

JERNKONTORET

DEN SVENSKA STÅLINDUSTRINS
BRANSCHORGANISATION

Höganäs 

OVAKO

SSAB

Kylning av stål med Impinging Jet

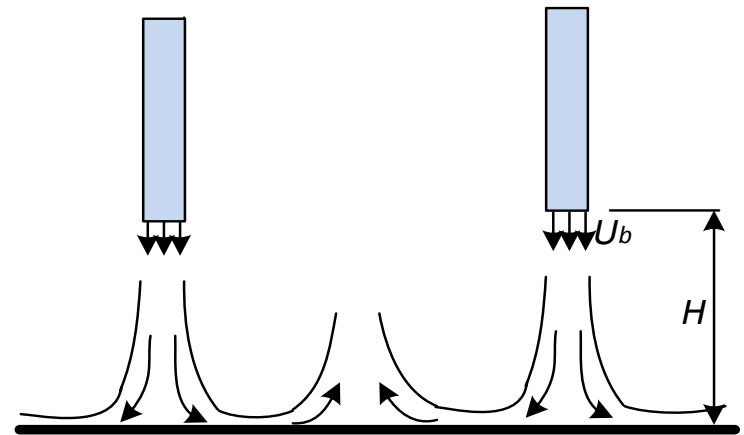
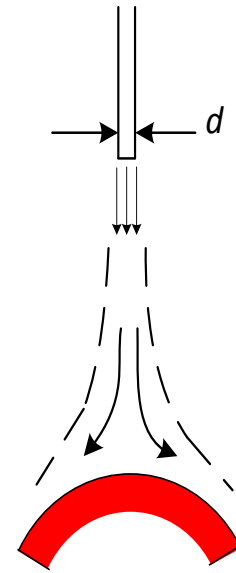
Projektledare: Bahram Moshfegh
bahram.moshfegh@liu.se

Medverkande

- Bahram Moshfegh, professor i energisystem
- Mohammad Jehadi, doktorand
- Klas Svensson, tek. dr. i energisystem
- Joakim Wren, docent i mekanisk värmeteori
- Ulf Holmberg, Clean production center (CPC)
- Patrik Olsson, CPC/Triple Steelix

Impinging jet (IJ)

- IJ bygger på att många friströmmande luft- eller vattenstrålar med hög hastighet riktas mot en varm kropp.
- Efter nerslaget mot ytan sprids luften eller vattnet längs ytan och ger stora kyleffekter.



Delprojekt 1 - effektivkylning i tunnelugnar

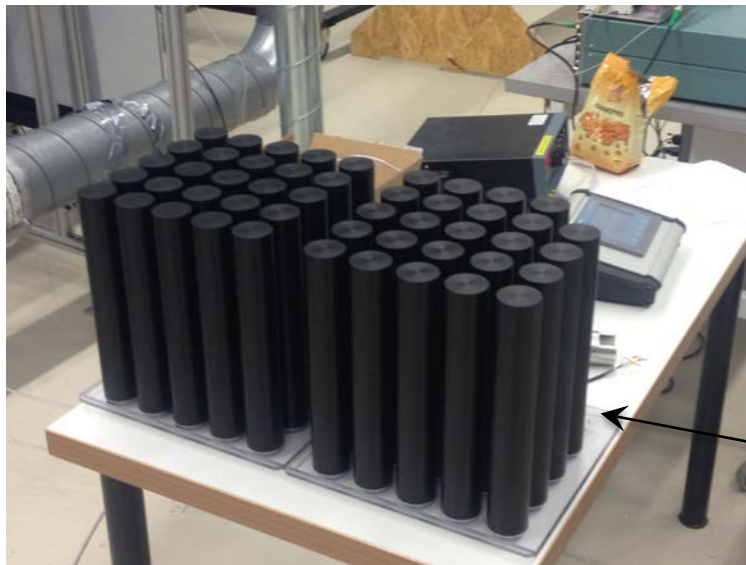
Syftet är att:

- öka kyleffekten
- jämnare kylning av kapslar
- effektivare användning av kylluft
- minskad energianvändning
- öka produktionen
- återvinningen av restvärme från kapslar



Översiktsbild på testrigg

En testrigg med full kontroll på flöden och möjlighet till mätningar av tryckfall och genomsnittligt värmeövergångstal och på enskilda cylindrar har konstruerats.

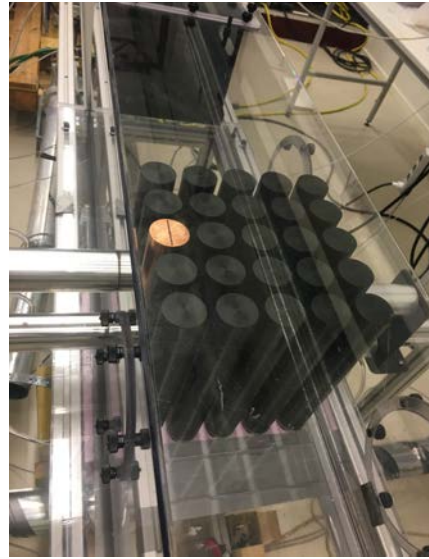
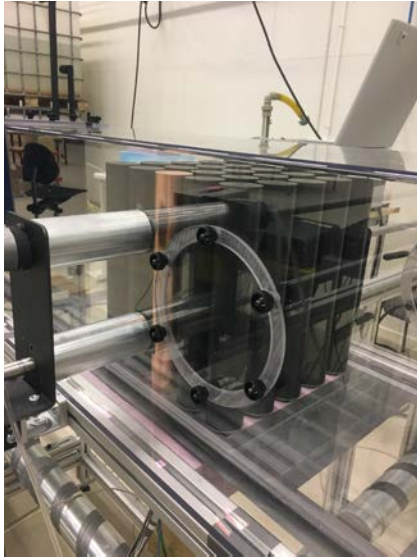


