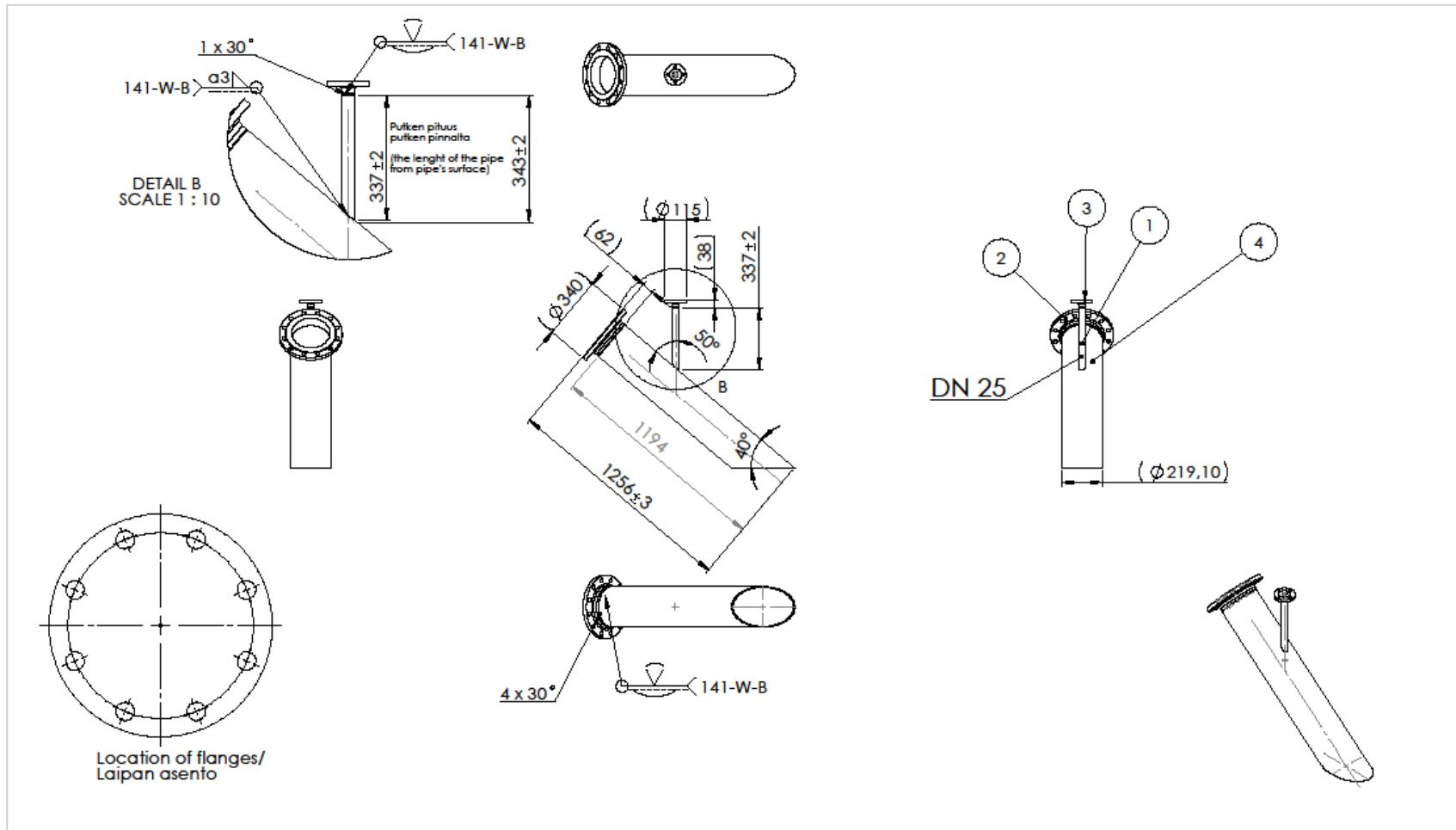
8mm teräslevystä valmistettava aihio, joka valssataan pyöreäksi $\varnothing 1220\text{mm}$ a4a segmentin rungoksi. Jätetty 3mm väli pitkittäissauman hitsausta varten.

8mm thick billet Manufactured of steel sheet, Which will be rolled into a round ($\varnothing 1220\text{mm}$) as a top Boiler segment's (a-part) body. 3mm spacing has been left for the lognitudal welding seam.



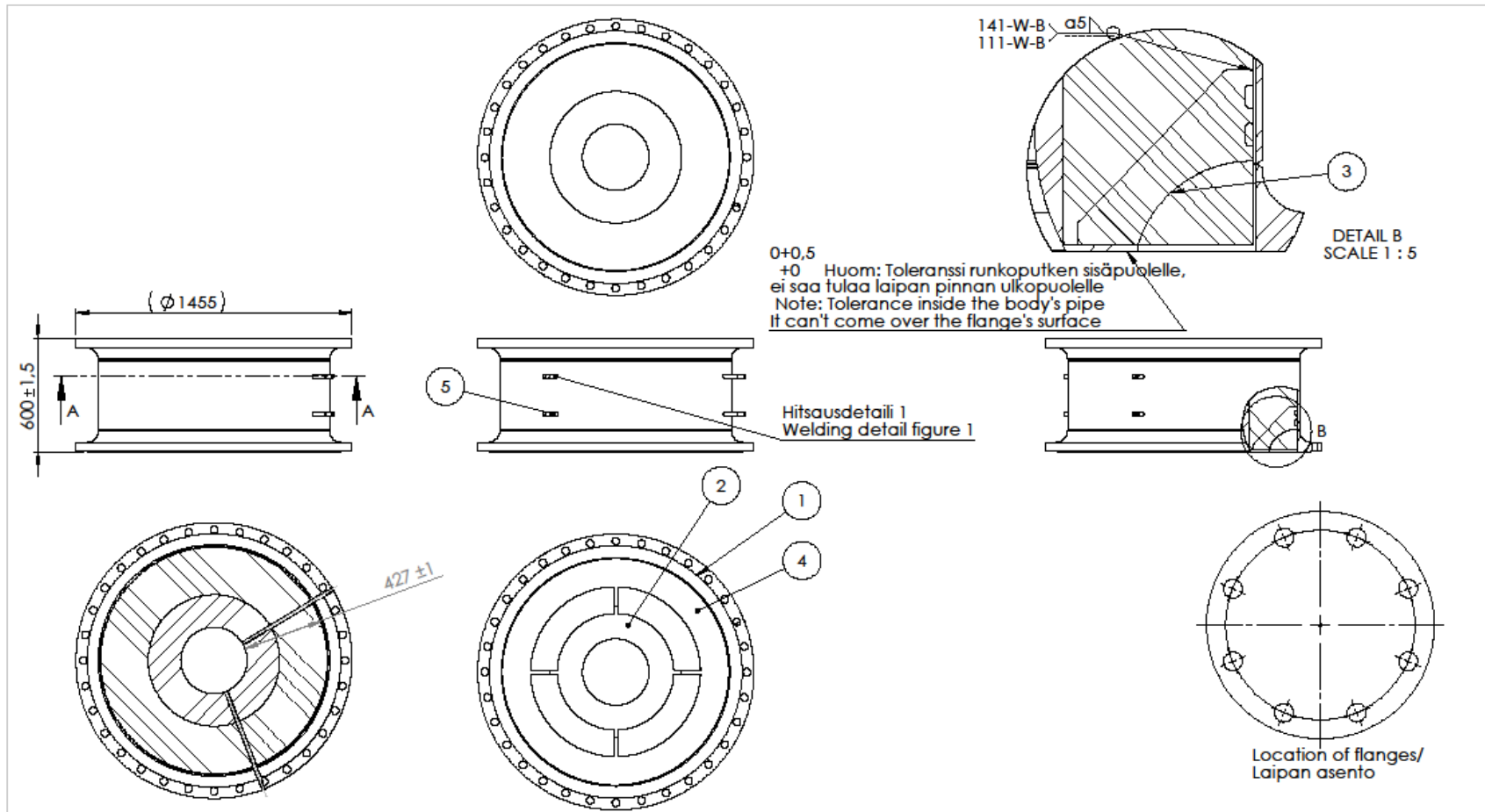
ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a4.a01.01.a1	SW014706	PI 3805 x 1166 s=8	S235JRG2	1

Tolerance: $\nabla 12,5$	Customer:	Creator: T. Hiltunen	02-04-2014
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huttunen
	Scale: 1:15	Work number: a4.a01.01	Approval Person:
Savonia UAS	Part:	Identification number:	
	Levityskuva kattilarunko DN1200 x 1120mm	SW014706	



ITEM NO.	PunchID	Standard	PART NUMBER	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a4.a01.04.01		x_Air nozzle of the fuel feeder-tube	P 33,7x2,0 L=343	1.0460	1
2	a0.15	EN 1092-1		Laippa (Flange) DN200 PN10 **	1.0460	1
3	a0.14	EN 1092-1		Laippa (Flange) DN25 PN 40	1.0460	1
4	a4.a01.04		x_Fuelfeeder tube v002	P 219,1x min. 4,5 L=1256	1.0460	1

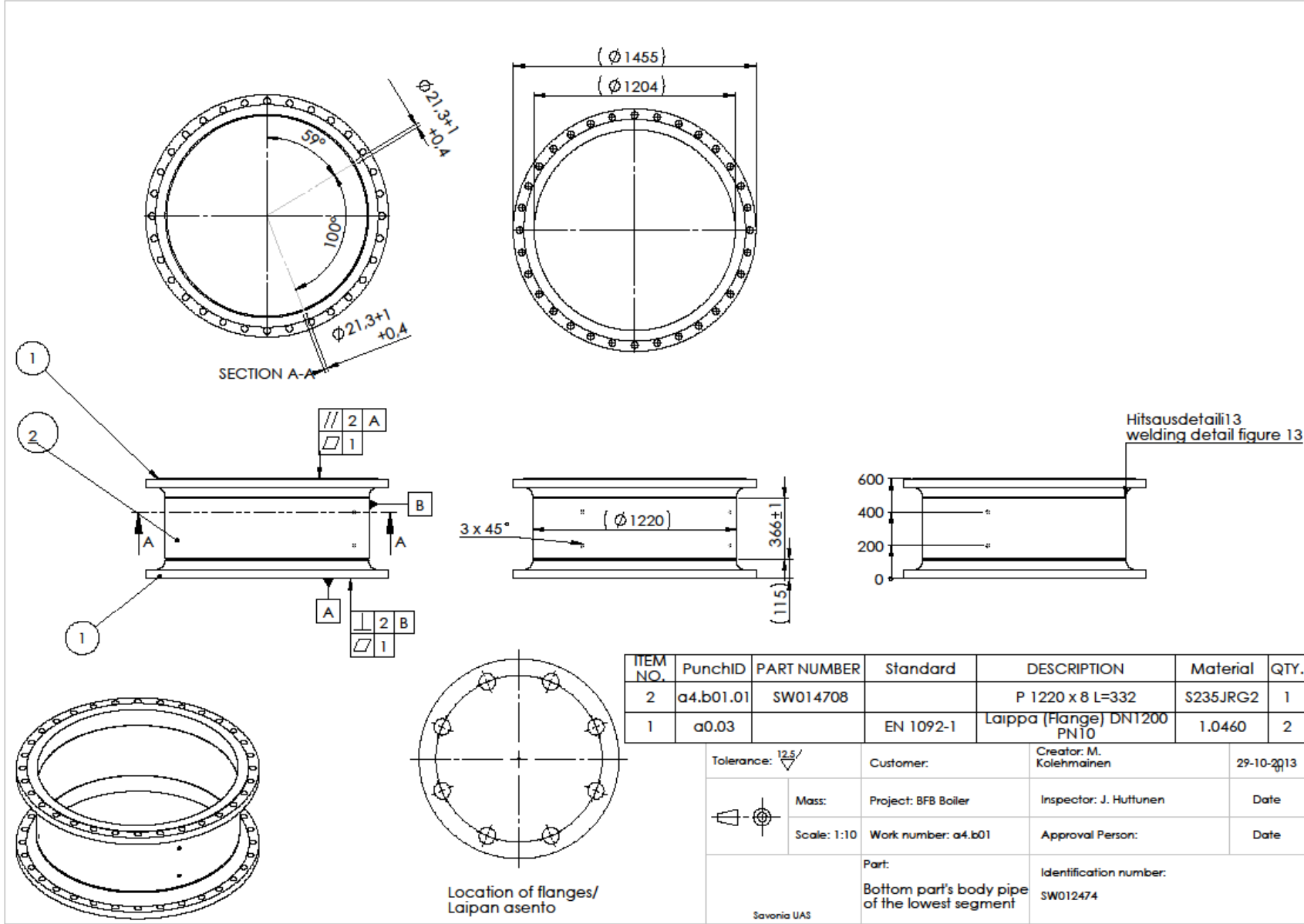
Tolerance: $\frac{12,5}{\sqrt{\quad}}$	Customer:	Creator: T. Hiltunen	21-03-2014
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huttunen
	Scale: 1:10	Work number: a4.a01.06	Approval Person:
Savonia UAS	Part:	Identification number:	
	Polttoaineensyöttöputki Input pipe for oil	SW013060	



SECTION A-A

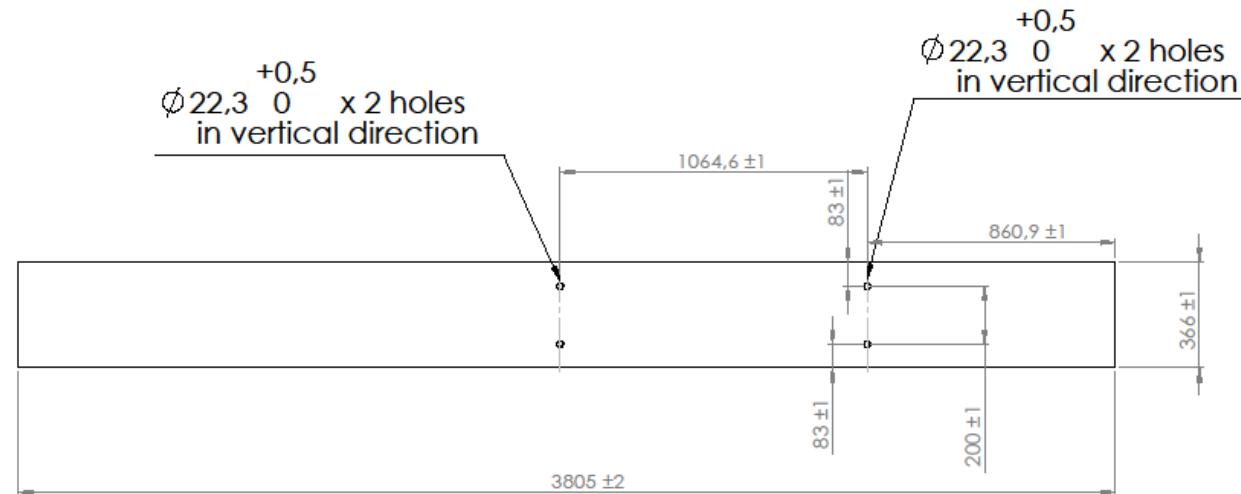
ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a4.b01	SW012474	P 1220 x 8 L=332	S235JRG2	1
2		SW012473	Ceramic insulation		1
3	c2.01	SW012038	Ceramic support plate and brackets	S235JRG2	4
4		SW012134	Ceramic insulation		1
5	c1.03	SW012966	Sensor inlet	1.4828/253MA	4

Tolerance: 12.5/	Customer:	Creator: M. Kolehmainen	26-11-2013
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huttunen
	Scale: 1:10	Work number: a4.b	Approval Person:
Savonia UAS		Part: Alimman segmentin alaosan kokoonpano b-osa The assembly of the lower part, in the lowest segment, b-part	Identification number: SW012484



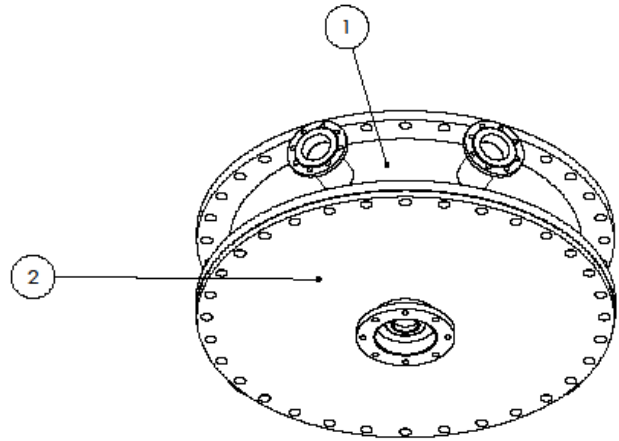
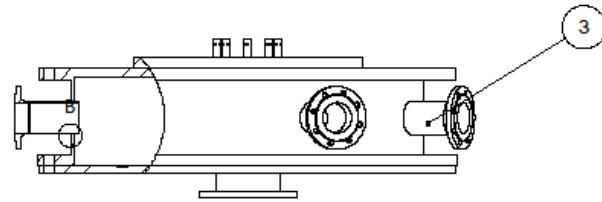
8mm teräslevystä valmistettava aihio, joka valssataan pyöreäksi $\varnothing 1220\text{mm}$ a4b segmentin rungoksi. Jätetty 3mm väli pitkittäissauman hitsausta varten.

8mm thick billet manufactured of steel sheet, which will be rolled into a round $\varnothing 1220\text{mm}$ as a top boiler segment's body. 3mm spacing has been left for welding the lognitudinal seam.



ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a4.b01.01.a1	SW014708	PI 3805 x 366 s=8	S235JRG2	1

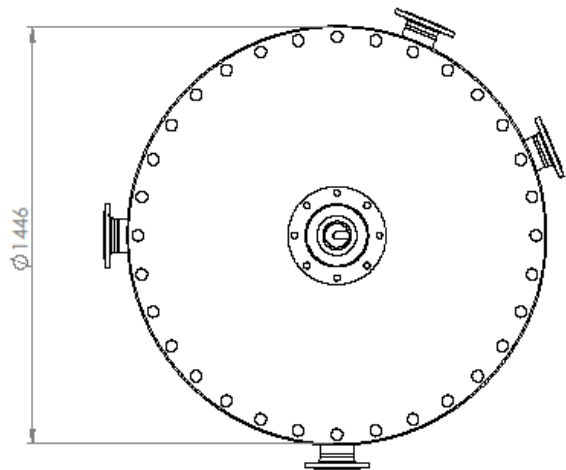
Tolerance: $\nabla^{12.5}$	Customer:	Creator: T. Hiltunen	03-04-2014
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huttunen
	Scale: 1:15	Work number: a4.b01.01	Approval Person:
Savonia UAS		Part: Distributed image of boiler's body	Identification number: SW014708



Kaikki DN100 yhteed
All DN100 inlets

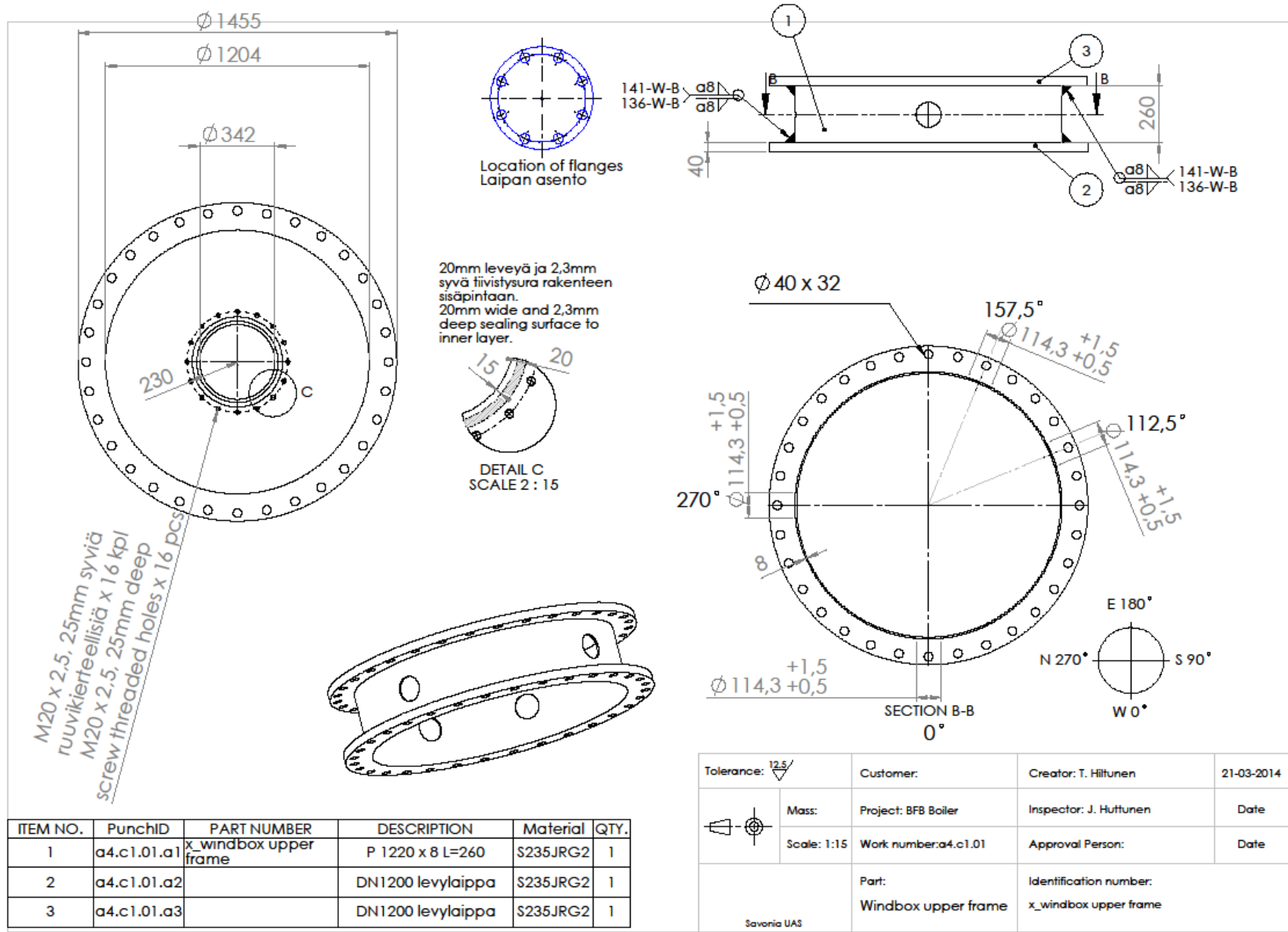
141-W-B $\frac{a6}{a3}$
136-W-B $\frac{a6}{a3}$

DETAIL B
SCALE 1 : 5

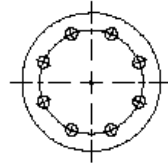


ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a4.c1.01	x_windbox upper frame	Windbox	S235JRG2	1
2	a4.c1.02	x_bottom windbox	Windbox bottom	S235JRG2	1
3	a4.c1.04	x_Windbox air nozzle			4

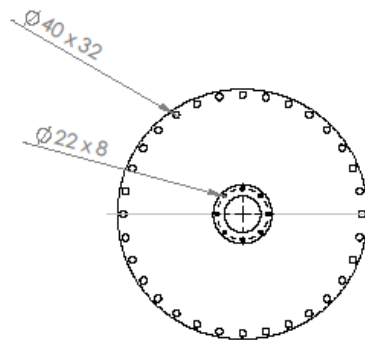
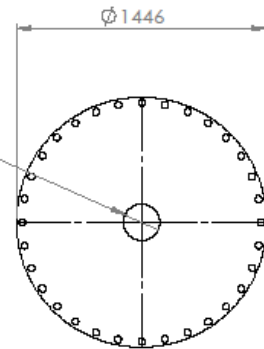
Tolerance: $\frac{12.5}{\sqrt{\quad}}$	Customer:	Creator: T. Hiltunen	09-05-2014
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huttunen
	Scale: 1:10	Work number: a4.c1	Approval Person:
Savonia UAS	Part: Windbox kokoonpano Windbox assembly	Identification number: X_windbox	



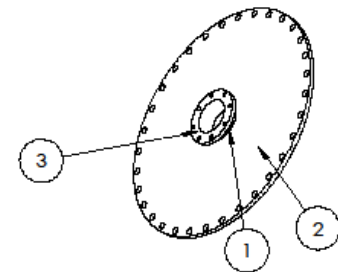
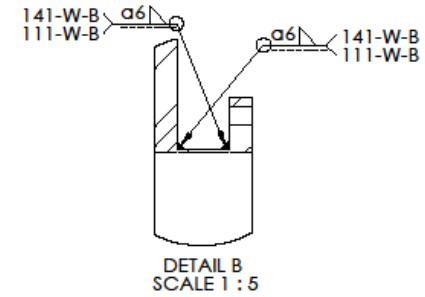
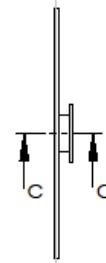
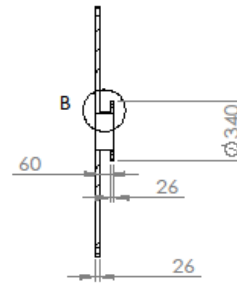
Location of flanges/
Laipan asento



26mm levyaihiosta tehtävä
umpilaippa, jonka keskelle
porataan $\varnothing 210$ mm reikä.
DN1200 Blind flange which is
made from 26mm sheet and
modified by drilling a
 $\varnothing 210$ mm hole to the center.



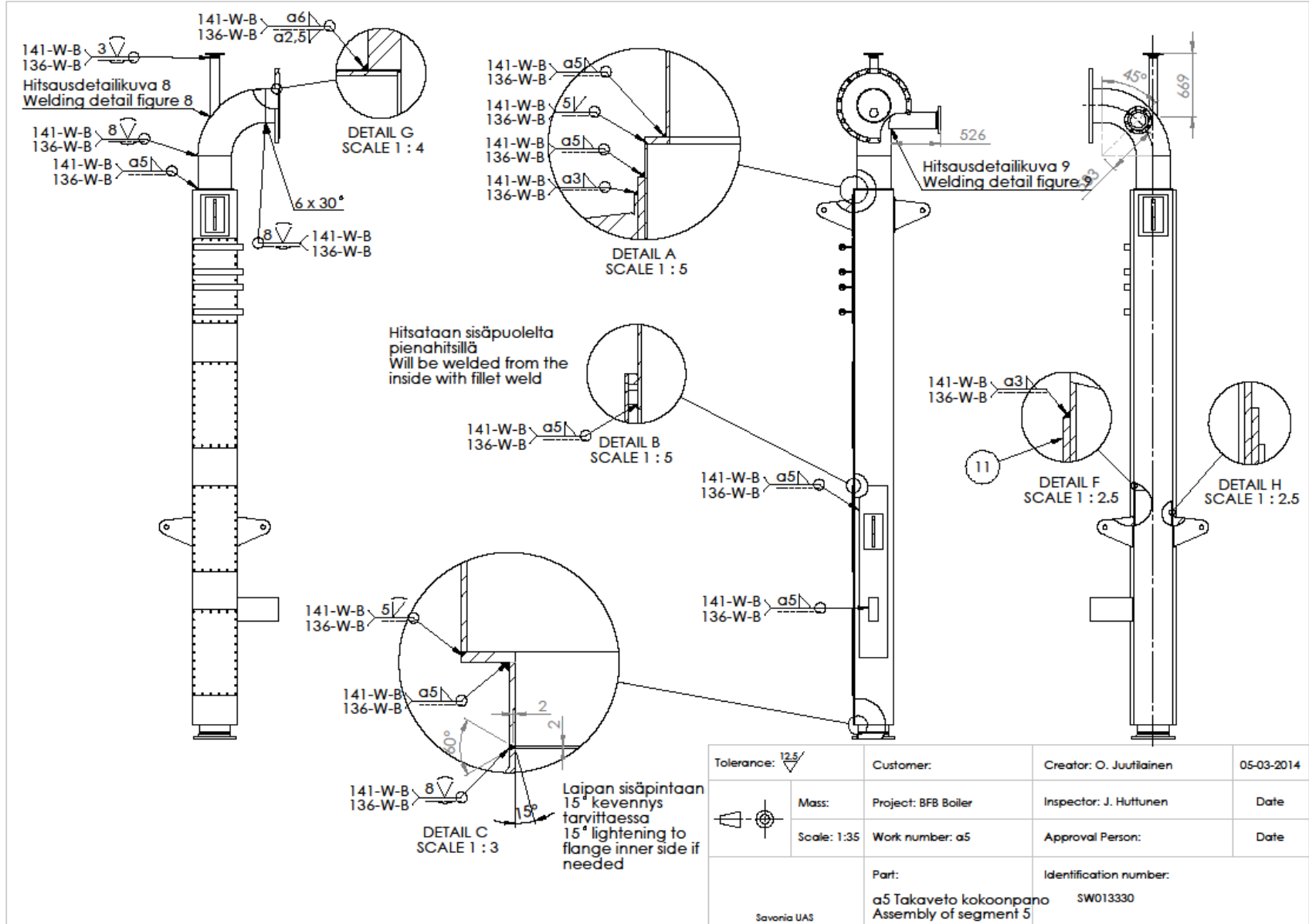
SECTION C-C

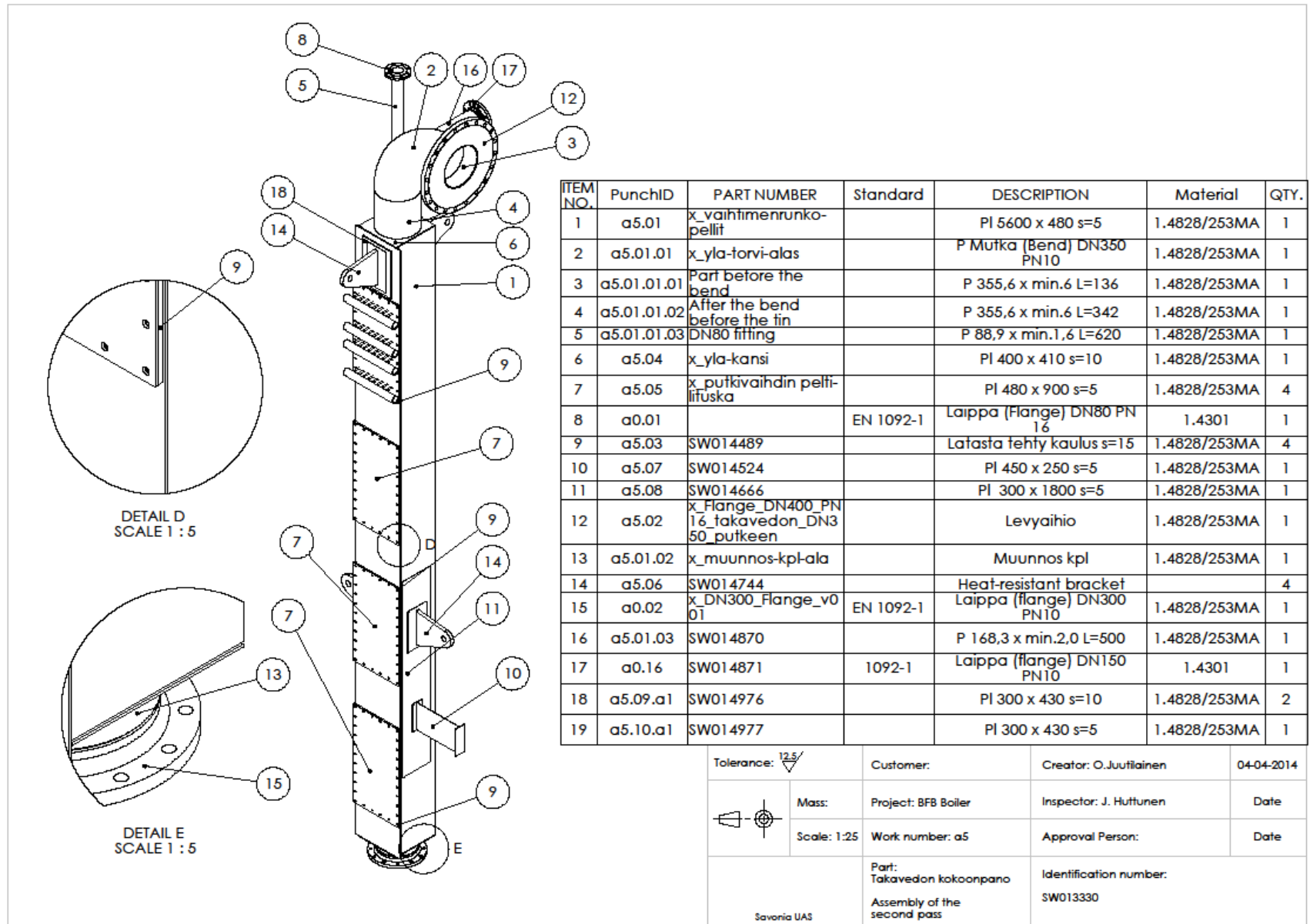


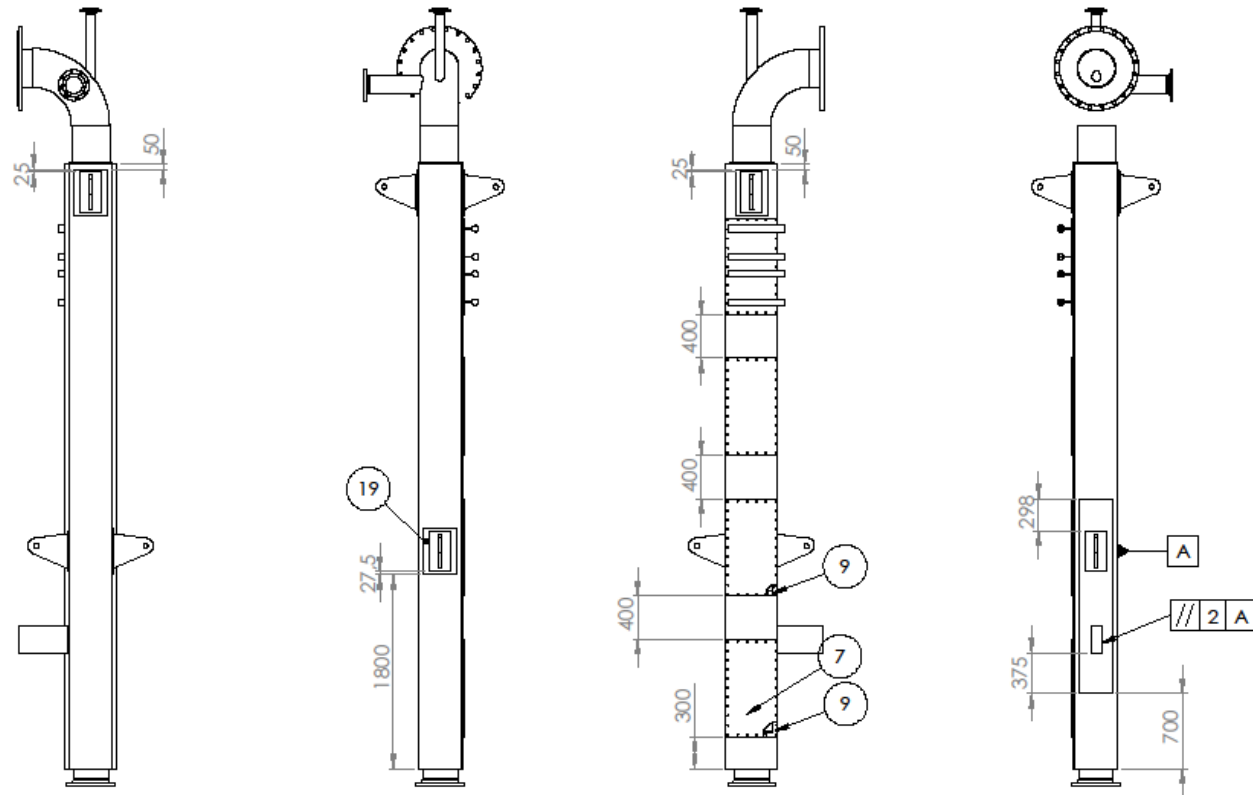
ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a4.c1.02.a1	x_bottom windbox	P 219,1 x4,5 L= 60	S235JRG2	1
2	a4.c1.02.a2		Modifioitu DN1200 levylaippa	S235JRG2	1
3	a4.c1.02.a3		DN200 PN10 levylaippa	S235JRG2	1

