

**SÄÄTÖTEKNIIKAN LABORATORIO**

**Strip Temperature Toolbox -  
Lämpötilaprofiilien piirteet ja analyysit**

Jani Posio

Raportti B No 60, Marraskuu 2005



**Oulun yliopisto**  
**Säätötekniikan laboratorio**  
**Raportti B No 60, Marraskuu 2005**

**Strip Temperature Toolbox -  
Lämpötilaprofiilien piirteet ja analyysit**

Jani Posio

Oulun yliopisto, Säätötekniikan laboratorio

**Lyhennelmä:** START-projektissa kehitettiin Strip Temperature Toolbox (STT) työkalupaketti kuumanauhavalssaamon skannaavilta SCOAP-pyrometreilta (SCOAP0 ja SCOAP1) saatavan kaksiulotteisen lämpötiladatan piirreirrotukseen, analysointiin ja käsittelyyn. Kehitystyö tehtiin käyttäjän tarvemäärittelyyn perustuen. Kehitystyö edellytti kuvankäsittelyn, signaalinkäsittelyn ja tilastotieteen menetelmien soveltamista. Toteutustyökaluna käytettiin Matlab<sup>®</sup>-ohjelmistoa toolboxeineen. Tässä raportissa tutustutaan STT:ssä käytettyihin menetelmiin ja niitä varten kehitettyihin menetelmäfunktioihin.

STT toteuttaa operaatioita lämpötilaprofiilien esikäsittelyyn, trendien, kynnystettyjen ja suodatettujen profiilien laadintaan sekä yksi- että kaksiulotteisiin profiilianalyysiin. STT mahdollistaa ensimmäisen varsinaisen analyysi vaiheen, piirreirrotuksen. Normaalisti esim. konenäköjärjestelmien yhteydessä kuvankäsittelyjärjestelmien tärkein tavoite on etsiä kuvasta oleellisia piirteitä, joiden avulla näkyvän kuvaus, tulkinta tai ymmärrys voidaan tuottaa automaattisesti.

STT:n piirreirrotuksessa halutaan lämpötilakuvasta löytää ja mitata analysointitehtävän kannalta oleellisia piirteitä, joita tässä tapauksessa olivat esimerkiksi nauhan kylmät kohdat, poikki- ja pituussuuntaiset trendit, nauhan lämpötilojen toispuoleisuus jne. Analysointitehtävän kannalta oleellisimmiksi piirteiksi valittiin mm. polynomitrendit, suodatetut 1D- ja 2D-profiilit, kynnystetyt profiilit, profiilin konveksit pisteet ja konveksi peite, klusteroitu profiili ja profiilin tekstuuri- ja piirteet. STT:n kehitys jätettiin projektin aikataulun vuoksi vaiheeseen, jossa varsinaista tuotetun piirteen merkitystä ei analysoida, vaan merkityksen luominen jätetään käyttäjän vastuulle.

**Hakusanat:** Käyttöliittymä, kuumanauhavalssaamo, lämpötilaprofiili, piirreirrotus.

**ISBN 951-42-7961-1 (PDF)**

**ISBN 951-42-7902-6**

**ISSN 1238-9404**

**Oulun yliopisto**

**Säätötekniikan laboratorio**

**PL 4300**

**FIN-90014 OULUN YLIOPISTO**



## Sisällysluettelo

1	JOHDANTO .....	1
2	SOVELLETUT MENETELMÄT .....	2
2.1	Menetelmäfunktiot .....	2
2.1.1	Päädialogissa käytetyt menetelmät .....	2
2.1.2	Esikäsittelydialogissa käytetyt menetelmät .....	3
2.1.3	Trendialogissa käytetyt menetelmät .....	4
2.1.4	Suodatusdialogissa käytetyt menetelmät .....	6
2.1.5	1D-analyysimenetelmät .....	8
2.1.6	2D-analyysimenetelmät .....	13
3	YHTEENVETO .....	15



# 1 JOHDANTO

START-projektin ”mittauksesta saatavan tiedon kehittäminen” -osatehtävän perimmäisenä tavoitteena oli tutkia, miten kaksiulotteista lämpötilamittausta voitaisiin parhaiten hyödyntää sekä tuotteen että tuotteen vaikuttavan osaprosessin analysoinnissa. Projektin puitteissa sovellettiin useita eri menetelmiä skannaavilta SCOAP-pyrometreilta (SCOAP0 ja SCOAP1) saatavien lämpötilaprofiilien esikäsittelyssä, piirreirrotuksessa ja analysoinnissa. STT käyttää pääasiassa kuvankäsittelyn, tilastotieteen ja digitaalisen signaalinkäsittelyn menetelmiä. Menetelmiä sovelletaan sekä kaksiulotteiseen että yksiulotteiseen dataan. Yleisenä periaatteena käytettävän datan luomisessa oli muodostaa yksiulotteisia profiilikuvauksia kaksiulotteisesta profiilista tai tarkastella suoraan kaksiulotteista profiilia.

Tutkimuksen datana käytetyt lämpötilaprofiilit kuvaavat lämpötilatietoa kahdessa dimensiossa (lämpötilamatriisi). Skannaava mittalaite tuottaa kuvan liikkuvan tuotteen (kuumanauha) pintalämpötilasta. Lämpötilamatriisista voidaan etsiä paikkariippuvia, spatiaalisia piirteitä, joita ovat esim. amplitudipiirteet ja histogrammipiirteet. Amplitudi-arvoja tarkasteltaessa käytetään hyväksi jokaisen pikselin arvoa, amplitudia. Lämpötilakuvat vastaavat kuvan käsittelyn kannalta harmaasävykuvia, koska amplitudi-arvona on yksi intensiteetti-arvo ( $^{\circ}\text{C}$ ). Amplitudi ilmaisee tässä tapauksessa väriarvon sijasta lämpötilaa, mutta toisaalta visualisoitaessa tietty lämpötila-arvo vastaa tiettyä väriarvoa riippuen käytetystä värien esitystavasta ja skaalauksesta. Muodostettavat piirteet voivat olla abstraktejakin, jotka koostuvat peruspiirteistä esim. reunat, viivat, rajat ja alueet.

Tutkimuksellisesta näkökulmasta tarkasteltuna projektin lämpötilaprofiilin käsittelyyn liittyvä tutkimusongelma voitaisiin esittää esimerkiksi seuraavissa muodoissa: miten kaksiulotteisia lämpötilatietoja voidaan jalostaa ja hyödyntää jäähdytyksen ja kuumanauhatuotteen analysoinnissa, tai mitkä piirteet kuvaavat parhaiten vesiverhojajäähdytyksen toimintaa tai jäähdytyksen onnistumista? Projektin aloitusvaiheessa tilaajalla (Rautaruukki) oli jo etukäteisnäkemys mahdollisista tarvittavista piirreirrotuksista ja analyyseistä. Näitä tarpeita pidettiin myös suuntaviivoina varsinaisessa kehitystyössä. Eräs ilmennyt ongelma oli määrittellä onnistunut jäähdytys. Asiantuntijan näkemys on aina hyvin subjektiivinen, joten tutkijan oli muodostettava oma näkemyksensä usean asiantuntijan näkemyksen perusteella. Periaatteena oli ajatella onnistunutta jäähdytystä jäähdytyksenä, jossa tavoite saavutetaan toleranssien rajoissa ja jäähtymisnopeudessa ei esiinny suuria gradientteja. Tämä takaa lopputuotteen kannalta oikean mikrorakenteen ja mekaaniset ominaisuudet.

Projektin aloitusvaiheessa työn suorittajalla oli vähän kokemusta kaksiulotteisen datan käsittelystä ja analysoinnista, joten tehtävä oli varsin haastava ja opettavainen. Aikaisempia tutkimustuloksia sovelluskehitystä vastaavasta kohdeprosessista oli vähän saatavilla. Nykyiset sovellukset ovat suurimmilta osin eri laitevalmistajien (LAND, Thermoteknix Systems Ltd) toteuttamia. Toisaalta muita kaksiulotteisen pinnan analysointimenetelmiä käytettäviä sovelluskohteita on lukuisia, kuten esimerkiksi paperiteollisuuden kosteus- ja neliömassaprofiilit ja yleisesti eri konenäkömenetelmät. Tavoitteena useimmissa kaksiulotteisten pintojen (kuvien) analysointisovelluksissa on saada ilmiöt ja piirteet esille piirreirrotuksella ja edelleen tehdä havaintojen perusteella johtopäätöksiä pinnan synnyttäneestä prosessista tai itse pinnasta.

## 2 SOVELLETUT MENETELMÄT

Strip Temperature Toolbox:ssa käytetyt menetelmät määräytyivät lähinnä kohdedatan ja tutkimuksen tilaajan tarvemäärittelyiden perusteella. Pelkkää dataa tarkasteltaessa lämpötilamittaus voidaan käsittää kaksiulotteisena pintana, lämpötilan intensiteettikuvana tai vaihtoehtoisesti sarjana pituus- ja poikkisuuntaisia yksiulotteisia signaaleja. Tarvemäärittelyissä puolestaan mainitaan yksi- ja kaksiulotteiset trendit (polynomisovitukset), taajuuskaistaltaan säädettävät suodatukset, kynnystetyt profiilit ja eri yksi- ja kaksiulotteisista profiileista tehtävät analyysit. Molemmat lähestymistavat viittaavat kuvankäsittelyyn, digitaaliseen ja tilastolliseen signaalinkäsittelyyn. Nämä teoria-alueet olivatkin STT:n menetelmäkehityksen perustana.

