

Esko Pentinpuro

**KUUMAPURISTUSYKSIKÖN VAIHTOEHTOISET
LÄMMITYSRATKAISUT**

KUUMAPURISTUSYKSIKÖN VAIHTOEHTOISET LÄMMITYSRATKAISUT

Esko Pentinpuro
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, energiatekniikka

Tekijä: Esko Pentinpuro

Opinnäytetyön nimi: Kuumapuristussyksikön vaihtoehtoiset lämmitysratkaisut

Työn ohjaajat: Jukka Ylikunnari (OAMK), Kyösti Heikkinen (Prinlab)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2014

Sivumäärä: 40 + 5 liitettä

Painettu älykkyys on uusi teknologian ala, jonka kaupallisen läpilyönnin on arvioitu tapahtuvan kymmenen vuoden sisään. Painojälkenä syntyy sähköisesti, elektromekaanisesti, sähkömagneettisesti ja optisesti toiminnallisia rakenteita tulostus- ja painoteknisillä menetelmillä. Yksi painettavan elektroniikan potentiaalisimmista menetelmistä on rullalta rullalle -painomenetelmä (R2R), joka on suunniteltu suurten tuotemäärien valmistamiseen.

Opinnäytetyö tehtiin Prinlabille, joka on painettavan elektroniikan kehityslaboratorio Oulun ammattikorkeakoulussa. Työn tavoitteena oli etsiä uusia vaihtoehtoisia lämmitysratkaisuja R2R-painokoneen kuumapuristussyksikön rullan lämmitykseen. Vaihtoehtoisen ratkaisun pitäisi olla stabiilimpi ja paremmin säädettävissä kuin nykyinen sähköllä toimiva lämmitysvastus.

Aluksi työssä tutkittiin, mitkä ovat nykyisen lämmitysratkaisun ongelmat ja mistä ne aiheutuvat. Suurimmaksi ongelmaksi huomattiin lämmönvastuksen sijainti, joka aiheuttaa säädettävyysongelmat ja lämmönjohtumisen runkoon. Tämän jälkeen etsittiin uusia lämmitysratkaisuja rullan lämmitykseen. Lämmitysratkaisujen täytyisi olla toteutuskelpoisia kohteeseen.

Viiden potentiaalisimman vaihtoehdon käyttöä tutkittiin kuumapuristussyksikön rullan lämmitysratkaisuna. Vaihtoehtoisista ratkaisuista kysyttiin tarjouksia alalla toimivilta yrityksiltä. Yritysten antamien tarjousten perusteella saatiin työhön taloudellinen vertailumahdollisuus. Rullan vaihtoehtoisia lämmitysratkaisuja vertailtiin toisiinsa ja nykyiseen lämmitykseen. Tuloksena saatiin öljykiertolämmityksen olevan potentiaalisin vaihtoehto korvaamaan nykyinen lämmitysratkaisu. Sen etuja ovat hyvät säädettävyysominaisuudet ja kohtuulliset laitekustannukset.

Asiasanat: tulostettava elektroniikka, rullalta rullalle -kuumapuristus, säteilylämmönsiirto, luonnollinen konvektio, tuotekehitys

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree programme in Mechanical Engineering and Production Technology,
Energy Technology

Author: Esko Pentinpuro

Title of thesis: Alternative heating solutions for the hot embossing unit

Supervisors: Jukka Ylikunnari (OAMK), Kyösti Heikkinen (Prinlab)

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2014

Pages: 40 + 5 appendices

Printed intelligence is a new technology, which commercial breakthrough is expected to take place within ten years. The outcome is that electrically, electro-mechanically, electro-magnetically and optically functional structures are developed by using print and press techniques. One of the most potential methods is roll-to-roll printing (R2R), having the ability to produce large quantities of products.

The thesis was made to Prinlab, which is a printed electronic laboratory in Oulu University of Applied Sciences. The objective of the thesis was to search for new heating alternatives for R2R-printing machine's hot embossing unit roll. Alternative solution should be more stable and better controlled than the current electric heating resistor.

In the beginning, the main objective in the thesis was a research of the current heating solution, its problems and where they result from. The biggest problem was the location of heating resistor, which causes the problems of control and heat conduction to the framework. After this, new heating solutions were searched for in the heating process of the roll. Heating solutions should operate in the location.

Five, of the most potential alternatives, were examined. Offers, about alternative solutions, were made to companies that operate in the field. Companies heating solutions were compared with each other and with the existing one. The result in the thesis is that the most potential alternative, to replace the current heating solution, could be an oil circulation heating system.

Keywords: printed electronic, roll to roll hot emboss, radiation heat transfer, natural convection, product development

ALKULAUSE

Tämä insinööri työ on tehty kevään 2014 aikana Oulun ammattikorkeakoulun painettavan elektroniikan kehityslaboratorio Prinlabille. Prinlabilta ohjaajana toimi teknisen alan harjoittelija Kyösti Heikkinen. Ohjaavana opettajan toimi lehtori Jukka Ylikunnari. Kiitokset Kyöstille ja Jukalle työn ohjauksesta. Haluan kiittää myös muita henkilöitä, jotka ovat auttaneet työn edistymisessä.

Oulussa 23.4.2014

Esko Pentinpuro

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	7
2 PAINETTAVA ELEKTRONIIKKA	8
2.1 Historia	8
2.2 Tekniikka	9
2.3 Sovellukset	10
3 KUUMAPURISTUS	11
3.1 R2R-kuumapuristus	11
3.2 R2R SOM-100 Sampo	13
4 RULLAN LÄMMITYS	14
4.1 Lämpöenergian siirtyminen pinnasta	15
4.2 Rungon lämmönjohtumisen mittaus	18
4.3 Johtuminen runkoon	20
5 RULLAN VAIHTOEHTOISET LÄMMITYSRATKAISUT	23
5.1 Valetut vastukset	23
5.2 Öljykiertolämmitys	23
5.3 Suurempi vastus	26
5.4 Infrapunasäteilylämmitin	27
5.5 Induktiolämmitys	29
5.6 Muut parannusehdotukset	31
6 RULLAN LÄMMITYSVAIHTOEHTOJEN VERTAILU	32
7 POHDINTA	35
LÄHTEET	37
LIITTEET	40

1 JOHDANTO

Painettava elektroniikka on nouseva teollisuuden ala, ja sen kaupallisen läpilyönnin on arvioitu tapahtuvan kymmenen vuoden aikana. Yksi tärkeimmistä painettavan elektroniikan painomuodoista on suurille massoille tarkoitettu rullalta rullalle -menetelmä, josta käytetään nimitystä R2R. Työssä kehitetään R2R-painomenetelmän kuumapuristusyksikköä.

Opinnäytetyössä etsitään vaihtoehtoisia ratkaisuja R2R SOM-100 Sampo -painokoneen kuumapuristusyksikön lämmitykseen (liite 1). Kuumapuristusyksikön rullan pintalämmityksenä toimii rullan sisällä oleva lämpövastus, jossa on kuusi 100 watin patruunavastusta. Lämmityksen heikkous on rullan hidas lämpeneminen ja jäähtyminen sekä rullan pinnan lämpötilavaihtelut. Heikkoudet hidastavat painotapahtumaa ja huonontavat jälkeä, mikä johtaa kustannuksien nousuun ja työmäärän lisääntymiseen.

Työn tavoitteena on löytää aiempaa parempi ja stabiilimpi lämmitysmuoto kartoittamalla vaihtoehtoisia ratkaisuja ja ideoimalla täysin uusia. Ratkaisuvaihtoehtojen etsinnässä huomioidaan kuumapuristusyksikön painotapahtuman asettamat lämpötila ja säätörajoitukset. Uusia ratkaisuja vertaillaan vanhaan ratkaisuun ja arvioidaan niiden käyttökelpoisuutta kohteeseen.

Työlle haasteen asettavat teknologian uutuus ja työn luova aihe. Painettavan elektroniikan tekniikasta on vähän dokumentoitua kirjallisuutta. Työn aluksi ei rajata vaihtoehtoja mihinkään tiettyihin lämmitysmuotoihin, ja se antaa mahdollisuuden käyttää omaa luovuutta ratkaisujen etsinnässä. Tällä hetkellä vastaavia painokoneita on vähän ja tekniikan eteenpäinvieminen vaatii kovaa työtä ja ammattitaitoa.

Työn tilaajana on Oulun ammattikorkeakoulun (OAMK) tekniikan yksikön painettavan elektroniikan laboratorio Prinlab, joka on osa Printocent-ohjelmaa. Prinlab tutkii ja kehittää painettavaa elektroniikkaa ja sen vaatimia laitteistoja koululla sijaitsevassa kehityslaboratoriossa. (1.)

2 PAINETTAVA ELEKTRONIikka

Painettavassa elektroniikassa painetaan jonkin voiman avulla tuottaen jälki tai painauma alustamateriaaliin. Puhutaan lisäävästä eli additiivisesta menetelmästä, kun painetaan mustetta alustalle tuottaen jälki. Painaumassa painetaan mekaanisesti kuvio alustamateriaaliin. Painojälkenä syntyy sähköisesti, elektromekaanisesti, sähkömagneettisesti ja optisesti toiminnallisia rakenteita tulostus- ja painoteknisillä menetelmillä. Painettu elektroniikka siirtää sähköisten komponenttien avulla informaatiota haluttuun paikkaan, jossa ne ohjaavat koneita tai tuottavat tietoa. (1.) Perusajatuksena on tuottaa toiminnallisia systeemejä pelkästään painotekniikoita hyödyntäen (2, s. 14).

Painettu älykkyys on uusi innovatiivinen teknologian ala, jota hyödyntävät jo olemassa olevat teollisuuden alat luoden uusia markkinoita. Tuotteena syntyy kertakäyttöisiä sensoreita, yksinkertaisia elektronisia piirejä laajoille pinta-aloille, toiminnallisia paperin kaltaisia tuotteita, pakkauksia, kodinteknologiaa, painettuja ja orgaanista valoa emittoivia diodeja ja orgaanisia aurinkokennoja. (1.)

2.1 Historia

Painotekniikan historia ulottuu vuoteen 1436, kun Gutenberg keksi painokoneen. Samassa yhteydessä hän kehitti musteen ja painolevyn, joiden avulla puristettiin paperiin jälki. Suomessa VTT alkoi tutkia painettavaa elektroniikkaa 1990-luvulla. (1.)

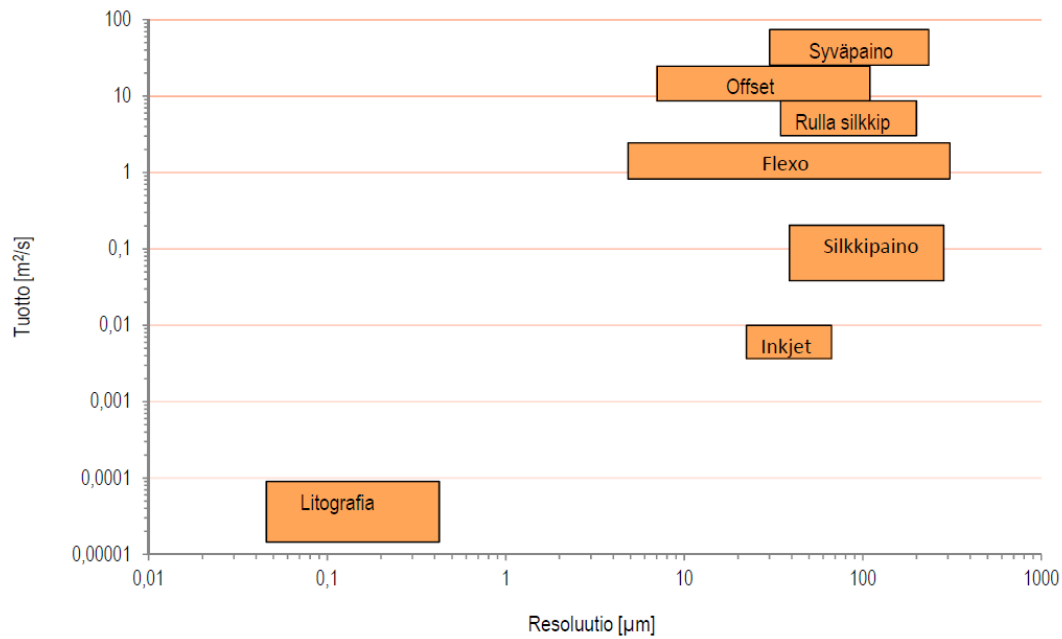
Vuonna 2003 VTT:lle hankittiin pilot R2R -laite PICO. Oulun ammattikorkeakoulun tekniikan yksikkö on osa tutkimus- ja innovaatiokeskusta Printocenttiä. PrintoCent-yhteistyö alkoi vuonna 2009, ja on tuottanut alueelle useita uusia yrityksiä. Laitteinvestointeja tehtiin muun muassa OAMK:n PAIKE-hankkeessa 1.3.–16.5.2009. PrinLabin painettavien antureiden kehityslaboratorio hanke aloitettiin 1.3.2011 EAKR-rahoituksen avulla. Sen tavoitteena on OAMK:n tiloissa olevan kehitysympäristön monipuolistaminen, mikä mahdollistaa materiaalien ja valmistusmenetelmien tutkimisen ja kehittämisen. Prinlab antaa mahdollisuuden ja paikan yrityksille tutustua teknologiaan sekä auttaa tuotannon ja teknologian kehittämisessä. (1; 3.)

