

# Temperaturmåling i jernstøberier: nuværende processer og nyeste teknologiske udvikling

Af Rudi Bittniok – Foseco International

## Indledning

I jernstøberier måles temperaturen af smeltet jern løbende, da den er en af de vigtigste fysiske procesparametre. Nøjagtigheden, reproducerbarhed og pålidelighed af disse temperaturmålinger har stor indflydelse på kvaliteten af det færdige støbegods samt støberiets produktivitet.

Denne artikel vil give et overblik over de temperaturmålesystemer, der allerede anvendes i de fleste støberier, samt de nye tendenser og udviklinger indenfor temperaturmåling, primært med henblik på de støberier, der har masseproduktion, og hvor der anvendes automatisk eller semi-automatisk støbning med støbeautomater eller tundish skeer.

## Dyppepyrometre

I håndformerier udføres temperaturmåling stort set udelukkende ved hjælp af en håndholdt dyppepyrometer, som består af en lanse, hvorpå der sættes et paphylster, der indeholder et termoelement. Den målte temperatur aflæses på et display, der kan være monteret på lansens eller væggen.

Paphylstret kan normalt kun bruges til en enkel temperaturmåling, dog findes også paphylstre, der kan anvendes flere gange.

Måling med dyppepyrometre benyttes til måling af jernets temperatur under smeltning, varmholdning, transport og støbning.

Anvendelsen af dyppepyrometre er ikke begrænset til håndformerier; de bruges i alle slags jernstøberier, fra små til masseproducerende støberier.

Dyppepyrometre er lette at håndtere, der er ingen behov for specialudstyr, og derfor er investeringsomkostningerne ganske lave.

I fremtiden vil vi fortsat se anvendelser for dyppepyrometre, især på chargeringsplatforme, hvor kontinuerlige eller optiske systemer kan være vanskelige at installere.

Der er dog også nogle ulemper med at bruge dyppepyrometre, da de medfører en stor mængde affald i form af brugte paphylstre. Desuden er målingen ikke kontinuerlig.

Desuden findes et sundheds- og sikkerhedsmoment, fordi målingen udføres af en operatør, der kan blive udsat for jernsprøjt og røg- og lugtgener fra af-



Fig. 1: Foseco ECIL termoelementer monteret på paphylstre

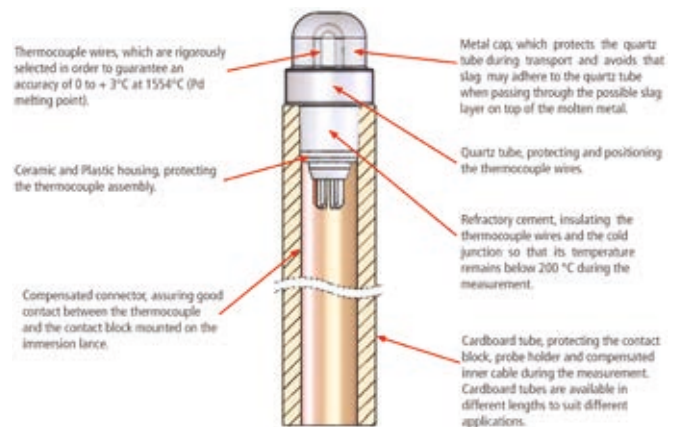


Fig. 2: Snit gennem paphylster med termoelement

## Duratip Probe

- Duratip Sensors were developed for applications that require medium mechanical demand, with improved operator safety, due to the non-occurrence of splashes
- It lasts around 15 measurements for Iron.
- It lasts around 10 measurements for Steel.

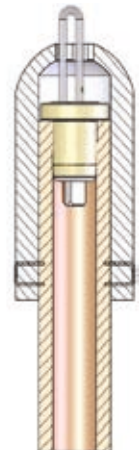


Fig. 3: Termoelement til min. 15 temperaturmålinger af jern

brændte paphylstre.

Derudover indebærer den manuelle håndtering, at temperaturerne ofte registreres på forskellige steder og dybder i det flydende jern. Dette gør det umuligt at registrere og bedømme temperaturdata på fornuftig vis.

## Kontinuerlig dyppemåling

ACCUMETRIX™ temperaturmålesystemet er en kontinuerlig dyppemåling med en målesonde tæt på bundstopperen i renden af støbeautomaten eller i uopvarmede tundishbeholdere. Ved anvendelse af ACCUMETRIX™ opnås sikre arbejdsvilkår, idet målesonden er placeret i et ildfast beskyttelsesrør, der igen er placeret sikkerhedsmæssigt nemt tilgængelig og kun kræver personalehåndtering, når det skal udskiftes ved slutningen af et arbejds skift.

