



SOODAKATTILAN SEINÄMATERIAALIEN SONDIKOEET

Timo Karjunen
Boildec Oy

Tausta

SOTU-hankkeessa on tutkittu VTT:n toimesta erilaisten seinämateriaalien (304L, Sanicro 36Mo, Sanicro 38, Sanicro 65, 4C54 ja HR11N) sulfidoitumiskestävyyttä laboratorikokein. Koetulosten perusteella kaikki materiaalit kestävät hyvin korkeita (400 - 440°C) lämpötiloja, jos materiaalit ovat atmosfäärissä, jossa on myös vesihöyryä. Jos taas vesihöyryä ei ole, kaikkien materiaalien pinta sulfidoituu.

Tulipesäolosuhteita ei tunneta niin tarkasti, että voitaisiin varmuudella sanoa, millaisissa olosuhteissa tehtyt laboratorikokeet kuvaavat parhaiten materiaalien käyttäytymistä tulevaisuuden soodakattiloissa. Laboratorikokeiden tuloksiin liittyvien epävarmuuksien minimoimiseksi on niitä suunniteltu täydennettävän kokeilla, joissa koemateriaalit altistetaan soodakattilan tulipesän todellisille olosuhteille.

Yksin jo kattiloiden käyttöpaineen nosto tulee aiheuttamaan sen, että tulevaisuuden soodakattiloiden seinämateriaalien pintalämpötilat tulevat olemaan selvästi nykyisten kattiloiden seinäputkien pintalämpötiloja korkeampia. Tästä johtuen tulevaisuuden soodakattiloiden materiaaleja ei voida testata realistisissa olosuhteissa yksinkertaisesti korvaamalla osa jonkin jo olemassa olevan kattilan putkista testimateriaaleista tehdyillä putkilla, kuten yleensä menetellään uusia materiaaleja testattaessa. Tulevaisuuden soodakattiloiden materiaalien testaaminen nykyisessä soodakattilassa on kuitenkin mahdollista, jos koemateriaaleista tehtyjä kappaleita jäähdytetään erillään kattilaputkien vesikierrosta ja jäähdytys toteutetaan niin, että koemateriaalien pintalämpötila voidaan kokeen aikana säätää halutuksi.

Tässä esityksessä on kuvattu koelaitteisto, jota käyttäen koemateriaalit altistetaan tulipesäolosuhteille SOTU-hankkeessa, ja ensimmäisen tehdyn kokeen tulokset.

Tulipesäsondi

Tulipesämateriaalien koestamiseksi tulevaisuuden soodakattiloiden käyttöolosuhteita vastaavissa olosuhteissa on Boildec rakentanut koelaitteiston, jonka pääkomponentteja ovat lipeäruiskuaukkoon sijoittava höyrystin, ilmajäähdytteinen lauhdutin ja ne yhdistävä putkisto. Höyrystimen tulipesän puoleinen seinä kootaan koemateriaaleista.

Piirissä käytetään lämmönsiirtoaineena orgaanista lämmönsiirtoainetta, jonka kiehumislämpötila normaalissa ilmanpaineessa on 257°C ja 11 barin paineessa 400°C. Lämmönsiirtoaineen ominaisuuksien ansiosta laitteistossa voidaan saavuttaa suhteellisen korkeita lämpötiloja jo matalissa paineissa.

Koelaitteiston instrumentointiin kuuluu kuhunkin koemateriaalipalaan kiinnitettävät termoelementit, joiden avulla voidaan määrittää koemateriaalien pintalämpötilat kokeiden aikana, piirin painetta mittaava paineanturi sekä näkölasi, jonka kautta voidaan seurata lämmönsiirtoaineen pintaa. Termoelementtejä kiinnitetään koemateriaaleihin sekä kuuman että kylmän pinnan läheisyyteen, jolloin tulosten perusteella voidaan laskea paikallisen lämpökuorman suuruus.

Koemateriaalien pintalämpötilaa voidaan säätää ohjaamalla lauhduttimeen jäähdytysilmaa puhaltavaa puhallinta. Puhaltimen tehon alentuessa lämmönsiirto lauhduttimessa heikkenee, jonka seurauksena piirin paine ja lämpötila nousevat, kunnes lämmönsiirto tehostuu niin, että uusi tasapainotila on saavutettu.

