



**LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU**  
*Lahti University of Applied Sciences*

# RUISKUVALUMUOTIN LISÄLÄMMITYS

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Kone- ja tuotantotekniikan  
koulutusohjelma  
Tuotantopainotteinen mekatroniikka  
Opinnäytetyö  
Syksy 2012  
Hannu Nurminen

Lahden ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

NURMINEN, HANNU:

Ruiskuvalumuotin lisälämmitys

Mekatroniikan opinnäytetyö, 14 sivua

Syksy 2012

TIIVISTELMÄ

---

Työn tarkoituksena oli tutkia tapoja ja käytäntöjä, joilla saadaan muovin virtaus ja insertin muovautuminen paremmiksi ruiskuvalukoneen muotissa. Näihin pääsemiseksi on tutkittu erilaisia nopeita ja paikallisia lämmitystapoja ja nopeita jäähdytysvaihtoehtoja.

Teoriaosuudessa käsitellään lämmitys- ja jäähdytysmetodien teoriaa ja toimintaperiaatteita. Käytännön osuudessa perehdytään laitekantaan, toimittajiin, hintaan ja arvioidaan toimivuutta kyseisessä prosessissa.

Työn aikana materiaalia ja tietoa on kerätty yrityksistä suoraan ulkomailta ja kotimaasta. Alan julkaisuja on hyödynnetty kuten myös suhteita ulkomaille ja kotimaahan. Vastauksien saanti ulkomailta on ollut melko vaikeaa ja pitkäkestoista johtuen työn luonteesta. Työn yhteydessähän ei ole päästy toteuttamaan mitään käytännön kokeita, ainoastaan SCALAR:n systeemiä on kokeiltu aiemmin koeajon yhteydessä.

Projektin jatko tulee tapahtumaan työn tilaajan omien resurssien ja henkilöstön puitteissa ilman allekirjoitaneen läsnäoloa ja työpanosta.

Avainsanat: pulssijäähdytys, lämmitys, induktio, infrapuna

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

NURMINEN, HANNU:

Tempering methods for injection moulds

Bachelor's Thesis in mechatronics, 14 pages

Autumn 2012

ABSTRACT

---

The aim of this work was to examine ways to improve the flowing of plastic and a better forming of insert in a mould used in an injection moulding machine. To reach those goals, different kinds of fast and local heating methods and also fast cooling systems were investigated.

The theory section presents the principles and functioning of heating and cooling methods.

The practical part deals with machinery, suppliers, prices and the functionality of the process. Suppliers were asked to send offers for their machinery. The operation of different machines in this particular process was evaluated.

Material and information was collected from companies abroad and in Finland. Magazines and other sources related to this business was also used, as were contact persons abroad and in Finland. The correspondence with the foreign companies was difficult and prolonged, partly because of the nature of the work. No practical tests were done during this work; only a test drive was done under for the SCALAR system.

The project will be continued in the company by its own personnel.

Key words: pulse cooling, heating, induction, infrared

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	MUOTIN LÄMMITYS	2
2.1	Induktiolämmitys	3
2.2	Johtuminen	5
2.3	Konvektio	6
2.4	Infrapuna	7
3	PULSSIJÄÄHDYTYS	10
	LÄHTEET	13

