

Jari Jussila

Kiukaan kehitystyö

Opinnäytetyö

Kevät 2013

Tekniikan yksikkö

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Jari Jussila

Työn nimi: Kiukaan kehitystyö

Ohjaaja: Jukka Pajula

Vuosi: 2013

Sivumäärä: 49

Liitteiden lukumäärä: 5

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää puulämmitteistä saunankiuasta siten, että se kestäisi paremmin päivittäistä lämmittämistä ja tulisi pidempikäiseksi. Kiukaan käyttöikää nostetaan materiaaliratkaisun ja 3D-mallinnuksella suunnitellun mallin avulla. Kehityskohteena on keskikokoisen perheen saunaa varten valmistettu kiuas, jota lämmitetään päivittäin.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käydään läpi saunan ja kiukaan kehityshistoria Suomessa.

Kehitystyössä haetaan tietoa aikaisemmista materiaalikokeiluista ja niiden tuloksista haastattelemalla kiuasvalmistajien ja Suomen saunaseuran edustajia. Käytössä rikkoutuneelle kiukaalle tehdään vaurioanalyysi. Lisäksi suunnitellaan ja mallinnetaan kiuas, jolle tehdään FEM-analyysi COMSOL Multiphysics ohjelmalla. Materiaalien käyttäytymistä vertaillaan korotetuissa lämpötiloissa. Valitaan materiaali ja valmistetaan kiukaasta koemalli. Koemallia testataan kaksi vuotta käyttämällä sitä saunan lämmittämiseen.

Kiuasta tutkitaan koekäytön aikana ultraäänimittauksilla, joilla etsitään mahdollista hilseilyn aiheuttamaa materiaalikatoa ja repeämiä. Valmistusmateriaalista tehdyillä kiukaan sisälle sijoitetuilla vetokoeliuskoilla ja vertailuliuskoilla tutkitaan lämmityksen ja jäähtymisen vaikutusta materiaalin murtovenymään ja -lujuuteen.

Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin kiuas, joka on kestänyt koekäytön hyvin.

Avainsanat: saunat, kiukaat, ruostumaton teräs, tuotekehitys

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical and Production Engineering

Author: Jari Jussila

Title of thesis: Product development of a stove

Supervisor: Jukka Pajula

Year: 2013

Number of pages: 49

Number of appendices: 5

The purpose of this thesis is to develop the wood-heated sauna stove in the way that it would better last longer and the everyday heating. The long life of the sauna stove will be increased by using the material solutions and 3D-modelling. The subject of development will be the sauna stove for a mid-size family sauna, which will be heated every day.

The theory part of the thesis will cover the development history of the sauna and sauna stove in Finland.

In the development work the information about the previous material-experiments will be looked for and based on those results the sauna stove manufactures and representatives of the Finnish sauna society will be interviewed. A damage analysis will be performed to a sauna stone broken in use. Planning and modelling the sauna stove will undergo the FEM-analysis using the COMSOL Multiphysics program followed by the comparison of the behaviour of materials in elevated temperatures. Next the material was chosen to make an experimental model. The test model will be tested for two years being heated every day.

The stove will be investigated during the test run using the ultrasonic measurements which will be used to search for possible material losses and damaging during the use. Placing the testing slates made of the same material as the sauna stove inside the stove will be used to measure the effects of heating and cooling to the ultimate elongation and strength of the material.

As a result of the thesis the sauna stove was created that sustained the test run well.

Keywords: sauna, stove, stainless steel, product development

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn tausta	9
1.2 Työn tavoite	9
1.3 Työn rakenne	10
1.4 Yritysesittely	10
2 SAUNAN HISTORIA SUOMESSA	12
2.1 Saunan määrittely	12
2.2 Saunan historia	12
3 SAUNAN KIUAS	14
3.1 Yleistä	14
3.2 Kiukaan kehityshistoria	15
4 KIUKAAN KEHITYSTYÖ.....	17
4.1 Kiuasvalmistajien haastattelu	17
4.1.1 Haastattelujen tulokset.....	17
4.1.2 Haastattelutulosten tarkastelu.....	18
4.2 Käytössä hajonneen kiukaan vaurioanalyysi.....	18
4.2.1 Analyysin tulokset	21
4.3 Kiukaan suunnittelu ja lujuuslaskelma.....	25
4.3.1 Kiukaan mallinnus.....	25
4.3.2 Lujuuslaskelmat FEM-ohjelmalla	26
4.4 Lämpötilan vaikutus materiaaliin	28
4.5 Materiaalin valinta	30
4.6 Kiukaan valmistus	32
5 KIUKAAN TESTAUS.....	33
5.1 Ultraäänimittaukset	33

5.2 Ultraäänimittauslaite.....	34
5.3 Mittaustulokset	37
5.4 Lämmön aiheuttamat muodonmuutokset	38
5.5 Vetokoeliskojen laboratoriokokeet.....	39
6 TULOKSET	43
7 LOPUKSI	45
LÄHTEET	46
LIITTEET.....	48

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Samuli Paulaharjun piirros maasaunasta. (Paulaharju 2008, 13.)	13
Kuvio 2. Kiukaiden jaottelu. (Aarnio ym. 2008, 70.)	14
Kuvio 3. Kiukaan kehitysvaiheet. (Tommila, Vuolle-Apiala & Utriainen 1985, 53.)	15
Kuvio 4. Puhjennut takaseinä.....	19
Kuvio 5. Puhjennut tulipesän kansi.	20
Kuvio 6. Puhjennut savukanavan kansi.	21
Kuvio 7. Takaseinään repeytynyt aukko.	22
Kuvio 8. Muokkaantunut takaseinä.	23
Kuvio 9. Kiukaan kannen repeämä.	23
Kuvio 10. Rikkoutunut savukanava.	24
Kuvio 11. Leikkaus savukanavan kannesta.	24
Kuvio 12. 1/8-mallin lämpötila-alueet.	26
Kuvio 13. Jännitykset 700 °C:n lämpötilassa.	27
Kuvio 14. Lämpötilan aiheuttamat jännitykset.	27
Kuvio 15. Lämmönjohtavuuden muutos lämpötilan funktiona.	28
Kuvio 16. Kimmokertoimen muutos lämpötilan funktiona.....	29
Kuvio 17. Myötölujuuden muutos lämpötilan funktiona.	29
Kuvio 18. Hiilipitoisuuden vaikutus raerajakorroosioon. (Kyröläinen & Lukkari 2002, 15.).....	31
Kuvio 19. Ruostumattomien terästen jännitys-venymäkäyriä. (Kyröläinen & Lukkari 2002, 19.).....	31
Kuvio 20. Mittauspisteet kiukaan oikeapuoli.	33
Kuvio 21. Mittauspisteet kiukaan vasenpuoli.	34
Kuvio 22. Ultraäänimittauslaite.....	35
Kuvio 23. Normaali- eli nollaluotain.....	36
Kuvio 24. Mittaustulos pisteestä 7. 17.12.2011.....	36
Kuvio 25. Mittaustulosten kuvaaja.....	37
Kuvio 26. Vasemman kyljen lommot.	38
Kuvio 27. Oikean kyljen lommot.....	38
Kuvio 28. Takaseinän lommo.....	39
Kuvio 29. Vetokoeliuskat.....	39

Kuvio 30. Vetokoeliuskat kokeen jälkeen.....	40
Kuvio 31. Vetokokeet huoneenlämmössä olleet liuskat.	41
Kuvio 32. Vetokokeet kiukaan sisällä olleet liuskat.	42
Taulukko 1. Materiaalien hintavertailu.....	18
Taulukko 2. Materiaalinvalinta totuustaulukko.....	32
Taulukko 3. Kiukaan mittaustulokset.....	37
Taulukko 4. Huoneenlämmössä olleet liuskat.....	40
Taulukko 5. Kiukaan sisällä olleet liuskat.....	41

Käytetyt termit ja lyhenteet

Aisi304L Amerikkalaisen ASTM-standardin mukainen merkintä vähähiiliselle austeniittiselle ruostumattomalle teräkselle

EN 1.3407 Eurooppalaisen standardin mukainen merkintä vähähiiliselle austeniittiselle ruostumattomalle teräkselle

JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Opinnäytetyö tehdään Länsi-Pirkanmaan koulutuskuntayhtymä Ammatti-instituutti lisäkin Parkanon opetuspisteessä. Opinnäytetyöhön aihe tuli kysynnästä, tarvittiin kiuas, joka kestäisi pidempään käytössä. Nykyisten puulämmitteisten kiukaiden kestävyys jokapäiväisessä käytössä oli todettu huonoksi ja koulun vararehtorilta saatiin lupa kehittää kiuasta ja toteuttaa suunniteltu kiuas oppilastyönä.

1.2 Työn tavoite

Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää jatkuvalämmitteistä, puilla lämpiävää kiuasta siten, että sen käyttöikä pyritään moninkertaistamaan.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia materiaalin vaatimuksia, joihin tulisi kiinnittää huomiota kiukaan valmistuksessa ja suunnittelussa. Kiukaan elinkaarta pyritään pidentämään kokeilemalla ruostumatonta terästä valmistusmateriaalina sekä rakennetta kehitetään 3D-mallinnuksella.

Opinnäytetyössä kiinnitetään huomiota puulämmitteisellä kiukaalla varustettuihin kotisaunoihin, joissa saunotaan joka päivä, minkä vuoksi kiukaan elinkaari jää lyhyeksi. Työssä otetaan huomioon kiukaan elinkaaren pidentäminen kestävä kehityksen pohjalta. Tavoitteena on saada aikaan kiuas, joka kestää lämmitystä ja saunomista paremmin.

1.3 Työn rakenne

Opinnäytetyön alussa, luvussa 2 käsitellään saunaa yleisellä tasolla ja perehdytään sen historiaan Suomessa. Kiukaita käsitellään tarkemmin luvussa 3 tutustumalla kiukaan historiaan ja kiuasmalleihin savusaunankiukaasta sähkölämmitteiseen kiukaaseen. Opinnäytetyön luvussa 4 käsitellään kiuasvalmistajien haastattelut, kiuasmallin kehitystyö, suunnittelu, FEM-laskenta, käytössä rikkoutuneen teräskiukaan vaurioanalyysi ja materiaalin vertailu ja valinta. Luvussa 5 käydään läpi kiukaan sekä materiaalin testaus ja tulokset. Luvussa 6 käsitellään työn tulokset ja luvussa 7 loppuyhteenveto.

1.4 Yritysesittely

Länsi-Pirkanmaan koulutuskuntayhtymän jäsenkuntia ovat Hämeenkyrö, Ikaalinen, Parkano, Kihniö ja Ylöjärvi. Koulutuskuntayhtymän alaiset oppilaitokset ovat Ikaalisten käsi- ja taideteollisuusoppilaitos, Ammatti-instituutti lisakki, maaseutuoppilaitos Osara, Pirkanmaan aikuislukio, Ylä-Satakunnan musiikkiopisto, Petäjä-opisto ja Ikaalisten kauppaoppilaitos. ([Länsi-Pirkanmaan koulutuskuntayhtymä, [Viitattu 8.12.2012].)

Ikaalisten käsi- ja taideteollisuusoppilaitos on valtakunnallinen kulttuurialan oppilaitos, joka on profiloitunut erikoisalojen kouluttajaksi. Oppilaitoksen ammattialoista asesepäntyö sekä harmonikan- ja kitaranrakennus ovat sellaisia, joita ei Suomen muissa oppilaitoksissa ole. ([Länsi-Pirkanmaan koulutuskuntayhtymä, [Viitattu 8.12.2012].)

Ammatti-instituutti lisakki on perustettu vuonna 1956 ja se on osa Länsi-Pirkanmaan koulutuskuntayhtymää. Sen koulutusaloina ovat luonnonvara-ala, tekniikka ja liikenne sekä matkailu-, ravitsemis- ja talousalat. lisakki toimii kolmessa eri toimipisteessä: Hämeenkyrössä keskustassa sekä Osarassa ja Parkanossa. ([Länsi-Pirkanmaan koulutuskuntayhtymä, [Viitattu 8.12.2012].)

Yleissivistävän koulutuksen yksikköön kuuluvat Petäjä-opisto, Pirkanmaan aikuislukio ja Ylä-Satakunnan musiikkiopisto. Petäjä-opisto on seudullinen kansalaisopisto, joka toimii Parkanon, Kihniön, Kankaanpään, Honkajoen ja Pomarkun kunnissa. ([Länsi-Pirkanmaan koulutuskuntayhtymä, [Viitattu 8.12.2012].)