Tolerance: $\nabla 12.5$	Customer:	Creator: O. Juutilainen	09-05-2014
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huttunen
	Scale: 1:10	Work number: a4.c1.02	Approval Person:
Savonia UAS	Part: Windbox alaosa kokoonpano Windbox bottom assembly	Identification number: x_bottom windbox	

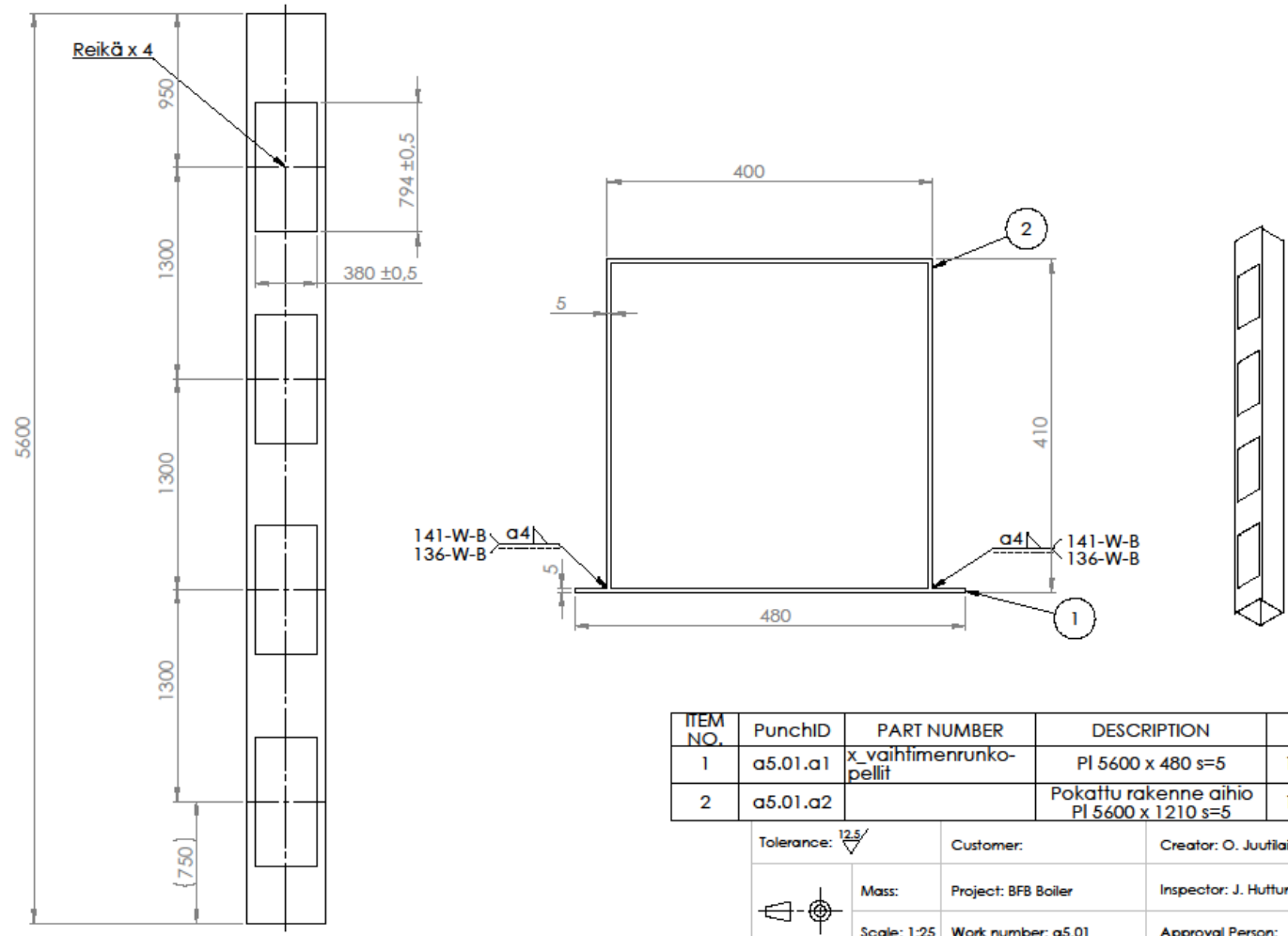
LIITE 7: TYÖPIIRRUSTUKSET - SEGMENTTI A5





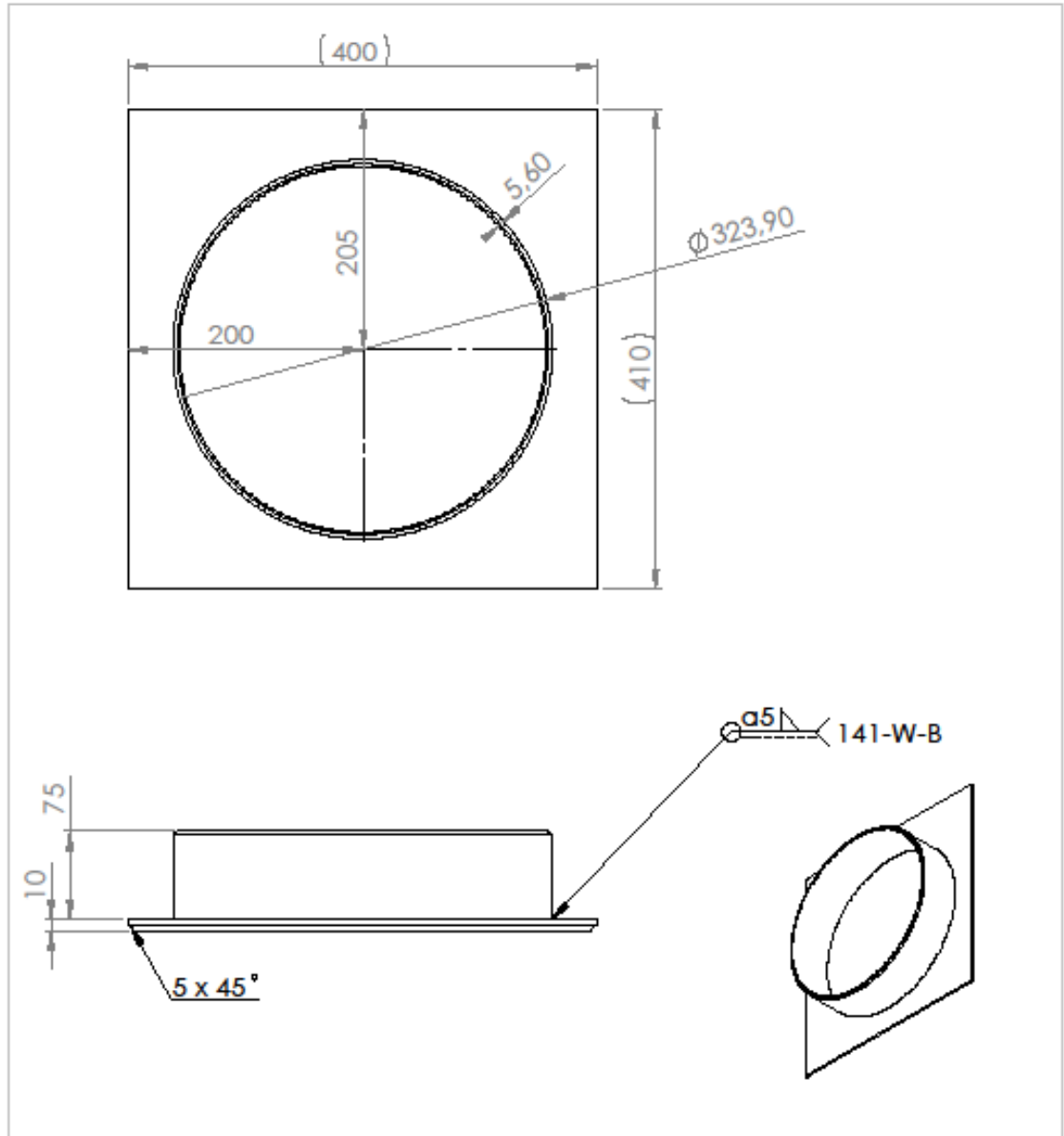


Tolerance: $\nabla 12.5$	Customer:	Creator: O. Juutilainen	08-05-2014
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huttunen
	Scale: 1:50	Work number: a5	Approval Person:
Savonia UAS	Part: a5 Takavedon kokoonpano Assembly of segment a5	Identification number: SW013330	
			Date

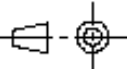


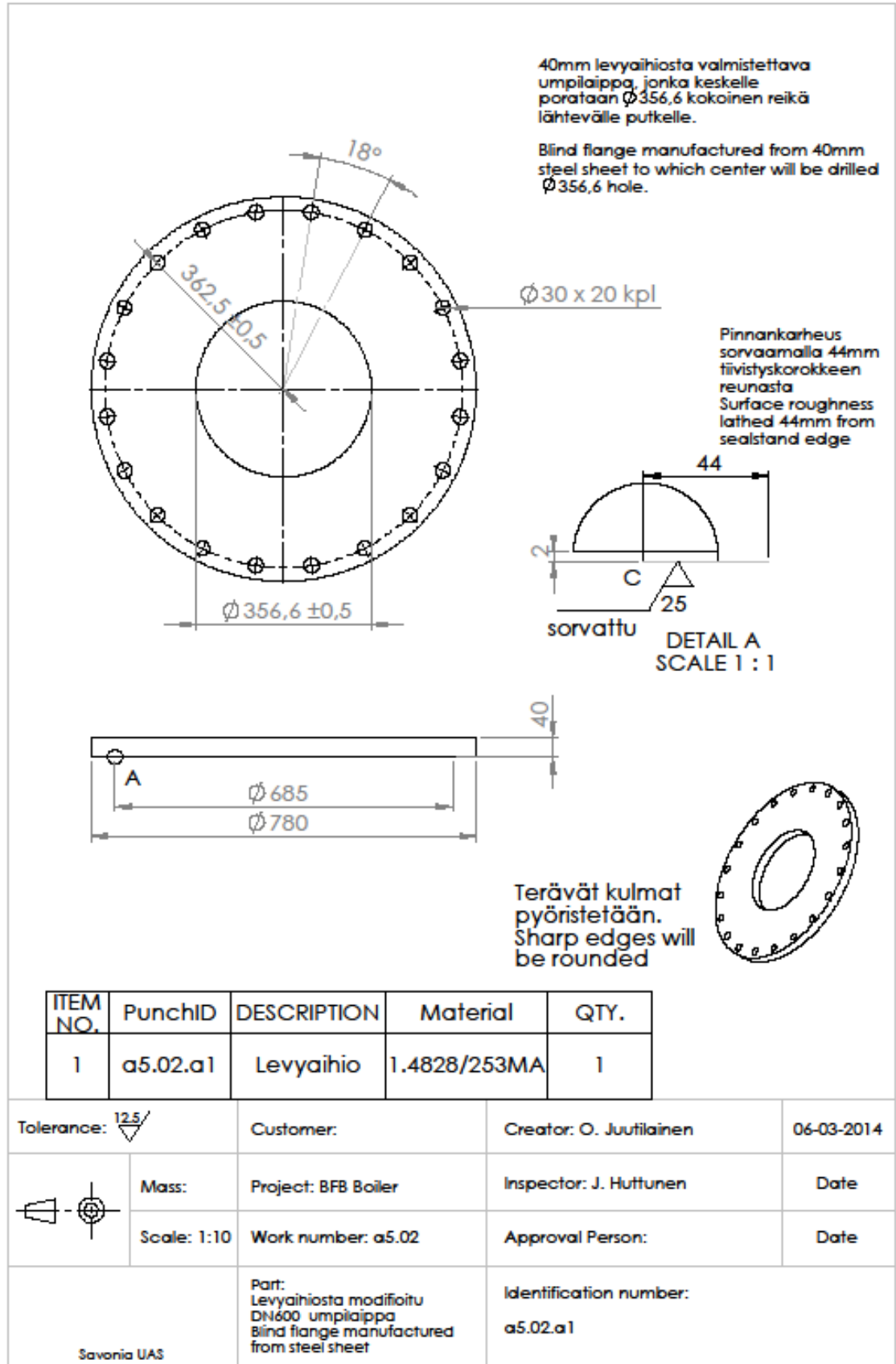
ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a5.01.a1	x_vaihtimenrunko-pellit	PI 5600 x 480 s=5	1.4828/253MA	1
2	a5.01.a2		Pokattu rakenne aihio PI 5600 x 1210 s=5	1.4828/253MA	1

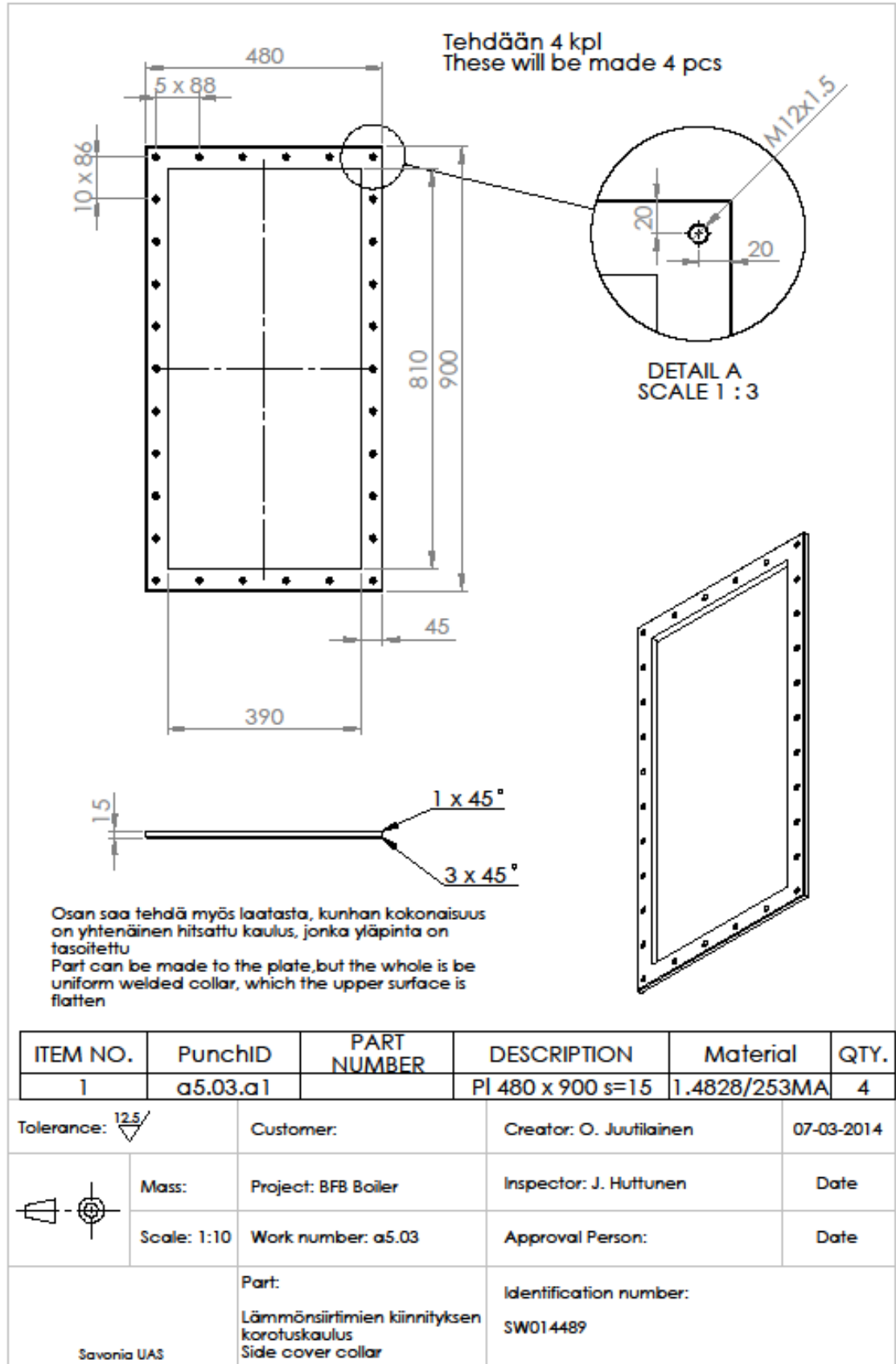
Tolerance: ∇ 12.5/	Customer:	Creator: O. Juutilainen	06-03-2014
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huttunen
	Scale: 1:25	Work number: a5.01	Approval Person:
Savonia UAS		Part: a5 kotelon kokoonpano assembly of a5 hull	Identification number: x_vaihtimenrunko-pellit
		Date	Date