Kapslar



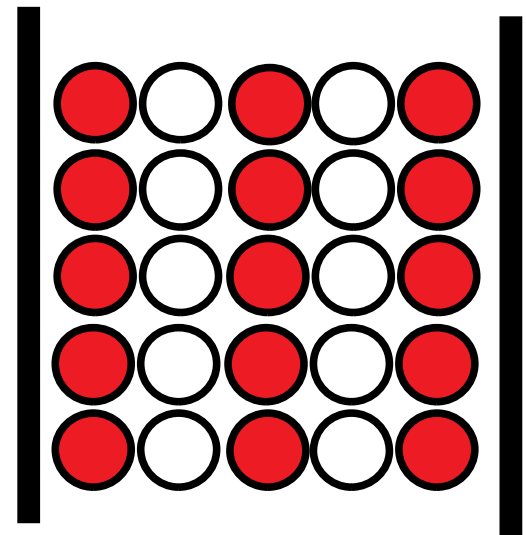
Impinging jet

Mätningar – kopparcylinder



- Vindtunnelmätningar av värmeövergångstal:
 - Sektionering av värmestav
 - Kopparcylinder med jämn temperatur
 - 90 mätpunkter för temperatur
 - Försumbart strålningsutbyte

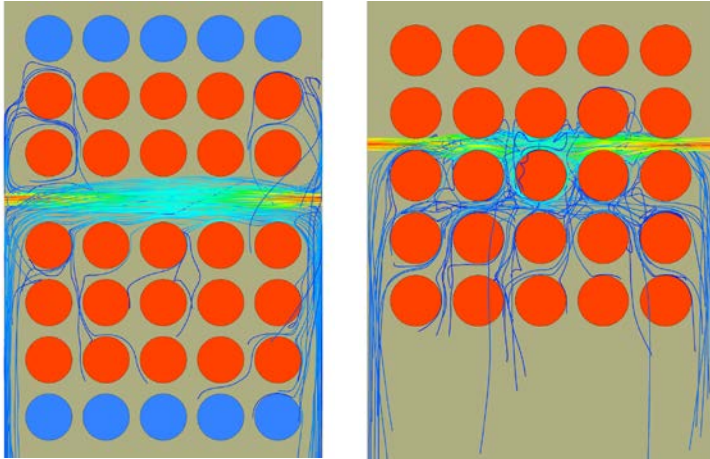
Mätpositioner



Resultat och förbättringsförslag

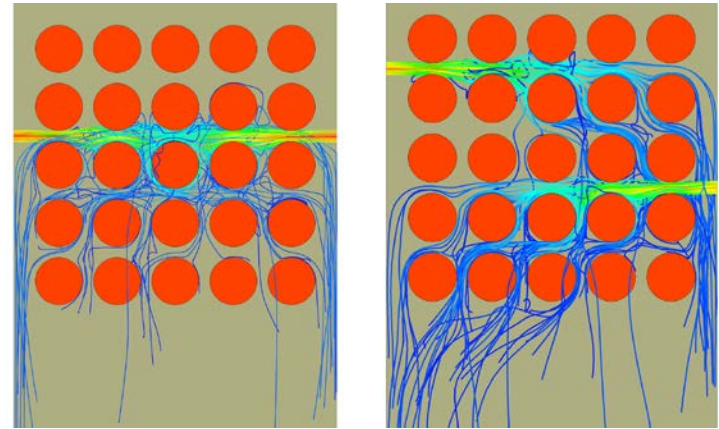
Jetstrålar mellan rader istället för kylning mellan vagnar (dagsläge)

10 – 20 % ↑



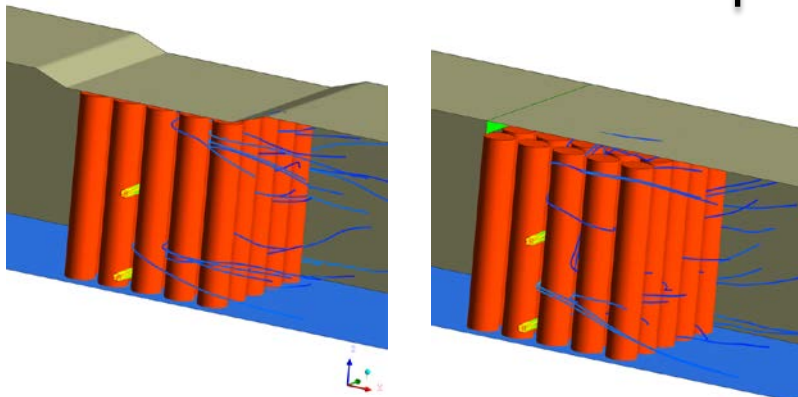
Asymmetrisk placering av befintliga kylflöden