SAUNAN HISTORIA SUOMESSA

2.1 Saunan määrittäminen

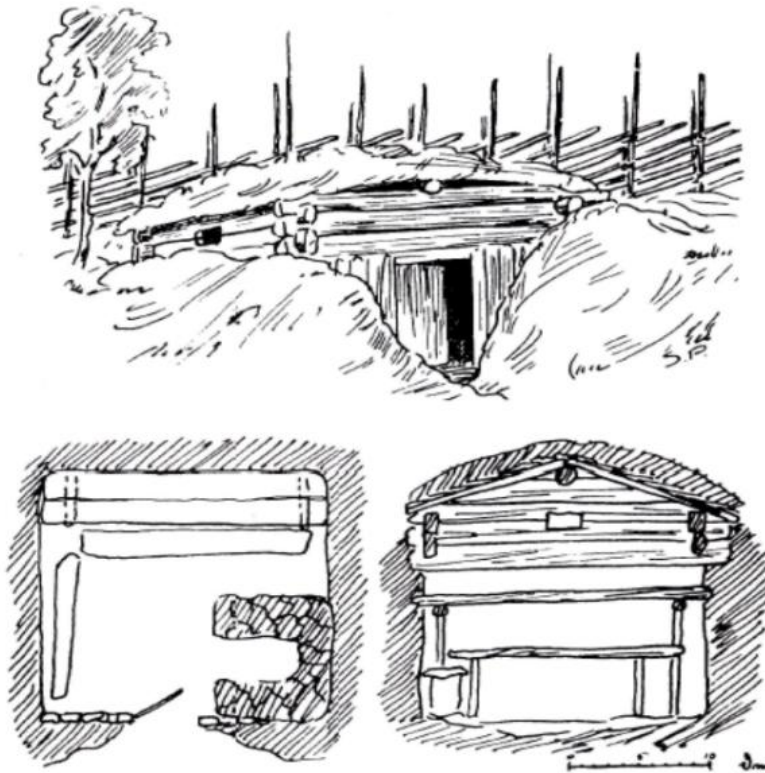
Sauna-nimitystä käytetään rentoutumiseen tehdystä huoneesta tai erillisestä rakennuksesta, jossa lämpötilaa nostetaan kiukaalla, joka on täytetty kivillä. Kiuasta ja siinä olevia kiviä kuumennetaan puilla, sähköllä, öljyllä tai kaasulla. (Saunan suunnittelu 2008, 28.)

Kiuas nostaa saunan lämpötilaa ja kun kuumille kiville heitetään vettä, se tuottaa kuumaa vesihöyryä eli löylyä. Löylyä heitettäessä ilman kosteuspitoisuuden nousu saa iholla aikaan tunteen ilman lämpenemisestä, vaikka oikeasti saunan lämpötila laskee. (Aarnio ym. 2008, 69.)

Saunassa oleskellaan lauteilla eli lavoilla joko istuen tai maaten nauttien lämmöstä ja hikoillaan. Löylyn ottamisen jälkeen peseydytään joko saunassa tai erillisessä pesutilassa. (Saunan suunnittelu 2008, 28.)

2.2 Saunan historia

Muinaissaunoissa kiukaana toimi maahan kaivettu kivillä vuorattu kuoppa, jossa pidettiin avotulta. Kivien kuumennettua ja tulen sammuttua kivikasan ympärille kasattiin kota tai telta. Asumisen vakiinnuttua saunaksi ja asunnoksi kaivettiin kokonaan maa alla oleva luola eli maapirtti. Hirsiveistotaidon myötä kaivetun maapirtin yläosa valmistettiin hirsistä ja kattona oli kattotuolien ja ruoteiden päälle ladottu tuohi, joka oli peitetty turve- tai sammalkerroksella (kuvio 1). (Paulaharju 2008, 11.)



Kuvio 1. Samuli Paulaharjun piirros maasaunasta. (Paulaharju 2008, 13.)

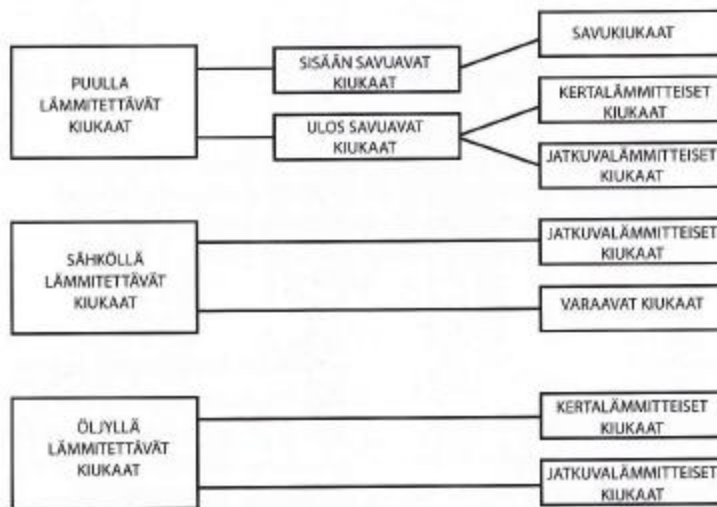
Hirsisalvostekniikan ja työkalujen kehittyessä alettiin kokonaisia rakennuksia tehdä hirrestä. Rakennukset olivat monikäyttöisiä. Samassa rakennuksessa oli pirtti, sauna ja riihi. Rakennukset lämmitettiin sisään savuavalla kivikiukaalla. (Saunan suunnittelu 2008,14.)

Seuraava vaihe oli, kun 1800-luvun lopulla alettiin rakentaa tiilisiä savupiippuja ja tehdä ulossavuavia saunoja. Savupiippu antoi mahdollisuuden rakentaa saunoja omakotitaloihin ja yhteissaunoja kerrostaloihin. Sähkökiukaan käyttöönoton jälkeen on kerrostaloissa ollut huoneistokohtaisia saunoja. (Saunan suunnittelu 2008,18.)

SAUNAN KIUAS

3.1 Yleistä

Kiuas on saunan sydän, koska sauna ei ole ilman kiuasta. Kiukaiden lämmitystavan mukaan ne jaetaan kahteen tyyppiin: kerta- ja jatkuvalämmitteisiin kiukaisiin (kuvio 2). (Aarnio ym. 2008, 69.)



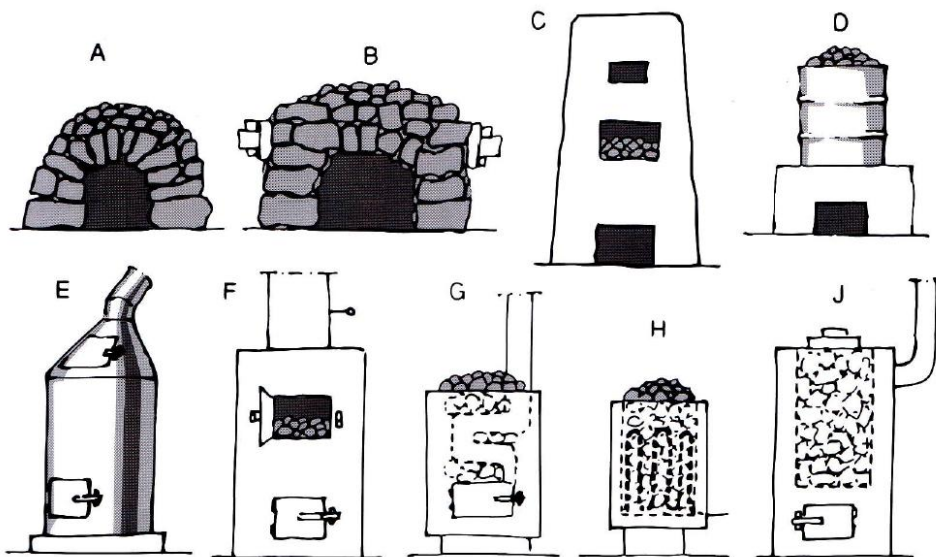
Kuvio 2. Kiukaiden jaottelu. (Aarnio ym. 2008, 70.)

Kertalämmitteinen kiuas kuumennetaan ennen saunomista ja saunomisen aikana kiuasta ei lämmitetä. Lämpö varautuu kiukaan kiviin. Kiukaissa on yleensä suuri kivimäärä, perhesaunoissa 120–200 kg ja yleisissä saunoissa jopa 650 kg. (Aarnio ym. 2008, 72.)

Jatkuvalämmitteinen kiuas kuumennetaan ennen saunomista ja lämmön ylläpitoa jatketaan saunomisen ajan. Kiuaskiviä on mallista riippuen 25–100 kg. Kiukaita lämmitetään pääasiassa puilla tai sähköllä. Neste- ja maakaasua tai polttoöljyä voidaan myös käyttää. Sähkölämmitteiset kiukaat ovat yleensä jatkuvalämmitteisiä kiukaita. (Aarnio ym. 2008, 72.)

3.2 Kiukaan kehityshistoria

Suomalaisessa saunassa käytössä olevien kiukaiden eri kehitysvaiheet tulevat esiin kuviossa 3. Kiuasmallit A, B, C ja D ovat sisäänsavuavia kertalämmitteisiä savukiukaita. Vanhin kiuasmalli A on luonnon kivistä ladottu kiuas. Kiuasmalli on ollut käytössä tuhansia vuosia. Malli B on päältä avoin kiuas, joka on muurattu kivistä tai tiilestä. Malli C on muurattu kiuas ja malli D oli peltitynnyristä tehty kiuas, jotka olivat käytössä 1800-luvun lopulla ja 1900-luvun alussa. Sisäänlämpiävän eli savusaunan lämmitys vei ja vie edelleen koko päivän. Savukiukaissa liekki kulki ladotun kivikasan läpi lämmittäen kivet ja savu jäi saunatilaan. Aluksi savun poisto saunasta tapahtui avonaisen oven kautta. Kehityksen myötä savut johdettiin rakennuksesta ulos räppänän tai lakeisen kautta. Räppänä on seinän yläosassa oleva suljettava aukko ja lakeinen katolle johtava puinen savupiippu, joka on tehty laudoista tai ontosta puusta. (Tommila, Vuolle-Apiala & Utriainen 1985, 53.)



Kuvio 3. Kiukaan kehitysvaiheet. (Tommila, Vuolle-Apiala & Utriainen 1985, 53.)

Kun savupiippuja alettiin valmistaa tiilestä, niin kertalämmitteinen sisäänsavuava kiuas lähes unohdettiin. Uusi keksintö, ulossavuava kertalämmitteinen kiuas, tuli käyttöön. Kertalämmitteinen kiuas on savukiukaan versio, jossa savu johdetaan kiuaskivien läpi savuhormin kautta ulos (kuvio 3). Kiukaissa on lämmityksen ajaksi luukulla suljettava löylynheittoaukko. Saunan löylykuntoon saattaminen vei kolmesta neljään tuntia. Kiuasmalli E on ulossavuava kertalämmitteinen peltinen pönttökiuas, joka oli käytössä 1920-luvulta 1960-luvulle. Malli F muurattu ulossavuava kiuas oli käytössä 1920–1930-luvuilla. Kiukaat olivat aluksi kotitekoisia peltitynnyrirakennelmia, mutta kysynnän kaupallisen kiinnostuksen vuoksi niitä alettiin valmistaa teollisesti. Malli J on 1960-luvun kertalämmitteinen lämpöeristetty kiuas. (Tommila, Vuolle-Apiala & Utriainen 1985, 54.)

Jatkuvalämmitteisiä kiukaita kehiteltiin jo 1930-luvulla, mutta kiukaiden suosio saunan lämmityksessä kasvoi vasta, kun huomattiin niiden nopea löylykuntoon lämmittäminen verrattuna kertalämmitteisiin kiukaisiin. Aikaa kului yksi tunti. Kiuasmalli G on puilla lämmitettävä jatkuvalämmitteinen kiuas. Kiukaiden lämmöntuottajana voidaan käyttää puuta, öljyä tai kaasua. (Tommila, Vuolle-Apiala & Utriainen. 1985, 56.)

Sähkön kytkeminen kiukaan lämmönlähteeksi 1950- ja 1960-lukujen taitteessa mullisti kolmannen kerran kiukaan kehitystä. Nykyisin sähköllä lämpiävä jatkuvalämmitteinen kiuasmalli H (kuvio 3) on yleisin kiuas Suomessa. Kiukaan etuihin kuuluu, ettei se tarvitse hormia sekä nopeus ja löylykuntoon saattamisen vaivattomuus. Sauna voidaan saada lämpiämään oikeana aikana myös joko ajastinkellolla tai puhelinsoitolla. (Tommila, Vuolle-Apiala & Utriainen 1985, 56.)