Lämpötilaprofiilin piirteiden perusteella tehtävä kuvaus tai tulkinta voidaan määrittellä tuotteen (kuumanauha) perusteella tehtävänä jäähtymisen onnistumisen arviointina. Esimerkiksi nauhan lämpötilajakauman ollessa toispuoleinen, voidaan arvioida jäähtymisen kompensointikykyä tähän piirteeseen liittyen, eli miksi jäähtymys ei poista toispuoleisuutta. Nauhan lämpötilaprofiilissa esiintyvä pituussuuntainen raita voidaan puolestaan tulkita esimerkiksi suutintukkeumaksi, joka laskee jäähtymisen suorituskykyä. Tässä projektissa ei kuitenkaan edetty analysoinnin tälle asteelle, vaan piirteen merkityksen tulkinta ja päättely jätettiin sovelluksen käyttäjän vastuulle ja mahdolliseen jatkokehitysvaiheeseen.

### 2.1 Menetelmäfunktiot

Tässä osassa esitetään profiilien muokkaukseen, piirteiden irrotukseen ja analysointiin kehitetyt funktiot. STT:n käyttämät funktiot voidaan pääasiassa jakaa käyttöliittymän välineiden (painonapit, valikot, jne.) käyttämiin callback-funktioihin ja erillisiin menetelmäfunktioihin, jotka ovat käytettävissä myös suoraan Matlab<sup>®</sup>-komentoriviltä. Menetelmäfunktioilla toteutettiin sovelluksen käyttämät lämpötilaprofiilien esikäsittely-, muokkaus-, trendi-, suodatus-, kynnystys ja analysointimenetelmät. Callback-funktiot kutsuvat menetelmäfunktioita suorittaessaan edellä mainittuja operaatioita. Seuraavaksi esitellään dialogikohtaisten menetelmäfunktioiden toimintaa sekä dialogeissa laskettuja ja esitettyjä piirteitä ja tunnuslukuja.

#### 2.1.1 Päädialogissa käytetyt menetelmät

Päädialogissa toteutetuissa operaatioissa käytetään vain muutamaa menetelmäfunktioita. Kyseiset funktiot on kuvattu Taulukossa 1 lyhyin toimintakuvaus. Funktioita hyödynnetään pituussuuntaisen käyvän profiilialueen määrittelyssä ja spatiaalisen näytevälän laskennassa pituus- ja poikkisuunnassa.



**Taulukko 1.** Päädialogissa käytetyt menetelmäfunktiot.

<b>Nro</b>	<b>Funktio</b>	<b>Kuvaus</b>
1	Find_ValidProfArea.m	Pituussuuntaisen validin profiili-alueen määrittäminen.
2	ValidTransvIndex.m	Poikkisuuntaisen validin profiili-alueen määrittäminen.
3	StraightEdge.m	Lämpötilaprofiilin suoristus.

Find\_ValidProfArea käyttää laskennassaan profiilitiedoston yhteydessä tulevia profiilin reunaindeksijä kuvaavia vektoreita (bot- ja topIndex). Funktio laskee reunaindeksivektorin mediaanin ja hakee kohdat, joissa reunaindeksivektorin ja sen mediaanin välinen erosuure on suurempi kuin 20 yksikköä. Muodostetun indeksivektorin perusteella profiilin alkuindeksi saadaan indeksivektorin ensimmäisestä arvosta ja päättymiskohta sen viimeisestä arvosta. ValidTransvIndex.m suoristaa profiilin käyttäen StraightEdge-funktiota ja määrittelee uudet reunaindeksien minimi- ja maksimi-indeksit suoristetusta profiilista. Poikkisuuntaisten indeksien määrittelyssä hyödynnetään pituussuuntaisten pyyhkäisyjen näytemäärää. Pituussuuntaisista pyyhkäisyistä lasketaan mukaan kaikki pyyhkäisy, jotka poikkeavat korkeintaan 60 näytettä koko profiilin pituussuuntaisesta näytemäärästä.

Päädialogissa käytetään myös muutamia muita komentoriviltä käytettävissä olevia funktioita (scouppi.m, Searching\_CoilInfo.m). Nämä eivät varsinaisesti ole menetelmäfunktioita, vaan niitä käytetään kelatiedostojen latauksessa ja kelakohtaisten tietojen luvussa.

### 2.1.2 Esikäsittelydialogissa käytetyt menetelmät

Esikäsittelydialogissa käytetään menetelmäfunktioita profiilin histogrammin kynnyksen laskennassa, reunojen pakkauksessa, imputoitavien estimaattien laskennassa ja reunojen tasoituksessa. Osa näistä menetelmistä on esitelty jo erillisessä profiilin esikäsittelyä käsittelevässä raportissa. Taulukossa 2 on esitetty esikäsittelydialogissa käytettyjä funktioita lyhyin kuvauksin.

**Taulukko 2.** Esikäsittelydialogissa käytetyt menetelmäfunktiot.

<b>Nro</b>	<b>Funktio</b>	<b>Kuvaus</b>
1	triangleTH.m	Lämpötilahistogrammin kynnyksen määrittäminen.
2	edge_smoothing.m	Profiilin reunarosan tasoitus
3	median_estimator.m	Mediaani-imputointi.
4	Prof_Padding.m	Profiilin reunojen pakkaus.

TriangleTH-funktiolla määritetään kynnyksen poikkeavien arvojen poistamiseksi profiilin histogrammin perusteella. edge\_smoothing-funktiota käytetään profiilin reunarosan tasoittamiseen. Algoritmien tarkemmat toimintakuvaukset löytyvät erillisestä esikäsittelyraportista. median-estimator-funktiota käytetään poikkeavien arvojen kor-

vaamiseen uudella estimaatilla. Funktio pakkaa profiilin reunat Prof\_Padding-funktiolla ja laskee mediaanipinnan liukuvalla 2D-mediaanisuoitimella imputointia varten.

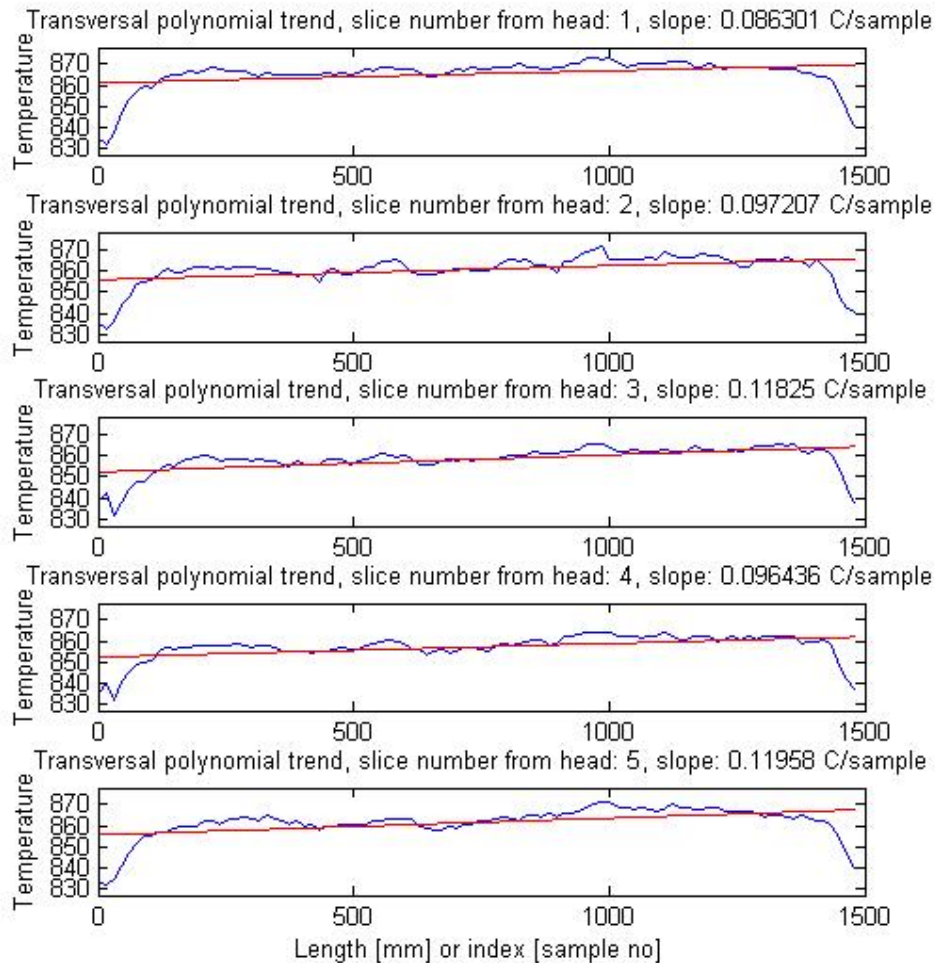
### 2.1.3 Trendialogissa käytetyt menetelmät

Trendien laadinnassa menetelminä käytettiin ainoastaan eriasteisia polynomisovituksia ja 2D-profiilin ositusmenetelmiä. Lisäksi dialogissa käytetään muutamia jo aikaisemmin esiteltyjä profiilinmuokkausfunktioita (ValidTransvIndex.m) sekä Get\_diagmeas-funktiota diagnostiikkatietojen lataamiseen. Taulukossa 3 on esitetty trendialogissa käytetyt menetelmäfunktiot.