## 1 JOHDANTO

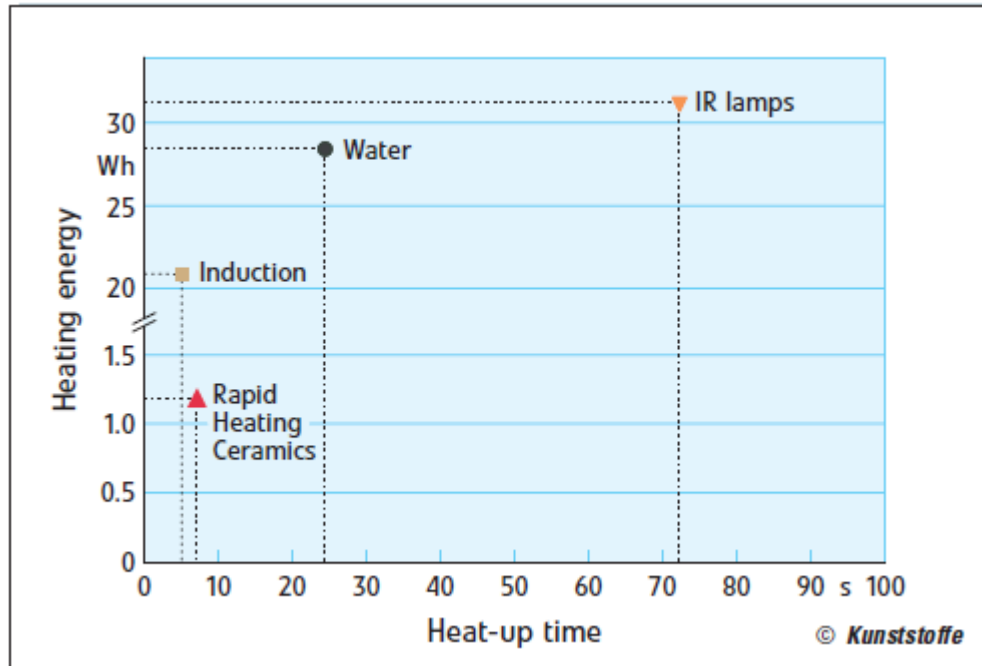
Syyt ruiskuvalumuotin lisälämmityksen tutkintaan ovat tiettyjen muovimateriaalien vaatimukset lämpötilasta ja valmistettavan tuotteen sisältävän kartongin parempi muovautuminen korkeammassa lämmössä, kuin nyt pystytään käyttämään. Lisälämmitys taas johtaa nopean jäähtymisen tarpeeseen, ja samalla päästään prosessin optimointimahdollisuuksiin parempaa anturointia ja ohjausjärjestelmiä hyödyntäen. Tutkittuja tekniikoita ovat induktio-, infrapuna-, konvektio- ja vastuslämmitys sekä jäähtymisen osalta pulssijäähtytys ja siihen liittyvä lämpötilaan perustuva ohjaus antureiden ohjaamana.

Teoriaosuudessa käsitellään kyseisten metodien teoriaa ja toimintaperiaatteita. Käytännön osuudessa tutkitaan mahdollisia prosessiin sopivia laitteistoja, niiden toimittajia ja hintoja. Laitteistoista on pyydetty tarjouksia ja niiden soveltuvuutta kyseiseen prosessiin on arvioitu tapauskohtaisesti.

Työn tavoitteista ensimmäinen on kartoittaa ruiskuvalumuotin temperointitekniikoita ja tutustua niiden teoriaan. Toinen tavoite on arvioida eri tekniikoiden soveltuvuutta muoviosan rakenteen hallintaan ja kartongin muovautumisen hallintaan. Kolmas tavoite on arvioida eri tekniikoiden vaikutusta sykliaikaan. Neljäs tavoite on selvittää eri laitteistojen kokoonpanot ja niiden hinta.

## 2 MUOTIN LÄMMITYS

Muottien lämmitystyyppit jaetaan usein toimintatavan perusteella, niitä ovat induktio, johtuminen, konvektio ja säteily (Possibilities and Limitations of Variable Mold Temperature Control 2009, 17).



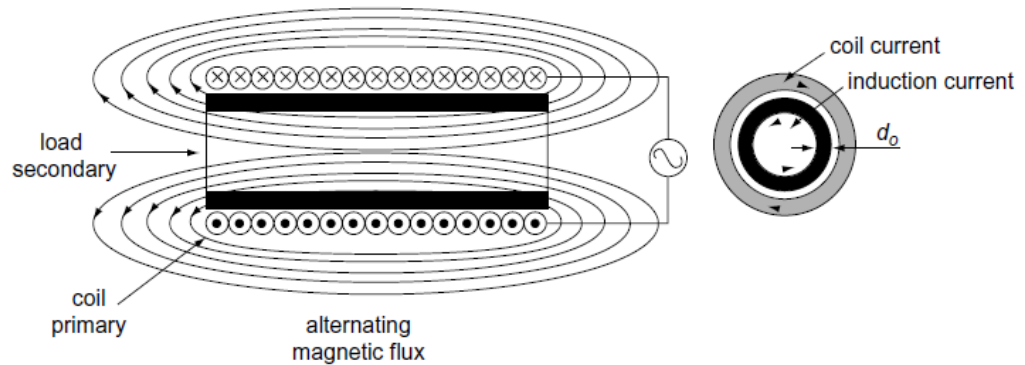
KUVIO 1. Lämmitysmetodien vertailu (In Three seconds from 100 to 140 Degree 2007,144.)

