

Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka.
Tutkimusraportti 156

Tampere University of Technology. Department of Civil Engineering. Structural Engineering.
Research Report 156

Hilkka Ronni & Markku Heinisuo

**Test Report, End Plate Joints of Steel Tubes, Biaxial Bending
in Fire**



Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka.
Tutkimusraportti 156
Tampere University of Technology. Department of Civil Engineering. Structural
Engineering. Research Report 156

Hilkka Ronni & Markku Heinisuo

Test Report, End Plate Joints of Steel Tubes, Biaxial Bending in Fire

ISBN 978-952-15-2768-5 (printed)
ISBN 978-952-15-2769-2 (PDF)
ISSN 1797-9161

Test Report, End Plate Joints of Steel Tubes, Biaxial Bending in Fire

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	2
2.	KOEJÄRJESTELYT JA VÄLINEISTÖ	3
2.1	Koekappaleet ja materiaalit	3
3.	KUORMITUS	6
3.1	Mekaaninen kuormitus	6
3.2	Lämpökuormitus	6
4.	TESTAUSMENETELMÄT	8
4.1	Ruuvien vetokoe	8
4.2	Siirtymien mittaus	9
4.3	Lämpötilan mittaus	10
5.	KOETULOKSET	11
5.1	Yleistä materiaalimalleista	11
5.2	Ruuvit	12
5.3	TE1*	13
5.4	TE3*	23
6.	LÄHDELUETTELO	34

LIITE 1: Laboratoriomestari Arto Jalosen ottamat valokuvat kokeesta TE1*

LIITE 2: Videolta poimitut kuvat kokeesta TE3*

Palotutkimuksen rahoitti Seinäjoen Seudun Elinkeinokeskus.

1. Johdanto

Putkien laipallisia ruuviliitoksia käytetään yleisesti peruspulttiliitoksissa, pilari-palkki-liitoksissa ja jatkoksissa. Putken päähän on konepajalla hitsattu laippa eli liitoslevy, johon on valmiiksi porattu reiät ruuveja varten. Tällainen liitos on edullista esivalmistaa ja koota työmaalla. Yksittäisiä teräksisiä pilari -palkkiliitoksia on tehty useita momenttikiertymäsuhteen selvittämiseksi huoneenlämmössä. Suorakaideputken laipallisen jatkosliitoksen taivutusta vahvan akselin suhteen on koestettu ja analysoitu lähteissä [1] [2] [3] ja [4]. Huolimatta käyttölämpötilassa tehtyjen kokeiden tärkeydestä, ne eivät kerro liitosten käyttäytymisestä tulipalossa. Liitosten palokokeita ovat rajoittaneet niiden korkeat kustannukset ja uunin koko.

Tampereen teknillisen yliopiston palolaboratoriossa tehtyjen kokeiden tavoitteena oli selvittää neljäruuvisen laippaliitoksen palonkestoa, kun liitosta rasittaa vino momentti. Tämä tutkimus liittyy laajempaan kokonaisuuteen, joka selvittää putkirakenteisia laippaliitoksia kaksiakselisessa taivutuksessa. Lähteessä [5] käsitellään vastaavia kokeita TE1 ja TE3 huoneenlämmössä. Ainoa ero koekappaleiden nimellismittojen välillä huoneenlämpökokeissa (TE1, TE3) ja tämän tutkimuksen korkeassa lämpötilassa tehdyissä kokeissa TE1* ja TE3* oli putken seinämävahvuus.

Testiohjelma sisälsi kaksi koetta. Koekappaleiden liitoslevyjen paksuus oli erilainen testeissä TE1* ja TE3*. Koekappaleet tuettiin keskeltä uunin kattoon. Testattavat koekappaleet kuormitettiin molemmista päistään nostoketjulla. Ketjut eivät rajoita koekappaleen päiden vaakasuuntaista liikettä. Liitos on ainoastaan taivutettu kuten oli myös huoneenlämpökokeissa. Koekappaleiden päitä nostettiin ketjujen avulla hydraulisella tunkeilla. Tunkit oli kiinnitetty tukikehikkoon uunin ulkopuolelle. Kuormitustaso pidettiin vakiona ja uunin lämpötilaa nostettiin murtumiseen asti. Kuormitus ensimmäisessä kokeessa oli 20 kN molemmissa päissä ja toisessa kokeessa 30 kN molemmissa päissä. Kuormituskohtien välimatka oli 1040 millimetriä. Tuki oli kuormituskohtien puolivälissä.

Tunkin painumaa seurattiin siirtymäanturien avulla tietokoneavusteisesti. Koekappaleiden siirtymää mitattiin myös manuaalisesti kahdella uunin ulkopuolelle sijoitetulla takymetrillä. Laitteilla saatiin tarkkailupisteiden kaikki kolme koordinaattia. Ensimmäisessä kokeessa takymetrien suojana oli lasivevy, joka poistettiin toisessa kokeessa. Uunin lämpötila mitattiin levylämpömittarien avulla. Uunin keskimääräinen lämpötila noudatti ISO 834 standardin mukaista lämpötilakäyrää. Uunin ja koekappaleisiin kiinnitettyjen termoelementtien lämpötilat ja uunin paine tallennettiin 15 sekunnin välein.

Kokeista otettiin kuvia digikameralla ja kokeet videoitiin. Lisäksi kolmelle ruuville tehtiin erillinen vetokoe, jonka tuloksena saatiin niiden maksimivetokestävyys huoneenlämmössä. Koekappaleiden valmistajat toimittivat materiaalitodistukset putkista ja levyistä.

2. Koejärjestelyt ja välineistö

2.1 Koekappaleet ja materiaalit

Koekuormitusta varten valmistettiin kaksi koekappaletta. Koekappaleet TE1* ($t_{ep}=10$ mm) ja TE3* ($t_{ep}=20$ mm) erosivat toisistaan vain liitoslevyn paksuuden t_{ep} osalta. Valmiiksi hitsatut teräsosat toimitti Rautaruukki Oyj ja ne koottiin TTY:n palolaboratoriossa. Palokokeet suoritettiin 2. ja 8. marraskuuta 2010. Seinäjoen ammattikorkeakoulun laboratoriossa tehtiin vastaavanlaiset kokeet huonelämpötilassa.

Putket

Kaikki suorakaideputket olivat kylmämuovattuja CFRHS 250x150x12.5 rakenneputkia materiaaliltaan S355J2H (EN 10219-2:2006). Putket toimitti Oy Kontino AB. Valmistajan antama myötöraja R_{eH} on 514 N/mm^2 ja murtoraja R_m on 545 N/mm^2 .

Liitoslevyt, nostolevyt, ruuvit ja mutterit

Putkien päihin oli valmistajan toimesta hitsattu 8 millimetrin puoli v-hitsillä 390x290 liitoslevyt materiaaliltaan S355K2+N (EN 10025-2:2004). Liitoslevyissä oli ruuveja varten valmiiksi poratut reiät, joiden halkaisija oli 22 millimetriä (SFS 3898). Liitoslevyn koekappaleeseen TE1* toimitti ArcelorMittal ja koekappaleeseen TE3* Spartan UK. Jokaisen liitoslevyn paksuus tarkistusmitattiin neljästä kohtaa. Liitoslevyjen materiaaliominaisuudet esitetään taulukossa 2.1.

Taulukko 2.1. Liitoslevyjen materiaaliominaisuudet

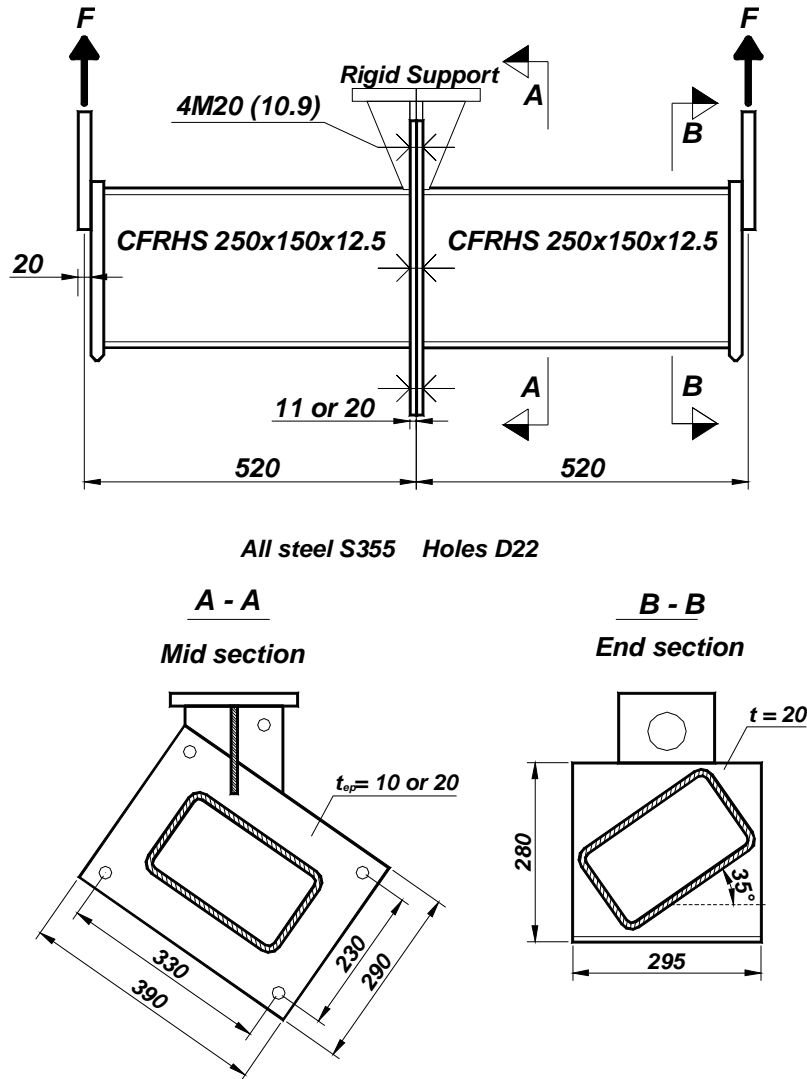
Specimen	t_{ep} (nominal) [mm]	t_{ep} (measured average) [mm]	R_{eH} [N/mm ²]	R_m [N/mm ²]
TE 1*	10	11.0	429	582
TE 3*	20	20.3	380	564

Muut koekappaleiden mitat olivat hyvin tarkasti nimellismittoja. Putkien päihin hitsatut, koekappaleen keskiosassa sijaitsevat liitoslevyt kiinnitettiin toisiinsa neljällä pinnoittamattomalla, täysikierteisellä M20x70 lujuusluokaltaan 10.9 kuusioruuvilla (SFS EN ISO 4017). Liitoksissa käytettiin lujuusluokaltaan ruuveja vastaavia pinnoittamattomia kuusimuttereita (DIN 934/10), joiden korkeus 16 mm, avainväli 30 mm sekä 3 mm vahvoja pyöreitä sinkittyjä aluslaattoja (DIN125), joiden halkaisija oli 36 millimetriä ja reikä oli 22 millimetriä. Ruuveihin asetettiin 400 Nm esikivistysmomentti kiristämällä muttereita kalibroidulla momenttiavaimella (SFS-EN 1090-2 HL2 luokka).



Kuva 2.1. Pultti, mutteri ja aluslevyt

Koekappaleen keskellä oleva taso kiinnitettiin jäykästi tukikehikkoon. Koekappaleen päihin oli kiinnitetty reiälliset 20 millimetriä paksut nostolevyt. Koekappaleiden periaatepiirros on esitetty kuvassa 2.2. Nostoväli 1040 millimetriä oli molemmissa kokeissa sama. Keskikohdan levynpaksuuden muutos kompensoitiin putken pituuden muutoksella. Muut osat olivat samat kokeissa TE1* ja TE3*. Koekappaleen muut mitat on esitetty raportissa [5].



Kuva 2.2. Koekappaleen periaatepiirros

Hitsit

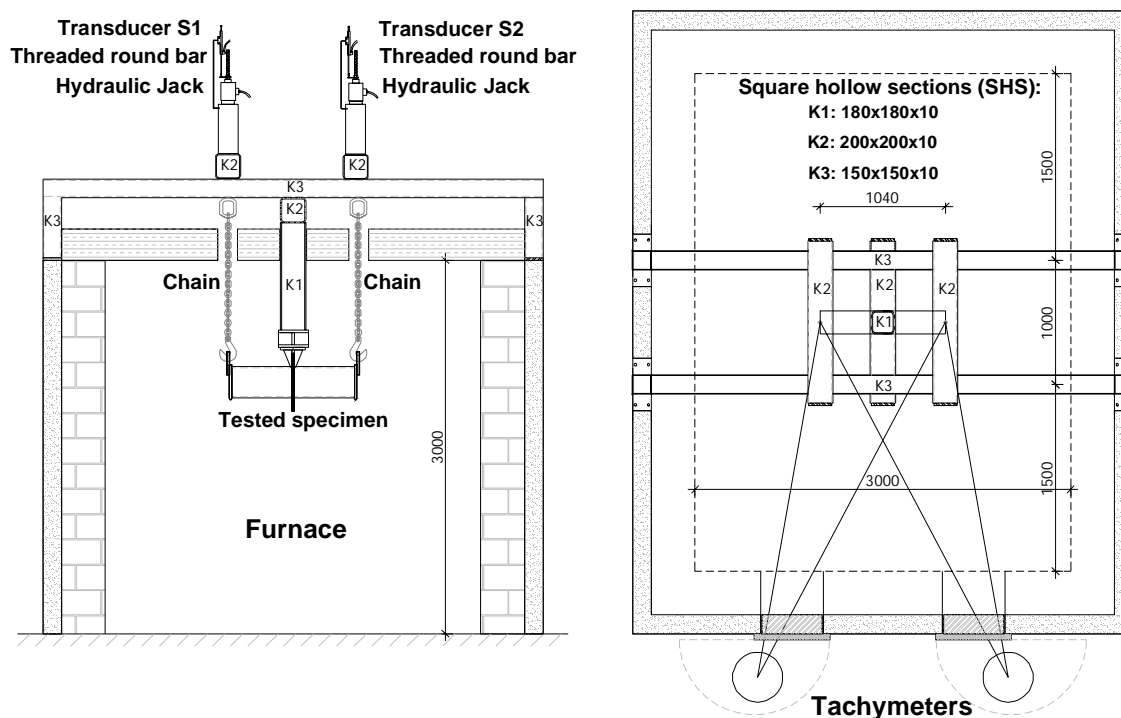
Liitoslevy oli hitsattu putkeen käyttäen ESAB:n mangaanipiiseosteista umpilankaa OK AristoRod™ 12.50 mallia 1.0 mm 18 kg, jonka kemiallinen koostumus on esitetty taulukossa 2.2. Puhtaan hitsiaineen tyypillinen (suojakaasu 80Ar + 20CO₂) myötöraja on 470 N/mm² ja murtolujuus 560 N/mm².

Taulukko 2.2. Hitsauslangan kemiallinen koostumus (paino%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	V	As	Ti+Zr
0.08	0.81	1.48	0.020	0.014	0.06	0.05	0.01	0.03	< 0.01	< 0.001	0.01

Kuormituskehikko ja uuni

Koejärjestely uunissa on esitetty kuvassa 2.3. Nostoketjujen raksit (koukku ja sakkeli) kiinnitettiin nostolevyissä oleviin reikiin. Testattavat koekappaleet kuormitettiin nostoketjujen avulla vetämällä niitä uunin päällä neliöputkesta rakennettua kuormituskehikkoa vasten. Nostoketjut eivät rajoita koekappaleen päiden vaakasuuntaista liikettä. Liitos on taivutettu kuten oli myös huoneenlämpötilakokeissa [5].



Kuva 2.3. Koejärjestelyn periaatepiirros

Kokeessa käytettiin laboratorion uunia, jonka sisämitat ovat leveys 3000, pituus 4000 ja korkeus 3000 millimetriä. Uunin seinämät on rakennettu tulenkestävästä tiilestä (B&W K-26 insulating fire bricks, tiheys 770 kg/m^2) ja katto Siporex-laatasta. Uunissa on 12 kaasupoltinta, joiden kunkin maksimiteho on 250 kW. Polttoaineena käytetään propaanikaasua. Uunin yhteen seinään oli rakennettu kaksi luukkuja, joiden vapaan aukon korkeus oli 330 ja leveys 550 millimetriä. Luukut aukaistiin mittauksen ajaksi ja siirtymät mitattiin takymetrillä molemmista luukuista samanaikaisesti.

Kuorman nostamiseen käytettiin 13 millimetriä vahvoja leimattuja nostoketjuja, nostosakkelia ja koukkuja. Ketjun toisessa päässä oli M24 kierteinen nostosilmukka. Nostoketjut suojattiin ensin Parocin Hvac Mat AluCoat 30 millimetrin verkkovahvistetulla alumiinilaminaattipäällysteisellä kivivillamatolla. Lisäksi Nostoketjut ja keskituki suojattiin keraamisella 13 millimetrin eristyshuopakerroksella ($1260 \text{ Ceramic Fiber Blanket}$, tiheys 128 kg/m^3) kuvan 2.4 mukaan.



