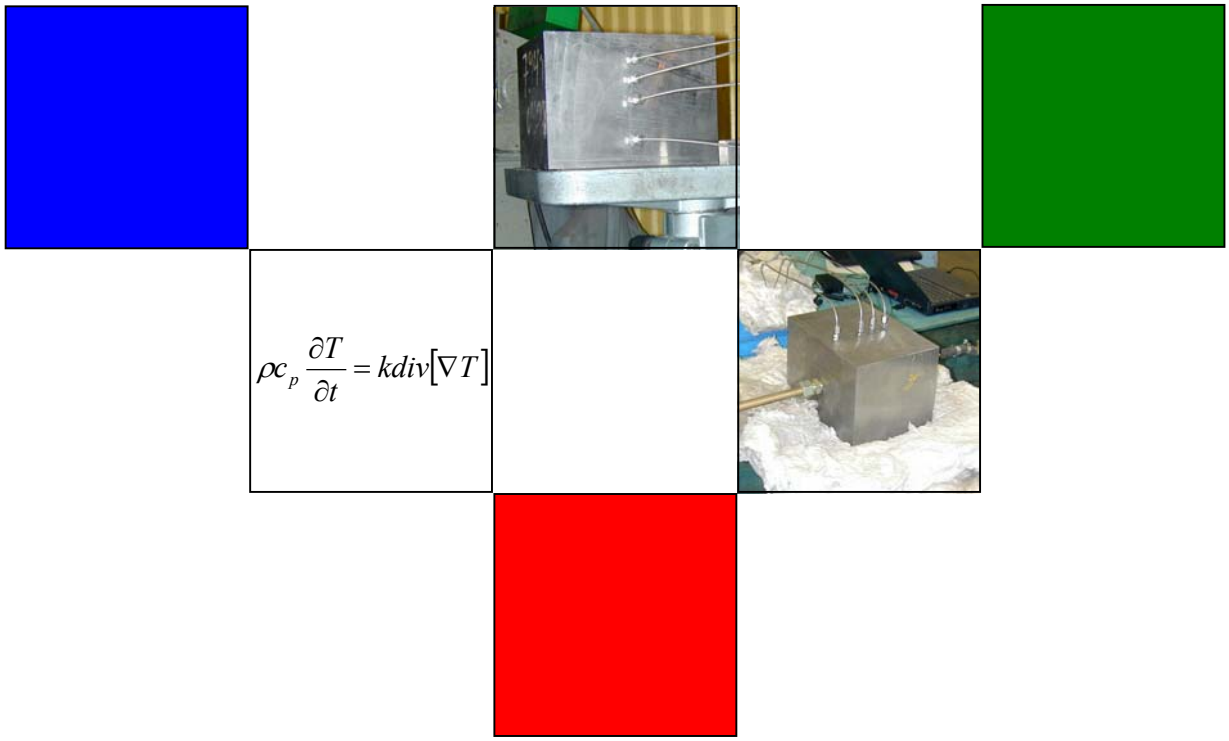
051118

MÄTNING AV KYLEFFEKT I KYLKANALER MED OLIKA KYLMEDIER

Erik Gustafsson och Markus Blomdahl



GJUTERI FÖRENINGEN
Swedish Foundry Association
Svenska Gjuteriföreningen
Box 2033, 550 02 Jönköping
Telefon 036 - 30 12 00
Telefax 036 - 16 68 66
info@gjuteriforeningen.se
http://www.gjuteriforeningen.se

©2005, Svenska Gjuteriföreningen

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

		Sida
SAMMANFATTNING		1
1	**BAKGRUND**	1
2	**TEORI**	1
3	**FÖRSÖKSUTRUSTNING**	2
4	**FÖRSÖK**	7
4.1	Försök 1 Luftkylning av block 1 med genomgående kylkanal	9
4.2	Försök 2 Vattendimmakylning av block 1 med genomgående kylkanal	10
4.3	Försök 3 Vattenkylning av block 1 med genomgående kylkanal	11
4.4	Försök 4 Luftkylning av block 2 med punktkyla	14
4.5	Försök 5 Vattendimmakylning av block med punktkyla	15
4.6	Försök 6 Vattenkylning av block 2 med punktkyla	16
5	**SLUTSATS**	17
6	**REFERENSER**	17

SAMMANFATTNING

I denna rapport har försök gjorts att erhålla värmeövergångstal längs en kylkanal i ett kokillverktyg. Mätningar har gjorts på verktygsblock som värmts upp till ca 400°C och sedan kylts med vatten, vattendimma eller luft längs en kylkanal inne i verktygsblocket. Många bra mätningar erhölls men bestämmandet av värmeövergångstal var svårare än beräknat med de programvaror Gjuteriföreningen hade till sitt förfogande. I slutsatsen på denna rapport ges dock förslag på hur framtida användande av de erhållna provdata skall behandlas.

1 BAKGRUND

Som en del i projektet verktygsoptimering önskade Hydro Aluminium Fundo AB undersöka hur kyleffekten i en kylkanal påverkas av kylkanalens utformning samt vilket kylmedium som används. I gjuteriet hade det iakttagits att kylningen varierade längs med kylkanalen vilket medför att det värmeövergångstal som används i dagens simuleringsprogram inte överensstämmer med verkligheten. Värmeöverföring mellan två kroppar/medium definieras av sambandet:

$$q = k(T_A - T_B) \qquad [1]$$

där

q är överförd effekt per ytenhet, [W/m^2]
T_A är temperatur på ytan, [°C]
T_B är temperatur på omgivande medium, [°C]
k är värmeövergångstalet, [W/m^{2}K]

Avsikten med försöken var att kunna få fram ett värmeövergångstal som varierar längs kylkanalen.

2 TEORI

Kylning av varma kanaler med ett kylmedium är en process som är komplicerad att modellera matematiskt. En liten bakgrund till problemet ges här.

När ett medium strömmar förbi en yta bildas ett gränsskikt närmast ytan. I detta gränsskikt är det laminärt flöde och värmetransporten sker genom ledning om ingen fasförändring av kylmediet sker.

Denna värmeledning definieras av den klassiska energiekvationen.