2.2 Tekniikka

Painettavassa elektroniikassa materiaali painetaan nestemäisenä haluttuun alustamateriaalipintaan. Painettavalla materiaalilla täytyy olla riittävät painettavuusominaisuudet ja sähköinen toiminnallisuus, jolloin sitä voidaan käyttää toiminnallisten komponenttien ja systeemien valmistuksessa. Painomateriaalina käytetään kehittyneitä materiaaleja kuten johtavia polymeerejä ja nanopartikkeleita. (1.)

Painettavassa elektroniikassa käytetään uusia materiaaliyhdistelmiä. Uusia mahdollisuuksia avaavat tekniikan kustannustehokkuus ja suurten pinta-alojen painaminen. Teknologian avulla on mahdollista valmistaa ohuita, keveitä, joustavia ja kestäväää kehitystä tukevia komponentteja ja sovelluksia. (4, s. 2.) Rullalta rullalle -teknologian avulla voidaan tuottaa suuria määriä tuotteita nopeasti ja tehokkaasti jopa kilometrien pituisille kalvoille. Valmistusaika yhtä komponenttia tai moduulia kohden on lyhyt, jolloin myös valmistuskustannukset ovat alhaiset. (2, s. 14.)

Painettavalla elektroniikalla on rajoittavina tekijöinä painojäljen resoluutio eli kohdistustarkkuus (kuva 1), joka on mikrometritasolla. Mitä pienempi on resoluutioarvo, sitä tarkempi on painojälki. Valmistuslaitteita ei ole vielä paljon, ja niiden kehitys on alkuvaiheessa. Materiaalina käytetyt orgaaniset puolijohteet ovat herkkiä kosteudelle ja hapelle, mikä tuo haasteen painojäljen säilymiselle toimivana. Materiaalien liikkuvuus, joka tarkoittaa materiaalin varauksenkuljettamisnopeutta, on matala. Se on esimerkiksi piillä $100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ja orgaanisilla puolijohteilla alle $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$. Materiaalien elinikä vaihtelee tunneista vuoteen. (1.)



KUVA 1. Eri painomenetelmien materiaalin tuotto ja resoluutio (1)

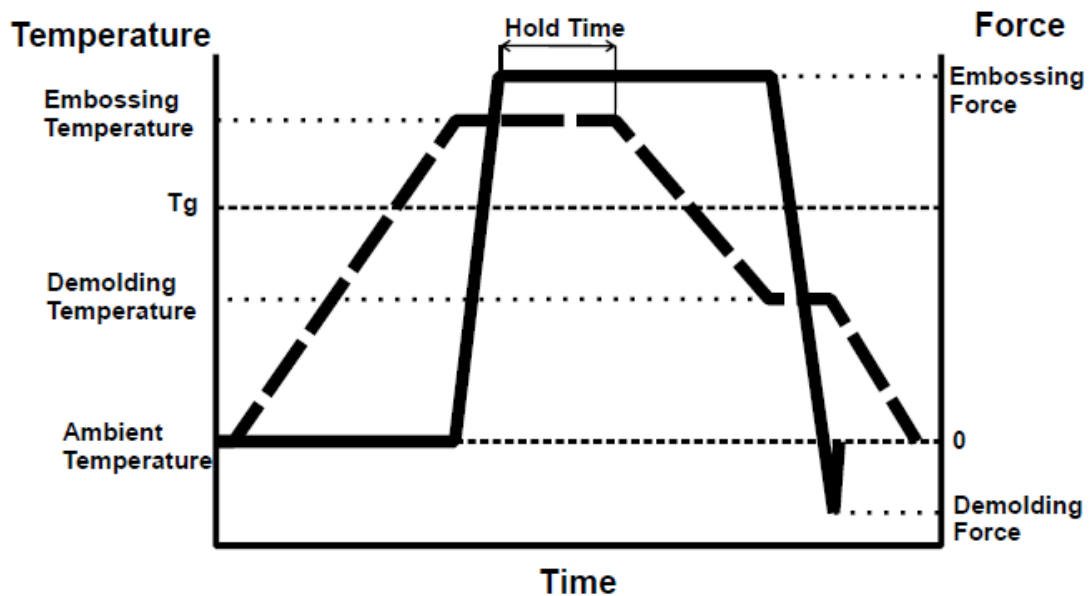
2.3 Sovellukset

Painettavan elektroniikan painomenetelmät poikkeavat perinteisestä painamisesta. Painomenetelmiä ovat silkkipaino, syväpaino, flexopaino, offset, pad printing, inkjet, aerosol jet, dispensointi ja kuumapuristus. Sovelluksien valmistuslaitteet ja materiaalit ovat uusia tai muutettuja. Ohuet kerrokset ja kohdistusvaatimukset vaativat uudet mittalaitteet ja laaduntarkkailun. (1.)

Hybridisysteemeiksi sanotaan komponentteja ja kokonaisuuksia, joissa yhdistyvät painetut kokonaisuudet perinteisiin elektroniikkakomponentteihin ja alikoonpanoihin. Tavoitteena on parantaa tuotteen suorituskykyä ja laskea hintaa eri valmistekniikoita yhdistämällä. (2, s. 14–15.) Hybridisysteemiin voi integroida useita valmistusmenetelmiä kuten tulostus, painaminen, laserleikkaus, leikkaus, ladonta ja laminointi (1).

3 KUUMAPURISTUS

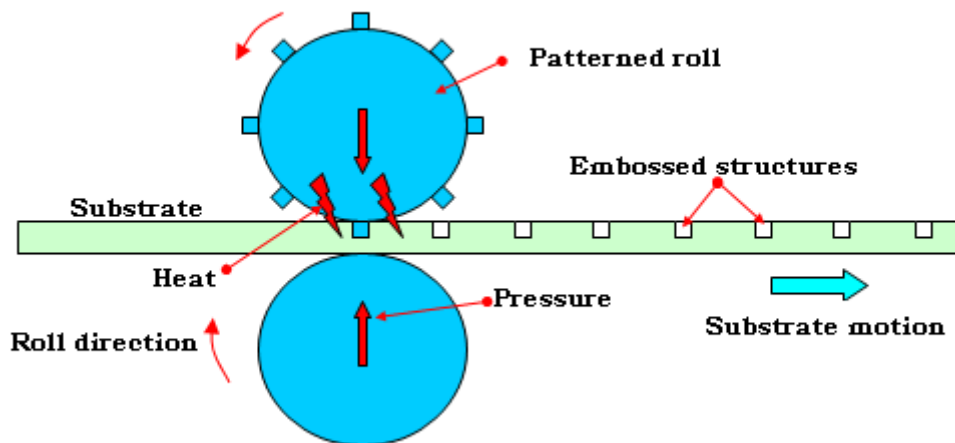
Kuumapuristus on lupaava elektronikan valmistustapa. Prosessissa lämmitetään painettava materiaali lähelle tai yli lasisiirtymälämpötilaa (T_g). Lasisiirtymälämpötilassa (kuvassa $2 T_g$) materiaali muuttuu hauraasta ja kovasta venyväksi ja muotoiltavaksi, milloin sen painaminen on mahdollista. Kuumennettu muotti tai telan pinta painetaan sopivalla paineella materiaaliin ja saadaan painojäljellä haluttu ominaisuus kohteeseen. Myös puristus aika täytyy olla sopiva. Puristus-tapoja ovat tasokuumapuristus ja R2R-kuumapuristus, joista tässä työssä käsitellään jälkimmäistä. (5, s. 21.)



KUVA 2. Lämpötilan ja voiman kehityskuvaaja (5, s. 21)

3.1 R2R-kuumapuristus

R2R-kuumapuristaminen on massatuotantoon suunniteltu menetelmä. Substraatti eli alustamateriaali kulkee kahden pyörivän sylinterin välistä (kuva 3), joista ainakin toinen lämmitetty painotela painaa halutun kuvion substraattiin. Molemmat painotelat voivat olla lämmitettyjä. (6, s. 15.)



KUVA 3. Rullalta rullalle -teknologia toimintaperiaate (6, s. 15)

Painotelan ja substraatin välinen kosketusaika on riippuvainen substraatin nopeudesta. Ajonopeutta säätämällä voidaan kosketusaikaa pidentää tai lyhentää haluttuun suuntaan. R2R-menetelmässä painojäljen syvyyteen voidaan vaikuttaa painetta ja lämpötilaa säätämällä. Nostamalla painetta tai lämpötilaa jälki yleensä syvenee. Painettavaa materiaalia voidaan esilämmittää esimerkiksi kuumailmapuhaltimella tai ajoreitin muutoksella. Ajoreitinmuutoksessa substraatti tuodaan painorullalle yläviistosta, jolloin se on pidempään kosketuksessa painotelan kanssa ja lämpenee paremmin. (6, s. 15.)

Rullalta rullalle -teknologiassa painavana yksikkönä toimii kuvioitu sylinteri eli painohiha. Kuvioiden koko vaihtelee syvyydeltään kymmenistä nm– μm :n välillä ja tason suunnassa noin 100 nm:stä ylöspäin. (1.)

Kuumapuristettavaksi sopivia termoplastisia alustamateriaaleja ovat esimerkiksi polymetyylimetakrylaatti PMMA ($T_g = 100\text{--}120\text{ }^\circ\text{C}$), polykarbonaatti PC ($T_g = 150\text{--}155\text{ }^\circ\text{C}$), polystyreeni PS ($T_g = 90\text{--}100\text{ }^\circ\text{C}$), polyeteeni PE, polypropeeni PP, polyetyleenitereflaatti PET ja amorfinen α -PET ($T_g = 63\text{ }^\circ\text{C}$). Materiaali täytyy pinnoittaa termoplastisella pinnoitteella, jos se ei ole termoplastinen. Pinnoitettavia materiaaleja ovat muun muassa paperi ja kartonki. (1.)

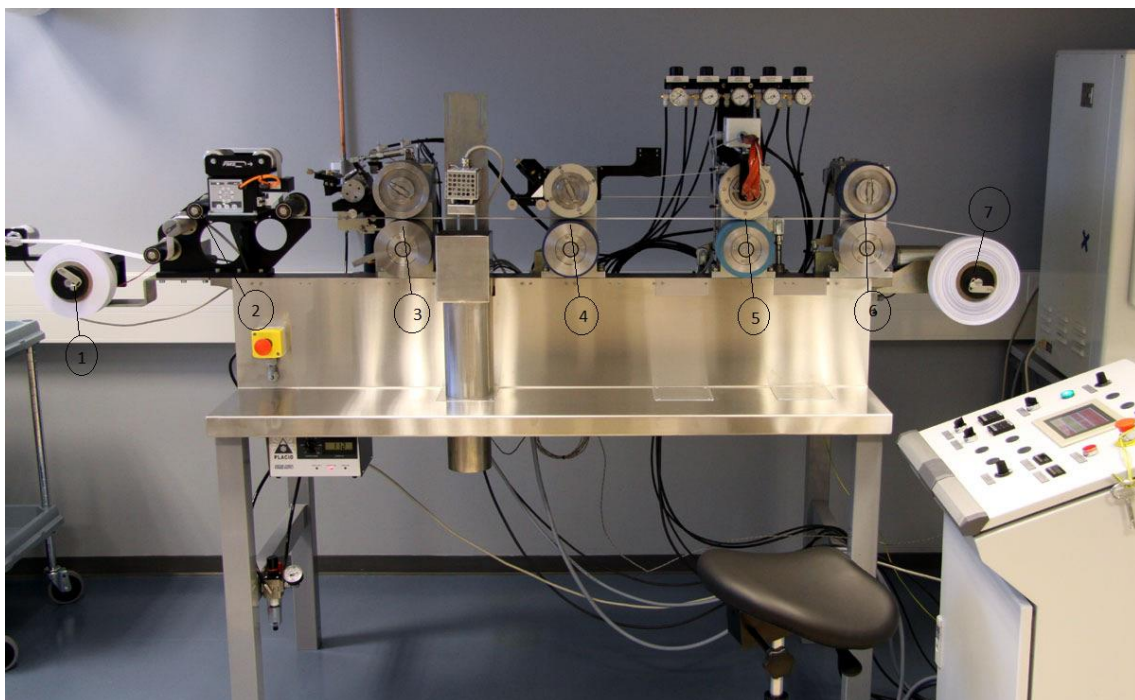
Kuumapuristuksella voi kuvioida eri kuvioita muovien pinnoille. Kuvioitua muovia voidaan hyödyntää esimerkiksi koristeena, mainoksissa, informaation väli-

tyksessä, aitouden tunnistamisessa ja turvallisuussovelluksissa. Mikrofluidistikaassa kuumapuristusta voidaan hyödyntää näytteen kuljettamisessa, näytteiden sekoituksessa ja suodatuksessa. Kuumapuristuksella voidaan tehdä myös optisia elementtejä. (1.)

Kuumapuristuksen heikkous on sen likaantumisherkkyys, koska jo sormenjälki voi estää kuvion tunnistamisen. Väärät parametrit, huonolaatuinen hiha ja sopimattomat materiaalit voivat aiheuttaa myös virheitä. Kuviot täytyy usein suojata likaantumiselta pinnoitusmenetelmän avulla. (1.)