Kuva 2.4. Palovillalla suojatut nostoketjut ja keskituki sekä nostoketju

3. Kuormitus

3.1 Mekaaninen kuormitus

Koekappaleta nostettiin molemmista päistä vakiokuormituksella. Ensimmäisessä kokeessa kuormitus oli 20 kN molemmissa päissä ja toisessa kokeessa 30 kN molemmissa päissä. Reikäsylinterisen yksitoimisen hydraulitunkin maksimi nostovoima on 450 kN (single-acting cylinder hydraulic jack). Tunkit oli kiinnitetty tukikehikkoon uunin ulkopuolelle, kuten on näytetty kuvassa 3.1. Kuormitustaso pidettiin vakiona ja uunin lämpötilaa lisättiin murtumiseen asti.

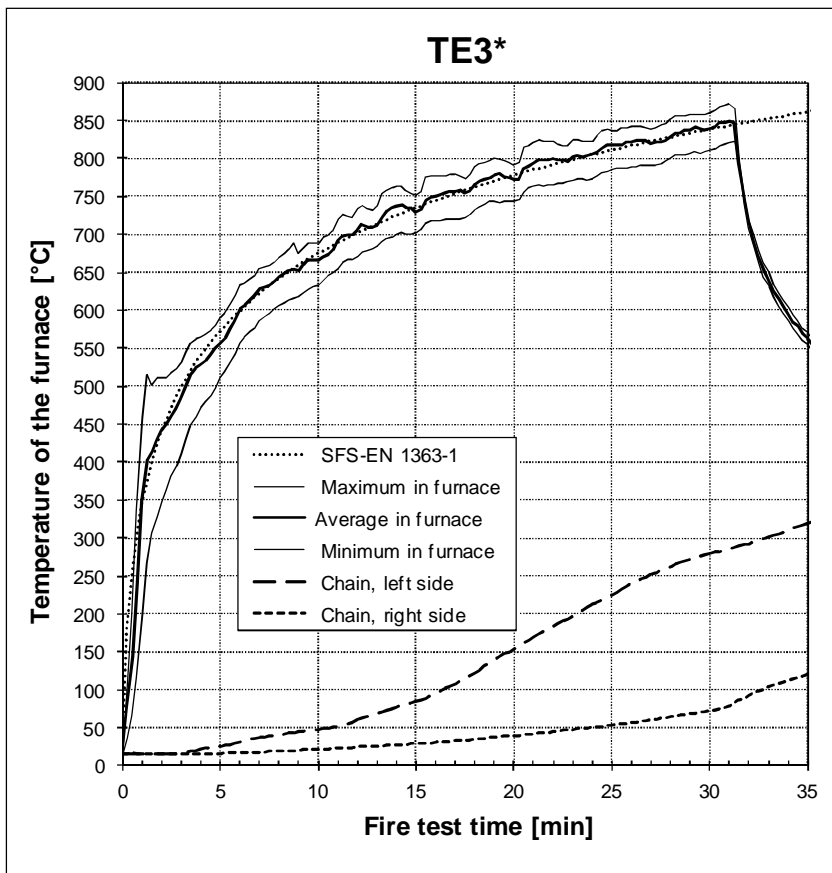
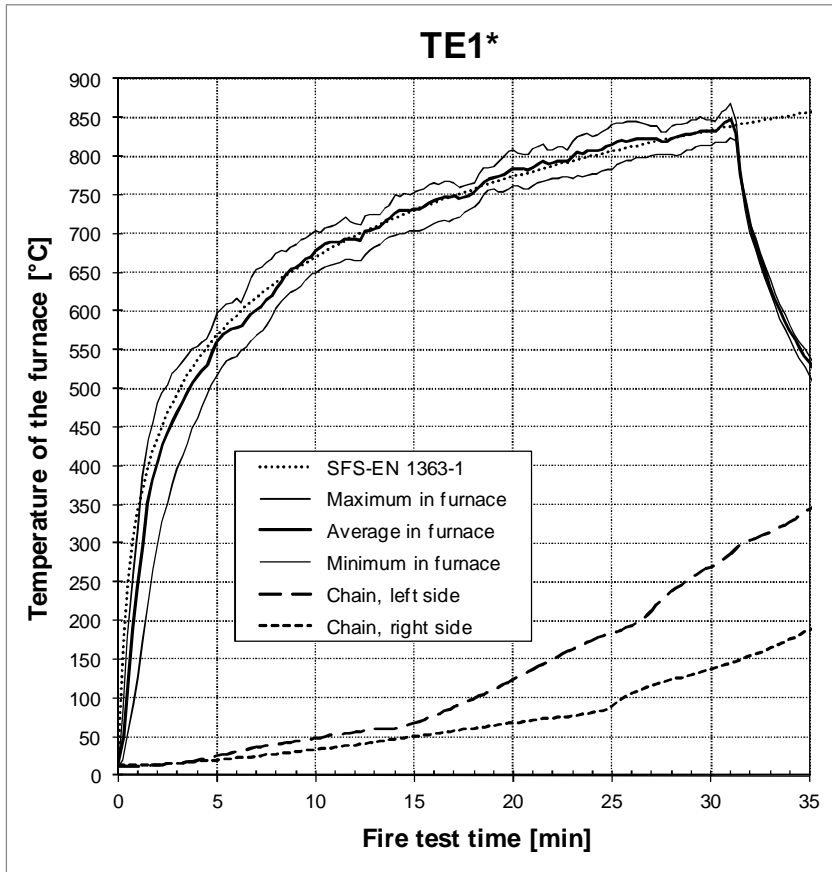


Kuva 3.1. Sähköhydraulinen aineenkoestuslaite

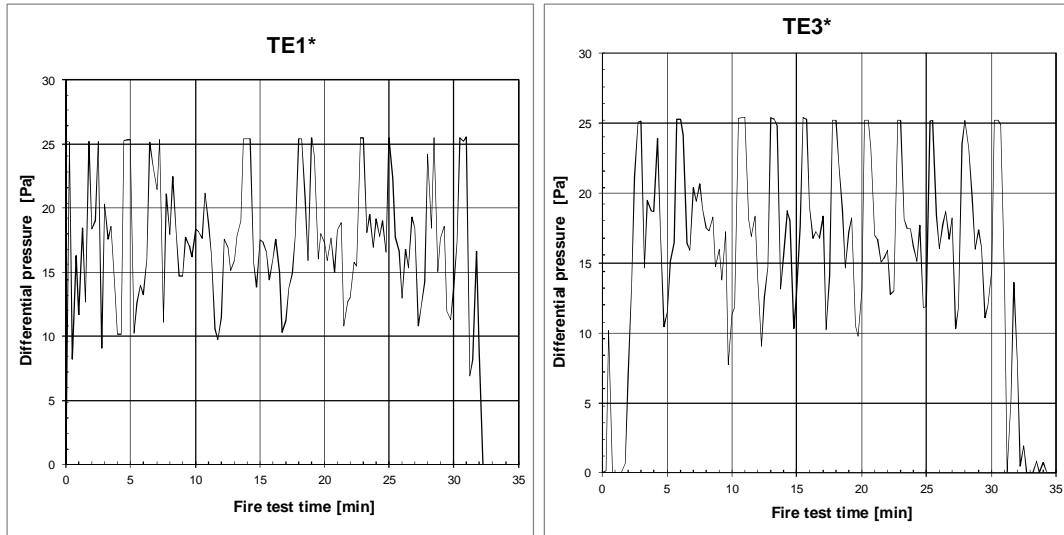
3.2 Lämpökuormitus

Uunin lämpötilan mittaamiseen käytettiin kuutta levylämpömittaria (termoelementtiä). Ne sijoitettiin vähintään 450 mm etäisyydelle uunin seinistä, lattiasta ja katosta. Lisäksi levylämpömittarit sijoitettiin 150 millimetrin etäisyydelle koekappaleesta ja pidettiin tällä etäisyydellä koko kokeen ajan. Täten saatiin mitattua keskimääräinen lämpötila koekappaleen läheisyydessä.

Uunin keskimääräinen lämpötila kokeissa noudatti ISO 834 standardin mukaista lämpötilakäyrää kuvan 3.2 tarkkuudella. Paine mitattiin uunin yläosan tasolla. Paineerot koehallin ja uunin välillä on esitetty kuvassa 3.3. Uunin lämpötila ja paine mitattiin ja tallennettiin 15 sekunnin välein. Kokeessa noudatettiin rakennusosien yleisiä palonkestävyyden testauksen vaatimuksia, jotka esitetään standardissa SFS-EN1363-1. Kuvassa 3.2 on esitetty myös ketjujen lämpötilat, jotka mitattiin K-tyypin halkaisijaltaan 0.5 millimetrin termolangalla.



Kuva 3.2. Uunin ja ketjujen lämpötiläkäyrät



Kuva 3.3. Paine-ero koehallin ja uunin välillä

4. Testausmenetelmät

4.1 Ruuvien vetokoe

Kolmelle ruuville tehtiin vetokokeet, joiden tulokset on taulukossa 4.1. Ruuveja vedettiin 1000 kN tunkilla, johon oli liitetty voima-anturi. Tunkin siirtymää ei pystytty mittaamaan.

Taulukko 4.1. Ruuvien M20 maksimivetokestävyys huonelämpötilassa

Specimen	F_t [kN]
1/3	278.0
2/3	276.4
3/3	278.7

Kokeet antoivat keskimääräiseksi ruuvien vetokestävyudeksi 277.7 kN, jota vastaa murtolujuus 1133 MPa, kun ruuvin jännityspinta-ala (pinta-ala kierteiden kohdalla) on 245 mm².



Kuva 4.1. Vedetyt kolme ruuvia

4.2 Siirtymien mittaus

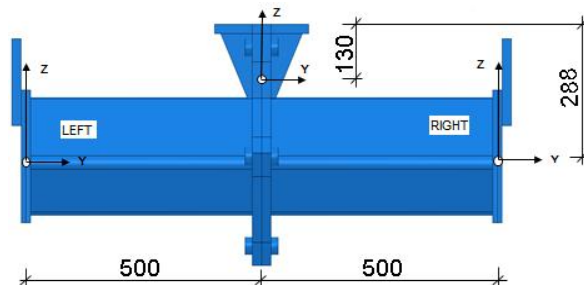
Koekappaleen pystysiirtymää mitattiin siirtymäantureilla, jotka oli kiinnitetty tunkkeihin. Koekappaleiden siirtymää mitattiin myös manuaalisesti kahdella uunin ulkopuolelle sijoitetulla takymetrillä, joilla saatiin mitattua tarkkailupisteiden kaikki kolme koordinaattia. Mittauslaitteet on esitetty kuvassa 4.2. Mittapistet oli merkitty keraamisilla helmillä, jotka oli upotettu niitä varten porattuihin reikiin. Mittaus aloitettiin, kun uuni oli saavuttanut noin 50 °C lämpötilan.



Kuva 4.2. Siirtymämittauslaitteet

TE1*

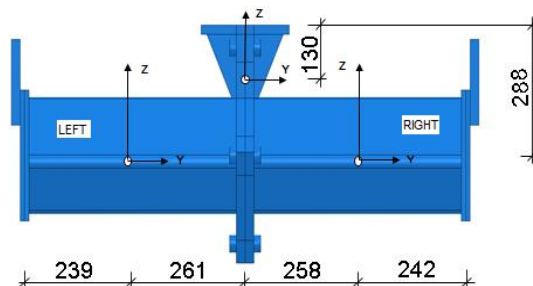
Mittoja otettiin takymetrillä mittapisteistä, jotka sijaitsivat koekappaleen molemmissa päissä sekä keskellä kuvan 4.3 mukaan. Ensimmäisessä kokeessa takymetriä suojana oli lasilevyt. Manuaalisesti saatiin mitattua vain muutamia pisteitä.



Kuva 4.3. Mittapisteiden paikat koekappaleessa TE1* (luukuista katsottuna).

TE3*

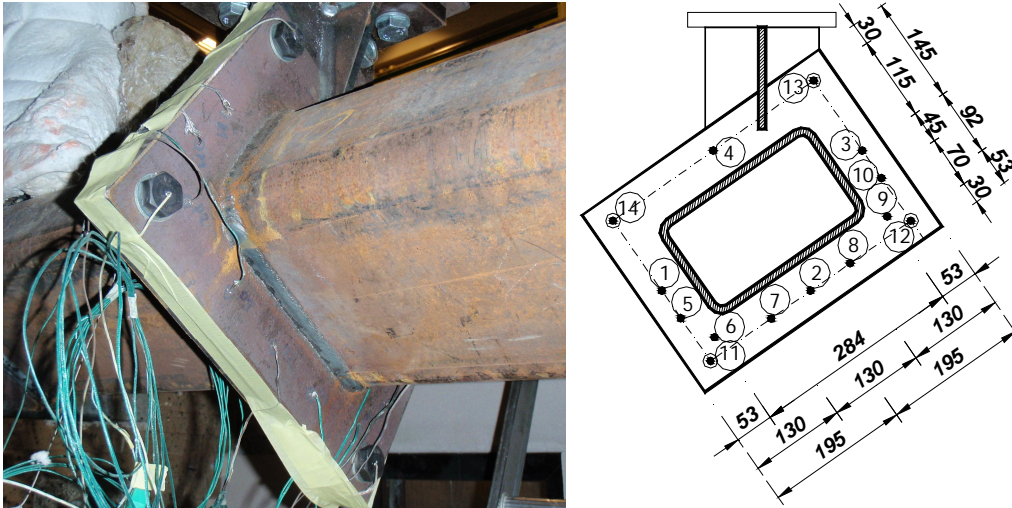
Mittoja otettiin takymetrillä mittapisteistä, jotka sijaitsivat putkien keskikohdilla sekä keskellä kuvan 4.4. mukaan.



Kuva 4.4. Mittapisteiden paikat koekappaleessa TE3* (luukuista katsottuna).

4.3 Lämpötilan mittaus

Liitoslevyn lämpötilaa mittattiin 14 termolangalla. K-tyyppin halkaisijaltaan 0.5 millimetrin termolangat sijoitettiin pintakiinnityksellä toisen liitoslevyn ulkopintaan. Ruuveihin langat upotettiin kahden millimetrin syvyyteen. Lämpötilat rekisteröitiin 15 sekunnin välein Termolankojen paikat on esitetty kuvassa 4.5.



Kuva 4.5. Termolankojen paikat

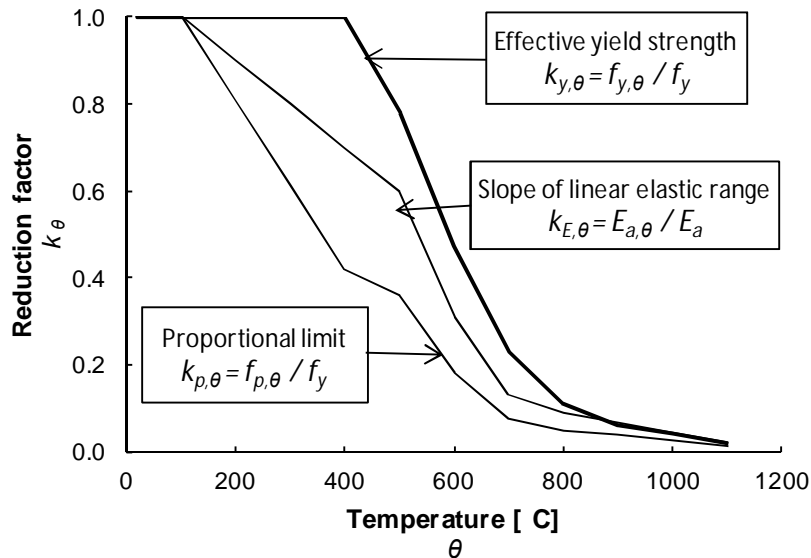


Kuva 4.6. Systemin ohjauskeskus

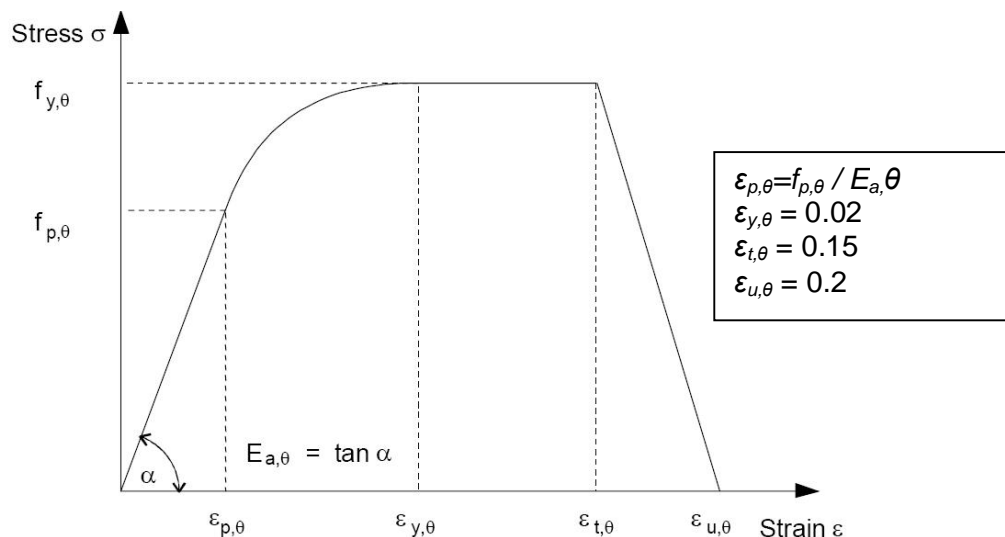
5. Koetulokset

5.1 Yleistä materiaalimalleista

Korkeissa lämpötiloissa teräksen lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet heikkenevät kuvan 5.1 mukaisesti [EN 1993-1-2]. Hiiliteräksen myötörajan heikkeneminen alkaa 400 °C:n lämpötilassa. Yli 400 °C kuumuudessa hiiliteräksessä tapahtuu myös viskoplastista ajasta riippuvaa jännityksen alaisena tapahtuvaa muodonmuutosta eli virumista. Viruminen on otettu välillisesti huomioon Eurokoodin materiaalimalleissa käyttäen perusmateriaalin testauksessa transienttia vetokoetta. [15]



Kuva 5.1. Pienennystekijät hiiliteräksen jännitys-venymäyhteydelle korkeissa lämpötiloissa



Kuva 5.2. Hiiliteräksen jännitys-venymäyhteys korkeissa lämpötiloissa

$\epsilon_{p,\theta}$ = suhteellisuusrajaa vastaava venymä; $\epsilon_{y,\theta}$ = myötövenymä;
 $\epsilon_{t,\theta}$ = myötörajaa vastaavan venymän yläraja; $\epsilon_{u,\theta}$ = murtovenymä

5.2 Ruuvit

Myötölujuutena käytetään 0.2%-rajaa, joka on 90% kohdan 4.1 mukaan saadusta vetomurtolujuudesta 1133 MPa.