KIUKAAN KEHITYSTYÖ

4.1 Kiuasvalmistajien haastattelu

Kotimaisille kiukaita valmistaville yrityksille suoritettiin puhelinhaastattelu ja valmistajien edustajille esitettiin seuraavat kysymykset:

- Käyttävätkö he, tai ovatko edes kokeilleet ruostumatonta terästä kiukaan valmistuksessa.
- Jos eivät ole käyttäneet tai edes kokeilleet, niin syytä miksi eivät ole käyttäneet tai kokeilleet.
- Jos materiaalia oli käytetty tai kokeiltu kiukaan valmistuksessa, niin kysyttiin kokemuksia materiaalin käytöstä.

Kiuasvalmistajia oli kyselyssä mukana yhdeksän. Haastattelut suoritettiin keväällä 2012. (LIITE 1. Suomalaisten kiuasvalmistajien haastattelut.) Lisäksi suoritettiin puhelinhaastattelu Suomen saunaseuran tutkimus- ja kulttuuritoimikunnan puheenjohtajalle. (LIITE 2. Pekka Tommilan haastattelu 9.3.2012.)

Kiuasvalmistajat ja heidän tuotemerkit olivat: Harvia Oy Muurame (Harvia®), Helo Oy Riihimäki (Helo®, Kastor®), IKI-kiuas Oy Helsinki (IKI®), Misa Oy Lemi (Misa®), Narvi Oy Lappi (Aito-kiuas®, Mirva®), Mondex Oy Kokkola (Mondex®), Teuvan keitintehdas Teuva (Teuva-kettimet®, Parra®), Tulikivi Oy Juuka (Tulikivi®) ja Vuolux Oy Nivala (Vuolux®).

4.1.1 Haastattelujen tulokset

Kiuasvalmistajista vain kaksi oli kokeillut ruostumatonta terästä puulämmitteisten kiukaiden valmistuksessa: Misa Oy ja Teuvan Keitintehdas Oy. Sähkölämmitteisiä kiukaita ruostumattomasta teräksestä valmistaa IKI-kiuas Oy.

Ruostumatonta terästä kiukaan runkomateriaalina ei käyttänyt seitsemän yritystä: Harvia Oy, Helo Oy, IKI-kiuas Oy, Mondex Oy, Narvi Oy, Tulikivi Oy ja Vuolux Oy.

Käyttämättömyyden syynä kiuasvalmistajista Harvia Oy, Helo Oy, IKI-kiuas Oy, Mondex Oy, Narvi Oy, Tulikivi Oy ja Vuolux Oy sekä Pekka Tommila Suomen saunaseurasta toivat esille materiaalin korkean hinnan.

Molemmat ruostumatonta terästä käyttäneet valmistajat Misa Oy ja Teuvan Keitintehdas Oy sekä Pekka Tommila Suomen saunaseurasta toivat esille materiaalin voimakkaat muodonmuutokset ja taipumuksen repeillä.

4.1.2 Haastattelutulosten tarkastelu

Tärkeimpänä poissulkevana kriteerinä pidettiin ruostumattoman teräksen kalliimpaa hintaa. Materiaalien hintatiedot näkyvät taulukossa 1. Hinnat on saatu Kari Majaselta, TM-Rauta Oy Parkano. (Liite 3. Henkilökohtainen tiedonanto Kari Majanen.)

Taulukko 1. Materiaalien hintavertailu.

Uusi levy:		
Teräs	S355	0,86 €/kg
Ruostumaton teräs	Aisi 304L (EN 1.4307)	4,20 €/kg
Tulenkestävä rst	Aisi 309 (EN 1.4828)	6,50 €/kg
Kierrätys/palalevyt:		
Teräs	S355	0,50 €/kg
Ruostumaton teräs	Aisi 304L (EN 1.4307)	2,60 €/kg

Sekä uudesta levystä että kierrätysmateriaalista valmistettuna ruostumattoman teräskiukaan materiaalikustannus on viisinkertainen verrattuna teräksestä valmistettuun kiukaaseen.

4.2 Käytössä hajonneen kiukaan vaurioanalyysi

Kiukaan valmistajan mukaan valmistusmateriaali on suomalaista Ruukin rakenneterästä. Tarkempaa tietoa materiaalista ei löytynyt.

Teräskiuas otettiin käyttöön lokakuulla 2009. Sauna on normaali omakotitalon sauna, joka on tilavuudeltaan noin 18 m³. Polttopuuna käytettiin lähes yksinomaan ilmakeivattua, liiterissä säilytettyä koivuklapia, joka tuotiin kuivaan ja lämpöiseen kellaritilaan 3–4 päivää ennen käyttöä. Kiuasta lämmitettiin joka päivä 1–2 tuntia.

Käyttöön otettaessa kiukaan sisällä ollut irtonainen takaseinän suoja vääntyi arinan päälle käyttökelvottomaksi ja se poistettiin kahden kuukauden lämmityksen jälkeen. Jo tässä vaiheessa kiukaan takaseinä oli vääntyillyt mutkille. Viiden kuukauden lämmityksen jälkeen kiukaan takaseinästä alkoi vilkkua liekkien loimu ja pesän kautta tarkistaen todettiin siihen ilmestyneen kuvion 4 mukainen repeämä. Samalla huomattiin tulipesän kannen painuneen lommolle savukanavan kohdalta. Ajan kuluessa takaseinän repeämä suureni ja sen loppupäihin ilmestyi erisuuntaisia halkeamia.



Kuvio 4. Puhjennut takaseinä.

Tilannetta seurattiin ja tulipesän kanteen ilmestyi kuvion 5 mukainen repeämä kahdeksan kuukauden käytön jälkeen. Aukko suureni nopeasti ja sauna lakkasi lämpenemästä, koska lämmitys liekki oikaisi reiän kautta suoraan hormiin. Halutun saunomislämpötilan saamiseksi piti polttopuita lisätä enemmän.



Kuvio 5. Puhjennut tulipesän kansi.

Kun kiuasta oli käytetty 14 kuukautta, huomattiin kiukaan lämmitysvalkean pienenevän löylyä heitettäessä. Syynä oli savukanavan kanteen tullut kuvio 6

mukainen reikä. Kuukautta myöhemmin, jouluaattona 2010 kiuaskiviä putosi kiukaan sisälle.



Kuvio 6. Puhjennut savukanavan kansi.

4.2.1 Analyysin tulokset

Yksi vaurioiden aiheuttaja on teräksen kuumakorroosion aiheuttama pinnan hilseily. Yli 570 °C:een lämpötilassa teräksen pinnalle syntyy rautaoksidikerros (FeO), joka kiinnittyy huonosti teräksen pinnalle ja aiheuttaa pinnan hilseilyä (Huhtinen 2006, 80).

Vaurioiden syynä ovat myös teräksen ominaisuudet, jotka aiheuttavat lämmön johtavuuden ja kimmokertoimen pientymisen lämpötilan noustessa (kuvio 12,

13), sekä teräksen myötöraja, joka säilyy hyvänä 400 °C asti ja sen jälkeen tapahtuu voimakas lasku (kuvio 14). Tämän seurauksena teräs menettää lujuutensa, kovuutensa ja sitkeytensä. Lämpötilassa 800 °C teräksen kimmokerroimesta ja myötörajasta on jäljellä noin 10 %. Paikallisesti kiukaan lämpötila voi nousta huonon rakenteen vuoksi huomattavasti tätäkin suuremmaksi, jolloin kimmokerroin ja myötöraja ovat vain muutama prosentti alkuperäisestä. (Oksanen ym. [Viitattu 27.11.2012].)

Käyttöön otettaessa kiukaassa oli irtonainen levyosa takaseinää vasten, jonka tarkoituksena oli suojata seinälevyä ylikuumentumiselta. Suojalevy vääntyi käyttökelvottomaksi kahdessa kuukaudessa, ja sen puuttumisen vuoksi kuumuus kohdistui suoraan takaseinään, joka oli neljä millimetriä paksua rakenneterästä. Seinämään ilmestyi vaakatasossa oleva repeämä viiden kuukauden lämmityksen jälkeen, ja se jatkoi suurentumistaan koko käyttöajan. Irrotetussa palassa, kuviossa 7 nähdään kuinka repeämän molempiin päihin on muodostunut erisuuntaisia pienempiä repeämiä. Kiukaan takaseinään kohdistui voimakasta kuumakorroosion aiheuttamaa hilseilyä. Päivittäinen lämmittäminen aiheutti usein toistuvia myötörajan yli nousevia jännityksiä. (Koivisto ym. 2008, 17.)



Kuvio 7. Takaseinään repeytynyt aukko.

Jännitykset aiheuttivat materiaaliin kuroumia, jotka eivät palautuneet. Tämä toistui jokaisella lämmityskerralla ja materiaali venyi samalla ohentuen (kuvio 8).



Kuvio 8. Muokkaantunut takaseinä.

Koska rikkoutuneessa kiukaassa savukanava oli hitsattu suoraan kiinni tulipesän kanteen ja kiukaan palotila oli 430 mm korkea, aiheutui siitä liian suuri kuumuus savukanavan kohdalle tulipesän kanteen. Kanteen vaikuttanut molemmanpuoleinen kuumakorroosio sekä myötörajan yli nousseet jännitykset aiheuttivat sen, että kansi puhkesi nopeasti ja repeämän reunat kääntyivät alaspäin (kuvio 9).



Kuvio 9. Kiukaan kannen repeämä.

Koska kiukaan kanteen puhjennut aukko ohjasi liekin lähes suoraan hormiin, niin se madalsi kiukaan hyötysuhdetta. Halutun saunomislämpötilan savuttamiseksi ylimääräistä polttopuuta jouduttiin lisäämään tulipesään ja savukanavan kanteen kohdistui entistäkin suurempi kuumuus. Ylikuumeneminen lisäsi savukanavan

kannen kuumakorroosiota sekä myötörajan yli nousseita jännityksiä, joiden seurauksena oli savukanavan puhkeaminen (kuvio 10). Rikkoutuneessa kiukaassa tulipesän kannessa ja savukanavassa oli käytetty kuuden millimetrin rakenneterästä.



Kuvio 10. Rikkoutunut savukanava.

Kuviossa 11 huomataan, kuinka voimakas kuumakorroosion aiheuttama hilseily on ohentanut savukanavan kantta. Vasen reuna on nuohousluukun aukko, joka on ohentunut alkuperäisestä yhden millimetrin. Tästä oikealle päin materiaali on kadonnut 45 millimetrin jälkeen kokonaan.



Kuvio 11. Leikkaus savukanavan kannesta.

4.3 Kiukaan suunnittelu ja lujuuslaskelma

Tässä osassa käsitellään kiukaan 3D-mallinnusta ja lujuuslaskelmia FEM-laskentaohjelmalla.

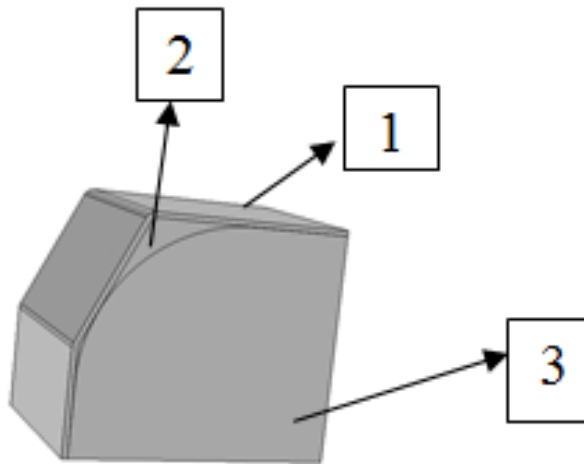
4.3.1 Kiukaan mallinnus

Kiukaan mallinnuksessa käytettiin Autodesk Inventor 2012-ohjelmaa. Vaurioanalyysissä todettiin, että 430 mm:n tulipesä oli liian matala. Sen vuoksi kiukaan tulipesä suunniteltiin yli 500 mm korkeaksi. Savukanavat suunniteltiin ja mallinnettiin putkimateriaalista. Näin pystyttiin välttämään tulipesän kannen ylikuumentuminen. Kiukaan kokonaiskorkeudeksi tuli 930 mm, kokonaisleveydeksi 550 mm ja syvyydeksi 600 mm. Savukanavan muotoilu ja poistoaukon korkeus 750 mm määräytyivät savupiipussa valmiina olevasta, puhki palaneen teräskiukaan hormiliitoksen korkeudesta. Samalla hyödynnettiin kuumien savukaasujen loppuun palaminen, ennen kuin ne poistuvat kiukaasta tiilihormiin. Savukanavien ja tulipesän kannen väliin jäävä ilmarako ja korkea palotila ehkäisevät ylikuumentumista.