**Taulukko 3.** Trendialogissa käytetyt menetelmäfunktiot.

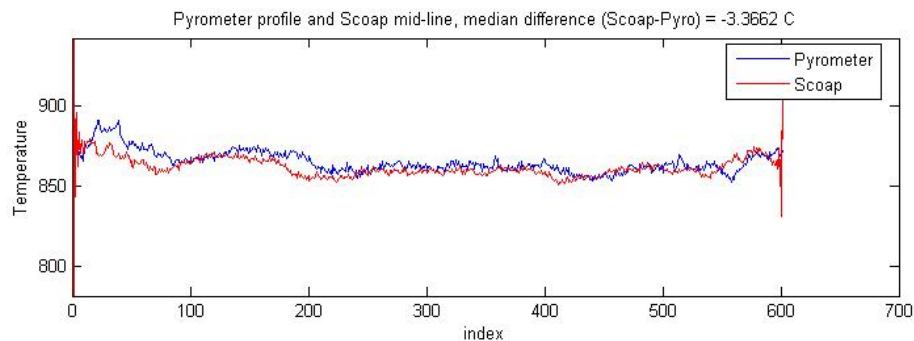
Nro	Funktio	Kuvaus
1	TransversalDiv.m	Lämpötilaprofiilin pituussuunnan jako n osaan ja osien poikkisuuntaiset 1D-mediaaniprofiilit.
2	LongitudinalDiv.m	Lämpötilaprofiilin poikkisuunnan jako n osaan ja osien pituussuuntaiset 1D-mediaaniprofiilit.
3	CellPolyFit.m	Sovitukset mediaaniprofiileihin
4	TrendSubplot.m	Mediaaniprofiilien ja sovitusten visualisointi.

TransversalDiv-funktio jakaa lämpötilaprofiilin pituussuunnassa 1-5 osaan käyttäjän valinnan mukaan ja palauttaa solumatriisissa kunkin osan poikkisuuntaisen mediaanitrendin. LongitudinalDiv toteuttaa samat operaatiot kuin edellä, mutta poikkisuunnassa, ja palauttaa pituussuuntaiset mediaanitrendit. Näille solumatriiseissa oleville trendeille voidaan valinnan perusteella tehdä 1. tai 2. asteen polynomisovituksia CellPolyFit-funktiolla. Tulokset visualisoidaan TrendSubplot-funktiolla. Kuvassa 1 on esitetty trendialogissa lasketut ja tulostetut poikkisuuntaiset trendit. Trendien laadinnassa käytettiin asetusarvona profiilin pituussuuntaista jakoa viiteen osaan ja polynomin astelukua yksi. Jokaisesta osasta esitetään osan mediaanitrendi ja siihen tehty polynomisovitus. Trendeistä voidaan analysoida esimerkiksi profiilien lämpötilojen toispuoleisuutta.



**Kuva 1.** Profiilin poikkisuuntaiset trendit.

Kuvassa 2 on esitetty trendidialogissa laadittu lämpötilaprofiilin keskinauhan profiili ja sitä vastaavan pyrometrin trendi nauhan alapuolelta. Kuvan perusteella voidaan analysoida SCOAP- ja pyrometrimittauksen yhtäläisyyttä. Kuvassa on myös esitetty signaalien erotusosamäärän (SCOAP-pyrometri) mediaani.



**Kuva 2.** SCOAP-keskinauha ja pyrometrimittaus.

### 2.1.4 Suodatusdialogissa käytetyt menetelmät

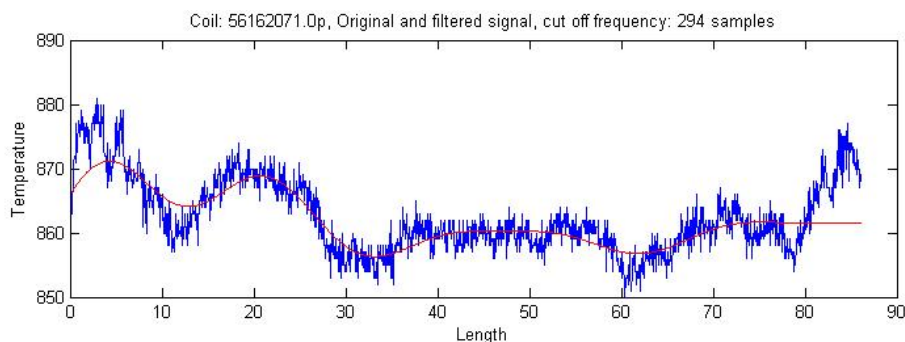
Suodatusdialogissa varsinaisia menetelmäfunktioita tehtiin vain muutama, koska toteutetut operaatiot voitiin tehdä Matlab<sup>®</sup> kirjastofunktioilla tai yksinkertaisilla ehtolauseilla itse Callback-funktiossa. Taulukossa 4 on esitetty suodatusdialogissa käytetyt menetelmäfunktiot.

**Taulukko 4.** Suodatusdialogissa käytetyt menetelmäfunktiot.

Nro	Funktio	Kuvaus
1	OneDim_filtering.m	1D-profiilin alipäästösuodatus.
2	TwoDfilt.m	2D-profiilin alipäästösuodatus.

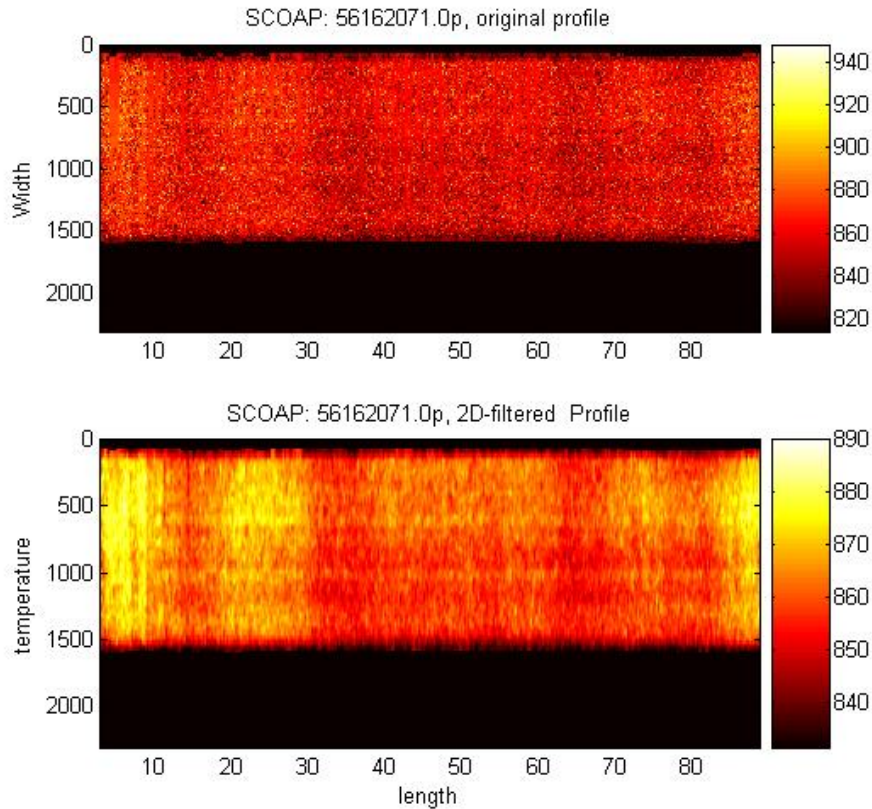
Pituus- ja poikkisuuntaisten profiilien suodatukseseen käytettiin butterworth-tyyppistä IIR-alipäästösuodatusta, jonka toteuttamiseen voidaan käyttää OneDim\_filtering-funktiota, joka hyödyntää tarvittavia Matlabin<sup>®</sup> digitaalisen signaalinkäsittelyn kirjastofunktioita. Kaksiulotteinen alipäästösuodatus tehdään TwoDfilt-funktiolla, joka käyttää myös butterworth-tyyppistä kaksiulotteista IIR-suodinta. Molemmissa suodatuksissa käyttäjällä on mahdollisuus säätää alipäästön voimakkuutta. Lisäksi suodatusdialogissa käytettiin jo aikaisemmin esiteltyjä profiilin muokkaukseen soveltuvia funktioita. Suodatusdialogissa suoritettavat profiilin kynnykset voidaan toteuttaa muutamilla ehtolauseilla itse Callback-funktioissa, joten niitä varten ei rakennettu itsenäisiä menetelmäfunktioita.