3.2 R2R SOM-100 Sampo

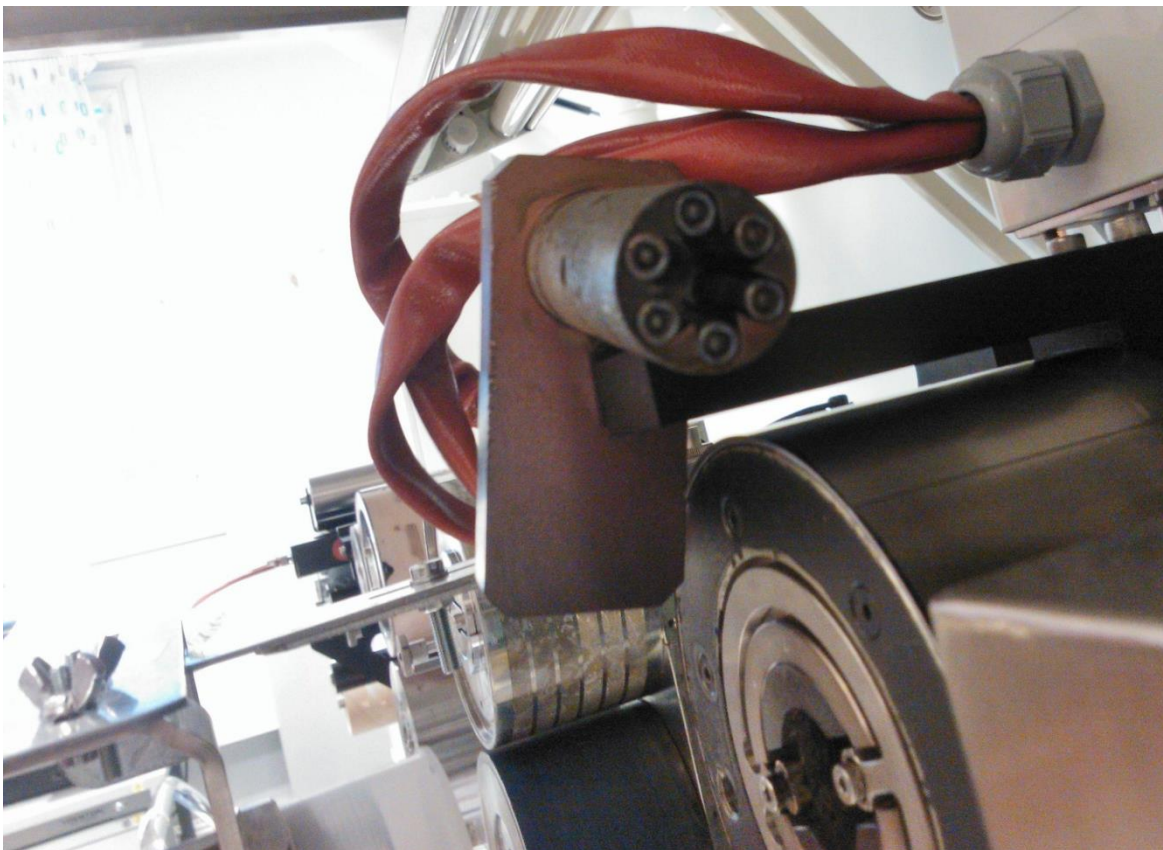
R2R SOM-100 Sampo on Oulun ammattikorkeakoulun Prinlabin painettavan elektroniikan laboratoriossa oleva rullalta rullalle -painokone. Kuvassa 4 ovat Sammon kolme painoyksikköä: kohopaino-, syväpaino- ja kuumapuristusyksikkö. Rullan leveys on 80 mm (1).



KUVA 4. R2R SOM-100 Sampo: 1: syöttörulla, 2: ajoreitin, 3: kohopainoyksikkö, 4: syväpainoyksikkö, 5: kuumapuristusyksikkö, 6: vetorulla, 7: loppurulla, etualalla oikealla ohjausyksikkö (1)

4 RULLAN LÄMMITYS

Tämän hetken lämmitysratkaisu on kuvassa 5 punaisen johdon päässä oleva kuusi 100 watin patruunavastusta sisältävä lämmitysvastus, joka kiinnitetään ruuveilla rullan sisään. Kuvasta 5 nähdään vastuksen olevan keskellä painote-
laa, mikä aiheuttaa lämmitysongelmat. Vastuksen ja telan pinnan välinen etäisyys on niin pitkä, että säädettävyys kärsii ja rullan pinnan tavoitelämpötila saavutetaan hitaasti. Toinen ongelma on runkoon johtuva lämpötila. Lämmitysvastus on suoraan rungon läpi menevän akselin päässä, ja sen kautta lämpö johtuu kaikkialle runkoon. Pidemmässä ajossa lämpötilasäädettävyys alaspäin hidastuu, kun runko on lämmennyt ja sen lämmönvastaanottokyky heikentyy. Tällöin lämpö poistuu pääasiassa rullan pinnan kautta ja lämmönlasku on hidasta.



Kuva 5. Lämmitysvastus, jonka sisässä on kuusi 100 watin patruunavastusta; kuvan alareunassa näkyy reikä, jonne vastus kiinnitetään

4.1 Lämpöenergian siirtyminen pinnasta

Painotelan pinnasta siirtyy lämpöä ympäristöön säteilyä ja vapaana eli luonnollisena konvektiona. Tämä lämpö täytyisi yrittää minimoida materiaaliratkaisuilla, jotka säteilevät mahdollisimman vähän ulospäin. Toisaalta luonnollinen konvektio ja säteily ovat rullan pinnan jäähtymiskeino, kun halutaan säätää pintalämpötilaa alaspäin, ja ei ole muuta jäähdytyskeinoa.

Kappaleet emittoivat eli lähettävät pinnaltaan energiaa sähkömagneettisena säteilyä. Energia syntyy atomien ja molekyylien lämpöliikkeestä. Emissiivisyys ε on pinnan säteilytehon ja pinta-alaltaan yhtä suuren ja samassa lämpötilassa olevan ideaalisen säteilijän niin sanotun *mustan pinnan* suhdeluku. Suhdeluku on kappaleesta riippuen nollan ja yhden väliltä. (7, s. 419.) Painopinta on nikkeä tai sen seosta, jonka suhdeluku on 0,2 (8). Rullan säteilyä luovuttama teho lasketaan kaavalla 1 (9).

$$\Phi_s = \varepsilon A \sigma F_1 (T_1^4 - T_0^4)$$

KAAVA 1

Φ_s = säteily lämpöteho (W)

ε = pinnan emissiivisyys

A = vaipan pinta-ala (m²)

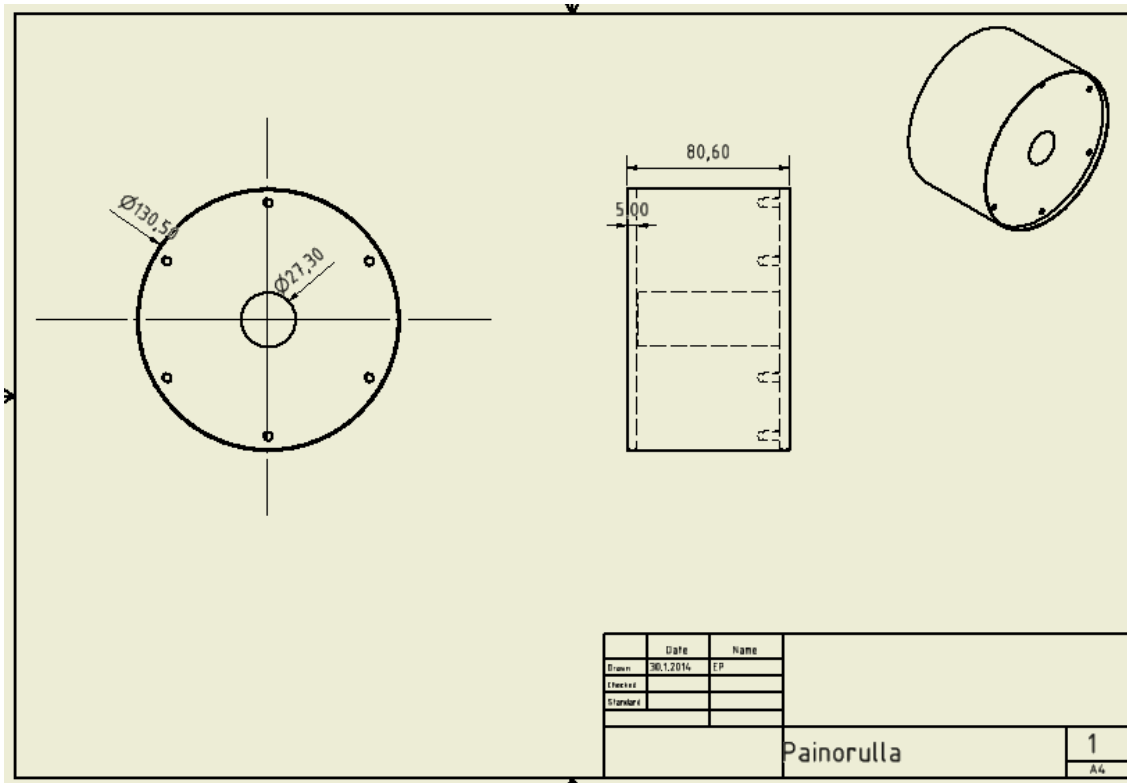
σ = Stefan-Boltzman vakio

F_1 = näkyvyyskerroin

T_1 = pinnan lämpötila (°C)

T_0 = ympäristön lämpötila (°C)

Ympäristön lämpötilaksi oletetaan 22 °C ja pinnan lämpötilaksi 140 °C. Huoneen emissiivisyyttä tässä tapauksessa ei huomioida. Näkyvyyskerroin on 1, kun rulla on täysin näkyvillä. Kuvasta 6 nähdään rullan päämitat työntömitalla mitattuna.



KUVA 6. Painorullan päämitat

Rullan vaipan ala lasketaan kaavalla 2 (10, s. 21).

$$A_v = \pi dh \text{ (m}^2\text{)}$$

KAAVA 2

$$A_v = \text{vaipan ala (m}^2\text{)}$$

$$d = \text{rullan halkaisija (m)}$$

$$h = \text{rullan pituus (m)}$$

Rullan säteilynä luovuttama teho on

$$\begin{aligned} \dot{Q}_s &= 0,1 \times 5,67051 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \times \pi \times 0,1305 \text{ m} \times 0,0806 \text{ m} \times 1 \\ &\times ((273,15 + 140)^4 - (273,15 + 140)^4) \text{ K}^4 = 8,07 \text{ W}. \end{aligned}$$

Lasketaan materiaalin verrannollisuuskerroin α , josta käytetään nimitystä materiaalin ainevakio eli *lämmönjohtavuus*. Vaakasuoralle putkelle lämmönjohtavuus lasketaan kokemukseräisellä kaavalla 3 (9).

$$\alpha_u = 5,0 \times \left(\frac{T_1 - T_2}{T_2 \times d_u} \right)^{\frac{1}{4}}$$

KAAVA 3

α_u = lämmönjohtavuus vaakasuoralle putkelle (W/m²K)

T_1 = rullan pinnan lämpötila (°C)

T_1 = ympäristön lämpötila (°C)

d_u = rullan halkaisija (m)

Lämmönjohtavuus on

$$\alpha_u = 5,0 \times \left(\frac{140^\circ\text{C} - 22^\circ\text{C}}{(273,15 + 22)^\circ\text{C} \times 0,1305\text{m}} \right)^{\frac{1}{4}} = 6,614959 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

Luonnollista konvektiota syntyy, kun ainevirtaus tapahtuu tiheyserojen seurauksena (7, s. 407). Rullan pinnan läheisyydessä paikallaan oleva ilma lämpenee, jolloin lämmin ilma nousee ylöspäin ja tilalle siirtyy kylmää ilmaa. Kierto jatkuu näin jatkuvasti, ja pinta luovuttaa lämpötehoa kaavan 4 mukaisesti. (9)

$$\Phi_k = \alpha \times A \times \Delta T$$

KAAVA 4

Φ_k = luonnollisen konvektion aiheuttama lämmönsiirtoteho (W)

A = vaipan ala (m²)

ΔT = pinnan ja ympäristön lämpötila ero (°C)

Luonnollisella konvektiolla siirtyvä lämmönsiirtoteho on

$$\Phi_k = 6,614959 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \times \pi \times 0,1305\text{m} \times 0,0806\text{m} \times (140 - 22)^\circ\text{C} = 25,79 \text{ W}.$$

Lämmönsiirtoteho yhteensä saadaan summaamalla säteilyn ja vapaan konvektion luovuttamat lämpötehot kaavalla 5.

$$P = \Phi_k + \Phi_s = 8,037 \text{ W} + 25,79\text{W} = 33,9 \text{ W}$$

KAAVA 5

Tuloksesta voidaan päätellä rullan pinnan luovuttaman lämpötehon olevan pieni. Säteilytehon pienen arvon selittää kirkas nikkelpinta, jonka emissiivisyys on pieni, ja tällöin myös säteilyteho on pieni.