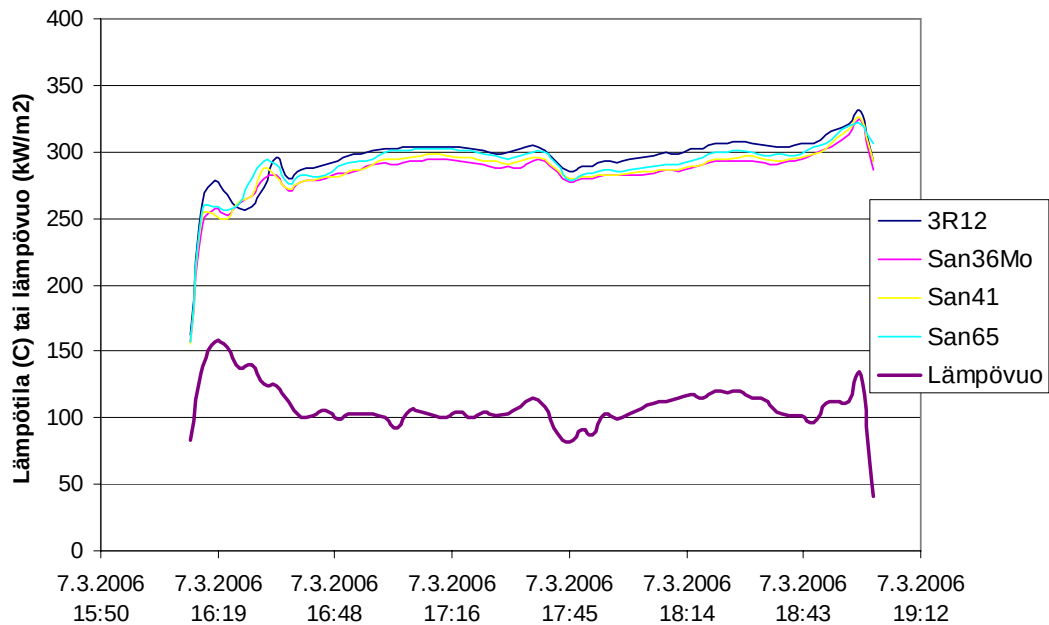
Ensimmäinen koe

Tulipesäsondilla on tehty ensimmäinen koe, jossa sondi asennettiin Metsä-Botnian Joutsenon tehtaan soodakattilaan. Sondin asennuspaikkana oli vasemman sivuseinän etuseinän puoleinen ruiskuaukko, joka on 6 m 70 cm korkeudella tulipesän pohjasta ja noin metrin etäisyydellä etuseinästä.

Sondi asennettiin paikoilleen, kun kattila oli kaasutulilla ja käytössä oli yksi lipeäruisku. Höyryn tuotto oli noin 50 kg/s.

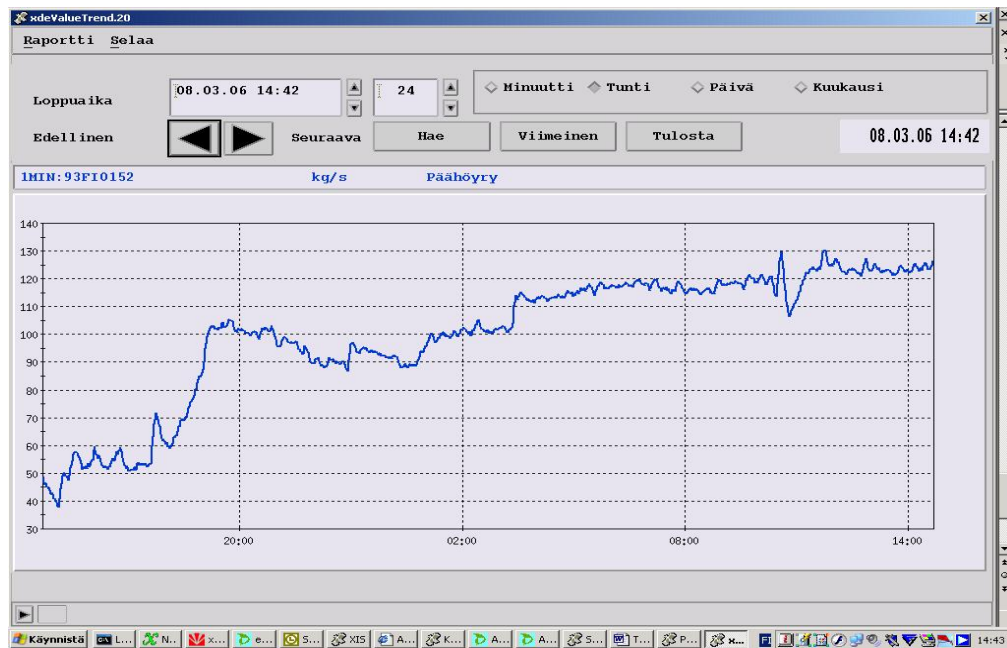
Asennus tehtiin sondin ilmapuhaltimen ollessa täysillä kierroksilla sen varmistamiseksi, että koemateriaalien lämpötila ei ylitä tavoitteena olleita