Da der ikke er brug for engangspaphylstre formindskes affaldshåndteringen i støberiet betragteligt.

Måleprincippet er baseret på den elektromotoriske kraft, der dannes, når en forbindelse af to uens ledende materialer opvarmes. Dette er kendt som Seebeck effekten, hvis størrelse er temperaturspecifik.

De mest anvendte termoelementer til temperaturmåling i området 1300 ° C - 1500 ° C, er baseret på platin-rhodium (Pt / Rh) legeringer, hvoraf der er tre internationalt anerkendte versioner (R, S og B).



Fig. 4: Accumetrix™ udstyr

I de sidste 2 år har der været anvendt en specialudviklet software til at overvåge måleresultaterne og gemme data i en SQL-database.

ACCUMETRIX™ temperaturmålesystemet omfatter:

- Et langtidsholdbart termoelement af type B
- Et VISO ildfast beskyttelsesrør
- Et støttestativ til VISO røret
- Kabler og stik
- En signalomformer
- Software til at gemme, fortolke og rapportere måleresultaterne

Det negative resultat af visse investeringsomkostninger i forhold til engangsmålehylstre opvejes ved at få en ægte kontinuerlig temperaturmålemetode.

For at sikre de mest optimale måleresultater er det nødvendigt at jernbadet dybde er mindst ca. 150 mm. Nogle gange er det ikke muligt at opretholde dette - især i støbeautomater, hvor jernbadets niveau ændrer sig af forskellige årsager under processen.



Fig. 5: Niveauet i jernbadet er vigtigt

Indtil mindstedybden er opnået, kan responstiden være ca. 1-2 minutter, men i det mindste kan man iagttage tendensen i smeltens temperaturprofil.



Fig. 6: Temperaturtrend

Sammenligningen mellem ACCUMETRIX™ og måling med en dyppepyrometer viser, at kontinuerlige målesystemer har en større mulighed for at opdage for varme eller for kolde områder i smeltebadet. Imidlertid er dyppepyrometre fortsat nyttige, når måleresultater skal sammenlignes eller til kalibreringsformål.

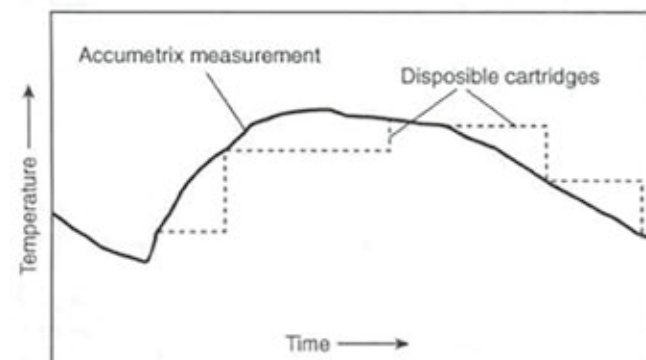


Fig. 7: Sammenligning af måleresultater Accumetrix™ vs dyppepyrometre

ACCUMETRIX™ systemet er en pålidelig temperaturmålemetode for støberier, der støber SG-jern.

Især i uopvarmede tundishskeer virker system godt, og flere typer termoelementer og beskyttelses rør findes tilgængeligt for at kunne sikre den optimale løsning til temperaturmåling i ethvert støberi.

## Case Study - MAT Jernstøberi, Tyskland

MAT Jernstøberi i Ueckermünde i Tyskland havde i forbindelse med stigende anvendelse af dyppepyrometre et problem med affaldshåndtering af det øgede antal brugte paphylstre, sikkerhedsproblemer på grund af personskader på grund af jernsprøjt samt problemer med et kunne dokumentere måleresultaterne, hvilket er et stigende krav fra automobilindustrien.

Kravene til MAT var at forbedre arbejdsmiljøet, afskaffelse af engangspaphylstre samt levere en kontinuerlig temperaturmåling.

Foseco tilbød MAT deres ACCUMETRIX™ system, der består af et langtidsholdbart termoelement, et varmemodstandsdygtigt kabel og et VISO beskyttelsesrør til termoelementet.

Med Foseco ACCUMETRIX™ systemet er jerntemperaturen på støbestrækningen nu under kontrol. Systemet formindsker risikoen for jernsprøjt, og anvendelsen af en database til registrering af støbetemperatur bidrager til at reducere temperaturrelaterede støbefejl.