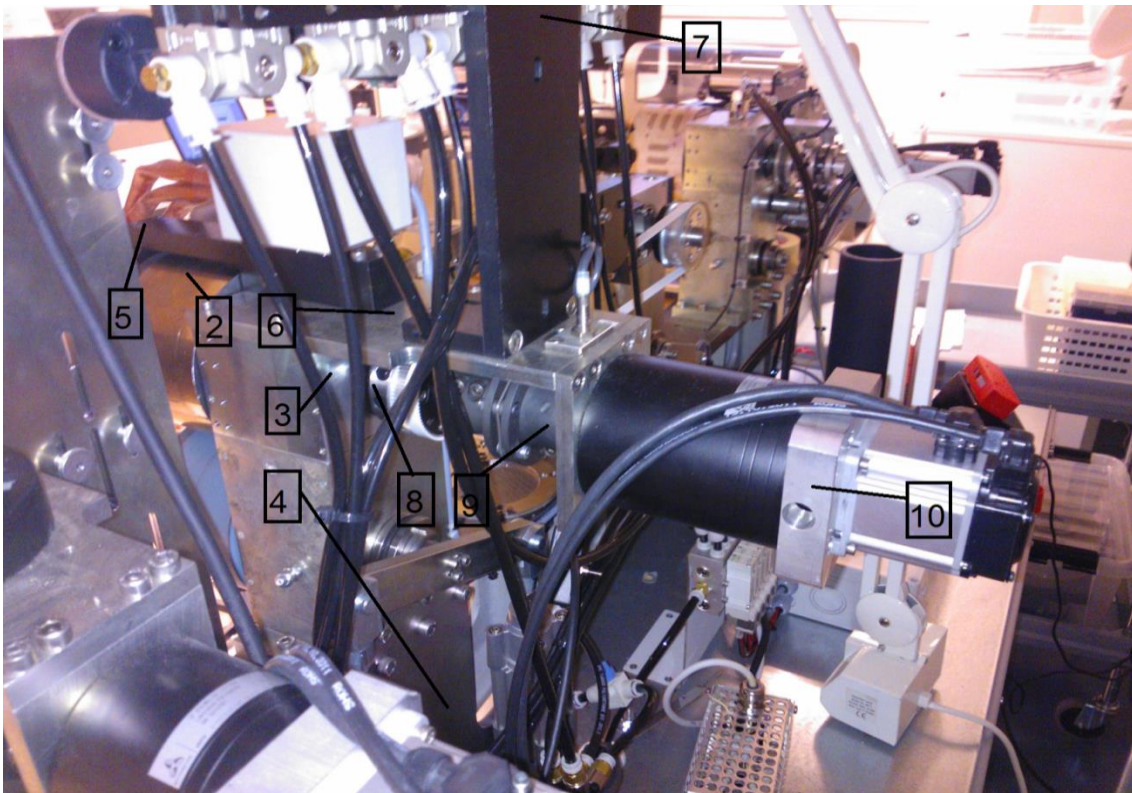
Rullan pinnanlämpötilan täytyy olla mahdollisimman stabiili, ja siksi pienikin tehohäviö pinnasta laskee rullan pintalämpötilaa. Tuloksen perusteella mahdollinen ulkopuolinen lämmitys on hyvä sijoittaa juuri ennen painotapahtumaa, koska jäähtymää lämpöhäviötehona on pinnasta. Tällöin pienetkin heitot pintaläm-

pötilassa minimoidaan. Myös lämpötilanmittaus täytyy olla lämmityksen ja painotapahtuman välissä samasta syystä.

4.2 Rungon lämmönjohtumisen mittaus

Rungon lämpötilan mittauksessa käytettiin lämmönvastuksen pinnan mittaamiseen Flir i3 -lämpökameraa. Telan pintalämpötila mitattiin Sammon omalla ohjauksyksiköllä ja muut pintalämpötilat Fluke 179 k-type -pintalämpötilamittarilla.

Painokonetta ajettiin mahdollisimman realistisen ajotavan mukaan. Painopinnan lämpötilaksi asetettiin 140 °C ja konetta ohjattiin automaattilla. Mittaukset tehtiin aina samalla tavalla, ja aika mittauksien välissä pidettiin vakiona. Lämmitys toimi koko mittauksen ajan. Mittauspisteet valittiin ympäri runkoa tasaisesti, jotta saataisiin mahdollisimman kattava käsitys lämmönjohtumisesta. Mittauspisteiden paikat näkyvät kuvassa 7.



KUVA 7. Lämpötilan mittauspisteet: 1: vastuksen pintalämpötila, ei näy kuvassa, 2: rullan pintalämpötila, 3: tukirungon yläosa, 4: tukirungon alaosa, 5: alumiinisen kannakkeen pääty, 6: rungon poikkituki, 7: mittaritaulun tuen yläosa, 8: akselin alkuosa, 9: akselin keskiosa ja 10: moottorin kiinnityslevy

Mittaustuloksia otettiin kymmenen minuutin välein. Aika laitettiin aina uudestaan käyntiin, kun edellinen mittaus oli suoritettu. Mittaustulokset kirjattiin muistiin ja laadittiin mittauspöytäkirja (liite 2). Jokaisen mittauksen jälkeen kirjattiin huomioita:

1. mittaus: Lämmönvastus laajeni lämmityksessä, jolloin se ei enää tullut kokonaan ulos rullan sisältä. Vastusta vedettiin hiukan ulos ja mittaus tapahtui joka kerta vastuksen alkuosan pinnasta. Pinnan lämpötila vastaa myös vastuksen akselin pään lämpötilaa. Ensimmäisessä mittauksessa kului aikaa noin viisi minuuttia.

2. mittaus: Rullan painopinta saavutti tavoitelämpötilan. Aikaa kului noin kaksikymmentä minuuttia, mikä on paljon. Vastus ei enää ollut niin kuuma kuin ensimmäisessä mittauksessa, koska lämmitystehontarve on pienempi pinnanlämpötilan saavutettua tavoitelämpötilan. Mittauksessa kului aikaa noin neljä minuuttia.

3. mittaus: Painopinnan pintalämpötila tasaantui 140 °C:seen. Mittauksessa kului aikaa noin kolme minuuttia.

4. mittaus: Huomattiin vastuksen pintalämpötilan vaihtelevan 220 °C:n molemmin puolin. Lämpötilavaihtelun suuret erot aiheutuvat PID-säädöstä, joka toimii päällä/poismenetelmällä. Mittauksessa kului aikaa noin kolme minuuttia.

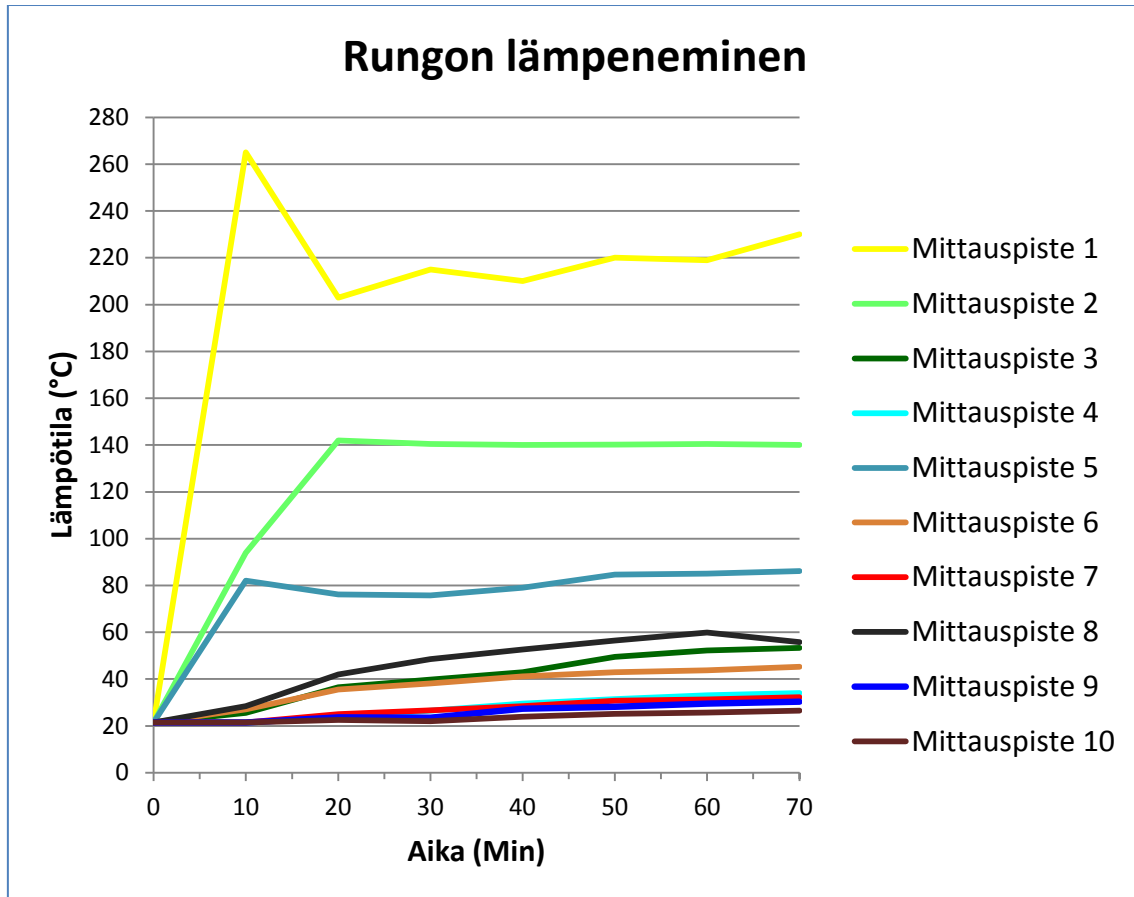
5. mittaus: Kaikki lämpötilat nousevat edelleen. Mittauksessa kului aikaa noin kaksi minuuttia.

6. mittaus: Lämpötilanousut ovat pienempiä verrattuna edelliseen mittaukseen. Mittauksessa kului aikaa noin kaksi minuuttia.

7. mittaus: Akselin juuren lämpötila (piste 3) ei enää noussut. Muidenkin mittauspisteiden lämpötilanousut olivat pienempiä. Tämä ajoaika on tyypillinen Sammolle ja mittaukset lopetettiin. Kokonaisuudessaan ajoaika oli noin 85 minuuttia.

Mittausten perusteella laadittiin kuva 8, joka on viivakaavio rungon lämpenemisestä. Kaaviosta nähdään kaikkien pisteiden lämpötilojen nousujen olevan

alussa jyrkkiä. Loppuajasta huomataan osan mittauspisteiden lämpötilojen tasaantuneen. Mittauspiste 1, joka on vastuksen pinta­lämpötila, vaihtelee paljon. Tästä aiheutuvat myös rullan pinta­lämpötilan vaihtelut. Kaukana lämmityksestä olevat osat jatkavat lämpenemistään vielä mittauksen loppupuolellakin.



KUVA 8. Rungon lämpenemisen viivakaavio

4.3 Johtuminen runkoon

Yksi lämmityksen ongelma on lämpötehon häviäminen akselin kautta runkoon. Runko kuumenee huomattavasti kuumpuristusyksikköä käytettäessä. Rullan ja rungon materiaali on nuorrutusteräs 42CrMo4. Sen lämmönjohtavuus $\lambda = 42\text{--}59$ W/Km (11, s. 1121).

Runkoon johtuva lämpöhäviöteho lasketaan liitteen 2 mittaustulosten perusteella. Mittauspisteiden avulla (kuva 7) yksinkertaistetaan runko viiteen osaan, joiden aloja ja keskilämpötiloja laskuissa käytetään. Alue yksi (A_1) on mittauspisteiden 3 ja 4 välinen runkopalkki. Alue kaksi (A_2) on mittauspisteiden 8 ja 9 väli-

nen akseliosa. Alue kolme (A_3) on mittauspisteiden 9 ja 10 välinen akseliosa. Alue neljä (A_4) on mittauspisteiden 5 ja 6 välinen alumiiniosa. Alue viisi (A_5) on mittauspisteiden 6 ja 7 välinen rungonosa.

Lasketaan alueiden pinnoista säteilyn ja luonnollisen konvektion aiheuttama lämpöhäviöteho. Summataan saadut tulokset yhteen, mikä vastaa akselin kautta runkoon häviävää tehoa. Keskilämpötila otetaan 70 minuutin kohdalta. Nuorutusteräksen emissiivisyys on 0,7 ja alumiinin 0,4 (8). Tilan lämpötila on 22 °C:ta.

Akselin vaipan ala lasketaan aiemmassa laskussa käytetyllä kaavalla 2 ja suorakantaisen alueen pinta-ala lasketaan kaavalla 6 (10, s. 17).

$$A = a \times b \qquad \text{KAAVA 6}$$

Luonnollisen konvektion kaavassa 4 tarvittava lämmönjohtavuus lasketaan tässä tapauksessa lämmin lattia, kylmä katto periaatteella kaavan 7 mukaisesti (9).

$$\alpha_k = 2,26 \times (T_1 - T_2)^{\frac{1}{3}} \qquad \text{KAAVA 7}$$

Taulukkoon 1 tarvittavat kaavat ovat seuraavat: alojen kaavat 2 ja 6, säteilynä siirtyvä lämpöhäviötehon kaava 1, lämmönsiirtokerroin kaava 7 ja luonnollisen konvektion avulla siirtyvä lämpöhäviötehon kaava 4.

TAULUKKO 1. Säteilyn ja luonnollisen konvektion avulla runkoon siirtyvä lämpöhäviöteho

Alue	Ala A (m ²)	Emissiivisyys ϵ	Keskilämpötila ΔT (°C)	Säteilyteho θ_s (W)	Lämmönjohtavuus α_k (W/m ² K)	Luonnollisen konvektion lämpöhäviöteho θ_k (W)
A ₁	0,10452	0,7	43,65	0,00005	6,2988	14,253
A ₂	0,023119	0,7	43,10	0,00001	6,2450	3,046
A ₃	0,025297	0,7	28,45	0,000004	4,2069	0,686
A ₄	0,017736	0,4	65,70	0,00001	7,9604	6,170
A ₅	0,078696	0,7	38,75	0,00003	5,7825	7,622
					Rungon kokonaislämpöhäviöteho	$\Sigma \theta_{\text{kok}} = 31,777\text{W}$

Rungon kokonaislämpöhäviöteho on noin 2 wattia vähemmän kuin painorullan pinnasta häviävä lämpöhäviöteho. Alumiiniosa (A₄) luovuttaa lämpöä laskun mukaan 6,170 wattia. Osa alumiiniosasta on rullan yläpuolella, jolloin se vastaanottaa rullan pinnasta lähtevää luonnollista konvektiota ja säteilyä näkyvyyskertoimen suhteessa. Lisäksi alumiinilla on hyvä lämmönjohtavuus eteenpäin, jolloin se leviää alumiiniosiin, jotka eivät ole suoraan rullan yläpuolella. Alumiiniosan luovuttama lämpöhäviö on noin viidesosa rullan lämpöhäviötehostä, mikä on järkevä suhdeluku.

