

---

---

Rapport SGC 071

**UTVÄRDERING AV NATURGASDRIVNA  
IR-BOOSTRAR I UGN FÖR PULVER-  
LACKERADE PRODUKTER**

Ole H. Madsen  
Asger N. Myken

Dansk Gasteknisk Center a/s

Dansk originaltitel  
Naturgasfyret IR-booster

(Rapporten är skriven på danska med svensk sammanfattning)

November 1995



---

---

Rapport SGC 071  
ISSN 1102-7371  
ISRN SGC-R--71--SE

Rapport SGC 071

**UTVÄRDERING AV NATURGASDRIVNA  
IR-BOOSTRAR I UGN FÖR PULVER-  
LACKERADE PRODUKTER**

Ole H. Madsen  
Asger N. Myken

Dansk Gasteknisk Center a/s

Dansk originaltitel  
Naturgasfyret IR-booster

(Rapporten är skriven på danska med svensk sammanfattning)

November 1995

## **SGC:s FÖRORD**

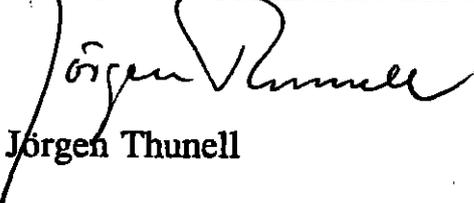
FUD-projekt inom Svenskt Gastekniskt Center AB avrapporteras normalt i rapporter som är fritt tillgängliga för envar intresserad.

SGC svarar för utgivningen av rapporterna medan uppdragstagarna för respektive projekt eller rapportförfattarna svarar för rapporternas innehåll. Den som utnyttjar eventuella beskrivningar, resultat e dyl i rapporterna gör detta helt på eget ansvar. Delar av rapport får återges med angivande av källan.

En förteckning över hittills utgivna SGC-rapporter finns i slutet på denna rapport.

Svenskt Gastekniskt Center AB (SGC) är ett samarbetsorgan för företag verksamma inom energigasområdet. Dess främsta uppgift är att samordna och effektivisera intressenternas insatser inom områdena forskning, utveckling och demonstration (FUD). SGC har följande delägare: Svenska Gasföreningen, Sydgas AB, Sydkraft AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energi AB och Helsingborg Energi AB.

**SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB**



Jörgen Thunell

## 0 Svensk sammanfattning

Traditionell naturgasanvändning inom industrisektorn i Danmark koncentreras i huvudsak på värme- eller ånggenerering. En introduktion av nya specialiserade naturgasteknologier där gasen används direkt i processen medför ofta att produktionskapaciteten och produktkvaliteten kan förbättras i existerande anläggningar.

Dansk Gasteknisk Center startade därför under våren 1994 ett demonstrationsprojekt med naturgasdrivna IR-paneler i torkugn för pulverlackerade produkter. Projektets mål var att främja och demonstrera användningen av IR-paneler i kombination med energibesparing, kapacitetsökning och kvalitetsförbättring på nya respektive existerande torkugnar.

Demonstrationsprojektet genomfördes på SCAN COAT i Tåstrup, som sedan tidigare använde naturgas för bl a konvektionsdelen i torkugnarna. I övrigt är projektet genomfört i samarbete med Ideal-Line a/s, DTI, HNG samt Svenskt Gastekniskt Center.

På marknaden finns i dag naturgasdrivna IR-system för industriapplikationer, vilka är ekonomiskt konkurrenskraftiga och som kan leva upp till samma tekniska krav som elektriska IR-installationer. Utvecklingen av skräddarsydda gasdrivna IR-paneler till individuella industriprocesser kommer efter hand att ytterligare förbättra energiutbytet och strålningsverkningsgraden som i dag är likvärdig de elektriska panelerna kommer att höjas med kanske 20 %.

SCAN COAT existerande anläggning bestod av en naturgaseldad härdugn av konvektionstyp. Genom att placera en zon med IR-paneler före härdugnen är det möjligt att tillföra stora energimängder och därmed erhålla en snabb uppvärmning av enheterna. Placeringen och uppvärmningsförloppet före härdugnen förklarar namnet IR-booster.

För demonstrationsprojektet vid SCAN COAT uppställdes följande kriterier:

- Produktionshastigheten i den existerande anläggningen skulle öka med upp till 25 %, beroende på typen av ämne.
- Ytfinishen skulle vara likvärdig eller bättre.
- Energibesparingen skulle uppgå till 5 - 10 % per producerad enhet.

Resultatet från projektet visar:

- att produktionskapaciteten varit möjlig att öka med ca 31 % för typiska produkter
- att genomförda analyser och kvalitetsbestämningar av ytkvalitet och ytfinish inte visar någon markant effekt vid användningen av IR-boostern. Undersökningarna visar också att ytterligare optimering av driftparametrarna krävs för att höja produktkvaliteten utöver att härdningen av de lackerade enheterna förbättrats
- att energibesparingen per producerad enhet är avhängigt produktionsökningen. En analys av hela ugnens energiförbrukning har gjort det möjligt att ställa upp detta samband. Vid tillfällena med 31 % kapacitetsökning erhålls en total energibesparing på 20 % per producerad enhet. På grundval av många dagliga produktionsstopp, korta serier och varierande produktionsförhållanden har det inte varit möjligt att genomföra jämförande energiförbrukningsmätningar.

# Naturgasfyret IR-booster

Projektrapport  
November 1995

# Naturgasfyret IR-booster

Ole H. Madsen  
Asger N. Myken

Dansk Gasteknisk Center a/s  
Hørsholm 1995

**INDHOLDSFORTEGNELSE****SIDE**

1	Indledning . . . . .	2
2	Sammenfatning og konklusion . . . . .	4
3	Anlægsbeskrivelse . . . . .	6
3.1	Proces- og anlægsbeskrivelse . . . . .	8
3.2	Gasfyrede IR-systemer . . . . .	9
3.3	Indbygning i konvektionsovn hos SCAN COAT . . . . .	15
3.4	Styrings- og sikkerhedssystem . . . . .	17
4	Driftsstrategi for IR-boosteren . . . . .	20
4.1	Praktiske indkøringsproblemer . . . . .	20
4.2	Beregninger af emnernes temperaturforløb . . . . .	20
4.3	Sammenligning af målte og beregnede data . . . . .	21
4.4	Data til processtyring af IR-boosteren . . . . .	24
5	Forsøg og resultater . . . . .	26
5.1	Opvarmningsforløb af emner . . . . .	26
5.2	Produktionshastighed . . . . .	31
5.3	Energiforbrug . . . . .	34
5.4	Overfladekvalitet . . . . .	37
6	Investering og driftsøkonomi . . . . .	39
6.1	Gasfyret IR-system . . . . .	39
6.2	Elektrisk IR-system . . . . .	39
6.3	Sammenligning, gas vs. el . . . . .	39
	Referencer . . . . .	41

**Bilag**

1. Flow sheet for IR-booster
2. Kvalitetsvurdering/Dansk Teknologisk Institut

## 1 Indledning

Anvendelse af naturgas i industrien er efterhånden udbredt til traditionelle opvarmningsformål. En introduktion af nye specialiserede naturgasteknologier, hvor gassen bruges direkte i produktion, vil kunne give disse virksomheder nye muligheder, herunder kapacitetsforøgelse samt procesforbedring på eksisterende anlæg.

Gasselskabernes Fagudvalg 2 og DGC iværksatte et demonstrationsprojekt med gasfyrede IR-paneler i foråret 1994. Projektets formål er at fremme samt demonstrere anvendelsen af naturgasdrevne IR-strålepaneler i forbindelse med energibesparelse/kapacitetsforøgelse og forbedring af produktkvalitet på nye samt eksisterende maletøringsanlæg.

Demonstrationsprojektet er gennemført på virksomheden SCAN COAT, Tåstrup, som i forvejen anvendte naturgas i sin produktion. I øvrigt er projektet gennemført i samarbejde med ideal-line a/s, DTI (overfladeteknik), HNG samt Svenskt Gasteknisk Center (SGC).

Målgruppen er i første omgang lakeringsindustrien, men ved en succesfuld gennemførelse kan beslægtede områder også drage nytte af projektet. De mest velegnede systemer er opvarmning af endeløse baner (papir, tapet, tæpper, plastik, tekstil), samt tunnelovne til overfladebehandling (maling, lim, emalje, coatings).

Endvidere vil følgende generelle resultater kunne opnås:

- Et alternativt konkurrencedygtigt system til eksisterende elektriske IR-anlæg.
- Fremtidige tørreovne kan bygges mindre ved at anvende et gasfyret IR-system i kombination med et traditionelt varmluftssystem.

- 
- Et demonstrationsanlæg, som muliggør en udbredelse af kendskabet til IR-strålesystemer, er en metode til at forøge produktionskapaciteten på eksisterende processer i og uden for lakeringsbranchen.

## 2 Sammenfatning og konklusion

Det er i dag muligt at få gasfyrede IR-systemer til industriformål, som dels er økonomisk konkurrencedygtige og som dels kan leve op til de samme tekniske krav som elektriske IR-installationer. I fremtiden vil der blive udviklet skræddersyede gasfyrede IR-paneler til de individuelle industriprocesser, som forventes at have op til 20% højere strålingsvirkningsgrad.

**Succeskriterier** Følgende primære mål for anlægget hos SCAN COAT blev opstillet:

- En forøgelse af produktionshastigheden gennem det eksisterende tørreanlæg på op til 25%, afhængig af emnetype.
- Den samme eller forbedret overfladekvalitet.
- En energibesparelse på ca. 5-10% pr. produceret enhed.

**Resultater** Resultaterne fra projektet kan summeres som følgende:

Målinger og efterfølgende analyser viser, at det er muligt at øge produktionshastigheden med ca. 31% for typiske produkter.

Der er foretaget en sammenlignende kvalitetsvurdering for at dokumentere IR-systemets effekt på emnernes overfladekvalitet/finish. Analyserne viste ingen markant effekt på emnernes ruhed ved at anvende IR-boosteren. Hærdningen blev forbedret ved at benytte IR-boosteren. På baggrund af undersøgelserne konkluderes det, at driftparametrene ikke har været optimeret i forhold til de anvendte forsøgspalder. Det kan derfor ikke på grundlag af de udførte forsøg fastslås, i hvilken udstrækning anvendelsen af en IR-booster vil kunne øge produktkvaliteten.

Energibesparelsen pr. produceret enhed er afhængig af produktionsforøgelsen. En analyse af hele ovnens energiforbrug har gjort det muligt at opstille denne sammenhæng. I tilfælde med 31% produktionsforøgelse fås en energibesparelse på 20% pr. produceret enhed.

På grund af de mange daglige driftsstop og varierende produktionsforhold har det ikke været muligt at gennemføre energiforbrugsmålinger.

### 3 Anlægsbeskrivelse

Varmeoverføring med infrarød stråling kan med fordel anvendes i en lang række industriprocesser, hvor man ønsker en hurtig opvarmning, veldefineret varmeflux og temperaturprofil under procesforløbet samt en kompakt konstruktion. I dag er teknologien mest anvendt inden for nogle få områder, hvor der har været tradition for at benytte denne teknik, fx tørring af papir og ved opvarmning af store industrilokaler.

I tabel 1 er der opstillet en oversigt for typiske anvendelsesområder, hvor der kan anvendes infrarød stråling fordelt på forskellige processer.

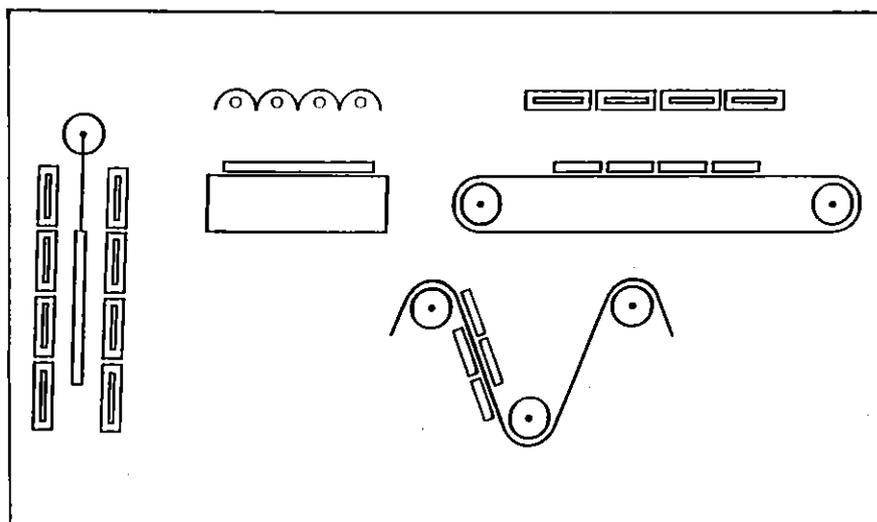
Forvarmning	Tørring	Hærdning	Generel opvarmning
Metal	Tekstiler	Emaljer	Overfladebehandling
Glas	Maling/lak	Vinyl	Kemisk procesindustri
Plastik	Papir/Tapet	Plastik	Varnebeh. af fødevarer
	Klæbemidler	Glas	Stegning af fødevarer
	Belægninger	Glasfiber	Udglødning af materialer
	Trykfarve	Lim	
	Træfinér		
	Bejdsset træ		
	Fødevarer		
	Tæpper		

Tabel 1. IR-processer.

#### Begrænsninger

Fælles for disse processer er, at de er begrænset til relativt lave temperaturer, 50°C til 400°C, hvilket er en af de vigtigste begrænsninger ved anvendelse af IR-paneler. Et andet forhold, som bør vurderes, er udformningen af det emne, som skal opvarmes. Infrarøde stråler emitteres fra varmekilden til varmemodtageren i rette linier. Det betyder, at kun de overflader, som bliver ramt af strålingen, vil blive opvarmet. Således vil et emne med en meget kompleks udformning være vanskelig at opvarme med infrarød stråling. Hvis emnet har en høj varmeledningsevne og ringe godstykkelse, vil ikke-bestrålede overflader dog blive opvarmet på grund af den indre varmeledning i emnet.

Der er mange fordele ved at bygge opvarmningssystemer, som er baseret på infrarød stråling. På grund af den effektive varmeoverføring er det muligt at konstruere kompakte og termisk lette ovnkonstruktioner, som er lette at integrere i nye eller eksisterende processer. I figur 1 er vist forskellige typiske arrangementer af IR-paneler i forhold til emnerne, som skal bestråles.



*Figur 1. Typiske IR-ovn arrangementer.*

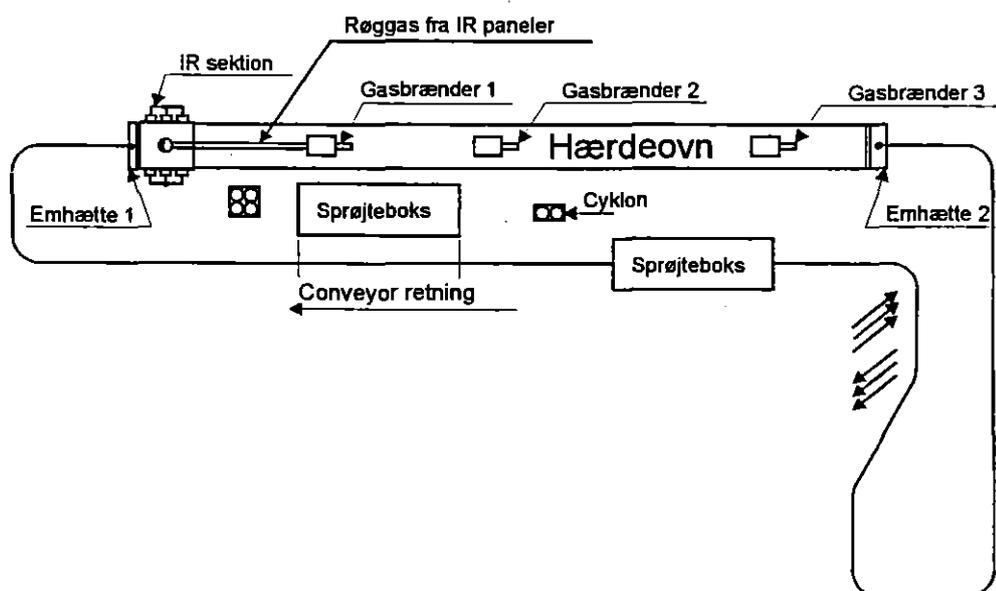
De mest udbredte systemer er opvarmning af endeløse baner (papir, tapet, tæpper, plastik, tekstil) samt tunnelovne til overfladebehandling (maling, lim, emalje, coatings). I sidstnævnte type er der monteret IR-paneler på væggene, og emner transporteres igennem ovnen på et conveyor system.