Fig. 8: Accumetrix™ temperaturmåling hos MAT Jernstøberi, Tyskland

Desuden kunne MAT opnå nogle miljømæssige fordele ved et mindre energiforbruget og formindsket anvendelse af paphylstre.

## Optiske målesystemer

En anden mulighed for at måle den kontinuerlige jerntemperaturen er brugen af et optisk pyrometer. Systemet hedder TEMPSTREAM, hvor temperaturmålingen udføres direkte i støbestrømmen.

Systemet måler energivoluminet fra 2 steder i jernstrømmen.

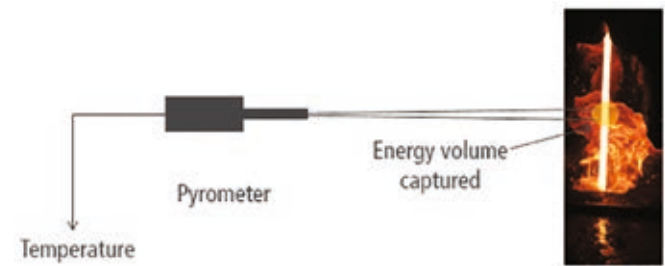


Fig. 9: Princippet af optisk temperaturmåling

Det bør iagttages, at nøjagtigheden af et optisk pyrometeret altid er  $1^\circ\text{C}$ , men det betyder ikke, at den målte temperatur også er  $\pm 1^\circ$  fordi visse påvirkninger forstyrrer måleprocessen (alle typer støv, der skygger for målingerne, støv på målelinsen, dårlig fokus, slagger på dysen, dårlig jernstrøm etc.). Det betyder, at måleværdierne er relative og periodisk skal sammenlignes med målinger udført med et dyppepyrometer. Det optiske system skal også kalibreres jævnligt.

Et billede taget med et termisk kamera demonstrerer en yderligere vanskelighed ved optisk måling; temperaturen er aldrig homogen.

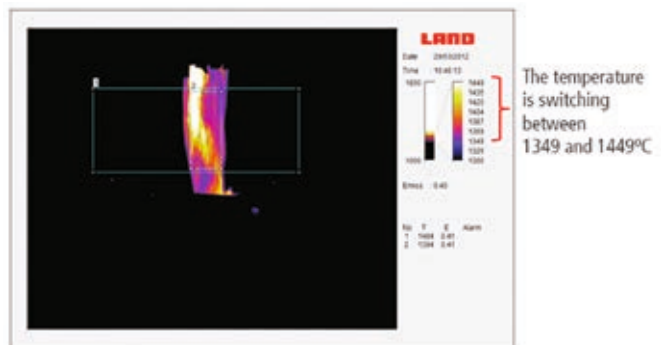


Fig. 10: Billede taget med termisk kamera

Derfor kan den målte værdi variere med op til  $60^\circ\text{C}$ ! Og derfor er der et behov for en processoftware til at kompensere for denne variation.

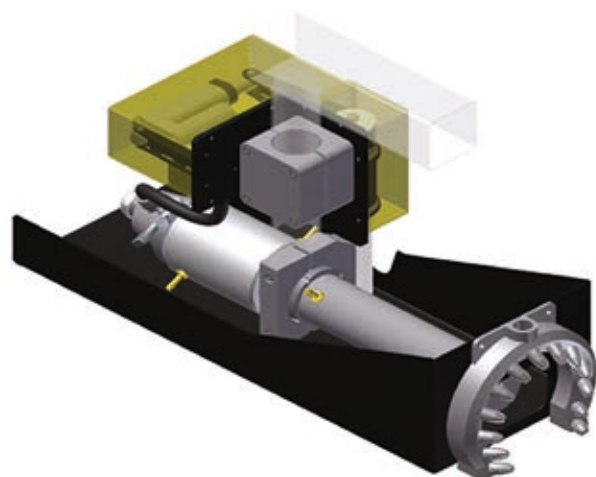


Fig. 11: Indbygget optisk kamera

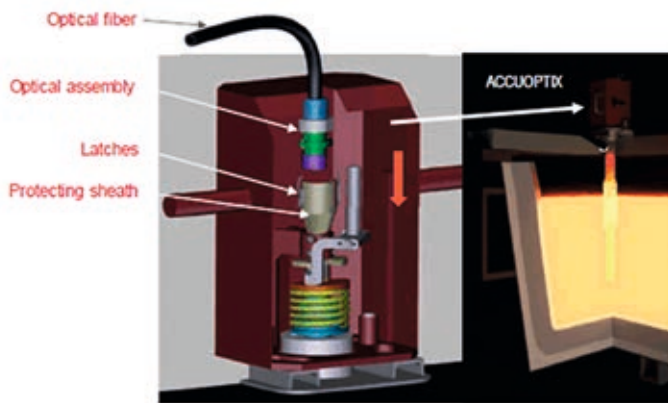


Fig. 12: Accuoptix™ temperaturmåling

TEMPSTREAM software kan lagre 10 målinger per sekund.