Kiukaan suunnittelussa otettiin rakenteen hitsattavuus huomioon tekemällä hitsausjärjestyksestä suunnitelma ja moduloimalla kiuas hitsauksessa erilleen kasattaviksi osiksi, jotka yhdistettiin osakokonaisuuksina. Esimerkkinä savukanava, joka koottiin hitsaamalla ensiksi tulipesästä nousevat kanavat vaakakanaviin. Seuraavaksi kasattiin savupiipun liitosputkeen liittyvät neliöputket. Lopuksi hitsattiin nämä osat ja savukanava kiinni toisiinsa. Tulipesästä nousevat kanavat suunniteltiin riittävän korkeiksi, jotta kiukaan tulipesän ja savukanavien hitsaus onnistui normaalilla TIG-hitsauksella, ilman erikoisvälineitä.

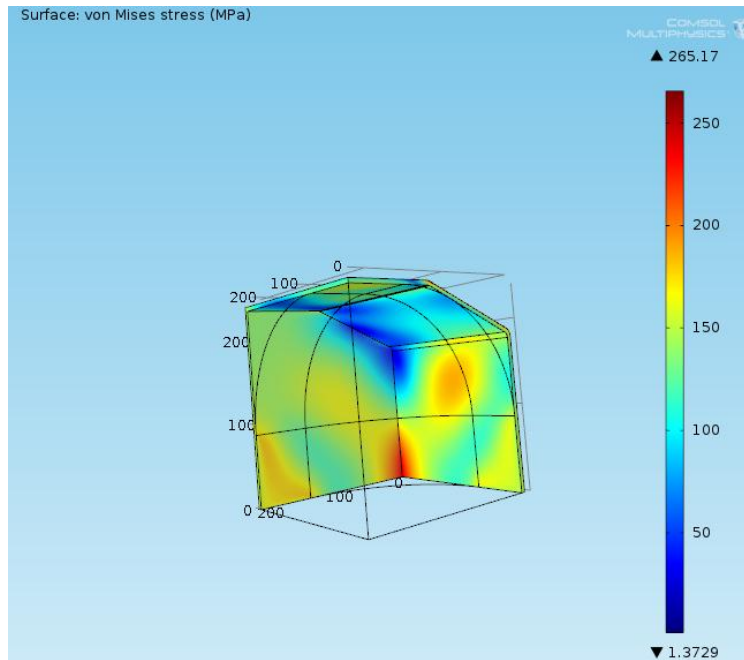
4.3.2 Lujuuslaskelmat FEM-ohjelmalla

Materiaaliin aiheutuvia lämpöjännityksiä tarkasteltiin FEM-laskennan avulla käyttäen COMSOL Multiphysics 4.2a -ohjelmaa. Inventorilla piirrettyä mallia ei saatu toimimaan liian monimutkaisena. Yksinkertaistettu malli luotiin Comsolin omalla piirto-ohjelmalla. Kiukaasta tehtiin 1/8-malli, johon annettiin kolme eri materiaalitietoa. Osa 1 ruostumaton teräs Aisi 304L, osa 2 ilmaa, jolla on lämmönjohtavuus ja osa 3 ilmaa, jolla on lämpötila ja lämmönjohtavuus (kuvio 12).



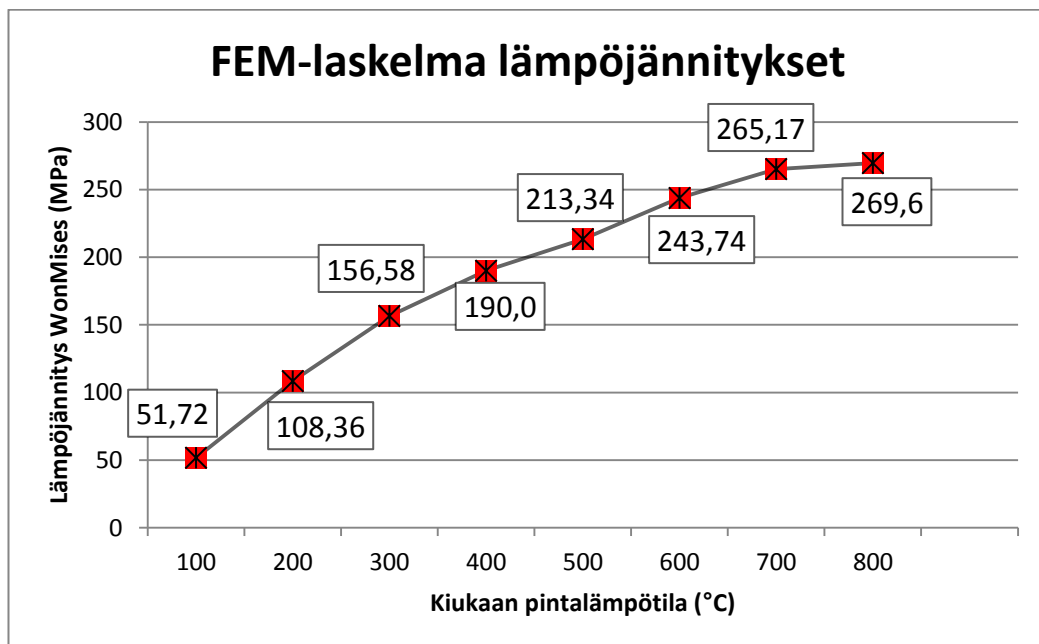
Kuvio 12. 1/8-mallin lämpötila-alueet.

Comsol-ohjelmaan syötettiin alue 3:seen lämpöarvoja 100 °C välein ja ohjelma laski lämpötilan aiheuttamat jännitykset kiukaan eri osissa. Lämpötilan vaikutus kimmokertoimeen otettiin huomioon korjainarvolla, joka syötettiin ohjelman parametreihin. Ohjelmasta saatiin eri lämpötiloista värikuviot, joista käy ilmi lämpötilan aiheuttamat jännitykset. Kuviossa 13 käy esille jännitykset 700 °C:n lämpötilassa.



Kuvio 13. Jännitykset 700 °C:n lämpötilassa.

Kuviossa 14 tulevat esille koko testausalueen lämpötilasta aiheutuneiden jännitysten vaikutus kiukaan runkoon. Jännitykset aiheuttavat muodonmuutoksia, koska ne nousevat suuremmaksi kuin Aisi 304L:n (EN 1.4307) $R_{p0,2}$ myötöraja, joka on 220 MPa. (Taulavuori, Kyröläinen & Manninen 2012, 8.)



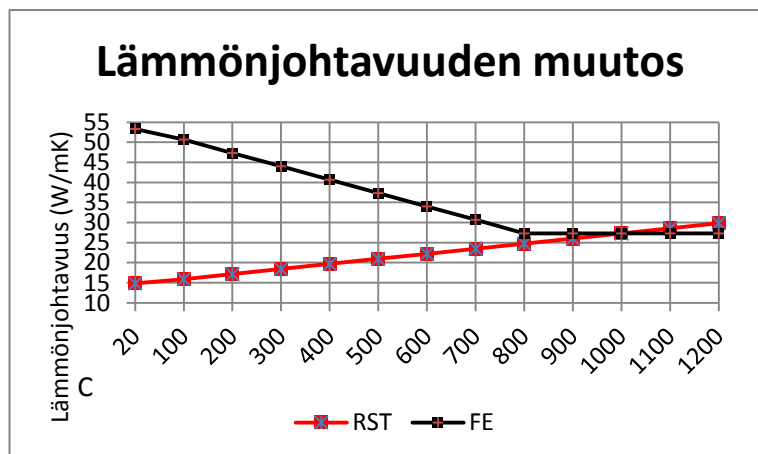
Kuvio 14. Lämpötilan aiheuttamat jännitykset.

4.4 Lämpötilan vaikutus materiaaliin

Ruostumattoman teräksen ominaisuuksia korkeissa lämpötiloissa on tutkittu standardissa SFS EN 1993-1-2. 2003. Standardissa käsitellään terästen ominaisuuksien muuttumista lämpötilan mukaan. Ruostumattomilla teräksillä on paremman sitkeyden ja korroosionkestävyyden lisäksi suuremmat jäykkyyden ja lujuusominaisuudet korkeissa lämpötiloissa kuin teräksellä (Oksanen ym. 2003, 1). Materiaalien vertailu korkeissa lämpötiloissa tulee esiin seuraavissa kuvioissa 15, 16 ja 17.

Tutkittaessa lämpötilan vaikutusta teräksen ja ruostumattoman teräksen lämmönjohtavuuteen käytettiin standardin mukaisia korjauskertoimia. (Liite 4. Taulukko 1.) (SFS-EN 1993-1-2, 25, 69.)

Materiaalien lämmönjohtavuus tasaantuu lämpötilan noustessa ja kiukaan pintalämpötilan ollessa 800 °C ne ovat lähes tasoissa (kuvio 17).

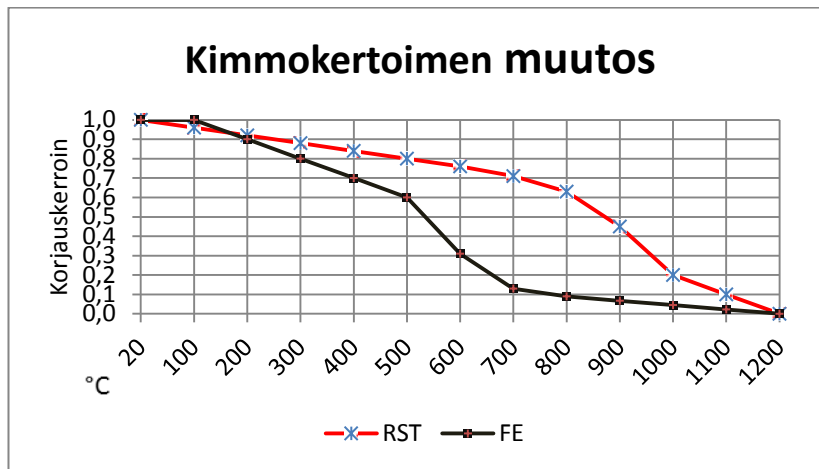


Kuvio 15. Lämmönjohtavuuden muutos lämpötilan funktiona.

Tutkittaessa lämpötilan vaikutusta teräksen ja ruostumattoman teräksen kimmokertoimeen sekä vetomurtolujuuteen käytettiin standardin mukaisia korjauskertoimia. (Liite 4. Taulukko 2.) (SFS-EN 1993-1-2, 22, 64.)

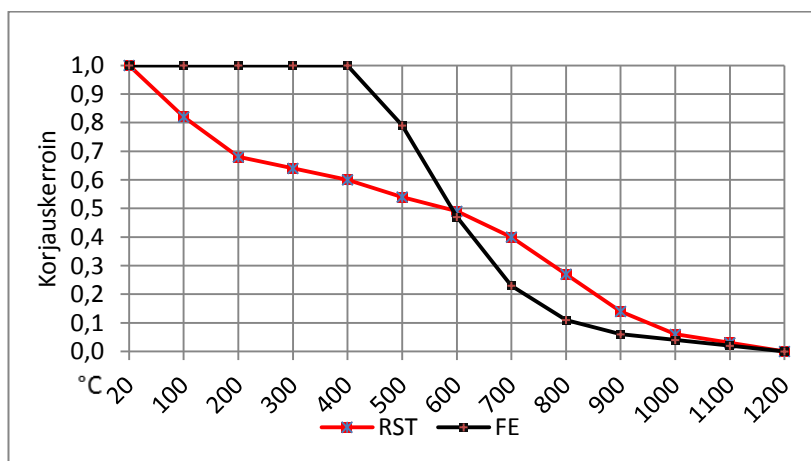
Tarkasteltaessa kimmokertoimien kuvaajaa (kuvio 16) huomataan, että lämpötilassa 700 °C ruostumattoman teräksen kimmokerroin on noin 70 % alkuperäisestä ja teräksen hieman yli 10 % alkuperäisestä. Lämpötilassa 800 °C

ruostumattoman kimmokerroin on noin 60 % alkuperäisestä ja teräksen hieman alle 10 % alkuperäisestä.



Kuvio 16. Kimmokertoimen muutos lämpötilan funktiona.

Tarkasteltaessa rakenneteräksen ja ruostumattoman teräksen myötölujuuden muutoksia (Kuvio 17) havaitaan, että teräksen myötölujuus säilyy vakiona 400 °C:een saakka ja sen jälkeen nopeasti menettää sitä. Ruostumaton teräs ohittaa teräksen 600 °C:n kohdalla. Ruostumattomalla teräksellä on noin 20 % suurempi myötölujuus kuin teräksellä pintalämpötilassa 800 °C.