> 10 % ↑



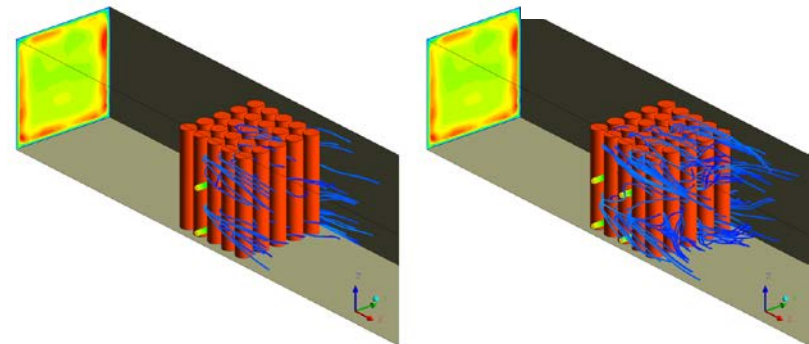
Reducering av tak-och väggavstånd och betydelse av takbafflar

15 – 25 % ↑



Öka antalet jetstrålar per kylzon (tätare jetplacering)

korta kylsträckan med ca 50%



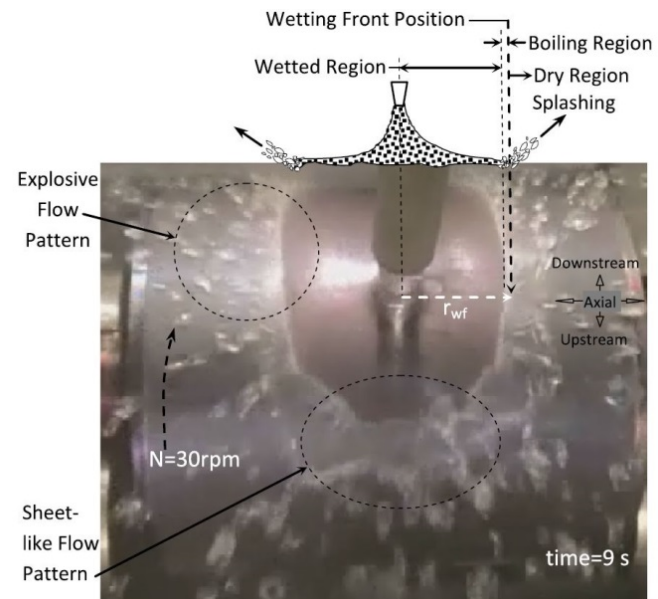
Fortsatt arbete

- Fullskaletester hos Höganäs utförs i svaltunnel efter befintlig tunnelugn.
- Det pågår ombyggnation av svaltunneln för att genomföra fullskaletester med de föreslagna åtgärderna i denna tunnel. Fullskaletesterna kommer att genomföras under våren 2017.
- Fortsatt CFD-simulering fokuserar på följande
 - Studie över optimal hastighet hos jetstrålar, vid olika flöden längs med tunnelugn.
 - Studie över optimalt antal jetstrålar (i förhållande till diameter)
 - Studie över korsströmningens temperatur
- Det är viktigt att nämna att det finns stora möjligheter att använda denna teknik i andra industriapplikationer.

Delprojekt 2 - Snabbkylning av olika stålrörprodukter

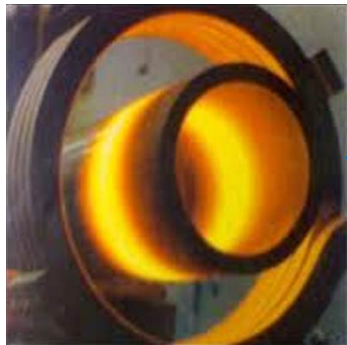
Syftet är att:

- påverka stålets egenskaper
- kapa produktionstiden
- återvinna restvärme från stålrörprodukter