For eksempel: Med en støbetid på 10 sekunder kan der lagres 100 måleværdier, der bliver analyseret til den mest ideelle værdi.

Til temperaturmåling af gråjernslegeringer er TEMPSTREAM systemet en pålidelig løsning.

## Nye trends - ACCUOPTIX™

ACCUOPTIX™ er et system, der ligeledes anvender kontinuerlig optisk temperaturmåling.

På nuværende tidspunkt har systemet kun været anvendt i kontinuerligt producerende stålværker, men en version til afprøvning i jernstøberier vil være tilgængelig i den nærmeste fremtid.

ACCUOPTIX™ systemet integrerer en langtidsholdbar optisk sensor med en avanceret elektronisk interface, som måler temperaturen i et ildfast beskyttelsesrør for på den måde at undgå de ovenfor beskrevne ulemper ved optisk måling direkte i jernbadet.

Den tilhørende ildfaste rør muliggør er udformet således, at der opnås optimal optisk måling og nem håndtering. Den optiske sensor er placeret udenfor beskyttelsesrøret og bliver derfor ikke skadet, når det indtræder brud på det ildfaste beskyttelsesrør.

Måleprincippet af ACCUOPTIX™ infrarød sensor er baseret på teorien om det absolutte sorte legeme.

Et absolutt sort legeme er et idealiseret legeme, der absorberer al den modtagne elektromagnetiske stråling uden at sprede eller reflektere det. Man kan definere den sorte legeme som et legeme, der absorberer og udstråler al elektromagnetisk energi samtidigt.

For at forstå naturen af elektromagnetisk energi kan man forestille sig et ideelt mørkt rum, hvori der placeres en stång, der skal opvarmes. Under opvarmningen bliver stangen først rød og med stigende

temperatur hvid. Samtidigt udsender jernstangen elektromagnetiske stråling med en bølgelængde, der svarer til stangens farven. Disse stråler er efter Plancks lov proportionale med temperaturen i jernstangen.

Det samme princip anvendes ved kontinuerlig infrarød temperaturmåling. Det ildfaste rør betragtes som et sort legeme. Ved nedsænkning i det flydende metal bliver rørets vægge opvarmet og udsender elektromagnetisk stråling. En optisk linse vil opfange disse stråler, der bliver absorberet af en fotodiode, der omsætter strålens energi til strøm i et eksternt kredsløb.

Værdien af fotodiodens strøm i kredsløbet svarer således direkte til den modtagne elektromagnetiske stråling og er proportional med temperaturen af det flydende jern.

Et ACCUOPTIX™ optisk system er forsynet med en præcisionskalibreringsenhed. Det tillader direkte på stedet en hurtig og præcis fuldautomatisk kalibrering af sensoren.

Den systematiske måleusikkerhed af ACCUOPTIX™ systemet svarer til målefejlen på kalibreringsudstyret og dets instrumentering. Fejlen i den optiske elektronik medtages ikke i de systematiske målefejl. Disse målefejl findes, men de bliver fuldstændig fjernet under kalibreringen. Systemet garanterer en systematisk måleusikkerhed på +/- 2,2 ° C. Instrumenteringen består af en signalomformer med en systematisk måleusikkerhed på +/- 1,5 ° C. For ACCUOPTIX™ optisk baseret kontinuerlig temperaturmåling beregnes en systematisk måleusikkerhed på +/- 2,7 ° C.

## Sammenfatning

I jernstøberier anvendes forskellige måder til at måle jernets temperatur, som er en vigtig faktor til at opnå kvalitetsstøbegods.

Denne artikel har givet et overblik over de fire målesystemer, der anvendes, og alle 4 systemer kan leveres af FOSECO.

På grund af kunders krav og den tiltagende krav om forbedring af personalets sundhed og sikkerhed skal et støberi før eller senere gå over til kontinuerlig temperaturmåling.

Derfor bliver måling med en dyppepyrometerefterhånden højst sandsynligt erstattet af kontinuerlige temperaturmålesystemer såsom ACCUMETRIX™ eller TEMPSTREAM.

Yderligere nye udviklinger af det patenterede ACCUOPTIX™ system kunne også være interessant for masseproducerende jernstøberier.

Oversat for STØBERIET af Herbert Wolthoorn.