Kuviossa 1 on esitetty lämmitysenergian tarve ajan funktiossa, kun on lämmitetty 16 cm<sup>2</sup>:n kokoinen muotti 65 °C:sta 125 °C:seen. Tämä vertailu osoittaa, että keraamiset vastukset ja induktiolämmitys olisivat parhaat vaihtoehdot.

Molemmissa edellä mainituissa tavoissa lämpö siirtyy pääasiassa johtumalla, säteilyäkin on vähän, koska elementit ovat yleensä omissa urissaan muotin sisällä.

## 2.1 Induktiolämmitys

Sähkömagneettinen induktio perustuu magneettivuon muutoksiin. Näin ollen se toimii vain magneettisilla aineilla. (KUVIO 2.) Johdinsilmukkaan eli kelaan indusoitava jännite aiheuttaa liikettä kappaleen omassa magneettivuossa, jolloin atomien kiihtynyt liike aiheuttaa lämpöenergiaa.



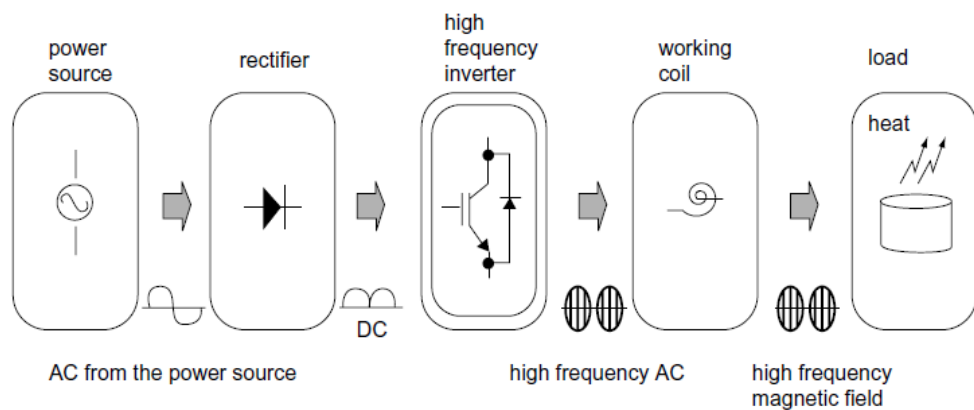
KUVIO 2. Induktion periaatekuva (Fairchild semiconductor Co 2012)

Induktiolaki perustuu Michael Faradayn (1791 – 1867) tekemiin kokeisiin. Vuonna 1831 hän kokeissaan huomasi muuttuvan magneettikentän tai johtimen liikkumisen magneettikentän suhteen aiheuttavan sähkökentän ja sähkövirtaa. (Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2007, 36.)

Johdinsilmukkaan johdetaan sähkövirtaa, joka aiheuttaa silmukkaan pyörrevirtoja. Samalla syntyy magneettikenttä, jonka alueella oleva metallinen kappale alkaa lämmetä, koska sen sisäiset atomit alkavat liikkua. Sähkövirran taajuus on muutamista kiloherzeistä tuhansiin, riippuen kuumennusta tarvitsevan kappaleen koosta. Lyhyesti, mitä suurempi on käytetty taajuus, sitä suurempi on atomien liike, joka johtaa nopeampaan ja laajempaan lämpenemiseen. Muottien tapauksessa sisäiset sähkökäämit on sijoitettu joko muotin molempiin puoliskoihin tai sitten takamuottiin pesän ympäri kulkevaksi kehäksi tai kiertäväksi langaksi. Tällöin vastuslankojen välinen tai piirin sisäinen alue lämpiää, kun jännite johdetaan niihin. Lämpö leviää toki myös lankojen ulkopuolelle mutta ei kovin laajasti. (Peltonen, ym. 2007, 36 – 43.)

Ulkoista tapaa käytettäessä muottien pitää olla lämmitysvaiheessa hieman erillään toisistaan, jotta ei syntyisi oikosulkua, kun molempien muottipuolikkaan alueelle luodaan magneettivuo ulkoisilla käämityksillä.

Induktiolämmityskelat, joita muottien lämmityksessä käytetään, ovat teholtaan noin 12 kilowattia ja jännitealue on noin 650 volttia. Hakkuriteholähteillä saadaan taajuus muutettua Hz:n alueesta kHz:n alueelle. Tällaisilla konstruktiolla päästään kelalta mitattuna noin 315 °C:n lämpötiloihin. Induktiolämmityksiä on myös ulkoisia malleja, joissa kela tuodaan pesän eteen, mutta tällaisessa vaihtoehdossa kasvavat kustannukset ja syklijat paljon.



