

TULIPESÄMATERIAALIEN KENTTÄTUTKIMUS

Timo Karjunen
Boildec Oy

SoTu-hankkeen eräänä tavoitteena oli testata eri teräksien (3R12, San36Mo, San41 ja San63) sopivuutta tulipesämateriaaleiksi laboratorio- ja kenttäkokein. Kenttäkokeita oli tarkoitus tehdä kahdessa kattilassa vuoden ajan, mutta tästä tavoitteesta jouduttiin luopumaan, kun ilmajäähdytteisellä sondilla tehdyt kokeet epäonnistuivat. SoTun johtoryhmä päätti syksyllä 2005 antaa Boildecille tehtäväksi suunnitella ja rakentaa nestejäähdytteinen sondi, jolla eri teräslaatuja voitaisiin koestaa yhden kattilan tulipesässä 1000 h ajan niin, että koemateriaalien lämpötila on 400 ja 440°C.

Tehtävä oli haastava, sillä Suomessa ei oltu tätä ennen rakennettu nestejäähdytteistä sondia ja nestejäähdytteisissä sondeissa, joita muualla on tehty, nestettä oli kierrätetty pumpuilla, kun taas nyt sondin jäähdytyksessä oli tarkoitus käyttää luonnonkiertoa. Lisäksi aikataulu oli tiukka, sillä aikaa laitteiston rakentamiseen ja kokeiden tekoon oli alle vuosi.

Tulipesäsondi

Boildecin suunnittelema ja rakentama sondi koostui höyrystimestä, lauhdutimesta ja ne yhdistävästä kiertoputkistosta. Höyrystin rakennettiin niin, että se voitiin asentaa lipeäruiskuaukkoon siten, että höyrystimen etuseinä sijoittui tulipesän seinäputkien evätasoon. Höyrystimen etuseinä koottiin testattavista teräksistä tehdyistä laatoista.

Höyrystimen etuseinään asennettiin termoelementtejä, joilla voitiin mitata sekä koemateriaalien lämpötila koepalojen pinnan alta että höyrystimen etuseinään kohdistuva lämpövuoto. Tulosten perusteella voitiin laskea koemateriaalien pintalämpötila. Yhden lämpötilamittauksen perusteella ohjattiin puhallinta, jonka puhaltama ilma jäähdytti lauhdutinta. Puhaltimen säätö pyrittiin toteuttamaan niin, että koemateriaalien lämpötila pysyi vakiona.

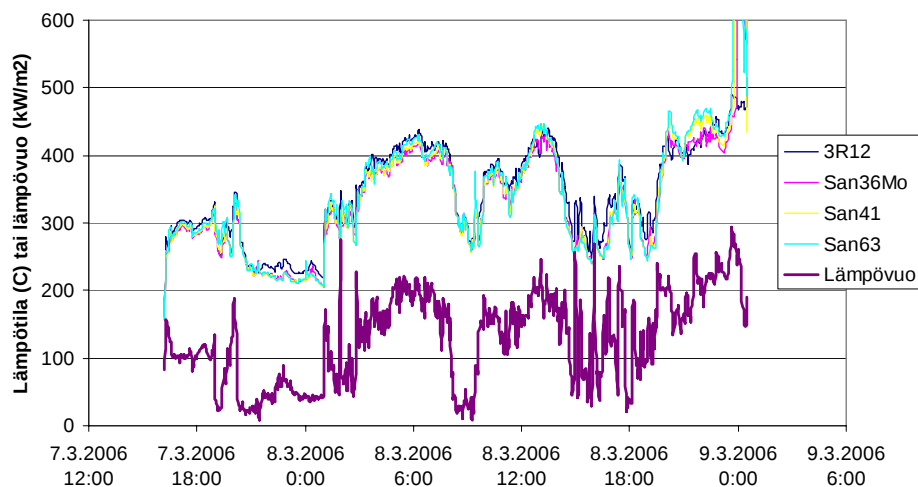
Lämmönsiirtonesteenä sondissa käytettiin orgaanista lämmönsiirtoöljyä, jonka höyrystymislämpötila 1 – 14 barin paineessa on 257 - 425°C. Tämän ansiosta höyrystimen etuseinän lämpötila voitiin säätää halutuksi sondin paineen ollessa alle 10 bar.

Tehdyt kokeet

Testi 1.