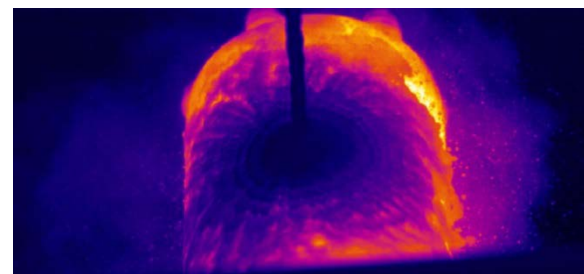
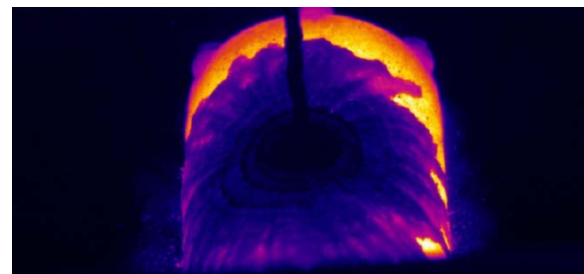
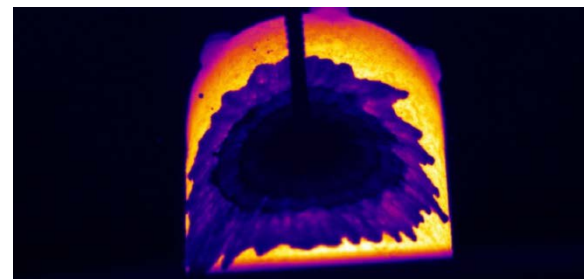
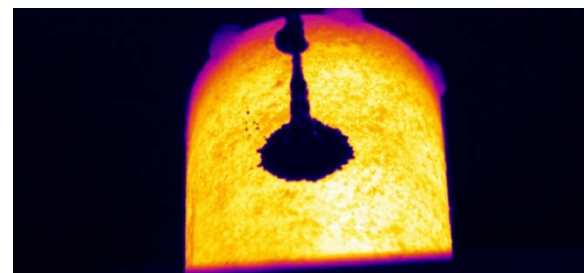
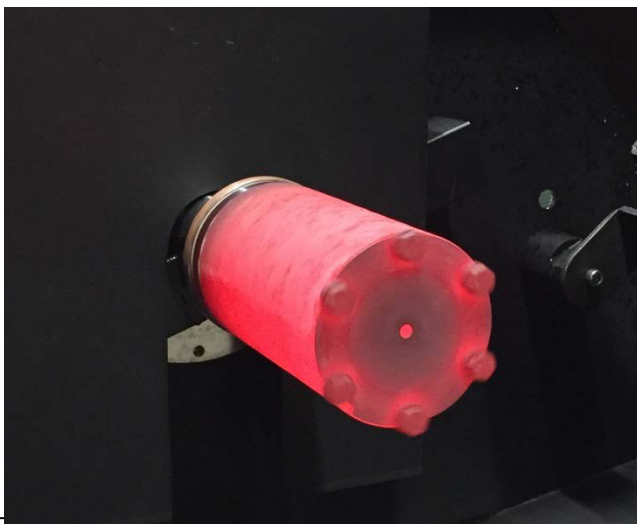
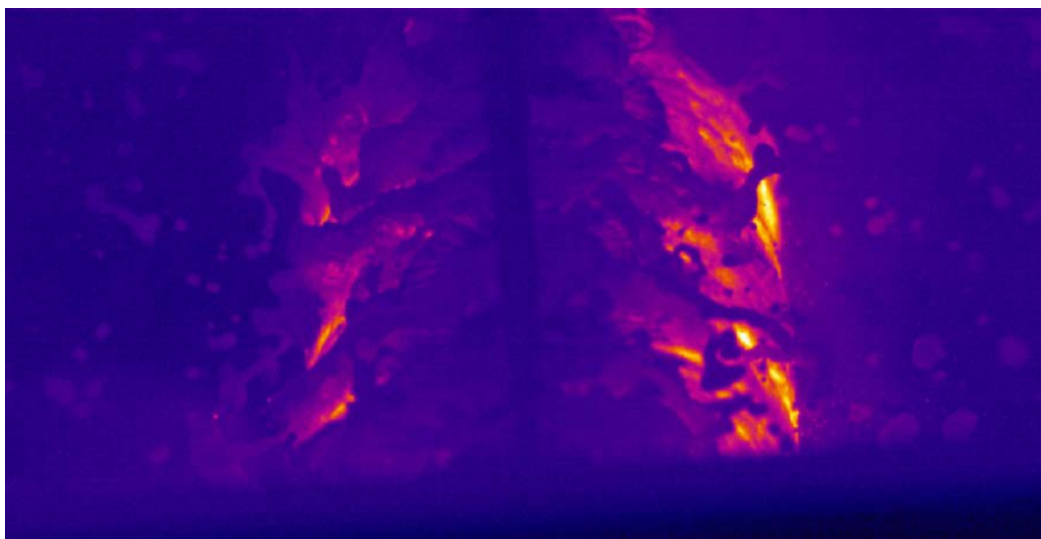


Kylning av rör med IJ [1]