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = k div[\nabla T] \qquad [2]$$

där

ρ är densitet på gränsskiktet, [kg/m^3]
c_p är specifik värme, [J/kgK]
k är värmeledningstal, [W/mK]
T är temperatur, [°C]

Ekvation [2] tillsammans med ekvation [1] kan då användas för att beskriva värmeöverföring från kylmedium till gränsskikt och från gränsskikt till verktyg för att ge en komplett bild av värmeövergången. Detta problem beskrivs i åtskilliga böcker, ett exempel är (1). I simuleringsprogrammen MAGMASoft, Novaflow & Solid och ProCAST som används förenklas dock detta genom att man anger en temperatur på kylmediumet samt ett värmeövergångstal till verktyget. I detta problem infaller dock något som försvårar beräkningarna avsevärt, nämligen kokning (fasförändring) av kylmediet. Mekanismen vid kokning är komplicerad för beräkning av värmeövergången. Här finns idag ingen enhetlig och enkel teori. Processen blir sådan att mediet, vatten eller vattendimma, kommer i kontakt med den varma ytan på kylkanalen. Ångbubblor bildas då på ytan som stiger upp genom vätskan. Detta gäller i första hand för kärlkokning men gäller också i någon mån för kokning i rör. Ångan som bildas kan då skapa ett isolerande skikt vilket gör att kyleffekten minskar, detta brukar refereras till som Leidenfrosteffekten.

3 FÖRSÖKSUTRUSTNING

Två stycken rektangulära block av verktygsmaterial förbereddes för provning. Det ena blocket hade ett genomgående hål där kylmediumet kunde strömma och det andra blocket hade ett bottnande hål för s.k. punktkylning, bild 1 och 2. Dessa två olika utföranden på blocken används p.g.a. att man först vill studera kyleffekten längs en rak lång kanal samt hur kylning blir i en bottnande kylkanal s.k. punktkylning.

Syftet med försöken blir således att se skillnader i kylning vid olika punkter i verktygsmaterialet och på så sätt få en bild av hur kylningen varierar. Är det också möjligt att få fram ett varierande värmeövergångstal längs kylkanalen vore detta underlättande för simuleringarna.

Stålet som blocket är tillverkat av har beteckning X38CrMoV5-3 och benämns THYROTHERM 2367. Leverantör av detta stålblock är Thyssen.

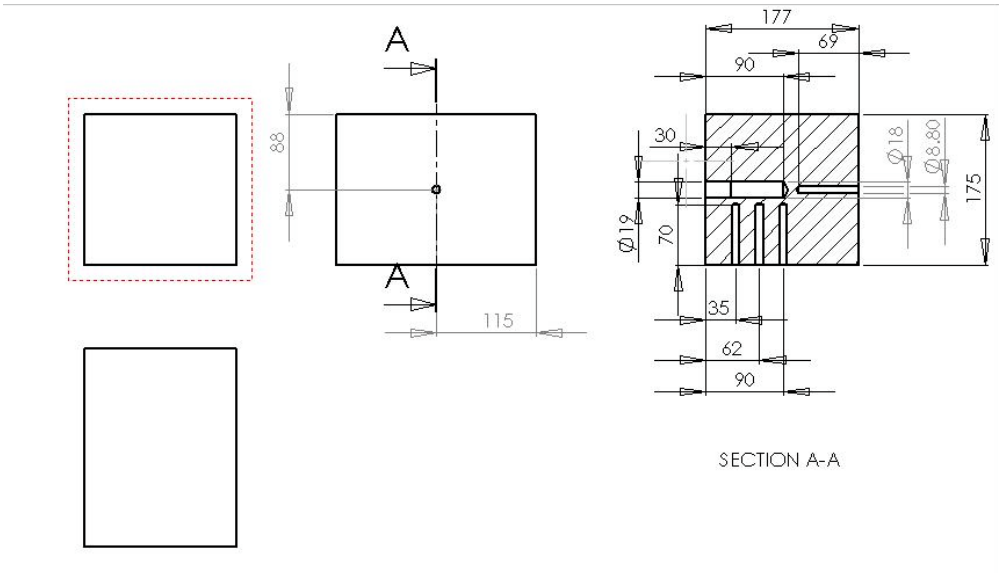


Bild 1 *Ritning på block med bottnande hål för punktkyla.*

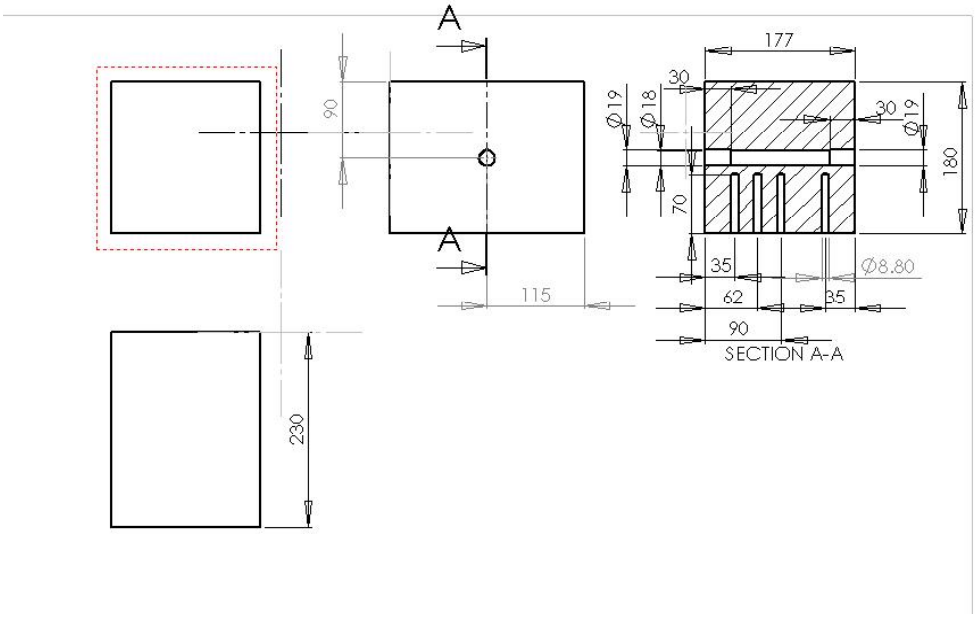


Bild 2 *Ritning på block med genomgående hål för kylning.*

Bild 3 nedan visar placering av fyra termoelement, markerat med pilar, på det av blocken med det genomgående hålet. Termoelementen är placerade relativt tätt nära inloppet av kylmediet och i slutet av kanalen är ett termoelement placerat för att mäta temperatur i blocket vid den punkten, bild 2.