Ensimmäinen koe tehtiin maaliskuussa 2006. Koe aloitettiin, kun kattilan kuormaa oltiin nostamassa. Sen varmistamiseksi, että sondi ei ylipaineistuisi, oli ilmapuhallin säädetty asennuksen yhteydessä täysille.

Lämpötilamittausten tulosten perusteella lasketut lämpövuoto ja koepalojen pintalämpötilat on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Ensimmäisen testin tulokset

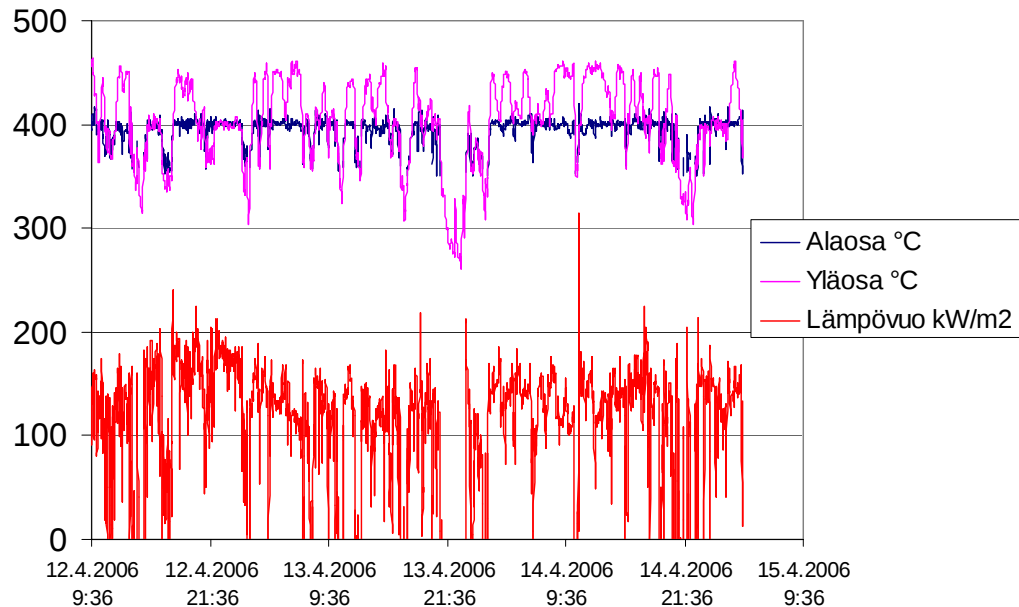
Ilmajäähdytys riitti pitämään koemateriaalien lämpötilat halutulla alueella, kun höyrystimen etuseinään kohdistuva lämpövuoto oli enintään 200 kW/m². Lämpövuoto nousi kuitenkin 8. ja 9.3. välisenä yönä niin korkeaksi, että sondi paineistui kunnes varoventtiili avautui. Varon kautta sondista karkasi lämmönsiirtoöljyä niin, että höyrystin kuivui ja ylikuumeni. Sondin ylipaineistuminen tapahtui kattilan ollessa täydessä kuormassa.

Sondia suunniteltaessa oli oletettu, että sondiin kohdistuva lämpökuorma olisi enimmillään 150 – 200 kW/m². Sondi toimi lämpökuorman ollessa tällä alueella, mutta lämpökuorman noustessa suuremmaksi ei jäähdytysteho enää ollut riittävä, joten sondin rakennetta oli muutettava.

Muutetun sondin toiminta myös kattilan ollessa täydessä kuormassa päätettiin varmistaa ennen varsinaisten kokeiden jatkamista tekemällä testi, jossa ei käytetä kaikkia koemateriaaleja, vaan höyrystimen etuseinä kootaan pelkästään 3R12-teräksestä.

Testi 2.

Toinen koe tehtiin huhtikuussa 2006. Kokeen tulokset on esitetty kuvassa 2.