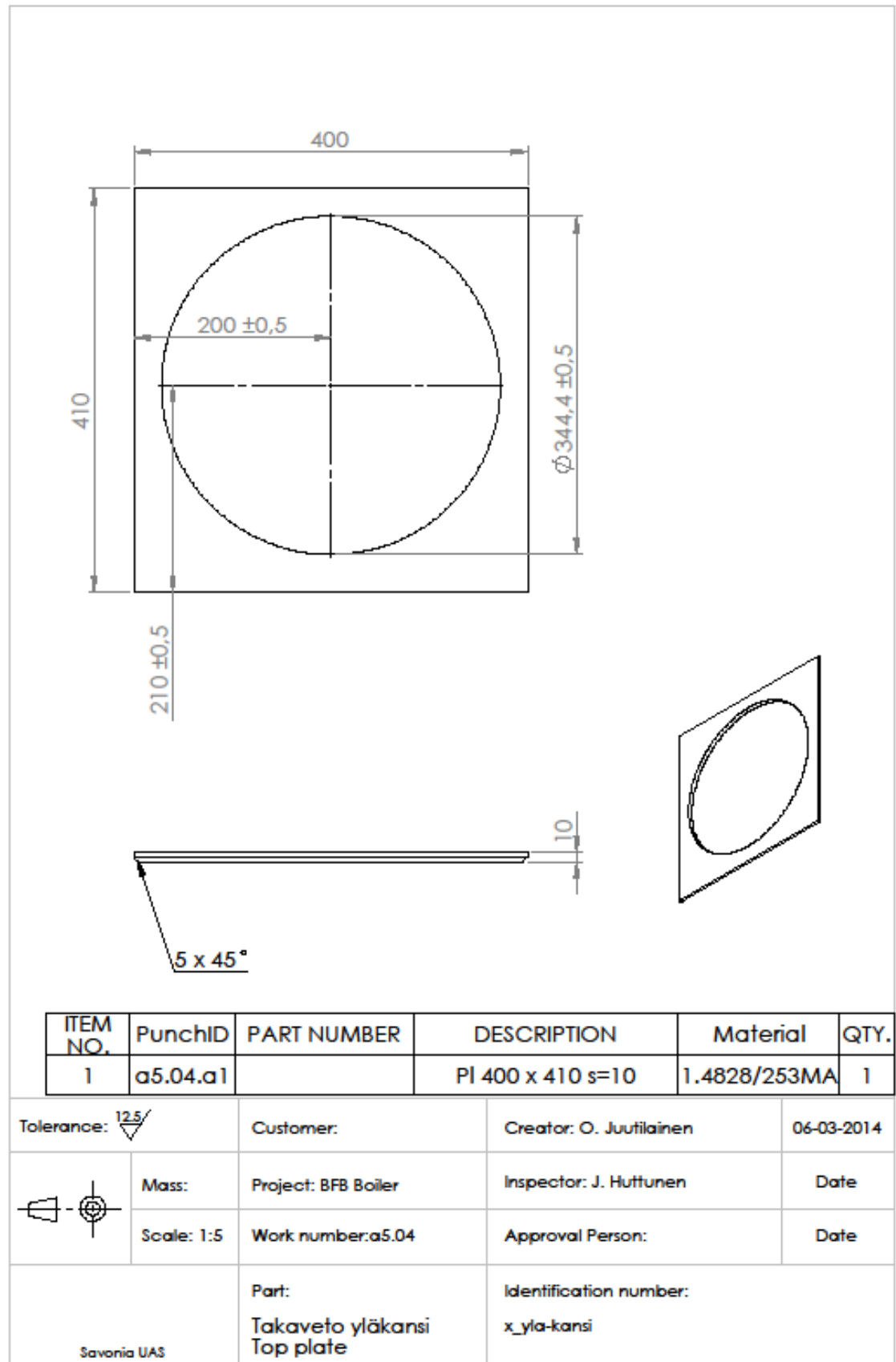


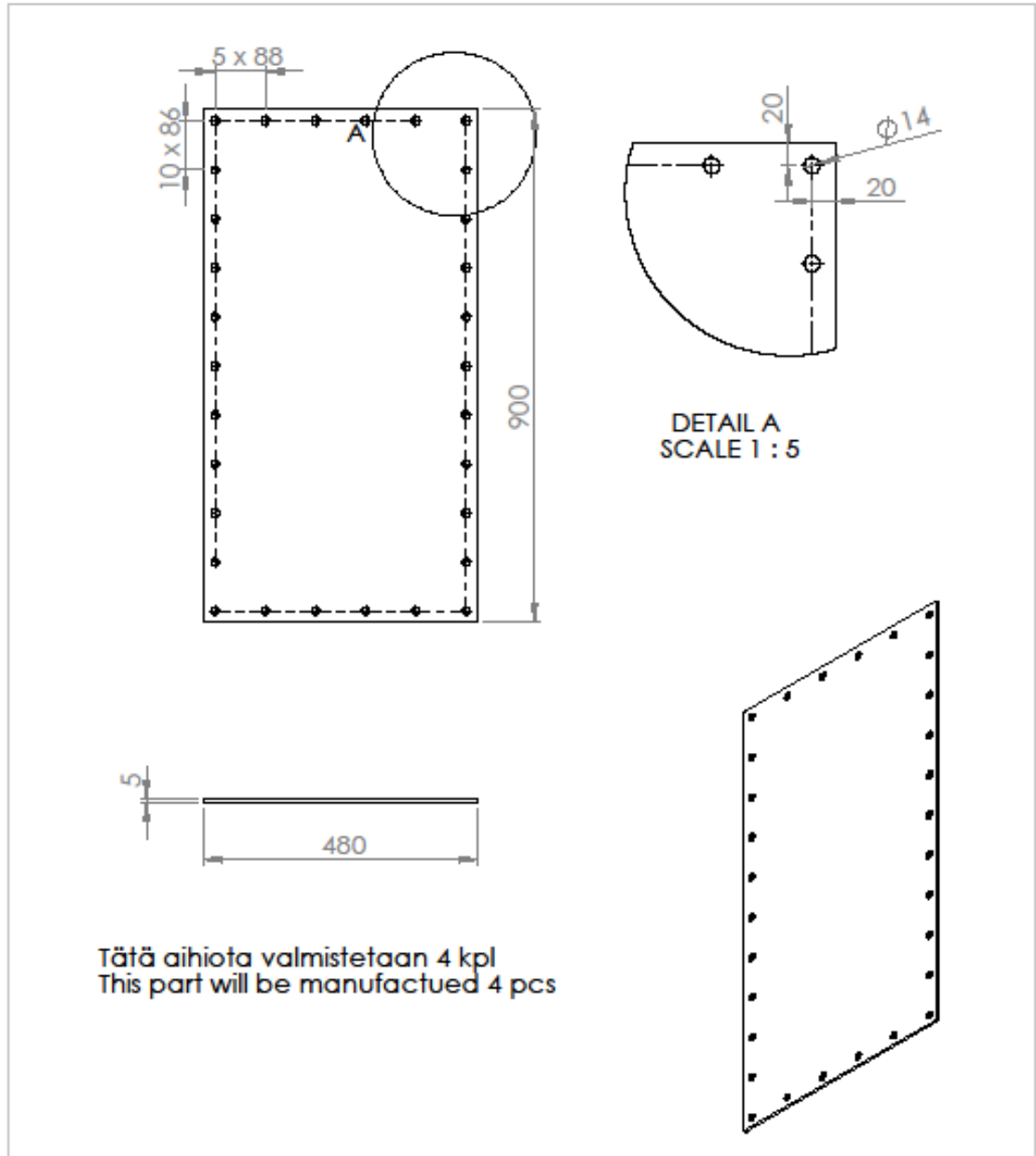
ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a5.04.a1	x_muunnos-kpl-ala	Pl x 410 x 400 S=10	1.4828/253MA	1
2	a5.01.02.01		P 323,9 x min.5,6 L=75	1.4828/253MA	1

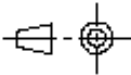
Tolerance: $\frac{12.5}{\sqrt{\quad}}$		Customer:	Creator: O. Juutilainen	07-03-2014
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huttunen	Date
	Scale: 1:5	Work number: a5.01.02	Approval Person:	Date
Savonia UAS		Part: Takavedon alapelti muunnos DN300 a5 segment down plate	Identification number: x_muunnos-kpl-ala	

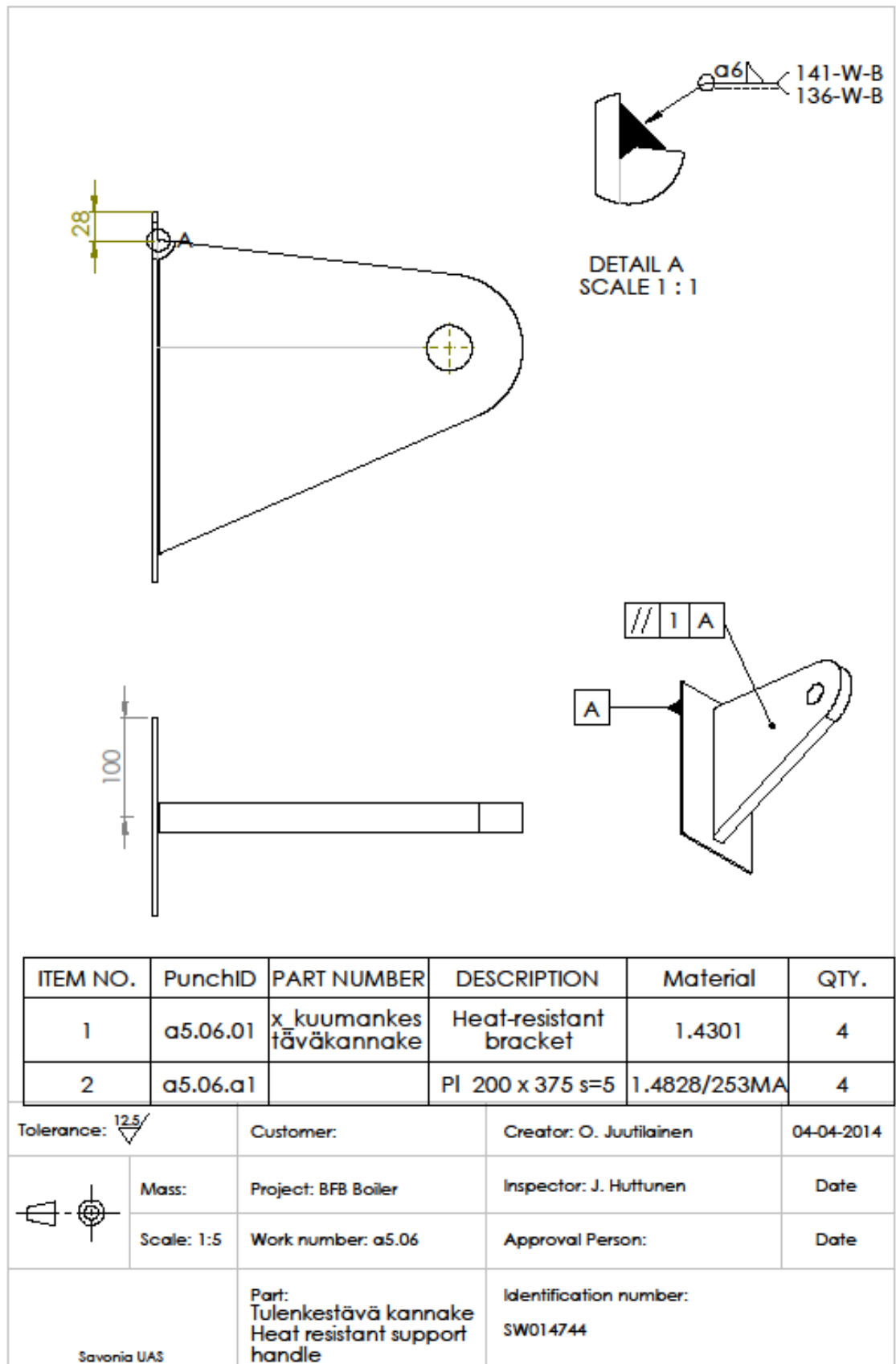


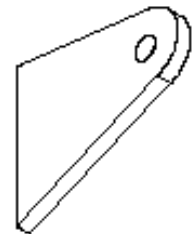
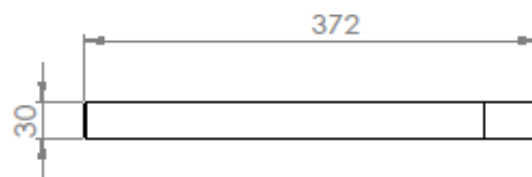
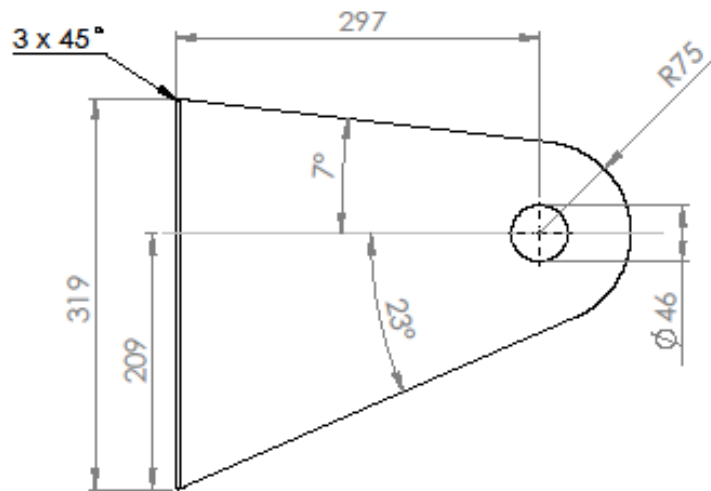






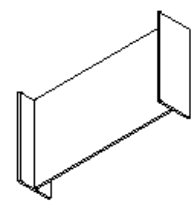
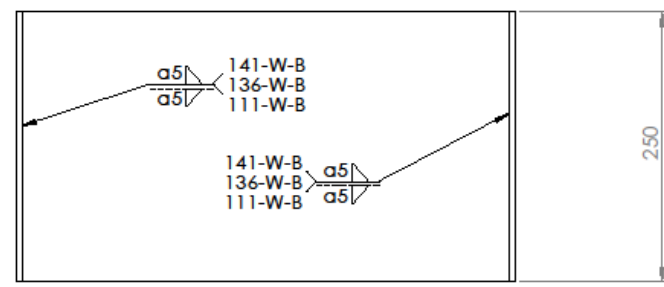
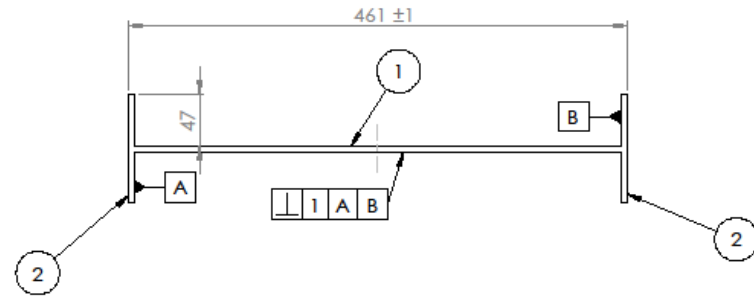
ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a5.05.a1	x_putkivaihdin pelti- lifuska	PI 480 x 900 s=5	1.4828/253MA	4
Tolerance: $\frac{12.5}{\sqrt{\quad}}$		Customer:	Creator: O. Juutilainen	07-03-2014	
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huttunen	Date	
	Scale: 1:10	Work number: a5.05	Approval Person:	Date	
Savonia UAS		Part: Umpipeltti lämmönsiirtimien paikalle a5 segment side cover	Identification number: x_putkivaihdin pelti- lifuska		