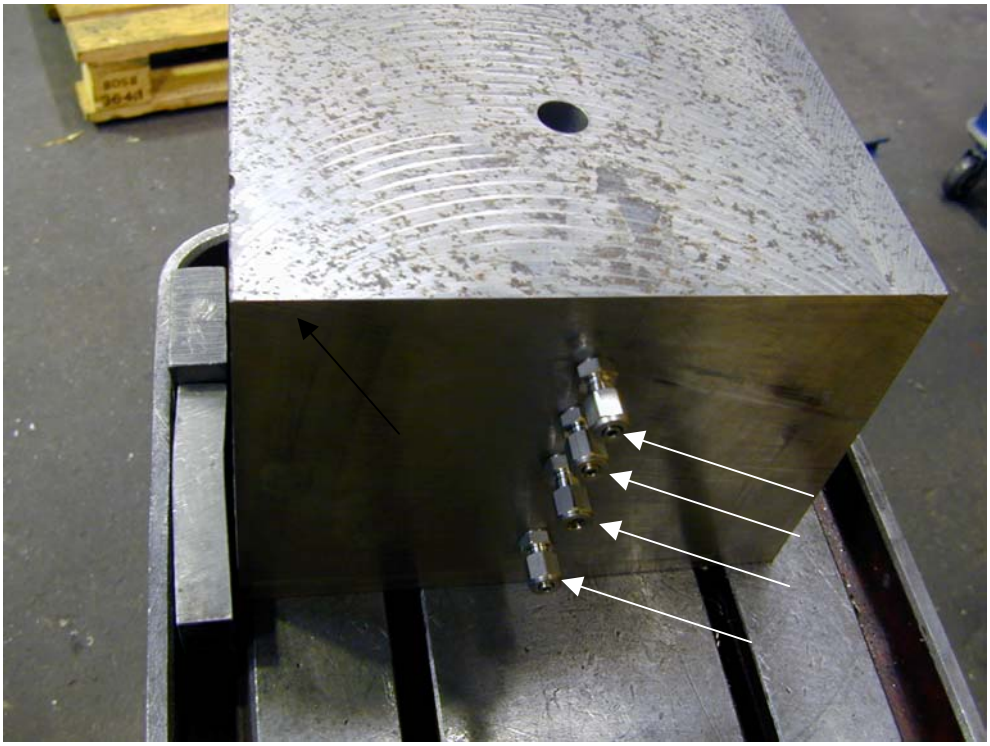


Bild 3 *Positionering av de fyra termoelementen på blocket med den genomgående kylkanalen.*

Termoelementen var s.k. typ J-element, bild 4, som fästs i blocken med hjälp av hylsor enligt bild 5.

Bild 4 *Termoelementen var av J-typ.*

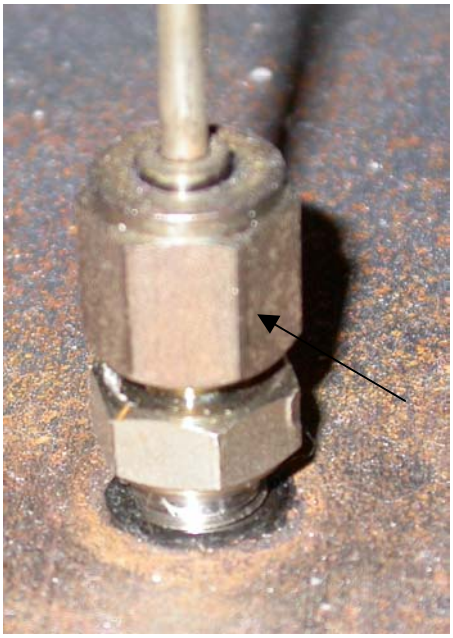


Bild 5 *Termoelementen fästs i blocken med hjälp av dessa hylsor som pressar ned termoelementet ordentligt när muttern dras åt. (muttern markerad med pil)*

När termoelementen är monterade ser blocket ut enligt bild 6.