KUVIO 3. Periaatekaavio induktioon tarvittavasta laitteistosta (Fairchild Semiconductor Co 2012)

Kuviossa 3 käy ilmi tarvittavan laitteiston periaatekuvaus. Virta otetaan ensin verkosta (AC power source), josta se muutetaan tasasuuntaajalla (rectifier) tasavirraksi (DC). Tämän jälkeen hakkuriteholähde (high frequency inverter) muuttaa sen taas korkeataajuukseksi vaihtovirraksi, joka syötetään kelaan (working coil). Siellä virta aiheuttaa atomien liikkeen johdosta pyörrevirtoja ja kela alkaa kuumeta.

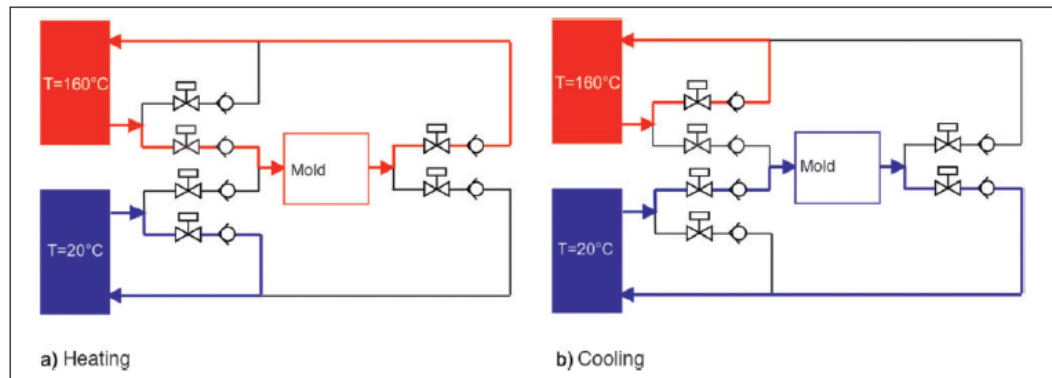


## 2.2 Johtuminen

Johtumisesta tapahtuvalla lämpiämällä tarkoitetaan tässä tapauksessa keraamisten vastusten käyttöä. Vastukset ovat yleensä keraamisesti pinnoitettuja erikoisseosjohtoja tai lattakaapelia, jotka on upotettu muottiin sisään. Johdot ovat yleensä nikkeli-kromi seosta, nimeltään Nichrome (n. 60 % nikkeliä, n. 17 % kromia ja loput silikonia ja perusterästä). Johdot on päällystetty, jotta lämpö jakaantuu tasaisemmin pois niistä. Ne säilyttävät hyvin muotonsa ja kestävät jatkuvaa lämpötilanvaihtelua. Ne ovat ohuita, ja siksi ne voidaan sijoittaa suoraan muottipesän taakse. Toiselta puolelta vastukset on eristetyt ilmaraoilla, eristemateriaaleilla, jäähdytyskanavilla tai muotin materiaalivalinnoilla. Ilmarakorakenne heikentää muottia, joten sitä voidaan käyttää lähinnä pienien kappaleiden kanssa. Eristemateriaali on usein sellaista, joka ohjaa lämmön itsestään pois päin, eli kohti pesää. Eri materiaaleilla saadaan vaikutettua lämmön siirtymiseen pinnasta toiseen. Näillä vastuksilla saadaan jopa  $150 \text{ W/cm}^2$  tehoa ja pintalämpöä saadaan kasvatettua noin  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  sekunnissa. Nopeaan jäähtymiseen tarvitaan vesikanavat mahdollisimman lähelle vastuksia. (Variotherm Temperature Control Is Fit for Production 2008, 57 – 61.)

## 2.3 Konvektio

Konvektiolla tarkoitetaan nesteestä tai höyrystä siirtymällä tapahtuvaa lämmön muutosta. Tässä tapauksessa on kyse pakotetusta konvektiosta, koska systeemiin on lisätty ulkoista energiaa (pumppu). Höyry ja öljy ovat vähemmän käytettyjä vaihtoehtoja, vesi on yleisin. Höyryn ja öljyn avulla saadaan kyllä aikaisiksi korkeampia lämpötiloja, mutta ne vaativat laitteistoilta enemmän ja eivät ole kovin ympäristöystävällisiä. Veden maksimilämpö paineastia ratkaisuisssakin on noin 180 °C. (Hautala & Peltonen 2011, 165, 173.)