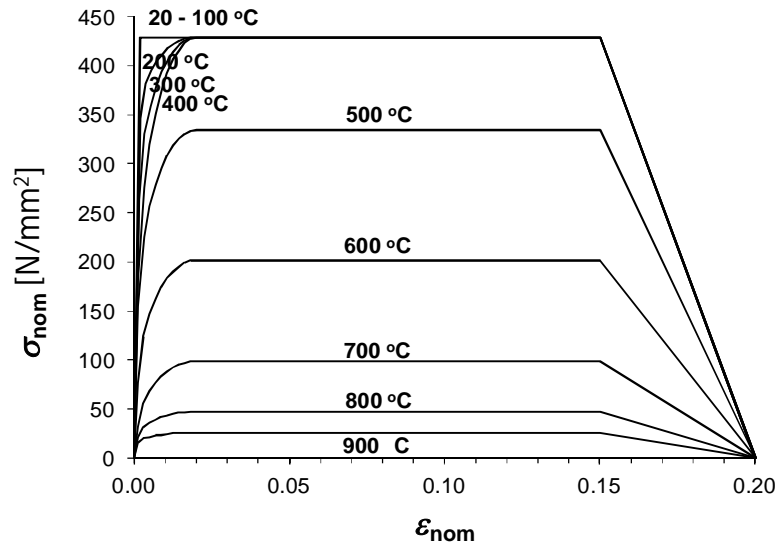
*Taulukko 5.1. Ruuvien suhteellisuus- ja myötörajan sekä kimmokertoimen pienentyminen lämpötilan vaikutuksesta kokeissa TE1**

θ_a °C	$k_{y,\theta}$	$f_{y,\theta}$ MPa= 10^6 N/m^2	$k_{E,\theta}$	$E_{a,\theta}$ GPa= 10^9 N/m^2
20	1.00	1020	1.00	210
100	0.968	987.4	1.00	210
200	0.935	953.7	0.90	189
300	0.903	921.1	0.80	168
400	0.775	790.5	0.70	147
500	0.550	561.0	0.60	126
600	0.220	224.4	0.31	65.1
700	0.10	102.0	0.13	27.3
800	0.067	68.3	0.09	18.9
900	0.033	33.7	0.0675	14.175

Taulukossa 5.1 esitetään kokeissa käytetyn ruuvin myötörajan pienentyminen lämpötilan vaikutuksesta EN 1993-1-2 mukaan.

5.3 TE1*

Kuvassa 5.3 esitetään liitoslevyn $t_{ep}=11$ jännitys-venymäyhteys EN 1993-1-2 mukaan sovitettuna huoneenlämmössä mitattuun levyn myötörajaan 429 MPa.



Kuva 5.3. Hiiliteräksen jännitys-venymäyhteys korkeissa lämpötiloissa.

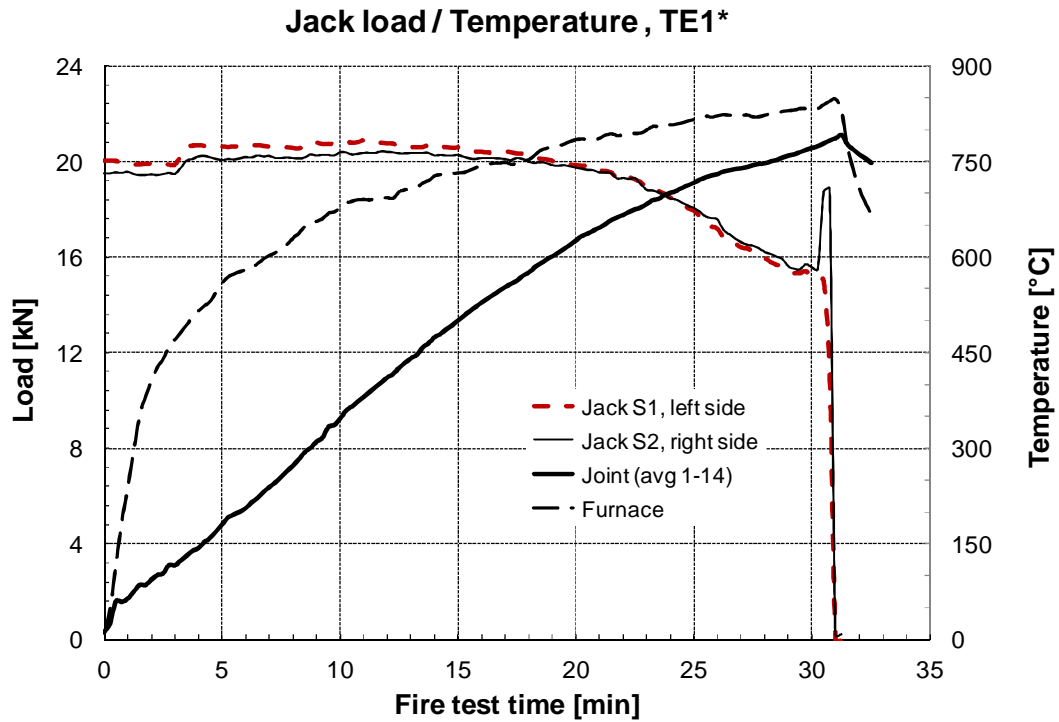
Taulukossa 5.2 esitetään liitoslevyn suhteellisuusrajan ($k_{p,\theta} = f_{p,\theta} / f_y$) myötörajan ($k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$) ja kimmokertoimen ($k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$) pienentyminen lämpötilan vaikutuksesta EN 1993-1-2 mukaan kokeen TE1* liitoslevylle.

Taulukko 5.2. Liitoslevyn suhteellisuus- ja myötörajan sekä kimmokertoimen pienentyminen lämpötilan vaikutuksesta kokeessa TE1*.

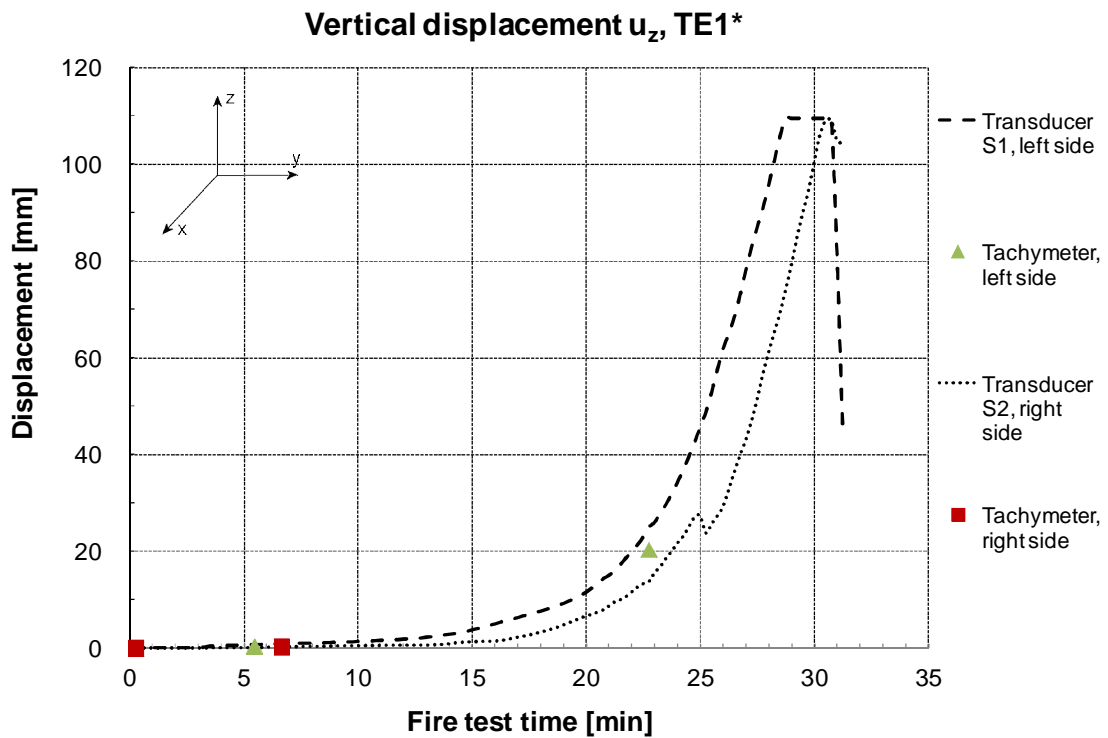
θ_a °C	$k_{p,\theta}$	$f_{p,\theta}$ MPa= 10^6 N/m ²	$k_{y,\theta}$	$f_{y,\theta}$ MPa= 10^6 N/m ²	$k_{E,\theta}$	$E_{a,\theta}$ GPa= 10^9 N/m ²
20	1.00	429.0	1.00	429.0	1.00	210
100	1.00	429.0	1.00	429.0	1.00	210
200	0.807	346.2	1.00	429.0	0.90	189
300	0.613	262.98	1.00	429.0	0.80	168
400	0.42	180.18	1.00	429.0	0.70	147
500	0.36	154.44	0.78	334.62	0.60	126
600	0.18	77.22	0.47	201.63	0.31	65.1
700	0.075	32.18	0.23	98.67	0.13	27.3
800	0.05	21.45	0.11	47.19	0.09	18.9
900	0.0375	16.09	0.06	25.74	0.0675	14.175

HUOM. Väliarvot lämpötilan suhteen saadaan lineaarista interpolointia käyttäen.

Koekappaletta TE1* nostettiin molemmista päistä 20 kN voimalla. Kokeen kestäessä yli 20 minuuttia teräksen jäykkyys pieni ja tunkit eivät kyenneet pitämään kuormaa vakiona. Kuvassa 5.4 on esitetty kuormituksen pienentyminen ja lämpötila kokeen aikana. Liitos ei kestänyt enää täyttä kuormitusta ja pystysiirtymät alkoivat kasvaa kuvan 5.5 mukaisesti.

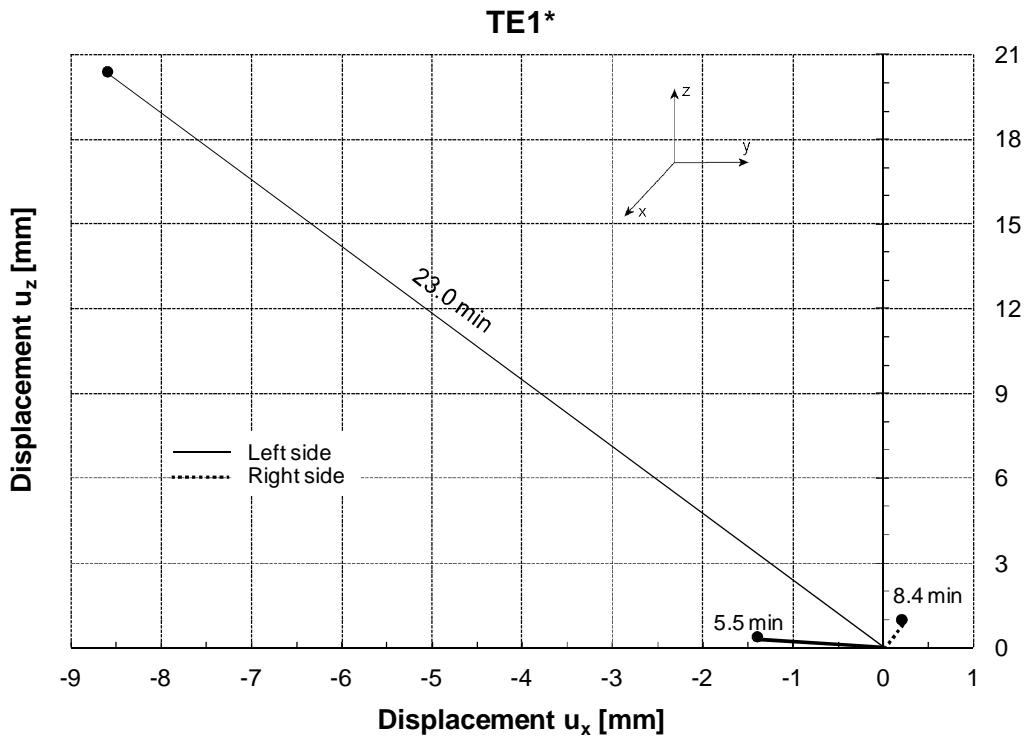


Kuva 5.4. Koekappaleen TE1* kuormitus ja lämpötila kokeen aikana.

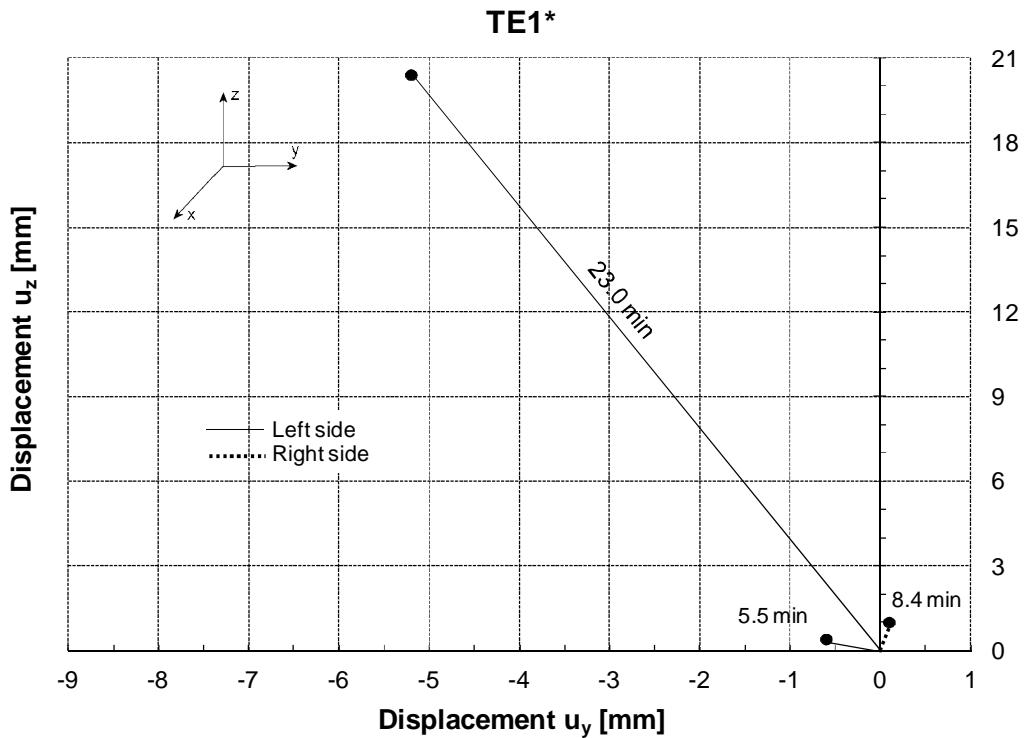


Kuva 5.5. Koekappaleen TE1* pystysuorat siirtymät kokeen aikana.