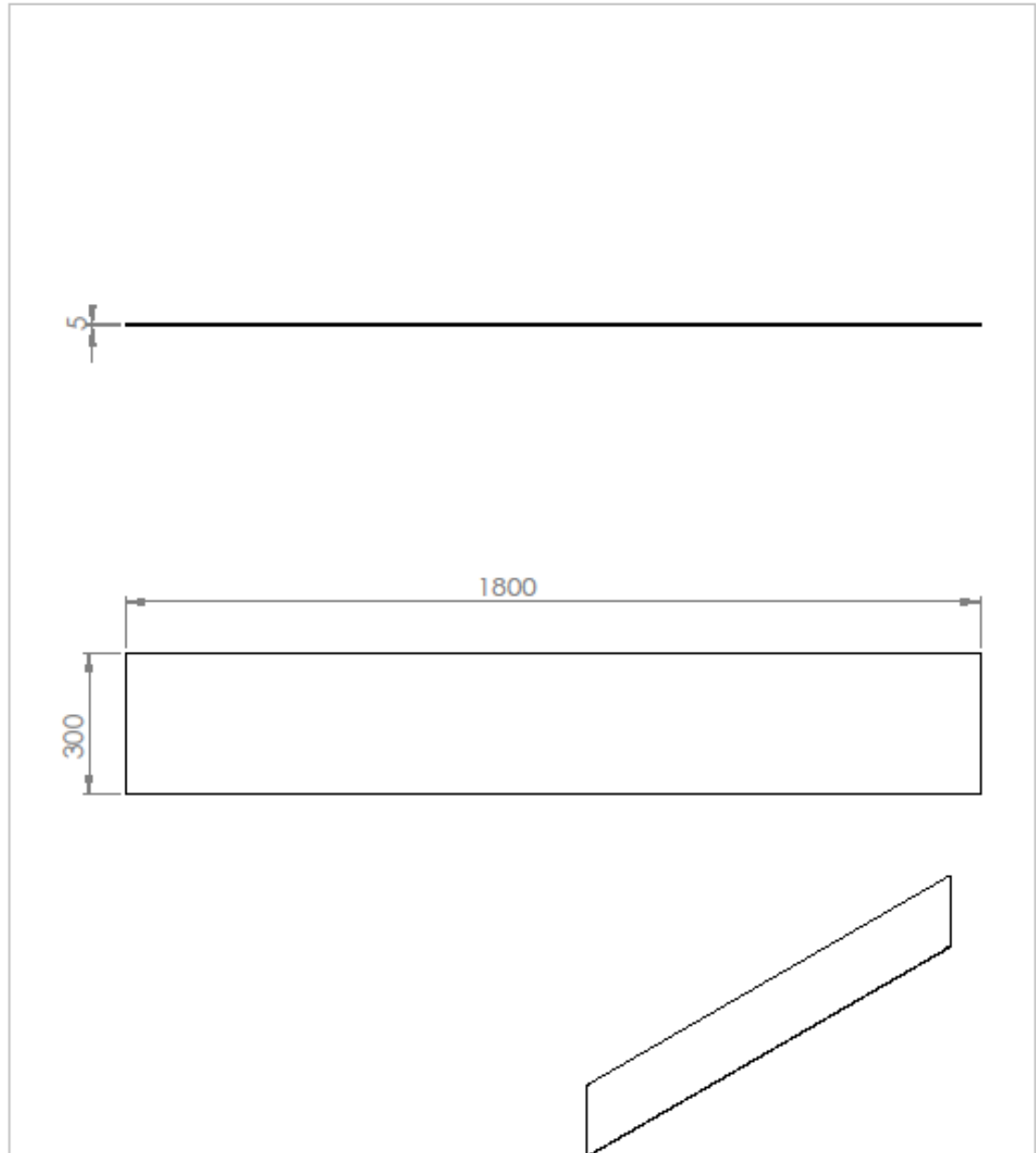
ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a5.06.a2	SW015011	Heat-resistant bracket	1.4301	4

Tolerance: $\frac{12.5}{\sqrt{\quad}}$		Customer:	Creator: O. Juutilainen	12-05-2014
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huttunen	Date
	Scale: 1:5	Work number: a5.06.01	Approval Person:	Date
Savonia UAS		Part: Tulenkestävä kannake Heat-resistant bracket	Identification number: SW015011	



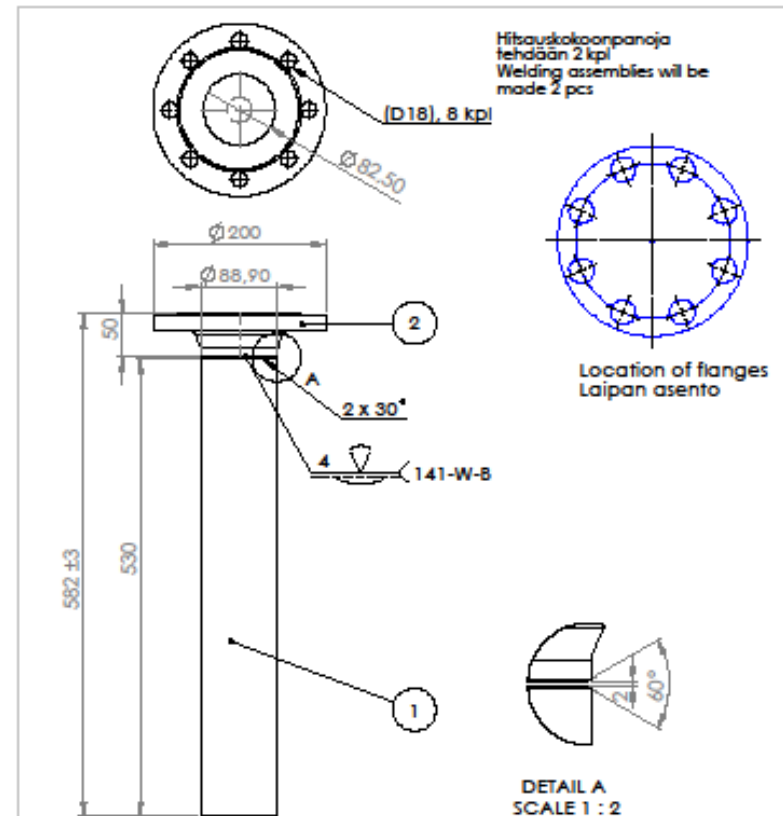
ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a5.07.a1		PI 450 x 250 s=5	1.4828/253MA	1
2	a5.07.a2		PI 100 x 250 s=5	1.4828/253MA	2

Tolerance: 12.5/	Customer:	Creator: O.Juutilainen	04-04-2014
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huttunen
	Scale: 1:4	Work number: a5.07	Approval Person:
Part:		Identification number:	
Savonia UAS		SW014524	



ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a5.08.a1		PI 300 x 1800 s=5	1.4828/253MA	1
Tolerance: $\frac{12.5}{\sqrt{\quad}}$		Customer:	Creator: O. Juutilainen	04-04-2014	
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huttunen	Date	
	Scale: 1:10	Work number: a5.08	Approval Person:	Date	
Savonia UAS		Part: Tukilevy takavedon kannakointiin Second pass support plate	Identification number: SW014666		

LIITE 8: TYÖPIIRRUSTUKSET - YLEISET TARVIKKEET

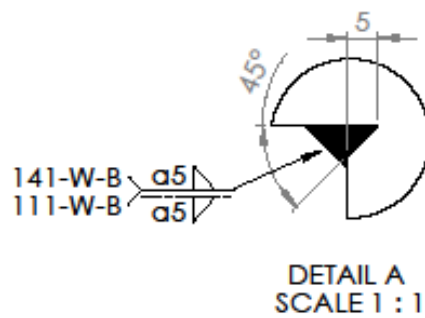
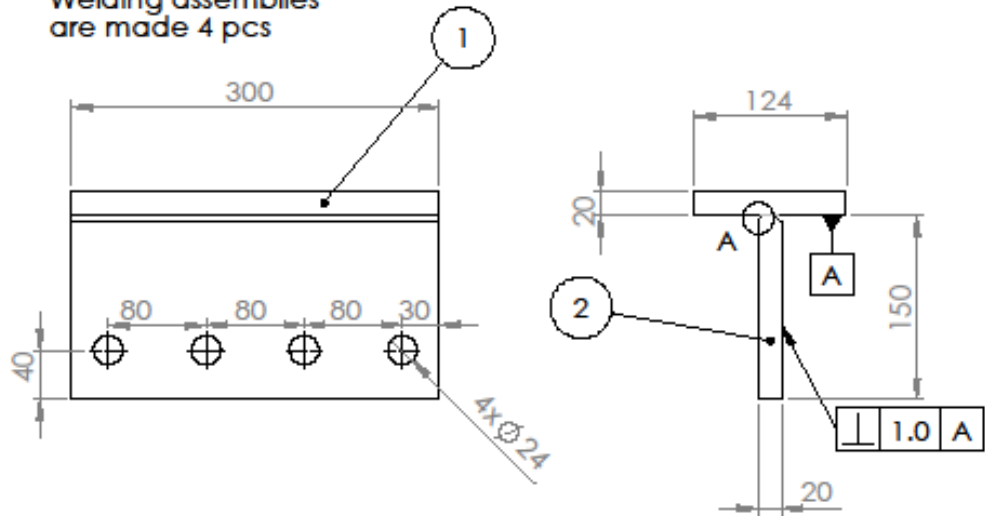


ITEM NO.	PunchID	Standard	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a1.01.05.01.a1		P 88,9 x min.1,6 L=530	1.4828/253MA	1
2	a0.01	EN 1092-1	Laippa (Flange) DN80 PN 16	1.4301	1

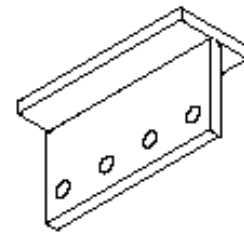
Tolerance: $\frac{12.5}{\sqrt{\quad}}$	Customer:	Creator: D. Castella	13-02-2013
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huttunen
	Scale: 1:10	Work number: a1.01.05.01	Approval Person:
Part: Mittausyhte Measurement point		Identification number: SW014983	

Savonia UAS

Hitsauskokoontaloja
tehdään 4 kpl
Welding assemblies
are made 4 pcs



Terävät kulmat pyöristetään.
The sharp angles/corners will
be rounded

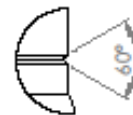
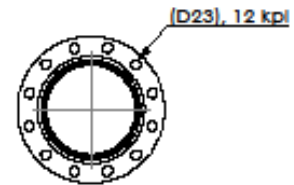


ITEM NO.	PunchID	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a1.03.a1	Pl 150 x 300 s=20	S235JRG2	4
2	a1.03.a2	Pl 124 x 300 s=20	S235JRG2	4

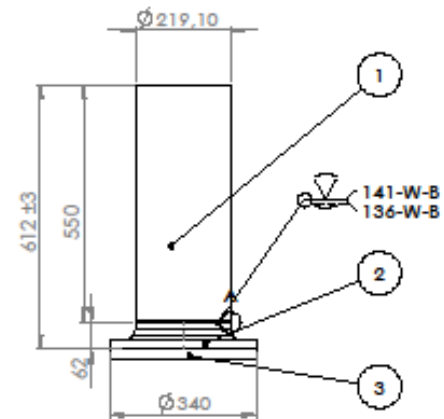
Tolerance: $\frac{12.5}{\sqrt{\quad}}$	Customer:	Creator: T. Hiltunen	07-03-2014
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huttunen
	Scale: 1:5	Work number: a1.03	Approval Person:
Savonia UAS	Part: Kannake Bracket	Identification number: SW014435	
			Date
			Date

Hitsauskokoontaloja tehdään
2 kpl

2 welding assemblies will be
made



DETAIL A
SCALE 1 : 2



ITEM NO.	PunchID	Standard	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a1.01.04		P 219,1 x min. 2,0 L=550	1.4828/253 MA	1
2	a0.04	EN 1092-1	Laiippa (Flange) DN200 PN10 **	1.4301	1
3	a0.09	EN 1092-1	Umpilaiippa (Blank flange) DN200 PN10	1.0460	1

Tolerance: $\sqrt{12.5}$	Customer:	Creator: D. Castella	13-02-2013
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Hutfunen
	Scale: 1:10	Work number: a1.04	Approval Person:
Savonia UAS	Part: Huoltoyhde Maintenance joint	Identification number: SW014969	

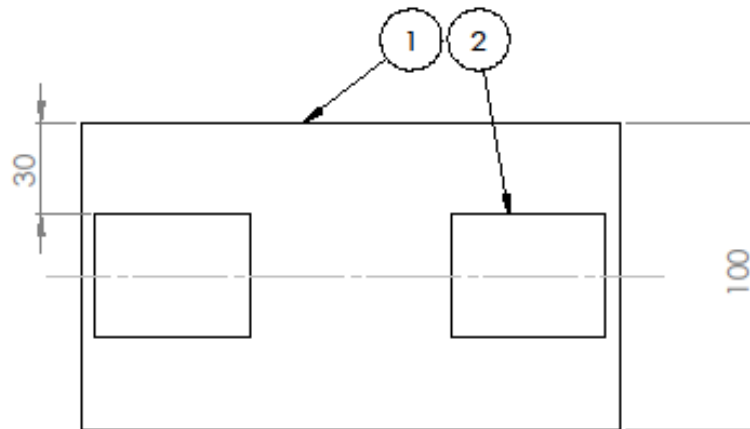
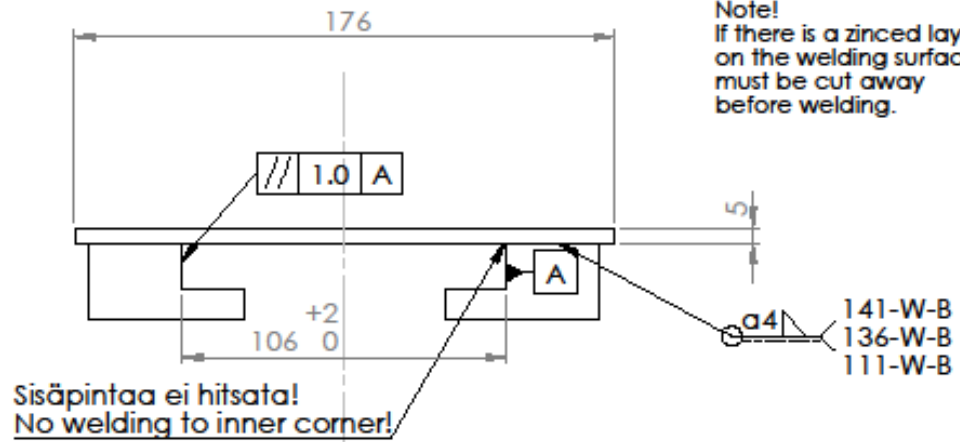
Näitä hitsauskokoontajia
valmistetaan 6 kpl
These welding assemblies will be
manufactured 6 pcs

HUOM!

Jos kynsiohjaimessa
sinkitty pinta, se tulee
ajaa pois hitsattavalta
pinnalta

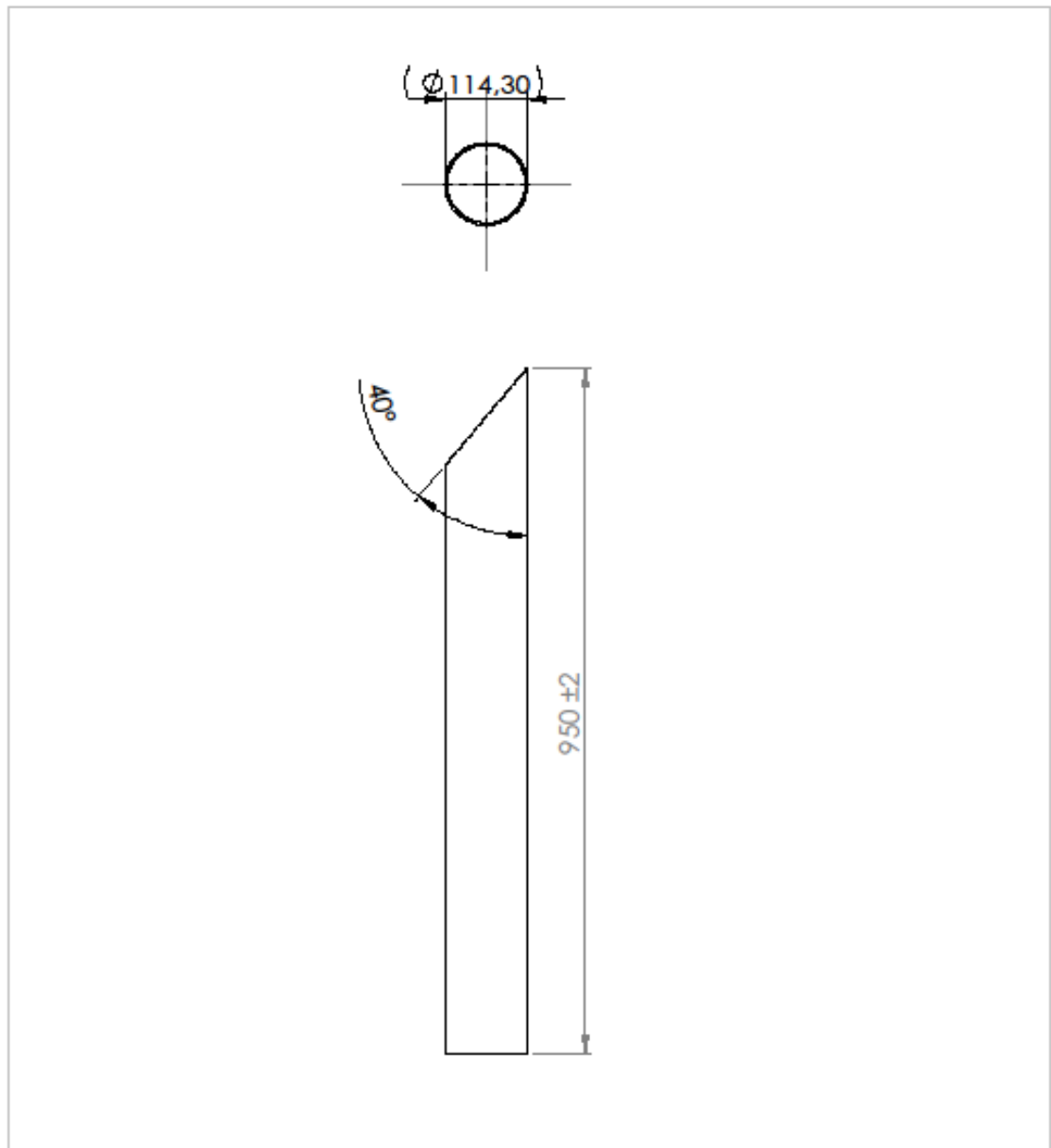
Note!