KUVIO 4. Periaatekuva konvektiolla toteutetulla lämmityksellä/jäähdytyksellä. (Variotherm Temperature Control Is Fit for Production 2008, 60.)

Kuviossa 4 käy ilmi, että neste kiertää muotissa samoissa kanavissa, kulloisenkin tarpeen mukaan. Nesteen kulkua ohjataan automaation ohjaamilla venttiileillä.

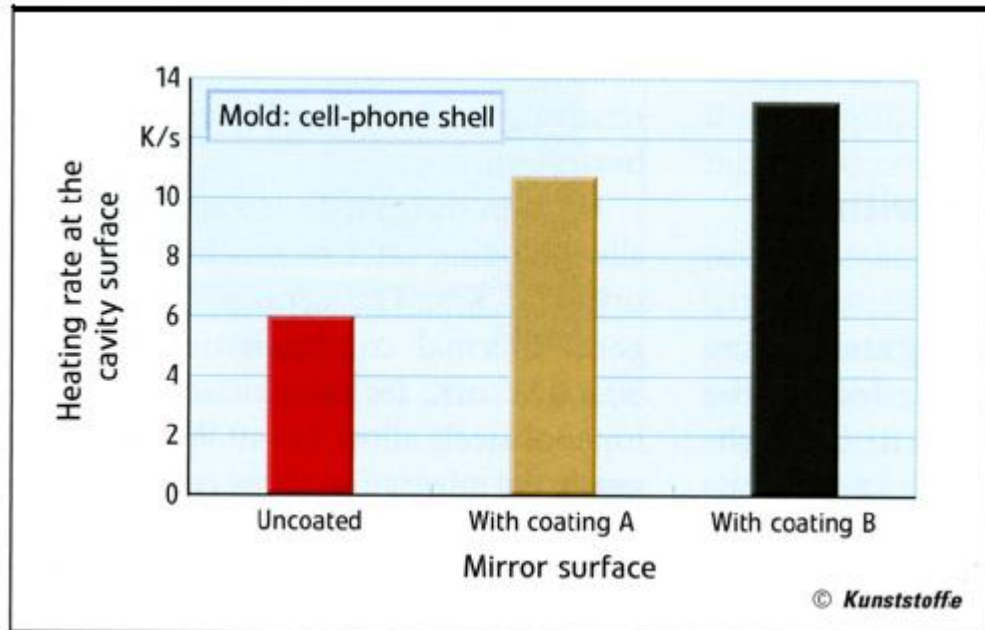
## 2.4 Infrapuna

Infrapunasäteily on havaittu ensi kerran vuonna 1800 saksalaisen muusikko ja tähtitieteilijä Frederic Herschellin (1738-1822) toimesta. IR (infrared) säteilyn taajuusalue on noin 3 – 3000 THz ja aallonpituusalue noin 0.7  $\mu\text{m}$  – 1mm. (Peltonen, ym., 2007, 174-179; Wikipedia 2011.)

Infrapuna-aallot jaetaan kolmeen ryhmään aallonpituutensa mukaan. Lyhyet aallot NIR- (IR-A, IRK near infrared), keskipitkät aallot MIR- (IR-B, IRM mid infrared) ja pitkät aallot FIR- (IR-C, IRL far infrared). Lisäksi on olemassa vielä ainakin eri sovelluksissa käytettäviä NIR- ja OIR- säteilyä. NIR- on lähellä FIR-pituutta, mutta toiminta on jaksotettua säteilijöissä. OIR- on optimoitua säteilyä, jossa muutetaan aallon pituutta kyseisen tarpeen mukaan. Näitä kahta viimeksi mainittua käytetään esimerkiksi pintakäsittely kuivaamoissa. NIR- aalloilla on aallon pituus 0.78 – 3  $\mu\text{m}$  ja taajuus 3- 30 THz. MIR- aalloilla on aallon pituus 3 – 50  $\mu\text{m}$  ja taajuus 30 – 300 THz. FIR- aalloilla on aallon pituus 50 – 1000  $\mu\text{m}$  ja taajuus 300 – 3000 THz. Infrapunasäteilyssä lämpö siirtyy säteilylämpönä sekä konvektiolämpönä, koska myös säteilylähteet lämpiävät vahvasti. Joissakin tapauksissa ne tarvitsevat erillisen jäädytyksen itselleen. Yleisin käytetty tapa lämmittää metallia on NIR- tapa. NIR- tavassa säteilynä menee noin 90% ja FIR-tavassa 10%. (Peltonen, ym., 2007, 174-179; Wikipedia 2011.)