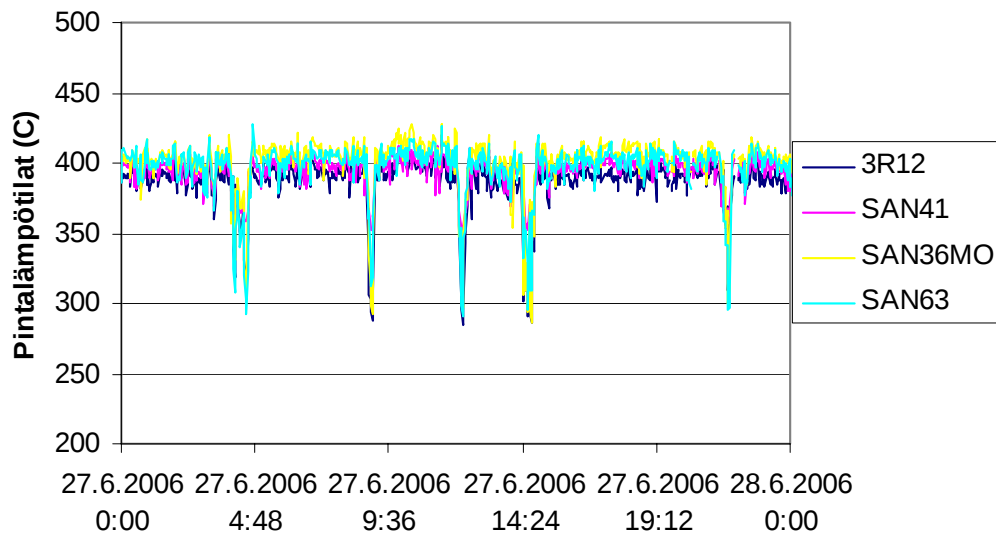
Kuva 2. Toisen testin tulokset

Kokeen tulokset osoittivat sondin toimivan suunnitellusti kattilan ollessa täydessä kuormassa. Sondiin kohdistuva maksimilämpökuorma jäi tosin alhaisemmaksi kuin edellisessä kokeessa, mutta säädön voitiin tulosten perusteella päätellä toimivan, vaikka lämpökuorma olisi ajoittain suurempikin.

Tulokset osoittivat myös, että sondin lämpötilan automaattinen säätö toimi sikäli hyvin, että höyrystimen etuseinän alaosan lämpötila oli hyvin lähellä tavoitearvoa aina, kun sondiin kohdistuva lämpökuorma oli riittävän suuri. Toisaalta höyrystimen ylä- ja alaosan lämpötilojen välillä oli eroa ajoittain noin 50°C. Lämpötilaerojen ollessa näin suuria ei höyrystimen etuseinään voitaisi asentaa eri koemateriaaleja niin, että materiaalien lämpötila olisi sama (400 tai 440°C), joten tämän epäkohdan korjaamiseksi jouduttiin sondin rakennetta muuttamaan edelleen. Ensimmäisessä kokeessa ei vastaavaa ongelmaa havaittu, joten oletus oli, että koemateriaalien lämpötilojen tasaamiseksi tarvittavat muutokset sondin rakenteessa olivat toteutettavissa. Seuraava koe päätettiin siten toteuttaa käyttäen koemateriaaleja.

Koe 1.

Koe tehtiin 26.6. – 7.8. sen keston ollessa 1006 h. Lämpötilan säätö toimi kokeessa pääsääntöisesti mainiosti, kuten kuvan 3 tuloksista on havaittavissa. Kuvassa on esitetty esimerkki materiaalien pintalämpötiloista yhden vuorokauden ajalta.



Kuva 3. Koemateriaalien pintalämpötiloja ensimmäisessä kokeessa

Eri koemateriaalien lämpötilat ovat kohtalaisen lähellä toisiaan ja tavoitteena ollut 400°C lämpötilaa.

Laskentatulosten mukaan San41-koepalan, jossa säädössä käytetty lämpötilamittaus oli, pintalämpötila vaihteli kokeen aikana alueella 388 – 432°C noin 630 tunnin ajan. Ko. jaksoina koemateriaalien lasketut keskimääräiset pintalämpötilat olivat 391°C (3R12), 405°C (San36Mo), 397°C (San41) ja 401°C (San63).