If there is a zined layer
on the welding surface it
must be cut away
before welding.

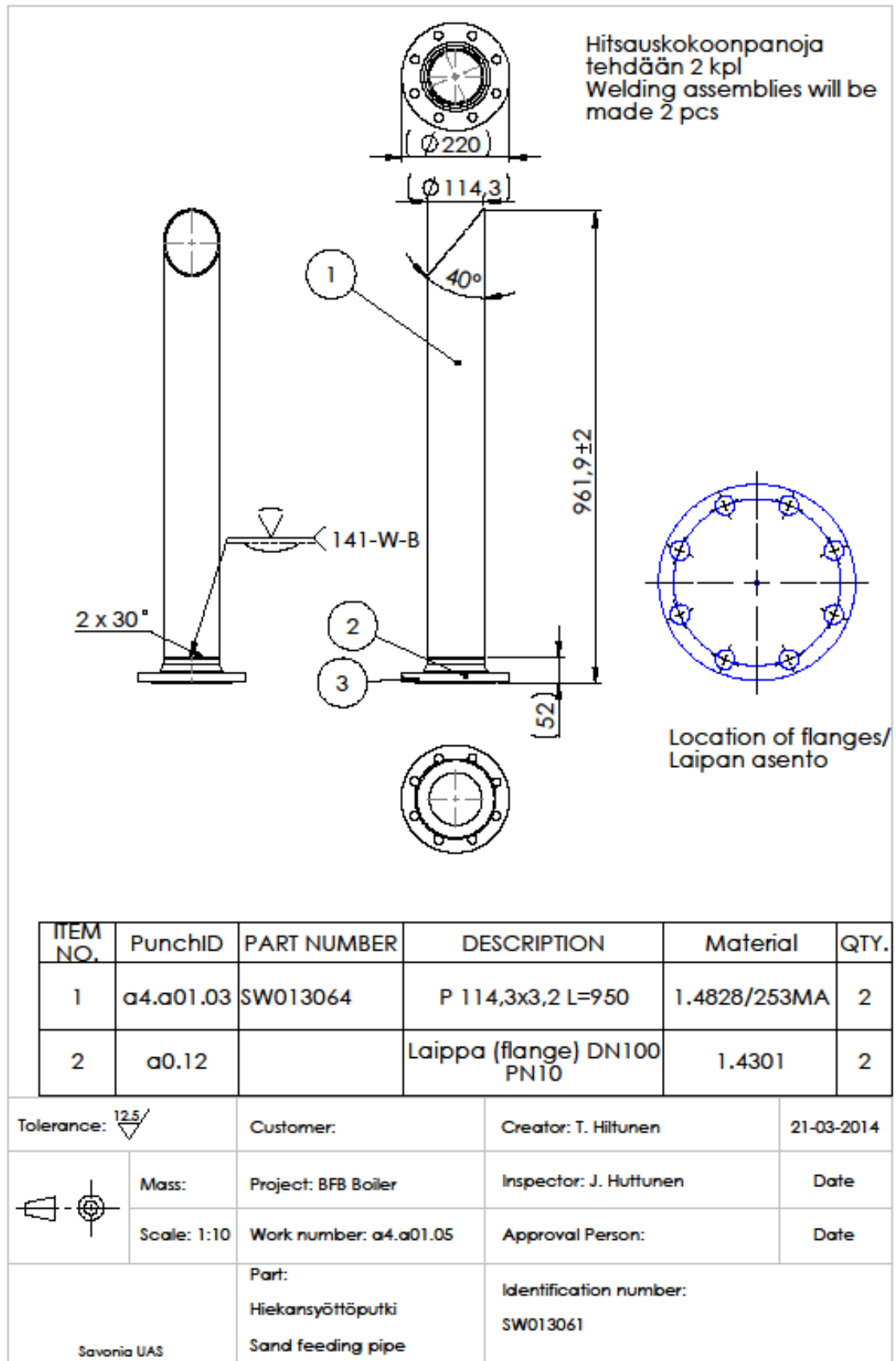


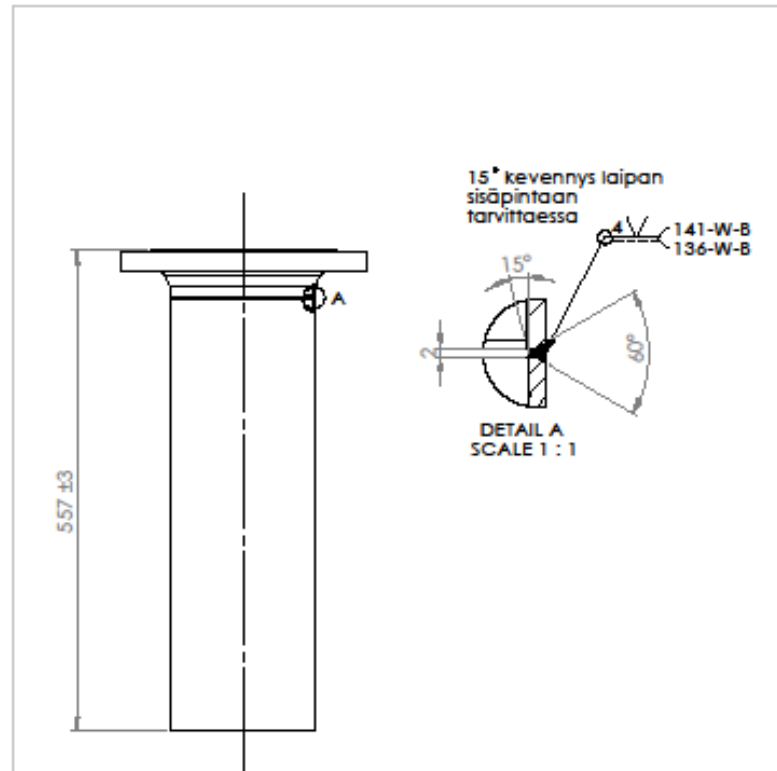
ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a2.02.a1		PI S5 x 166 x 100	S235JRG2	1
2	b0.01		Kynsiohjain SFS 5367		2

Tolerance: $\frac{12.5}{\sqrt{\quad}}$	Customer:	Creator: O. Juutilainen	05-03-2014
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huttunen
	Scale: 1:2	Work number: a2.02	Approval Person:
Savonia UAS	Part: Liukukannake	Identification number: SW014433	
	Slide bracket assembly		



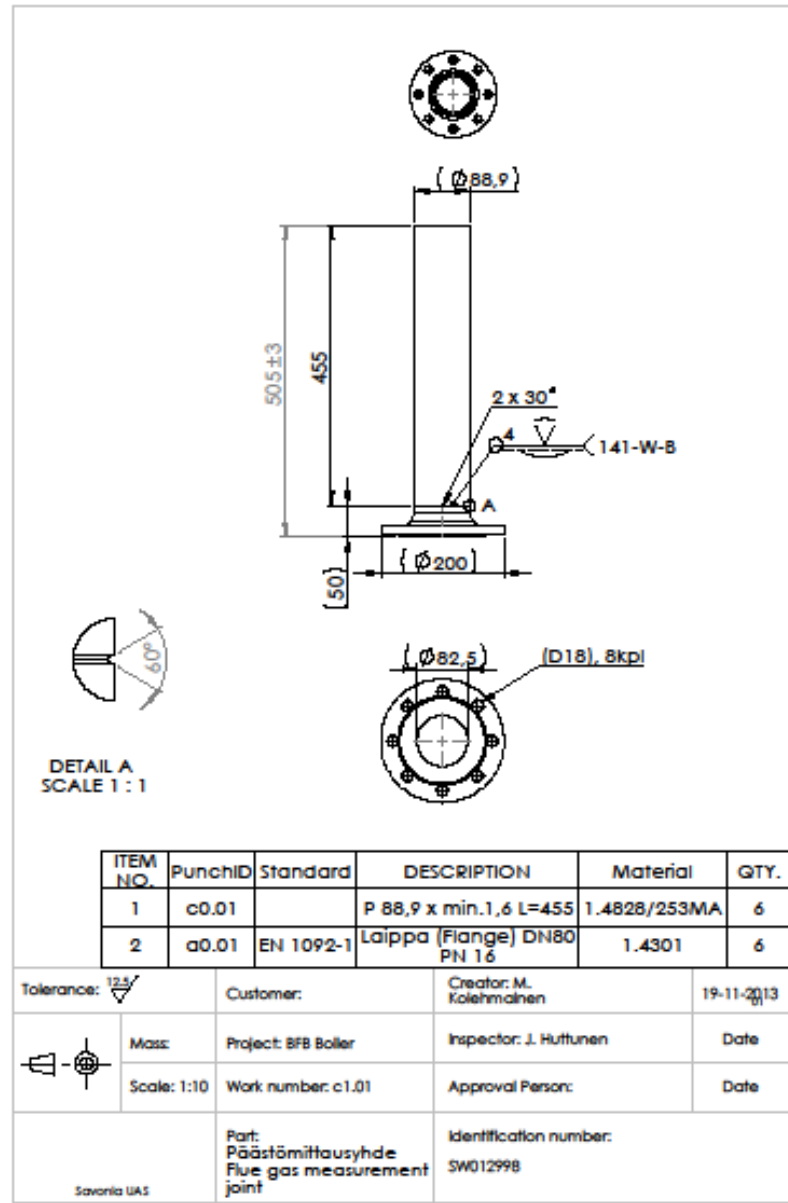
ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a4.a01.03.a1	SW013064	P 114,3 x min.2,0 L=950	1.4828/253MA	3
Tolerance: $\frac{12,5}{\sqrt{\quad}}$		Customer:	Creator: M. Kolehmainen	26-11-2013	
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huttunen	Date	
	Scale: 1:10	Work number: a4.a01.03	Approval Person:	Date	
Savonia UAS		Part: Näkölasiinputki Pipe for peek glass	Identification number: SW013064		

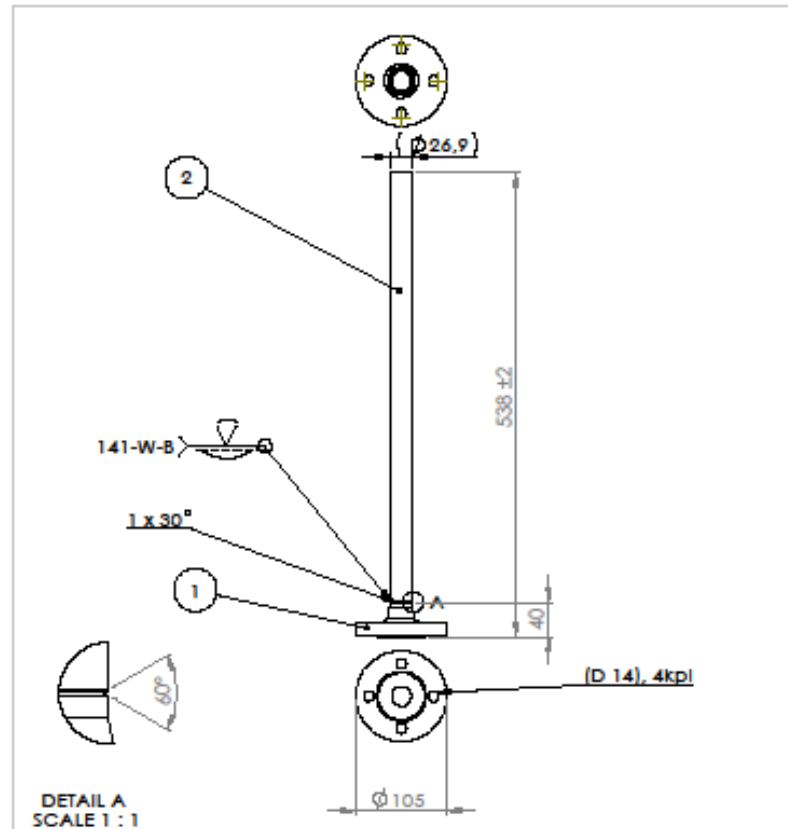




ITEM NO.	PunchID	Standard	PART NUMBER	Description	Material	QTY.
1	a0.16	1092-1	SW014871	Laippa (flange) DN150 PN10	1.4301	1
2	a5.01.03.a 1		SW014870	P 168,3 x min.2,0 L=500	1.4828/253MA	1

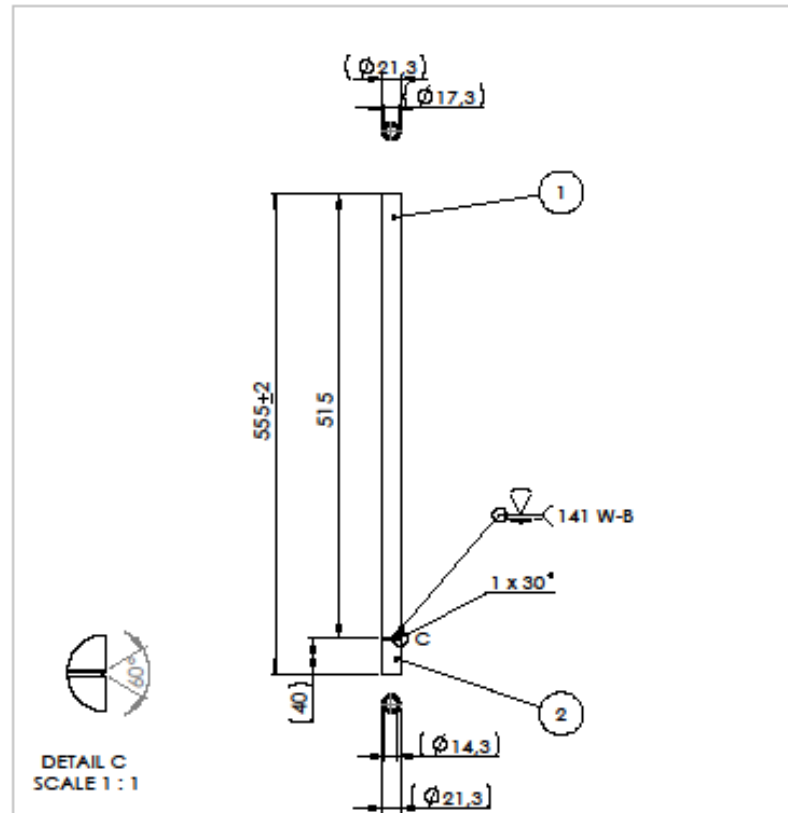
Tolerance: $\frac{12.5}{\sqrt{\quad}}$	Customer:	Creator: O. Juutilainen	07-05-2014
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huftunen
	Scale: 1:5	Work number: a5.01.03	Approval Person:
Savonia UAS	Part:	Identification number:	
	Takavedon yhde materiaalitestauskammioille 2nd pass flue gas out pipe	SW014985	





ITEM NO	PunchID	Standard	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a0.05	EN 1092-1	Laippa (flange) DN20 PN40	1.4301	8
2	c0.02		P 26,9 x min. 1,6 L=498	1.4828/253MA	8

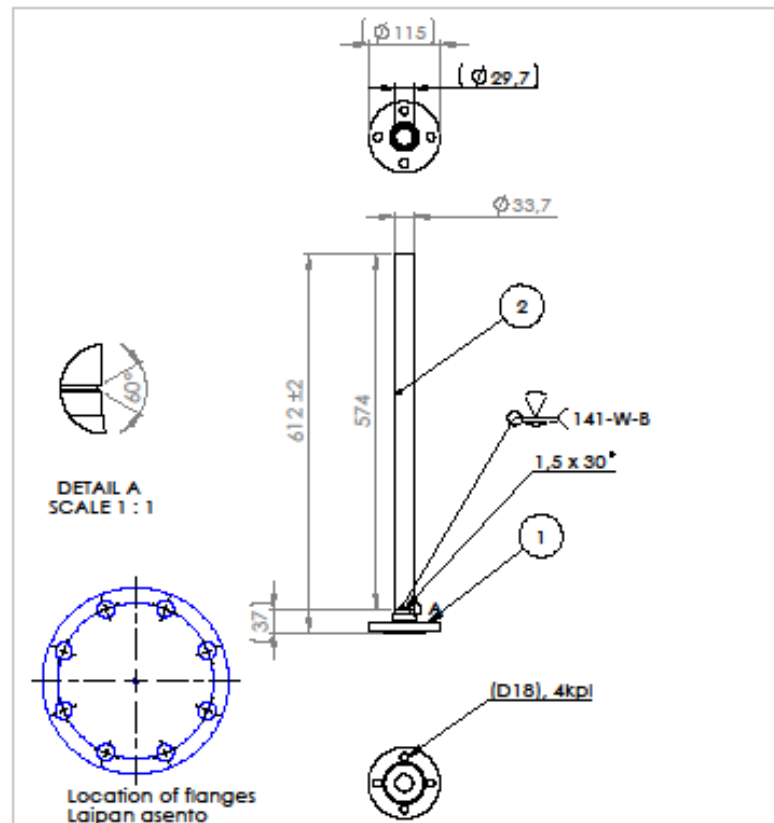
Tolerance: $\frac{12.5}{\sqrt{\quad}}$	Customer:	Creator: Marjaana Kolehmainen	19-11-2013
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Hutfunen
	Scale: 1:10	Work number: c1.02	Approval Person:
Savonia UAS	Part:	Identification number:	
	Ilmansyöttöputki Input pipe for air	SW012947	