Pystysiirtymät mitattiin kahdella tunkkeihin kiinnitetyillä siirtymäantureilla S1 ja S2 sekä manuaalisesti kahdella takymetrillä. Tulokset on kuvassa 5.5. Koekappaleen TE1* takymetrimittauksella saadut tulokset on esitetty myös kuvissa 5.6 - 5.7.



Kuva 5.6. Koekappaleen TE1* siirtymät u_z ja u_x kokeen aikana.



Kuva 5.6. Koekappaleen TE1* siirtymät u_z ja u_y kokeen aikana.

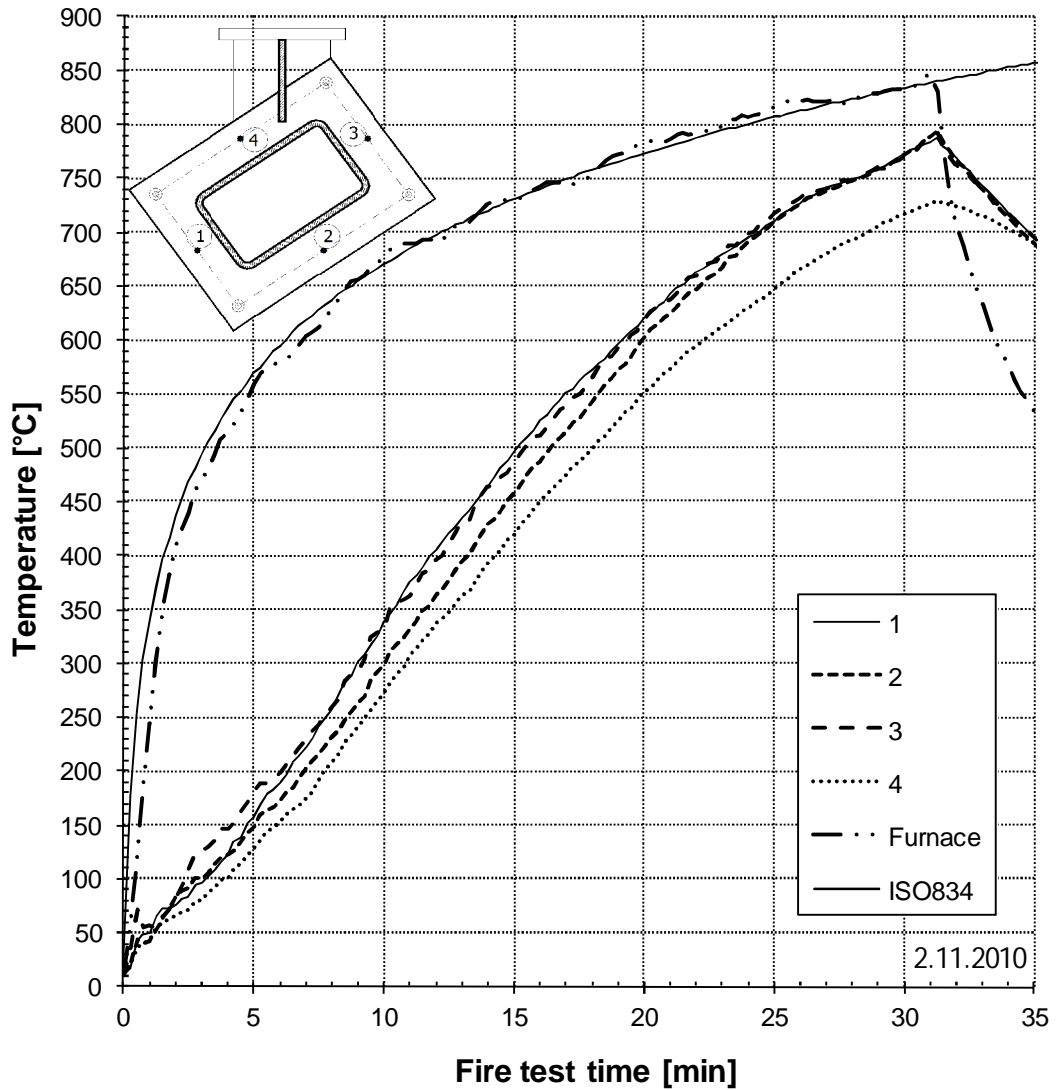
Kappaleen murtumislämpötila saavutettiin ajassa 31 minuuttia 15 sekuntia, jolloin koeuunin lämpötila oli 830.8 °C. Lämpötila jakautui epätasaisesti liitoslevyn eri 14 mittauspisteissä. Ruuvien kohdilla lämpötila nousi nopeimmin. Vähiten lämpeni termoelementti numero 4. Ero suurimman ja pienimmän lämpötilan välillä koekappaleessa kokeen lopussa oli yli 90 °C. Koko liitoksen keskiarvolämpötila oli kokeen lopussa 791.8 °C. Taulukossa 5.3 on esitetty termoelementtien lämmön nousu viiden minutin välein. Liitoslevyn lämpötila nousi hetkellisesti kokeen alussa, kun kiinnitysteipit syttyivät palamaan.

Taulukko 5.3. Termoelementtien keskiarvolämpötilat koekappaleessa TE1.*

Thermocouple [number]	Temperature [°C]					
	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	31.25 min
1	156.6	338.4	495.0	620.1	710.4	788.1
2	149.3	298.8	457.8	601.3	708.7	793.9
3	182.0	331.0	486.7	618.4	716.0	791.7
4	127.9	273.0	420.5	551.1	646.9	729.8
5	153.9	345.5	509.8	638.4	731.7	799.9
6	162.2	344.3	505.9	631.4	722.2	796.5
7	196.2	347.6	489.8	623.1	719.3	779.7
8	175.4	326.5	484.5	620.0	721.2	803.7
9	191.5	352.5	511.0	642.9	733.3	810.9
10	166.6	329.8	495.3	629.2	726.4	812.5
11	233.0	430.0	570.1	676.5	748.9	811.4
12	210.2	393.4	558.3	678.7	753.5	826.7
13	197.6	323.6	454.5	568.7	658.3	731.7
14	229.7	425.9	576.1	678.5	740.2	796.4
Furnace	559.5	676.9	731.5	783.4	815.0	830.8

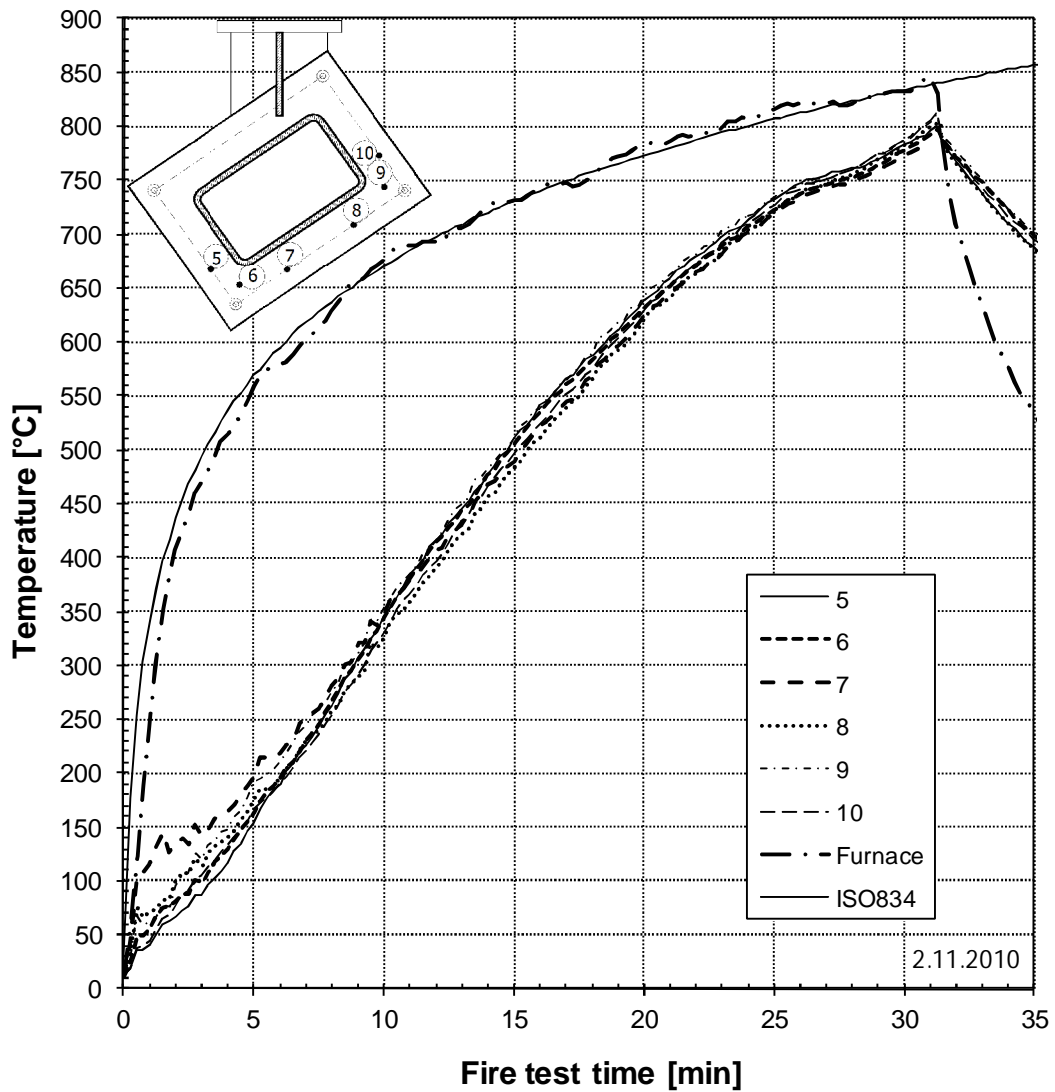
Taulukon 5.2 sisältö on esitetty käyrinä kuvissa 5.7-5.9.

**Thermocouples in the middle of the side, points 1-4
Thickness of the end plate was 11 mm**



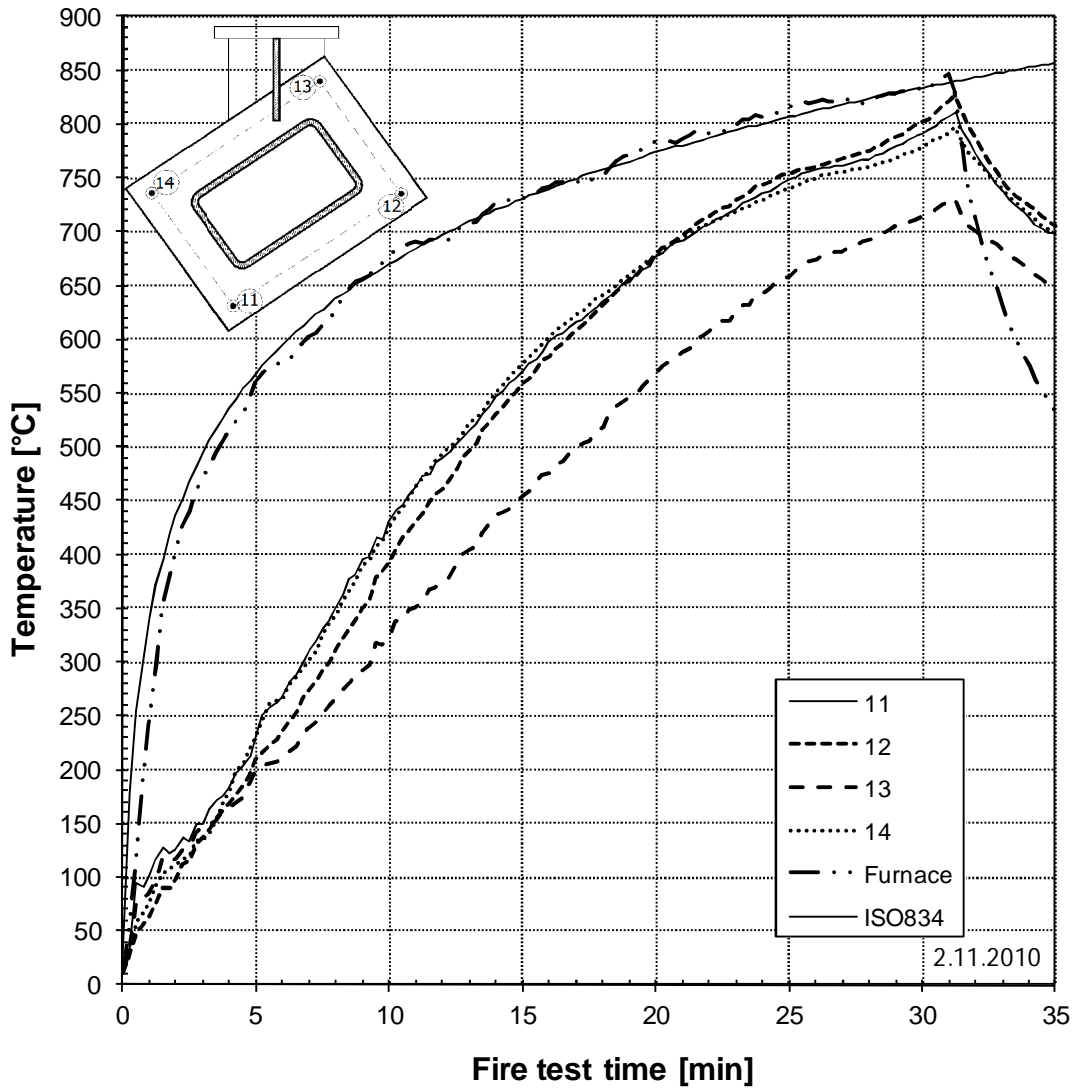
Kuva 5.7. Termoelementtien 1-4 lämpötilat koekappaleessa TE1.*

Thermocouples in the corners of the plate, points 5-10
Thickness of the end plate was 11 mm



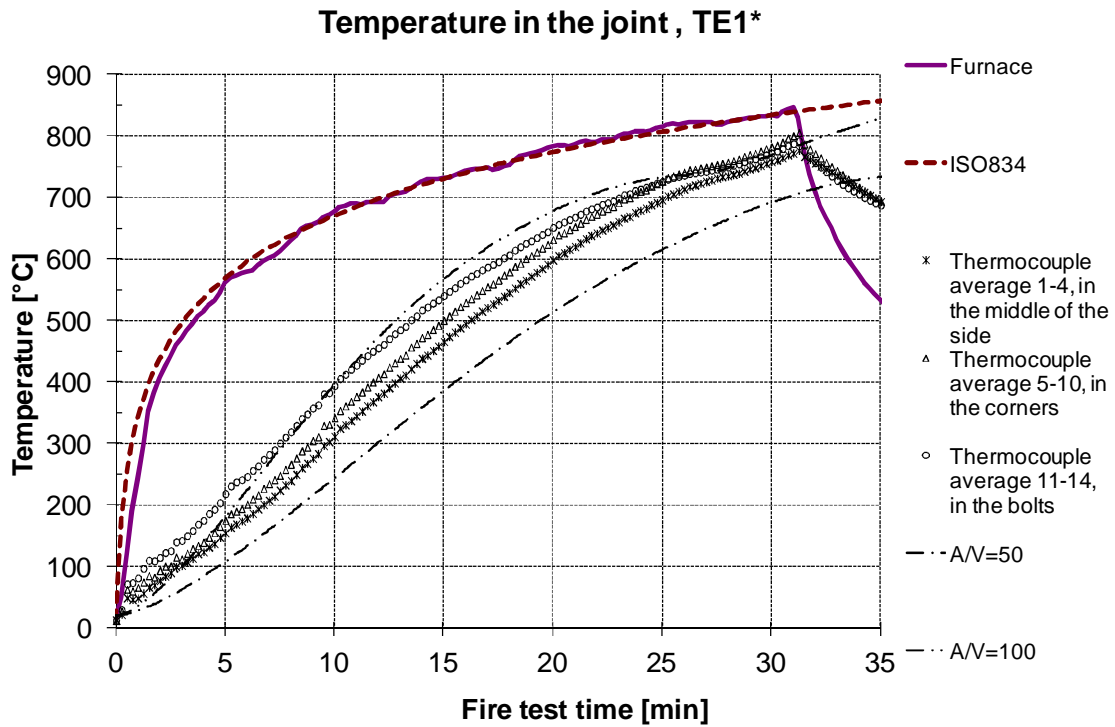
Kuva 5.8. Termoelementtien 5-10 lämpötilat koekappaleessa TE1.*