Den vigtigste begrænsning for IR-systemer er, at de ikke kan benyttes til meget komplekse emner. Den infrarøde stråling rammer kun de overflader, som er synlige fra IR-panelet. Områder, som er dækket af andre flader, opvarmes alene ved varmeledning i emnet.

### 3.1 Proces- og anlægsbeskrivelse

SCAN COAT er en moderne virksomhed, som fortrinsvis arbejder med pulverlakering. Maleprocessen starter med en forbehandling, hvor emnerne affedtes alkalisk samt jernfosfateres for at sikre lakken en bedre vedhæftning og modvirke korrosion. Derefter transporteres emnerne ind i en malekabine, hvor pulveret påføres ved hjælp af en elektrostatisk teknik. Emnerne føres ind i en tørre-/hærdeovn, hvor pulveret først flyder sammen og derefter hærder.

SCAN COAT råder over en gasfuret ovn, som er leveret af ideal-line a/s. I figur 2 er der vist grundplanen over maleanlægget hos SCAN COAT. Den eksisterende ovn er monteret med 3 stk MAXON OVEN-PAK gasbrændere med en maksimal mærkepladeydelse på 210 kW - i alt er brænderydelsen på ovnen 630 kW. Ifølge indreguleringsrapporterne er den indfyrede effekt til ovnen ca. 532 kW. Brænderne reguleres efter et set-punkt, hvor set-punktet bestemmer den ønskede hærdetemperatur - typisk 180°C til 200°C. Denne type regulering har den fordel, at det ikke er muligt at overhede emner, selvom der skulle opstå conveyor stop eller båndhastigheden reduceres kraftigt.



Figur 2. Grundplan over maleanlægget hos SCAN COAT.

**Pulverlakering** Ved pulverlakering er forløbet af flyde- og hærtningsprocesserne vigtige parametre for produktkvaliteten. I starten af tørreprocessen er det vigtigt, at emnerne hurtigt opvarmes til ca. 110°C, som typisk er flydegrænsen for malepulver. Når denne temperatur er opnået, vil pulveret smelte/flyde sammen til en glat homogen overflade, hvorefter hærdeprocessen forløber. Hvis opvarmningen er for langsom, vil hærdeprocessen starte, inden pulveret er fuldstændig flydt sammen, og resultatet vil være en meget ru overflade. Ved at etablere en zone med IR-paneler foran tørreovnen vil det være muligt at tilføre store energimængder til emnerne og dermed en hurtig opvarmning. Dermed kan flydeprocessen forløbe til ende, før hærdeprocessen starter, heraf navnet IR-booster. Resttørring og hærning foregår i den eksisterende ovn.

**IR-booster**

I det eksisterende anlæg vil emnerne passere igennem en luftsluse på vej ind i ovnen. Både i konvektionsovnen og i slusen vil der cirkulere store luftmængder med relativ høj hastighed, som vil kunne "blæse" noget af pulveret af emnerne. IR-panelerne overfører varmen ved termisk stråling, og der er således ingen luftbevægelse under flydeprocessen. Derved vil pulveret blive fikseret på emnerne, inden hærdeprocessen starter, og det skulle være muligt at opnå et bedre slutprodukt.

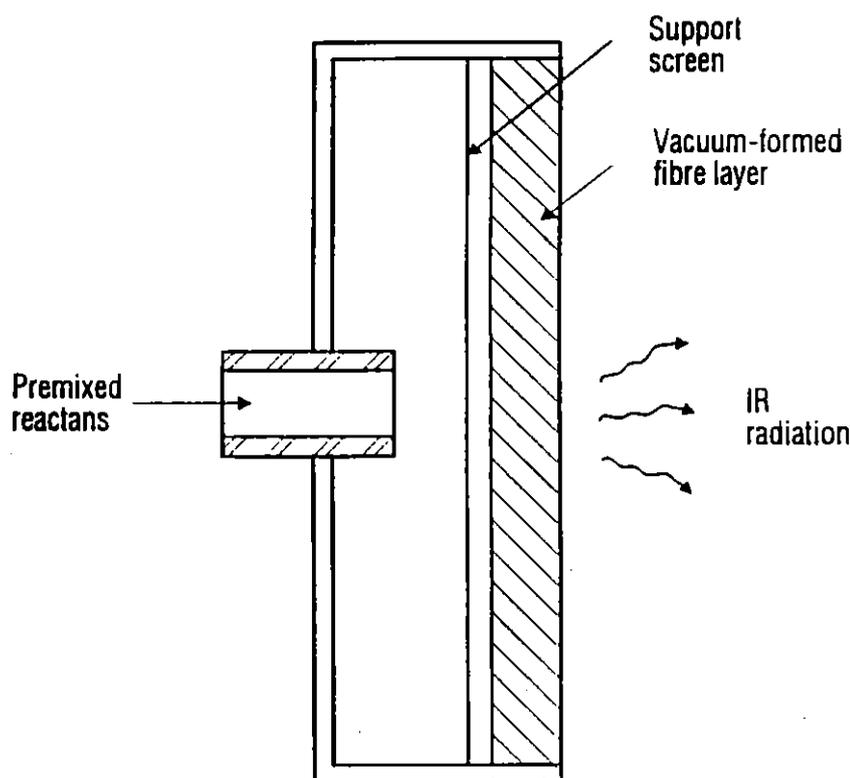
### 3.2 Gasfyrede IR-systemer

Elektriske IR-paneler har indtil nu været dominerende i de kendte anvendelsesområder. Dette skyldes, dels at de tidligere gasfyrede IR-paneler ikke var tilstrækkelig pålidelige, og dels at fabrikanterne af elektriske IR-paneler hævdede, at virkningsgraden på deres paneler var væsentligt højere, samt at de minimerede risikoen for brandfare.

**Overflade-  
forbrænding**

Inden for de sidste 5 til 7 år er der udviklet flere nye gasfyrede IR-paneler, der er baseret på overfladeforbrænding. Overfladeforbrænding er en fælles betegnelse for premixede brændere, hvor forbrændingszonen enten er stabiliseret i et tyndt fiberlag eller i en porøs skumplade. Ved fiberbrænderteknologi anvendes der både keramiske og metal-liske materialer, hvorimod de porøse skumplader fremstilles ude-

lukkende af højtemperatur keramik. Disse paneler er meget robuste og modstandsdygtige over for termiske og mekaniske påvirkninger. Endvidere er de konstrueret således, at der ikke forekommer tilbagebrænding (flashback) i brænderen, hvilket tidligere var et almindeligt problem.



Figur 3. Typisk IR-panel.

#### Termisk stråling

Brænderkonstruktionen kan have mange forskellige udformninger; på figur 3 er der vist et typisk IR-panel opbygget omkring en fiberbrænder. Som det er vist på figuren, sker en væsentlig del af varmeovergangen ved termisk stråling (IR) fremfor konvektion. Princippet i forbrændingsprocessen er følgende: en forblandet massestrøm af luft/gas tvinges igennem fibermaterialet. Et stykke inde i fibermaterialet vil gasblandingen opnå antændelsestemperaturen på grund af varme-transport imellem den "kolde" brændbare gas/luft blanding og de "varme" fibre. Varmetransporten sker hovedsagelig ved konvektiv varmeovergang, men også ved termisk stråling. Det konvektive varme-

overgangstal imellem gassen og de meget tynde fibre er meget stort. Efter antændelse af gassen er der en tynd forbrændingszone, hvor gas/luft-blandingens temperatur stiger på grund af reaktionsenergien, som bliver frigivet ved forbrændingsprocessen. Temperaturen i reaktionsprodukterne er betydeligt højere end temperaturen af fibre. Derfor er det nu fibre, der modtager varme fra røggassen, som derved bliver afkølet.

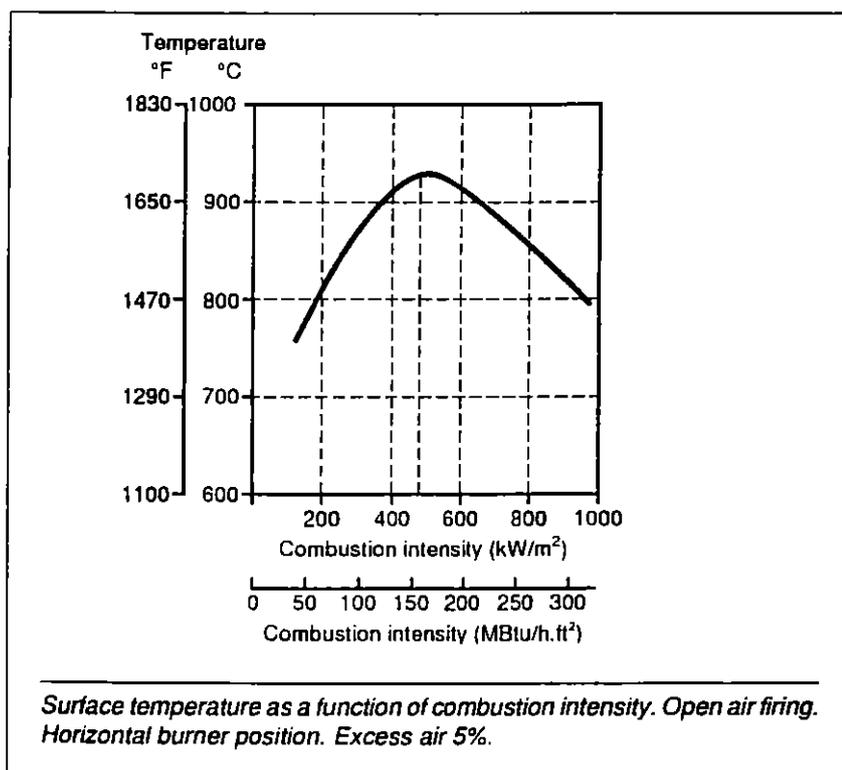
#### Flammestabilisering

De opvarmede fibre afgiver energi, dels ved termisk stråling til kolde overflader (IR-proces, kedelvæg) samt til det mellemliggende gaslag, og dels ved varmeledning til de kolde fibre, som ligger før forbrændingszonen. Derved opstår der en ligevægtstilstand, hvor forbrændingszonen stabiliserer sig i de yderste millimeter af fiberpladen, og der opstår en form for "reguleringsløjfe"/ligevægt, hvori varmeledningen i fibre virker som en tilbagekobling.

Forbrændingsprincippet og varmetransmissionen i porøse skumplader er grundlæggende det samme. Skumpladerne har den fordel, at de kan produceres som en sandwich konstruktion, hvor de yderste lag har en betydelig højere porøsitet. Det er derved muligt at stabilisere forbrændingszonen inde i midten af pladen og dermed øge IR-panelets strålingsvirkningsgrad betydeligt.

#### Lav NO<sub>x</sub>

Når energifrigivelseszonen er jævnt fordelt i fiber materialet, og fibre bortleder store mængder energi ved termisk stråling, vil resultatet være en tynd forbrændingszone, hvori røggassen afkøles meget effektivt. Temperaturen vil være 600°C til 800°C lavere i forbrændingszonen i en fiberbrænder end i en traditionel gasblæseluftbrænder. Den proces, der er skyld i dannelse af kvælstofilter ved gasforbrænding, er primært styret af temperaturen - høje temperaturer giver store mængder af kvælstofoxider. Fiberbrændere giver en reduktion i mængden af kvælstofoxider på imellem 75% til 95% i forhold til traditionelle gasblæsebrændere og atmosfæriske brændere.



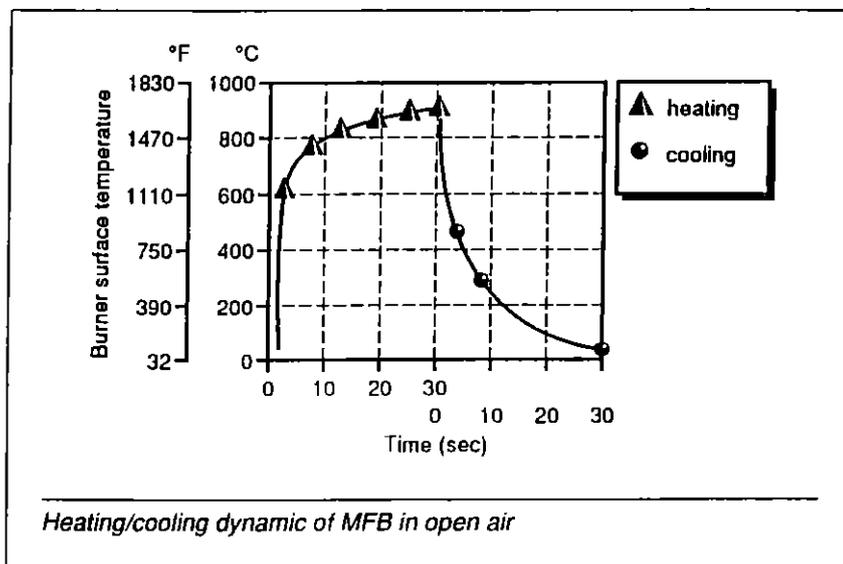
Figur 4. Overfladetemperatur som funktion af indfyret effekt.

#### Modulering

IR-brænderne kan moduleres, idet overfladetemperaturen og dermed stålingsintensiteten varierer med den indfyrede effekt. Figur 4, der stammer fra firmaet ACOTECH //, viser overfladetemperaturen for en metalfiberbrænder som funktion af den indfyrede effekt.

#### Brandfare

De nye overfladebrændere reagerer meget hurtig på ændringer i den indfyrede effekt, og er kun ca. 10 sek. om at nå den operative overfladetemperatur efter opstart. I figur 5, som er fra //, er temperaturforløbet under opstart og afbrydelse af et gasfyret IR-panel vist. Afkølingen af brænder sker i løbet af nogle få sek., hvilket er en meget vigtig sikkerhedsmæssig parameter.



Figur 5. Opvarmning og afkøling af fiberbrænder.

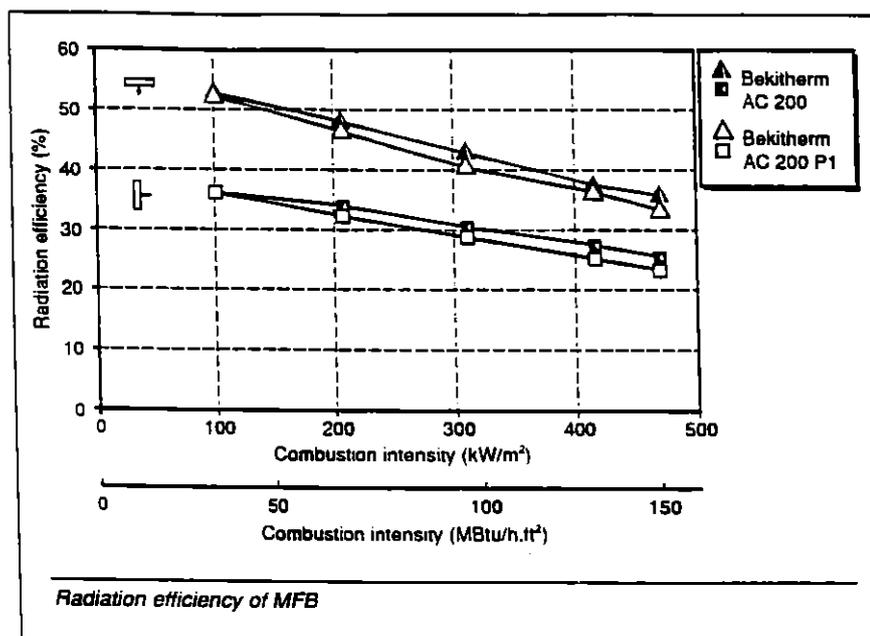
Mange ældre gasfyrede IR-paneler er termisk tunge konstruktioner og forblev varme i lang tid efter afbrydelsen. For at undgå risikoen for brand under produktionsstop var det nødvendigt at lave en mekanisk anordning, som fx flyttede panelerne væk fra papirbanen ved et ukontrolleret produktionsstop.

#### Strålingsvirkningsgrad

Der har i en årrække hersket en del forvirring omkring IR-panelers strålingsvirkningsgrad både for gas- og el-baserede paneler. Derfor har flere udenlandske universiteter og forskningslaboratorier gennemført målinger af forskellige kommercielle IR-paneler for at bestemme strålingsvirkningsgrader og lave sammenligninger, se fx /2, 3/.

Et IR-panels strålingsvirkningsgrad er defineret som forholdet imellem den energimængde, der udsendes fra IR-panelet som termisk stråling og den totale energimængde (gas eller el), der tilføres IR-panelet. Re-

sultatet af disse undersøgelser viser, at den nye generation af gasfyrede IR-paneler har samme strålingsvirkningsgrader som de elektriske, og at den i middel er omkring 45%.



Figur 6. Strålingsvirkningsgraden som funktion af indfyret effekt.