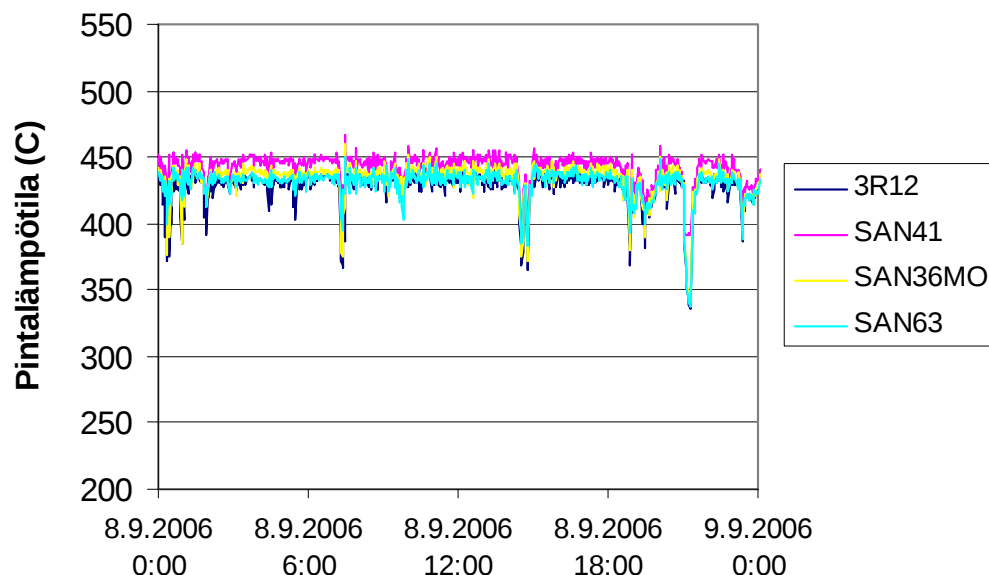
Valitettavasti lämpötilan säätö ei pysynyt vakaana koko kokeen ajan, vaan koemateriaalien lämpötilat karkasivat neljä kertaa yli 500°C. Jaksojen, joilla koemateriaalien lämpötilat olivat yli 500°C, yhteiskesto oli 2,5 h. Korroosion kannalta luultavasti kriittinen lämpötila on 660°C, jossa muodostuu nikkelin ja rikin eutektinen seos. Tätä lämpötilaa korkeampia lämpötiloja mitattiin koepaloissa vain 10 minuutin ajan ja vain yhdessä materiaalissa (San63). On siten mahdollista, että lämpötilojen ajoittaisesta karkaamisesta huolimatta tulokset ovat – mahdollisesti San63 pois lukien – edustavia.

Syynä edellä mainittuihin lämpötilapiikkeihin oli höyrystimen peittyminen ajoittain märkään lipeään niin pitkäksi aikaa, että sondi jäähdyi – siitä huolimatta, että puhallin ohjautui minimikierroksille – niin, että lipeän syttyessä uudelleen sondin paine oli matala. Lämmönsiirtonesteen kriittinen lämpövuoto, ts. lämpökuorma, jonka neste kykenee ottamaan vastaan ilman, että nesteen ja kuumen pinnan välille muodostuu yhtenäinen höyrykalvo, joka toimii eristeenä aiheuttaen pinnan lämpötilan karkaamisen satoja asteita nesteen lämpötilaa korkeammaksi, on paineesta riippuva laskien paineen alentuessa. Sondin paineen ollessa matala ja lipeän syttyessä äkillisesti höyrystimen pinnalla ylitti pintaan kohdistuva lämpövuoto hetkellisesti kriittisen lämpövuon, jonka seurauksena pinnan lämpötila nousi noin 600°C:een eli noin 200°C verran.

Lämpötilapiikkien eliminoimiseksi varustettiin sondi seuraavassa kokeessa sähkövastuksella, jonka tehtävänä oli pitää sondia paineisena höyrystimeen kohdistuvan lämpökuorman ollessa pieni.

Koe 2.

Koe tehtiin 1. – 29.9. sen keston ollessa 484 h. Koe keskeytettiin suunniteltua aiemmin, kun sondin nestepinnan todettiin laskeneen selvästi eikä vuotoa ollut tiedossa. Koepalojen lämpötiloihin nesteen pinnan laskulla ei ollut vaikutusta. Esimerkki kokeen aikaisista tuloksista on kuvassa 4.



Kuva 4. Koemateriaalien pintalämpötiloja toisessa kokeessa

Sondin jäähdytystä ohjattiin San41-koepalan lämpötilan mukaan niin, että koepalojen pintalämpötilat olivat noin 440°C. Tulosten mukaan San41-koepalan pintalämpötila oli yli 420°C yhteensä 354 tunnin ajan, jona aikana pintalämpötilan keskiarvot olivat 431°C (3R12), 437°C (San36Mo), 444°C (San41) ja 432°C (San63). Koepalojen pintalämpötila oli yli 470°C ainoastaan kuuden minuutin ajan suurimman arvon ollessa 509°C.