Kuvassa 3 on esitetty suodatusdialogin One-dimensional filtering-moduulissa laadittu yksiulotteinen pituussuuntaisen profiilin suodatus butterworth-alipäästösuotimella, keskinauhaparametrilla 50 näytettä ja alipäästön kaistalla 294 näytettä (lyhyemmällä kuin 294 näytteen välillä tapahtuvat muutokset suodattuvat pois). Tällä säädettävällä suodatustoiminnalla voidaan tutkia pituus- tai poikkisuuntaista profiilia eri suodatusasteilla.



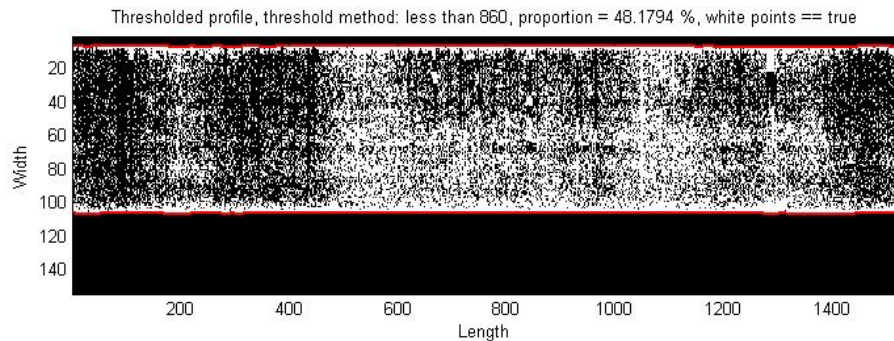
**Kuva 3.** SCOAP-keskinauha ja butterworth-alipäästösuodatus (punainen viiva).

Kuvassa 4 on esitetty suodatusdialogin Two-dimensional filtering moduulissa laadittu kaksiulotteinen suodatus butterworth-alipäästösuodatuksella. Suodatusparametrina kyseisessä kuvassa käytettiin 8 näytettä, eli vähemmän kuin 8 näyteväliä kestävät muutokset suodattuvat pois sekä pituus- että poikkisuunnassa. Tällä suodatustavalla voidaan pienentää profiilin kohinaa ja korostaa kuumia ja lämpimiä alueita.



**Kuva 4.** SCOAP-profiili ja sen kaksiulotteinen alipäästösuodatus (alempi profiili).

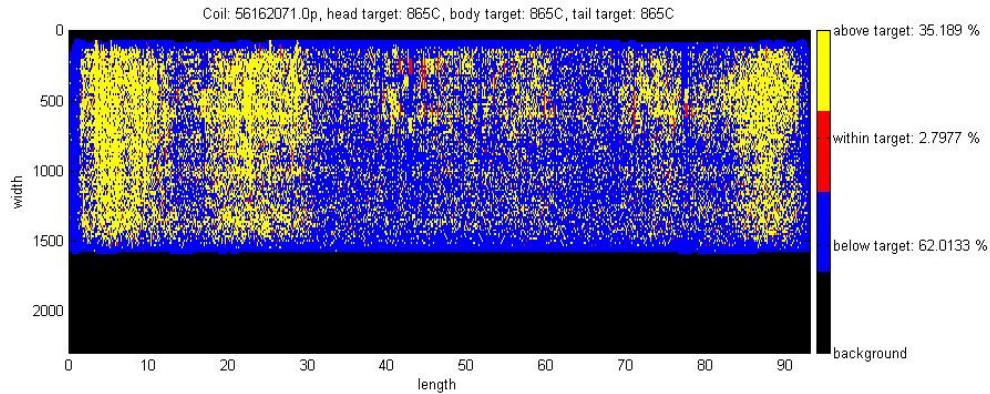
Kuvassa 5 on esitetty suodatusdialogin Profile segmentation-moduulissa lämpötilan perusteella kynnystetty profiilikuva (binäärikuva). Parametrina kynnystykselle käytettiin:  $< 860$  °C. Valkoiset alueet tarkoittavat kynnystysehdon toteuttavia mittauksia. Muita vaihtoehtoja kynnystykselle ovat pienempi kuin tai pienempi kuin ja suurempi kuin tietty tai tietyt lämpötila-arvot. Kuvassa on esitetty myös kynnystysehdon täyttävien mittauspisteiden osuus kaikista profiilin mittauspisteistä.



**Kuva 5.** Profiilin kynnystys (ehto: lämpötila-arvot  $< 860$  °C) binäärikuvana.

Kuvassa 6 on esitetty moduulissa Profile segmentation tehtävä nauhalle etukäteen asetettuun tavoitearvoon perustuva profiilin kynnystys. Tavoitearvot saadaan tietokannasta ja niitä voi olla korkeintaan kolme nauhaa kohden (keulan, rungon ja hännän

tavoitelämpötilat). Tässä lämpötilan tavoitearvo oli 865 °C keulalle, rungolle ja hännällä. Tavoitekynnystettyä profiilia varten kehitettiin oma neliarvoinen värikartta kuvaamaan taustapisteitä, suurempia kuin tavoitearvo, yhtäsuuria kuin tavoitearvo ja pienempiä kuin tavoitearvo olevia pisteitä. Lisäksi käyttäjälle ilmoitettiin kuhunkin luokkaan sijoittuvien profiilipisteiden prosentuaalinen osuus koko profiilista.



**Kuva 6.** Profiilin kynnystys tavoitearvon mukaan, kuvassa tavoitearvona 865 °C.

### 2.1.5 1D-analyysimenetelmät

Pituus- ja poikkisuuntaisista profiileista voidaan analysoida signaalikomponentteja, ääriarvokohtia, konveksisuutta ja profiilin käyttäytymistä jonkun referenssitason suhteen. Näitä analyysejä varten tehdyt funktiot on esitelty Taulukossa 5.

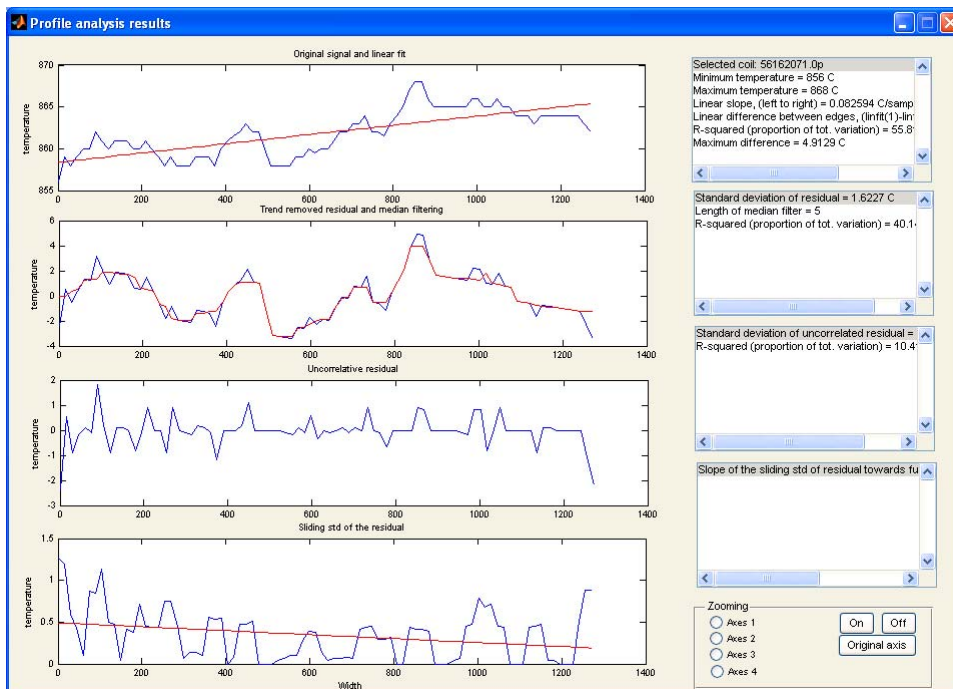
**Taulukko 5.** 1D-analyysidialogin menetelmäfunctiot

Nro	Funktio	Kuvaus
1	Signal_Structural.m	Lämpötilaprofiilin pituus- tai poikkisuunnan mediaaniprofiilin signaalikomponenttien määrittäminen ja niiden osuus kokonaisvaihtelusta.
2	Wave_Approx.m	Signaalin Wavelet-aproksimaatio
3	Series_Find.m	Ehdon mukaisten signaalijaksojen alkamis- ja loppumisindeksien haku.
3	Hough_Paramspace.m	Lämpötilaprofiilin pituus- tai poikkisuunnan mediaaniprofiilin ääriarvokohtien ja yhtenäisten jaksojen sijaintien ja pituuksien määrittäminen.
4	Convex_points.m	Lämpötilaprofiilin pituus- tai poikkisuunnan mediaaniprofiilin konveksit pisteet ja konveksipisteet.
5	Robust_Fit.m	Robusti lineaarinen sovitus
6	CumSumTrend.m	Kumulatiivinen summatrendi



Signal\_Structural-funktiolla lasketaan pituus- tai poikkiprofiilin lineaarisen, korreloivan ja korreloimattoman vaihtelukomponentin osuus koko signaalista. Wave\_Approx-funktiolla saadaan laskettua haluttu wavelet-approksimaatio 1D-profiilille. Tätä funktiota käytetään poistamaan kohinaa ja tuomaan vain tietyt taajuiset ilmiöt esille.