I figur 6, som stammer fra /1/, er strålingvirkningsgraden for et IR-panel, der er opbygget af en metalfiberbrænder, vist som funktion af indfyret effekt og forskellige placeringer. Det er endvidere vist i figuren, at strålingsvirkningsgraden kan forbedres ved at placere et fintmasket net foran brænderen. Dette gør dog IR-panelet mere termisk tungt, og nedkølingstiden bliver forøget væsentligt. Denne teknik er derfor ikke egnet i en række processer pga. brandsikkerheden.

Procesvirkningsgrad

Den totale procesvirkningsgrad for et IR-panel defineres som forholdet imellem den energimængde, der absorberes af emnet, som skal opvarmes, samt den totale energimængde (gas eller el), der tilføres IR-panelet. I langt de fleste processer vil det være muligt at opnå højere

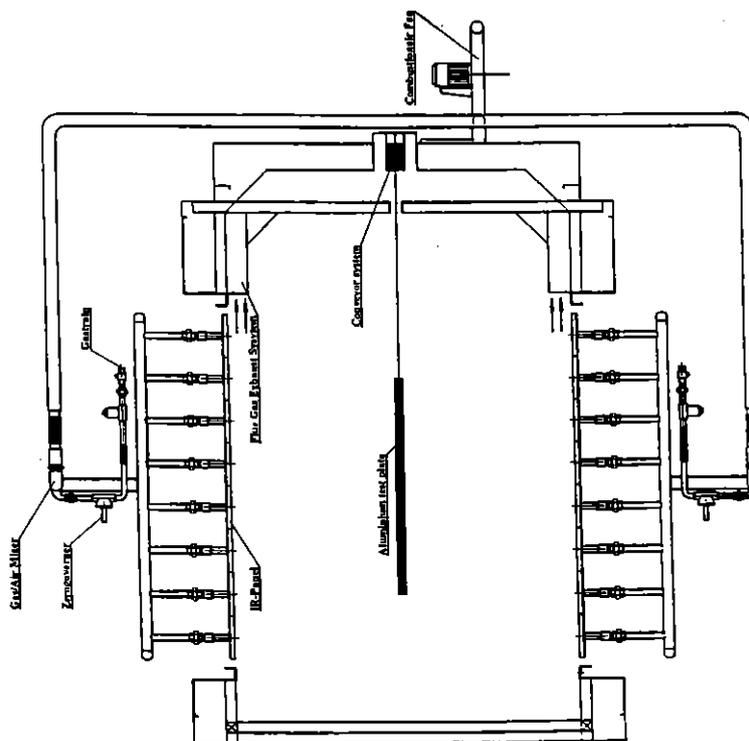
procesvirkningsgrader med gasfyrede IR-paneler end ved elektriske paneler. Dette er blandt andet dokumenteret ved forsøg med papir og tekstiler /2, 3/.

### Bølgelængdeafhængighed

Forklaringen på dette fænomen er, at den udsendte energi kun vil blive optaget af det bestrålede emne, hvis strålingen er i et bølgelængdeområde, som emnet er i stand til at absorbere. Fx vil papir, polymerer og fødevarer bedst kunne absorbere mellem- og langbølge IR-stråling, mens absorptionen af kortbølge stråling, som elektriske højtemperatur lamper udsender, er ringe. Stråling ved bølgelængder, som ikke kan absorberes af emnet, reflekteres eller transmitteres, og energien går dermed tabt.

### 3.3 Indbygning i konvektionsovn hos SCAN COAT

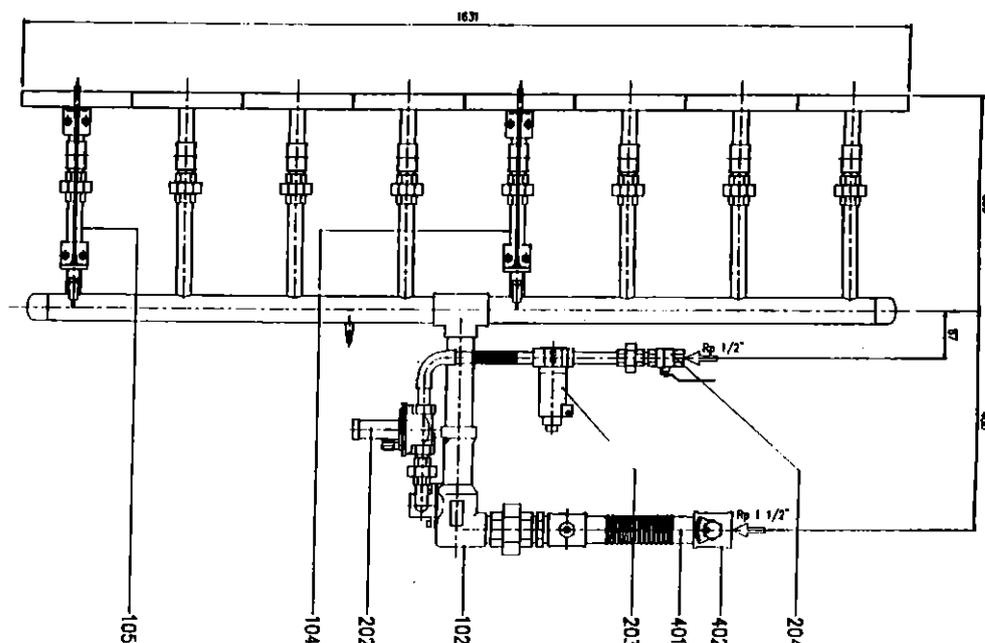
I figur 7 er der et tværsnit af IR-ovnen, som er indbygget i fronten af den eksisterende varmluftovn. Ovnens højde er 2,4 m og bredden er 1,8 m. Længden af IR-sektionen er 1,6 m, og den efterfølgende varmluftovn, figur 2, er ca. 34 m lang. IR-sektionen har 3 rækker af strålepaneler i hver side, hvert strålepanel består af 8 metalfiberbrænder-elementer. Hele IR-sektionen indeholder i alt 48 brænder-elementer.



Figur 7. Tværsnit af IR-sektion.

Til hvert strålepanel, figur 8, er der en gasrampe og en forbrændingsluftforsyning, som samles i en gas/luft-mixer (102), der bestemmer blandingsforholdet og dermed luftoverskudstallet. Gas/luft-blandingen fordeles ved hjælp af en manifold til de 8 fiberbrænder elementer.

**Effektregulering** Samtlige 6 strålepaneler kan slukkes og tændes separat ved hjælp af en magnetventil (203). Alle gasramperne er forsynet med nultryks gasregulatorer (202), som sammen med en motorventil på hovedluftforsyningen gør det muligt at effektregulere alle paneler, som er i funktion i forholdet 1:2. Det totale reguleringsområde for IR-ovnen bliver således 1:6, da strålepanelerne styres parvis. I bilag 1 er der vist et flow sheet for IR-boosteren med samtlige komponenter samt systemtegninger.



Figur 8. Tegning af en af de seks rækker af strålepaneler.

Endvidere er der monteret en kontakt, som tænder og slukker IR-ovnen ved conveyor start og stop. Dels for at spare energi, og dels for at undgå overophedning af eventuelle emner, som befinder sig i IR-sektionen under conveyor stop.

**Indfyret effekt** Hvert strålepanel har en indfyret effekt på ca. 50 kW, dvs. at IR-ovnen har en total indfyret effekt på 300 kW svarende til 220 kW/m<sup>2</sup>.

Varmegen-  
vinding

Panelerne med tilhørende reguleringsudstyr er leveret af Stordy Combustion Engineering. Alt efter fiberbrændernes indstilling vil ca. 40 -50% af den indfyrede effekt omdannes til infrarød stråling. Resten af energien er bundet i røggassen fra forbrændingsprocessen. For at undgå et stort røgtab, er der over hvert strålepanel monteret udsugningssystem, der opsamler den varme røggas og fører den ind i den eksisterende ovns gasfyrede luftvarmer. Derved falder gasforbruget tilsvarende på varmluftovnen, og det totale energiforbrug forbliver tilnærmelsesvis konstant. I forbindelse med nogle af forsøgene, blev temperaturen af den fortyndede røggas i udsugningssystemet målt ved forskellige belastninger:

2 IR-paneler i drift 130°C

4 IR-paneler i drift 270°C

6 IR-paneler i drift 330°C

### 3.4 Styrings- og sikkerhedssystem

Hele IR-systemet styres fra en central kontroltavle, som indeholder hovedafbryderen, styring af forbrændingsluft-blæseren, styring af hovedgasrampe samt 6 fyringsautomater, en for hver række af strålepaneler.

Opstart

Ved opstart aktiveres først forbrændingsluftblæseren, og samtidig starter røggas udsugningssystemet automatisk. Operatøren kan nu indkoble IR-panelerne ved at aktivere brænderrelæet. Før strålepanelerne tænder, vil hovedsystemet kontrollere luftmangelsikringen, som er en pressostat placeret i forbrændingsluftsyste-  
met. Endvidere vil minimum- og maksimum gaspressostaterne blive kontrolleret. Når denne kontrol er godkendt vil hovedgasventilen blive åbnet efter en vis tidsforsinkelse, som bruges til at udlufte systemet ved efterfølgende starter.

Nu kan de indkoblede IR-paneler begynde deres opstartsprocedure. Gasventilen og tænde-  
elektroden aktiveres samtidigt. De ses i figur 8 som henholdsvis nr. 203 og 104. Tænde-  
elektroden er placeret midt i panelet, hvor gas/luft blandingen først strømmer ud og antændes. Flammen løber derefter ud i begge ender af panelet, og efter ca. 10 til 15 sek. har panelerne opnået deres operative overfladetemperatur på

850°C til 900°C. Flammeovervågningen foregår ved hjælp af en ioniseringselektrode, som er placeret ud for det nederste brænderelement, ses i figur 8 som nr. 105. Tændeledet er aktiv i 4 sek., og flammeovervågningssystemet yderligere 1 sek., hvorefter der skal være konstateret et stabilt flammesignal, for ikke at gasventilen bliver afbrudt. Det vil sige, at den samlede sikkerhedstid for systemet er 5 sek. Fyringsautomaten vil i tilfælde af flammefejl lyse rødt, og det er muligt at genstarte IR-panelet manuelt ved reset af fyringsautomaten.

### Problemer

Erfaringerne fra forsøgsperioden har vist, at systemet generelt fungerer godt. Under indkøringsfasen var de væsentligste problemer korrekt positionering af ioniserings- og tændeledet. Afstanden imellem IR-panelerne er 150 mm og er udfyldt af en 1600 mm lang rustfri stålplade, der fungerer som reflektor for den indfaldende stråling. I pladen er der boret huller til gennemføring af ledene. Under drift blev pladerne relativt varme, og på grund af termisk udvidelse forskubbede pladen sig og dermed også ledene. Dette gav anledning til driftsforstyrrelser og problemer ved opstart. Løsningen var en ophængt plade, der kun var fikseret i toppen, og som frit kunne ekspandere i længderetningen uden nogen spændinger. Endvidere blev gennemføringerne til ledene udvidet, således at pladen ikke kom i kontakt med ledene under den termiske ekspansion. Denne løsning gjorde det muligt at lave en korrekt placering af ledene under drift. Tændeledet er monteret således, at der er en kraftig gnist imellem ledet og kanten af rammen, som omgiver metal fiberpladen. Ioniseringsledene er bøjet 90° ind over fiberpladen, se figur 8 nr. 105. Afstanden imellem ledet og pladen skal være så stor som muligt, i praksis omkring 25 mm. Dette er nødvendigt for at undgå en kortslutning under drift, hvor fiberpladen udvider sig på grund af termisk ekspansion.

### Indregulering

Indregulering af brænderne foregår i flere trin. Først foretages en grov indstilling udfra de data, som opgives fra leverandøren. Det vil sige forbrændingslufttryk, gastryk og trykket i manifolden. Derefter kan brænderne tændes. Nu indstilles gas/luft blandingsforholdet (luftoverskudstallet  $\lambda$ ) ved at justere mixeren. I første trin gøres det visuelt ved at vurdere farven og dermed temperaturen af IR-panelet. Når dette er gennemført på alle 6 paneler, er det nødvendigt at finjustere alle

gennemført på alle 6 paneler, er det nødvendigt at finjustere alle paneler, idet trykkene i den først indstillede brænder kan have ændret sig på grund af kraftige justeringer af trykket i de efterfølgende brændere. Under finjusteringen kontrolleres den indfyrede effekt samt luftoverskudstallet, og eventuelle justeringer foretages på mixeren. Indstillingen foretages ud fra målinger af røggassammensætningen og overfladetemperaturen. Leverandøren anbefaler et luftoverskudstal  $\lambda = 1,2$  (3,8 %  $O_2$ ) til  $\lambda = 1,3$  (5,2 %  $O_2$ ), der med en korrekt indfyret effekt giver en overfladetemperatur af panelerne på 900°C til 870°C.

## **4 Driftsstrategi for IR-boosteren**

### **4.1 Praktiske indkøringsproblemer**

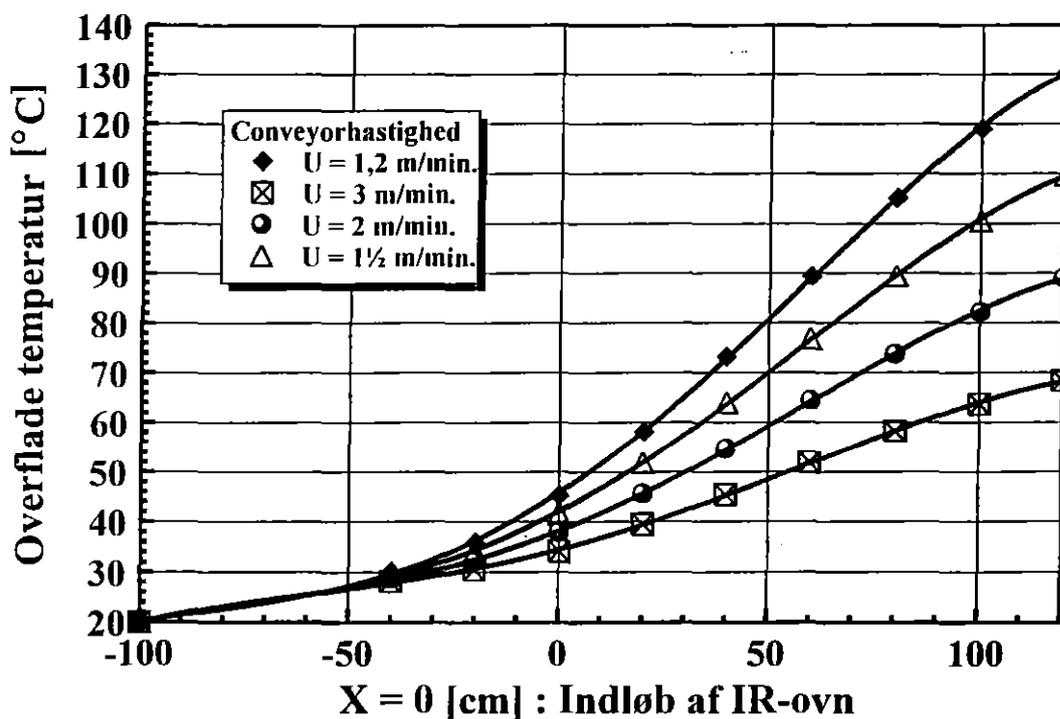
Efter opstart og indregulering af IR-ovnen blev der hurtigt konstateret væsentlige problemer med at få processen til at forløbe tilfredsstillende i den daglige drift. Hovedproblemet var at indstille effekten på strålepanelerne korrekt. I flere tilfælde var emner misfarvede på grund af for høje temperaturer i IR-ovnen. I den daglige produktion varierer procesbetingelserne meget på grund af vekslende godstykkelse, vægt og conveyor-hastighed i de forskellige produktionsserier. Dette stillede store krav til ovnoperatøren, som løbende skulle ændre den indfyrede effekt til IR-sektionen, og i mange tilfælde blev der skønnet en alt for høj effekt med misfarvning til følge.

Typiske conveyer-hastigheder på det eksisterende anlæg er 1 meter pr. minut. Beregninger viser, at det er muligt at opvarme malingen til smeltepunktet i IR-sektionen alene ved conveyer-hastigheder på 1½ meter pr. minut.

### **4.2 Beregninger af emnernes temperaturforløb**

DGC har flere andre aktiviteter i gang inden for IR-teknologi, bl.a. et stort projekt der har fået bevilliget forskningsmidler fra EU's JOULE-II program. Den know-how, der er opbygget igennem disse aktiviteter, har været brugt til design og dimensionering af anlægget hos SCAN COAT. Blandt andet har beregningsmodellen RADEX, som er udviklet under disse projekter, været brugt til at dimensionere IR-ovnen. Samtidig har de efterfølgende forsøg været brugt til at verificere modellen. RADEX-modellen er beskrevet detaljeret i /4, 7/.