Kuvio 17. Myötölujuuden muutos lämpötilan funktiona.

4.5 Materiaalin valinta

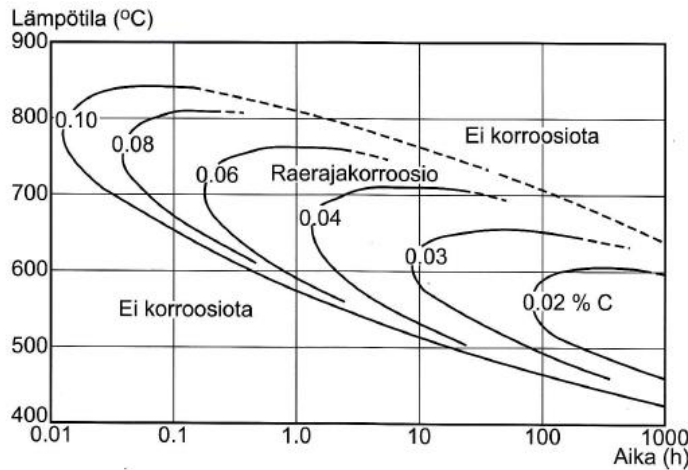
Kun valitaan materiaalia, josta tuote valmistetaan, on sen elinkaarenaikaisiin kustannuksiin kiinnitettävä enemmän huomiota kuin hankintahintaan. Tärkeimpänä valintakriteerinä voidaan pitää pitkää käyttöikää (Käsikirja – Ruostumattomien terästen käyttö kantavissa rakenteissa 2006, 23).

Ruostumaton teräs on viisi kertaa kalliimpaa kuin rakenneteräs, ja kiuasvalmistajat pitävät sitä liian kalliina materiaalina kiukaan valmistukseen. (LIITE 1. Suomalaisten kiuasvalmistajien haastattelut.) Käytännön kokemus on kuitenkin osoittanut, että käyttämällä paremmin korroosiota kestävästä materiaalista saadaan säästöjä tuotteen elinkaaren pidentymisenä ja lopputuotteen kierrätettävyytenä (Käsikirja – Ruostumattomien terästen käyttö kantavissa rakenteissa 2006, 23).

Tarkasteltaessa ruostumattomia teräksiä huomataan, että haurasmurtumavaaran takia ferriittisen ja austeniittisen ferriittisen eli duplex-teräksen ylin käyttölämpötila-alue päättyy +350 °C:een. Austeniittisellä ruostumattomalla teräksellä ylin käyttölämpötila on + 800 °C. Sen lujuusominaisuudet ja hilseilynkestävyys säilyvät tähän lämpötilaan asti. (Taulavuori, Kyröläinen & Manninen 2012,14.)

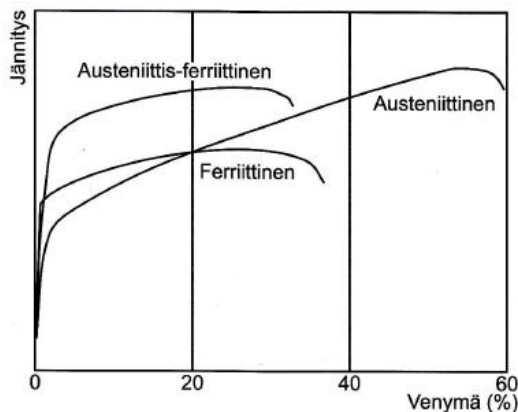
Perustyyppi austeniittinen ruostumaton teräs X5CrNi18-10 eli Aisi 304 (EN 1.4301) sisältää 18 % kromia ja 8 % nikkeliä. Kun halutaan valmistaa haponkestävää terästä, seostetaan siihen 2–3 % molybdeenia, esim. X5CrNiMo17-13-3 Aisi 316 (EN 1.4436). (Kyröläinen & Lukkar. 2002, 15.)

Hitsaus aiheuttaa Aisi 304 (EN 1.4301) herkistymistä eli kromikarbidien erkautumista raerajoilla. Sopivissa olosuhteissa tämä saattaa aiheuttaa raerajakorroosiota (kuvio 18). Herkistyminen estetään käyttämällä matalahiilistä, C<0,03% seosta Aisi 304L (EN 1.4307). (Kyröläinen & Lukkari. 2002, 15.)



Kuvio 18. Hiilipitoisuuden vaikutus raerajakorroosioon. (Kyröläinen & Lukkari 2002, 15.)

Kuviossa 19 tulevat esiin ruostumattomien terästen tyypilliset vetokokeessa saavutettavat vetokäyrien muodot (Koivisto ym. 2008, 17.). Ferriittinen teräs käyttäytyy kimmoisella alueella lineaarisimmin ja sillä on selvempi $R_{p0,2}$ myötöraja kuin austeniittisella ja duplex-teräksellä. Kuviosta nähdään, että austeniittisella ruostumattomalla teräksellä on matalin myötöraja ja että sen venymä on lähes kaksinkertainen muihin nähden.



Kuvio 19. Ruostumattomien terästen jännitys-venymäkäyriä. (Kyröläinen & Lukkari 2002, 19.)

Sekä austeniittista että ferriittistä ruostumatonta terästä on tilauksesta saatavana myös tulenkestävinä. (Liite 3. Henkilökohtainen tiedonanto Kari Majanen.) Mutta koska työn tarkoituksena on selvittää tavallisen yleisesti saatavilla olevan ruostumattoman teräksen kestävyys kiuasrakenteessa, tulenkestäviä ruostumattomia teräksiä ei otettu mukaan materiaalivalintaan.

Kiukaan valmistusmateriaalin valintaan asetettiin kriteereiksi: hilseilylämpötilan kesto, hitsattavuus, materiaalin saatavuus, raerajakorroosion ja hitsien haurasmurtuman ilmeneminen. Arvot pisteytettiin + ja – merkeillä. Kiukaan valmistusmateriaaliksi valittiin eniten + merkkejä saanut austeniittinen ruostumaton teräs Aisi 304L (EN 1.4307). (Taulukko 2).

Taulukko 2. Materiaalinvalinta totuustaulukko.

Materiaalin valintataulukko						
Materiaali	Lämmönk.	Hitsaus	Saatavuus	Raerajak.	Haurasm.	+/-
EN 1.4301	800°C +	+	+	-	+	4/1
EN 1.4307	800°C +	+	+	+	+	5/0
EN 1.4462	350°C -	-	+	+	-	2/3
EN 1.4017	350°C -	-	+	+	-	2/3

Materiaali on myös helppo tunnistaa magneettikokeen avulla. Muista teräksistä poiketen austeniittinen ruostumaton teräs ei ole ferromagneettista pehmeäksi hehkutetussa tilassa. Muut ruostumattomat teräslajit, ferriittinen ja austeniittisferriittinen eli duplex-teräs ja karkaistava martensiittinen ruostumaton teräs, ovat ferromagneettisia. (Taulavuori, Kyröläinen & Manninen 2012, 11.)

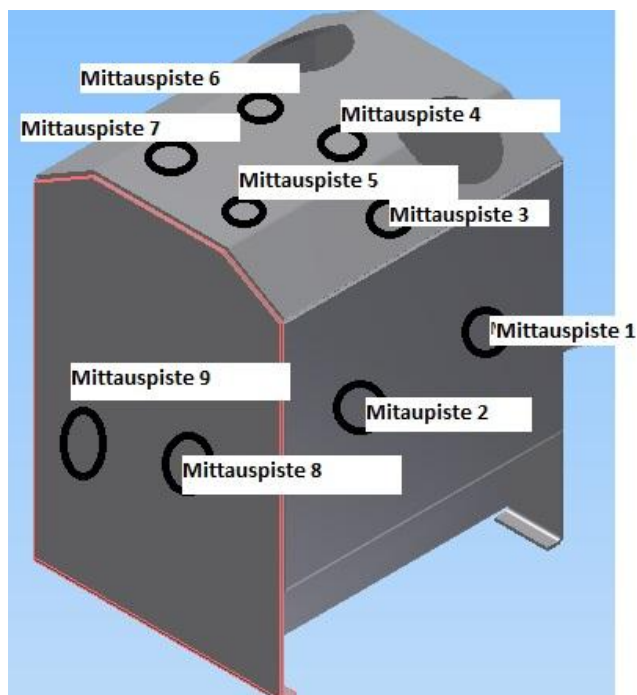
4.6 Kiukaan valmistus

Levy materiaali hankittiin Virroilta Finncont Oy:stä, joka valmistaa erilaisia nestekontteja asiakaslähtöisesti elintarviketeollisuuden tarpeisiin. Kaikki sen markkinoimat ruostumattomat kontit valmistetaan Outokummun valmistamasta austeniittisestä ruostumattomasta teräksestä Aisi 304L (1.4307). (Liite 5. Materiaalitodistus.) Kiuas valmistettiin levyseppähitsaaja Ville Rajalan opinnäytetyönä Ammatti-Instituutti lisäksi Parkanon yksikössä. Kiukaan osat valmistettiin 3D-mallinnuksella tehtyjen osakuvien mukaan ja koottiin käyttämällä Tig- ja Mig-hitsausta. Kiuas valmistui keväällä 2010 ja se otettiin koekäyttöön saman vuoden jouluna.

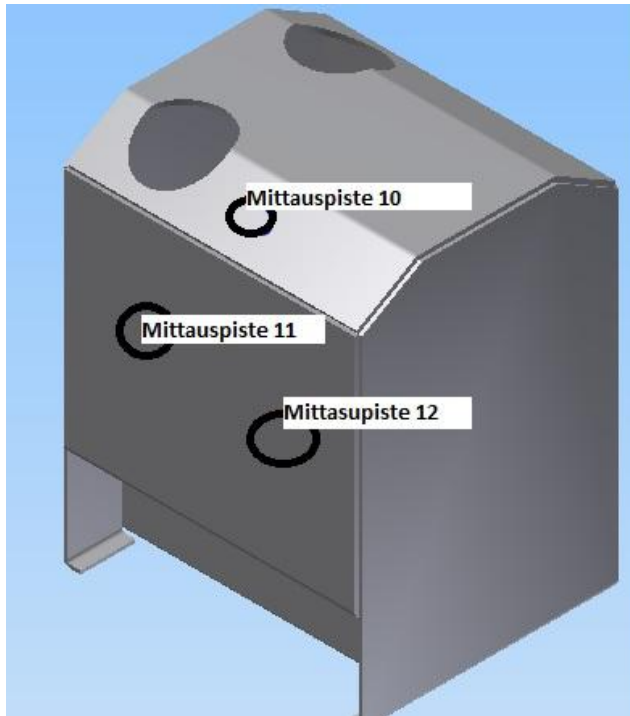
KIUKAAN TESTAUS

5.1 Ultraäänimittaukset

Kun kiuasta oli käytetty jokapäiväisessä saunanlämmityksessä vuoden ajan, sille tehtiin ensimmäinen ultraäänimittaus 17.12.2011. Mittaukset tehtiin 12 mittauspisteessä (kuvio 20 ja 21), joita käytettiin kaikissa mittauksissa. Mittauksilla havaitaan mahdollinen kiukaan tulipesän seinämistä ja katosta tapahtuva lämmön aiheuttama hilseily ja mahdolliset repeämät. Koekäyttöä jatkettiin ja mittauksia suoritettiin kolmen kuukauden välein: 17.12.2011, 2.3.2012, 6.6.2012, 9.9.2012 ja 19.12.2012. Mittaustulokset tulevat esille taulukossa 3 ja mittauspisteiden materiaalipaksuuksien keskiarvojen kuvaaja on kuviossa 25.



Kuvio 20. Mittauspisteet kiukaan oikeapuoli.



Kuvio 21. Mittauspisteet kiukaan vasenpuoli.

5.2 Ultraäänimittauslaite

Ultraäänitarkastus kuuluu ainetta rikkomattomiin tarkastusmenetelmiin. Mittauksessa käytetään 0,5–10 MHz äänitaajuutta, joka etenee metallissa tai nesteessä. Ultraääni johdetaan kappaleeseen ultraääniluotaimen avulla. Kappaleen ja luotaimen välissä käytetään kontaktiaineena vettä tai geeliä. Ääni etenee kappaleessa, ja kun ääni tavoittaa rajapinnan, se palaa lähettimeen ja tähän kuluneesta ajasta voidaan mitata epäjatkuvuuskohdan syvyys materiaalissa. (Koivisto ym. 2008, 33.)