Sondiin lisätty vastus toimi 16.9. saakka, jolloin se paloi aiheuttaen myös sulakkeen palamisen. Sondin mittaukset ja puhallin saivat sähkönsä samaisesta sulakepiiristä, joten sondi oli ilman aktiivista jäähdytystä eikä sen tilasta ei ole varmaa tietoa 47 h tunnin jaksolta.

Varoventtiili rajoittaa sondin paineen niin, että koepalojen pintalämpötila voi olla korkeintaan noin 490°C:een. Varoventtiilin koestustulosten perusteella varo ei ole avautunut kokeen aikana, joten on mahdollista, että koemateriaalien lämpötilat ovat olleet sähkökatkon ajan em. alhaisempia. Tätä oletusta tukee se, että koepalojen lämpötilat olivat noin 440°C sähkönsyötön palautuessa ja suurimman osan sähkökatkosta kattilan kuorma oli selvästi alhaisempi kuin sähköjen palautuessa.

YHTEENVETO

SoTu-hankkeessa onnistuttiin suunnittelemaan ja rakentamaan täysin uudenlainen sondi, jota käyttäen voidaan eri materiaaleja koestaa soodakattilan tulipesässä niin, että materiaalien lämpötila on säädettävissä vastaamaan tulipesäputkien lämpötilaa korkeapaineisessa soodakattilassa.

Sondilla tehtiin hankkeessa kaksi koetta, joissa koemateriaalien lämpötilat olivat noin 400 ja 440°C. Kokeiden kestot olivat n. 1 000 ja 500 h.

Ensimmäisessä kokeessa koemateriaalien lämpötilan säätö toimi hyvin lukuun ottamatta noin 2,5 tunnin jaksoa, jona lämpötilat karkasivat yli 500°C. Lämpötilapiikit aiheutuivat sondin höyrystimen peittymisestä märkään lipeään ja lipeään syttymisestä äkillisesti sondin paineen ollessa matala.

Lämpötilapiikkien estämiseksi toisessa kokeessa asennettiin sondiin sähkövastus. Vastuksen tarkoitus oli ylläpitää sondin painetta jaksoilla, joilla tulipesästä sondiin siirtyvä lämpöteho on alhainen.

Sondissa tehtyjen muutosten ansiosta koemateriaalien lämpötilan säätö toimi toisessa kokeessa erinomaisesti. Koemateriaalien pintalämpötilat olivat lähellä tavoitteena ollutta 440°C lämpötilaa ja vaihtelut lämpötiloissa olivat vähäisiä. Vastoinikäymisenä kokeessa oli, että sähkövastuksen palamisen seurauksena sondin laitteet jäivät ilman sähköä 47 tunnin ajaksi, jolta ajalta mittaustiedot puuttuvat. Vastuksen palamisesta aiheutunut katko mittauksissa ja sondin jäähtytyksessä olisi ollut estettävissä asentamalla muut laitteet eri sulakepiiriin.

Normaalisti kokeet olisi luultavasti toistettu tulosten varmentamiseksi, mutta hankkeen tiukan aikataulun takia tähän ei ollut nyt mahdollisuuksia. Tulokset ovat tämän vuoksi alustavia. Mikäli kokeita jatketaan, voidaan koemateriaaleja testata myös eri kohdissa tulipesää tai korkeammissa lämpötiloissa, jotka vastaavat pitkään käytössä olleen kattilan putkien lämpötiloja.

Sondia voidaan käyttää myös soodakattilan tulipesän seiniin kohdistuvan lämpökuorman mittaukseen. Nyt tehtyjen mittausten mukaan seinään kohdistuva lämpökuorma lipeäruiskutasolla vaihtelee ajoittain huomattavasti. Suurimmillaan kuorma oli noin 275 kW/m² (kokeessa 1) keskimääräisten

kuormien ollessa kokeissa 1 ja 2 169 ja 123 kW/m². Ilmeinen syy paikallisen lämpökuorman ajallisiin vaihteluihin on määrän lipeään roiskuminen seinille.