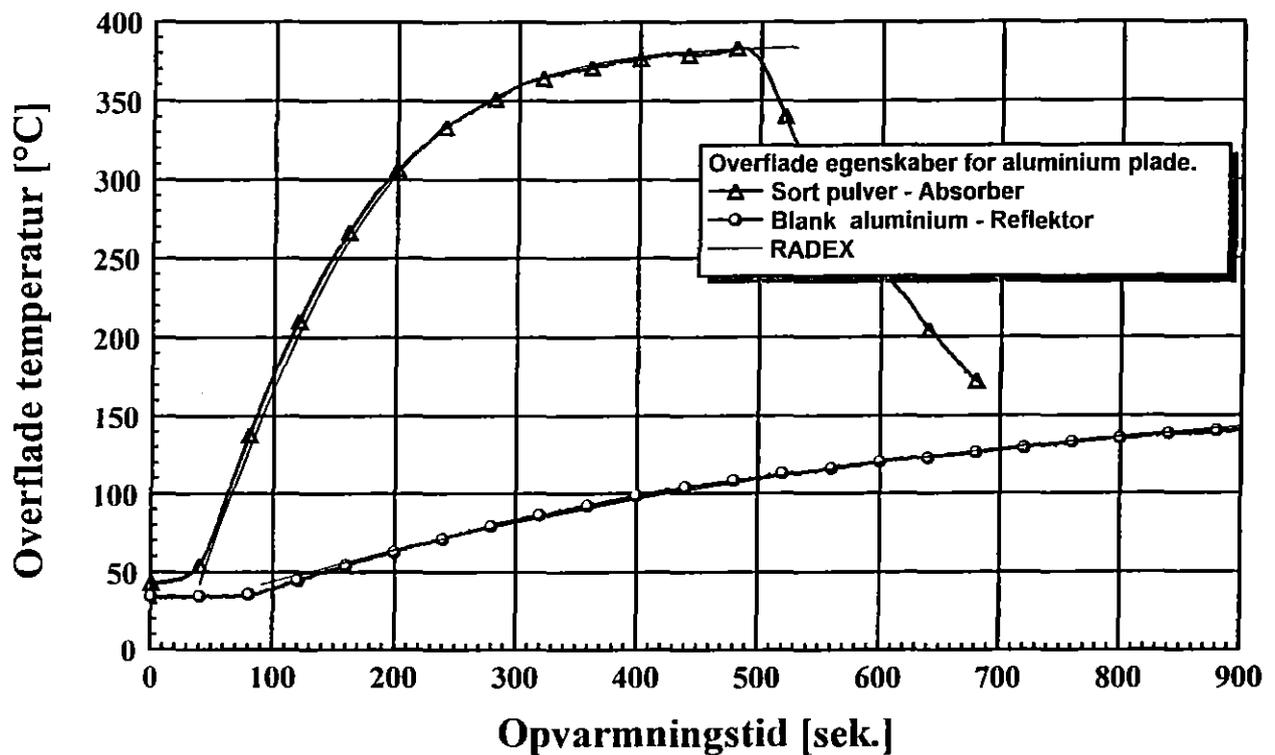
RADEX-modellen blev brugt til at designe IR-ovnen og beregne procesdata. En af de vigtigste systemparametre i styringen af opvarmningsprocessen er sammenhængen imellem conveyor-hastighed og overfladetemperaturen. Figur 9 viser den beregnede overfladetemperatur for forskellige conveyor-hastigheder. I dette tilfælde var massestrømmen igennem ovnen 0,167 kg/s, og den indfyrede gasmængde 300 kW med en strålingsvirkningsgrad på 40%. Som forventet, falder udløbstemperaturen med stigende conveyor-hastighed.



Figur 9. Beregnede temperaturprofiler i IR-sektion som funktion af conveyor-hastighed.

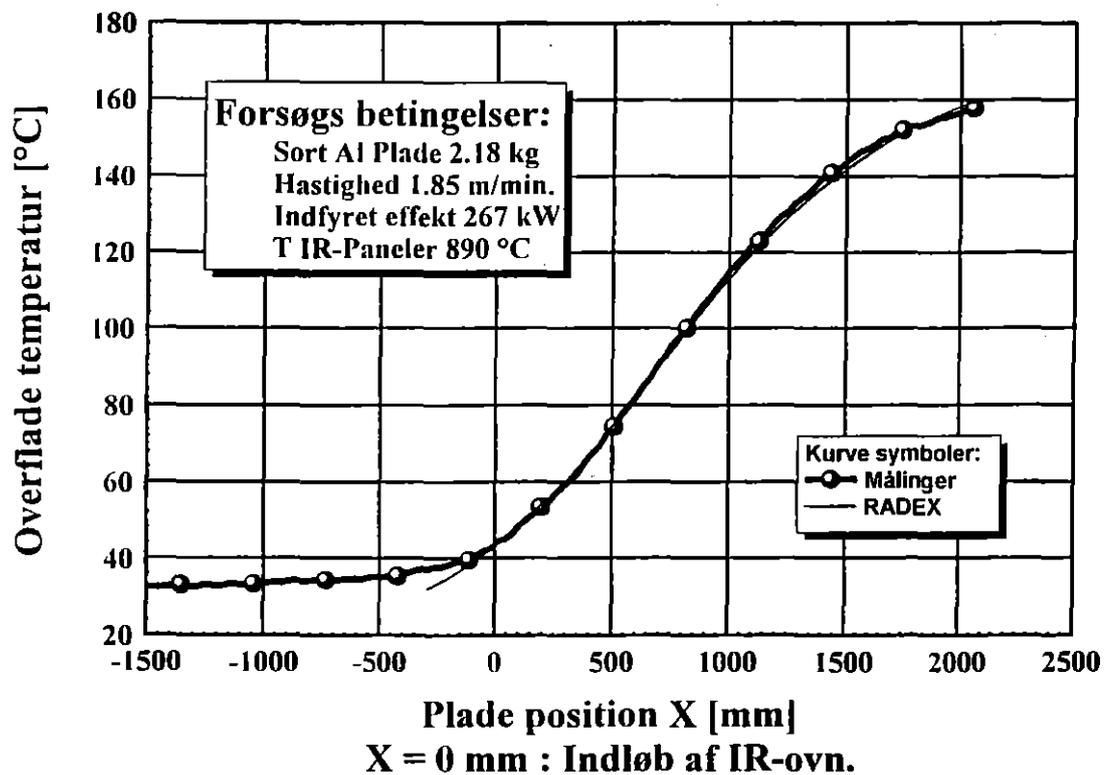
#### 4.3 Sammenligning af målte og beregnede data

Figur 10 viser to forsøg med en 2,18 kg tung og 4 mm tyk aluminiumsplade, som er placeret og fastholdt midt i IR-sektionen. I det ene tilfælde er pladen malet sort, og i det andet tilfælde er det en blank aluminiumsplade. Opvarmningsprofilen illustrerer tydeligt indflydelsen af overfladens strålingsegenskaber. Den sorte flade absorberer strålingen godt og opnår en ligevægtstemperatur på 380°C i løbet af 7-8 minutter. Hvorimod den blanke aluminiumsplade er en god reflektor. Efter 14 minutter er temperaturen kun 140°C og stadigvæk stigende imod ligevægtstemperaturen. I det samme diagram vises de beregnede temperaturprofiler med RADEX, og der er en udmærket overensstemmelse imellem målinger og beregninger.



Figur 10. Sammenligning imellem målinger og beregninger.

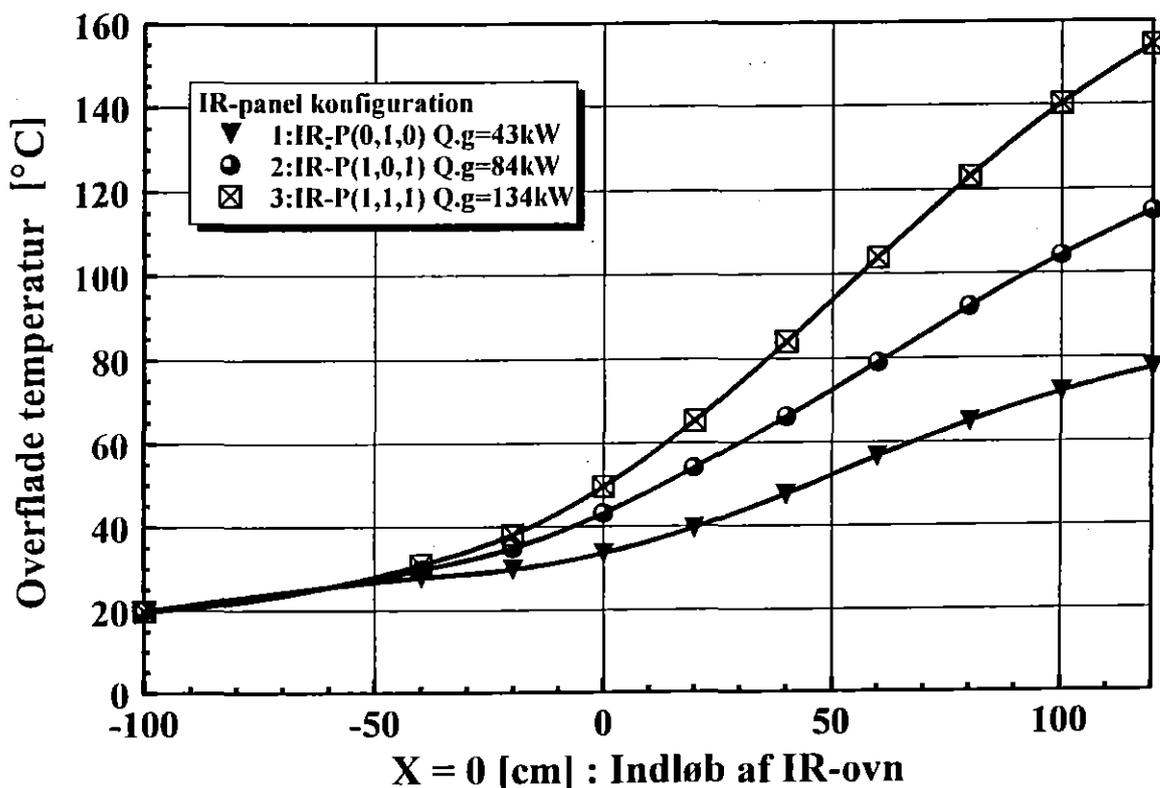
I ovennævnte forsøg var conveyor-systemet stoppet, og pladen placeret i midten af IR-sektionen.



Figur 11. Temperaturforløbet igennem IR-sektionen.

I figur 11 er der vist et målt og beregnet temperaturprofil, når pladen bevæger sig igennem IR-sektionen med en conveyor-hastighed på 1,85 m/min. Slutningen af IR-ovnen svarer til  $X=1200$  mm, hvorefter pladen bevæger sig ind i luftslusen. På dette punkt er overfladetemperaturen nået op på  $120^{\circ}\text{C}$ , således at pulveret er smeltet. Endvidere kan det ses, at pladen absorberer energi både før og efter IR-sektionen.

Opvarmingshastigheden kan kontrolleres ved at tænde/slukke strålepanelerne parvis, og eventuelt ændre den indfyrede effekt. IR-P(1,0,1) indikerer, at det midterste par af strålepaneler er slukket, og de to yderste par er tændte. Effekten er vist i figur 12, hvor temperaturprofilen igennem IR-sektionen er vist for forskellige strålepanelkonfigurationer. I dette tilfælde er conveyor-hastigheden 1,5 m/min, og en tilstrækkelig udløbstemperatur kan opnås ved at slukke det midterste par af strålepanelerne.

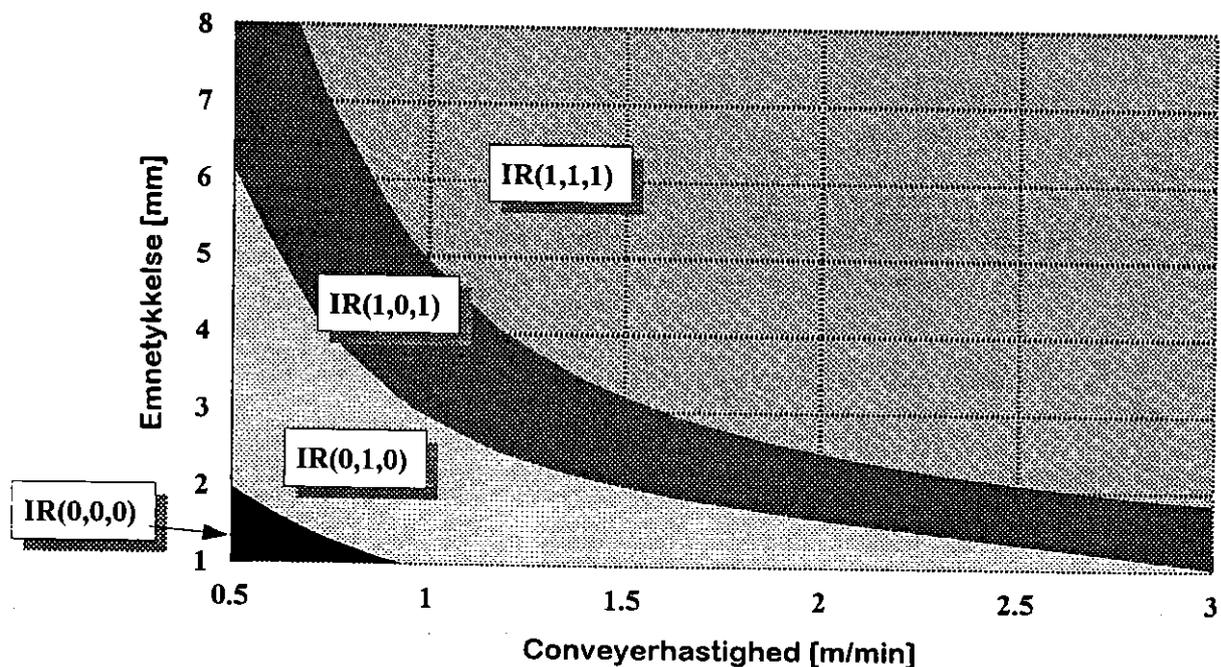


Figur 12. Effektregulering af IR-sektionen.

#### 4.4 Data til processtyring af IR-boosteren

For at løse problemet med overophedning og misfarvning, blev det besluttet at lave nogle simple diagrammer, som ovnoperatøren kunne bruge til at indstille den indfyrede effekt. Endvidere besluttede man, at effektreguleringen kun skulle foregå ved at tænde og slukke strålepanelerne parvis, og belastningen blev holdt konstant på fuldlast på de tændte strålepaneler. Dette blev gjort for at forenkle proceduren mest mulig.

Med baggrund i de beregninger, som er vist i figur 11 og 12, blev der lavet et parameterstudium med RADEX-modellen, og resultatet er vist i figur 13.



Figur 13. Diagram til procesregulering.