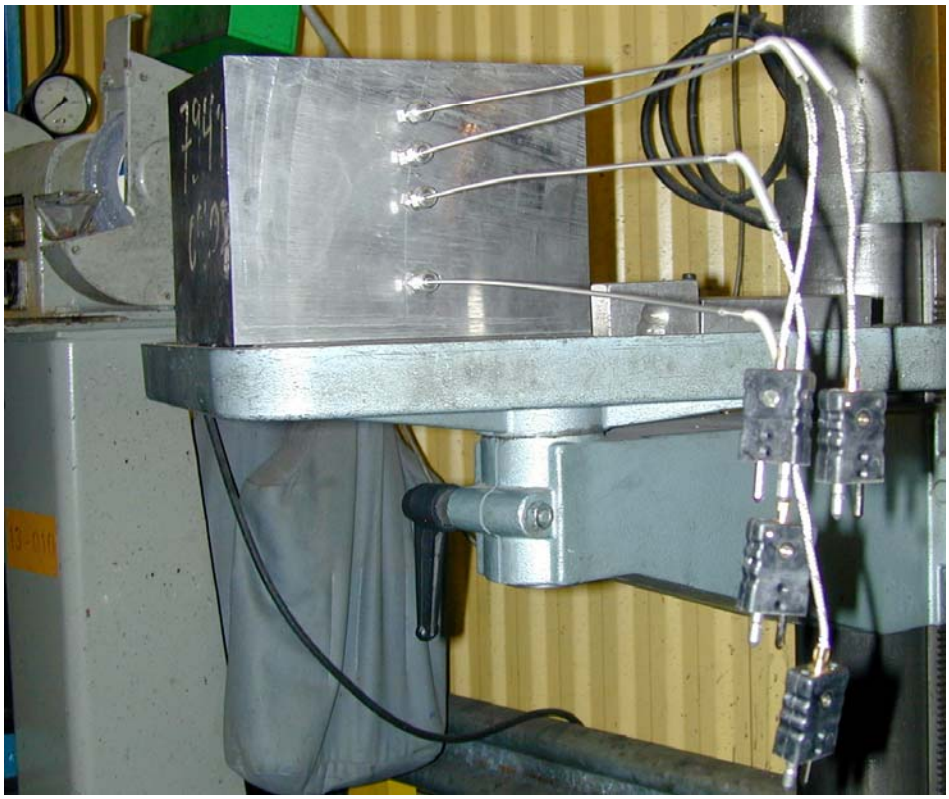


Bild 6 *Termoelementen monterade och blocket är färdigt för provning.*

Blocken värmdes med hjälp av en gasolbrännare upp till en temperatur på ca 370°C, se bild 8. Uppvärmning gav en något ojämn temperaturfördelning i blocket, så temperaturen 370°C är vid termoelementen. Vid blockets mitt där termoelementen var placerade påverkades temperaturen ej nämnvärt då gasolvärmaren slogs av. Temperatursänkningen i blockets mittpunkt påverkas således endast av mediet i kylkanalen.

Bild 7 *Riggad provkropp redo för uppvärmning med gasolbrännare.*

Bild 8 *Några ytor isolerades innan uppvärmning och känsliga delar på dataloggern skyddades också. Uppvärmning med gasol-brännaren tog sedan fart.*

4 FÖRSÖK

Vid försöken användes programvaran Labview som mätprogram. Mätningar skedde med ett intervall av 1 sekund. För alla diagram nedan gäller att tiden är nollställd då kylning påbörjas.

De två blockens termoelement benämndes enligt bild 9 och bild 10 nedan. Vid uppmätning av djupet på hålen för termoelementen på block 1 var detta djup 74 mm i jämförelse med 70 mm i bild 2. Detta beror på att hålen markerade i bild 2 borrades ytterligare en liten bit med ett mindre borr med ∅ 3 mm för att få en bra anliggning för termo elementen. Avståndet från termoelementets spets till ytan på kylkanalen är således 7 mm (90-9-74).

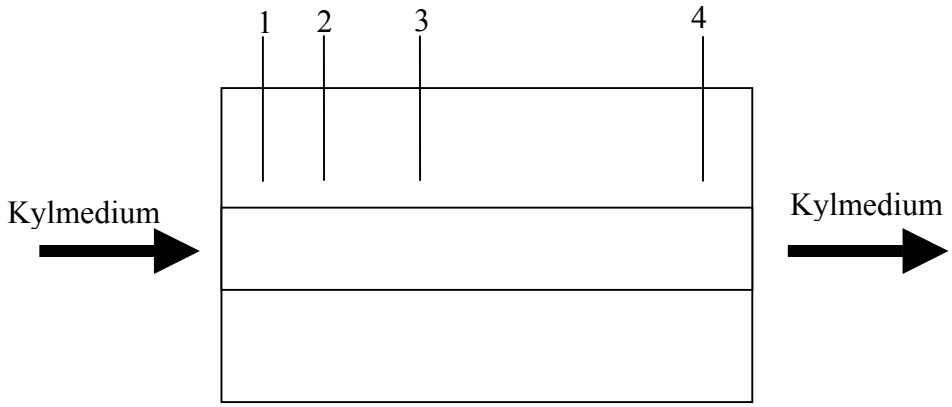


Bild 9 *Schematisk skiss av block 1 med placering och numrering av termoelementen.*

Vid uppmätning av djupet på hålen för termoelementen 1-3 på block 2 var detta djup 75 mm i jämförelse med 70 mm i bild 1. Detta beror på att hålen borrades ytterligare en liten bit med ett mindre borr med ∅ 3 mm för att få en bra anliggning för termoelementen. Avståndet från spetsen på termoelementen till kylkanalens yta blir således 3,5 mm (87,5-9-75). Hålet för termoelement 4 var 72 mm djupt enligt samma anledning som för termoelement 1-3. Kylkanalens djup mättes till 94 mm. Avståndet mellan termoelementets spets och kylkanalens yta blev därmed 11 mm (177-94-72).

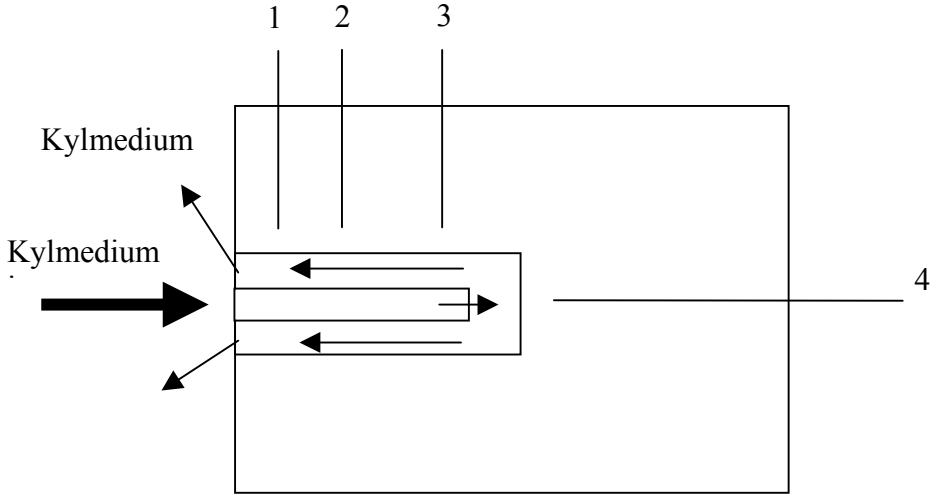
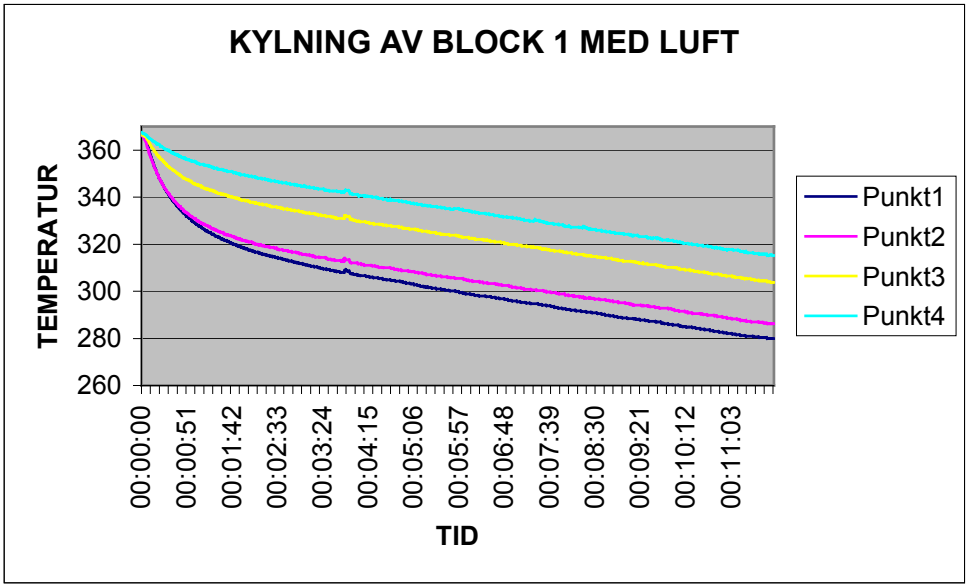