Test rig för snabbkylning av olika stålrörsprodukter

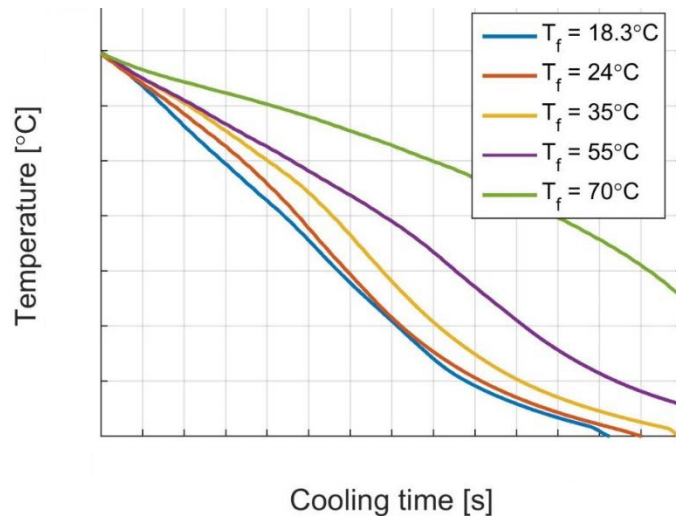


Visualisering



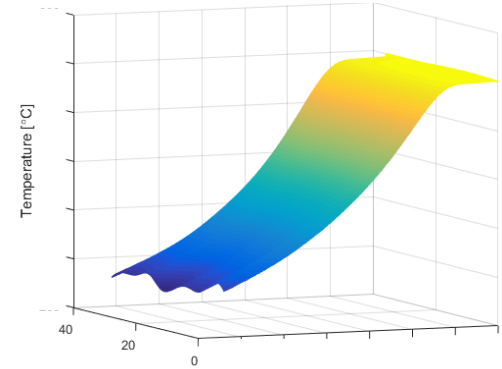
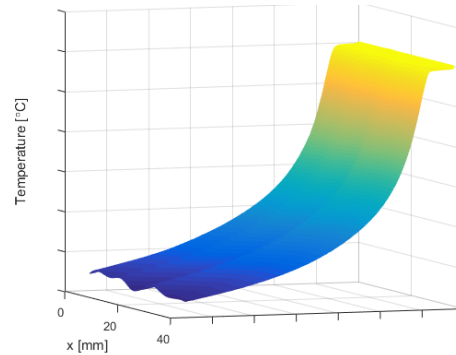
Experimentella försök

- Parameterstudie
 - Initial yttemperatur, $T_{s,i}$
 - Varvtal, ω
 - Reynoldstal, Re
 - Strålsdiameter, d
 - Vattnets temperatur, T_w

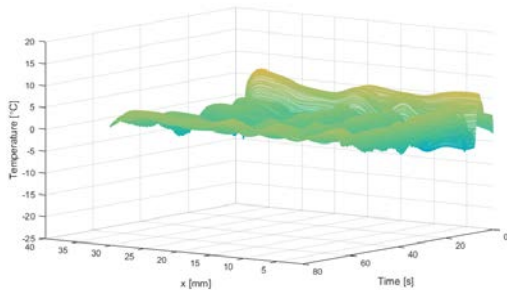


Experimentella försök

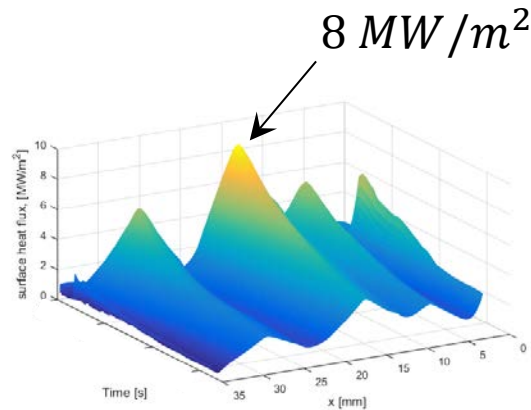
- Kylning av rör
- Uppmäta temperaturer i 2 djup:



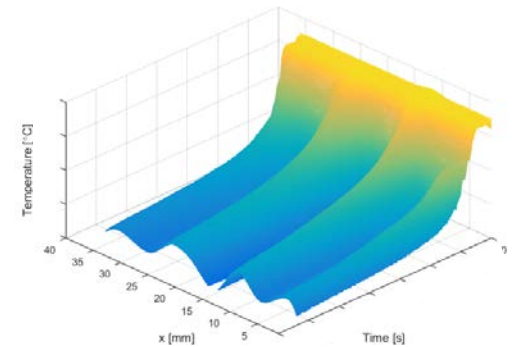
- Inverse lösning: prediktera yttemperaturen och kyleffekten



Fel beräkning av yttemperaturen (°C)



Predikterat värmeflöde (MW/m²)



Predikterad yttemperatur (°C)

Uppnådda resultat och fortsatt arbete

- Det finns nu en välutrustad testrigg som möjliggör att undersöka effekten av olika impinging jet konfigurationer vid kylning av varma kroppar.
- Vi har också utvecklat en egen numerisk kod för att kunna utifrån temperaturmätningar i en varm kropp uppskatta yttemperaturen och kylningseffekten.
- De hittills genomförda mätningarna på två rördimensioner har visat följande resultat:
 - För klenare rördimensioner har målen för kylhastighet uppnåtts och tester visar att hårdheten ligger inom det önskade intervallet i alla delar av röret.
 - För grova rör visar hårdhetstester höga värden i rörets yttre delar och därefter en kraftigt minskad hårdhet.
 - För närvarande pågår tester med ett mellangrovt rör.
- Det är också värt att nämna att de uppnådda kyleffekterna är ganska unika i storlek så vitt vi vet.
- Pågår arbete med att undersöka möjligheten att bygga en pilotanläggning på Ovako i Hofors för att genomföra tester under verkliga produktionsförhållanden.

JERNKONTORET

DEN SVENSKA STÅLINDUSTRINS
BRANSCHORGANISATION

Union Electric Åkers
Forged and Cast Rolls



Energioptimerad kylprocess med fokus på kvalitet

Projektledare: Bahram Moshfegh
bahram.moshfegh@liu.se

Energioptimerad kylprocess med fokus på kvalitet

Syftet är att:

- återvinna restvärme vid kylning av vals
- finna optimal nytta för restvärmern
- skräddarsy kylförloppet för att nå optimala materialegenskaper och restspänningar
- att förkorta processtiden för att sänka kostnader
- frigöra produktionskapacitet