Ved normal drift er de typiske procesparametre, som er kendte, emnets tykkelse og conveyer-hastigheden, der er bestemt af pulvertypen og kapaciteten i malekabinen. Med disse to parametre kan operatøren bestemme et punkt i diagrammet og dermed antallet af strålepaneler, som skal være i funktion uden risiko for overophedning af

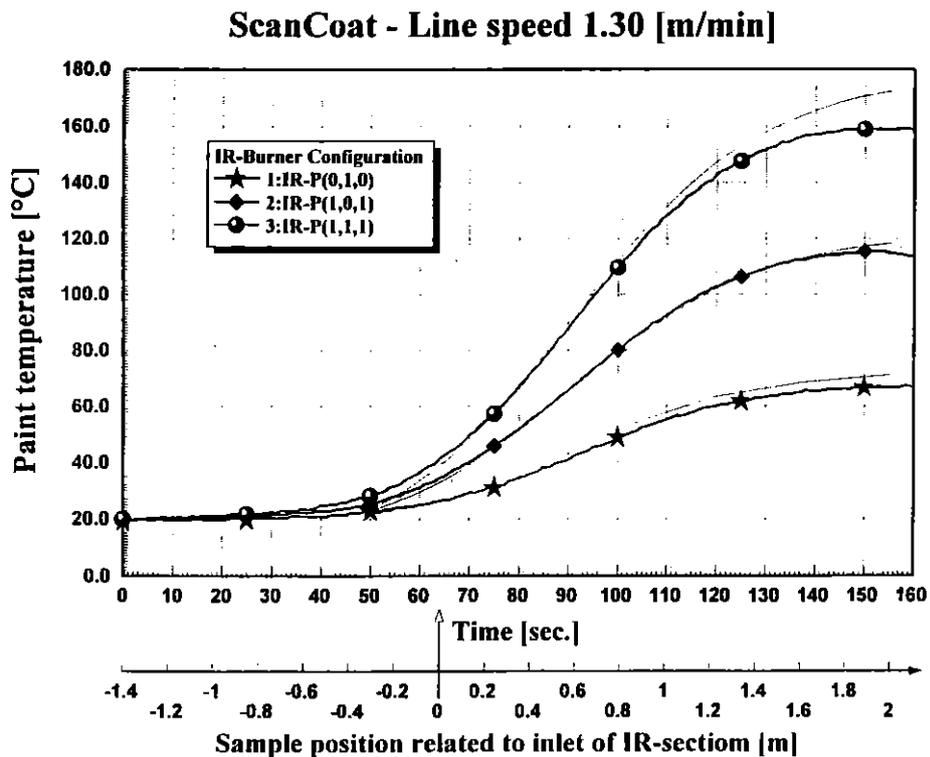
pulveret. Det sorte område i det nederste venstre hjørne indikerer procesbetingelser, hvor alle strålepanelerne skal være slukkede for at undgå overophedning. Diagrammet, der er vist i figur 13, er for kulørt pulver. Et tilsvarende diagram blev lavet for hvidt pulver, der er en god reflektor og dermed dårligere til at optage energien. Der blev i alt lavet 2 diagrammer for aluminium, som er et typisk materiale i produktionen. Beregningerne er lavet for plader. I tilfælde af profilemner kan operatøren gange den karakteristiske emnetykkelse med 2 og anvende diagrammer på sædvanlig vis:

## 5 Forsøg og resultater

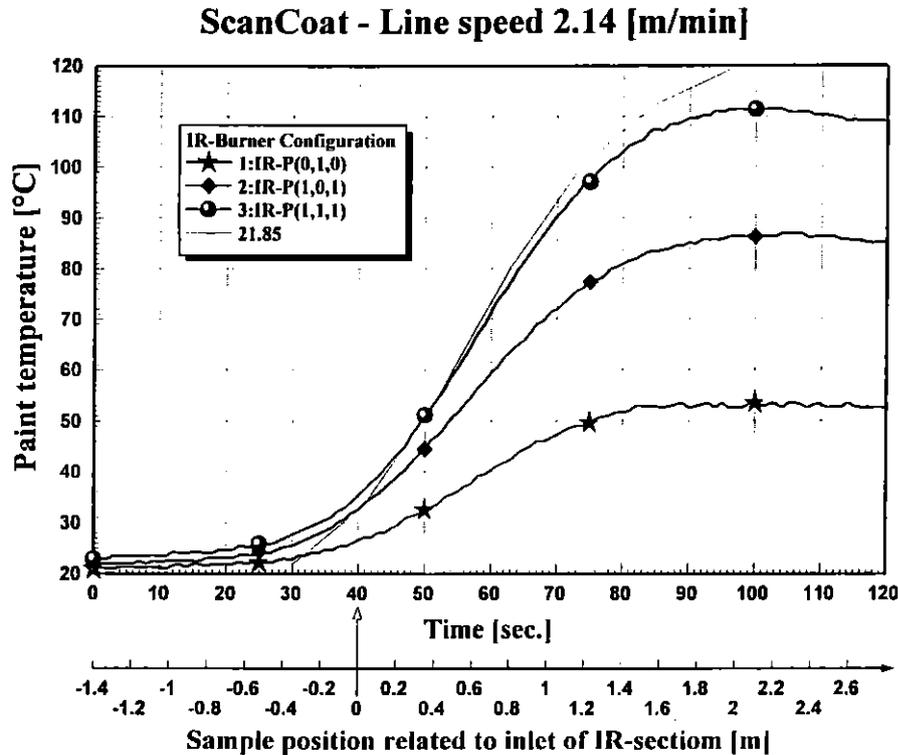
### 5.1 Opvarmningsforløb af emner

DGC har målt temperaturforløbet for en række testplader ved forskellige driftsbetingelser. Målingerne er foretaget med forskellige båndhastigheder, pulverfarver og indfyrede effekter i IR-sektionen.

Figur 14 og 15 viser pladetemperaturens variation gennem IR-boosteren. Konvektionsovnene er slukket ved disse forsøg, så temperaturen flader ud ved afslutningen af IR-sektionen (position = 1,6 m) i stedet for at fortsætte stigningen. Forsøgene er udført med kulørt pulver på 4 mm aluminiumsplader, som vejer 2,18 kg. Udgangstemperaturen stiger med antallet af tændte IR-paneler og falder med båndhastigheden.



Figur 14. Målte opvarmningsprofiler ved conveyer-hastigheden 1,30 m/min.



Figur 15. Målte opvarmningsprofiler i IR-sektion ved conveyor-hastigheden 2,14 m/min.

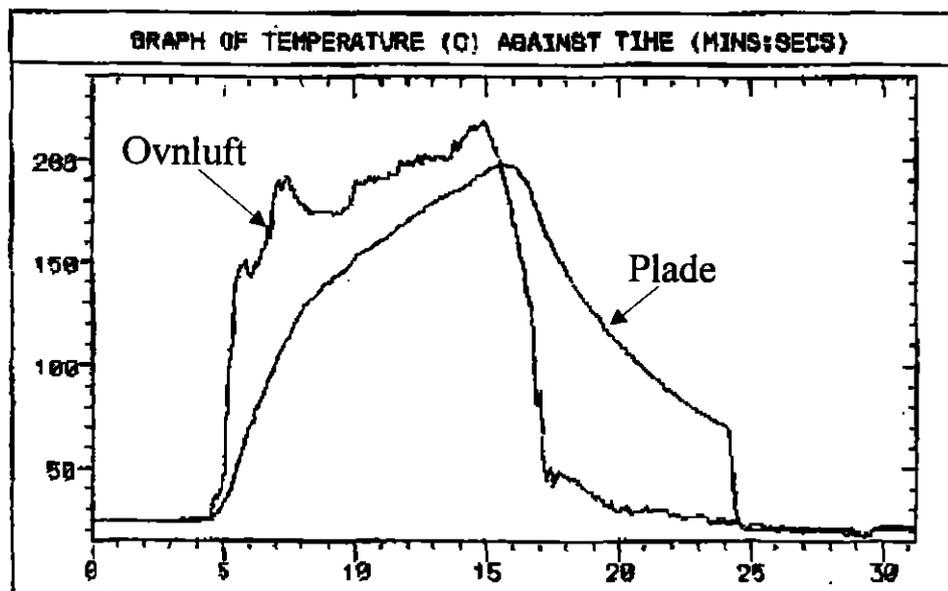
Til målingerne af forløbet gennem hele hærdeovnen er benyttet ideal-line's måleudstyr, som anvendes af firmaets teknikere til indregulering og eftersyn af de idriftsatte ovne. En termoføler monteres i et hul i det undersøgte emne og tilsluttes en dataopsamlingsenhed. Der vil ikke være nogen forskel af betydning mellem den målte temperatur og overfladetemperaturen, da  $Bi \ll 1$  for pladen ( $Bi$  er forholdet mellem den indre termiske ledningsmodstand og den konvektive eller ydre termiske ledningsmodstand). En luftføler til registrering af ovnlufttemperaturen placeres nær den ophængte plade og tilsluttes ligeledes dataopsamlingsenheden. Selve dataopsamlingsenheden beskyttes mod varmepåvirkning i en isolerende boks, som ophænges i nærheden af termofølerne. Testpladen hænges op på en gondol ved siden af de øvrige emner og køres sammen med disse gennem malekabinen. Termoføleren monteres efter malekabinen.

Dataregistreringen startes automatisk, når temperaturen på en af følerne når en vis grænse. Udstyret opsamler og lagrer de målte størrelser i en periode inden dette tidspunkt. Forsøg og beregninger viser, at når IR-panelerne er tændt, starter emneopvarmningen pga. udstrålingen, allerede inden emnerne kommer ind i IR-sektionen. Dette er også i mindre grad tilfældet ved ren konvektion, da luften foran ovnen i alle tilfælde er varm. Da målingerne startes ved en given temperatur, svarer de målte tider altså til forskellige positioner. Ved forsøgene er noteret, hvornår pladen bevæger sig ind i ovnen. Måleresultaterne kan således modificeres, så tidsforløbet fra denne position benyttes som fælles tidsangivelse. Dette er dog ikke en brugbar fremgangsmåde, idet målingerne uden tændte IR-paneler vil have en kunstigt stor tidsforsinkelse, da pladen først skal passere den inaktive IR-booster samt luftslusen.

Som følge heraf, er de originale data benyttet, og ved sammenligningen af målingerne i det følgende burde de målte tider med IR-paneler derfor være korrigeret med en (ukendt) negativ værdi. Resultatet er, at reduktionen i opvarmningstiden ved at bruge IR-paneler undervurderes. Der er med andre ord tale om en konservativ vurdering.

Når testpladen og boksen har passeret IR-sektion og konvektionsovn, afmonteres udstyret, og målingen standses ved at afbryde forbindelsen fra følerne til dataopsamlingsenheden. Denne tilsluttes derefter en udskrivningsenhed, som printer de målte temperaturforløb ud. Antallet af anvendelige målinger er blevet begrænset pga. problemer med måleudstyret og udskrivningsenheden.

Der er foretaget målinger på aluminiumsplader med vægt og tykkelse på henholdsvis 2,18 kg og 4 mm. Det har ikke i alle tilfælde været muligt at udføre målingerne under ensartede driftsbetingelser, da disse er styret af produktionen.

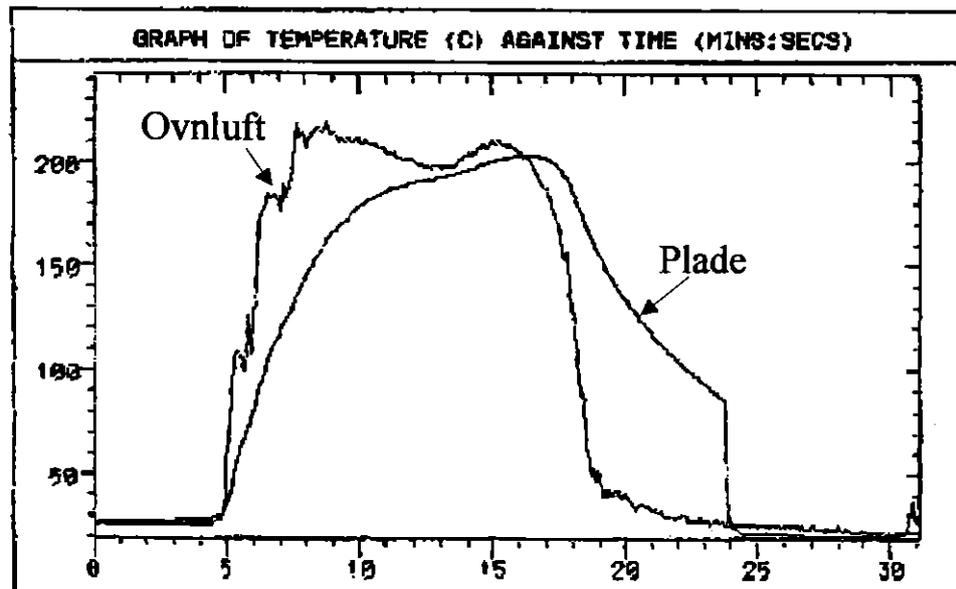


Figur 16. Temperaturforløb for testplade gennem ovn. Hvidt pulver,  $V_{bånd} = 2,7 \text{ m/min. } (0, 0, 0)$ .

Figur 16 viser et temperaturforløb for testpladen med slukkede IR-paneler. Opvarmningen af pladen starter allerede inden ovnen (efter ca. 4,5 min.), og nedkølingen begynder også før pladen når den yderste kant, idet pladen passerer luftslusen for enden af ovnen.

Når pladen er ude af ovnen, køles den ned til omgivelsernes temperatur. Temperaturkurven knækker på det tidspunkt, hvor termoføleren tages ud af pladen. Pladetemperaturen når kun lige op på 200°C, inden den kører ud af ovnen. Der er altså i dette tilfælde ikke nogen hærdetid for malingen. Hærdetiden er den tid, som pladen skal fastholdes ved på hærdetemperaturen for at opnå en fuldstændig hærdning. Hærdetiden er typisk ca. 10 min. og afhænger af ovntemperatur samt pulvertype. Den målte lufttemperatur stiger ned gennem ovnen med et enkelt udsving, hvor pladen passerer en brænder.

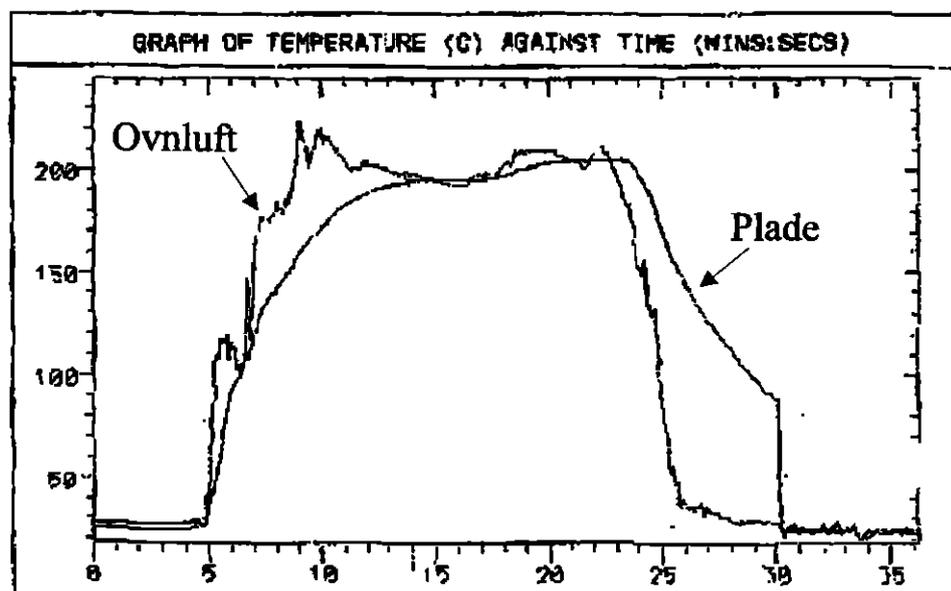
Figur 17 viser en måling med samme pulver og omtrent samme conveyer-hastighed, men i dette tilfælde er 4 af de 6 IR-paneler tændte.



Figur 17. Temperaturforløb for testplade. Hvidt pulver,  $V_{bånd} = 2,6$  m/min. 4 af 6 IR-paneler er tændte (1, 0, 1).

Pga. IR-boosteren stiger pladetemperaturen hurtigt i starten, hvorefter resten af opvarmningsforløbet sker ved konvektion som i figur 16. Med conveyer-hastigheden 2,6 m/min. opholder pladen sig kun ca. 30-40 sek. i den 1,6 m lange IR-sektion. Ved sammenligning med figur 16 ses, at IR-boosteren har medført, at pladen nu får en vis hærdetid. Hærdetiden er alt for lille, fordi forsøgene er udført ved produktion af mindre emner, som opvarmes hurtigere end testpladen, og dermed opnår tilstrækkelig hærdetid.

I figur 18 ses en måling med 6 tændte IR-paneler, lavere conveyer-hastighed og en anden hvid farve. I dette tilfælde får pladen en passende hærdetid på ca. 10 min.



Figur 18. Temperaturforløb for testplade. Hvidt pulver,  $V_{bånd} = 1,7$  m/min. 6 tændte IR-paneler (1, 1, 1).

## 5.2 Produktionshastighed

Anvendelsen af IR-paneler forkorter tiden, der går til at smelte pulveret og opvarme det til hærdetemperaturen. Derefter skal pladen opholdes ved denne temperatur i den påkrævede hærdeperiode. Ved at nedsætte opvarmningstiden kan produktionshastigheden øges til et nyt niveau, som begrænses af kravet til hærdetiden.

Hvis man under givne produktionsforhold tænder for IR-sektionen uden at ændre conveyerhastigheden, fås en hurtigere opvarmning til hærdetemperaturen og dermed en længere hærdeperiode. Ved at øge conveyerhastigheden, nedsættes emnernes opholdstid i såvel IR-sektionen som i konvektionsovnen. Begge dele nedsætter hærdeperioden, da den kortere opholdstid i IR-boosteren mindsker den opnåede forvarmning i denne, se figur 9, hvilket øger den nødvendige opvarmningstid i konvektionsovnen.

Den maksimale bånd-hastighed for en plade ved en given pulverkulør og effekt i IR-sektionen kan findes ved at lave en række forsøg, hvor hastigheden øges, indtil pladens overfladekvalitet er for dårlig. Dette kan dog ikke lade sig gøre i praksis af hensyn til produktionen på SCAN COAT, hvor emnestørrelse, produktionshastighed osv. hele tiden varierer.

En praktisk metode til at vurdere de mulige kapacitetsforøgelser er at opstille et beregningsudtryk.