Kuvassa 7 on esitetty tulosikkuna 1D-analyysidialogin Profile components-moduulissa laadituista profiilin signaalikomponenteista. Kuvan ylimmässä osakuvassa on esitetty poikkisuuntaisen profiilin lineaarinen komponentti. Tarkentavina tietoina vieressä olevassa listassa esitetään profiilin ääriarvot, lineaarisen sovituksen kulma-kerroin, lineaarisen suoran ensimmäisen ja viimeisen arvon erotus (indeksoi profiilin lämpötilan toispuoleisuutta), lineaarisen komponentin osuus koko signaalin tehosta (R-squared), maksimiero lineaarisen ja alkuperäisen profiilin välillä. Toiseksi ylimmässä osakuvassa on esitetty linearisoidun alkuperäisen profiilin (edellä kuvattu lineaarinen sovitus vähennetty) mediaanisuodatus (punainen viiva), joka tässä tapauksessa kuvaa korreloivan jäännösvaihtelun osuutta signaalin kokonaistehosta. Lisätietoina viereisessä listassa on esitetty korreloivan jäännösvaihtelun keskihajonta ja osuus koko signaalitehosta (R-squared). Toiseksi alimmaisessa kuvassa on esitetty profiilin korreloimaton jäännösvaihtelu, kun edellinen mediaanisuodatustulos vähennetään linearisoidusta profiilista. Viereisessä listassa esitetään korreloimattoman vaihtelun keskihajonta ja osuus signaalin kokonaistehosta. Alimpana kuvassa esitetään vielä korreloimattoman jäännösvaihtelun liukuva keskihajonta.

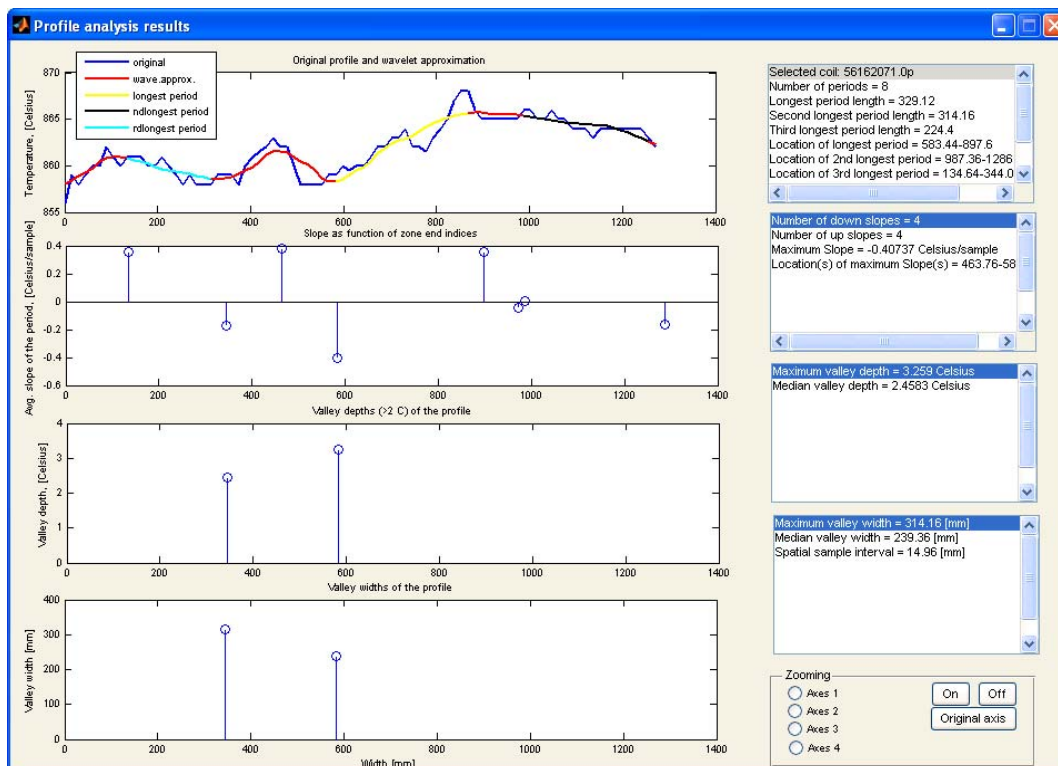


**Kuva 7.** 2D-Profiilin pituussuuntaisen profiilin signaalikomponenttianalyysin tulosikkuna.

Hough\_paramspace-funktiolla voidaan etsiä signaalin nousevat ja laskevat jaksot. Funktiossa käytetään 1. differentiaalia ääriarvokohtien, nousevien ja laskevien jaksosten tunnistamisessa. Funktio kutsuu Series\_Find-funktiota nousevien ja laskevien jaksosten paikkaindeksien määrittämiseksi. Palautteena saadaan nousevien ja laskevien

jaksojen pituudet ja keskimääräiset muutosvoimakkuudet. Lisäksi funktio palauttaa parametrien perusteella lasketut profiilin urien syvyydet ja leveydet.

Kuvassa 8 on esitetty tulostuskuva 1D-analyysidiialogin Slope and valley detection-moduulissa lasketuista analyyseistä. Parametreina käytettiin wavelet-aproksimaatitasoa 3, poikkisuuntaista tarkasteluun, haettavan kylmän kohdan minimisyvyytenä 2 °C:a ja minimileveytenä 5 näytettä. Kuvassa ylimpänä on esitetty alkuperäinen poikkisuuntainen profiili ja sen wavelet-aproksimaatio. Signaalissa on esitetty eri väreillä kolme pisintä dynamiikaltaan samanlaista jaksoa (nousevat tai laskevat jaksot). Viereisessä listassa on esitetty kuvaan liittyviä lisätietoja, eli dynamiikaltaan samanlaisten jaksosten lukumäärä, kolmen pisimmän nousevan tai laskevan jaksosten pituudet (metreinä) ja sijainnit profiililla (alkukohta ja loppukohta). Lisäksi ilmoitetaan keskimääräinen lämpötilan muutos näytevälikkeelle kullakin kolmella jaksolla. Toiseksi ylimmässä osakuvassa on esitetty profiilin jaksosten keskimääräiset lämpötilanmuutokset jaksosten päättymiskohdan funktiona. Viereisessä listassa on esitetty nousevien ja laskevien jaksosten määrät, keskimääräinen maksimimuutos, maksimimuutosjaksosten sijainti. Tässä näkymässä voidaan arvioida kunkin jaksosten muutosvoimakkuutta ja pituutta. Toiseksi alimmassa kuvassa on esitetty parametrilla suurempi kuin 2 °C haettujen kylmien kohtien lämpötila sijainnin funktiona. Vieressä olevassa listassa on esitetty kylmimmän kohdan lämpötila ja kylmien kohtien mediaani. Alimmassa kuvassa on vastaavasti esitetty leveysparametrilla 5 näyteväliä haettujen kylmien kohtien leveydet sijainnin funktiona. Indeksiviiva sijaitsee edellä mainituissa tapauksissa aina löydetyn kylmän kohdan minimissä. Vieressä olevassa listassa on esitetty maksimi leveys kylmälle kohdalle, kylmien kohtien leveyden mediaani.