Bild 10 *Schematisk skiss av block 2 med placering och numrering av termoelement.*

4.1 Försök 1 Luftkylning av block 1 med genomgående kylkanal

I det första försöket kyldes klumpen med luft.
Förutsättningar:
Lufttryck : 5,5 bar
Luftflöde: ca 600 l/min

Diagram 1 *Temperatur vid de olika termoelementen under kylning med luft.*



Vid luftkylning erhålls rätt så stor skillnad mellan kylning av punkter nära inloppet och punkter längre bort. Med hjälp av ovanstående kurvor kan man göra en linjär extrapolation för att se hur mycket kyleffekt som förloras per cm vid olika tidpunkter. Se nedanstående Tabell 1.

Tabell 1 *Tabell som visar hur mycket kylningen av blocket minskar per cm.*

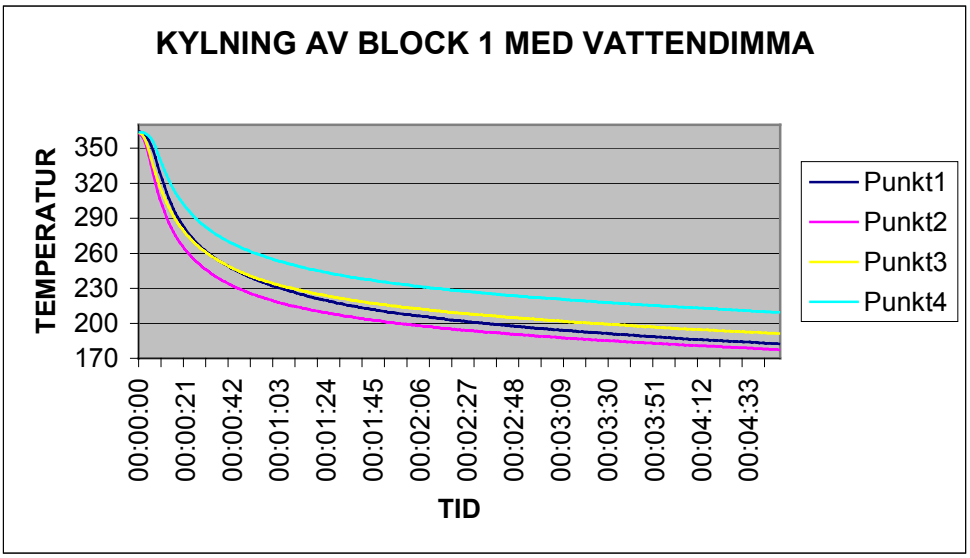
TID [s]	Minskad kylning per cm
20	1,0 °C
40	1,5 °C
60	1,8 °C
120	2,0 °C
180	2,0 °C
240	2,1 °C

Exempel. Efter 60 sekunders kylning har en punkt i verktyget som befinner sig 30 cm in i klumpen längs kylkanalen 54°C (30*1,8) högre temperatur än en punkt i verktyget vid inloppet som befinner sig på samma avstånd från kylkanalen. Den kylande effekten från kylmediet minskar således längre in i kanalen p.g.a. att kylmediet hettas upp.

4.2 Försök 2 Vattendimmakylning av block 1 med genomgående kylkanal

I det andra försöket kyldes klumpen med vattendimma. Vattendimma kan enkelt förklaras som en luftström som man tillför lite vatten.
Förutsättningar:
Lufttryck : 5,5 bar
Luftflöde: ca 600 l/min
Vattenflöde: 0,35 l /min

Diagram 2 *Temperatur vid de olika termoelementen under kylning med vattendimma.*



Tabell 2 *Tabell som visar hur mycket kylningen av blocket minskar per cm.*

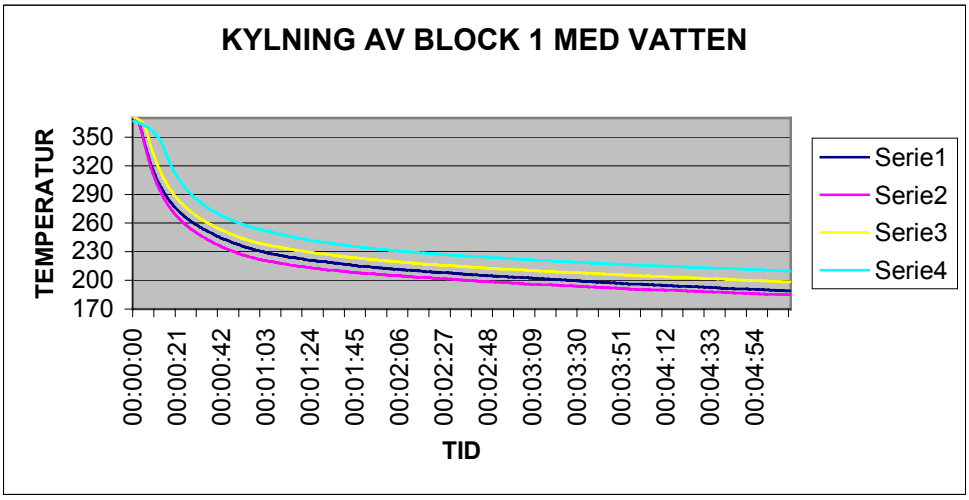
TID [s]	Minskad kylning per cm
20	4,4 °C
40	4,0 °C
60	4,0 °C
120	3,8 °C
180	3,6 °C
240	3,6 °C

Här ses då att skillnaden i kylning längs kylkanalen är större vid mätpunkterna längs kylkanalen än vid kylning med luftvatten. Luften har alltså en sämre men jämnare kylning längs kanalen.