Mittauksessa käytettiin Panametrics ^{EPOCH}4PLUS NDT -laitetta (kuvio 22). Ennen mittausta mittalaite ja luotain kalibroitiin 5 mm kalibrointipalan avulla.



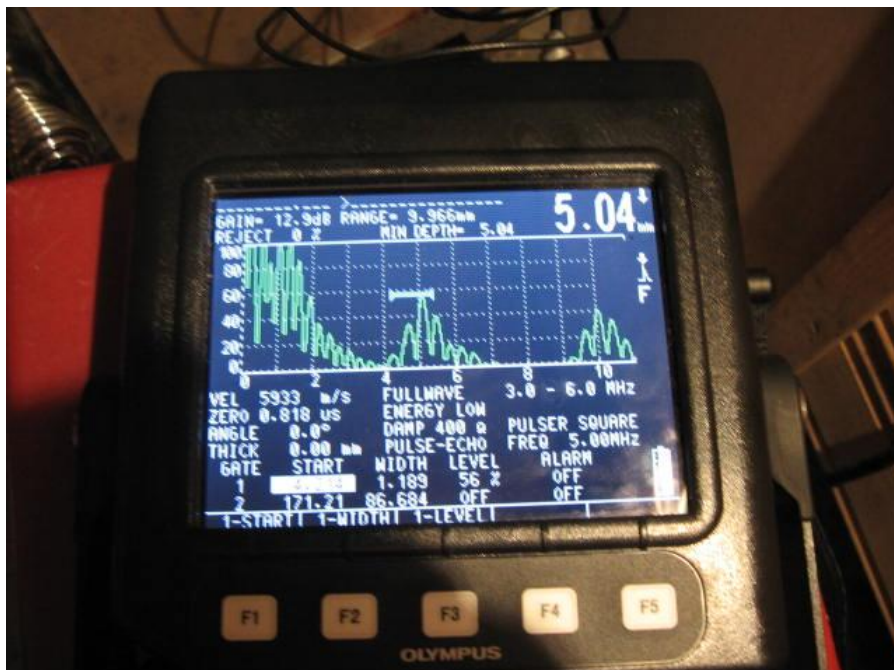
Kuvio 22. Ultraäänimittauslaite.

Mittauksessa käytettiin ultraääniluotaimena normaali- eli nollaluotainta (kuvio 23). Luotain lähettää ultraääntä pitkittäisaaltona, ja sillä voidaan mitata ainepaksuuksia sekä aineen sisäisiä sulkeumia. Käytössä olleella luotaimella voidaan mitata materiaalit, jotka ovat yli 4 mm paksuja.



Kuvio 23. Normaali- eli nollaluotain.

Ultraäänilaitteen näytöllä näkyy vasemmassa reunassa, kuinka mittauskaiku etenee materiaalin sisällä, ja kun se saavuttaa materiaalin vastapuolen tai sulkeuman materiaalin sisällä, se lähtee palaamaan luotainta kohden. Ainepaksuus tai sulkeuman syvyys luetaan näytössä olevan vaakapalkin kohdalta, ja tulos näkyy mitta-arvona näytön oikeassa yläkulmassa (kuvio 24).



Kuvio 24. Mittaustulos pisteestä 7. 17.12.2011.

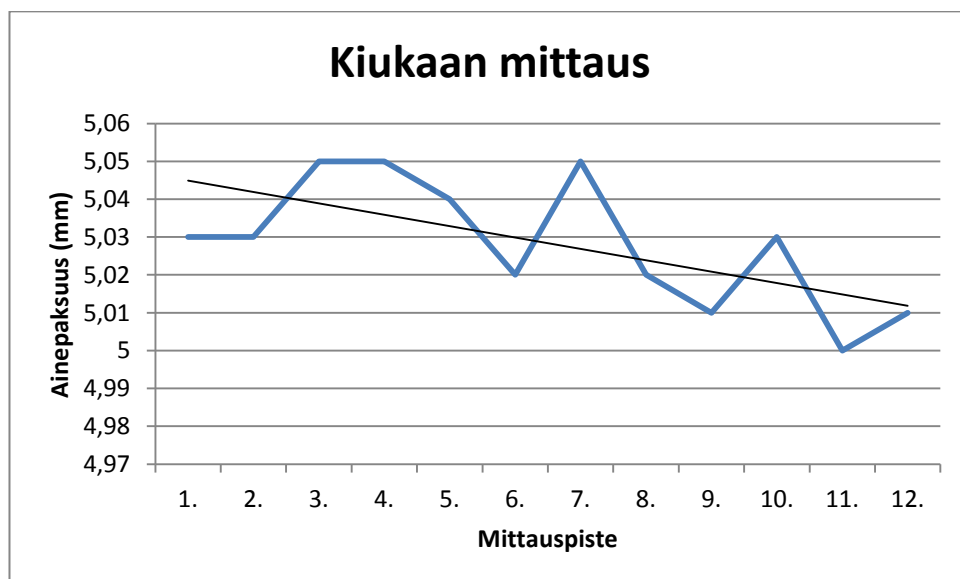
5.3 Mittaustulokset

Mittaustulokset kirjattiin ylös Excel-taulukkoon (Taulukko 3.).

Taulukko 3. Kiukaan mittaustulokset.

Kiukaan mittaus						
Mittausp.	17.12.2011	2.3.2012	6.6.2012	9.9.2012	19.12.2012	KA
1.	5,01	5,03	5,04	5,03	5,04	5,03
2.	5,03	5,04	5,03	5,03	5,04	5,03
3.	5,06	5,05	5,02	5,05	5,06	5,05
4.	5,06	5,06	5,05	5,05	5,05	5,05
5.	5,03	5,04	5,06	5,04	5,03	5,04
6.	5,01	5,01	5,03	5,02	5,02	5,02
7.	5,04	5,06	5,05	5,04	5,04	5,05
8.	5,03	5,0	5,01	5,02	5,02	5,02
9.	5,03	5,01	4,99	5,00	5,00	5,01
10.	5,01	5,03	5,06	5,02	5,03	5,03
11.	5,02	5,0	4,99	5,01	5,00	5,00
12.	5,00	5,02	5,01	5,00	5,00	5,01

Kiukaan mittaustulosten tehtiin kuvaaja, josta näemme jokaisen mittauspisteen materiaalipaksuuden keskiarvon.



Kuvio 5. Mittaustulosten kuvaaja.

5.4 Lämmön aiheuttamat muodonmuutokset

Kiukaan kyljet muotoutuivat lommoisiksi jo muutaman lämmityskerran jälkeen (kuvio 26, 27 ja 28). Lommot syntyivät ensimmäisen koekäyttövuoden aikana ja pysyivät lähes samankokoisina mittausjakson loppuajan.



Kuvio 26. Vasemman kyljen lommot.



Kuvio 27. Oikean kyljen lommot.



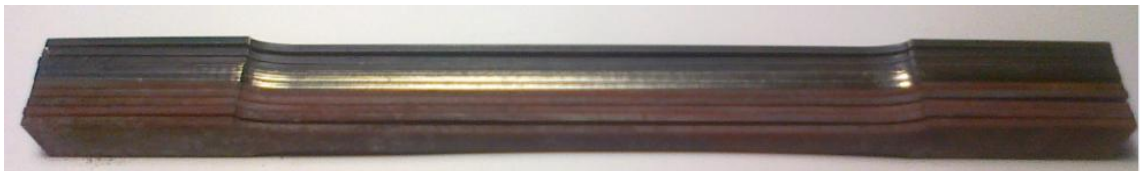
Kuvio 28. Takaseinän lommo.

5.5 Vetokoeliskojen laboratoriokokeet

Laboratoriokokeet tehtiin, kun koeliuskoja oli altistettu lämpötilan vaihtelulle kaksi ja puoli kuukautta. Kokeissa käytettiin materiaali-laboratorion vetokoelaitetta ja siinä olevaa FMT-ProgSys 9.x T/TCB -ohjelmaa.

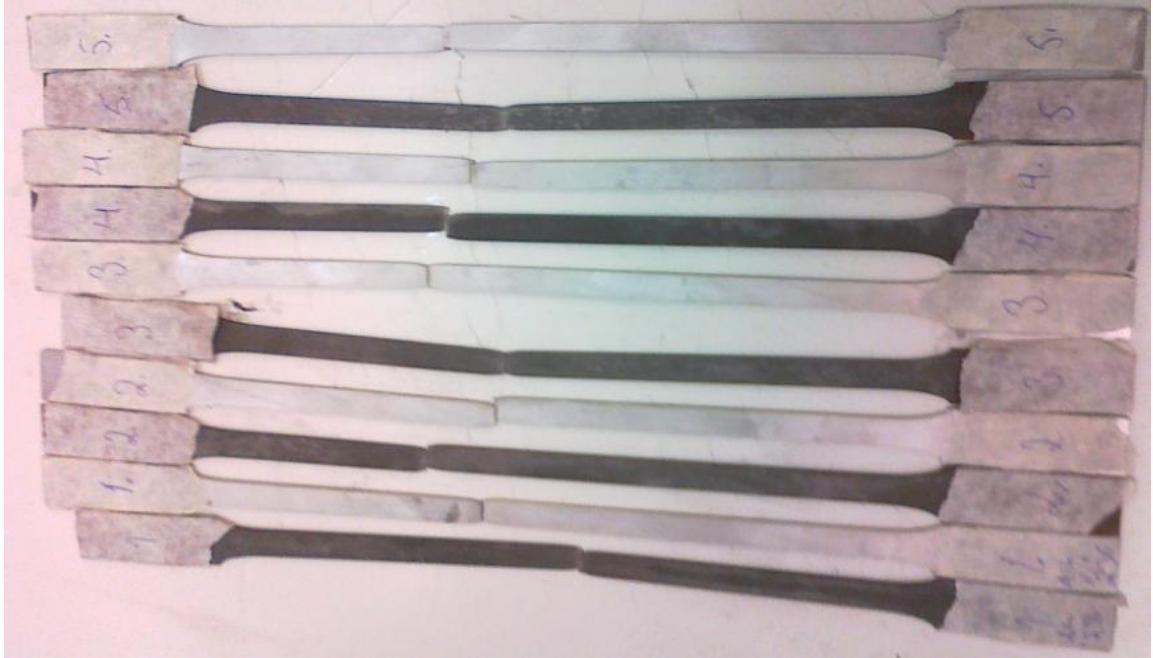
Viisi kiukaassa ja viisi huoneen lämmössä ollutta liuskaa testattiin vetokokeella, jotta nähtäisiin, onko kuumeneminen ja jäähtyminen vaikuttanut murtovenymään ja murtolujuuteen. Liuskojen alkuperäinen pituus oli 236 mm, paksuus 2 mm ja leveys 9 mm. Tarkasteltaessa liuskoja mittausjakson jälkeen huomattiin, että mitat eivät olleet muuttuneet lämpötilan muutosten vaikutuksesta.

Etualalla kuviossa 29 olevat viisi ruskehtavaa liuskaa ovat kiukaan sisällä olleita liuskoja ja takana olevat kiiltävät liuskat huoneenlämmössä olleita.



Kuvio 29. Vetokoeliuskat.

Liuskoja vedettäessä huomattiin, että kuviossa 30 olevat huoneen lämmössä olleet vaaleat liuskat venyivät tasaisemmin kuin kiukaan sisällä olleet tummemmat liuskat.



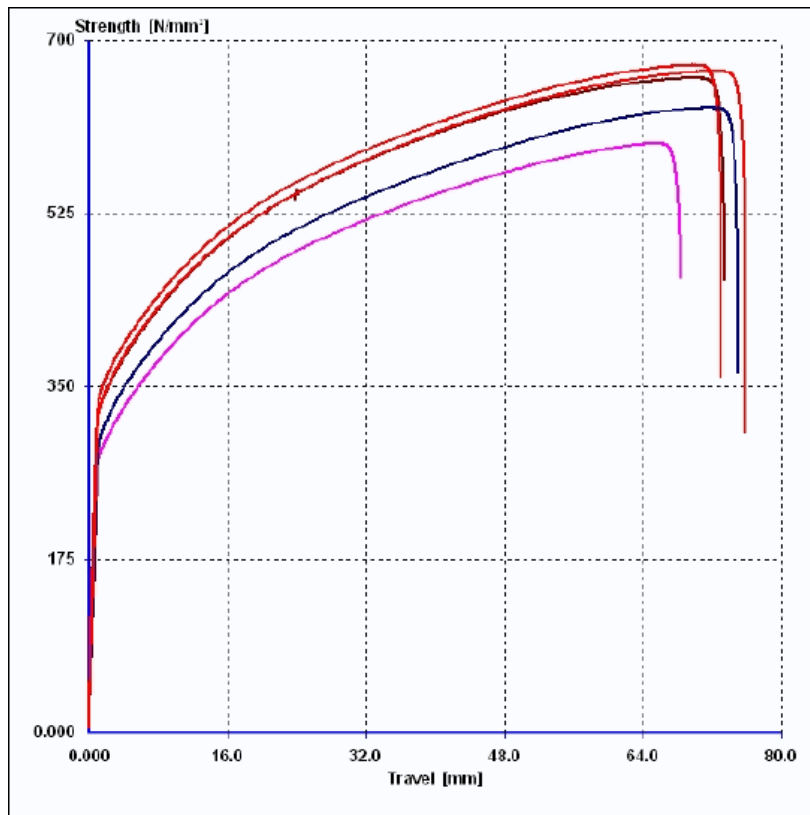
Kuvio 30. Vetokoeliuskat kokeen jälkeen.