Thermocouples in the bolts, points 11-14
Thickness of the end plate was 11 mm

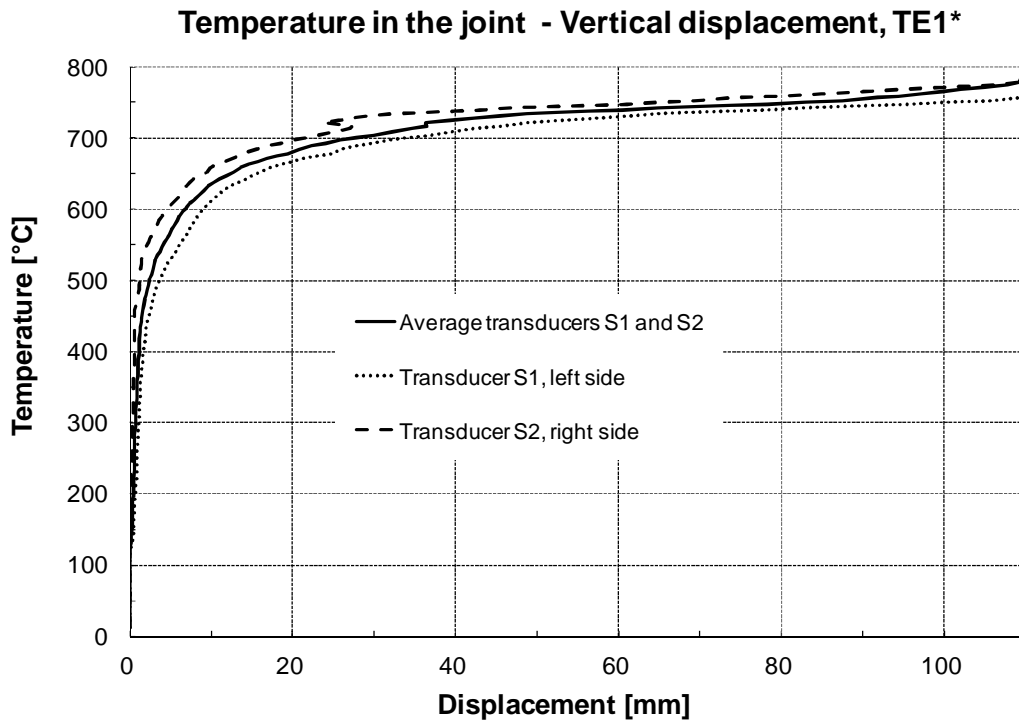


Kuva 5.9. Termoelementtien 11-14 lämpötilat koekappaleessa TE1.*

Kuvassa 5.10 on esitetty termoelementtien keskiarvolämpötilat ryhmiteltynä liitoslevyn keskelle, nurkkiin ja ruuveihin. Mitä korkeampi on suojaamattoman teräsprofiilin poikkileikkaustekijä (A_m/V = rakenteen palolle altis piiri / poikkileikkauksen pinta-ala) sitä nopeammin teräsprofiilin lämpötila nousee. Uunin lämpötila seuraa melko tarkasti ISO 834 lämpötiläkäyrää. Kuvassa 5.11 on 14 pisteen keskiarvo pystysiirtymän funktiona.



Kuva 5.10. Termoelementtien keskiarvolämpötilat koekappaleessa TE1*.



Kuva 5.11. Liitoksen lämpötilan ja tunkkien siirtymän riippuvuus koekappaleessa TE1*

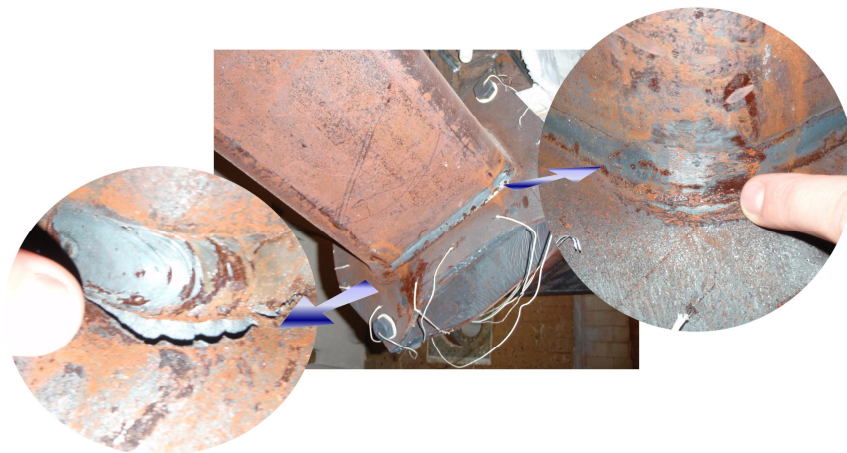
Koekappaleen murtumisen aiheutti liitoslevyn suuri muodonmuutos ja sitä seurannut hitsin muutosvyöhykkeen murtuma. Suurin rasitus kohdistui alimpaan pulttiin kuvien 5.12 – 5.13 mukaisesti.



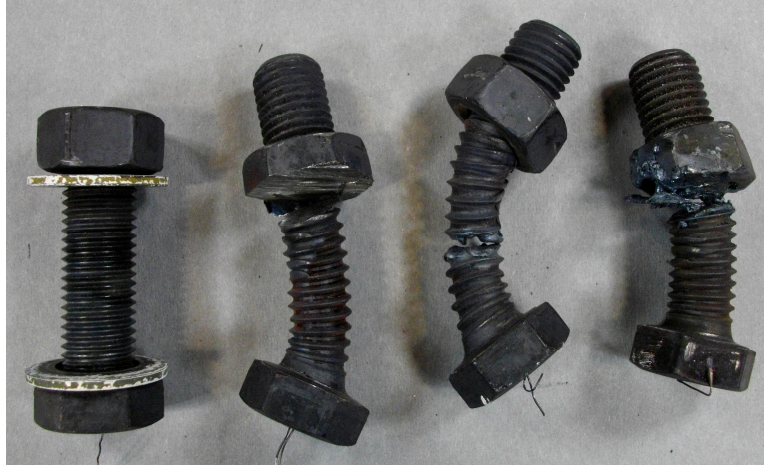
Kuva 5.12. Koekappale TE1 etupuolelta kokeen jälkeen*



Kuva 5.13. Koekappale TE1 takapuolelta kokeen jälkeen*



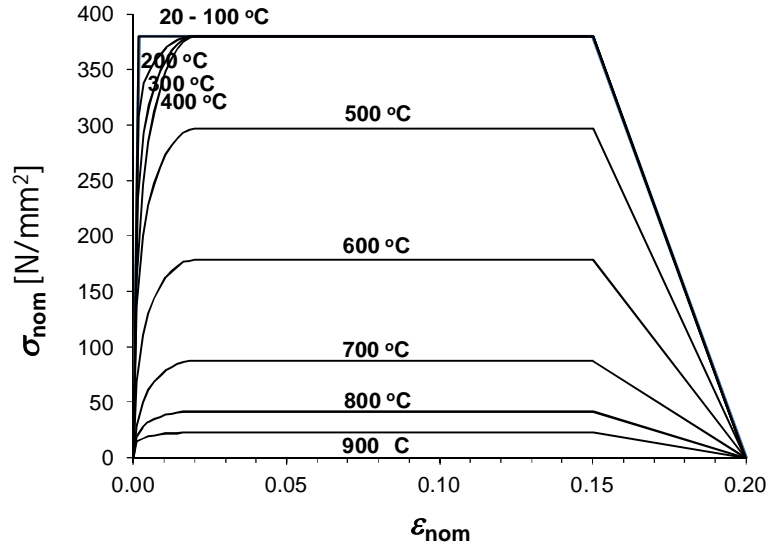
Kuva 5.14. Murtuma muutosvyöhykkeellä kokeessa TE1.*



Kuva 5.15. Ruuvit kokeen TE1 jälkeen*

5.4 TE3*

Kuvassa 5.16 esitetään liitoslevyn $t_{ep}=20$ jännitys-venymäyhteys EN 1993-1-2 mukaan, sovitettuna huoneenlämmössä mitattuun levyn myötörajaan 380 MPa.



Kuva 5.16. Hiiliteräksen jännitys-venymäyhteys korkeissa lämpötiloissa.

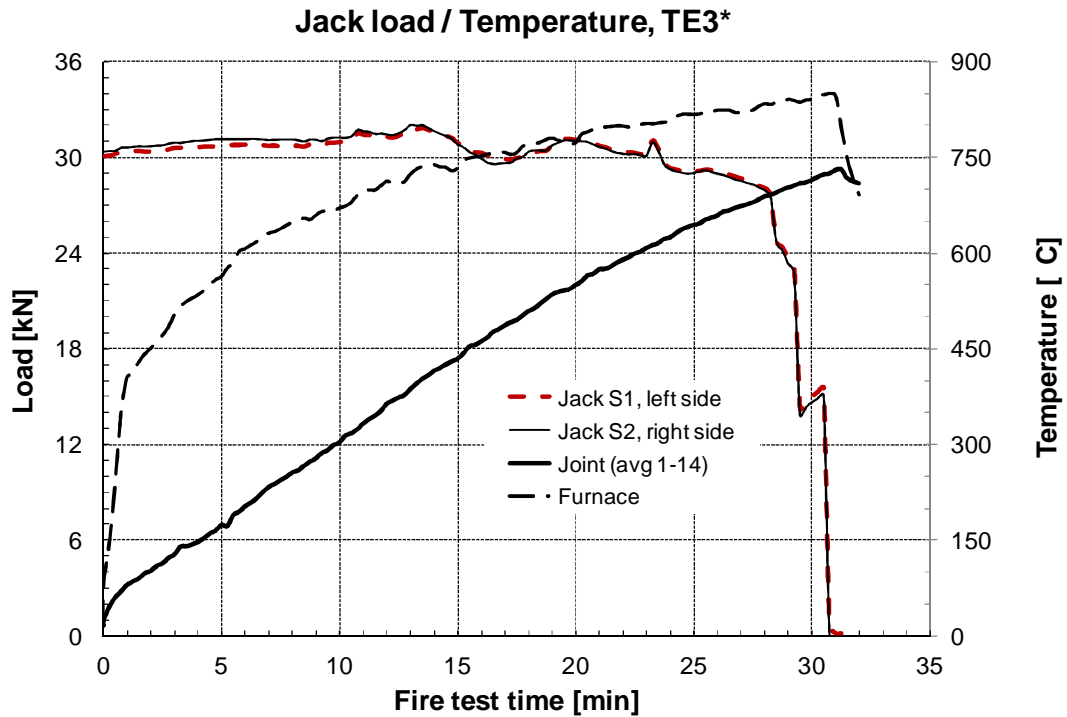
Taulukossa 5.4 esitetään liitoslevyn suhteellisuusrajan ($k_{p,\theta} = f_{p,\theta} / f_y$) myötörajan ($k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$) ja kimmokertoimen ($k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$) pienentyminen lämpötilan vaikutuksesta EN 1993-1-2 mukaan kokeen TE3* liitoslevylle.

Taulukko 5.4. Liitoslevyn $t_{ep}=20$ myötörajan ja kimmokertoimen pienentyminen lämpötilan vaikutuksesta kokeessa TE3*.

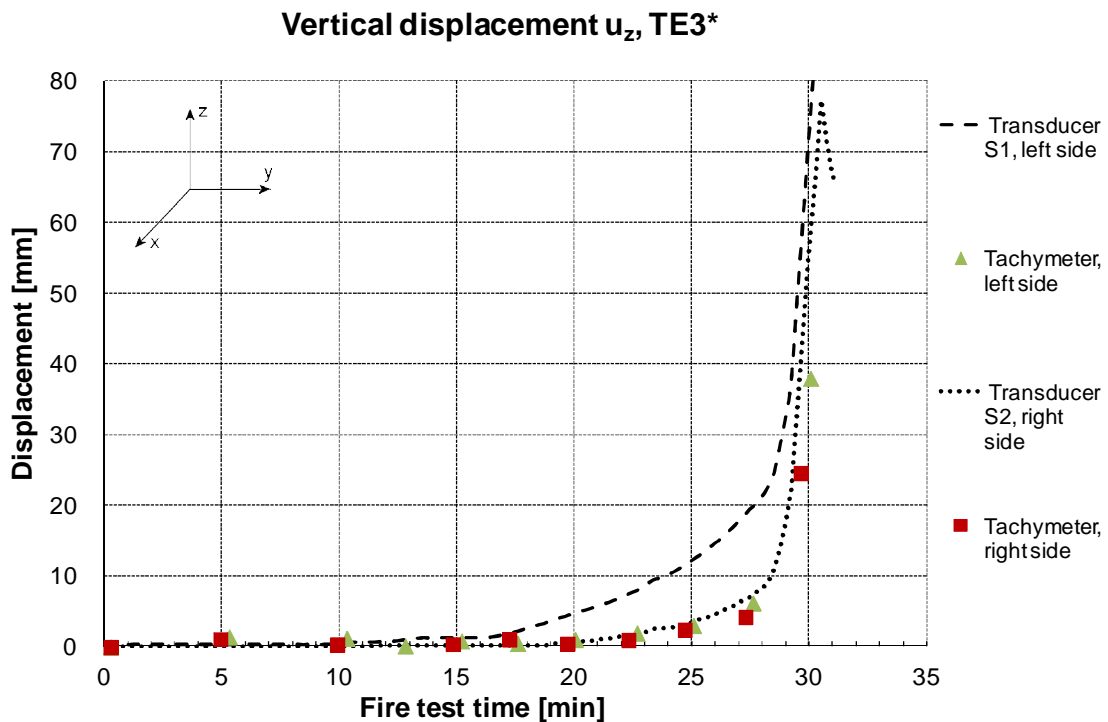
θ_a °C	$k_{p,\theta}$	$f_{p,\theta}$ MPa= 10^6 N/m ²	$k_{y,\theta}$	$f_{y,\theta}$ MPa= 10^6 N/m ²	$k_{E,\theta}$	$E_{a,\theta}$ GPa= 10^9 N/m ²
20	1.00	380.0	1.00	380.0	1.00	210
100	1.00	380.0	1.00	380.0	1.00	210
200	0.807	306.66	1.00	380.0	0.90	189
300	0.613	232.94	1.00	380.0	0.80	168
400	0.42	159.6	1.00	380.0	0.70	147
500	0.36	136.8	0.78	296.4	0.60	126
600	0.18	68.4	0.47	178.6	0.31	65.1
700	0.075	28.5	0.23	87.4	0.13	27.3
800	0.05	19.0	0.11	41.8	0.09	18.9
900	0.0375	14.25	0.06	22.8	0.0675	14.175

NOTE: For intermediate values of the steel temperature, linear interpolation may be used.

Koekappaletta TE3* nostettiin molemmista päistä 30 kN voimalla. Kokeen kestäessä yli 23 ja puoli minuuttia teräksen jäykkyys pieneni ja tunkit eivät kyenneet pitämään kuormaa vakiona. Kuvassa 5.17 näkyy kuormituksen pienentyminen ja lämpötilan muutos kokeen aikana. Liitos ei kestänyt enää täyttä kuormitusta ja pystysiirtymät alkoivat kasvaa kuvan 5.18 mukaisesti.

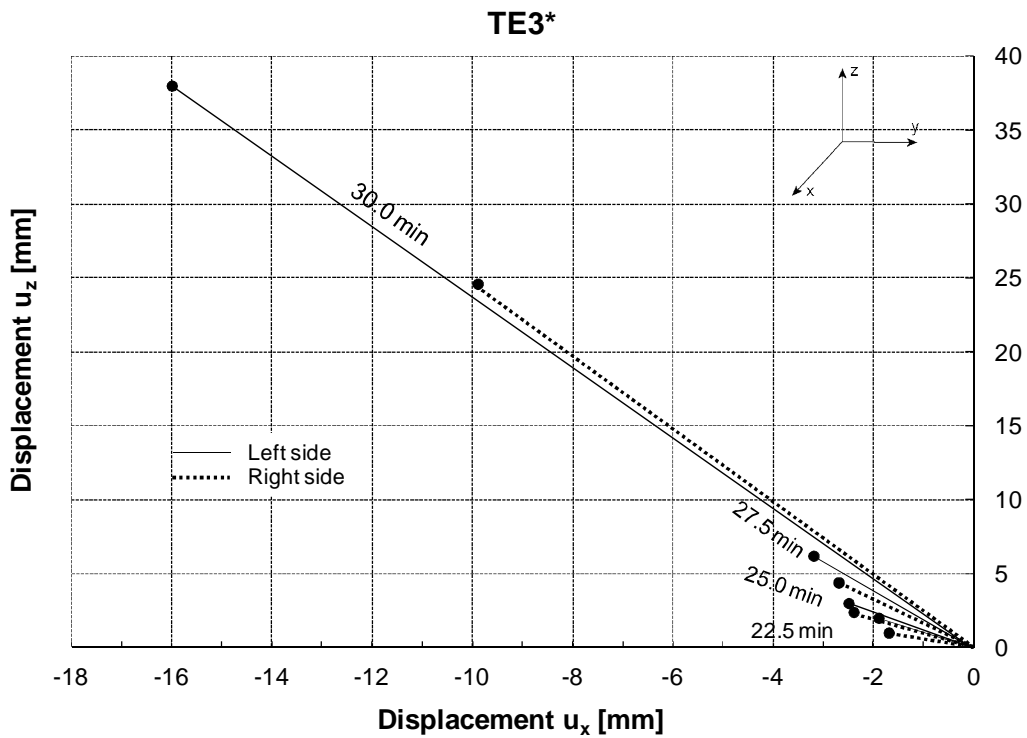


Kuva 5.17. Koekappaleen TE3* kuormitus ja lämpötila kokeen aikana.