Valsar

Medverkande

- Bahram Moshfegh, professor i energisystem
- Klas Svensson, tek. dr. i energisystem
- Arman Ameen, projektanställd
- Mathias Cehlin, tek. dr. värmeöverföring
- Ulf Larsson, tek. lic. energiteknik
- Ulf Holmberg, Clean production center (CPC)
- Patrik Olsson, CPC/Triple Steelix
- Sven Haglund, Swerea Kimab

Studie tillämpning av Impinging Jet (IJ) för kylning av valsar

- Kartläggning av tekniska ingångsparametrar mha experimentella försök under kylförloppet (valsens yttemperatur, luftflödet, dysornas hastighetsprofiler)
- Materialdata och aktuell restspänningsbild tas fram
- Datorsimuleringar av kylförloppet med IJ och validering mot experimentella mätningar
- Parameterstudie

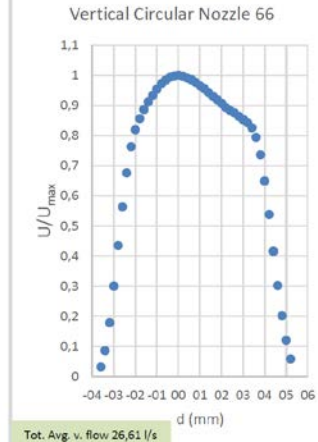
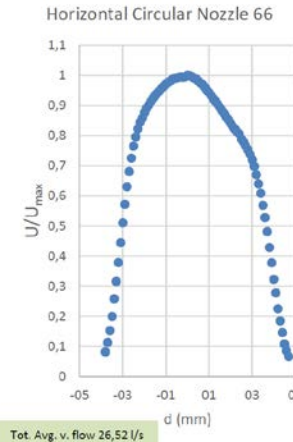
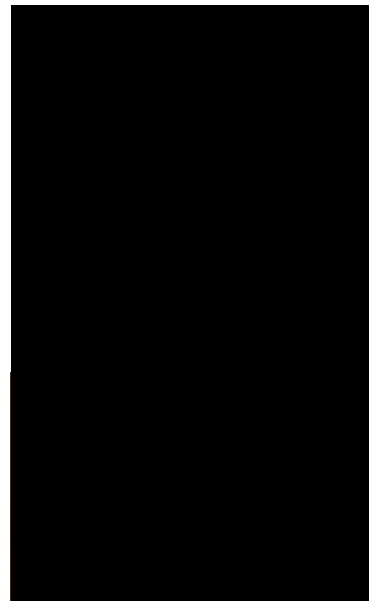
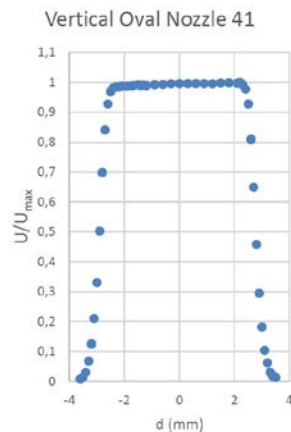
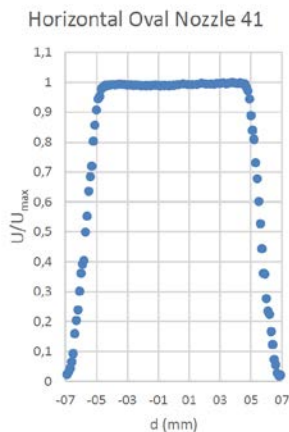
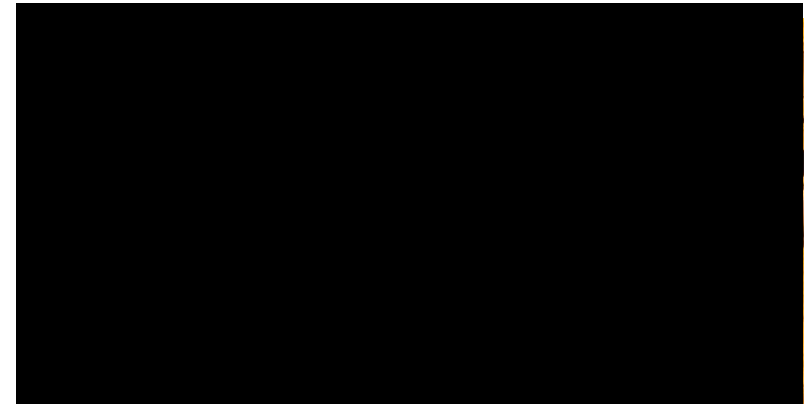
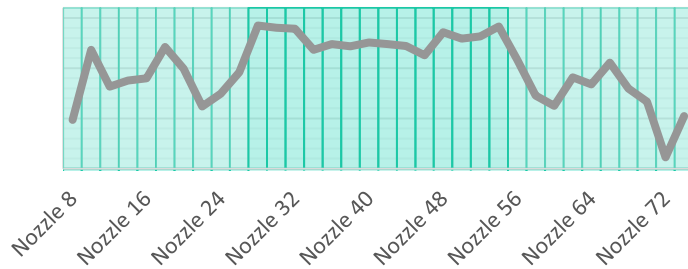