lämpötiloja kuorman noston yhteydessä. Tämän ansiosta koemateriaalien lämpötilat olivat suhteellisen matalia, luokkaa 300°C, kattilan kuorman ollessa alhainen (kuva 1). Sondiin kohdistuva lämpökuorma oli lämpötilamittausten mukaan tällöin noin 100 – 150 kW/m².



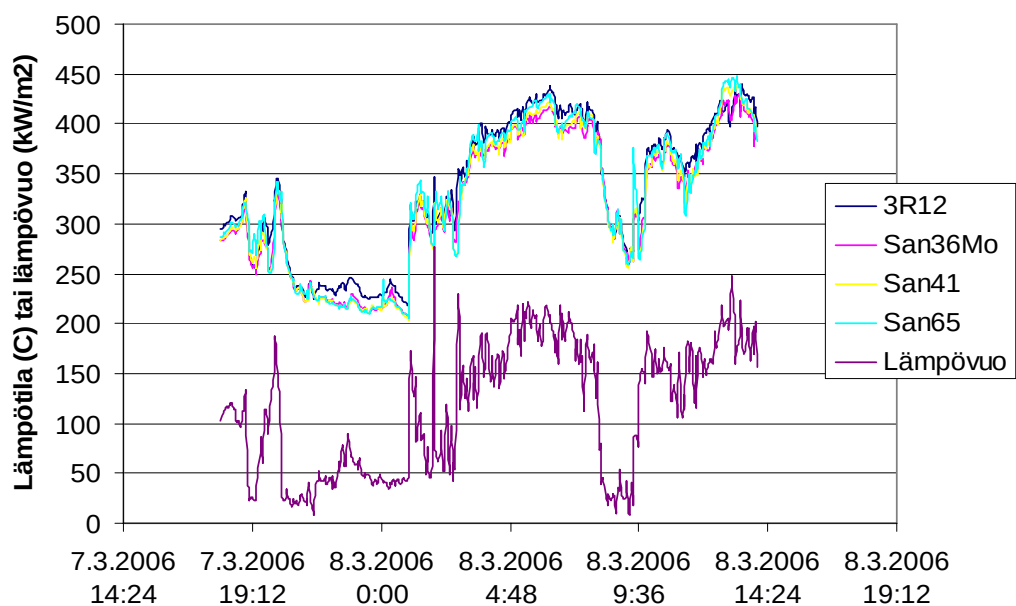
Kuva 1. Koepaloihin asennettujen termoelementtien tulokset sekä tulosten perusteella laskettu koepaloihin kohdistuva lämpövuoto

Kattilan kuormaa nostettiin 7.3. noin klo 19 niin että höyryn tuotto kaksinkertaistui tasolle 100 kg/s. Kuormaa nostettiin yön aikana edelleen niin, että noin klo 3 höyryn tuotto oli noin 120 kg/s (kuva 2).



Kuva 2. Soodakattilan höyryn virtaus kuorman noston aikana 7. - 8.3.

Muutokset kuormassa näkyvät sondin lämpötiloissa (kuva 3).