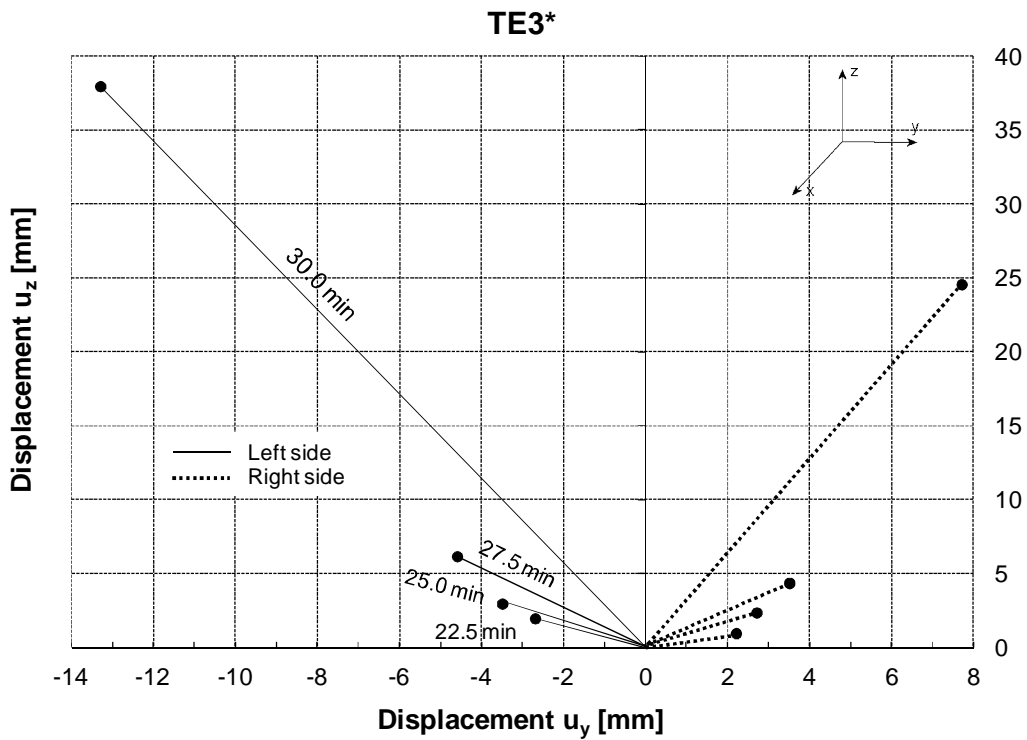


Kuva 5.18. Koekappaleen TE3* pystysuorat siirtymä kokeen aikana.

Pystysiirtymät mitattiin kahdella tunkkeihin kiinnitetyillä siirtymäantureilla S1 ja S2 sekä manuaalisesti kahdella takymetrillä. Tulokset on kuvassa 5.18. Koekappaleen TE3* takymetrimittauksella saadut tulokset on esitetty myös kuvissa 5.19 - 5.20.



Kuva 5.19. Koekappaleen TE3* siirtymät u_z ja u_x kokeen aikana.



Kuva 5.20. Koekappaleen TE3* siirtymät u_z ja u_y kokeen aikana.

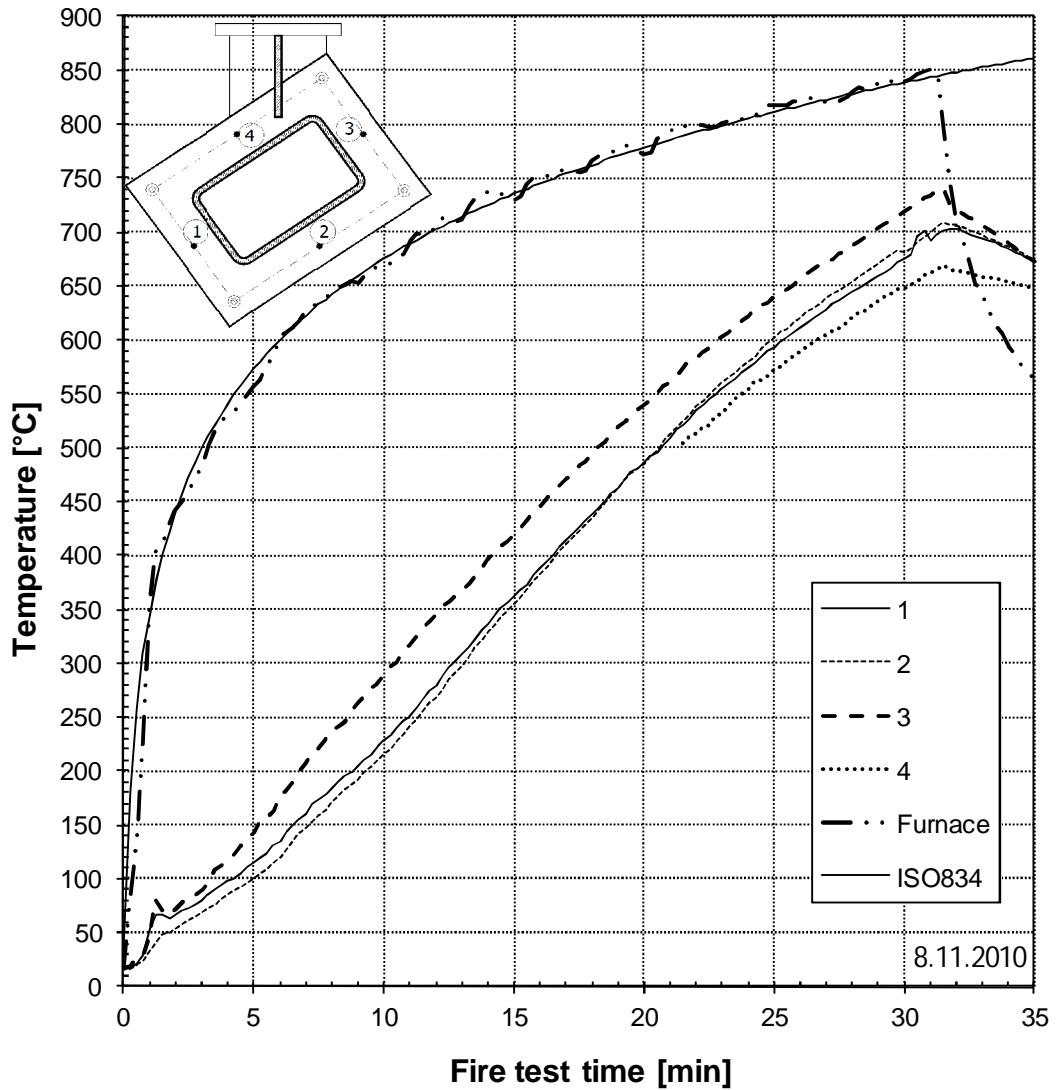
Kappaleen murtumislämpötila saavutettiin ajassa 31 minuuttia 15 sekuntia, jolloin koeuunin lämpötila oli 794.7 °C. Lämpötila jakautui epätasaisesti liitoslevyn eri mittauspisteissä. Ruuvien kohdilla lämpötila nousi nopeimmin. Termoelementti numero 4 ei toiminut moitteettomasti kokeen alussa. Ero suurimman ja pienimmän lämpötilan välillä kokeen lopussa oli yli 115 °C. Koko liitoksen keskiarvolämpötila oli 730.6 °C. Taulukossa 5.5 on esitetty termoelementtien lämmönousu viiden minutin välein.

*Taulukko 5.5. Termoelementtien lämpötilat koekappaleessa TE3**

Thermocouple [number]	Temperature [°C]					
	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	31.25 min
1	114.6	228.1	362.6	486.7	593.8	702.0
2	100.6	216.1	354.8	485.4	602.2	709.2
3	143.1	289.1	420.4	539.6	640.2	740.9
4	-	-	-	-	571.0	668.4
5	183.5	306.3	430.4	536.6	649.8	729.6
6	173.4	300.2	431.9	547.3	658.1	747.9
7	202.9	329.4	442.0	540.0	654.6	743.2
8	151.0	265.2	393.1	510.6	617.3	724.9
9	170.2	311.1	441.8	557.1	650.3	747.2
10	163.7	307.4	442.3	556.5	653.6	750.3
11	167.5	312.6	467.9	592.5	696.6	767.0
12	170.4	335.4	479.4	598.4	689.7	768.3
13	230.3	403.1	538.1	637.9	715.6	772.2
14	181.2	285.4	383.1	474.0	569.7	656.8
Furnace	558.1	666.4	728.9	771.4	817.6	794.7

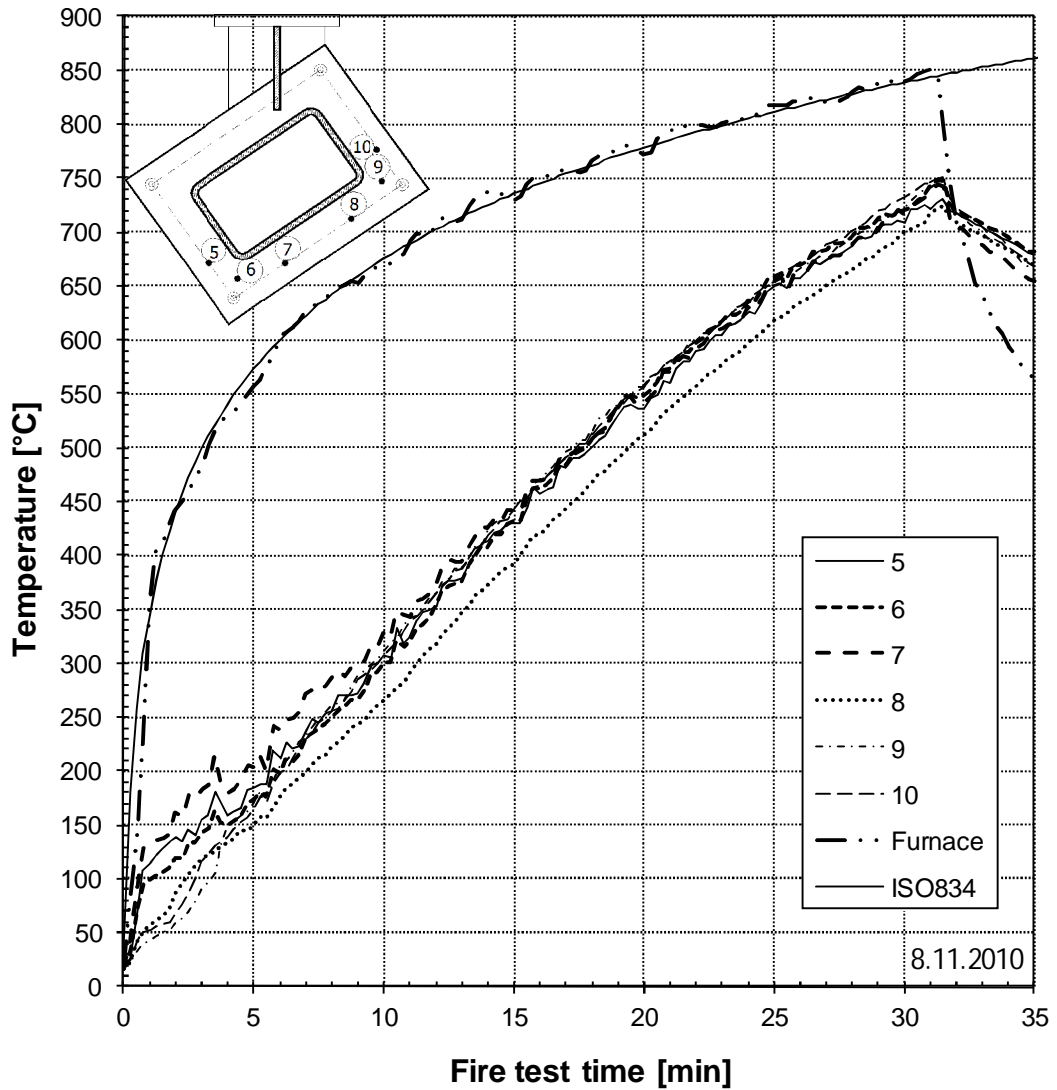
Taulukon 5.2 sisältö on esitetty käyrinä kuvissa 5.21-5.23.

TE3*
Thermocouples in the middle of the side, points 1-4
Thickness of the end plate was 20 mm



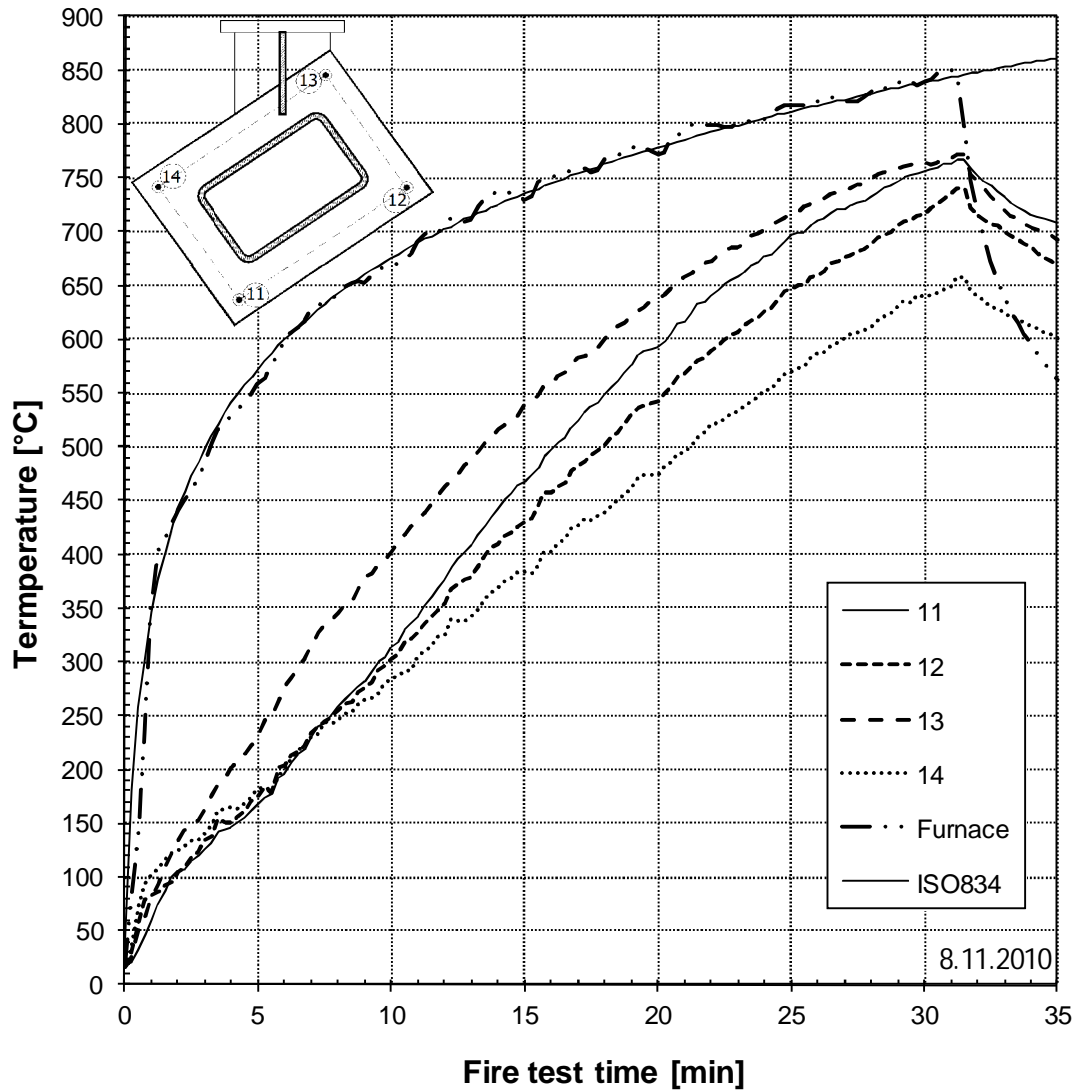
Kuva 5.21. Termoelementtien 1-4 lämpötilat koekappaleessa TE3*.