5 RULLAN VAIHTOEHTOISET LÄMMITYSRATKAISUT

5.1 Valetut vastukset

Resiterm Oy suunnittelee, valmistaa ja markkinoi teollisuuden käyttöön erilaisia sähkölämmitysvastuksia. Yrityksen tuotevalikoimasta löytyy valetut vastukset. Valetuilla vastuksilla on hyvä lämpötehon siirtonopeus, tasainen lämpötilan profiili, pitkä käyttöikä ja hyvät kosteuden- ja korroosionkesto-ominaisuudet. (12.)

Alumiiniin valetaan putkivastus, jonka etuna on hyvä muotoiltavuus. Vastuksen halkaisija tässä suunnitelmassa on 6,5 mm ja vaippa-aineena on yleensä seostettu ruostumaton teräs Aisi 309. Putkivastuksen ympärille valetaan siluminiseos AISi10Mg ja seoksen pinta työstetään oikeaan mittaan. Valuvastuksen pinta voidaan vielä pinnoittaa. Vastuksien korkein käyttölämpötila on +450 °C, ja valun suositellaan olevan vähintään 20 millimetriä työstettynä. (12.)

Johtaja Grön Frank Resiterm Oy:stä arvioi, että kuumapuristusyksikön rullaan voidaan maksimissaan asentaa 1 500 wattia tehoa putkivastuksina. Hyvin karkeaksi hinta-arvioksi Grön arvioi 8 000 euroa. Valumallin tekemiseen menisi aikaa noin neljä viikkoa, valimon toimitusaika olisi 4–6 viikkoa ja koneistus tapahtuisi tämän jälkeen. Koko toimituksen ajaksi muodostuisi noin kymmenen viikkoa. Liitteestä 3 nähdään Grönin alustavan suunnitelman putkivastuksien sijoittelusta ja valumallista. (13.)

5.2 Öljykiertolämmitys

Öljykiertolämmityksessä säiliössä oleva öljy lämmitetään haluttuun lämpötilaan ja kierrätetään rullan sisään. Rullan päässä on venttiili, joka ohjaa öljyn kiertoa rullan sisässä. Pienemmissä rullissa öljy menee sisään rullan keskiosasta putkea pitkin lähelle rullan takaseinää ja palaa vapaasti takaisin rullan ulkoreunojen lähellä ohjautuen venttiiliin kautta takaisin öljysäiliöön. Suuremmissa rullissa rullan sisällä on putkikierukka. Jäähdytys tapahtuu lämmönvaihtimessa veden avulla. (14.)

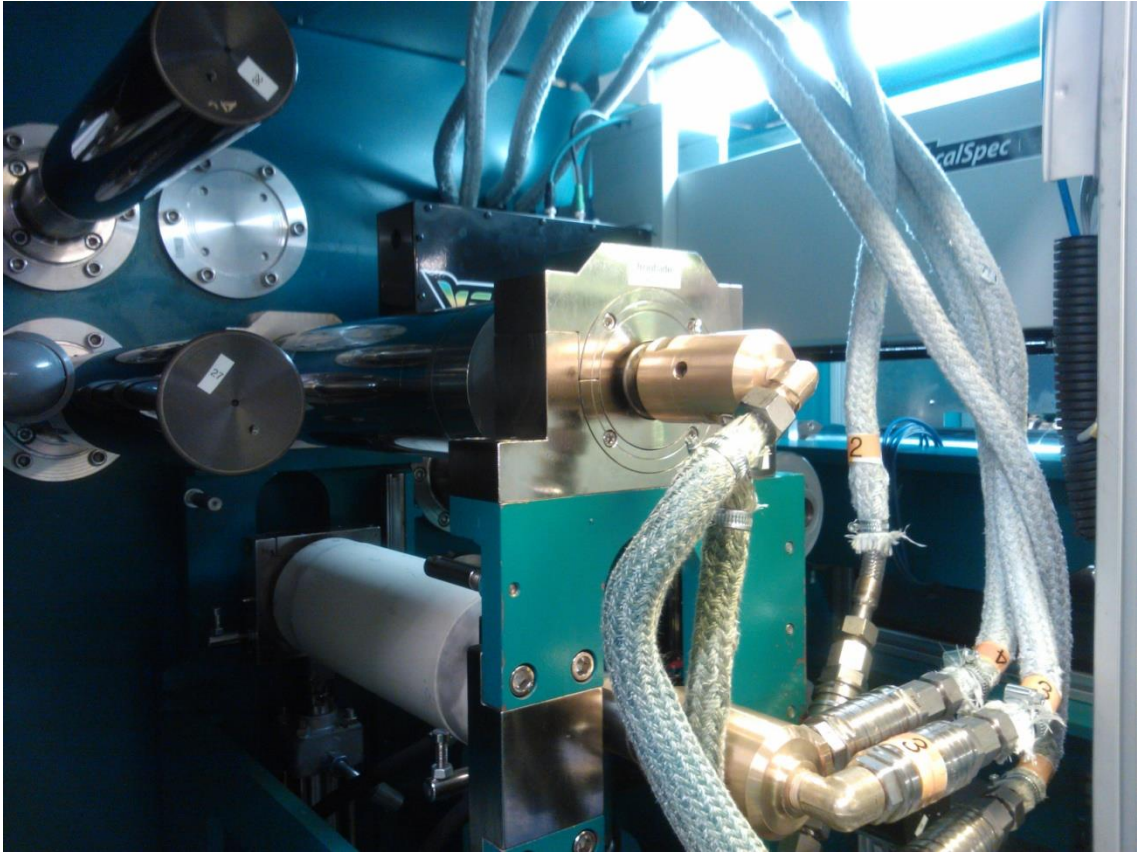
VTT:n kaikkien painettavan elektroniikan rullalta rullalle -painokoneiden kuumapuristusyksiköiden lämmitys toimii öljyllä. Uusin R2R-painokone on Maxi, jonka

substraatin leveys on 300 mm ja ajonopeusmaksimi 30 metriä minuutissa. Maxin kuumapuristusyksikössä lämmitetään sekä painorulla että vastatela, joille on kummallekin oma öljykierto. Lisäksi koneessa on oma öljynkierto laminoinnille. Maxin öljyn lämmönvaihtimet ovat suuret ja niiden öljysäiliöiden koko on 50 litraa. Jäähdytys tapahtuu vesijohtovedellä. Kuvasta 9 nähdään Maxin lämmönvaihtimien, pumppujen ja moottorien viemän tilan. (14.)



KUVA 9. Maxin öljynlämmönsiirrin koneisto

Maxissa rullan lämpenemiseen menee aikaa noin tunti. Pitkään lämpenemisaikaan on syynä koneiston käyttämä suuri öljytilavuus. Painopinnan ja rullan sisällä olevan öljytilan välisen seinämän vahvuus on kymmenen millimetriä, jonka läpi johtamalla lämpö saavuttaa pinnan. Lämmönvaihtelu on ± 2 °C rullan pinnassa, johon VTT:llä ollaan tyytyväisiä huomioiden rullan suuren koon. Etuna öljykiertolämmityksellä on nopea lämmönsäädeltävyys pumppauksen ja vesijäähdytyksen avulla. Öljykierron asentaminen vaatii kalliit venttiilit, laadukkaat pikaliittimet, pitävät tiivisteet ja rullan oikeanlaisen muodon. Kuvasta 10 nähdään Maxin venttiilit ja pikaliittimet. (14.)



KUVA 10. VTT:n R2R-painokone Maxin paino- ja vastatelan lämmityksen järjestelmä

Sammon kuumapuristusyksikön lämmitys vaatii huomattavasti pienemmän lämmönvaihtimen kuin Maxissa. Lämmittimeksi soveltuu pieni temperointilaite, jonka tehtävä on pitää oikea lämpötila kohteessa. Sen etuna on joustava ja nopea lämmönsäädeltävyys sekä ylös- että alaspäin. Temperointilaite vaatii jäädystykseen vesijohtoveden. (15.)

Temperointilaitetta valittaessa täytyy huomioida kohteessa tarvittava lämpötila ja lämmönsiirtoteho. Suuremman alueen lämmittäminen vaatii tehokkaamman laitteen. Temperointilaitteet siirtävät lämpöä veden-, paineveden tai öljyn avulla. Öljyn lämmönsiirtotehoalue ylettyy jopa 250 °C:seen (Liite 4). Vedellä saavutettavat lämpötilat vaihtelevat 90 °C:sta 140 °C:seen (Liite 5). (15.)

Temperointilaitteita toimittavat useat toimijat ja VTT:llä on esimerkiksi käytössä Corema. Muita toimittajia ovat Green-Box, Industrial Frigo ja Tool-Temp. Toimintajohtaja Arto Heinonen EKO-FORM Oy:stä teki tarjouksen kuumapuristusyksik-

sikköön hänen mielestään sopivimmasta temperointilaitteesta. Yritys on Green-Box temperointilaitteiden maahantuoja.

Heinonen mielestä kohteeseen sopii pieni temperointilaitte, koska lämmitettävä ala on pieni. Vaihtoehtoina olisivat öljyä käyttävä laite TBH 3 OH ja painevettä käyttävä laite TB 3 PHT. Liitteestä 4 nähdään TBH 3 OH laitteen tekniset tiedot, mitat ja putkiliitännöjen koot. Liitteestä 5 nähdään vastaavat tiedot TB 3 PHT laiteesta. Vertailtaessa liitteistä laitteiden maksimi työskentely lämpötiloja, ovat ne öljyllä toimivalla laitteella 190 °C ja painevedellä toimivalla laitteella 160 °C. Liitteessä 5 paineveden työskentelylämpötila on 140 °C, mutta Heinosen mukaan pienillä erikoisjärjestelyillä se voidaan nostaa 160 °C:seen. Vedellä toimivassa laitteessa jäähdytysteho on 80 kW ja öljyllä toimivassa 51 kW. Kummankin lämmitystehot ovat 3 kW. (16.)

Laitteiden hinnassa ei ole suurta eroa, TBH 3 OH maksaa 4 520 euroa ja TB 3 PHT 4 736 euroa pakkauksineen Helsingissä, kun alv prosentti on nolla. Laitteiden toimitusaika on seitsemän viikkoa. (16.)

5.3 Suurempi vastus

Suuremmalla vastuksella voidaan suurentaa rullan lämmitystehoa erityisesti lämmityksen alkuvaiheessa. Käsiohjauksella ajettaessa voidaan pinnanlämpötila saavuttaa nopeammin tavoitelämpötilaan ja siirtyä sen jälkeen automaattiohjaukseen. Patruunoiden kokoa voidaan suurentaa tai laittaa vanhan patruunan tilalle uusi lämmönvastus. Runkoon johtuva lämpöhäviö ja säädettävyys ongelmat eivät poistu tällä ratkaisulla.

Resiterm Oy:n tuotevalikoimassa on esimerkiksi CCHC-suurteholämpöpatruunoita, joilla saadaan pienessä tilassa suuri teho ja korkea lämpötila. Tämän hetken patruunan pintalämpötila on täydellä teholla 400 °C. CCHC-patruunat kestävät jopa 750 °C käyttölämpötilaa. Patruunoita on saatavilla vakiokokoisina, ja niiden tehot vaihtelevat koon ja pituuden mukaan taulukon 2 mukaisesti. (17.)

TAULUKKO 2. Vakiokokoiset suurteholämpöpatruunat (17)

Halkaisija mm	Pituus mm	Teho W
6,5	25 – 160	75 – 500
8	40 – 160	125 – 600
10	25 – 200	75 – 1000
12,5	40 – 300	125 – 2000
16	40 – 300	160 – 2500
20	60 – 300	200 – 2500

Painorullan sisään soveltuvin suurteholämpöpatruuna olisi halkaisijaltaan 20 mm ja pituudeltaan 70 mm, ja sen teho olisi 1 000 W. Patruunan ja akselin väliin täytyisi asentaa sovitepala, koska pesän ulkohalkaisija on tällä hetkellä kuvan 3 mukaan 27,3 mm.

5.4 Infrapunasaäteilylämmitin

Infrapunakuumennus on vastuskuumennusta, jossa lämpö siirtyy pääasiassa säteilyinä. Infrapunasaäteily on sähkömagneettista, jonka aallonpituus on 0,76–1 000 µm. Teollisuussovelluksissa se jaotellaan lyhytaalto-, keskiaalto- ja pitkäaaltoinfrapunasaäteilyyn. Säteilylähteenä toimii joko sähköllä toimiva lämmitettävä vastuslanka tai vastuksella toimiva keraaminen tai metallinen kappale. (18, s. 20.)