Mitä lyhyemmällä aallonpituudella saadaan toteutus tehtyä, sen paremmin säteily tunkeutuu kohteeseen. Tavan valinta riippuu lämmitettävästä materiaalista, sen ominaisuudesta absorboida säteilyä. Tummat ja rosoiset pinnat absorboituvat parhaiten, siksi muottia edestä lämmitettäessä ne pitää pinnoittaa jollakin materiaalilla, mikä nostaa kustannuksia ja vaikeuttaa käyttöä. Pinnoitettuja pintoja lämmitettäessä infrapunalla lämpötilaa saadaan kasvatettua 10 - 13 °C sekunnissa. Infrapunaa käytettäessä lämmitettävä massa on oltava mahdollisimman pieni, joten sekin tuo omia haittoja toteutuksiin. Ratkaisuksi on kehitelty erilaisia muotista irtovia pesiä ja muita vastaavia ratkaisuja, mutta ne pidentävät sykliä aikaa aina oleellisesti. Infrapunälämmityksen hyviä puolia yleisesti ovat korkeahko hyötysuhde, hyvä tarkkuus, nopeus ja puhtaus.

(Hautala, ym., 2011, 174-179.; HI-HEAT INTERNATIONAL LTD Liam Hassett:in tekemä opas infrapuna laitteiden maahantuojalle laitteiden valinnan peruseriaateista.)



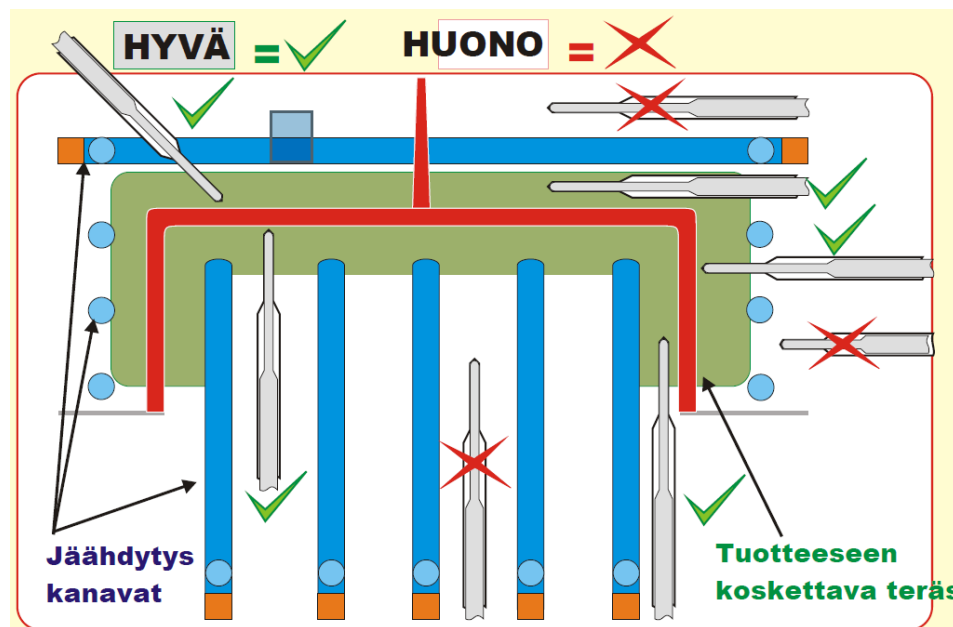
KUVIO 5. Pinnoituksen vaikutus infrapuna lämmityksen yhteydessä.

(Possibilities and Limitations of Variable Mold Temperature Control, 2009, 15.)

Kuviosta 5 ilmenee, että mitä tummempi pinnoite, sen paremmin lämpö tarttuu kappaleen pintaan ja lämmittää sen. Tämä taas aiheuttaa ongelman, koska muottien pinnan olisi oltava korkeakiiltoinen, että materiaalit eivät jää siihen kiinni.