TE3*
Thermocouples in the corners of the plate, points 5-10
Thickness of the end plate was 20 mm



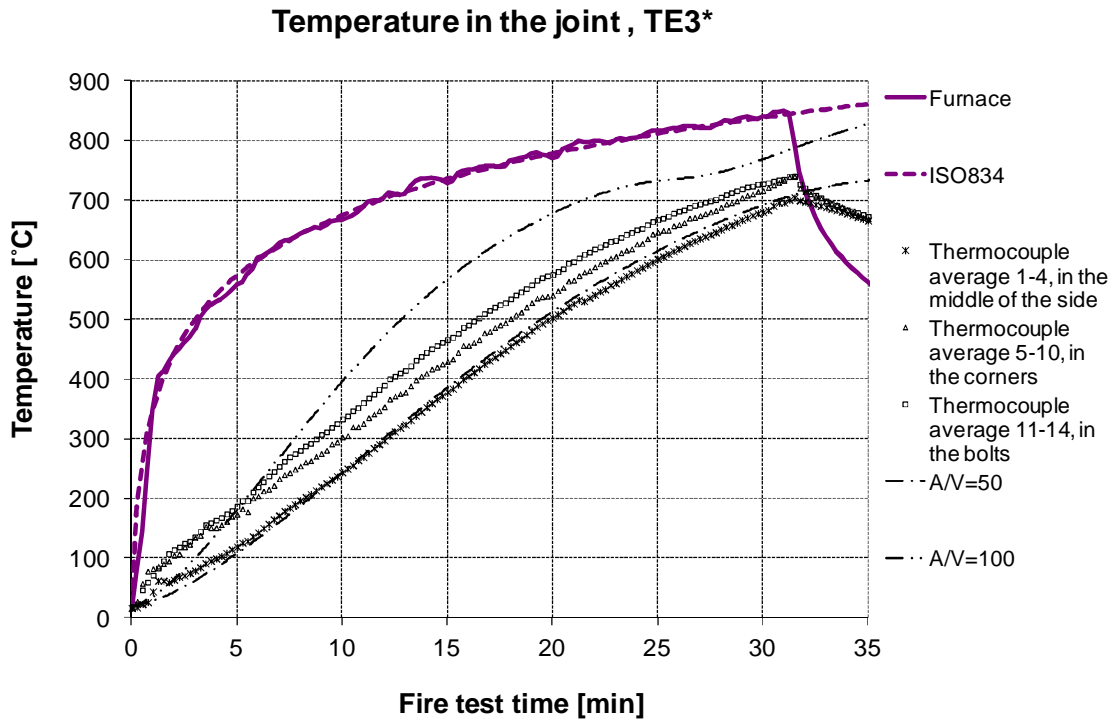
Kuva 5.22. Termoelementtien 5-10 lämpötilat koekappaleessa TE3.*

TE3*
Thermocouples in the bolts, points 11-14
Thickness of the end plate was 20 mm

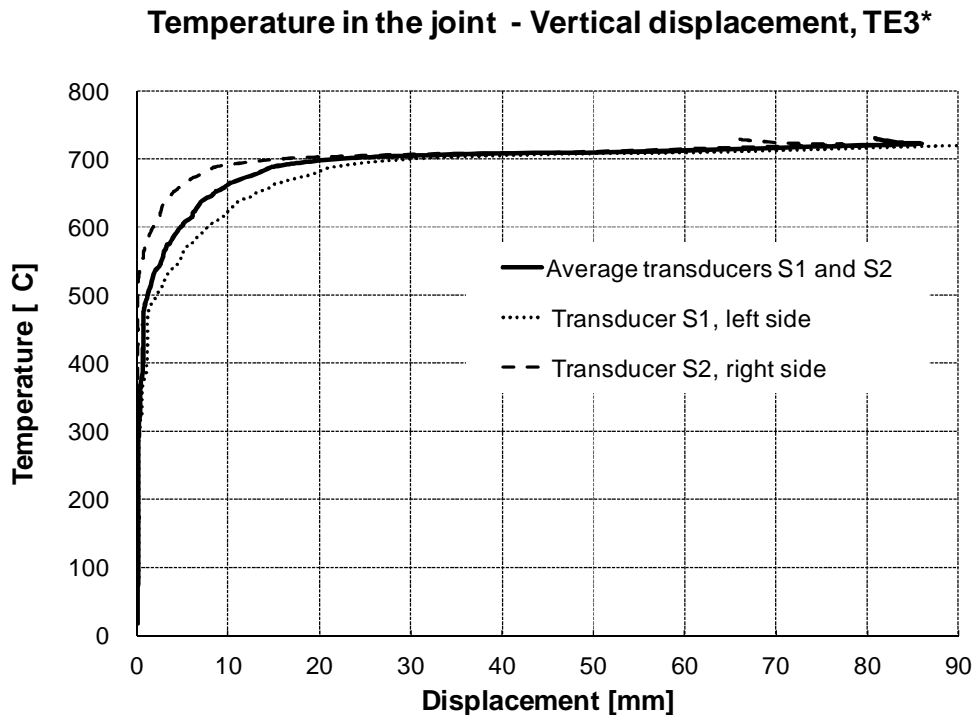


Kuva 5.23. Termoelementtien 11-14 lämpötilat koekappaleessa TE3*.

Kuvassa 5.24 on esitetty termoelementtien keskiarvolämpötilat ryhmiteltynä liitoslevyn keskelle, nurkkiin ja ruuveihin. Mitä korkeampi on suojaamattoman teräsprofiilin poikkileikkaustekijä (A_m/V = rakenteen palolle altis piiri / poikkileikkauksen pinta-ala) sitä nopeammin teräsprofiilin lämpötila nousee. Uunin lämpötila seuraa ISO 834 lämpötiläkäyrää. Kuvassa 5.25 on 14 pisteen keskiarvo pystysiirtymän funktiona.



Kuva 5.24. Termoelementtien keskiarvolämpötilat koekappaleessa TE3*.

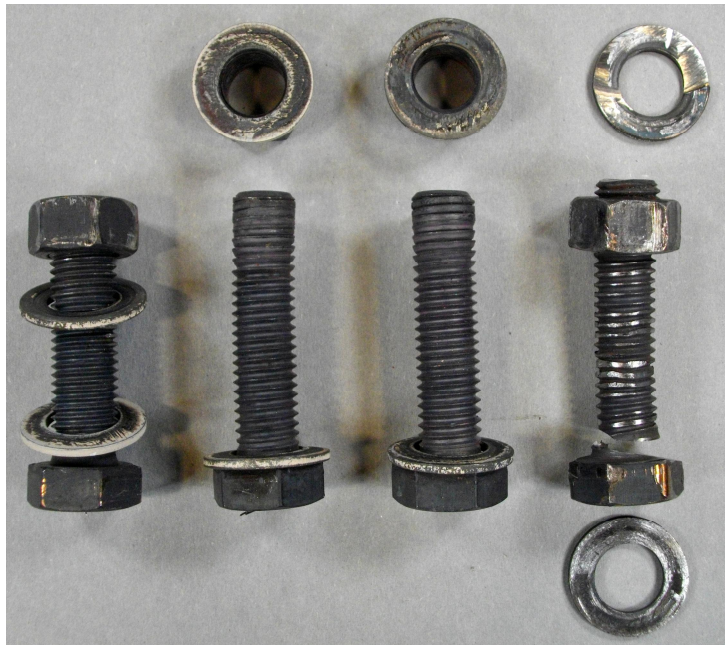


Kuva 5.25. Liitoksen lämpötilan ja tunkkien siirtymän riippuvuus koekappaleessa TE3*

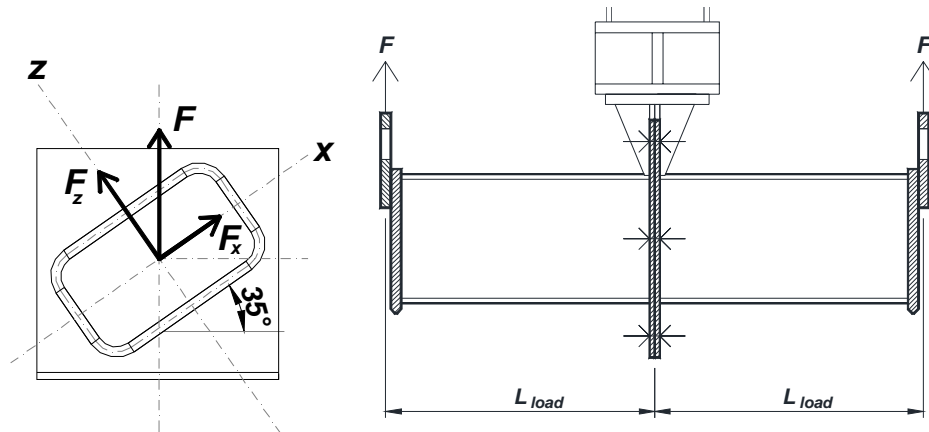
Koekappale murtui, kun alin pultti liukui pois mutterista. Ruuviliitoksen pettäminen näkyy kuvassa 5.26. Kuvasta näkyy, että päätylevyssä ei tapahtunut suuria muodonmuutoksia.



Kuva 5.26. Koekappale TE3 edestäpäin kokeen jälkeen*



5.27. Ruuvit kokeen TE3 jälkeen*



Kuva 5.28. Koekappaleen kuormitus ja koordinaatisto

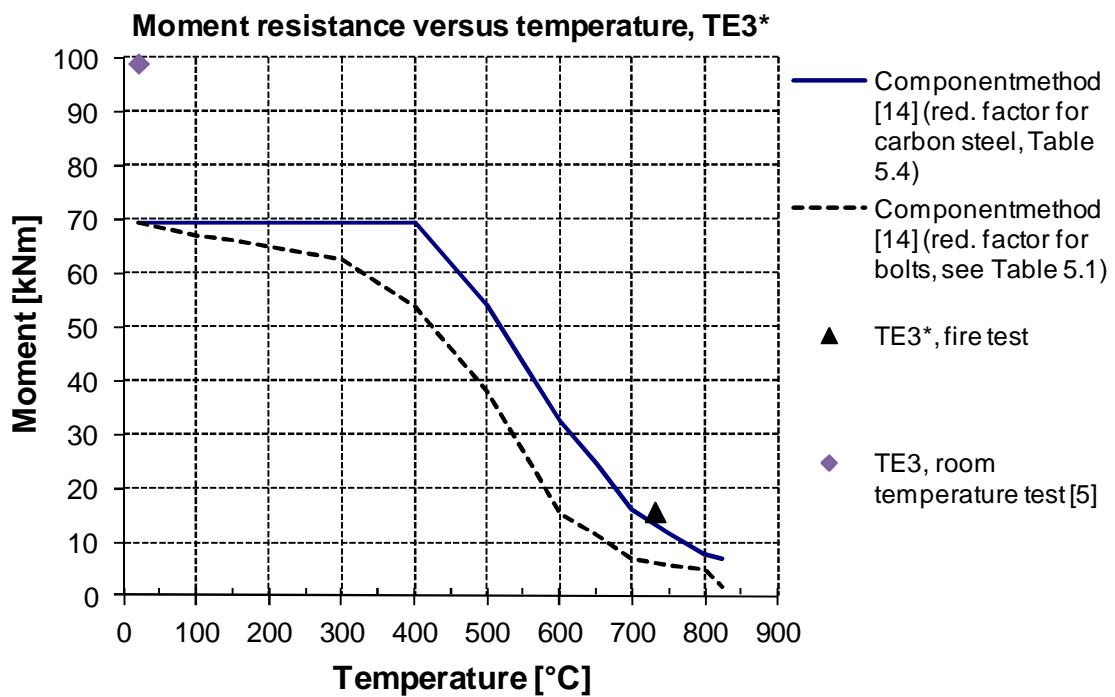
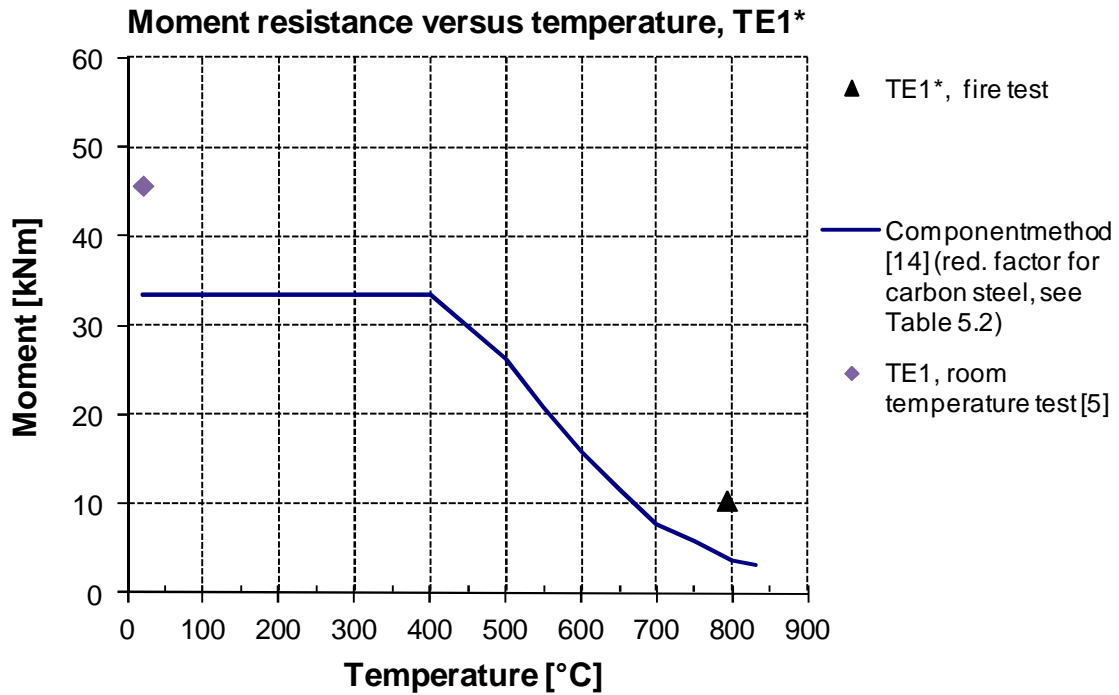
Koekappaleen TE1* keskimääräinen pystysiirtymä oli 109.3 millimetriä, kun liitoksen keskiarvolämpötila oli 791.8 astetta Celsiusta. Koekappaleen TE3* keskimääräinen pystysiirtymä oli 85.76, kun liitoksen keskiarvolämpötila oli 730.6 astetta Celsiusta. Koekappaleiden TE1 ja TE3 huoneen lämmössä saatu momenttikapasiteetti $M_{R,max}$ on mitattu aikaisemmassa kokeessa [5]. Transienttikokeessa momentti pysyy vakiona ja se saadaan kaavasta 1. Taulukossa 5.6

$$M_{max} = FL_{load} \quad (1)$$

Taulukko 5.6. Liitosten kuormitustasot

Specimen	F [kN]	L_{load} [m]	M_{max} [kNm]	θ [°C]
TE1 [5]			45.7	20
TE1*	20	0.52	10.4	791.8
TE3 [5]			99.0	20
TE3*	30	0.52	15.6	730.6

Kuvassa 5.29 on esitetty koetulokset ja niitä on verrattu komponenttimenetelmän [14] tuloksiin. Kappaleen suunnat määrittävä koordinaatisto on esitetty myös kuvissa 4.3 ja 4.4.