Kaikki kappaleet emittoivat sähkömagneettista säteilyä, joka on peräisin alkeishiukkasten energiatilojen muutoksista. Emittoituneen infrapunasaäteilyn kohdassa kappaleen se joko heijastuu, kulkee sen läpi tai absorboituu eli imeytyy kappaleeseen. Absorboitunut osuus kuumentaa kappaletta. Säteilyn aallonpituus ja kappaleen ominaisuudet vaikuttavat siihen, kuinka suuri on absorboituneen säteilyn osuus. (18, s. 20.)

Käytettävä aallonpituus vaikuttaa infrapunasäteilijöiden rakenteeseen ja ominaisuuksiin. Taulukosta 3 nähdään tiivistetysti eri aallonpituuksilla toimivien infrapunasäteilijöiden ominaisuudet ja tavallisimmat sovellukset. (18, s. 25.)

TAULUKKO 3. Infrapunasäteilijöiden ominaisuuksia (18, s. 25)

Säteilijän tyyppi	Lyhytaalto – IR		Keskiaalto – IR			Pitkäaalto – IR	
	Lamp- pu	Kvartsi- putki	Kvartsi- putki	Metalli- putki	Kvartsi- tiili	Lasile- vy	Ke- raami
Toimintalämpötila (°C)	2000	2200	1050	750	650	350	300 – 700
Säteilymaksimia vas- taava aallonpituus (µm)	1,4	1,2	2,2	2,8	3,5	4,6	3 – 5
Maksimi tehotiheys (kW/m ²)	10	300	70	40	25	15	40
Jäähymisaika, jossa säteilyteho laskee 90 %	1 s	1 s	30 s	2 min	2 min	5 min	5 min
Säteilijän käyttöikä	3000 h	5000 h	5000 – 10000 h	vuosia	vuosia	vuosia	vuosia
Säteilynä siirtyvä osuus energiasta (%)	75	80	60	55	50	45	50
Kohteen maksimiläm- pötila (°C)	300	600	500	400	450	250	500

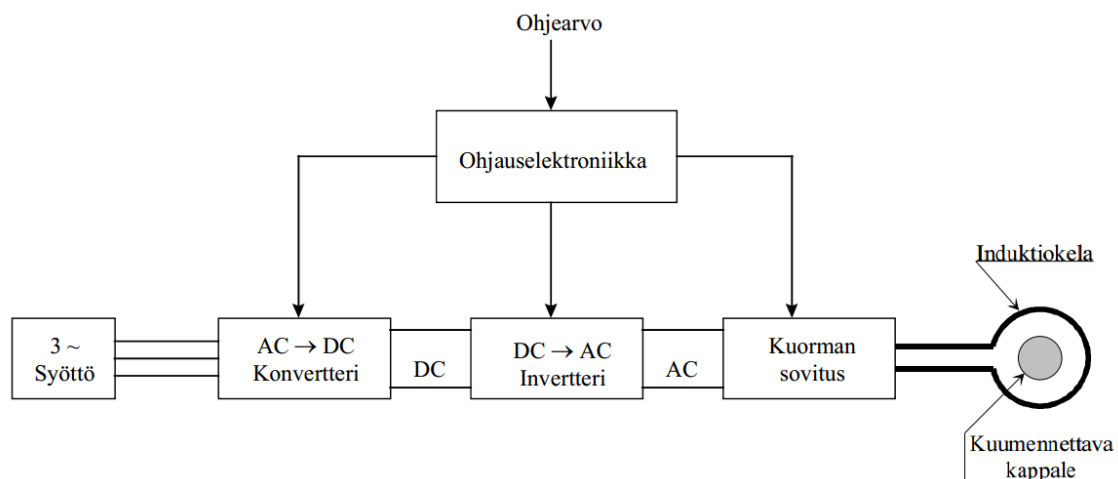
Kuumapuristussyksikön painorullaan sopivin säteilylämmitin on pitkäaalto infra-
punasäteilijä, koska sen käyttöikä ja toimintalämpötila ovat sopivimmat. Pis-
tesarjat–Sileka Oy valmistaa keraamisia HI-HEAT -infralämmittimiä. Lämmitti-
missä on upotettu lämmitysvastuksia lasitettuun keraamiseen runkoon. Risto
Salo Pistesarjat-Sileka Oy:stä selvitti, voisiko rullan lämmityksessä käyttää Sile-

kan infralämmittimiä. Ongelmaksi muodostui lämmityksen pieni alue. Tästä syystä sopivaa lämmitintä ei löytynyt. (19.)

5.5 Induktiolämmitys

Teollisuudessa käytetään paljon erilaisia induktiosovelluksia. Induktiokuumentimet ja -uunit toimivat 50 Hz - 3 MHz:n taajuudella, ja niitä käytetään metallien kuumentamiseen teollisuusprosesseissa. Tyypillisiä käyttökohteita ovat metallin sulattaminen, teräksen karkaisu, juottaminen, esi- ja jälkilämmitys, liimaliitoksien kuumennus, metallipintojen pinnoitus ja muovattavien materiaalien lämmitys. Induktiolämmitintä käytetään laakerin lämmitykseen sen asennuksen yhteydessä. (20, s. 391.)

Induktiokuumennin rakentuu teholähteestä, voimansiirtojohdoista ja induktiosilmukasta. Teholähteet ovat taajuudenmuuttajia, jotka muuttavat verkkotaajuuden virran kuumennuksessa halutun taajuiseksi yksivaiheiseksi tehoksi. Teholähteen konverterissa virta muuttuu vaihtovirrasta tasavirraksi ja invertteri- tai oskilaattoriosa muuttaa tasavirran halutun taajuiseksi yksivaiheiseksi vaihtovirraksi. Induktiokuumennuksen teholähteen toimintaperiaate on kuvassa 11. (18, s. 17.)



KUVA 11. Induktiokuumennuksen toimintaperiaate (18, s. 18)

Induktiosilmukoiden muodostaman tilan sisälle asetetaan lämmitettävä materiaali kuten kuvassa 11. Virtasilmuoissa kulkee suuri virta, joka synnyttää magneettikentän välityksellä pyörrevirtoja kuumennettavassa materiaalissa. Sen seurauksena syntyy tehohäviöitä ja materiaali lämpenee. Sovelluksen mukai-

sesti vaihtelevat virtasilmukan koko ja muoto, virran suuruus ja käytetty taajuus. (20, s. 391.)

Käytössä tarvittava teho riippuu metallin massasta, kuumennuksen nopeudesta, kuumennusprosessin hyötysuhteesta ja tarvittavasta lämpötilan muutoksesta. Pienen pinta-alan lämmittämiseen riittää muutaman kilowatin teho. Taajuus vaikuttaa virran tunkeutumissyvyyteen kappaleessa. Suurempia taajuuksia käytetään pinnallisempaan lämmitykseen ja matalataajuisia syvempiin lämmityksiin. Lämmitys voidaan kohdentaa oikeaan paikkaan taajuutta säätämällä ja induktoria muotoilemalla. (18, s. 18.)

Induktiokuumennuksen etuja ovat suuri tehotehitys, lämmityksen kohdentamismahdollisuus, hyvä hyötysuhde (40–90 %) ja nopea ohjaus. Menetelmä on myös saasteeton, helposti automatisoitavissa ja tehokas. Sen haittoja ovat laitteiston suuret investointikustannukset ja joissakin tapauksissa kelan hankala suunnittelu. Kela suunnitellaan lämmitettävän kappaleen muodon mukaisesti. Lämmitettävä kohde vaatii huolellisen esitutkimuksen, jos sovelluksesta ei ole aiempaa kokemusta. (18, s. 19.)

EFD-Induction ab tarjoaa markkinoiden monipuolisimman induktiotuotteiden valikoiman. Sieltä löytyy myös pieniin kohteisiin suunniteltuja käyttövalmiita järjestelmiä. Myynti-insinööri Kimmo Korhonen tarjosi yrityksen tuotevalikoimasta kuumapuristusyksikköön sopivimpia induktiolämmitys vaihtoehtoja, jotka ovat Sinac tai Minac 6/10 -taajuusmuuttajat. (21.)

Minac on siirrettävä laite ja Sinac on kiinteästi asennettava. Vaihtoehdoksi valitaan Sinac 6/10. Sinacilla voidaan tuottaa jatkuvasti 6 kilowatin tehoa ja ajoittain 10 kilowattia. Laite vaatii voimavirran 400–480 V ja se tuottaa induktiokelaan 10–25 kHz:n taajuuden. Virran lisäksi vaaditaan laitteen jäähdytykseen vesikierto. Sinacin toiminnallisuus perustuu erikoissuunniteltuun kontrollipaneelin, josta laitetta ohjataan. Laitetta säädetään virran tai tehon avulla. Korhosen mukaan järjestelmä vaatii myös M5 virtalähteen ja kohteeseen suunnitellun induktiokelan. (22; 23.)

Induktiokela asennetaan tällaisissa tapauksissa rullan pinnan läheisyyteen, kuitenkin koskematta pyörivään rullaan. Kela muotoillaan pinnan muotoiseksi ja

vaatii rullan pinnan tilasta noin neljänneksen. Paras kelan paikka olisi rullan yläosassa, jolloin mittauspiste sijaitsee induktiokelan ja painotapahtuman välissä. (23.)

Induktiolämmityksen pintalämpötilan mittaus tapahtuisi rullan laidan mustasta viirusta säteilymittauksella, jolloin mittaustulos on luotettavimmin. Korhonen arvioi säädön tarkkuuden olevan tällöin noin ± 1 °C. Vaadittuun pintalämpötilaan päästään hyvin nopeasti induktion lämmityksellä. Lämpötilan alaspäin säätö on vaikeampaa, koska se on luonnollisen konvektion, säteilyn ja johtumisen varassa. Vaihtoehtona on asentaa rullan sisään öljykiertojäähdytys. (23.)

Korhonen arvioi induktiolämmityksen kustannusarvioiksi 28 550 euroa, joka sisältää Sinac 6/10 -taajuusmuuttajan, M5 -virtalähteen ja induktiokelan (21). Vaihtoehtona on etsiä pienempi induktiolaitteisto, koska tämä laitteisto on ylimoitettu kuumapuristussyksikön tarpeisiin.

5.6 Muut parannusehdotukset

Muita lämmityksen parannusehdotuksina ovat eristys ja ohjauksen tehostus. Eristämällä lämmitysvastuksen pää ja akselin välinen tila voidaan estää runkoon johtuvaa lämpöä. Eristeen täytyy kestää lämmönvastuksen korkea lämpötila.

Tämän hetken lämmityksen säätimenä toimii DREWS 5300 -mallin kontrolleri. Säädintä voidaan käyttää 2-piste-, 3-piste-, PID-säädöllä tai käsiohjauksella. Ohjaus tapahtuu pulssisuhteella, joka tarkoittaa toimilaitteen päällä/poisoloaikaa. Pulssin jaksonaika on 0,5–240 sekuntia. Ohjaus on päällä täydellä teholla prosentuaalisesti, esimerkiksi arvolla 50 % puolet jaksonajasta. (24, s. 27)

Ohjaus voitaisiin saada tasaisemmaksi, jos sähköteho säädeltäisiin pienemmäksi ja se olisi jatkuvaa. Uuden ohjauksen tuomat edut voivat kuitenkin olla hyvin pienet verrattuna sen aiheuttamiin investointikustannuksiin.

6 RULLAN LÄMMITYSVAIHTOEHTOJEN VERTAILU

Tuotekehitysprosessissa syntyy useita ideoita, mutta käytännössä vain muutamia voidaan kehittää eteenpäin. Tämä on taloudellinen realiteetti ja hyviäkin vaihtoehtoisia ratkaisuja karsiutuu pois jo alkuvaiheessa. Ideoiden karsinta tehdään arvioijien näkemyksen ja kokemuksen perusteella. (25, s. 88.)

Arvioinnin apuvälineenä käytetään erilaisia pisteytysjärjestelmiä. Aluksi päätetään, minkä realiteettien avulla asiaa arvioidaan ja kuinka paljon painokerrointa arviointikriteereille annetaan. Painokertoimessa luku yksi jaetaan vaihtoehtojen välille siten, että desimaalien yhteenlaskettu summa on yksi. Pisteytetään ratkaisut yhdestä kymmeneen ja kerrotaan painokertoimella. Tämän jälkeen painotetut pisteet lasketaan yhteen. Suurimman pistemäärän saanut vaihtoehto on paras, jos ero on selvä muihin vaihtoehtoihin verrattuna. (25, s. 88.)

Kokosimme yhdessä Prinlabin ohjaajan Kyösti Heikkisen kanssa arviointikriteerit taulukkoon 4, joiden perusteella vaihtoehtoisia ratkaisuja arvioidaan. Arviointikriteereitä on kuusi, ja Heikkinen arvioi niiden tärkeysjärjestyksen kuumapuristuksyksikössä. Arviointikriteereille annetaan painokertoimet tärkeysjärjestyksen perusteella.