Ved at analysere pladens temperaturforløb i målingen uden tændte IR-paneler, kan den konvektive opvarmningsprofil bestemmes. Forskellen mellem pladetemperaturen og ovnlufttemperaturen aftager eksponentielt med tiden med en tidskonstant, som afhænger af pladestørrelsen, dvs.

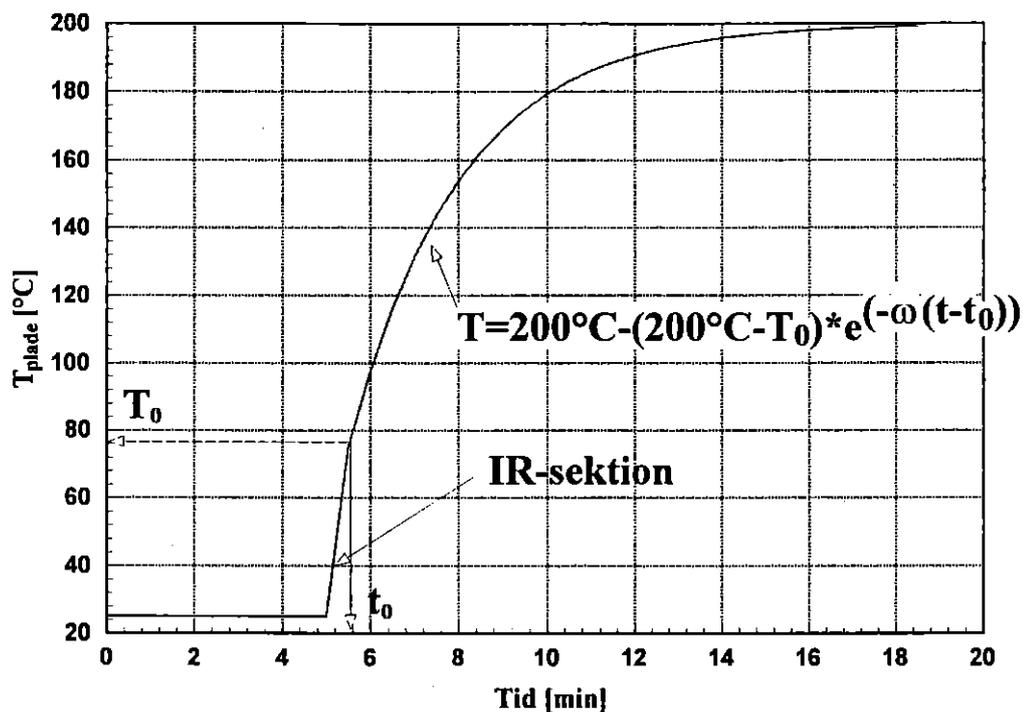
$$T_{plade} = T_{ovn} - (T_{ovn} - T_o) \cdot e^{-\omega (t-t_o)}$$

hvor  $T_{ovn}$  er ovnlufttemperaturen,  $T_o$  er pladetemperaturen efter IR-sektionen, og  $t-t_o$  er tiden fra pladen forlod IR-sektionen.  $\omega$  er tidskonstanten for varmeoverførslen:

$$\omega = \frac{h \cdot A}{MC_p}$$

$h$  er det konvektive varmeovergangstal, mens  $A$ ,  $M$  og  $C_p$  er henholdsvis overfladeareal, masse og varmekapacitet for pladen.

Pladens principielle temperaturforløb er illustreret i figur 19.



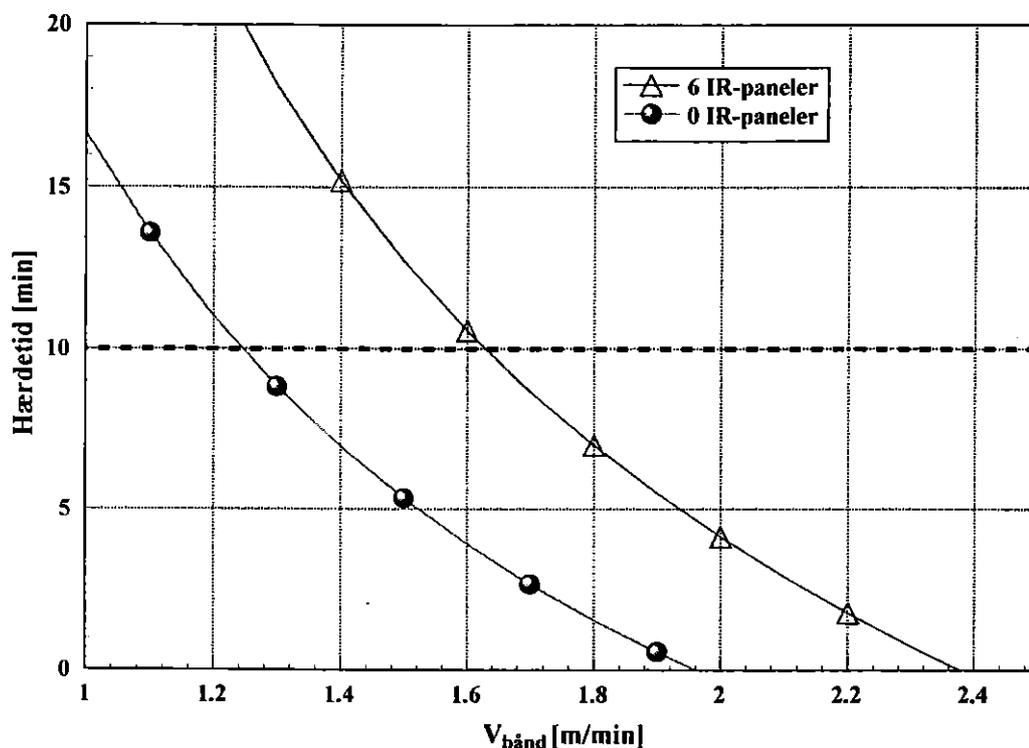
Figur 19. Principielt opvarmningsforløb.

Med kendskab til  $\omega$  kan opvarmningstiden beregnes som funktion af pladens temperatur  $T_0$ , når den kører ind i konvektionsovn.  $T_0$ , som er den temperatur pladen opnår i IR-boosteren, er fundet for kulørt pulver ved forsøg med testplader, se figur 14 og 15, som funktion af conveyer-hastigheden:

$$T_0 = 242^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}/(\text{m}/\text{min}) \cdot V_{\text{bånd}}$$

ved en pladetemperatur på  $25^{\circ}\text{C}$  inden opvarmning og alle IR-paneler tændt.

Ud fra den beregnede opvarmningstid, ovlængde og conveyer-hastigheden kan den resterende tid til hærkning beregnes. Sådanne beregninger er vist i figur 20 med henholdsvis 0 og 6 tændte IR-paneler. Ved beregningerne uden IR-paneler er indgangstemperaturen til konvektionsovn sat til  $25^{\circ}\text{C}$ .



Figur 20. Beregnede hærdetider med henholdsvis 0 og 6 tændte IR-paneler.

Den maksimale conveyer-hastighed øges fra 1,25 m/min. uden IR-paneler til 1,63 m/min., når alle 6 IR-paneler er tændt. Dette svarer til en forøgelse i produktionskapaciteten på 31% for denne type plader.

### 5.3 Energiforbrug

En væsentlig del af energiforbruget til tørreovnen tabes ved varmeafgivelse til omgivelserne samt ventilationstab, da der suges store mængder luft ud fra ovnen. Disse tabskilder er praktisk taget uafhængige af produktionen. En forøgelse af produktionshastigheden nedsætter derfor energitabet pr. produceret enhed og dermed det totale energiforbrug pr. produceret enhed. Det totale energiforbrug indeholder ud over de nævnte tabskilder opvarmning af emner, conveyer og gondoler.

For at vurdere størrelsesordenen af de nævnte tabskilder, er energibalancen for ovnen uden IR-paneler analyseret ud fra målinger d. 27.10. 1994.

I perioden 12.06-12.44 er der aflæst et gasforbrug på 18,6 m<sup>3</sup>n svarende til en indfyret effekt på 320 kW.

Emne:	Alu-plade med bukket kant
Farve:	RAL 6021 (grøn)
Vægt:	6,6 kg
Antal emner/gondol:	5
Vægt/gondol:	33 kg
Båndhastighed:	1,4 m/min
Længde/gondol inkl. mellemrum:	8 m
$\Delta t$ :	ca. 200°C-25°C = 175°C
Gondolvægt:	ca. 60-70 kg
Conveyervægt:	ca. 12 kg/m

#### Effektforbrug til emneopvarmning:

$$\text{Masseflow} = \frac{33 \cdot 1,4}{8} \text{ kg/min} = 5,78 \text{ kg/min}$$

$$\dot{Q}_{emner} = \dot{m}_{emner} \cdot C_{p,emner} \cdot \Delta t = \frac{5,78}{60} \text{ kg/s} \cdot 930 \text{ J/kgK} \cdot 175\text{K} = 16 \text{ kW}$$

#### Effektforbrug til opvarmning af gondol:

$$\dot{Q}_{gon} = \dot{m}_{gon} \cdot C_{p,gon} \cdot \Delta t = \frac{65 \cdot 1,4}{8 \cdot 60} \text{ kg/s} \cdot 510 \text{ J/kgK} \cdot 175\text{K} = 17 \text{ kW}$$

#### Effektforbrug til opvarmning af conveyer:

$$\dot{Q}_{con} = \dot{m}_{con} \cdot C_{p,con} \cdot \Delta t = \frac{12 \cdot 1,4}{60} \text{ kg/s} \cdot 510 \text{ J/kgK} \cdot 175\text{K} = 25 \text{ kW}$$

Ideal-Line skønner, at overfladetabet,  $\dot{Q}_{OT}$ , fra ovnen er ca. 350-550 W/m<sup>2</sup>.

$$\text{Ydre areal} = 2 (h+b) L \approx 2 (2,8 + 2,0) \cdot 34 \text{ m}^2 = 326 \text{ m}^2.$$

Det vil sige  $\dot{Q}_{OT} \approx 114 - 180 \text{ kW}$ .

Resten af energiforbruget skyldes ventilationstab.

### Oversigt

	kW	%
Opvarmning af emner	16	5
Opvarmning af gondol	17	5
Opvarmning af conveyer	25	8
Overfladetab	114-180	36-56
Ventilationstab	82-148	26-46
Sum	320	100

*Tabel 2. Energiforbrug for tørreovn uden IR-paneler.*

Med udgangspunkt i tabel 2 beregnes energibesparelsen ved den mulige produktionsforøgelse, som blev bestemt i afsnit 5.2. Det ses, at de ovennævnte tabskilder (overflade- og ventilationstab) udgør 82% af det totale energiforbrug, dvs. det produktionsafhængige forbrug udgør 18%. Overflade- og ventilationstabet antages at være konstant ved produktionsforøgelsen, og hvis denne er 31%, bliver det nye energiforbrug pr. produceret enhed i forhold til det oprindelige:

$$(1,31 \cdot 0,18 + 0,82) / 1,31 = 0,80.$$

Ved en produktionsforøgelse på 31% reduceres energiforbruget pr. produceret enhed altså med 20%. Generelt fås, ved en produktionsforøgelse på  $x$  %, en energibesparelse på:

$$82 \cdot \frac{x}{100 + x} \text{ \%}.$$

I beregningerne ovenfor er det antaget, at produktionen er optimeret både før og efter produktionsforøgelsen, dvs. emnerne forlader ovnen netop i det øjeblik, hvor hærdeperioden er overstået.

På grund af IR-brænderne er ovnens samlede installerede effekt øget væsentligt, og ovnen er derfor langt hurtigere operationsklar ved opstart end før IR-boosteren blev monteret. Dette medfører også en energibesparelse, da "tomgangstabet" i forbindelse med, at ovnen startes op, reduceres.

#### 5.4 Overfladekvalitet

Den hurtige emneopvarmning som opnås ved anvendelse af IR-booster, forventes at have en positiv effekt på overfladekvaliteten af de lakerede emner. SCAN COAT's umiddelbare vurdering er da også, at der generelt kan opnås mere glatte overflader, når IR-boosteren anvendes. For at vurdere effekten mere objektivt, er der foretaget egentlige målinger af overfladekvaliteten.

SCAN COAT har gennemført en række tests for at vurdere effekten på emnernes overfladekvalitet/finish ved at anvende IR-booster. Forsøgene er udført med og uden IR-boosteren tændt med følgende parametre: Pladetykkelser: 2/6 mm; kulører: sort/hvid; materialer: aluminium/stål. Efter lakeringen er der foretaget en sammenlignende kvalitetsvurdering af DTI Plastteknologi, Sek. for Overfladeteknik. Der er målt følgende: Lagtykkelse, glans, kulør, hvidheds- og gulningsindex, slagfasthed og ruhed. Hovedresultaterne fremgår af bilag 2.

Målingerne viste, at der ikke er markant forskel på ruheden, hvadenten emnerne er forvarmet med IR-boosteren, eller udelukkende er hærdet i konvektionsovn. Der er derimod opnået en bedre hærkning, når IR-boosteren er anvendt. På baggrund af undersøgelserne konkluderes det, at ovntemperatur, ovntid samt IR-forvarmning ikke har været optimeret i forhold til pladetykkelserne. Årsagen er, at forsøgene er udført i forbindelse med produktionen, hvorfor driftparametrene ikke er tilpasset prøvepladerne. Det kan derfor ikke på grundlag af de udførte forsøg fastslås, i hvilken udstrækning anvendelsen af en IR-booster vil kunne øge kvaliteten bl.a. mht. pulverfilmens

flydning og filmdannelse. Det er dog DTI's erfaring, at ved optimal udnyttelse af IR-boosteren vil der kunne opnås en væsentligt bedre finish samt en øget slagfasthed.

## 6 Investering og driftsøkonomi

### 6.1 Gasfyret IR-system

Udgifterne til den installerede IR-booster er vist i tabel 3:

	kr.
Hardwarepris: IR-system	245.000
IR-ovn	100.000
I alt	345.000

*Tabel 3. Pris for installeret IR-booster.*

Hovedparten af hardware-beløbet, nemlig 67%, udgøres af udgifterne til IR-paneler, manifolds, mixere og elektroder. Ca. 13% af beløbet er gået til gasramper, luftsysteem og blæser, mens styre- og kontroltavlen står for ca. 20% af udgifterne. Udgifterne til IR-ovnen fordeler sig ligeligt på henholdsvis ovnkonstruktion og montage.

Med en installeret effekt på 300 kW er prisen 1150 kr./kW.

Energiprisen er i det aktuelle tilfælde ca. 0,12 kr./kWh. I modsætning til rene IR-processer udnyttes røggassernes varmeindhold, idet røgen ledes ind i konvektionsovn.

### 6.2 Elektrisk IR-system

Totalprisen for en elektrisk IR-booster er af leverandører anslået til ca. 1200-2500 kr./kW for et typisk anlæg med en effekt på 120-280 kW. NESAs anslår en vejledende pris til ca. 3000-4000 kr./kW. Der er således stor variation i de anslåede priser omkring gennemsnittet på ca. 2400 kr./kW.

Energiprisen for elektriciteten er ca. 0,38 kr./kWh.

### 6.3 Sammenligning, gas vs. el

De gasfyrede IR-paneler står stærkt i konkurrenceforholdet over for elektriske IR-paneler, hvad angår driftsudgifter til energi. Typisk er

prisen pr. kWh tre gange dyre for elektricitet end for naturgas, og hvis man antager, at totalvirkningsgraden er den samme for begge typer af IR-paneler, vil driftsudgifterne til energi for et gasfyret system være ca. en tredjedel af udgifterne til et elektrisk anlæg.

Det er vanskeligt at give nogle generelle prissammenligninger, og anlægsinvesteringen må bedømmes i hvert enkelt tilfælde. Følgende overordnede sammenhæng kan dog gives; for små anlæg (1 kW til 50 kW) uden regulering vil et elektrisk IR-system være billigst at anskaffe. For mellemstore anlæg (50 kW til 100 kW) er priserne i samme størrelsesorden. For store anlæg (100 kW til 1000 kW) er et gasbaseret IR-system billigst. Det er specielt transformeren til de elektriske anlæg, der er en dyr komponent, hvilket gør det billigere at investere i et system, der er baseret på naturgas.

Ved sammenligning af kapitalomkostningerne for de to typer anlæg er foruden investeringen også levetiden relevant. Ved pulverlakering og andre processer, hvor der kan være støv i luften, kan el-fyrede IR-panelers levetid nedsættes markant. Det skyldes, at pulver og støv sætter sig fast og smelter på panelerne. Med gasfyrede paneler holder den udstrømmende røggas evt. pulver/støv væk fra panelernes overflade, hvorved disse problemer undgås. Belægninger på IR-panelerne nedsætter endvidere strålevirkningsgraden.

Da investeringen er mindre, og levetiden er længere for et gasfyret anlæg sammenlignet med et el-anlæg, er kapitalomkostningerne derfor lavere for gasfyrede anlæg i denne størrelse.