DETAIL C
SCALE 1 : 1

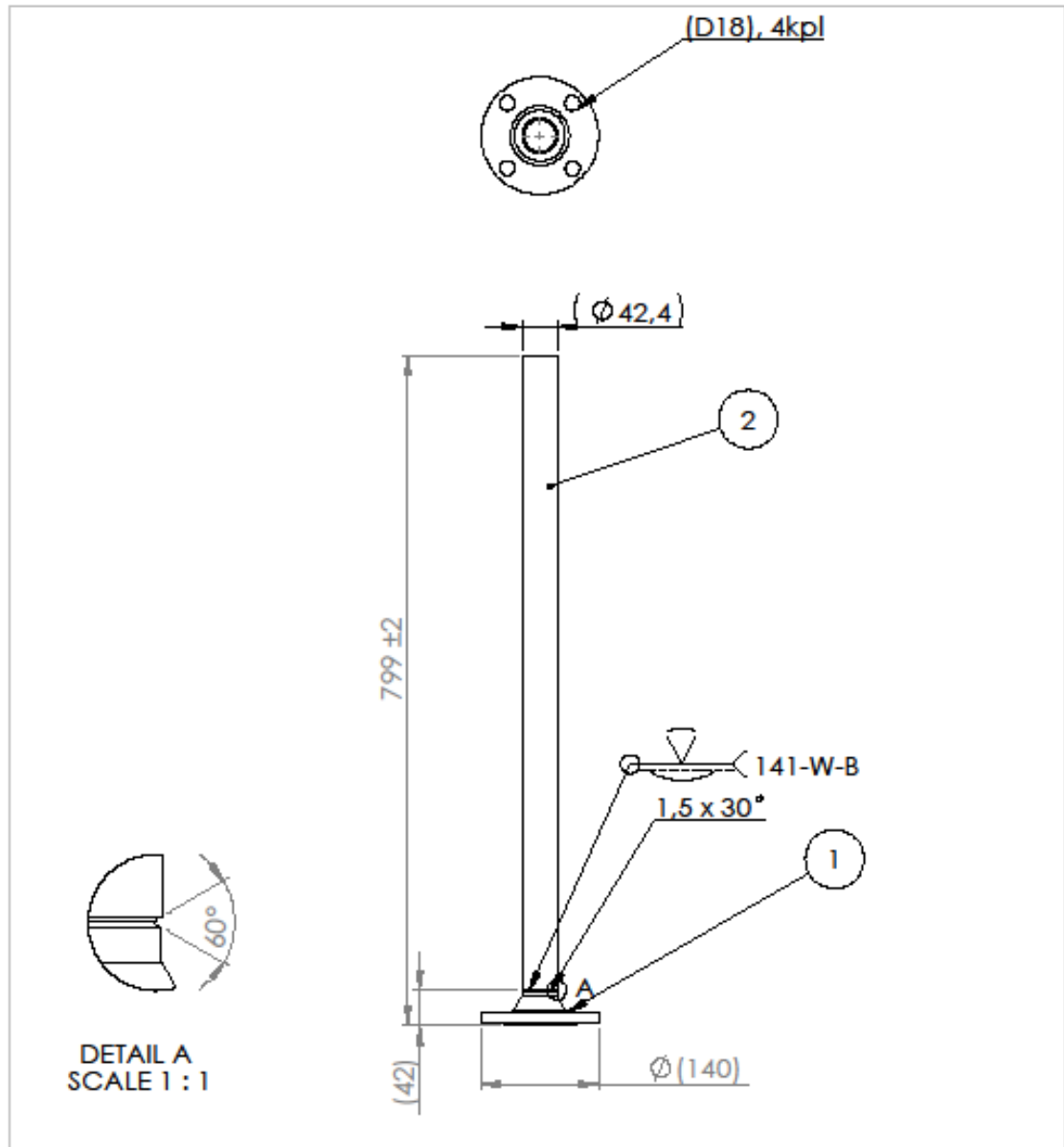
ITEM NO.	PunchID	Standard	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	c0.03		P 21,3 x min.1,6 L=515	1.4828/253MA	31
2	a0.06		Muhvi (Muff) P 21,3 x min.1,6 L=40	1.4301	31

Tolerance: $\frac{12.5}{\sqrt{L}}$	Customer:	Creator: M. Kolehmainen	12-11-2013
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Hutfunen
	Scale: 1:5	Work number: c1.03	Approval Person:
Savonia UAS	Part: Mittausyhde Sensor inlet	Identification number: SW012966	
			Date

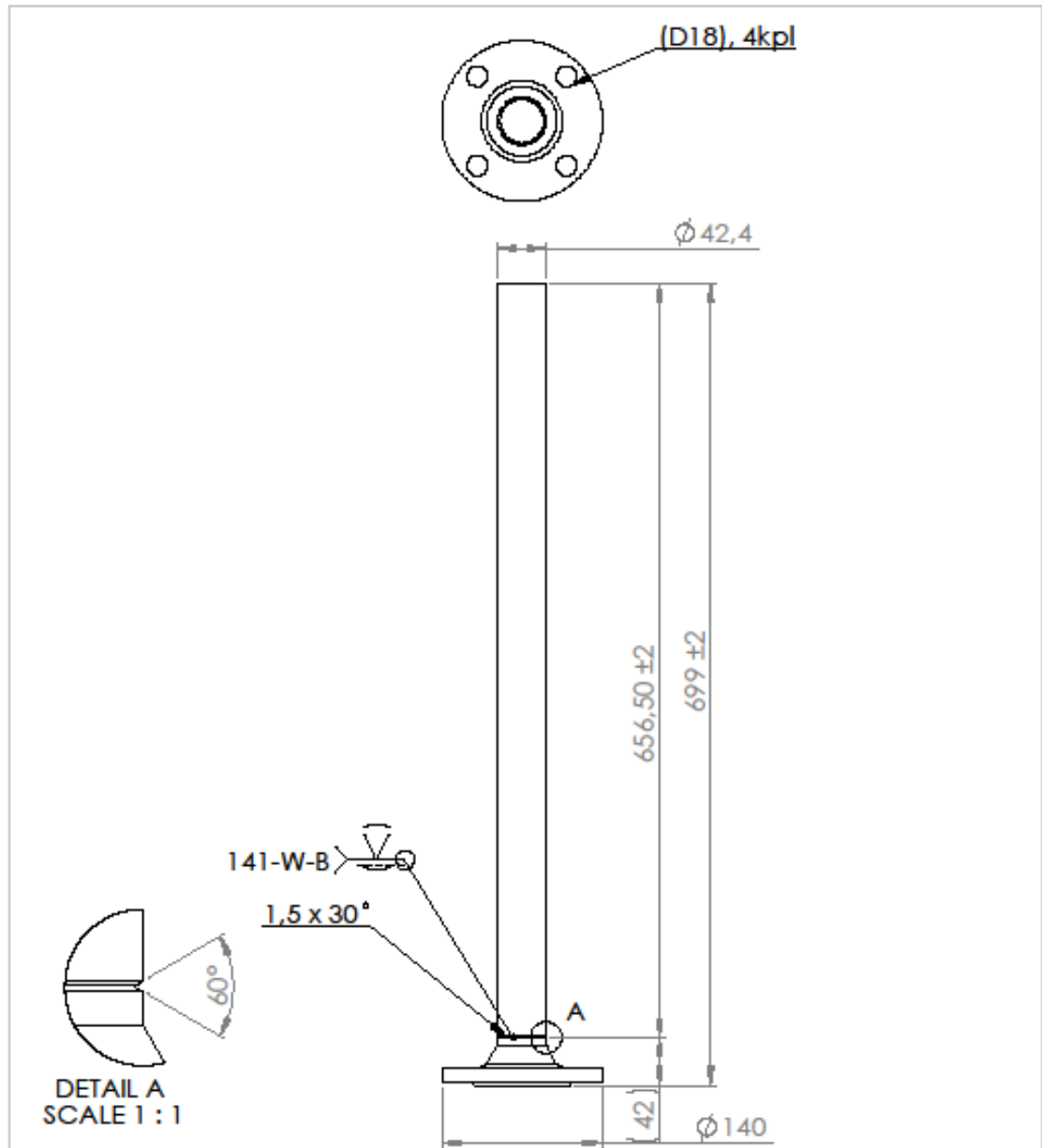


ITEM NO	PunchID	PART NUMBER	Standard	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a0.08		EN 1092-1	Laippa (Flange) DN25 PN 40	1.4301	40
2	c0.04			P 33,7 x min.1,6 L=574	1.4828/253MA	40

Tolerance: $\frac{12.5}{\sqrt{\quad}}$	Customer:	Creator: Marjaana Kolehmainen	20-11-2013
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Hutfunen
	Scale: 1:10	Work number: c1.04	Approval Person:
Savonia UAS	Part:	Identification number:	
	Ilmansyöttöputki DN 25 Air feeding pipe DN 25	SW012961	

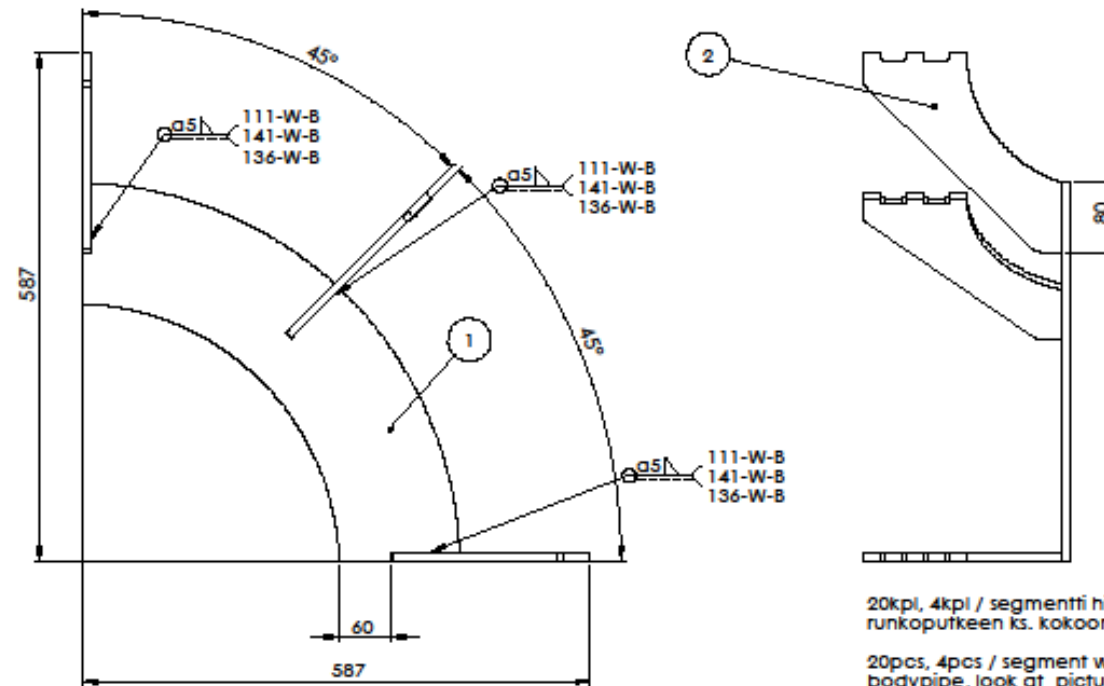


ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	Standard	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	a0.13		EN 1092-1	Laippa (Flange) DN32 PN40	1.4301	4
2	c0.05			P 42,4 x min. 1,6 L=756,5	1.4828/253MA	4
Tolerance: $\frac{12.5}{\sqrt{\quad}}$		Customer:		Creator: T. Hiltunen		326-11-2013
		Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huttunen		Date
		Scale: 1:10	Work number: c1.05	Approval Person:		Date
Savonia UAS		Part: Ilmansyöttöputki DN32 (input air pipe)		Identification number: SW012840		



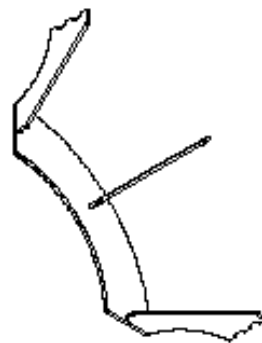
ITEM NO.	PunchID	Standard	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	c0.06		P 42,4 x min.1,6 L=656	1.4828/253Ma	4
2	a0.13	EN 1092-1	Laippa (flange) DN32 PN40	1.4301	4

Tolerance: $\frac{12.5}{\nabla}$	Customer:	Creator: O. Juutilainen	17-04-2014
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huttunen
	Scale: 1:5	Work number: c1.06	Approval Person:
Savonia UAS	Part:	Identification number:	
	Ilmansyöttöputki kokoonpano Input air pipe assembly	SW14861	
			Date
			Date



20kpl, 4kpl / segmentti hitsattuna
runkoputkeen ks. kokoonpanopiirustus

20pcs, 4pcs / segment welded into
bodypipe, look at pictures a1-a4



ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	c2.01.a2	SW014971	Keraamikerroksen tukilevy (ceramic layer's support plate)	S235JRG2	1
2	c2.01.a1	SW012038	Keraamin tukilevyn kannatin (ceramic's support plate's bracket)	S235JRG2	3

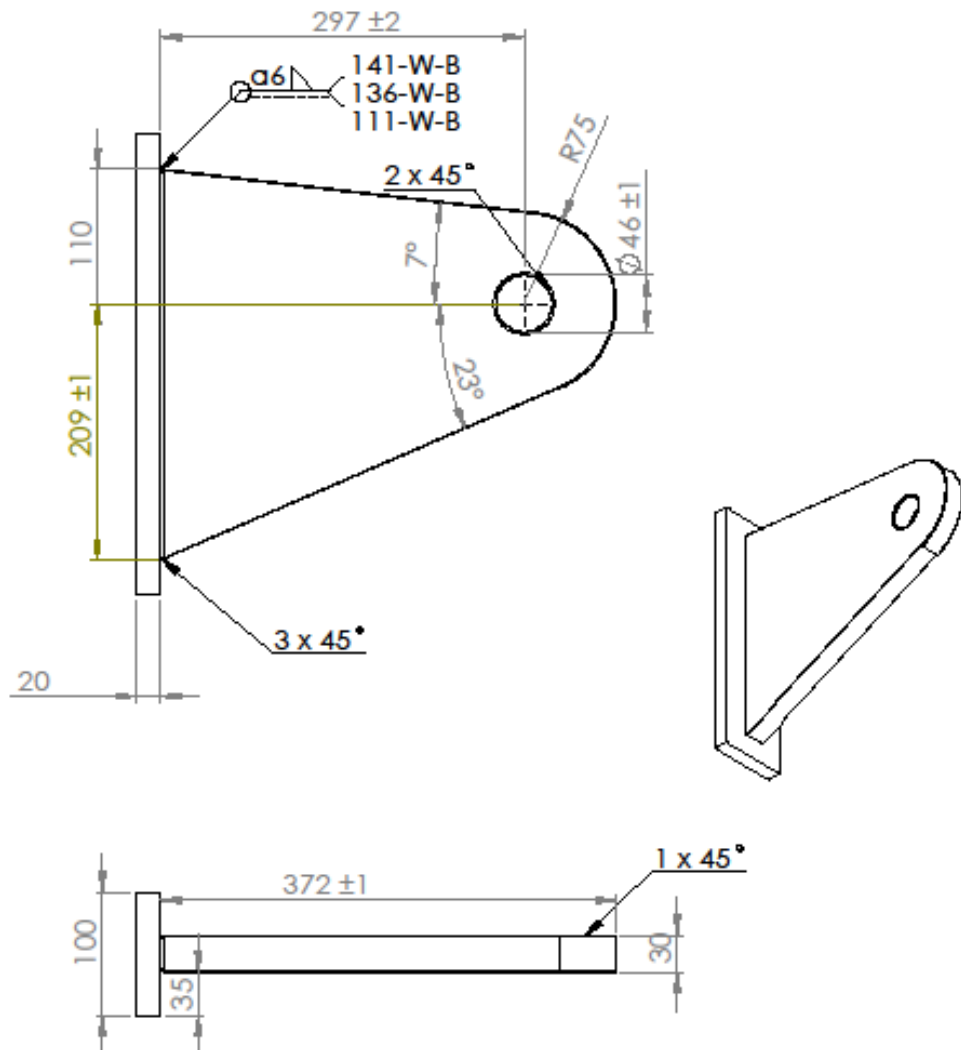
Ref.	Quantity	Description	Id. Number
Tolerance: 12.5		Customer:	Creator: Marjaana Kolehmainen
		Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huftunen
Scale: 1:10		Work number: c2.01	Approval Person:
Savonia UAS		Part: Keraamin tukilevy ja kannakkeet Ceramic support plate and brackets	Identification number: SW012039