Kuva 3. Koepaloihin asennettujen termoelementtien tulokset sekä tulosten perusteella laskettu koepaloihin kohdistuva lämpövuoto

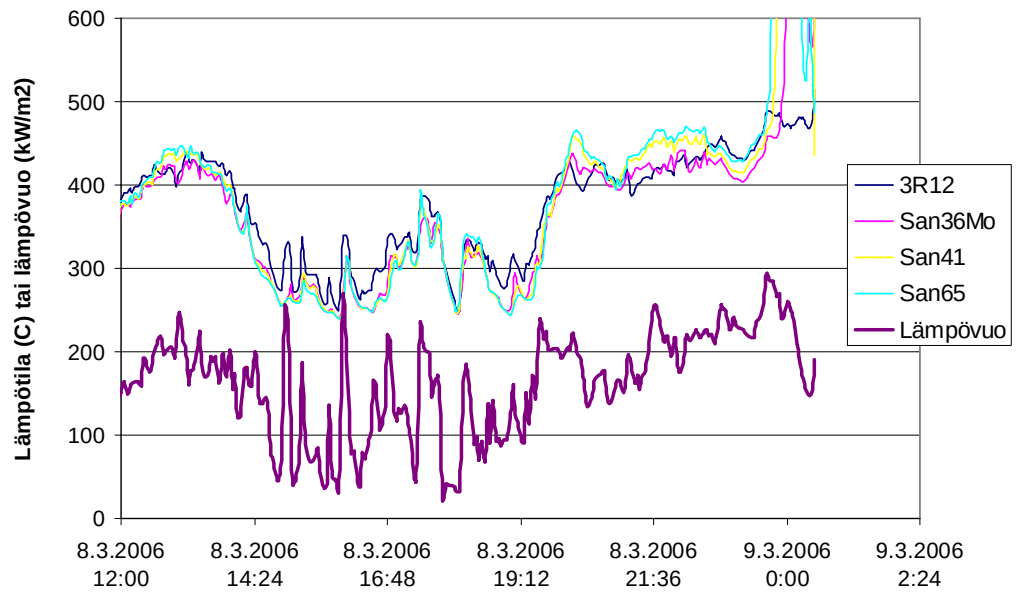
Sondiin kohdistuvan kuorman ollessa luokkaa 200 kW/m^2 nousivat koemateriaalien lämpötilat niin, että 3R12-koepalan pinnan keskilämpötila oli 438°C ja Sanicro-koepalojen vastaavasti 423, 427 ja 433°C . Koepalojen pintalämpötilat olivat kohtalaisen lähellä kokeissa tavoiteltua pintalämpötilaa 440°C , joten vaikutti mahdolliselta, että koe voitaisiin toteuttaa onnistuneesti, mikäli kattilan kuorman nosto ei enää nosta koepalojen lämpötiloja edelleen. Kokemukset tulipesän lämpötilojen muutoksista kuorman nostossa tukivat tätä olettamusta, joten koetta päätettiin jatkaa, vaikka käytännössä mahdollisuutta lämpötila rajoittamiseen, mikäli siihen tulisi tarvetta, ei ollut, koska puhallin toimi jatkuvasti täysillä kierroksilla. Syynä jäähdytyskapasiteetin niukkuuden oli, että laitteisto suunniteltiin olettaen, että sondiin kohdistuva lämpökuorma on noin 150 kW/m^2 . Mittaustulosten mukaan lämpökuorma oli kuitenkin noin 30 % suurempi.