### 3 PULSSIJÄÄHDYTYS

Muottia jäähdytetään yleensä temperoinnilla. Temperoinnin tehtävä on ensin lämmittää muottia käyttölämpöön ja pitää muotti halutun lämpöisenä prosessin aikana. Ruiskuvalumuotti on kompromissi monista eri asioista ja toiminnoista. Tämä vaikeuttaa oleellisesti jäähdytyksen toteutusta, koska kanavien on pysyttävä yhtenäisinä ja kierrettävä oikeissa paikoissa. Tässä tapauksessa muotin tuplapesäisyys ja hankalat kappaleen muodot aiheuttavat ongelmia. Muotin toiminnan ja koko prosessin kannalta on tärkeää, että jäähdytys on optimoitu. Optimoimalla prosessi anturointia ja nykyaikaisia ohjausjärjestelmiä hyväksi käyttäen saadaan laskettua sykli-aikoja ja parannettua laatua, nämä taas johtavat parempaan tuottavuuteen. Optimaalisinta on, että sama määrä lämpöä poistetaan, kun prosessi sitä tuottaa. Tähän päästään parhaiten siten, että lämmityksen ja jäähdytyksen pinta-alat ovat mahdollisimman lähelle samat. Pulsijäähdytys tapoja on periaatteessa kaksi: toisessa käytetään erillisiä lämmitys ja jäähdytyskanavia (REPS malli) ja toisessa taas ohjataan venttiileillä samoissa kanavissa kylmää ja kuumaa nestettä (Wieder).



KUVIO 6. Anturien sijoitusohje REPS- laitteistossa (SCALAR Oy)

Pulsijäähdytyksen idea on se että, muottia jäähdytetään silloin, kun tarvitaan ja sieltä, mistä tarvitaan. Järjestelmään kuuluu lämpötila-antureita (KUVIO 6), jotka mittaavat reaaliaikaista lämpötilaa muotista, läheltä pesää.

Tällöin tieto on oikeampaa, kuin silloin jos se mitataan paluuvesikierrosta normaalissa temperoinnissa. Näiden lämpötila-anturien antaman tiedon perusteella ohjausjärjestelmä sitten säätää veden määrää erillisiin piireihin.

Pulssijäähdytyksen tehokkuus perustuu aiempien lisäksi siihen, että siinä kanavat ja liittimet ovat optimoituja ja samankokoisia, eli liittimet eivät kurista virtausta. (Possibilities and Limitations of Variable Mold Temperature Control,2009; Variotherm Temperature Control Is Fit for Production, 2008; SCALAR Oy:n; Tresmeka Oy:n; Engelin materiaalit; Pirttiniemi 2011.)

Tavoitteena olisi, että virtaus olisi turbulentiä, jolloin lämmön siirtyminen on tehokkainta. Järjestelmän tarkoituksenaan on siirtää lämpö muotin eri alueilta veden avulla pois. Tästä syystä jäähdytys on jaettu myöskin useampaan piiriin, jotta niitä voidaan ohjata erikseen venttiililohkon välityksellä. (Possibilities and Limitations of Variable Mold Temperature Control,2009; Variotherm Temperature Control Is Fit for Production, 2008; SCALAR Oy:n; Tresmeka Oy:n; Engelin materiaalit; Pirttiniemi 2011.)

Pulssijäähdytyksen avulla on tutkitusti päästy Suomessakin yli 20 % energian säästöihin ja veden käytössä säästetty jopa 70 % (Sikanen, SCALAR Oy).

Pulssijäähdytyksen etuna on tasalaatuisuuden parantuminen sekä ajan ja materiaalin säästö. Materiaalin tai muotin vaihdosten jälkeen päästään haluttuun laatuun nopeammin muistissa olevien parametrien ansiosta. (Possibilities and Limitations of Variable Mold Temperature Control,2009; Variotherm Temperature Control Is Fit for Production, 2008; SCALAR Oy:n; Tresmeka Oy:n; Engelin materiaalit; Pirttiniemi 2011.)

Ruiskukoneen muotit lämpiävät eri tavalla toisiinsa nähden, koska niissä tapahtuu erilaisia toimintoja. Kiinteän muotin lämpiämiseen vaikuttavat ruiskutustapahtuman seurauksena tuleva kitkalämpö, muotin kanavistossa oleva sula muovimateriaali ja mahdollisten kuumasuuttimien aiheuttama lämpö. Lämpötilavyöhykkeet voidaan jakaa neljään osaan: kiinteään muottiin, liikkuvaan muottiin, valukanavistoon ja kuumakanavistoon (kuumasuuttimet).