Taulukossa 4 ovat huoneenlämmössä olleiden liuskojen murtovenymät ja murtolujuudet sekä niiden keskiarvot. Liuskojen keskimääräinen murtovenymä oli 73,13 mm ja keskimääräinen murtolujuus 646,96 N/mm².

Taulukko 4. Huoneenlämmössä olleet liuskat.

Liuska n:o	Venymä mm	Murtolujuus N/mm ²
1	75,83	669,3
2	74,98	632,1
3	73,03	675,3
4	73,44	662,2
5	68,38	595,9
KA	73,132	646,96

Kuviossa 31 ovat esillä viiden huoneenlämmössä olleen liuskan vetokokeen kuvaajat.



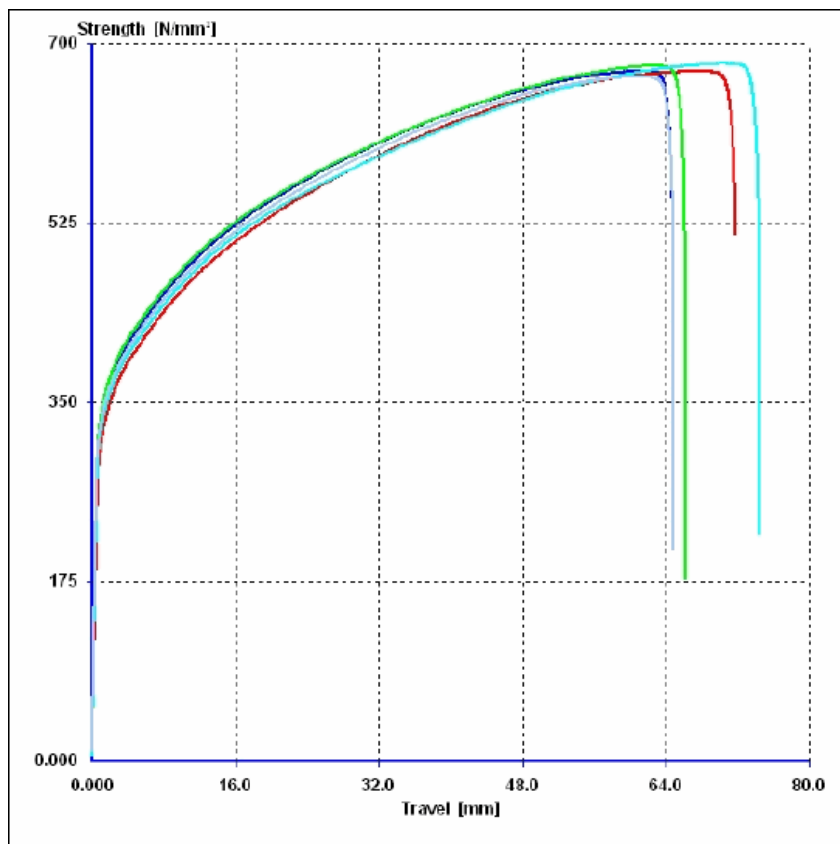
Kuvio 31. Vetokokeet huoneenlämmössä olleet liuskat.

Taulukossa 5 ovat kiukaan sisällä olleiden liuskojen murtovenymät ja murtolujuudet sekä niiden keskiarvot. Liuskojen keskimääräinen murtovenymä oli 68,9 mm ja murtolujuus 674,98 N/mm².

Taulukko 5. Kiukaan sisällä olleet liuskat.

Liuska n:o	Venymä mm	Murtolujuus N/mm ²
1	67,83	668,2
2	74,36	681
3	66,14	678,7
4	71,77	673,5
5	64,77	673,5
KA	68,974	674,98

Kuviossa 32 ovat kiukaan sisällä kaksi ja puoli kuukautta olleiden liuskojen vetokokeen kuvaajat.



Kuvio 32. Vetokokeet kiukaan sisällä olleet liuskat.

Laskemalla murtovenymän ja -lujuuden prosentuaalisen muutoksen huomaamme, että kiukaan sisällä olleiden liuskojen murtovenymä laskee 5,7 %. Vastaavasti liuskojen murtolujuus kasvaa 4,2 %.

TULOKSET

Taulukossa 3 ja kuvaajassa (kuvio 25) esiin tulleet ainevahvuuden erot pysyvät ainevahvuustoleranssin antaman mitta-alueen $\pm 0,15$ mm sisällä. (SFS-EN ISO 9445-2, 10)

FEM-laskennasta saatu tieto jännitysten nousemisesta kimmokerrointa suuremmiksi piti paikkansa, ja jännitykset aiheuttivat muodonmuutoksia kiukaan kylkiin ja takaseinään. Lommot, jotka jännitys aiheutti, ovat loivia ja eivätkä ole suurentuneet ultraäänimittausjakson aikana. Sivuseinät ovat pullistuneet ulospäin tynnyrimuotoon (kuvio 26 ja 27) ja takaseinä sisäänpäin (kuvio 28).

Ultraäänimittauksessa mahdollista hilseilyn aiheuttamaa ainehävikkiä ja materiaalin repeämiä ei ilmennyt. Terästä pidetään käyttökohteeseen sopivana, jos sen korroosionopeus on alle 0,1 mm vuodessa (Kyröläinen & Lukkari 2002, 41.).

Koeliuskojen mittauksessa tuli esiin, että kiukaan sisällä olleisiin liuskoihin lämpötilan vaihtelu ei tehnyt mitään muuta vauriota, kuin liuskojen värjäytymisen ruskehtaviksi (kuvio 31). Liuskojen pituus 236 mm, leveys 9 mm ja paksuus 2 mm olivat koejakson jälkeen samat kuin huoneenlämmössä olleiden vertailuliuskojen.

Tutkittaessa lämpötilan vaihtelujen vaikutusta austeniittisen ruostumattoman teräksen murtovenymään ja murtolujuuteen huomattiin, että kiukaan sisällä olleiden liuskojen murtovenymät olivat keskimäärin 5,7 % pienempiä ja että keskimääräinen murtolujuus oli noussut 4,2 % verrattuna huoneenlämmössä olleisiin liuskoihin. Tuloksista voidaan todeta, että pitkäaikainen lämpötilanvaihtelu nostaa austeniittisen ruostumattoman teräksen murtolujuutta ja laskee murtovenymää.

Vaurioanalyysissä huomattiin, että rakenneteräs materiaaliominaisuuksiensa takia ei kovin hyvin sovellu kiukaaseen, jota käytetään jokapäiväiseen saunomiseen. Kiuas rikkoutuu käyttökelvottomaksi jo puolestoista vuodessa. Lämpötilan noustessa riittävän kuumaksi materiaali hilseilee voimakkaasti, menettää

lujuusominaisuutensa ja levyrakenteet kuroutuvat voimakkaasti ja lopulta repeytyvät rikki.

Kun teräksestä valmistetun kiukaan takaseinään puhkesi reikä jo viiden kuukauden käytön jälkeen, niin kahden vuoden käytön jälkeen ruostumattoman teräskiukaan takaseinä on pysynyt ehjänä, lukuun ottamatta sisäänpäin muodostunutta lommoa. Jännitykset eivät ole rikkoneet kiukaan rakenteita, mikä osoittaa, että ruostumaton teräs AISI 304L (EN 1.4307) kestää hyvin lämpötilojen vaihtelua.

LOPUKSI

Tässä työssä tutkittiin eri vaihtoehtoja kiukaan käyttöiän pidentämiseksi suunnittelun ja materiaalivalinnan avulla. Työssä suunniteltiin kiuas, jossa otettiin huomioon vaurioanalyysin tulokset. Materiaalinvalinta tehtiin tutkimalla teräksen ja ruostumattoman teräksen mekaanisten ominaisuuksien käyttäytymistä korkeissa lämpötiloissa. Lopullinen valinta tehtiin vertailemalla eri ruostumattomien terästen ominaisuuksia. Valmista kiuasta testattiin käyttämällä sitä saunan lämmitykseen kaksi vuotta. Samana aikana kiuas tutkittiin ultraäänimittauksilla viisi kertaa.

Ultraäänimittauksen tulokset osoittavat, että austeniittinen ruostumaton teräs ei hilseile, vaan kestää hyvin toistuvia korkeita lämpötiloja ja jäähtymisiä.

Vetoliuskakokeessa huomattiin, että lämpötilan vaihtelu ei vaikuttanut liuskojen ulkoisiin mittoihin. Vetokokeessa saadut tulokset osoittavat, että lämpötilan vaihtelu vaikuttaa pienessä määrin austeniittiseen ruostumattomaan teräkseen nostamalla murtolujuutta ja laskien murtovenymää.

Materiaalina ruostumaton teräs on viisi kertaa kalliimpaa kuin teräs, mutta sillä on moninkertainen käyttöikä tavalliseen teräkseen nähden. Haastattelututkimuksen mukaan ruostumattoman teräksen korkeampi hinta on syynä siihen, ettei siitä valmisteta kiukaita teollisesti.

Austeniittinen ruostumaton teräs osoittautui kestäväksi ratkaisuksi kiukaan rakennusmateriaalina. Kokeilun jälkeen voidaan todeta, että austeniittinen ruostumaton teräs AISI 304L (EN 1.4307) soveltuu hyvin vaativan saunojan kiuasmateriaaliksi edellyttäen, että käytetään oikeita rakenneratkaisuja kiukaan valmistuksessa.

LÄHTEET

- Aarnio, M., Helamaa, E., Heikkilä, T., Hyytiäinen, H., Jaatinen, J., Karhapää, K., Koskinen, K., Laaksonen, P., Louhenkilpi, K., Tammiluoma, S., Vapaavuori, E., Visanti, I., Vuolle-Apiala, R., Vuori, I. & Äikäs, E. 2008. Saunan suunnittelu. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Helamaa, E. 1999. Kiuas saunan sydän. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Huhtinen, M. 2006. Raskaan polttoöljyn käyttöopas. Espoo. Neste Oil Oyj
- Koivisto, K., Laitinen, E., Niinimäki, M., Tiainen, T., Tiilikka, P., Tuomikoski, J. 2010. Konetekniikan materiaalioppi. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Kyröläinen, A. & Lukkari, J. 2002. Ruostumattomat teräkset ja niiden hitsaus. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
- Käsikirja – Ruostumattomien terästen käyttö kantavissa rakenteissa. 2006. [www-lähde]. Kolmas painos Euro Inoxin käsikirjasta: Design Manual for Structural Stainless Steel. Vantaa: VTT. [Viitattu 15.10.2012]. Saatavissa: http://www.euro-inox.org/pdf/build/dm/Recommend_FI.pdf
- Länsi-Pirkanmaan koulutuskuntayhtymä. Ei päiväystä. [www-lähde] Länsi-Pirkanmaan koulutuskuntayhtymä. [Viitattu 8.12.2012]. Saatavissa: <http://www.lpkky.fi>
- Oksanen, T., Kevarinmäki, A., Yli-Koski, R. & Kaitila, O. VTT. Espoo 2003. Ei päiväystä. Ruostumattomasta teräksestä valmistettujen puurakenteiden liitosten palokestävyys. [www-lähde]. [Viitattu 27.11.2012]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2005/W29.pdf>
- Paulaharju, S. [toim. Pekka Laaksonen]. 1982. Karjalainen sauna. Helsinki: Suomalaiskirjallisuuden seura.
- Sirelius, U. T. Suomen kansanomaista kulttuuria. 1921. Helsinki: Kansallistuote Oy.
- SFS-EN ISO 9445–2. 2010. Kylmävalssatut ruostumattomat teräkset, mitta- ja muotoleranssit. Osa 2: Leveät nauhat ja levyt. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto.
- SFS-EN 1993–1–2. 2003. Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1–2 rakenteen palomitoitus. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto.