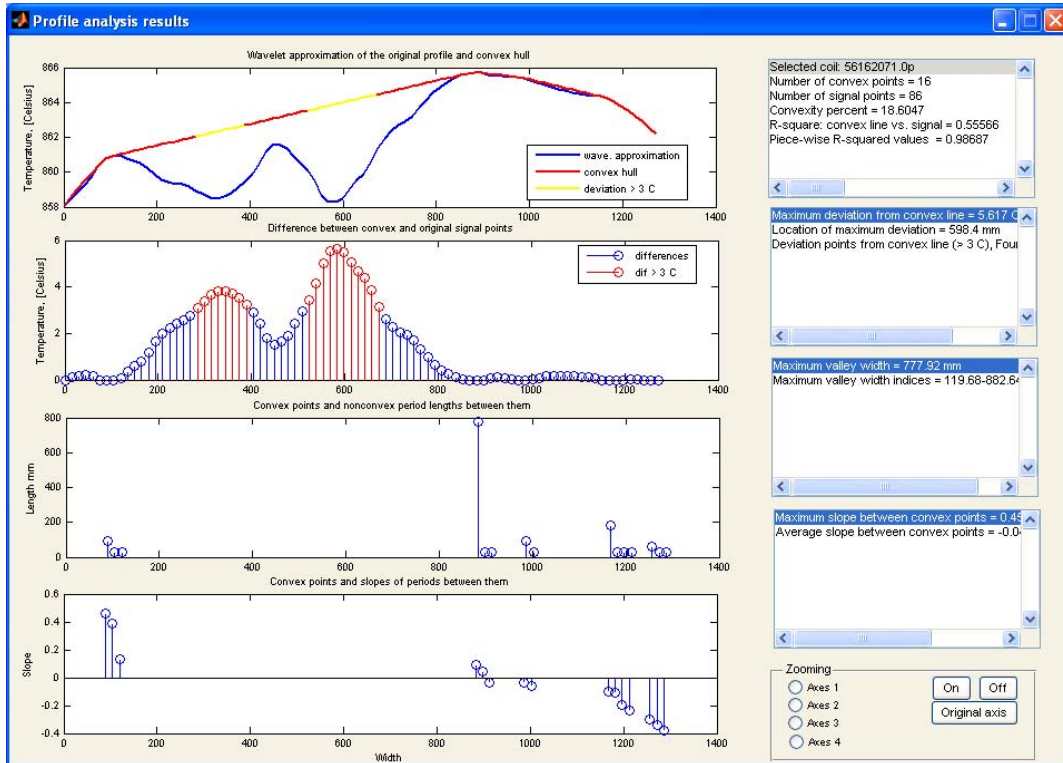


**Kuva 8.** Profiilin kylmät kohdat ja dynamiikaltaan yhtenäiset jaksot tulostusnäkyinä.



Convex\_points-funktiolla etsitään tarkasteltavan 1D-profiilin konveksit pisteet (pisteet, joiden kautta kulkiessa ei esiinny paikallisia minimejä) ja muodostetaan näiden pisteiden sekä profiilin ensimmäisen ja viimeisen pisteen kautta kulkeva konveksoiva peite. Tilanne on verrattavissa pinnan päälle pingotettuun lankaan, lanka kulkee ainoastaan konveksien pisteiden kautta. Lisäksi konveksin peitteen avulla lasketaan alkuperäisen signaalin ja konveksin peitteen keskinäinen samankaltaisuus ( $R^2$ -arvo, eli R-squared), maksimipoikkeama konveksista peitteestä, maksimipoikkeaman sijainti, konveksien pisteiden väliset etäisyydet ja niitä yhdistävien suorien väliset kulmakertoimet, tunnusluku alkuperäisen signaalin konveksisuudelle (jos 100 %, niin paikallisia minimejä ei esiinny) ja muutamia muita tunnuslukuja.

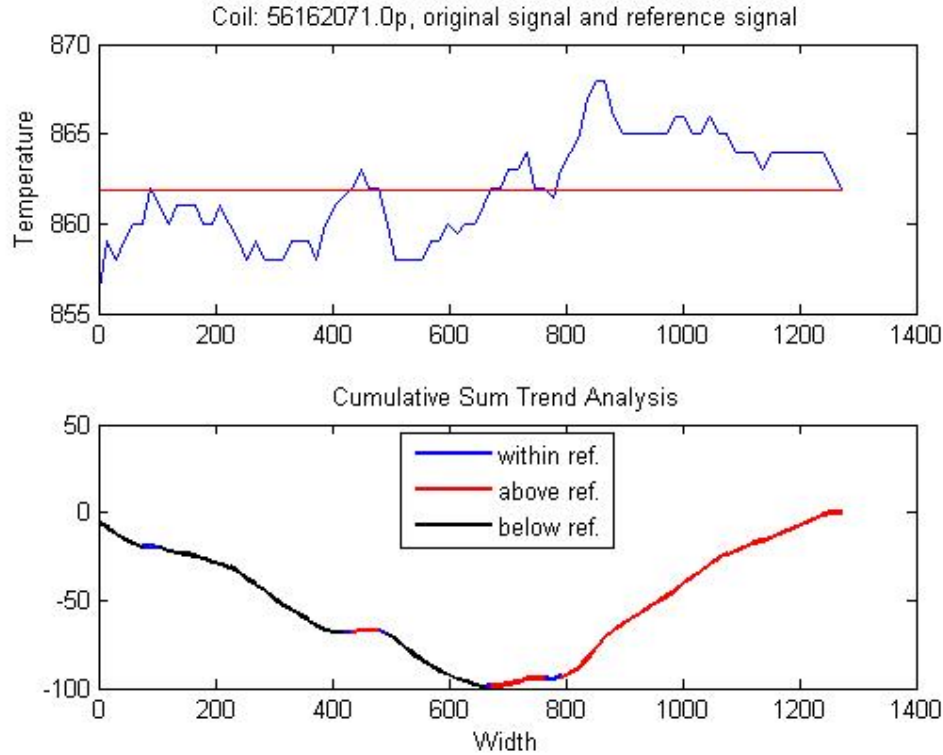
Kuvassa 9 on esitetty tuloskuva 1D-analyysidialogin Convexity analysis-moduulissa lasketuista tuloksista. Parametreina on käytettiin wavelet-approksimaatitasoa 3, poikkisuuntaista tarkastelusuuntaa ja konveksista peitteestä poikkeavien pisteiden raja-arvona 3 °C. Kuvassa ylimpänä on esitetty alkuperäinen poikkisuuntainen profiilin wavelet-approksimaatio ja sen konveksipeite. Konveksissa peitteessä näkyvät keltaisella ne kohdat, joissa profiili poikkeaa konveksista profiilista enemmän kuin 3 °C. Vieressä olevassa listassa on esitetty konveksien pisteiden lukumäärä, profiilin mittauspisteiden lukumäärä, estimaatti konveksisuudelle (%),  $R^2$ -arvo approksimaation ja konveksin peitteen välillä ja paloittaiset  $R^2$ -arvot konvekseissa pisteissä approksimaation suhteen. Prosentuaalinen estimaatti konveksisuudesta kuvaa profiilin konveksisuutta. Konveksisuusprosentti on laskettu konveksien pisteiden ja signaalin pisteiden prosentuaalisena suhteenä. Estimaatin ollessa lähellä 100 %:a, profiili on joko kupera, laskeva tai nouseva suora. Estimaatin ollessa lähellä nollaa profiilissa on useita paikallisia minimejä. Toiseksi ylimmässä kuvassa on esitetty konveksin peitteen ja alkuperäisen profiilin wavelet-approksimaation differenssisignaali, jossa myös suuremmat kuin 3 °C:en poikkeamat on esitetty punaisella. Vieressä olevassa listassa on esitetty maksimipoikkeama konveksista peitteestä, maksimipoikkeaman sijainti ja lukumäärä yli 3 °C:a poikkeaville pisteille. Tästä kuvaajasta havaitaan helposti jaksot, jotka poikkeavat lineaarisesta tai kuperaasta profiilimuodosta. Toiseksi alimmassa kuvassa on esitetty konveksien jaksojen pituudet niiden päätepisteiden funktiona. Vierekkäin olevat pylvääit indeksoivat konvekseista jaksoista. Vieressä olevassa listassa on esitetty maksimipoikkeamavälin leveys sekä aloitus ja lopetuspisteet. Alimmassa kuvassa on esitetty kulmakertoimet profiilien konveksien pisteitä yhdistäville suorille. Vierekkäin sijaitsevat pylvääit indeksoivat konvekseja jaksoa ja pylväiden korkeudet muutoksen voimakkuutta jaksolla. Vieressä olevassa listassa on esitetty maksimimuutos jaksolla ja jaksojen keskimääräiset muutokset.



**Kuva 9.** Profiilin konveksisuuden tarkastelun tuloksikkuna.

Robust\_Fit-funktio määrittelee sille syötetyn signaalin robustin lineaarisen regression parametrit. Funktiossa käytetään Matlab<sup>®</sup> robustfit.m kirjastofunktiota. Robust\_Fit-funktiota käytetään vaihtoehtoisena referenssitasona kumulatiivisen summatrendin laadinnassa.

CumSumTrend-funktio laskee kumulatiivisen summatrendin referenssi- ja alkuperäisen signaalin erotusosamäärälle. Lisäksi se palauttaa nousevien ja laskevien jaksojen paikkaindeksit. Kuvassa 10 on esitetty tuloskuva 1D-analyysidialogin Cumulative sum trend analysis-moduulissa lasketuista tuloksista. Analyysiä varten valittiin alkuperäinen poikkisuuntainen profiili ja vertailutasoksi profiilin keskiarvo. Ylempi kuva esittää alkuperäistä poikkisuuntaista profiilia ja sen keskiarvojanaa ja alempi kuva kumulatiivista summatrendiä. Summatrendissä on ilmaistu eri väreillä profiilin käyttäytyminen referenssitason suhteen. Nouseva trendi merkitsee, että alkuperäinen profiili on suurempi kuin referenssitaso ja laskevan trendin kohdalla pienempi kuin referenssitaso.



**Kuva 10.** Kumulatiivinen summa trendi, referenssitasona profiilin keskiarvo.

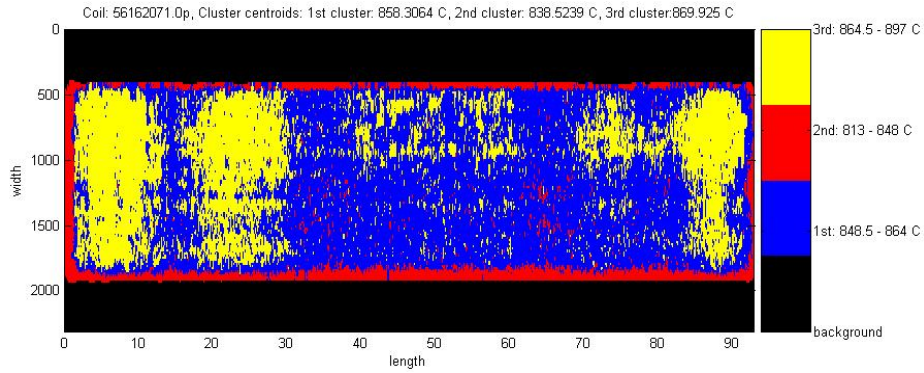
### 2.1.6 2D-analyysimenetelmät

Kaksiulotteiset analysointimenetelmät koostuvat profiilien klusteroinnista, profiilien välisestä erotuskartasta ja profiilin tekstuuripiirrekartan laadinnasta. Näissä operaatioissa hyödynnettyjä menetelmäfunktioita on esitetty Taulukossa 6.