4.3 Försök 3 Vattenkylning av block 1 med genomgående kylkanal

I det tredje försöket kyldes klumpen med vatten.
Förutsättningar:
Vattenflöde: 0,35 l /min

Diagram 3 *Temperatur vid de olika termoelementen under kylning med vatten.*



Tabell 3 *Tabell som visar hur mycket kylningen av blocket minskar per cm.*

TID	Minskad kylning per cm
20	4,5 °C
40	2,9 °C
60	2,8 °C
120	2,2 °C
180	2,1 °C
240	2,2 °C

Genom att betrakta diagrammen klargörs det som var väntat från början, nämligen att vattendimma och vatten är klart mest effektivt.

En jämförelse mellan vattendimma och vattenkylning kan ses i diagram 4 nedan. Det som plottas är temperaturskillnaden i mätpunkterna mellan klumparna för kylning med vatten respektive vattendimma. Ett värde >0 indikerar således att temperaturen i blocket vid den tidpunkten är högre vid vattenkylning.

Diagram 4 *Jämförelse av temperatur i blocken för vatten respektive vattendimmakylning.*

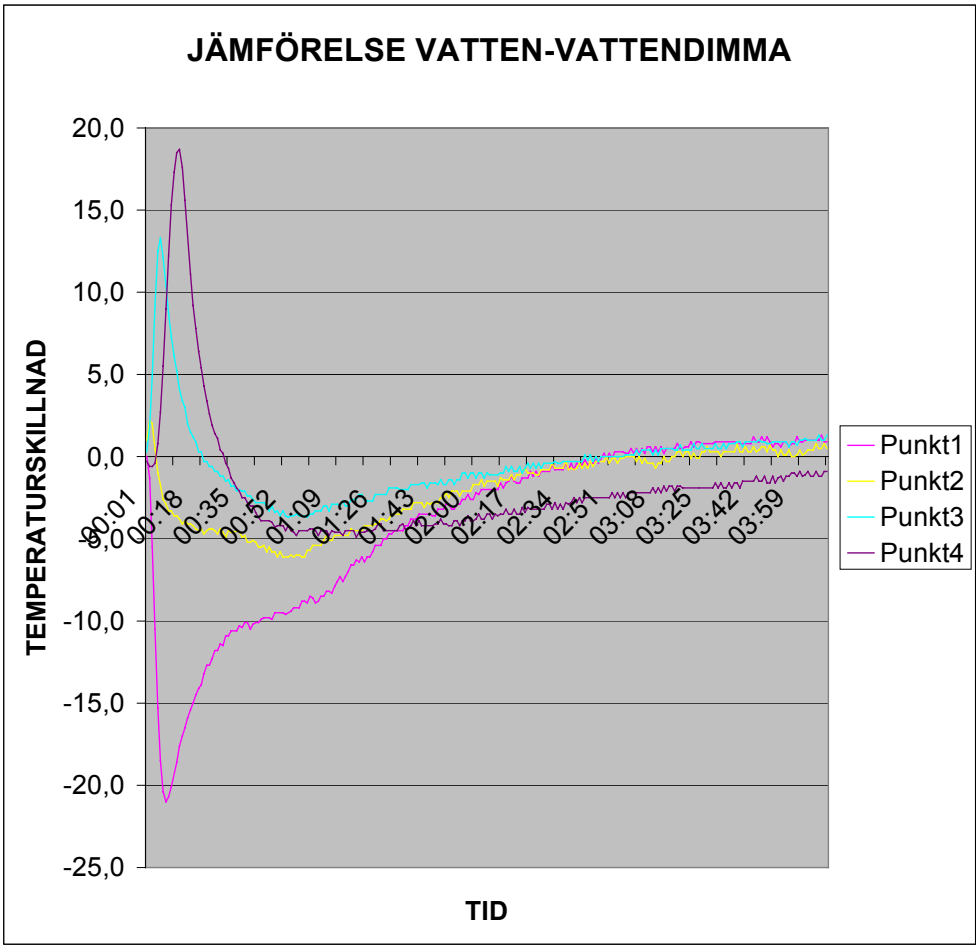
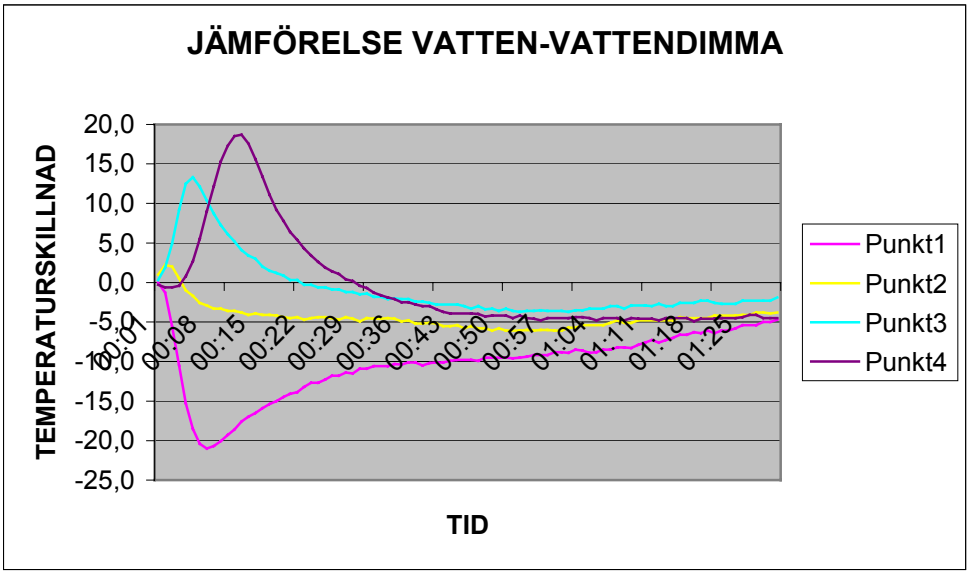