11-10-2013

Date

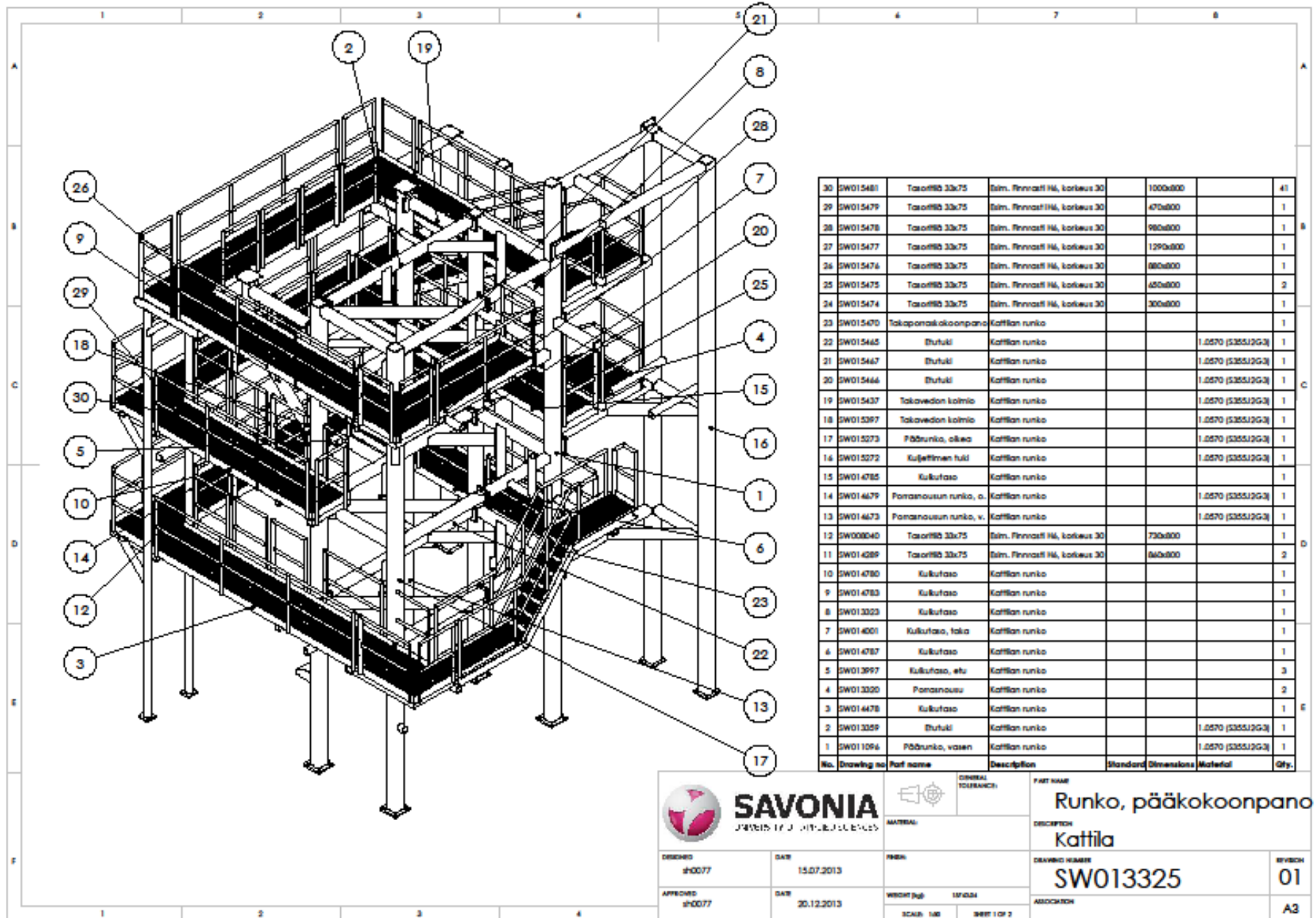
Date

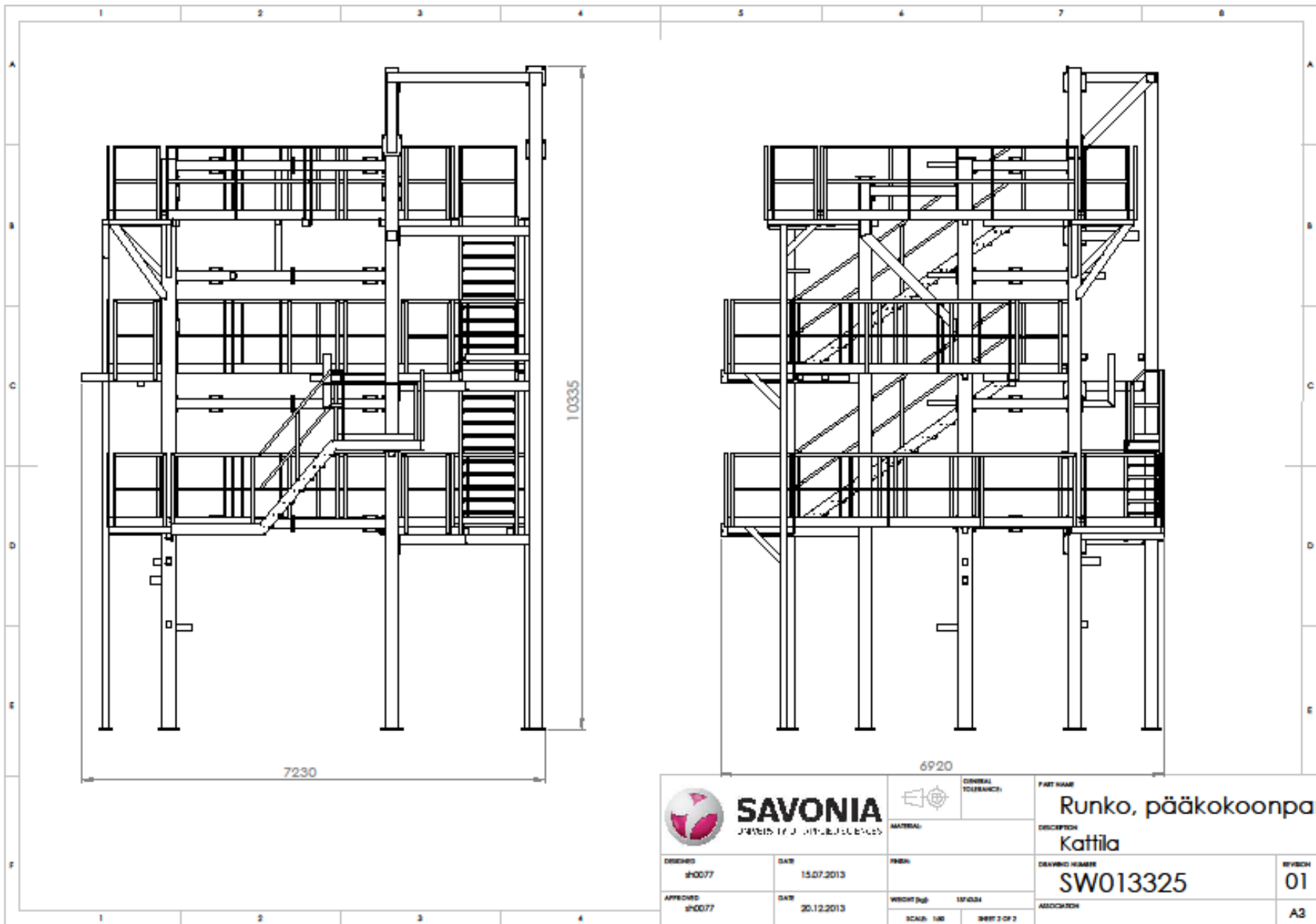
Kannatinkorvia valmistetaan 6 kpl
Support handles will be manufactured 6 pcs




ITEM NO.	PunchID	PART NUMBER	DESCRIPTION	Material	QTY.
1	c3.01.01.a1		Kannake (bracket)	S235JRG2	6
2	c3.01.01.a2		PI 375 x 100 s=20	S235JRG2	6
Tolerance: $\sqrt{12.5}$		Customer:	Creator: O.Juutilainen	05-03-2014	
	Mass:	Project: BFB Boiler	Inspector: J. Huttunen	Date	
	Scale: 1:5	Work number: c3.01.01	Approval Person:	Date	
Savonia UAS		Part: Kannatinkorva Support handle	Identification number: SW013337		

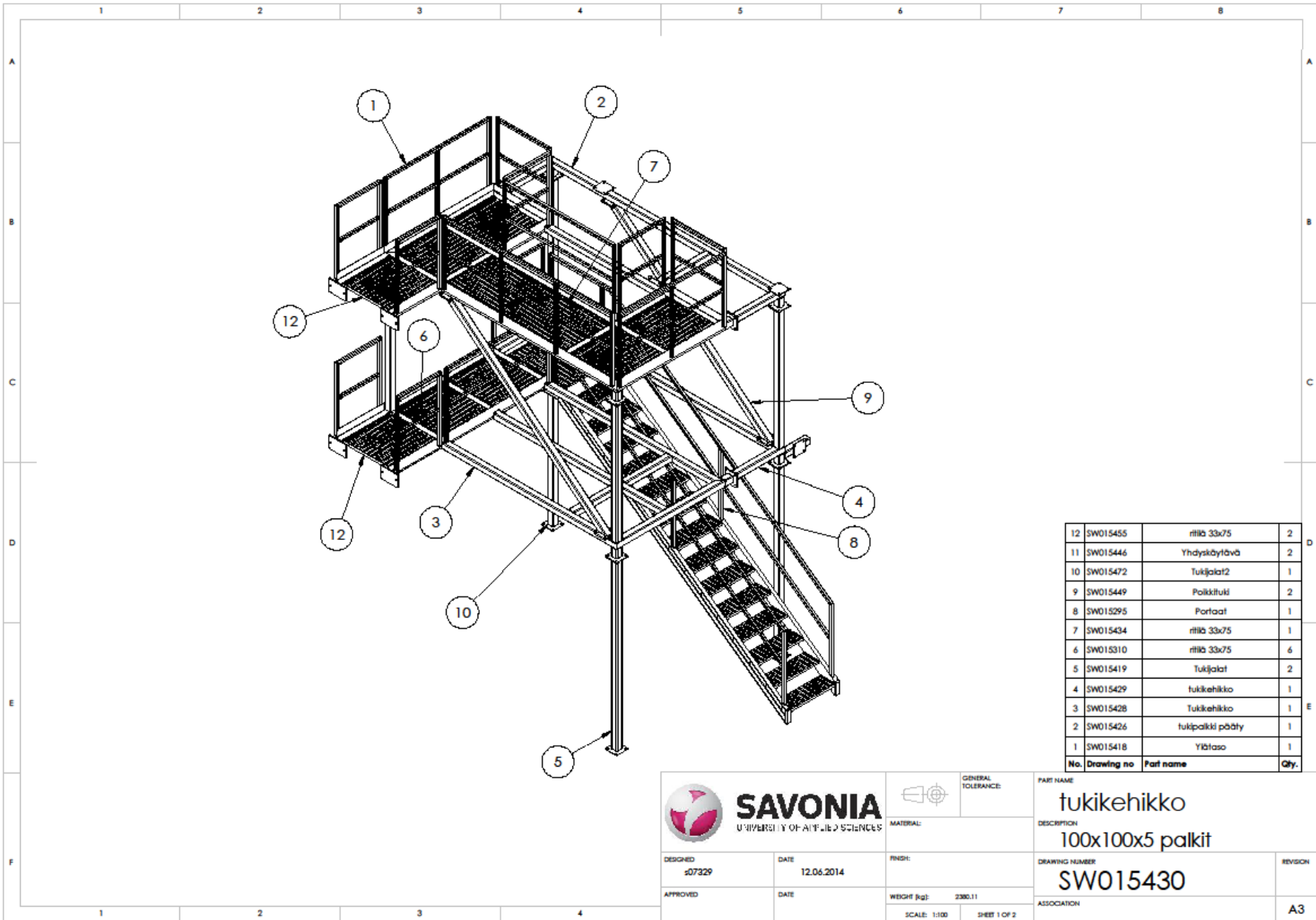
LIITE 9: TYÖPIIRRUSTUKSET - TERÄSRAKENTEET





 SAVONIA JÄSEIN YHTEISÖT OY		GENERAL TOLERANCES:		PART NAME Runko, pääkoonpano	
		MATERIAL:		DESCRIPTION Kattila	
DESIGNED sh0077	DATE 15.07.2013	DRAWING NUMBER SW013325		REVISION 01	
APPROVED sh0077	DATE 20.12.2013	WEIGHT (kg) 157024 SCALE: 1:50 SHEET 2 OF 2		ASSOCIATION A3	

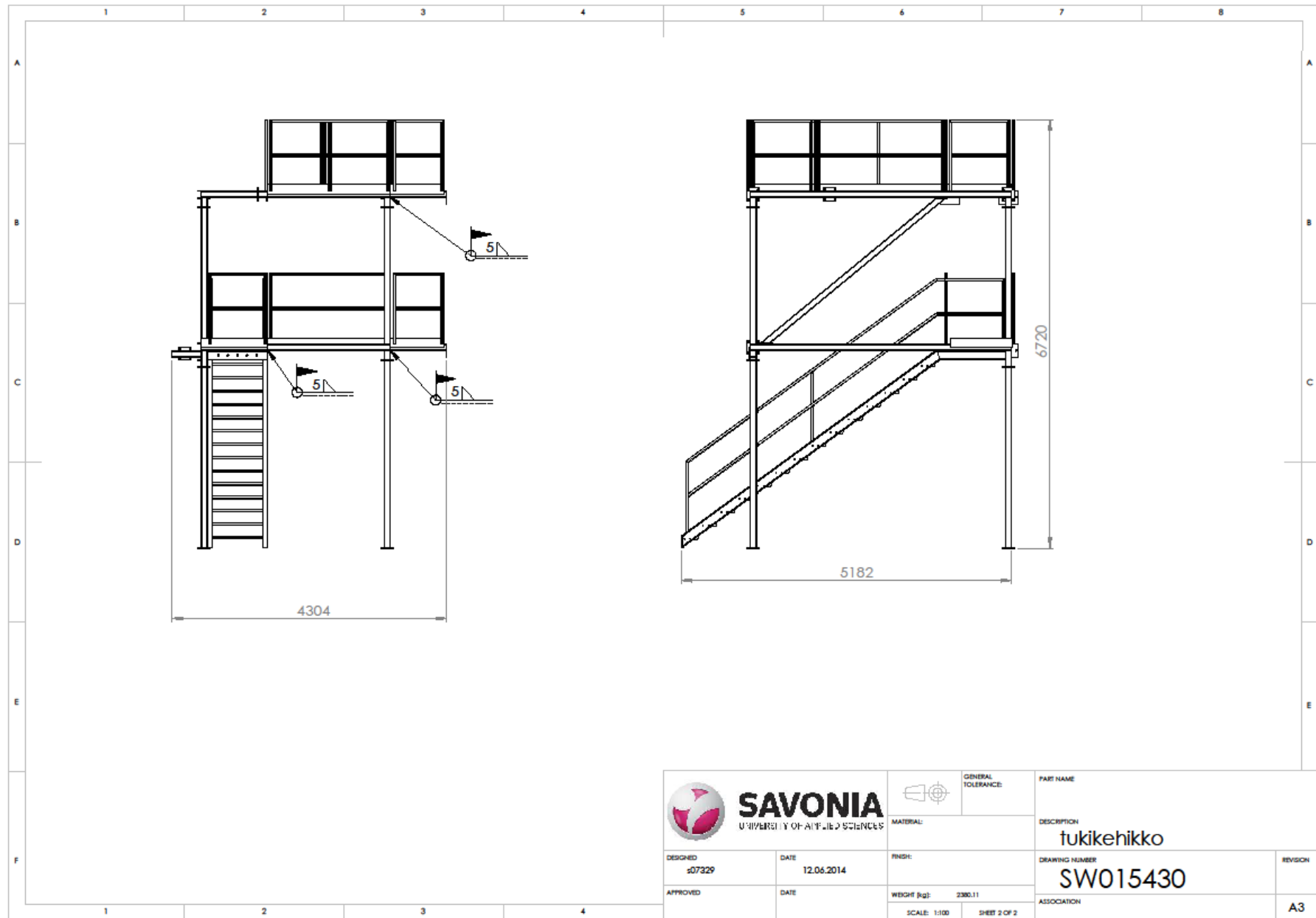
No part of this document may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in database, without written permission of owner.





No.	Drawing no	Part name	Qty.
12	SW015455	rulla 33x75	2
11	SW015446	Yhdyskäytävä	2
10	SW015472	Tukijalat2	1
9	SW015449	Palkkituki	2
8	SW015295	Portaat	1
7	SW015434	rulla 33x75	1
6	SW015310	rulla 33x75	6
5	SW015419	Tukijalat	2
4	SW015429	tukikehikko	1
3	SW015428	Tukikehikko	1
2	SW015426	tukipalkki pääty	1
1	SW015418	Ylitaso	1

			GENERAL TOLERANCE: PART NAME: tukikehikko
DESIGNED: s07329	DATE: 12.06.2014	FINISH: MATERIAL:	DESCRIPTION: 100x100x5 palkit
APPROVED:	DATE:	WEIGHT (kg): 2300,11 SCALE: 1:100 SHEET 1 OF 2	DRAWING NUMBER: SW015430 ASSOCIATION: A3

No part of this document may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in database, without written permission of owner.



 SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES		 GENERAL TOLERANCE:	PART NAME	
DESIGNED s07329	DATE 12.06.2014	MATERIAL:	DESCRIPTION tukikehikko	
APPROVED	DATE	FINISH:	DRAWING NUMBER SW015430	REVISION
		WEIGHT (kg): 2300,11	ASSOCIATION	A3
		SCALE: 1:100	SHEET 2 OF 2	

No part of this document may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in database, without written permission of owner.