Kuumakanaviston ympäristöä jäähdytetään, jotta lämpölaajeneminen koko muottiin saataisiin estettyä. Kuumakanavissa on vastukset, joilla niiden lämpöä pidetään yllä. (Possibilities and Limitations of Variable Mold Temperature Control,2009; Variotherm Temperature Control Is Fit for Production, 2008; SCALAR Oy:n; Tresmeka Oy:n; Engelin materiaalit; Pirttiniemi 2011.)

Liikkuva muotti ei lämpene prosessin aikana juurikaan lisää, joten sitä joudutaan usein lämmittämään prosessin aikana. Muotin puolikkaat sisältävät ohjaustapit, jotka ohjaavat muotin puolikkaat aina sulkeutuessaan kohdalleen. Tämän vuoksi lämpötilaeroa ei voi sallia, koska välykset ovat millien sadasosien luokkaa.

Lämpötilaero eri muottipuolikkaissa saa olla maksimissaan 5 - 10 °C. Muottia tulisi jäähdyttää mahdollisimman läheltä pesää. On kuitenkin huomioitava, että metalli jäähdyttää muovin, ei neste. Siksi kanavien on oltava tietyllä etäisyydellä pesästä. Tällöin saadaan parempi  $\Delta T$ , eli lämmönsiirtymiskerroin.

Jäähdytyskanavien toteutuksessa on kaksi eri tapaa; REPS suosittelee reiluja kanavia eri sarjoihin ja Wieder pienempiä, jolloin jäähdytysveden virtausnopeus kasvaa. (Possibilities and Limitations of Variable Mold Temperature Control,2009; Variotherm Temperature Control Is Fit for Production, 2008; SCALAR Oy:n; Tresmeka Oy:n; Engelin materiaalit; Pirttiniemi 2011.)

Pulssijäähdytyksen yhteydessä käytetään usein lisälämmitystä. REPS ja useat muut käyttävät erillisiä lämmönlähteitä kuten induktio, IR tai vastuksia, Wieder taas painevesijärjestelmiä, jolla päästään aina 140 °C:n lämpötilaan. (Possibilities and Limitations of Variable Mold Temperature Control,2009; Variotherm Temperature Control Is Fit for Production, 2008; SCALAR Oy:n; Tresmeka Oy:n; Engelin materiaalit; Pirttiniemi 2011.)



## LÄHTEET

EM-Kone Oy, maahantuonti yritys.

Engel Finland, ruiskuvalukoneiden maahantuojaja.

Engel GmbH, Ruiskuvalukoneiden valmistaja.

Fairchild Semiconductor Co. 2012. Induction Heating System Topology Review [viitattu 2012] Saatavissa: <http://www.fairchildsemi.com/an/AN/AN-9012.pdf>

GWK GmbH, Lämmitys ratkaisuja tarjoava yritys, integrat evolution und tecno vario.

Hahn Automation GmbH, automaatio- ja lämmitysratkaisuja tarjoava yritys, Pulse Temp RPT100 käyttöohje.

Hautala M, Peltonen H, Insinöörin (AMK) fysiikka osa1 Lahti, Lahden Teho-opetus, 2003.

HI-HEAT INTERNATIONAL LTD. Infrapuna elementtien valmistaja.

In Three seconds from 100 to 140 Degree. 2007. Kunststoffe International 10/2007, 144 – 148.

Peltonen H, Perkkiö J, Vierinen K, Insinöörin (AMK) fysiikka osa 2 Lahti, Lahden Teho-opetus, 2007.

Pirttiniemi, O. muottisuunnittelija. StoraEnso. Haastattelu 2011.

Possibilities and Limitations of Variable Mold Temperature Control. 2009. Kunststoffe International 5/2009, 15 - 17.

RocTool. Induktio lämmitysratkaisuja tarjoava yritys.

SCALAR Oy. Maahantuontiyritys. REPS- laitteistoetsite.

Sikanen, M. Edustaja. SCALAR Oy. Haastattelu 2011.

Tresmeka Oy. Maahantuontiyritys. Wieder- laitteistoetsite.

Variotherm Temperature Control Is Fit for Production. 2008. Kunststoffe International 8/2008, 57 – 62

Wikipedia. 2011. Infrared. [viitattu 2011] Saatavissa:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Infrared>