Valsen

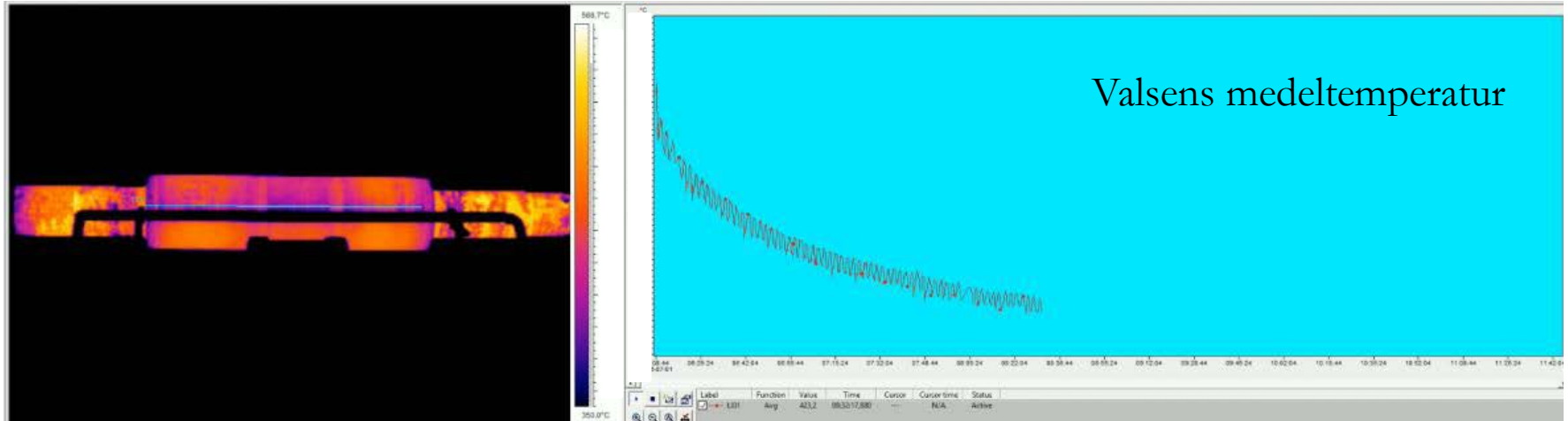
Hastighetsmätningar på Åkers

Grafen visar hastigheten 15 cm från dysorna. De ovala dysorna uppnår en högre hastighet än de cirkulära. Hastighetsprofilerna är någorlunda osymmetriska.

Nozzle Velocity



Temperaturmätningar med värmekamera

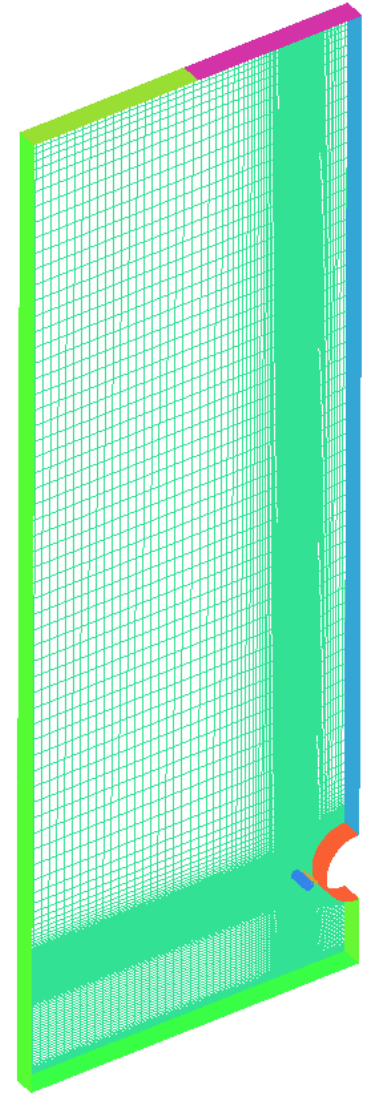
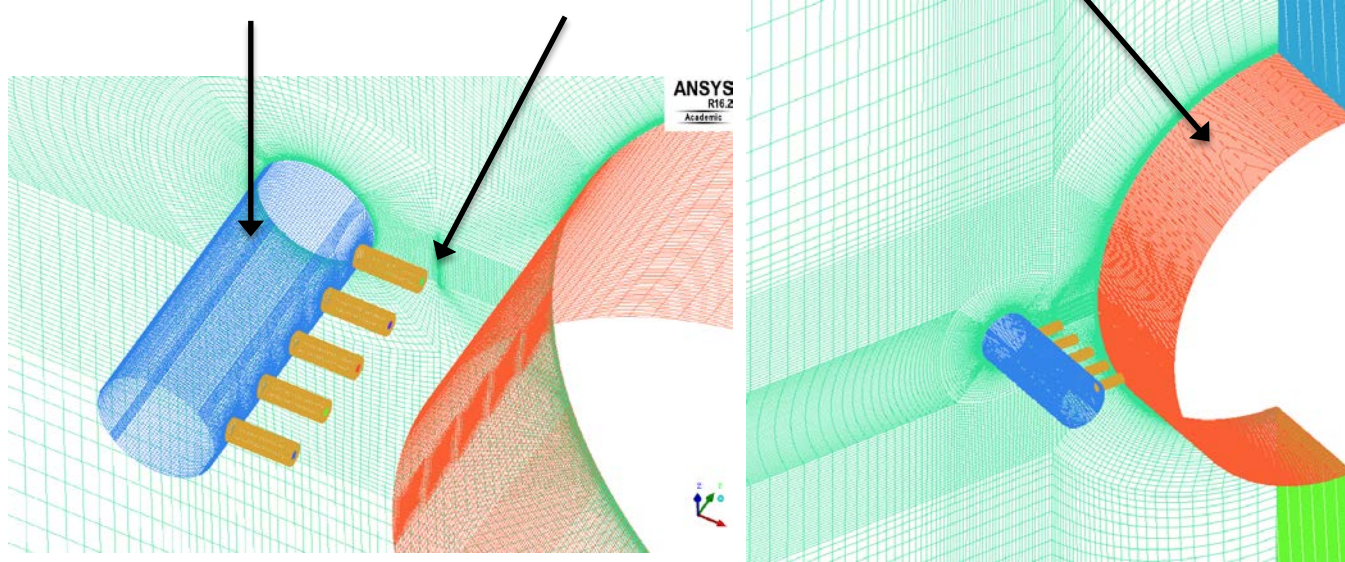