TAULUKKO 4. Vaihtoehtoisten ratkaisujen arviointi

	Paino-kerroin	Nykyinen		Valetut vastukset		Öljykierto lämmitys		Suurempi vastus		Infrapuna lämmitin		Induktio lämmitin	
		pist.	pain. pist.	pist.	pain. pist.	pist.	pain. pist.	pist.	pain. pist.	pist.	pain. pist.	pist.	pain. pist.
Rakenteelliset muutokset	0,18	10	1,8	6	1,08	4	0,72	8	1,44	5	0,9	5	0,9
Lämpötilan stabiilisuus	0,22	5	1,1	5	1,1	7	1,54	5	1,1	6	1,32	9	1,98
Lämpötilan säätö ylös	0,16	3	0,48	7	1,12	6	0,96	6	0,96	7	1,12	9	1,44
Lämpötilan säätö alas	0,06	4	0,24	5	0,3	9	0,54	4	0,24	7	0,42	7	0,42
Laitekustannukset	0,1	10	1	5	0,5	7	0,7	8	0,8	4	0,4	2	0,2
Toteutus kelpoisuus	0,28	9	2,52	5	1,4	9	2,52	9	2,52	1	0,28	6	1,68
Summa			7,14		5,5		6,98		7,06		4,44		6,62

Tuloksena saadaan kolme lähellä toisiaan olevaa ratkaisua: nykyinen ratkaisu, öljykierto lämmitys ja suurempi vastus. Tarkasteltaessa, mistä kunkin ratkaisun pisteet koostuvat, huomataan nykyisen ratkaisun edut olevan sen olemassaolossa. Ratkaisu ei vaadi muutoksia ja lisäkustannuksia. Jos nämä kaksi arvoselukriteeriä jätetään pois, parhaaksi vaihtoehdoksi nousee öljykiertolämmitys 5,56 pisteellä ja toiseksi induktiolämmitys 5,52 pisteellä. Taloudelliset realiteetit ovat kuitenkin usein ratkaiseva asia hankintoja tehdessä.

Nykyisen ratkaisun ehdoton vahvuus on sen halpa hinta. Suuremmalla vastuksella voidaan nostaa säädön nopeutta ylöspäin, mutta monet tämän hetken heikkoudet säilyvät. Suuremman vastuksen etuna on tämän hetken vastuksesta saadut tulokset, joiden perusteella ratkaisu on toimiva.

Induktiolämmityksen ongelma on kalliit kustannusinvestoinnit. Myös induktiosta olevat kokemukset tällaisessa ratkaisussa on vähäiset. Lämpötilan stabiilisuus ja säätönopeus ylöspäin on omaa luokkaansa muihin verrattuna. Induktiolämmitys voisi olla ratkaiseva tekijä painojäljen parantamisessa. Sillä on paljon potentiaalia ja sen uutuusarvo markkinoilla on suuri, mutta vaati lisätutkimuksia ja testejä.

Myös valettujen vastuksien ongelmana on sen kokeilemattomuus tällaisessa ratkaisussa. Tiedot sen stabiilisuudesta ja toiminnasta ovat vielä epävarmat. Sisältää myös potentiaalia, mutta vaatii lisäselvitystä.

Infrapunalämmittimen ongelmaksi muodostui koko. Tutkitulla ratkaisulla ei ole tehoa kohdistaa lämmitystä näin pienelle alueelle. Jos säteilylämmittimen teho kasvaa tulevaisuudessa, se on potentiaalinen vaihtoehto.

Öljykiertolämmittimen suurin etu on siitä saadut hyvät kokemukset VTT:llä. Se on toiminut varmasti ja vakaasti useissa R2R-painokoneissa. Sen laitekustannukset ovat huomattavasti halvemmat kuin induktion. Säädettävyys on hyvä sekä ylös- että alaspäin. Öljykiertolämmitys on vahvin vaihtoehto korvaamaan tämän hetken lämmitysratkaisun.

7 POHDINTA

Työssä etsittiin R2R-painokone Sammon kuumapuristusyksikköön uusia lämmitysratkaisuja. Tavoitteena oli löytää nykyistä stabiilimpi ja nopeammin säädettävissä oleva lämmitys. Lämmitysratkaisun pitäisi olla myös toteutettavissa kohteeseen.

Ennen kuin aloitin lämmitysratkaisujen kartoituksen, tutustuin painettavaan elektroniikkaan ja kuumapuristusyksikön tämänhetkisiin lämmitysongelmiin. Painettava elektroniikka on minulle täysin uusi tekniikan ala, ja sen opiskelu vei paljon työtunteja. Tietoisuus alan uutuudesta lisäsi motivaatiani varsinaista työn tarkoitusta kohtaan. Myös laskujen antama tutkimustieto auttoi hahmottamaan nykyisen lämmitysratkaisun ongelmia. Suurin ongelma on lämmönvastuksen sijainti, joka aiheuttaa säädettävyys ongelmat ja lämmönjohtumisen runkoon.

Työssä kartoitettiin uusia jo olemassa olevia ratkaisuja ja ideoitiin täysin uusia lämmitysvaihtoehtoja. Ideat vaihtoehtoisista ratkaisuista tulivat ajan kanssa ja aina uuden idean synnyttyä kirjasin sen opinnäytetyövihkoon. Työn aikana valittiin todennäköisimmät vaihtoehdot ja aloitettiin niiden tutkiminen. Vaihtoehtoisten ratkaisujen tutkinnassa oltiin yhteydessä alalla toimiviin yrityksiin, jotka tekivät tarjouksia omista ratkaisuistaan Sammon kuumapuristusyksikön lämmitykseksi. Lisäselvitystä tehtiin hyvin erilaisista ratkaisuvaihtoehdoista.

Tuloksena saatiin uusia lämmitysvaihtoehtoja, jotka ovat toteutettavissa kuumapuristusyksikköön. Vaihtoehtoisista ratkaisuista osa on stabiilimpia kuin tämän hetken lämmitysratkaisu ja kaikkien säädettävyys on parempi. Vaihtoehtojen vertailussa selvisi, että potentiaalisimmat uudet ratkaisut olisivat öljykierto-, induktiolämmitys tai suurempi vastus. Vaihtoehtojen vertailussa on hyvä huomioida, että arviointikriteerien painokertoimet ja annetut pisteet ovat työn tekijän antamia. Joku toinen voisi laittaa eri pisteytyksen ja painokertoimet vaihtoehtoisille ratkaisuille. Olisikin hyvä teettää vertailu ulkopuolisilla asiantuntijoilla, jotka tuntevat paremmin R2R-painomenetelmän teknologian.

Uuden lämmitysratkaisun asentaminen vaatii kuitenkin alkuinvestointeja. Voikin miettiä, ovatko uuden lämmitysratkaisun tuomat hyödyt tarpeeksi suuret investointeihin nähden. Monet vaihtoehdot vaativat tuhansien eurojen ja induktio kymmenien tuhansien eurojen alkuinvestointeja. Tällaisia investointeja varten lisäsuunnitelmat ovat tarpeen, jotta tiedetään vaihtoehdon tuomat hyödyt tarkemmin kuin tässä työssä on käsitelty.

Työssä päästiin lähtötietomuiston (liite 1) asettamiin tavoitteisiin. Uusia lämmitysratkaisuja löytyi ja niistä teknistä alkutietoa. Myös laiteinvestointikustannuksia selvitettiin ja niiden antama tieto on tärkeä. Taloudelliset realiteetit ovat usein ratkaiseva tekijä uusien ideoiden toteuttamisessa.

LÄHTEET

1. Määttä, Harri 2013. T762803 Painettavan elektroniikan perusteet, 3 op. Opintojakson oppimateriaali syksyllä 2013. Salasana suojattu. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
2. Mäkinen, Jukka-Tapani 2010. Painetut hybridisysteemit. Teknologian tila ja kaupallistamisen mahdollisuudet Suomessa. VTT tiedotteita 2547. Helsinki: Edita Prima Oy. Saatavissa:
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2547.pdf>. Hakupäivä 6.2.2014.
3. Berg, Antti 2012. Prinlab. Painettavien elektronien kehityslaboratorio diaesitys. Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö. Saatavissa:
<http://www.oamk.fi/hankkeet/prinlab/docs/materials/prinlab.pdf>. Hakupäivä 28.1.2014.
4. Cantatore, Eugenio 2013. Applications of Organic and Printed Electronics. New York: Springer.
5. Dirckx, Matthew E. 2010. Demolding of Hot Embossed Polymer Microstructures. Massachusetts Institute of Technology. Saatavissa:
<http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/61520/703451126.pdf?...1>. Hakupäivä 4.2.2014.
6. Hintsala, Topi-Heikki 2013. Termoplastisen polyuretaanimateriaalin soveltuvuus mikronestekanaavistojen kuumapuristamiseen rullalta rullalle - painokoneella. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, laboratorion koulutusohjelma. Saatavissa:
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/56046/Hintsala_Topi.pdf?sequence=1. Hakupäivä 11.2.2014.
7. Inkinen, Pentti – Tuohi, Jukka 2005. Momentti 1. Insinöörifysiikka 3. painos. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.

8. Metallien emissiivisyys. Nokeval. Saatavissa:
http://www.nokeval.com/pdf/misc/Metallien_emissiivisyys.pdf. Hakupäivä 12.2.2014.
9. Mäkelä, Veli-Matti. T630303 Lämmönsiirtotekniikka, 3 op. Luento muistiinpanot keväällä 2012. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
10. Mäkelä, Mikko – Soininen, Lauri – Tuomola, Seppo – Öistämö, Juhani 2010. Tekniikan kaavasto. Tampere: Tammertekniikka / Amk-kustannus Oy.
11. Valtanen, Esko 2010. Tekniikan taulukkokirja. Mikkeli: Genesis-kirjat Oy.
12. Valetut vastukset. Resiterm Oy. Saatavissa:
<http://www.resiterm.fi/fi/tuotteet/12-vastukset/36-valetut-vastukset>. Hakupäivä 3.3.2014.
13. Grön, Frank 2014. Johtaja, Resiterm Oy. Re: Kuumapuristusyksikön lämmitys. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Pentinpuro, Esko. 28.2.2014.
14. Pennanen, Jaakko 2014. Vanhempi tutkijainsinööri, VTT. Vierailu VTT:llä 28.2.2014.
15. Heinonen, Arto 2014. Toimitusjohtaja, EKO-FORM Oy. Puhelinhaastattelu. 5.3.2014.
16. Heinonen, Arto 2014. Toimitusjohtaja, EKO-FORM Oy. Re: Temperointilaite. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Pentinpuro, Esko. 6.3.2014.
17. Lämpöpatruunat. Resiterm Oy. Saatavissa:
<http://www.resiterm.fi/fi/tuotteet/12-vastukset/34-lampopatruunat>. Hakupäivä 4.3.2014.
18. BH20A0300 Lämmönsiirron perusteet, 3 op. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Saatavissa:
https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl20a0800/luennot/kurssin_luentomateriaali.pdf. Hakupäivä 11.3.2014.

19. Salo, Risto 2014. Pistesarjat Oy. Re: HI-HEAT infralämmitin. Sähköpostiviesti. Pentinpuro, Esko. 27.2.2014.
20. Jokela, Kari – Nyberg, Heidi 2006. Sähkömagneettiset kentät. Hämeenlinna: Karisto Oy.
21. Korhonen, Kimmo 2014. Myynti Insinööri, EFD Induktion ab. Re: Induktiolämmitin kuumapuristusyksikköön. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Pentinpuro, Esko. 20.3.2014.
22. Sinac 6/10, EFD Induction ab. Saatavissa: http://www.efd-induction.com/fi/Products/Sinac/Medium/~media/PDFfiles/ProductSheetSinac/Sinac6_10.ashx. Hakupäivä 21.3.2014.
23. Korhonen, Kimmo 2014. Myynti Insinööri, EFD Induktion ab. Puhelinhaastattelu 7.3.2014.
24. Heikkinen, Kyösti 2013. Kuumapuristustelan lämpötilan mittauksen ja säädön kehittäminen. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, Automaatiotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/69205/Heikkinen_Kyosti.pdf?sequence=1. Hakupäivä 30.3.2014.
25. Kankkunen, Martti – Lagerroos, Olle – Lehtinen, Markku – Välimaa, Veikko 1994. Tuotekehitys, asiakastarpeesta tuotteeksi. Helsinki: Painatuskeskus Oy.

LIITTEET

Liite 1 Lähtötietomuistio

Liite 2 Lämpötilan mittauspöytäkirja

Liite 3 Valettu lämmitin

Liite 4 TBH 3 OH

Liite 5 TB 3 P-HT

LÄHTÖTIETOMUISTIO

LIITE 1

LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä Penhnpuro Esko

Tilaaaja Prinlab OAMK

Tilaaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot Kyösti Heikkinen
kyosti.heikkinen@oamk.fi

Työn nimi Kuumapuhdistusyksikön lämmityksen tehostami-

Työn kuvaus Uusien vaihtoehtoisten lämmityksen^{nen}
kartoitus, vertailu vanhaan.
Onko toteutuskelpoinen kohteeseen.

Työn tavoitteet
Tavoitteena löytää parempi/
stabiilimpi lämmitystapa telalle.