Diagram 5 *De första 90 sekunderna av diagram 4 för att få en mer detaljerad syn på temperaturskillnaderna.*



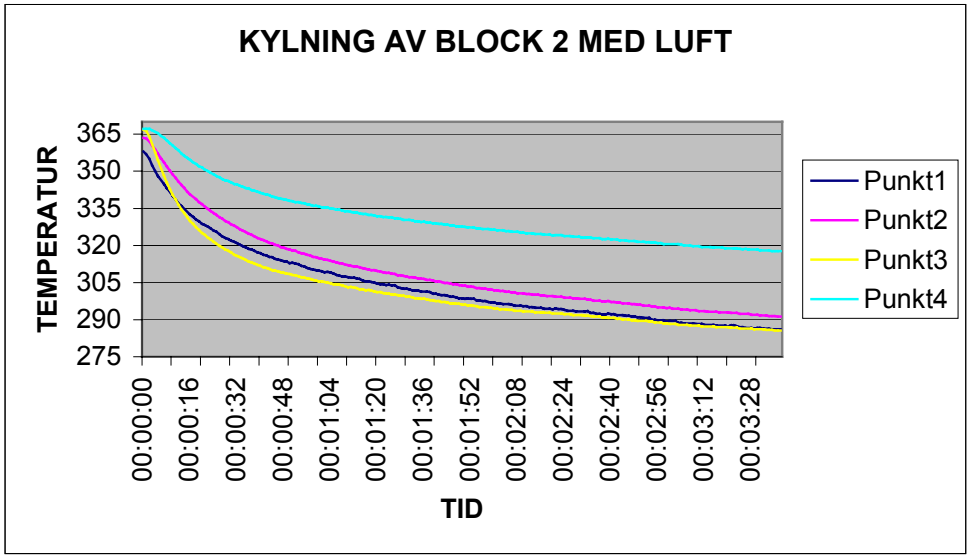
Man kan i diagram 4 och 5 se att för punkt 1 som ligger närmast inloppet av kylmediet är det hela tiden effektivare kylning med vatten. För punkt 3 och 4 ser man dock det omvända förhållandet, alltså en mer effektiv kylning med vattendimma. Punkt 2 har en lite bättre kylning med vattendimma i början för att sedan få en mer effektiv vattenkylning. Gemensamt för de fyra punkterna är dock att efter ca 1 minut av kylning så är temperaturdifferensen mellan de klumparna på alla punkter nästan identisk.

En förklaring till att vattenkylning är så effektiv i punkt 1 jämfört med vattendimma och att den omvända råder i punkt 4 kan ha sin grund i följande. Vattnet kyler kraftigt vid början av kanalen och kokning av vattnet sker. Ett isolerande luftskikt erhålls då som sedan håller tillbaka kylningen vid punkt 1 och gör att vattnet inte heller kyler så bra längre in i kanalen. Vattendimman får däremot inte den ”explosiva” kyleffekten i början av kanalen som man får vid vattenkylning, å andra sidan bevaras kyleffekten bättre, vilket medför en effektivare kylning längre in i kanalen.

4.4 Försök 4 Luftkylning av block 2 med punktkyla

Vi luftkylning användes följande inställningar:
Lufttryck : 5,5 bar
Luftflöde: ca 600 l/min

Diagram 6 *Temperatur vid de olika termoelementen under kylning med luft.*



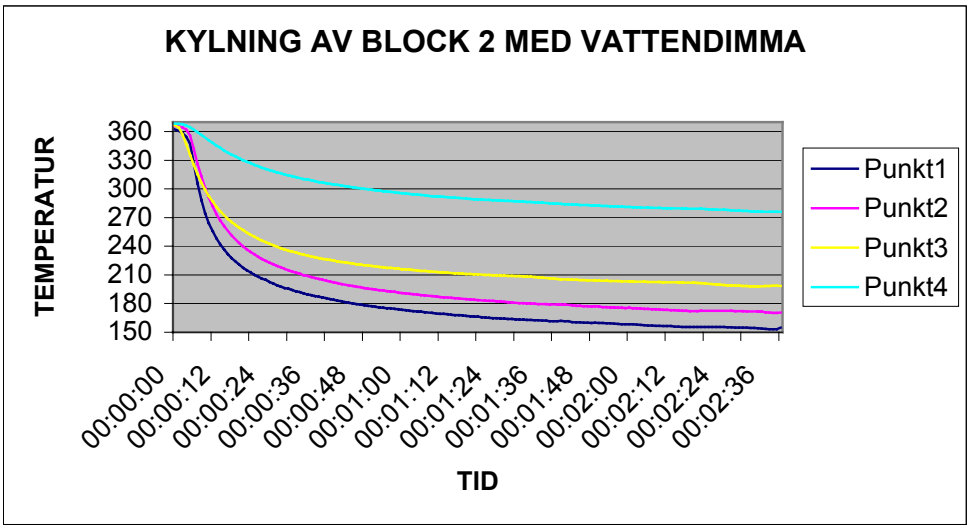
Här erhålls ett lite oväntat resultat. Kylningen av termoelement 4 är betydligt lägre än vad den är för de övriga tre. Det förväntade resultatet var så att kylningen vid punkt 4 är störst då kylmediet strömmar rakt mot denna punkt, se bild 10.

En anledning till detta kan vara att mätningen vid termoelement 4 sker längre ifrån kylkanalen än vad som är fallet för termoelement 1-3. Vid kontrollmätning av verktygsblocket visar det sig att termoelement 1-3 låg 3,5 mm från kylkanalens yta och termoelement 4 ligger 11 mm från kylkanalens yta som tidigare nämnts.