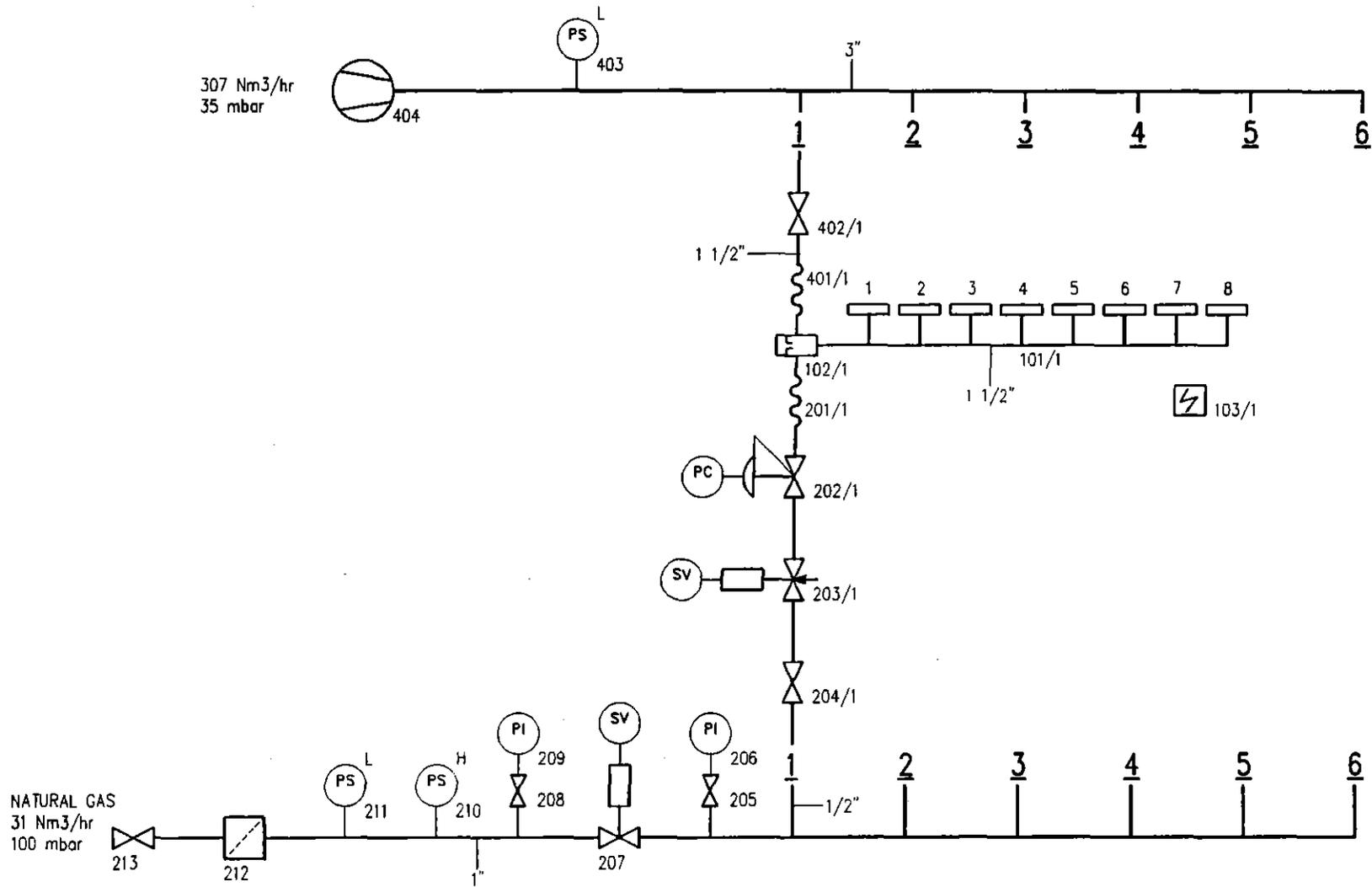
Af afsnit 6.1 og 6.2 fremgår det, at el koster over 3 gange så meget som gas pr. kWh, og da totalvirkningsgraden skønnes at være sammenlignelige for den betragtede anlægstype, er energiudgifterne ved anvendelse af gas altså også kun ca. 1/3 af omkostningen ved et tilsvarende el-anlæg.

På baggrund af ovenstående kan det derfor konkluderes, at for anlæg, som er sammenlignelige med SCAN COAT's, er det økonomisk fordelagtigt at anvende gasfyrede IR-boostere frem for el-boostere.

## Referencer

1. ACOTECH, Radiation characteristics of the Metal Fibre Burner. Doc 09/01 200193. Belgium, 1993.
2. Person. P. Papperstorkning med gas-IR. Sammenfatning av ett antal FUD-projekt. Rapport SGC 025, September 1992.
3. Yetman. M. E. Evaluation of Infrared Generators. International Gas Research Conference, vol II, p. 2401, Orlando, U.S.A., 1992.
4. Madsen. O. H. et al. Infrared Flux Matching for Improved Radiant Heating. International Gas Research Conference, vol II, p. 2025, Orlando, U.S.A., 1992.
5. Gas-fuelled Infrared Heaters, Natural gas and the Textile Industry. Gas de France, 1987.
6. Ruiz. R. et al. Enhanced Infrared Burner System. International Gas Research Conference, vol II, p. 2410, Orlando, U.S.A., 1992.
7. Madsen O. H.; Numerical modelling of infrared heating processes, 3rd european conference on industrial furnaces and boilers, INFUB, 18-21 April 1995, Lisbon, Portugal.

## Flowsheet for IR-booster



ANDERUNG	DATUM
----------	-------

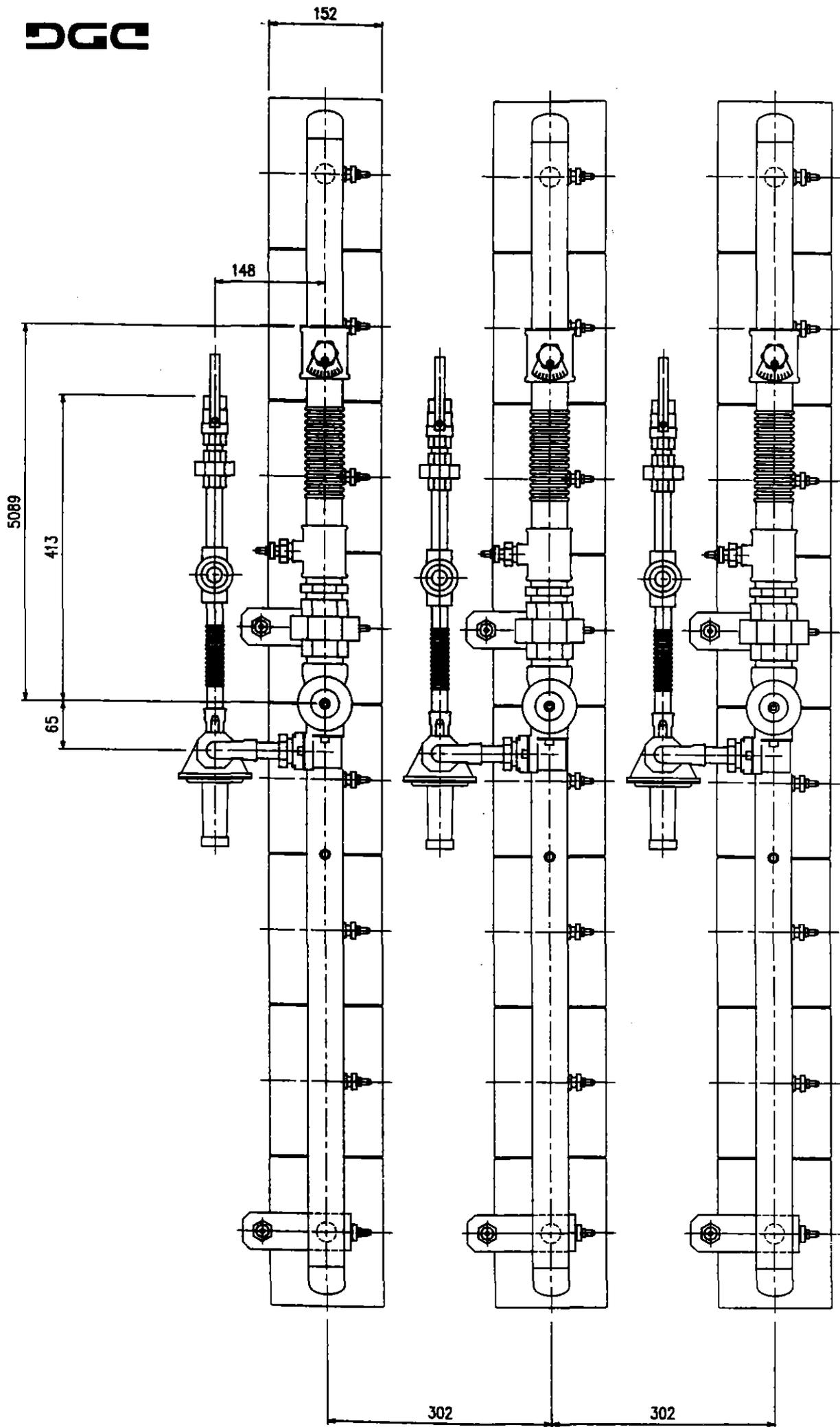
FLOWSHEET  
 MFE 2015



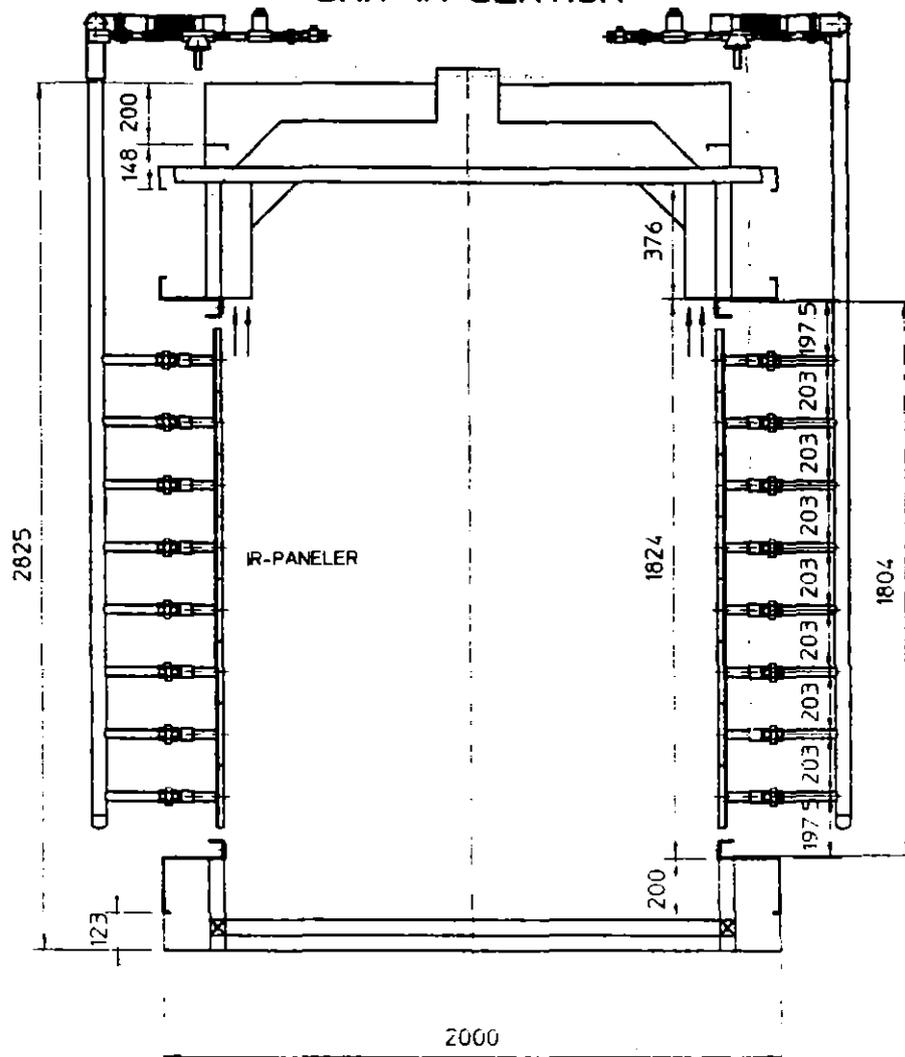
DANISH GAS  
 TECHNOLOGY CENTER  
 HØRSHOLM DENMARK