Kuva 5.29. Komponenttimenetelmällä lasketut momenttikestävyydet (käyrät) ja testitulokset (pisteet) a) kokeissa TE1 ja TE1* b) kokeissa TE3 ja TE3*

6. Lähdeluettelo

- [1] Wheeler A, Clarke M, Hancock G. Bending Tests of Bolted End Plate Connections in Cold Formed Rectangular Hollow Sections. Research Report No R736, The University of Sydney, Department of Civil Engineering, Centre of Advanced Structural Engineering, Sydney, 1997.
- [2] Wheeler A, Clarke M, Hancock G, Murray T. Design Model for Bolted Moment End Plate Connections Joining Rectangular Hollow Sections. Journal of Structural Engineering 1998;124(2):164-173.
- [3] Wheeler A, Clarke M, Hancock G. Design Model for Bolted Moment End Plate Connections Joining Rectangular Hollow Sections Using Eight Bolts. Research Report No R827, The University of Sydney, Department of Civil Engineering, Centre of Advanced Structural Engineering, Sydney, 2003.
- [4] Ronni H, Heinisuo M. Test Report, End Plate Joints of Steel Tubes, Strong Axis Bending. Tampere University of Technology, Department of Civil Engineering. Structural Engineering, Research Report 149, 2010.
- [5] Perttola H., Heinisuo, M., Test Report, End Plate Joints of Steel Tubes, Biaxial and Weak Axis Bending Tests, Research Report 155, Tampere University of Technology, Department of Civil Engineering, Structural Engineering, 2011.
- [6] SFS-EN 1993-1-2, Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu osa 1-2: Rakenteen palomitoitus. Design of steel structures. Part 1-2: Structural fire design. CEN, Bryssels, 2005.
- [7] SFS-EN 1993-1-8, Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten suunnittelu. Design of steel structures. Part 1-8: Design of joints, CEN, Bryssels, 2005.
- [8] SFS-EN 10219-2 Kylmämuovautut hitsatut seostamattomista teräksistä ja hienoraeteräksistä valmistetut rakenneputket. Osa 2: Toleranssit, mitat ja poikkileikkaussuureet. Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels. Part 2: Tolerances, dimensions and sectional properties
- [9] SFS-EN 10025-2:2004 Kuumavalssatut rakenneteräkset. Osa 2: Seostamattomat rakenneteräkset. Tekniset toimitusehdot. Hot rolled products of structural steels. Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels.
- [10] SFS-EN ISO 4017 Täyskierteiset kuusioruuvit. Tarkkuusluokat A ja B. Hexagon head screws. Product grades A and B (ISO 4017:1999).
- [11] SFS-EN ISO 7093-1 Pyöreät aluslaatat. Suurikokoiset. Osa 1: Tarkkuusaste A. Plain washers. Large series. Part 1: Product grade A (ISO 7093-1:2000).
- [12] SFS 3898 ISO 273 EN 20273 Ruuvien vapaareiät- Fasteners. Clearance holes for bolts and screws (ISO 273:1979).
- [13] SFS-EN 1363-1:1999 Palonkestävyystestit. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Fire resistance tests. Part 1: General requirements.
- [14] Heinisuo, M, Laine, V, Lehtimäki, E, "Enlargement of the component method into 3D", In Proceedings Nordic Steel Construction Conference, Malmö, Sweden, September 2-4, Publication 181, LUT & SBI, pp. 430-437, 2009.
- [15] Outinen, Jyri: Mechanical Properties of Structural Steels at High Temperatures and After Cooling Down. Civil and Environmental Engineering. April 2007

LIITE 1

Koe TE1* alkoi kello 12:28:56, jolloin uunin lämpötila oli 50.65 °C. Suluissa on ilmoitettu uunin lämpötila.



P12:12:10



P12:17:18 (11.96 °C)



P12:35:10 (589 °C)



P12:41:40 (707 °C)



P12:46:54 (759 °C)



P12:51:26 (794 °C)

LIITE 1



P12:51:56 (804 °C)



P12:52:42 (807 °C)



P12:53:26 (813 °C)



P12:53:56 (819 °C)



P12:54:40 (821 °C)



P12:57:14 (828 °C)



P12:59:42 (847 °C)



P12:59:56 (830.8 °C)

LIITE 1



P13:10:34



P13:10:38

LIITE 2

Koe TE3* alkoi kello 12:03:08, jolloin uunin lämpötila oli 77.14 °C. Kuvat on poimittu videolta. Suluissa on ilmoitettu uunin lämpötila.



P12:08 (173 °C)



P12:23 (550 °C)



P12:25 (601 °C)



P12:28 (643 °C)

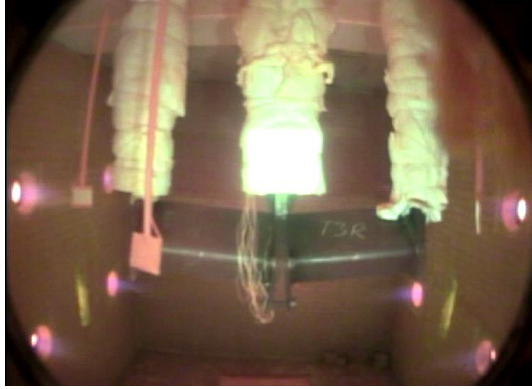


P12:30 (675 °C)

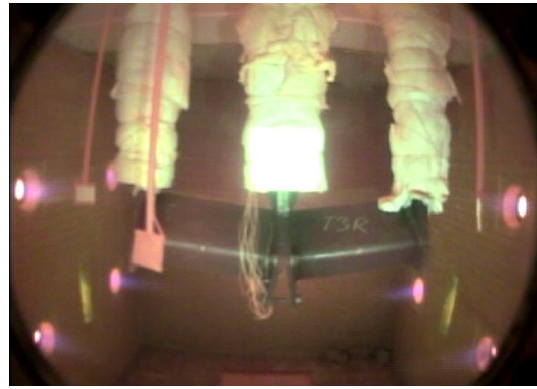


P12:30:30 (678 °C)

LIITE 2



P12:32 (710 °C)



P12:33 (714 °C)



Kokeen jälkeen

**Talonrakennustekniikan tutkimusraportit v. 1998 – 2011**

- 156 Ronni, H., Heinisuo, M., Test Report, End Plate Joints of Steel Tubes, Biaxial Bending Tests in Fire. TUT 2011. 34 p +5 app. 34 € (in Finnish)
- 155 Perttola, H., Heinisuo, M., Test Report, End Plate Joints of Steel Tubes, Biaxial and Weak Axis Bending. TUT 2011. p. 58 app. 17. 34 €
- 151 Salminen, M., Shear Buckling Resistance of Thin Metal Plate at Non-Uniform Elevated Temperatures. TUT 2010. 107 p. 25 app. 34 €
- 150 Piironen, J., Vinha, J., Vakiotehoisen kuivanapitolämmityksen vaikutus hirsimökkien lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan. TTY 2010. 79 s. + 16 liites. 34 €
- 149 Ronni, H., Heinisuo, M., Test Report, End Plate Joints of Steel Tubes, Strong Axis Bending. TUT 2010. 33 p. + 19 app. 34 €
- 148 Lahdensivu, J., Varjonen, S., Köliö, A., Betonijulkisivujen korjausstrategiat. TTY 2010. 79 s. 34 €
- 147 Bzdawka, K., Composite column – calculation examples. TUT 2010. 54 p. 34 €
- 146 Bzdawka, K., Optimisation of a steel frame building. TUT 2009. 104 p. + 38 app. 34 €
- 145 Leivo, V., Ohje uimahallien ja kylpylöiden lattioiden liukkauden ehkäisemiseen. TTY 2009. 20 s.
- 144 Leivo, V., Uimahallien laattalattioiden liukkaus. TTY 2009. 51 s. + 7 liites.
- 143 Vinha, J., Viitanen, H., Lähdesmäki, K., Peuhkuri, R., Ojanen, T., Salminen, K., Paajanen, L., Strander, T. & Iitti, H. Rakennusmateriaalien ja rakenteiden homehtumisriskin laskennallinen arviointi. TTY 2009. xx s. + 2 liites. 42 €
- 142 Rauhala, J., Kylliäinen, M., Eristerapatun betoniseinän ilmäänen eristävyys. TTY 2009. 119 s. + 83 liites. 42 €
- 141 Aho, H., Korpi, M. (toim.) Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. TTY 2009. 100 s. 42 €
- 140 Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Jokisalo, J., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, J., Aho, H., Salminen, M., Salminen, K., Keto, M. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. TTY 2009. 148 s. + 19 liites. 42 €
- 139 Leivo, V., Rantala, J., Maanvastaisten rakenteiden mikrobiologinen toimivuus. TTY 2006. 57 s. + 55 liites. 34 €
- 138 Heinisuo, M., Aalto, A., Stiffening of Steel Skeletons Using Diaphragms. TUT 2006. 31 p. 7 app. 34 €
- 137 Kylliäinen, M., Talonrakentamisen akustiikka. TTY 2006. 205 s. 42 €
- 136 Varjonen, S., Mattila, J., Lahdensivu, J. & Pentti, M., Conservation and Maintenance of Concrete Facades Technical Possibilities and Restrictions. TUT 2006. 29 p.
- 135 Heinisuo, M., Ylihärsilä, H., All metal structures at elevated temperatures. TUT 2006. 54 p. 37 app. 34 €
- 134 Aho, H., Inha, T., Pentti, M., Paloturvallinen rakentaminen EPS-eristeillä. TTY 2006. 106 s. + 38 liites. 42 €
- 133 Haukijärvi, M., Varjonen, S., Pentti, M., Julkisivukorjausten turvallisuus. TTY 2006. 25 s. + 111 liites.
- 132 Heinisuo, M., Kukkonen, J., Design of Cold-Formed Members Following New EN 1993-1-3. TUT 2005. 41 p. 34 €
- 131 Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, J., Valovirta, I., Mikkilä, A., Jokisalo, J., Puurunkoisten pientalojen kosteus- ja lämpötilaolosuhteet, ilmanvaihto ja ilmatiiviys. TTY 2005. 102 s. + 10 liites. 42 €
- 130 Vinha, J., Käkälä, P., Kalamees, T., Valovirta, I. Puurunkoisten ulkoseinärakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toiminta diffuusion kannalta tarkasteltuna. 42 €(julkaistaan lähiaikoina)



- 129 Vinha, J., Valovirta, I., Korpi, M., Mikkilä, A., Käkelä, P.
Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona. TTY 2005. 101 s. + 211 liites. 42 €
- 128 Leivo, V., Rantala, J., Lattialämmitetyn alapohjarakenteen rakennusfysikaalinen toiminta. TTY 2005. 140 s. 34 €
- 127 Lahdensivu, J., Luonnonkiviverhottujen massiivitiiliseinien vaurioituminen ja korjausperiaatteet. TTY 2003. 156 s. + 9 liites. 34 €
- 126 Leivo, V., Hirsirakennuksen yläpohjan tiiviys – vaikutus lämpöenergiankulutukseen. TTY 2003. 63 s.
- 125 Kylliäinen, M., Uncertainty of impact sound insulation measurements in field. TUT 2003. 63 p. + 50 app. 34 €
- 124 Myllylä, P., Lod, T. (toim.), Pitkäikäinen puurakenteinen halli, toimiva kosteustekniikka ja edullinen elinkaari. TTY 2003. 143 s. + 6 liites. 34 €
- 123 Mattila, J., Pentti, M., Suojaustoimien tehokkuus suomalaisissa betonijulkisivuissa ja parvekkeissa. TTY 2004. 69 s. 42 €
- 122 Leivo, V., Rantala, J., Moisture Behavior of Slab-on-Ground Structures. TUT 2003. 100 p. + 12 app. 34 €
- 121 Leivo, V., Rantala, J., Maanvastaiset alapohjarakenteet – kosteustekninen mitoittaminen ja korjaaminen. TTKK 2002. 33 s. + 11 liites.
- 120 Leivo, V., Rantala, J., Maanvastaisten alapohjarakenteiden kosteustekninen toimivuus. TTKK 2003. 106 s. + 13 liites. 34 €
- 119 Lindberg, R., Wahlman, J., Suonketo, J., Paukku, E., Kosteusvirtatutkimus. TTKK 2002. 92 s. + 3 liites. 34 €
- 118 Hietala, J., Kelluvan betonilattian kaareutuminen, osa II. TTY 2003. 58 s. + 12 liites. 30 €
- 117 Vinha, J., Käkelä, P., Kalamees, T., Comparison of the Moisture Behaviour of Timber-Framed Wall Structures in a One-Family House. 34 €(julkaistaan lähiaikoina)
- 116 Vinha, J., Käkelä, P., Kalamees, T., Puurunkoisten seinärakenteiden kosteusteknisen toiminnan vertailu omakotitalossa. TTKK 2002. 54 s. + 11 liites. 34 €
- 115 Junttila, T., Venäjän rakennusalan säädöstö ja viranomaishallinto, osa I ja II TTKK 2001. 97 s. 34 €
- 114 Junttila, T., (toim.) Venäjän rakennusalan tuotekortit. TTKK 2001. 63 s. 34 €
- 113 Junttila, T., Lod, T., Aro, J., Rakennusinvestointihankkeen toteuttaminen Moskovassa. TTKK 2001. 112 s. + 11 liites. 34 €
- 112 Junttila, T., (toim.), Venäjän rakentamisen oppikirja. Osa B: Talonrakennustekniikka. TTKK 2001. 174 s. 34 €
- 111 Junttila, T., (toim.) Venäjän rakentamisen oppikirja. Osa A: Liiketoimintaympäristö ja rakennushankkeen johtaminen. TTKK 2001. 173 s. + 21 liites. 34 €
- 110 Юнтіла, Т. (под ред.), Управление недвижимостью в России. Теория и практические примеры. Технический университет Тампере 2001. 356 стр. + приложения на 33 стр. 34 €
- 109 Junttila, T., (toim.) Kiinteistöjohtaminen Suomessa ja Venäjällä. Edellytykset kiinteistöalan yhteistyölle. TTKK 2001. 293 s. + 54 liites. 34 €
- 108 Hietala, J., Kelluvan betonilattian kaareutuminen. TTKK 2001. 80 s. + 7 liites. 34 €
- 107 Binamu, A., Lindberg, R., The Impact of Air Tightness of The Building Envelope on The Efficiency of Ventilation Systems with Heat Recovery. TTKK 2001. 62 p. + 7 app., 25 €
- 106 Leivo, V., Rantala, J., Maanvaraisten alapohjarakenteiden kosteuskäyttäytyminen. TTKK 2000. 124 s. 34 €
- 105 Junttila, T. (toim.), Venäjän federaation kaavoitus- ja rakennuslaki. TTKK 2000. 49 s. 34 €



- 104 Niemelä, T., Vinha, J., Lindberg, R., Carbon Dioxide Permeability of Cellulose-Insulated Wall Structures. TUT 2000. 46 p. + 9 app. 25 €
- 103 Vinha, J., Käckelä, P., Water Vapour Transmission in Wall Structures Due to Diffusion and Convection. TUT 1999. 110 s. 34 €
- 102 Suonketo, J., Pessi, A-M., Pentti, M.,
- 101 Pessi, A-M., Suonketo, J., Pentti, M., Raunio-Lehtimäki, A. Betonielementtijulkisivujen mikrobiologinen toimivuus. TTKK. 1999. 88 s. + 6 liites. 42 €
- 100 Pentti, M., Haukijärvi, M., Betonijulkisivujen saumausten suunnittelu ja laadunvarmistus. TTKK 2000. 2. täydennetty painos. 78 s. + 3 liites. 42 €
- 99 Torikka, K., Hyypöläinen, T., Mattila, J., Lindberg, R., Kosteusvauriokorjausten laadunvarmistus. TTKK 1999. 106 s. + 37 liites. 34 €
- 98 Mattila, J., Peuhkurinen, T., Lähiökerrostalon lisärakentamishankkeen tekninen esiselvitysmenettely. Korjaus- ja LVIS-tekninen osuus. TTKK 1999. 48 s.
- 97 Kylliäinen, M., Keronen, A., Lisärakentamisen rakennetekniset mahdollisuudet lähiöiden asuinkerrostaloissa. TTKK 1999. 59 s. + 37 liites. 34 €
- 96 Vinha, J., Käckelä, P., Vesihöyryn siirtyminen seinärakenteissa diffuusion ja konvektion vaikutuksesta. TTKK 2001. 3 painos. 81 s. + 29 liites. 34 €
- 95 Leivo, V. (toim.), Opas kosteusongelmiin – rakennustekninen, mikrobiologinen ja lääketieteellinen näkökulma. TTKK 1998. 157 s. 25 €
- 94 Pentti, M., Hyypöläinen, T., Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu. TTKK 1999. 150 s. + 40 liites. 42 €
- 93 Lepo, K., Laatu järjestelmän kelpoisuus. TTKK 1998. 101 s. + 50 liites.
- 92 Berg, Malinen, P., Leivo, V., Internal Monitoring of The Technology Programme for Improving Product Development Efficiency in Manufacturing Industries – Rapid Programme. TUT 1998. 81 s. + 93 liites.
- 91 Berg, P., Salminen, K., Leivo, V., Nopeat tuotantojärjestelmät teknologiaohjelman painoalueet vuosille 1998-2000 sekä ohjelman arviointi- ja ohjaussuunnitelma. TTKK 1998. 55 s. + 37 liites.
- 90 Lindberg, R., Keränen, H., Teikari, M., Ulkoseinärakenteen vaikutus rakennuksen energiankulutukseen. TTKK 1998. 34 s. + 26 liites.
- 89 Pentti, M., Huttunen, I., Vepsäläinen, K., Olenius, K., Betonijulkisivujen ja parvekkeiden korjaus. Osa III Korjaushanke. TTKK 1998. 124 s. + 23 liites. 42 €

Tutkimusraportin hinta: 20 €, ellei toisin ole mainittu. Oikeus hinnanmuutoksiin pidätetään. Hintoihin lisätään alv 9 %.

**Myynti: Juvenes Teknillisen Yliopiston Kirjakauppa, TTY:n
Rakennustalo, Korkeakoulunkatu 5, 33720 Tampere, Puh. 0207 600 394
TTY.kirjakauppa@juvenes.fi tai TTY-Säätiö, Terttu Mäkipää, terttu.makipaa@tut.fi**

Tampereen teknillinen yliopisto
PL 527
33101 Tampere

Tampere University of Technology
P.O.B. 527
FI-33101 Tampere, Finland