Sondin vaurioituminen

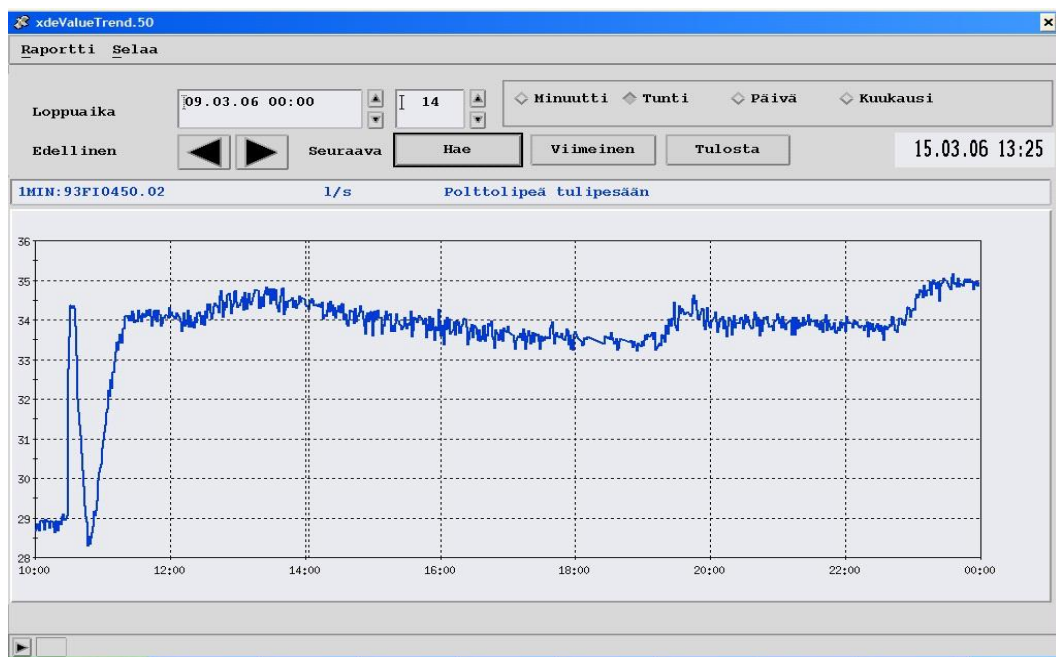
Kattilan höyryn tuotto pysytteli 8.3. klo 12 jälkeen tasolla 120 – 130 kg/s, mutta tästä huolimatta sondiin kohdistuva kuorma vaihteli huomattavasti. Vaihtelu tasaantui hieman illan aikana, ja kuorma alkoi kohota ollen klo 21.30 – 23.30 noin 230 kW/m^2 ajoittaisen maksimikuorman ollessa 255 kW/m^2 (kuva 4). Kuorman nousun seurauksena koemateriaalien pinta lämpötilat nousivat korkeammiksi kuin mitä kokeessa tavoiteltiin ollen enimmäkseen luokkaa $445 - 480^\circ\text{C}$.

Koepalojen lämpötila laski hieman 22.30 – 23.30, mutta pian tämän jälkeen lämpötilat nousivat uudelleen, ja varsinkin höyrystimestä ylimpänä olevan Sanicro 65-koepalan lämpötila nousi jyrkästi ylittäen noin puolen tunnin kuluessa 900°C . Muiden koepalojen lämpötilat seurasivat ylimmän koepalan lämpötilaa viiveellä, jonka pituus vaihteli muutamasta minuutista tuntiin. Viimeisimpänä lämpötila nousi alimmassa, 3R12-materiaalista tehdyssä koepalassa.

Höyrystimen yläosassa olevien koepalojen lämpötilan karatessa noin klo 23.42 oli höyrystimeen kohdistuva lämpövuoto lämpötilamittauksien tulosten mukaan 280 kW/m^2 . Lämpötilojen karkaaminen osuus yhteen myös polttoliipeävirtauksen kasvun kanssa (kuva 5).



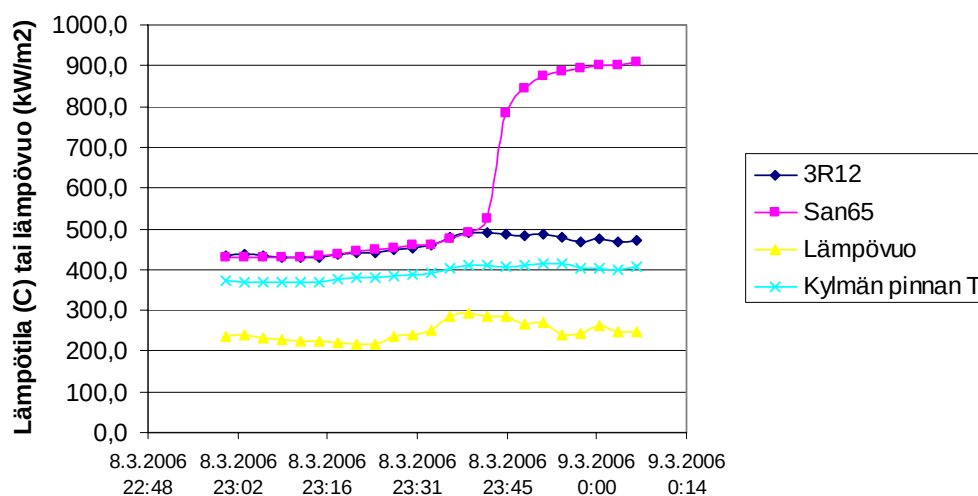
Kuva 4. Koepaloihin asennettujen termoelementtien tulokset sekä tulosten perusteella laskettu koepaloihin kohdistuva lämpövuoto



Kuva 5. Polttoliipeävirtaus tulipesään 8.3. klo 10 – 24.