**Taulukko 6.** 2D-analyysidialogin menetelmäfunktiot.

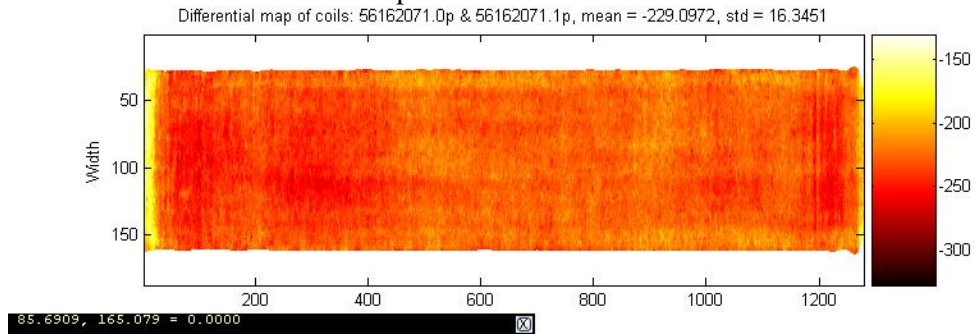
Nro	Funktio	Kuvaus
1	Temp_Clustering.m	Lämpötilaprofiilin k-means klusterointi.
2	GlobDifferential_Map.m	SCOAP0 ja SCOAP1 profiilin välinen globaali erotuskartta.

Temp\_Clustering klusteroi lämpötilaprofiilin lämpötilat 2, 3 tai 5 klusteriin valinnan mukaisesti, käyttäen Matlab<sup>®</sup> kmeans.m funktiota. Lisäksi Temp\_Clustering-funktio palauttaa klusterikeskukset ja kunkin klusterin ääriarvot (min, max). Kuvassa 11 on esitetty 2D-analyysidialogin temperature clustering-moduulissa laadittu klusteroitu lämpötilaprofiili. Asetusarvona klusterimäärälle oli kolme ja lisäksi profiili suodatettiin 3\*3 kokoisella mediaanisuotimella. Klusteroidun kartan esitystä varten tehtiin yksinkertainen värikartta, jossa kullekin klusterille on oma värinsä. Lisäksi kuvaotsikkoon on tulostettu klusterikeskukset ja väriasteikon viereen kunkin klusterin lämpötilojen vaihteluväli.



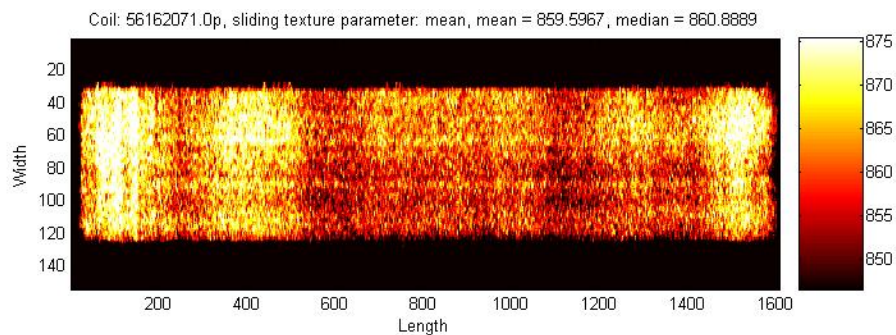
**Kuva 11.** Klusteroitu lämpötilaprofiili klusteritietoineen.

GlobDifferential-funktiolla voidaan laskea SCOAP0 ja SCOAP1 mittalaitteilta (ennen ja jälkeen jäähdystystä) saatavien lämpötilaprofiilien erotuskartta. Erotuskartan laatiminen edellyttää erikokoisten karttojen uudelleen näytteistykseen pituus- ja poikkisuunnassa. Kuvassa 12 on esitetty 2D-analyysidialogin differential map-moduulissa laadittu erotuskartta. Kuvan otsikkoon on tulostettu erotuskartan keskiarvo ja keskihajonta. Lisäksi kuvan alapuolella olevassa mustassa kehikossa näytetään kartan arvot hiiren osoittamasta paikasta.



**Kuva 12.** Profiilien välinen erotuskartta.

Tekstuuripiirrekarttojen laskentaan ei tehty erillisiä menetelmäfunktioita, vaan niiden toiminnot toteutettiin Matlab<sup>®</sup>-kirjastofunktioilla Callback-funktion yhteyteen. Lisäksi 2D-analyseissä hyödynnettiin jo aiemmin esiteltyjä profiilinmuokkausfunktioita. Kuvassa 13 on esitetty lämpötilaprofiilin tekstuuripiirrekartta. Tekstuuripiirteensä kuvassa on käytetty keskiarvoa ja liukuvan maskin kokona 3\*3 ikkunaa.



**Kuva 13.** Liukuvan keskiarvon tekstuuripiirrekartta.

### 3 YHTEENVETO

START-projektissa kehitettiin työkalupaketti kuumanauhavalssaamon skannaavilta SCOAP-pyrometreilta (SCOAP0 ja SCOAP1) saatavan kaksikulotteisen lämpötiladatan analysointiin ja käsittelyyn. Työkalujen soveltamiseksi luotiin useita eri signaalinkäsittelyn, tilastotieteen ja kuvankäsittelyn menetelmiä hyödyntävä käyttöliittymä. Menetelmät ja käyttöliittymä koottiin yhteiseen Strip Temperature Toolboxiin (STT). Menetelmät ja käyttöliittymä kehitettiin Matlab<sup>®</sup>-ohjelmistolla. STT toteuttaa mm. seuraavat toiminnalliset osa-alueet: kelatiedostojen ja kelatietojen lataus, 2D-lämpötiladatan esikäsittely (ylimääräisen keula- tai häntäalueen poisto, reunaroson tasoittaminen ja poikkeavien arvojen korjaus), trendien laadinta, profiilien suodatukset ja kynnyuskuvat, profiilien 1D- ja 2D-analyysit.

Trendialogissa voidaan muodostaa pituus- ja poikittaissuuntaisia polynomisovituksia profiileihin ja vertailla keskinauhan profiilia vastaavaan pyrometrimittaukseen. Suodatusdialogissa voidaan suodattaa pituus- ja poikittaisprofiileja tai 2D-karttaa ali-päästösäädettävillä digitaalisilla suotimilla. Lisäksi samassa dialogissa profiilista voidaan laatia lämpötilatason mukaan kynnystettyjä binäärikuvia. 1D-analyysialogissa voidaan analysoida mm. 2D-lämpötilaprofiilista muodostettujen pituus- tai poikkisuuntaisten 1D-profiilien rakennekomponentteja, ääriarvokohtia, konveksisuutta ja käyttäytymistä tietyn referenssitason suhteen. 2D-analyysialogissa voidaan klusteroida lämpötilaprofiilia, muodostaa erotuskartta jäähdytetyn ja jäähdyttämättömän profiilin välille tai määrittää lämpötilaprofiilin tekstuuripiirrekartta.

Tutkimuksellisesta näkökulmasta tarkasteltuna projektin lämpötilaprofiilin käsittelyyn liittyvä tutkimusongelma voitiin muotoilla esimerkiksi seuraavilla tavoilla: miten kaksikulotteisia lämpötilatietoja voidaan jalostaa ja hyödyntää jäähdytyksen ja kuumanauhatuotteen analysoinnissa, tai mitkä piirteet kuvaavat parhaiten vesiverhojäähdytyksen toimintaa ja jäähdytyksen onnistumista? Projektin aloitusvaiheessa tilaajalla (Rautaruukki) oli jo etukäteisnäkemys mahdollisista tarvittavista piirreirrotuksista ja analyyseistä. Näitä tarpeita pidettiin myös suuntaviivoina varsinaisessa kehitystyössä. Analysointitehtävän kannalta oleellisimmiksi piirteiksi valittiin jo edellä mainitut trendit, suodatetut 1D- ja 2D-profiilit, kynnystetyt profiilit, profiilin konveksit pisteet ja konveksi peite, klusteroitu profiili ja profiilin tekstuuripiirteet. Projektissa ei edetty tuotetun piirteen merkityksen analysointiin, vaan merkityksen luominen jätettiin tässä vaiheessa asiantuntijan vastuulle.