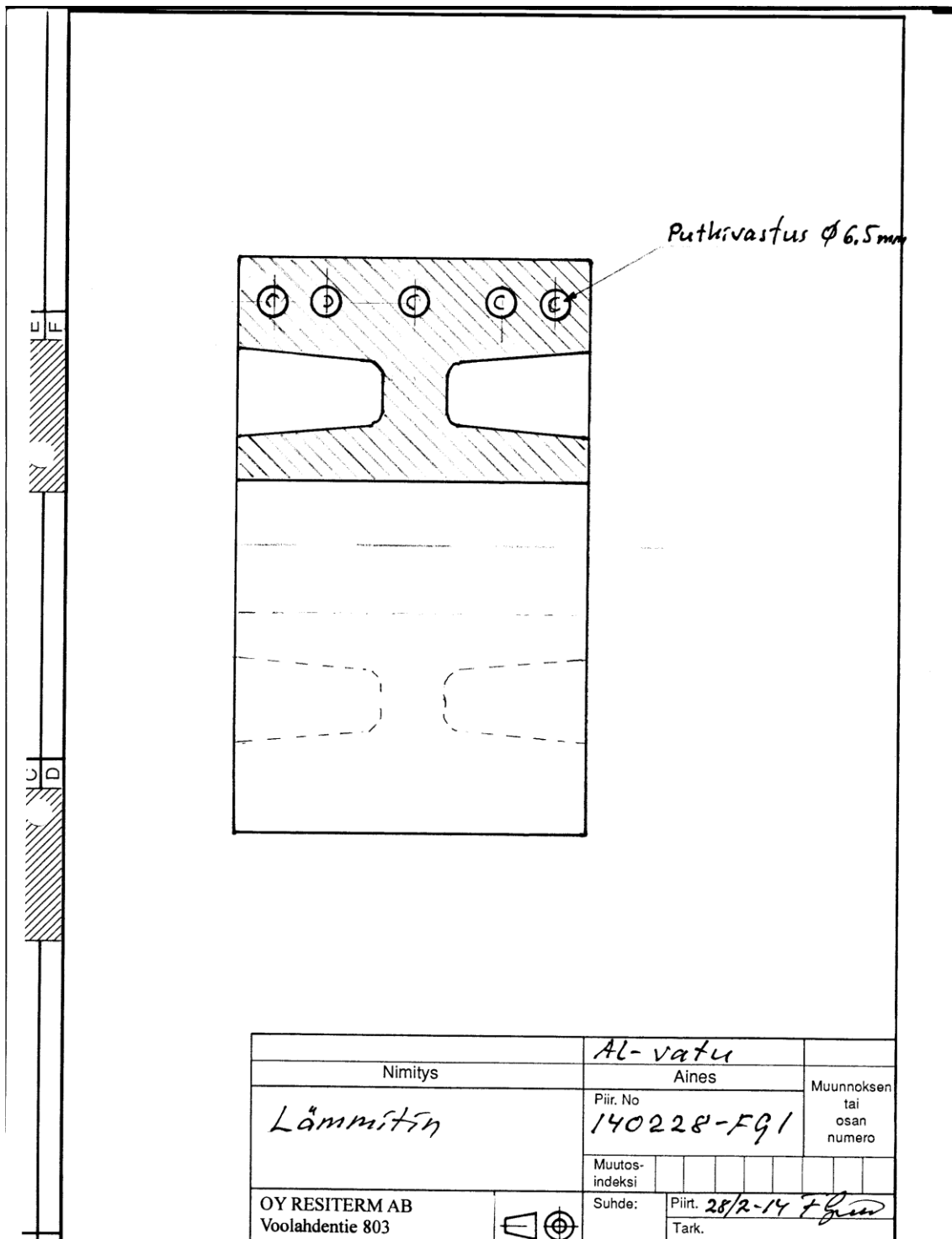
Tavoiteaikataulu Kevät 2014

Päiväys ja allekirjoitukset 5.12.2013 BOG Puro
Kyösti Heikkinen

Mittauspiste	t ₀	T ₀	t ₁	T ₁	t ₂	T ₁	t ₃	T ₃	t ₄	T ₄	t ₅	T ₅	t ₆	T ₆	t ₇	T ₇
1	0	21,5	10	265,0	20	203,0	30	215,0	40	210,0	50	220,0	60	219,0	70	230,0
2	0	21,5	10	94,0	20	142,0	30	140,5	40	140,0	50	140,2	60	140,5	70	140,0
3	0	21,5	10	25,5	20	36,5	30	39,8	40	43,0	50	49,5	60	52,2	70	53,3
4	0	21,5	10	21,5	20	23,5	30	26,5	40	29,5	50	31,5	60	33,1	70	34,0
5	0	21,5	10	82,0	20	76,1	30	75,7	40	79,0	50	84,7	60	85,0	70	86,1
6	0	21,5	10	27,0	20	35,5	30	38,2	40	41,2	50	43,0	60	43,7	70	45,3
7	0	21,5	10	21,5	20	25,0	30	26,7	40	28,5	50	30,7	60	31,3	70	32,2
8	0	21,5	10	28,5	20	42,0	30	48,5	40	52,6	50	56,5	60	59,9	70	55,8
9	0	21,5	10	21,5	20	23,7	30	23,5	40	27,3	50	28,1	60	29,5	70	30,4
10	0	21,5	10	21,5	20	22,5	30	22,0	40	23,9	50	25,2	60	25,7	70	26,5

t on aika (min.) ja T on lämpötila (°C).

Grön, Frank 2014. Johtaja, Resiterm Oy. Re: kuumapuristusyksikön lämmitin.
 Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Pentinpuro, Esko. 28.2.2014.



	<i>Al-vatu</i>	
Nimitys	Aines	Muunnoksen tai osan numero
<i>Lämmitin</i>	Piir. No <i>140228-F91</i>	
	Muutos- indeksi	
OY RESITERM AB Voolahdentie 803	Suhde:	Piirt. <i>28/2-14 F Grön</i> Tark.

OIL TEMPERATURE CONTROLLERS TBH-OH / TBH-OHT. GREEN BOX.

Saatavissa: <http://www.ekoform.fi/downloads/greenbox/temper/tb-oh-oh.pdf>. Hakupäivä: 6.3.2014.



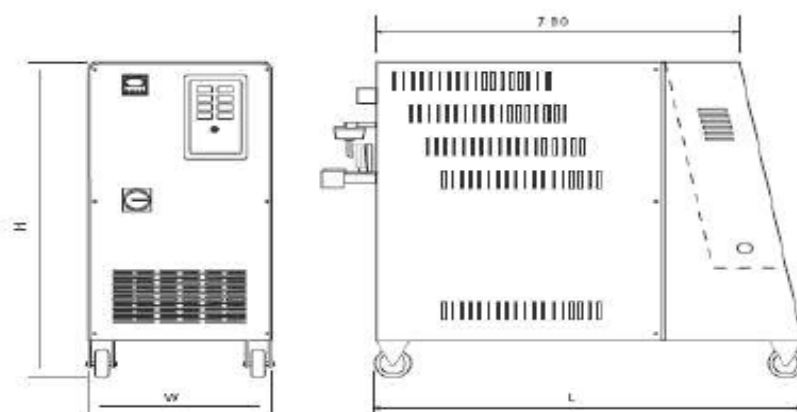
TECHNICAL DATA

MODEL	TBH 3-OH	TBH 4,5-OH	TBH 6/2-OH	TBH 9/2-OH	TBH 12/3-OH	TBH 13,5/3-OH
Max. Temperature (°C)	190	190	190	190	190	190
Heating power (kW)	3	4,5	6	9	12	13,5
Number of heaters	1	1	2	2	3	3
Cooling capacity* (kW)	51	51	51	51	51	51
Pump power (kW)	0,75	0,75	0,75	0,75	1,1	1,1
Pump flow rate (l/min)	16 / 70	16 / 70	16 / 70	16 / 70	16 / 80	16 / 80
Pump pressure (w.p.g.)	42 / 24	42 / 24	42 / 24	42 / 24	52 / 40	52 / 40
Total nominal power (kW)	3,7	5,2	6,7	9,7	13,1	14,6
Expansion/filling tank (litres)	10	10	10	10	10	10
Pipe connections (BSP)	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
Dimensions (mm)	920x400x890	920x400x890	920x400x890	920x400x890	920x400x890	920x400x890
Net weight (Kg)	85	85	90	90	95	95

MODEL	TBH 3-OHT	TBH 4,5-OHT	TBH 6/2-OHT	TBH 9/2-OHT	TBH 12/3-OHT	TBH 13,5/3-OHT
Max. Temperature (°C)	220	250	250	250	250	250
Heating power (kW)	3	4,5	6	9	12	13,5
Number of heaters	1	1	2	2	3	3
Cooling capacity** (kW)	70	70	70	70	70	70
Pump power (kW)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Pump flow rate (l/min)	5 / 55	5 / 55	5 / 55	5 / 55	5 / 55	5 / 55
Pump pressure (w.p.g.)	55 / 5	55 / 5	55 / 5	55 / 5	55 / 5	55 / 5
Total nominal power (kW)	4	5,5	7	10	13	14,5
Expansion/filling tank (litres)	10	10	10	10	10	10
Pipe connections (BSP)	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
Dimensions (mm)	920x400x890	920x400x890	920x400x890	920x400x890	920x400x890	920x400x890
Net weight (Kg)	85	85	90	90	95	95

* with oil at 160°C, water at 10°C

** with oil at 210°, water at 10°C



PRESSURISED MOUL TEMPERATURE CONTROLLERS TB-P SERIES. GREEN BOX. Saatavissa: <http://www.ekoform.fi/downloads/greenbox/temper/tb-p.pdf>. Hakupäivä 6.3.2014.

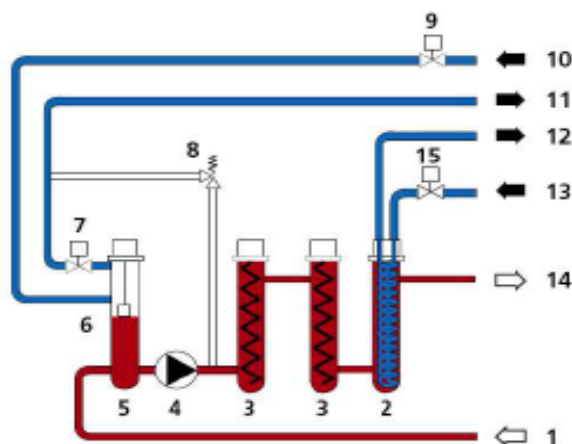


TECHNICAL DATA

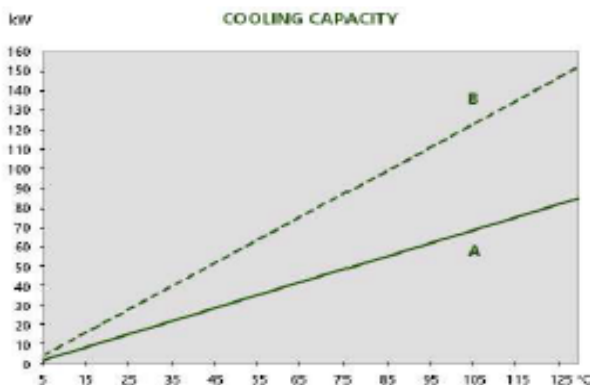
MODELS	TB 3-P	TB 4,5-P	TB 6-P	TB 9-P	TB 12-P
Maximum working temperature (°C)	140	140	140	140	140
Heating capacity (kW)	3	4,5	6	9	12
Pump motor (kW)	0,75 *	0,75 *	0,75 *	0,75 *	0,75 *
Water flow (litres/minute)	16 / 70 *	16 / 70 *	16 / 70 *	16 / 70 *	16 / 70 *
Pressure (bar)	4,3 / 2,5 *	4,3 / 2,5 *	4,3 / 2,5 *	4,3 / 2,5 *	4,3 / 2,5 *
Maximum cooling capacity (kW)	80 **	80 **	80 **	80 **	80 **
Dimensions (mm)	700x300x650	700x300x650	700x300x650	700x300x650	700x300x650
Weight (kg)	66	66	66	66	66

MODELS	TB 6/2-P	TB 9/2-P	TB 12/2-P	TB 15/2-P	TB 18/2-P	TBH 24/2-P
Maximum working temperature (°C)	140	140	140	140	140	140
Heating capacity (kW)	6 (3+3)	9 (4,5+4,5)	12 (6+6)	15 (9+6)	18 (9+9)	24 (12+12)
Pump motor (kW)	0,75 *	0,75 *	0,75 *	0,75 *	0,75 *	1,5
Water flow (litres/minute)	16 / 70 *	16 / 70 *	16 / 70 *	16 / 70 *	16 / 70 *	50 / 200
Pressure (bar)	4,3 / 2,5 *	4,3 / 2,5 *	4,3 / 2,5 *	4,3 / 2,5 *	4,3 / 2,5 *	3,6 / 2,6
Maximum cooling capacity (kW)	80	80	80	80	80	80
Dimensions (mm)	700x300x650	700x300x650	700x300x650	700x300x650	700x300x650	920x400x890
Weight (kg)	74	74	74	74	74	95

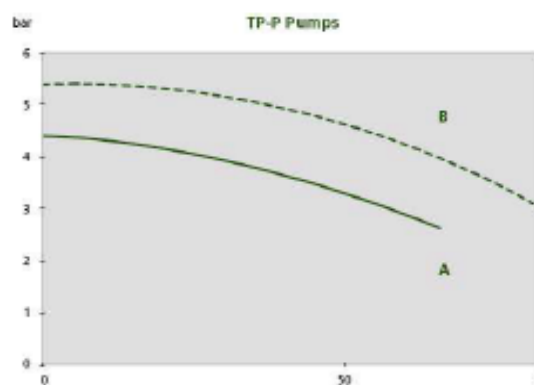
* on request bigger pump; pump motor kW 1,1; water flow (l/min) 16/80; pressure (bar) 5,3/4,0
 ** on request additional heat exchanger: 150 kW



1. From process
2. Finned heat exchanger
3. Heater
4. Pump
5. Tank
6. Magnetic float
7. Solenoid valve
8. Safety valve
9. Automatic filling valve
10. Automatic filling
11. Drain
12. Cooling water outlet
13. Cooling water inlet
14. To process
15. Cooling inlet solenoid valve



Temperature difference between process and cooling water
 A: diagram with one only heat exchanger
 B: diagram with additional heat exchanger
 Cooling water pressure: 2 bar
 Process water flow: 35 l/min



Pump A: standard version
 Pump B: on request