CFD-modell över sektion av vals: översikt

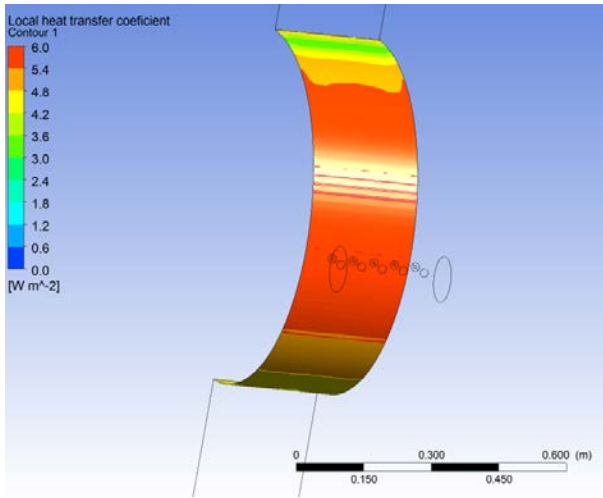
Urtag för
anslutande rör

Dysor med inlopp
i central del

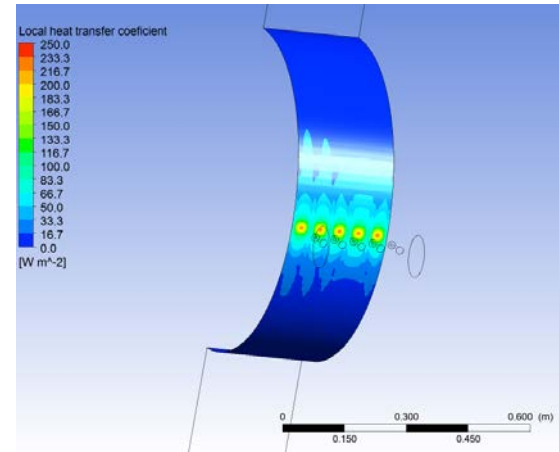
Valsyta



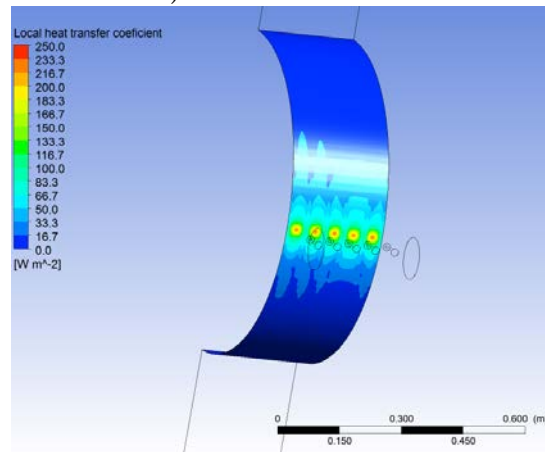
Värmeövergångstal (naturlig konvektion) utan jetstrålar



Värmeövergångstal med runda jetstrålar



Värmeövergångstal med runda jetstrålar



Fortsatt arbete

- Temperaturmätningar i samband med naturlig avkylning och med IJ
- Beräkning av naturligt konvektion och strålning
- Beräkning av kyleffekten på valsen
- CFD modellering av hela valsen i omgivande miljö
- Solidsimulering av vals för simulering av avkylning
- Förslag på förbättringar av kyleffekten

BIDRAG TILL PROGRAMMETS MÅL

- Sveriges stålproduktion ca 5 Mton/år
- Energiförlusterna ca 600 GWh värme/år
- Potentialen är flera gånger större om restvärme från mellanprodukter räknas in
- Stålproduktionen ca 300 gånger större globalt
- Restvärmen används i egna interna processer
- Energisamarbete med externa aktörer
- Energibesparing och ökad produktion
- Bättre produkter och lägre kostnader
- En industrigrupp skulle kunna formeras för exploatering av tekniken
- Tillämpningar inom andra industriella områden

Höganäs 

OVAKO

SSAB

JERNKONTORET

DEN SVENSKA STÅLINDUSTRINS
BRANSCHORGANISATION

Union Electric Åkers
Forged and Cast Rolls



Linköpings universitet
TEKNISKA HÖGSKOLAN


HÖGSKOLAN
I GÄVLE