ISBN 951-42-7250-1

ISSN 1238-9404

Oulun yliopisto

Säätötekniikan laboratorio - Sarja B - <http://ntsat.oulu.fi/> [research] > [reports] > [series b]

Toimittaja: Leena Yliniemi – [leena.yliniemi@oulu.fi](mailto:leena.yliniemi@oulu.fi)

11. **Jaako J**, Yksinkertaisia prosessimalleja. Syyskuu 1999. 73 s. ISBN 951-42-5353-1.
12. **Jaako J**, MATLAB-ohjelman käyttö eräissä prosessiteknisissä laskuissa. Syyskuu 1999. 61 s. ISBN 951-42-5354-X.
13. **Jaako J**, Säätötekniikan laboratorion opetuskokeiluja I – Portfoliomuotoisen kurssin toteutus ja tulokset. Helmikuu 2000. 28 s. ISBN 951-42-5544-5.
14. **Ahola T, Ruuska J, Juuso E & Leiviskä K**, Paperikoneen katkoherkkyysindikaattori. Helmikuu 2000. 33 s. ISBN 951-42-5563-1.
15. **Ylikunnari J**, InTouch valvomo-ohjelmiston implementointi lämmönsiirron identifiointi-prosessiin (PS II:n harjoitustyölaiteisto). Maaliskuu 2000. ISBN 951-42-5568-2.
16. **Mäki T & Juuso E**, Tapahtumapohjainen sumea lingvistinen yhtälöjärjestelmä lääkevalmisteiden koostumusten ja valmistusprosessien tutkimuksessa. Kesäkuu 2000. ISBN 951-42-5678-6.
17. **Jaako J**, Säätötekniikan laboratorion opetuskokeiluja II – Apuopettaja opettajan apuna. Elokuu 2000. 22 s. ISBN 951-42-5742-1.
18. **Sivonen J**, Johdatus säätötekniikkaan, opetuslaitteiston suunnittelu ja toteutus. Syyskuu 2000. 20 s. ISBN 951-42-5795-2.
19. **Mutka P**, Neuraalilaskenta ja epälineaarinen dynamiikka komponenttien kulutus- ja myyntiennusteiden laatimisessa. Joulukuu 2000. 41 s. ISBN 951-42-5873-8.
20. **Komulainen K & Juuso E**, Vikatietojen hyödyntäminen funktionaalisessa testauksessa. Joulukuu 2000. 22 s. ISBN 951-42-5874-6.
21. **Ikäheimonen J, Juuso E, Leiviskä K & Murtovaara S**, Sulfaatisellun menetelmät, keiton ohjaus ja massan pesu. Joulukuu 2000. 48 s. ISBN 951-42-5875-4.
22. **Ikäheimonen J, Juuso E, Leiviskä K, Murtovaara S & Sutinen R** (2000) Keittolipeä- ja massa-analyysi sellun keitossa ja pesussa. Joulukuu 2000. 35 s. ISBN 951-42-5876-2.
25. **Rahikka L & Juuso E** (2000) Sulfaatisellun eräkeittoprosessin jatkuvatoiminen analysointi. Joulukuu 2000. 36 s. ISBN 951-42-5879-7.
26. **Pirttimaa M & Leiviskä K** (2000) Tilastollinen prosessinohjaus: Pastapainoprosessin tehdaskokeet. Joulukuu 2000. ISBN 951-42-5884-3.
27. **Jaako J & Nelo S** (2001) Prosessi- ja ympäristötekniikan opetuksen tulevaisuuden haasteita. Tammikuu 2001. 25 s. ISBN 951-42-5889-4.
28. **Näsi J, Isokangas A & Juuso E** (2001) Klusterointi kuorimon puuhäviöiden mallintamisessa. Tammikuu 2001. ISBN 951-42-5894-0
29. **Mäki T & Juuso E** (2001) Lingvistinen yhtälöjärjestelmä lääkevalmisteiden rakeistusprosessin dynaamisessa simuloinnissa. Tammikuu 2001. ISBN 951-42-5895-9
31. **Joensuu P** (2001) Vikadiagnostiikka sulatuksen laadun-ohjauksessa: Syherön syntyminen ja siihen vaikuttavat tekijät. Tammikuu 2001. ISBN 951-42-5893-2
32. **Ikäheimonen J, Leiviskä K & Ruuska J** (2001) Jatketiilen tukkeentumisen mallintaminen neuroverkoilla. Helmikuu 2001. ISBN 951-42-5906-8
33. **Ikäheimonen J, Leiviskä K & Ruuska J** (2001) Sulkutangon asennon ja valunopeuden käyttö jatketiilen tukkeentumisen ennustamisessa. Maaliskuu 2001. ISBN 951-42-5946-7
34. **Ruuska J & Leiviskä K** (2001) LD-KG-konvertterin lämpötilamalli. Toukokuu 2001. ISBN 951-42-6411-8
35. **Ainali I, Juuso E & Sorsa A** (2001) Vesikemikaalien annostelutyökalun kehittäminen: Flotaation perusteet, koejaksot ja mallinnus. Marraskuu 2001. ISBN 951-42-6589-0
36. **Näsi J & Sorsa A** (2002) Jatkuvatoimisen liuospuhdistuksen Pilot-prosessin mallinnus ja prosessikehitys. Helmikuu 2002. ISBN 951-42-6626-9

37. **Ikäheimonen J & Leiviskä K** (2002) Syherödatan analysointi histogrammeja käyttäen. Maaliskuu 2002. ISBN 951-42-6678-1
38. **Ikäheimonen J & Leiviskä K** (2002) Neuroverkot ja lingvistiset yhtälöt jatketiilen tukeuman ennustuksessa. Huhtikuu 2002. ISBN 951-42-6700-1
39. **Posio J** (2002) Malliprediktiivinen säätö. Marraskuu 2002. ISBN 951-42-6887-3
40. **Jaako J** (2003) Sääätötekniikan laboratorion opetuskokeiluja III - Opettajien perehdyttämiskoulutus. Helmikuu 2003. ISBN 951-42-6955-1
41. **Ruuska J, Peltonen J & Leiviskä K** (2003) LD-KG-konvertterin dynaaminen ohjaus. Helmikuu 2003. ISBN 951-42-6956-X
42. **Ruuska J & Leiviskä K** (2003) LD-KG-konvertterin lämpötila- ja lisäainemallit. Helmikuu 2003. ISBN 951-42-6957-8
44. **Näsi J & Niemelä P** (2003) Hydrometallurgisen prosessin tutkimuskohteita osa 2: Raman analytiikan käyttömahdollisuudet. Huhtikuu 2003. ISBN 951-42-7041-X
46. **Heikkinen E-P & Jaako J** (2003) Koulutuksen laatuysikköhakemus ja pedagoginen johtajuus. Elokuu 2003. ISBN 951-42-7091-6
47. **Jaako J** (2003) Tekniikan pedagogiikka - Väitöskirjat ja tutkijakoulutus prosessi- ja ympäristötekniikan osastolla. Syyskuu 2003. ISBN 951-42-7137-8
48. **Jaako J** (2003) Tekniikan pedagogiikka – Perusteita. Marraskuu 2003. ISBN 951-42-7212-9
49. **Isokangas A, Juuso E & Leiviskä K** (2003) Kuorintaprosessin analyysi ja mallintaminen. Joulukuu 2003. ISBN 951-42-7250-1.
50. **Auvinen A & Jaako J** (2004) Tekniikan pedagogiikka- Muuntokoulutus ja tuutorointi. Helmikuu 2004. ISBN 951-42-7282-X.
51. **Mäki T & Posio J** (2004) Savukaasumittaukset. Maaliskuu 2004. ISBN 951-42-7333-8.
52. **Jaako J** (2004) Tekniikan pedagogiikka – Muutosvastarinta ja muutos. Lokakuu 2004. ISBN 951-42-7497-0
53. **Tenkku H & Ruuska J** (2004) Kirjallisuusselvitys eräiden mittausten soveltuvuudesta LD-KG-konvertterin ohjaukseen. Joulukuu 2004. ISBN 951-42-7619-1
54. **Sorsa A & Näsi J** (2005) Lähi-infrapunamittauksen erälineaarinen kalibrointi neuroverkoilla ja neuro-sumeilla menetelmillä. Tammikuu 2005. ISBN 951-42-7633-7
55. **Hartikka M** (2005) Paperikoneen retentiopolymeerin konsentraation UV-absorptioon perustuva mittaus. Maaliskuu 2005. ISBN 951-42-7679-5
56. **Isokangas A, Hyvönen A, Pöllänen K, Tuomaranta M & Laitinen O** (2005) Uunikuha –projektin loppuraportti. Elokuu 2005. ISBN 951-42-7828-3
57. **Osmo Kauppila (2005)** PYO tutkimuksen laadun pilottiyksikkönä – EFQM-mallin sovellus tutkimuksen laadun itsearviointiin. Elokuu 2005. ISBN 951-42-7832-1
58. **Jaako J (2005)** Tekniikan pedagogiikka – Metakognitiivisten taitojen kehittyminen ja kehittäminen tekniikan opiskelijoilla. Lokakuu 2005. ISBN 951-42-7874-7
59. **Posio J** (2005) Mittaussarjoista saatavan tiedon kehittäminen - SCOAP-lämpötilaprofiilin esikäsittely. Marraskuu 2005. ISBN 951-42-7899-2
60. **Posio J** (2005) Strip Temperature Toolbox - Lämpötilaprofiilien piirteet ja analyysit. Marraskuu 2005. ISBN 951-42-7902-6

ISSN 1238-9404

Sääätötekniikan laboratorio – Sarja B