Taulavuori, T., Kyröläinen, A. & Manninen T. Ruostumattomat teräkset. 2012.
Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy.

Tommila, P., Vuolle-Apiala, R. & Utriainen, M. 1985. Rakennan saunan. Helsinki:
Rakentajien kustannus Oy.

LIITTEET

Liite 1: Kiuasvalmistajien puhelinhaastattelut.

Liite 2: Pekka Tommilan puhelinhaastattelu.

Liite 3: Henkilökohtainen tiedonanto Kari Majanen 19.4.2012.

Liite 4: Lämpötilan vaikutus materiaaliin.

Liite 5: Materiaalitodistus

Liite 1. (2) Kiuasvalmistajien puhelinhaastattelut.

Harvia Oy Muurame sauna@harvia.fi 20.4.2012 klo 10.30 Tuotepäällikkö Arto Hakala: ”Kiukaiden runko-osia ei valmisteta rst:stä, ainoastaan ulkovaipoissa käytetään. Materiaalin kalliimpi hinta on rajoittanut niin, että ei ole edes kokeiltu valmistaa siitä kiukaita.”

Helo Oy Riihimäki info@helo.fi 20.4.2012 klo 10.35 Tuotekehityspäällikkö Harri Järveläinen: ”Ainoastaan kiukaiden ulkovaipoissa käytetään rst:tä. Tuote joka on kokonaan valmistettu siitä, tulisi liian kalliiksi.”

IKI-kiuas Oy Helsinki tuki@ikikiuas.com 9.3.2012 klo 11.45 Tekninen tuki Risto Holopainen: ”Valmistamme sähkökiukaita kokonaan rst:stä. Puulämmitteisissä kiukaissa vain ulkoverkkokehät ja kaulukset ovat sitä. Ei ole kokeiltu valmistaa siitä mutta luulin, että on kalliimpaa valmistaa kiuas rst:stä.”

Misa Oy Lemi misa@misa.fi 21.4.2012 klo 10.40 Toimitusjohtaja Sami Sinkko: ”Tällä hetkellä käytetään vain ulkokuorissa. Ruostumattomia kiukaita on kokeiltu valmistaa joskus -80 luvulla, mutta meidän kiuas rakenteessa se ei kestänyt. Kiukaisiin tuli repeämiä voimakkaiden muodon muutosten takia. Ei ole harkittukaan kokeilla uudelleen.”

Narvi Oy Lappi mikko.salo@narvi.fi 20.4.2012 klo 10.55 Tekninen asiakaspalvelu Mikko Salo: ”Kiukaiden kuorissa käytetään ruostumatontaterästä. Kokonaisia kiukaita ei siitä valmisteta, koska kiukaan hinta ei olisi kilpailukykyinen.”

Mondex Oy Kokkola info@mondex.fi 9.3.2012 Tekninentuki Kari Ruokojä: ”Käytetään sähkökiukaiden ja puulämmitteisten kiukaiden ulkovaipoissa. Runko-osat ovat tavallista terästä. Valmistus tulisi liian kalliiksi.”

Teuvan Keitintehdas Oy Teuva henri.penttila@teuvan.com 9.3.2012 klo 12.15 Toimitusjohtaja Henri Penttilä: ”On kokeiltu valmistaa asiakaan tilauksesta. Kiukaalla hyvät saunomisominaisuudet ja se on kestävä. Asiakkaan ideana oli kerta-/jatkuvalämmitteisen kiukaan yhdistäminen. Tulipesä ja kivitila ovat eristettyjä ja kivitila suljettu kannella. Rakenteella saavutetaan kosteat löylyt.

Kiukaita ei ole valmistettu kuin muutaman kappaleen sarja. Rst:n lujuus kärsii lämmöstä ja sen ominaisuudet aiheuttavat suuria muodon muutoksia.”

Tulikivi Oy Juuka tulikivi@tulikivi.fi 20.4.2012 klo 11.50 Tekninen päällikkö Markku Näsänen: ”Tulikivi ei käytä ruostumatonta terästä kiukaiden runko-osissa, sen kalliimman hinnan takia.”

Vuolux Oy Nivala vuolux@vuolux.fi 20.4.2012 klo 10.45 Toimitusjohtaja Juha Koski: ”Meillä ei valmisteta kiukaita kyseisestä materiaalista emmekä ole kokeilleetkaan valmistaa. Hinta nousisi tavalliseen kiukaaseen niin korkeaksi, ettei se olisi kilpailukykyinen.”

Liite 2. (1) Pekka Tommilan puhelinhaastattelu.

Suomen saunaseuran tutkimus ja kulttuuritoimikunnan puheenjohtaja Pekka Tommila 9.3.2012 klo. 11.20 "Saunankiukaita on valmistettu ruostumattomastateräksestä, pieniä eriä jo 60- luvulta saakka, viimeiset minun tietooni tulleet, jonkun yksityisen henkilön tekemät kiukaat ovat 80 - 90-lukujen taitteesta. Sen jälkeen en ole materiaalin käytöstä kiukaissa kuulut. Kiuasvalmistajat, jotka kokeilivat materiaalia moittivat siitä valmistetun kiukaan kalleutta ja sitä kautta kysynnän vähyyttä. Varjopuolena oli metallin taipumus ns. "pullistella" ja 3 – 4 käyttövuoden jälkeen repeillä. Mielestäni tänä päivänä kukaan kiuasvalmistaja ei käytä materiaalia muussa tarkoituksessa kuin kiukaiden vaipoissa. Itse käytän savusaunani kiukaassa ruostumattomia teräsputkia kiuaskivien alla ja olen erittäin tyytyväinen niiden keston siinä käytössä"

Liite 3. (1) Henkilökohtainen tiedonanto Kari Majanen 19.4.2012.

TM-Rauta Oy teräsmyyjä Kari Majanen: "Kaikki hinnat ovat kilohintoja, ilman arvonlisäveroa. Hinnat muuttuvat nopeasti ja suunta on harvoin alaspäin. Ruostumaton teräs Aisi 304L (EN 1.4307) maksaa uutena levynä 4,20 ja palalevynä eli asiakkailta ostettuna kierrätyslevynä 2,60 kumpiakin vaihtoehtoja löytyy varastosta. Kiukaan valmistukseen sopisi parhaiten tulenkestävä rosteri Aisi 309 (EN 1.4828). Levyä saa vain tilauksesta ja hintakin pomppaa 6,50. Rakenneteräs S355 maksaa uutena levynä 0,86 ja palana 0,50."

Liite 4. (1) Lämpötilan vaikutus materiaaliin.

Taulukko 1. Lämpötilan vaikutus lämmönjohtavuuteen.

Lämpötila	Lämmönjohtavuus	
	RST	FE
°C		
20	14,9	53,3
100	15,9	50,7
200	17,1	47,3
300	18,4	44,0
400	19,7	40,7
500	21,0	37,4
600	22,2	34,0
700	23,5	30,7
800	24,8	27,3
900	26,0	27,3
1000	27,3	27,3
1100	28,6	27,3
1200	29,8	27,3

Taulukko 2. Lämpötilan vaikutus kimmokertoimeen ja myötörajaan.

Lämpötila	Kimmo		Myötö	
	RST	FE	RST	FE
°C				
20	1,00	1,0000	1,00	1,000
100	0,96	1,0000	0,82	1,000
200	0,92	0,9000	0,68	1,000
300	0,88	0,8000	0,64	1,000
400	0,84	0,7000	0,60	1,000
500	0,80	0,6000	0,54	0,790
600	0,76	0,3100	0,49	0,470
700	0,71	0,1300	0,40	0,230
800	0,63	0,0900	0,27	0,110
900	0,45	0,0675	0,14	0,060
1000	0,20	0,0450	0,06	0,040
1100	0,10	0,0225	0,03	0,020
1200	0,00	0,0000	0,00	0,000

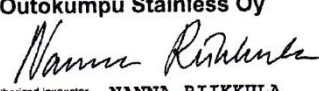
Liite 5. (1) Materiaalitodistus

OUTOKUMPU

820-8185897

INSPECTION CERTIFICATE 3.1
DIN EN 10204 3.1

Certificate No. 587294/001
Zeugnis Nr. N° du certificat 1 (01)
Date Datum Date 01.11.2011

Delivery address, Empfänger, Lieu de livraison OUTOKUMPU NORDIC AB		OUTOKUMPU NORDIC AB							
ABRAMSONS VÄG 2 635 10 ESKILSTUNA SVERIGE		PO BOX 1134 631 80 ESKILSTUNA SVERIGE							
Requirements, Anforderungen, Exigences AD 2000 W2, W10 & EN 10028-7 ASTM A240/A240M-11 ASME 2010 SEC. II PART A SA-240 AD 2000 W2, W10 & EN 10028-7		Our Order No. Unser Auftrag Nr. Notre commande n° 0300160360	Your order, Ihre Bestellung, Votre commande N14116 / ÅKE						
Product, Erzeugnisform, Produit COIL, STAINLESS STEEL		Mark of Manufacturer Zeichen des Lieferwerkes Signe de producteur OUTOKUMPU	Process Erschmelzungsart Mode de fusion AOD						
Grade, Werkstoff, Nuance 1.4301 TYPE 304 1.4307		Tolerances Toleranzen, Tolérances EN ISO 9445-2							
Marking, Kennzeichnung, Marquage 1.4301 2B		Marks, Versandzeichen, Marques							
Line Reihe Ligne	Item Position Poste	Charge-test No. Schmelz- / Probe Nr. Coulée n°	Size, Abmessungen, Dimensions						
			Quantity Stückzahl Nombre						
			Weight, Gewicht, Poids						
			Finish Ausführung Fini EN/ASTM						
1	2	11314 7	2,0 X 1250 MM						
2	2	11318 3	2,0 X 1250 MM						
3	3	11266 4	2,0 X 1500 MM						
			21020 KG 2B						
			10790 KG 2B						
			23700 KG 2B						
Charge no. Schmelz- / Probe Nr. Coulée n°		Chemical composition, Chemische Zusammensetzung, Composition chimiques							
		C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	N %
11314	0,019	0,37	1,76	0,031	<.001	18,2	8,1	0,052	
11318	0,026	0,46	1,81	0,034	<.001	18,3	8,1	0,048	
11266	0,020	0,39	1,78	0,032	0,001	18,2	8,1	0,051	
Line Reihe Ligne	Mechanical properties, Mechanische Eigenschaften, Caractéristiques mécaniques								
	Location Ort Lieu	Rp0.2 MPa	Rp1.0 MPa	Rm MPa	%	A50 %	A80 %	Hardness Härte, Dureté HB30	
1	E	298	336	614		54	53	172	APPROVED ACC. TO AD2000-W0 WITH VERIFICATION OF THE UNIFORMITY OVER THE STRIP LENGTH. CERTIFIED ACC TO PED 97/23/EC BY CERTIFICATION BODY FOR PRESSURE EQUIPMENT OF THE TUV NORD SYSTEMS REG.-NO. 0045
2	E	299	339	617		54	53	171	
3	E	281	319	604		55	54	168	
Identity test, Verwechslungsprüfung, Contrôle d'identification Size, Abmessungen, Dimensions Surface, Oberfläche, Surface Test of intergran. corros. Prüfung auf interkrit. Korros. Test de corros. intercrit.		EN ISO 3651-2 A: OK						OK OK OK	A = Beginning / Anfang / Début E = End / Ende / Fin
ASTM A240/A240M-11 ASME 2010 SEC. II PART A SA-240 TYPE 304L EN 10088-2/1.4307, 1.4301 ASTM A240/UNS S30400 S30403		We certify that the above mentioned products comply with the terms of the order contract. Wir bestätigen, dass die Lieferung den Vereinbarungen der Bestellanahme entspricht. Nous certifions que les produits énumérés ci-dessus sont conformes aux prescriptions de la commande.							
		This test certificate is made by controlled ADP-system and is valid without signature. Dieses Zeugnis wurde von einem überprüften Datenverarbeitungssystem erstellt und ist ohne Unterschrift gültig. Ce certificat a été établi par un système informatique contrôlé et est valide sans signature.							
		<p align="center">Outokumpu Stainless Oy</p>  Authorized inspector Werkstoffverständiger Inspecteur autorisé NANNA RIIKKULA							
		FIN-95490 Tornio, Finland Tel. +358 16 4521. Fax +358 16 452 350. www.outokumpu.com Domicile: Tornio, Finland. Business Identity Code 0823315-9							