Arvio sondin vaurioitumisen syistä

Koepalojen lämpötilan alkaessa nousta hallitsemattomasti noin klo 23.36 oli koepalojen kylmän pinnan lämpötila termoelementtien tulosten perusteella arvioiden noin 411°C (kuva 6). Tätä lämpötilaa vastaava lämmönsiirtoaineen höyrystymispaine on 12,2 bar (abs). Todellisuudessa sondin paine on ollut tätä alempi, sillä lämmönsiirtoaineen lämpötilan on oltava pinnan lämpötilaa alhaisempi, jotta lämpö siirtyisi koepalasta nesteeseen.



Kuva 6. Koepalojen mitatut lämpötilat ja tulosten perusteella laskettu koepalojen nestepinnan puoleisen pinnan lämpötila ja lämpökuorma sondin ylikuumenemisen aikoihin

Sondin varoventtiilin avautumispaine oli VTT:llä tehtyjen mittausten mukaan vähintään 11,5 bar (abs), joten on mahdollista, että varoventtiili avautui San65-koepalan lämpötilan noustessa jyrkästi. Valitettavasti paineanturin vikaantumisen takia piirin painetta kokeen aikana ei voitu mitata, joten tapahtumien järjestyksestä ei voida määrittää täysin varmasti. Mahdollista on myös, että lämpötilan nousu höyrystimen yläosassa aiheutui lämmönsiirtokriisistä, jossa lämmönsiirtopinnan ja nesteen välille muodostuu yhtenäinen höyrykalvo, joka toimii eristeenä. Jos näin on, tapahtui lämmönsiirtokriisi lämpökuorman ollessa 284 kW/m². Lämpövuoto, jossa lämmönsiirtokriisi tapahtuu, kasvaa paineen noustessa, joten kriisin tapahtuminen samaan aikaan sondin paineen nousun kanssa ei tunnu kuitenkaan todennäköiseltä. Syynä varoventtiilin avautumiseen oli joka tapauksessa höyrystimeen kohdistuvan lämpökuorman kasvu lähes kaksinkertaiseksi suunnittelunperustana käytettyyn lämpökuormaan verrattuna.

YHTEENVETO

Ensimmäisen kokeen tulokset voidaan summata seuraavasti

1. Tulipesäsondi toimi suunnitellusti, kun sondiin kohdistuva lämpökuorma oli 100 - 200 kW/m². Koemateriaalien pintalämpötilaa voitiin tällöin säätää niin, että lämpötilat olivat enimmillään n. 423 - 438°C.
2. Tulipesäsondin säätökapasiteetti ei riittänyt rajoittamaan koemateriaalien pintalämpötiloja alle 440°C, kun sondiin kohdistuva lämpökuorma oli 200 - 280 kW/m².
3. Tulipesäsondi tuhoutui, kun lämpökuorma oli yli 280 kW/m². Lämpökuorman kohotessa lähes kaksinkertaiseksi sondin suunnittelussa käytettyyn lämpökuormaan verrattuna sondi todennäköisesti paineistui niin, että varoventtiili avautui, jolloin huomattava osa lämmönsiirtoaineesta karkasi sondista. Tämä johti lämmönsiirron katkeamiseen ja sondin osittaiseen sulamiseen.

Syynä hajontaan koemateriaalien pintalämpötiloissa oli mitoituksessa käytettyjen lähtötietojen epätarkkuudet. Ensimmäisen kokeen tuloksia käyttäen voidaan jatkokokeet suunnitella niin, että lämpötilaerot eri materiaalien pintalämpötilojen kesken ovat tasattavissa nyt koettua paremmin.

Ensimmäisen kokeen tulosten perusteella sondiin kohdistuvat lämpökuormat ovat huomattavasti suurempia kuin mitä etukäteen otaksuttiin. Jatkossa laitteistoa voidaan modifioida niin, että lauhdutinkapasiteetti riittää säätöön kun lämpökuorma on 200 - 350 kW/m². Samalla sondin rakennetta voidaan muuttaa niin, että suunnittelupainetta ja varoventtiilin avautumis-painetta voidaan nostaa, jolloin marginaali käyttöpaineeseen kasvaa.