4.5 Försök 5 Vattendimmakylning av block 2 med punktkyla

I det andra försöket kyldes klumpen med vattendimma.
Förutsättningar:
Lufttryck : 5,5 bar
Luftflöde: ca 600 l/min
Vattenflöde: 0,35 l /min

Diagram 7 *Temperatur vid de olika termoelementen under kylning med vattendimma.*

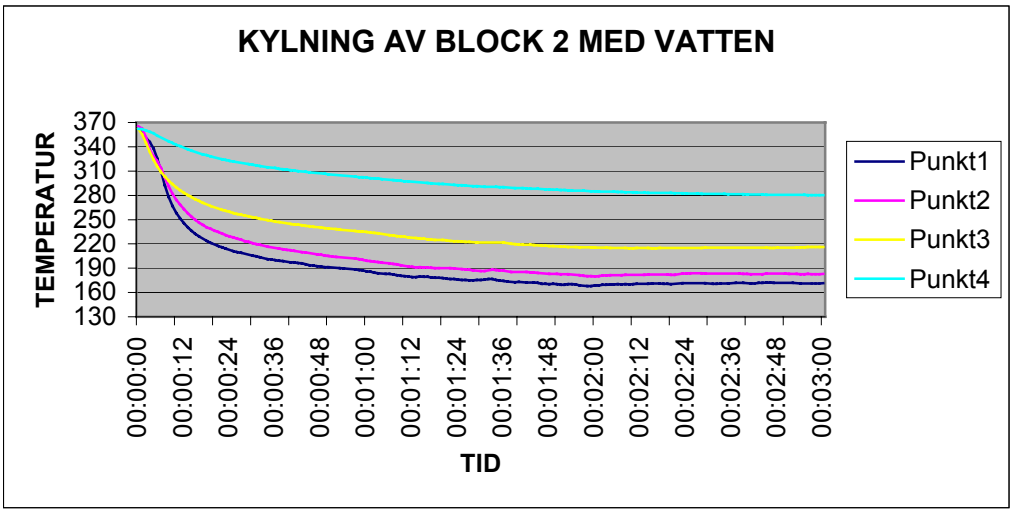


Även här bli kylningen av punkt 4 lägre än väntat så det är ytterligare en bekräftning av att den mätpunkten ligger längre in i blocket.

4.6 Försök 6 Vattenkylning av block 2 med punktkyla

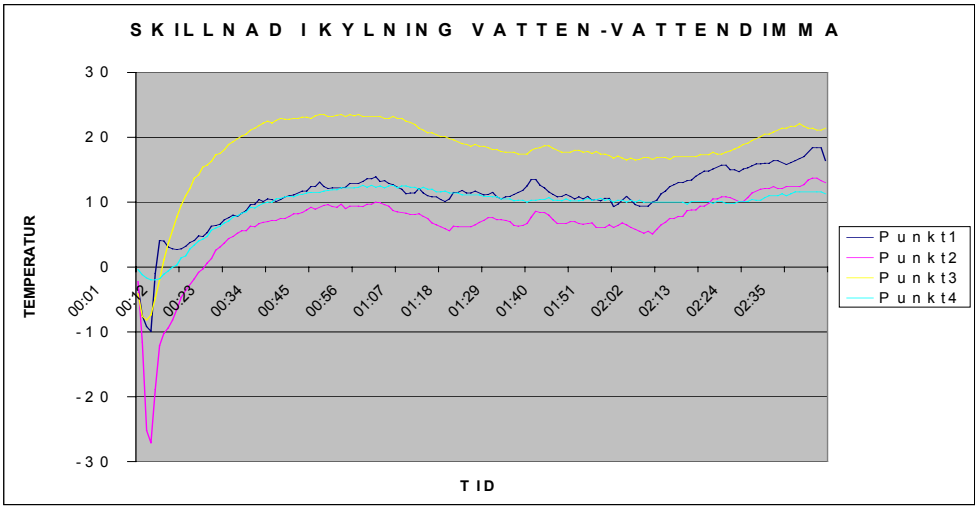
I det tredje försöket kyldes klumpen med vatten.
Förutsättningar:
Vattenflöde: 0,35 l /min

Diagram 8 *Temperatur vid de olika termoelementen under kylning med vatten.*



En jämförelse mellan vattendimma och vattenkylning kan ses i diagram 9 nedan. Det som plottas är temperaturskillnaden mellan klumparna för kylning med vatten respektive vattendimma. Ett värde >0 indikerar således att temperaturen i blocket vid en given tidpunkt är högre vid vattenkylning.

Diagram 9 *Jämförelse av temperatur i blocken för vatten respektive vattendimmakylning.*



Vid punktkylning får vi en klar bild från diagrammet som indikerar att kylningen med vattendimma är bättre än kylningen med vatten vid alla

mätpunkter. Kylningen med vatten är effektivare precis i början men efter ett tag börjar en nästan konstant temperaturdifferens infinna sig mellan 10 - 20°C beroende av vilket termoelement som studeras.

5 SLUTSATS

Bestämmande av värmeövergångstalet som funktion av tid och position längs röret är väldigt svårt med de programvaror som Gjuteriföreningen idag har till sitt förfogande. De provdata som har tagits fram kan dock användas vid senare tillfälle för programmering i Matlab. Dessa data kan då användas som randvärden och ge temperaturen i de uppmätta punkterna. Antag sedan att kylmediets temperatur är konstant 20°C och att verktygsmaterialet har ett värmeledningstal k. Då kan en modell programmeras i Matlab som ger ett tidsberoende värmeövergångstal för de olika punkterna för att erhålla rätt temperatur i verktyget.

Framtida arbete kan bestå i att även göra liknande studie med olja som kylmedium och för detta skulle dessa verktygsblcok vara väl lämpade.

6 REFERENSER

1. Ekroth, I., och E. Granryd: Tillämpad termodynamik, Institutionen för Energiteknik, Avdelningen för Tillämpad termodynamik och kylteknik, KTH, Stockholm, 1994.

SYFTE

Syftet med rapporten är att göra en studie över hur kylförloppet längs en kylkanal varierar och jämföra kylning med olika kylmedier. Rapporten är en delrapport i projektet G 685.

INNEHÅLL

Rapporten innehåller mätningar av kylförmågan för tre olika medier på ett verktygsblock. De olika medierna som testade var luft, vatten och vattendimma. Mätningarna påvisar då de skillnader i kyleffekt längs en kylkanal inne i verktygsblocket. Proven visar att vid långa kylkanaler är vattendimma det bästa kylmediet för att kyla blocket.

ÄMNESOMRÅDE

Kokillgjutning
Processteknik
Verktyg

NYCKELORD

Verktyg
Värmeledning
Kylning
Kokillgjutning