BEARB. RN	GEPR.
DATUM	09-03-94
BLATT	1 AUS 1
A3-94.135-1	

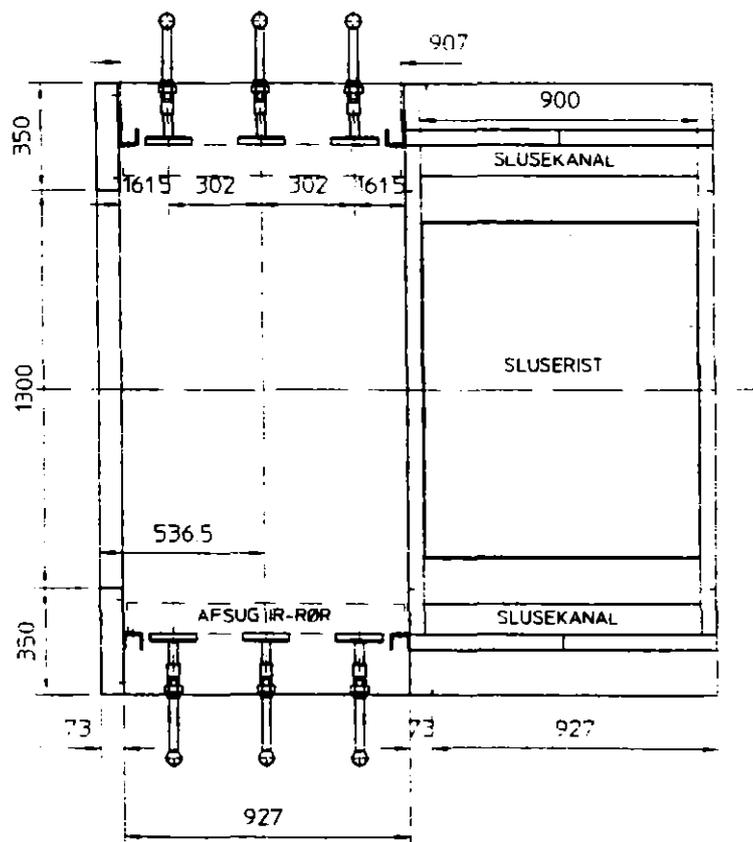
DGC



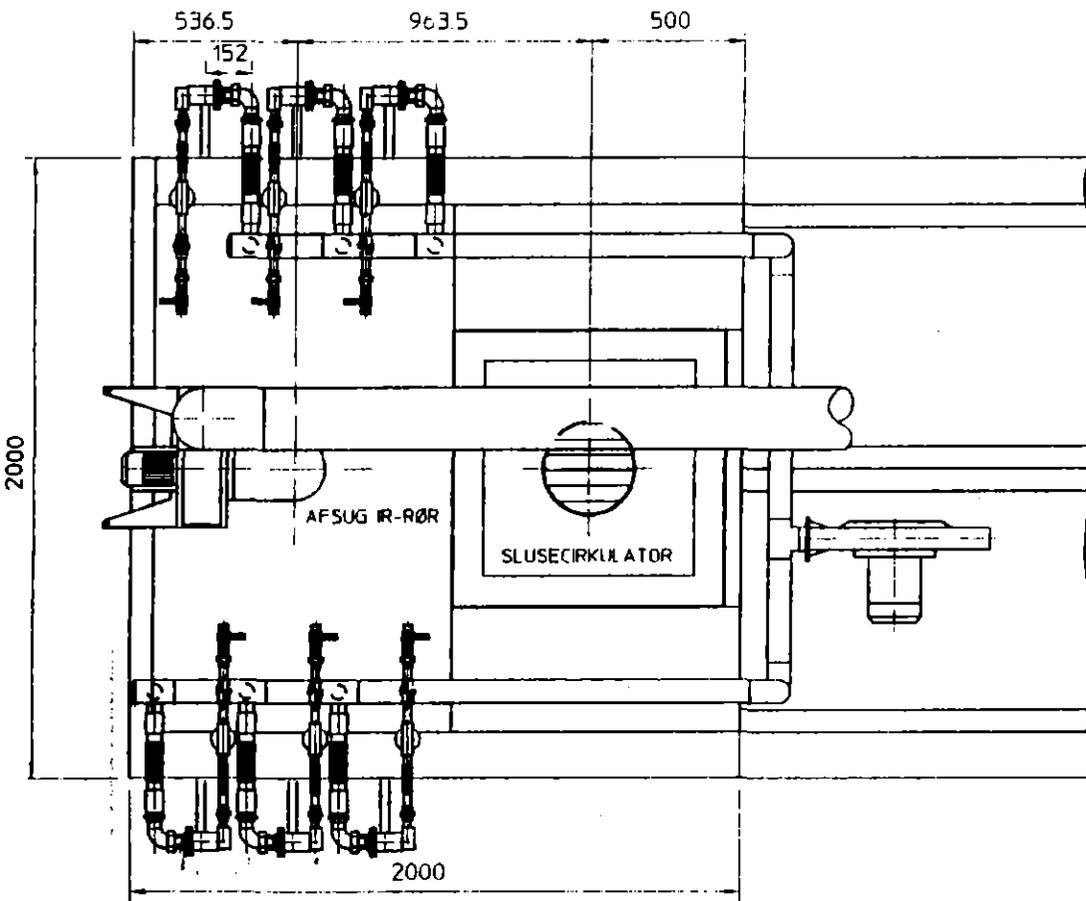
SNIT IR-SEKTION



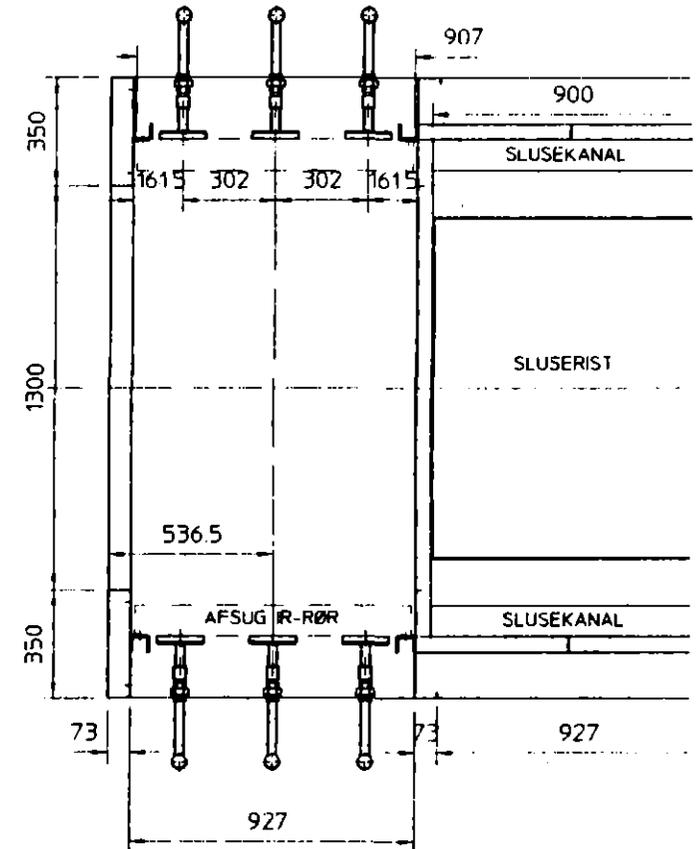
HORISONTALSNIT NY SEKTION



TOP NY SEKTION



HORISONTALSNIT NY SEKTION



**Kvalitetsvurdering/Dansk Teknologisk Institut**



Dansk Gasteknisk Center a/s  
 Att.: Ole H. Madsen  
 Naturgassens Hus  
 Dr. Neergaards Vej 5A  
2970 Hørsholm

1995.09.21  
 sbe-mn/eta  
 320-53489/60

25 SEP. 1995

AMS

### Demonstrationsprojekt. N-gasopvarmet IR-Booster

Efter aftale har Dansk Teknologisk Institut gennemført en sammenlignende kvalitetsvurdering af pulverlakerede prøveemner, hærdet henholdsvis med og uden anvendelse af IR-Booster.

#### Modtagne prøveemner

Underlagsmateriale: Stål og aluminium

Forbehandling: Stål: Zinkfosfatering  
 Aluminium: Chromatering

Emnetykkelse: 2 og 6 mm

Hærdet i ovn: Top, midt og bund

Hærdemetode: Konvektionsovn og IR+konvektionsovn

Behandling: I sort og hvid kulør

Hærdebetingelser, herunder tid og temperatur er ikke oplyst.

#### Oplyst behandling

**SORT BEHANDLING**

Type: Polyester, PE-F kvalitet

Glans: 30 ± 7

Slagfasthed: 0,46 kg·m ved filmlagtykkelse på 50-60 µm

Dansk Teknologisk Institut

Taastrup

Gregersensvej  
 Postboks 141  
 DK-2630 Taastrup

Telefon 43 50 43 50  
 Telefax 43 50 72 50  
 Giro 4 65 65 63

Teknologiparken  
 DK-8000 Århus C

Telefon 89 43 89 43  
 Telefax 89 43 89 89  
 Giro 4 65 65 63



## HVID BEHANDLING

Type: Polyester, PE-F kvalitet

Glans:  $77 \pm 7$

Slagfasthed: 0,46 kg·m ved filmlagtykkelse på 50-60  $\mu\text{m}$

### Gennemførte undersøgelser

ISO 2808:1991	Måling af lagtykkelse
ISO 2813:1994	Måling af glans, 60° vinkel
DS/ISO 7724:1986	Måling af kulør
ASTM E 313-73 (1987)	Hvidheds- og gulningsindex
ISO 6272:1993	Slagfasthed
DS/ISO 4287:1986	Ruhed

### Resultater

Detailresultater fremgår af vedlagte bilag 1 til 4

### Kommentarer til de opnåede resultater

Generelt er der ikke forskel på den opnåede kvalitet, hvad enten emnerne er hærdet i ovn: Top, midt eller bund.

De målte lagtykkelser svinger meget fra emne til emne, men de opnåede resultater kan ikke relateres til forskelle i lagtykkelserne.

På de hvide emner er der udregnet hvidheds- og gulningsindex, og resultatet er stort set ens for samtlige emner.

**Resultatoversigt, gennemsnitsværdier**

Underlag	Emnetykkelse, mm	Sorte emner						Hvide emner					
		Glans (23-37)		Ruhed, $R_a$		Slagfasthed, bagside 0,36 kg·m		Glans (70-84)		Ruhed, $R_a$		Slagfasthed, bagside 0,36 kg·m	
		K	IR+K	K	IR+K	K	IR+K	K	IR+K	K	IR+K	K	IR+K
Stål	2	29	29	0,8	0,8	÷	÷	80	82	0,2	0,3	÷	+
	6	72	60	0,5	0,5			91	57	0,2	0,3		
Aluminium	2	32	33	0,7	0,6	÷	÷	81	80	0,2	0,2	÷	+
	6	32	27	1,0	0,8			63	75	0,3	0,1		

K: Konvektionsovn

IR+K: IR+konvektionsovn

Slagprøve: + = Klarer testen uden revner

÷ = Klarer ikke testen, der observeres revner

Af resultaterne fremgår det, at glansen er uden for det specificerede på 6 mm stålplade i såvel sort som hvid kulør. Endvidere er glansen uden for det specificerede på 6 mm aluminium i hvid kulør, hærde i konvektionsovn.

Generelt er der sket en mangelfuld hærkning på emner i 6 mm tykkelse.

Der er ikke markant forskel på ruheden, hvadenten emnerne er hærde i konvektionsovn eller IR+konvektionsovn. Den hvide behandling har en mindre ru overflade end den sorte behandling, men forskellen i ruhed kan med stor sandsynlighed henføres til forskelle i de filmdannende egenskaber for de respektive pulvermaterialer.

Såvel sorte som hvide emner kan på forsiden klare en slagenergi på 0,73 kg·m. På bagsiden kan sorte emner ikke klare en slagenergi på 0,18 kg·m, mens hvide emner kan klare en slagenergi på 0,73 kg·m, når de er hærde ved IR+konvektionsovn. Bagsider på hvide emner kan ikke klare en slagenergi på 0,36 kg·m, når de er hærde i konvektionsovn.

**Konklusion**

Ud fra resultatet af undersøgelserne kan vi konkludere følgende:

Ved fremstilling af prøvepladerne har hverken ovntemperatur hhv. ovntid samt IR-forvarmningen været optimeret i forhold til aktuelle pladetykkelser.

Ved både konvektionshærkning og ved IR-konvektion udviste de 6 mm sorte emner en højere glans end specificeret af pulverleverandøren, hvilket er sikkert tegn på, at pulvermalingen er mangelfuldt udhærde.



Ligeledes viser de 2 mm prøveplader generelt mangelfuld slagfasthed vurderet på bagsider. Hvide emner hærdes ved IR + konvektion klarer det specificerede krav både på for- og bagsider.

På grundlag af den mangelfulde optimering af hærdeparametrene er det ikke muligt at fastslå, i hvilken udstrækning anvendelsen af en IR-booster vil kunne øge kvaliteten bl.a. mht. pulverfilmens flydning og filmdannelse.

Det er dog vor erfaring, at udnyttes en IR-booster optimalt, vil der kunne opnås en væsentligt bedre finish mht. filmdannelse samt en øget slagfasthed, end der normalt kan opnås i en traditionel konvektionsovn.

Vi drøfter gerne de opnåede resultater nærmere.

Med venlig hilsen  
DTI Plastteknologi  
Sek. for Overfladeteknik

  
Søren Bender  
Ingeniør

Telefon: 43 50 42 44 (direkte)  
Telefax: 43 50 72 23

  
Majken Nissen  
Akademiingeniør

Telefon: 43 50 42 44 (direkte)

96-04-02

## RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
001	Systemoptimering vad avser ledningstryck	Apr 91	Stefan Grudén TUMAB	100
002	Mikrokraftvärmeverk för växthus. Utvärdering	Apr 91	Roy Ericsson Kjessler & Mannerstråle AB	100
004	Krav på material vid kringfyllnad av PE-gasledningar	Apr 91	Jan Molin VBB VIAK	50
005	Teknikstatus och marknadsläge för gasbaserad minikraftvärme	Apr 91	Per-Arne Persson SGC	150
006	Keramisk fiberbrännare - Utvärdering av en demo-anläggning	Jan 93	R Brodin, P Carlsson Sydkraft Konsult AB	100
007	Gas-IR teknik inom industrin. Användnings- områden, översiktlig marknadsanalys	Aug 91	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	100
009	Läcksökning av gasledningar. Metoder och instrument	Dec 91	Charlotte Rehn Sydkraft Konsult AB	100
010	Konvertering av aluminiumsmältugnar. Förstudie	Sep 91	Ola Hall, Charlotte Rehn Sydkraft Konsult AB	100
011	Integrerad naturgasanvändning i tvätterier. Konvertering av torktumlare	Sep 91	Ola Hall Sydkraft Konsult AB	100
012	Odöranter och gasolkondensats påverkan på gasrörssystem av polyeten	Okt 91	Stefan Grudén, F. Varmedal TUMAB	100
013	Spektralfördelning och verkningsgrad för gaseldade IR-strålare	Okt 91	Michael Johansson Drifttekniska Institut. vid LTH	150
014	Modern gasteknik i galvaniseringsindustri	Nov 91	John Danelius Vattenfall Energisystem AB	100
015	Naturgasdrivna truckar	Dec 91	Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	100
016	Mätning av energiförbrukning och emissioner före o efter övergång till naturgas	Mar 92	Kjell Wanselius KW Energiprodukter AB	50
017	Analys och förslag till handlingsprogram för området industriell vätskevärmning	Dec 91	Rolf Christensen AF-Energikonsult Syd AB	100
018	Skärning med acetylen och naturgas. En jämförelse.	Apr 92	Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	100

96-04-02

## RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
019	Läggning av gasledning med plöjteknik vid Glostorp, Malmö. Uppföljningsprojekt	Maj 92	Fallsvik J, Haglund H m fl SGI och Malmö Energi AB	100
020	Emissionsdestruktion. Analys och förslag till handlingsprogram	Jun 92	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
021	Ny läggningsteknik för PE-ledningar. Förstudie	Jun 92	Ove Ribberström Ove Ribberström Projekt. AB	150
022	Katalog över gastekniska FUD-projekt i Sverige. Utgåva 4	Aug 92	Svenskt Gastekniskt Center	150
023	Läggning av gasledning med plöjteknik vid Lillhagen, Göteborg. Uppföljningsproj.	Aug 92	Nils Granstrand m fl Göteborg Energi AB	150
024	Stumsvetsning och elektromuffsvetsning av PE-ledningar. Kostnadsaspekter.	Aug 92	Stefan Grudén TUMAB	150
025	Papperstorkning med gas-IR. Sammanfattning av ett antal FUD-projekt	Sep 92	Per-Arne Persson Svenskt Gastekniskt Center	100
026	Koldioxidgödning i växthus med hjälp av naturgas. Handbok och tillämpn.exempel	Aug 92	Stig Arne Molén m fl	150
027	Decentraliserad användning av gas för vätskevärmning. Två praktikfall	Okt 92	Rolf Christensen AF-Energikonsult	150
028	Stora gasledningar av PE. Teknisk och ekonomisk studie.	Okt 92	Lars-Erik Andersson, Åke Carlsson, Sydkraft Konsult	150
029	Catalogue of Gas Techn Research and Development Projects in Sweden (På engelska)	Sep 92	Swedish Gas Technology Center	150
030	Pulsationspanna. Utvärdering av en demo-anläggning	Nov 92	Per Carlsson, Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	150
031	Detektion av dräneringsrör. Testmätning med magnetisk gradiometri	Nov 92	Carl-Axel Triumpf Triumpf Geophysics AB	100
032	Systemverkn.grad efter konvertering av vattenburen elvärme t gasvärme i småhus	Jan 93	Jonas Forsman Vattenfall Energisystem AB	150
033	Energiuppföljning av gaseldad panncentral i kvarteret Malörten, Trelleborg	Jan 93	Theodor Blom Sydkraft AB	150
034	Utvärdering av propanexponerade PEM-rör	Maj 93	Hans Leijström Studsvik AB	150

96-04-02

## RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
035	Hemmatankning av naturgasdriven personbil. Demonstrationsprojekt	Jun 93	Tove Ekeborg Vattenfall Energisystem	150
036	Gaseldade genomströmningsberedare för tappvarmvatten i småhus. Litteraturstudie	Jun 93	Jonas Forsman Vattenfall Energisystem	150
037	Verifiering av dimensioneringsmetoder för distributionsledningar. Litt studie.	Jun 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
038	NOx-reduktion genom reurning med naturgas. Fullskaleförsök vid SYSAV i Malmö	Aug 93	Jan Bergström Miljökonsulterna	150
039	Pulserande förbränning för torkändamål	Sep 93	Sten Hermodsson Lunds Tekniska Högskola	150
040	Organisationer med koppling till gasteknik utvecklingsverksamhet	Feb 94	Jörgen Thunell SGC	150
041	Fältsortering av fyllnadsmassor vid läggning av PE-rör med läggningsbox.	Nov 93	Göran Lustig Elektro Sandberg Kraft AB	150
042	Deponigasens påverkan på polyetenrör.	Nov 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
043	Gasanvändning inom plastindustrin, handlingsplan	Nov 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
044	PA 11 som material ledningar för gasdistribution.	Dec 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
045	Metoder att höja verkningsgraden vid avgaskondensering	Dec 93	Kjell Wanselius KW Energiprodukter AB	150
046	Gasanvändning i målerier	Dec 93	Charlotte Rehn et al Sydkraft Konsult AB	150
047	Rekuperativ aluminiumsmältugn. Utvärdering av degelugn på Värnamo Pressgjuteri.	Okt 93	Ola Hall Sydkraft Konsult AB	150
048	Konvertering av dieseldrivna reservkraftverk till gasdrift och kraftvärmeprod	Jan 94	Gunnar Sandström Sydkraft Konsult AB	150
049	Utvecklad teknik för gasinstallationer i småhus	Feb 94	P Kastensson, S Ivarsson Sydgas AB	150
050	Korrosion i flexibla rostfria insatsrör (Finns även i engelsk upplaga)	Dec 93	Ulf Nilsson m fl LTH	150

96-04-02

## RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
051	Nordiska Degelugnsprojektet. Pilot- och fältförsök med gasanvändning.	Nov 93	Eva-Maria Svensson Glafo	150
052	Nordic Gas Technology R&D Workshop. April 20, 1994. Proceedings.(På engelska)	Jun 94	Jörgen Thunell, Editor Swedish Gas Center	150
053	Tryckhöjande utrustning för gas vid metallbearbetning -- En förstudie av GT-PAK	Apr 94	Mårten Wärnö MGT Teknik AB	150
054	NOx-reduktion genom injicering av naturgas i kombination med ureainsprutning	Sep 94	Bent Karll, DGC P Å Gustafsson, Miljökons.	100
055	Trevägs-katalysatorer för stationära gasmotorer.	Okt 94	Torbjörn Karlelid m fl Sydkraft Konsult AB	150
056	Utvärdering av en industriell gaseldad IR-strålare	Nov 94	Johansson, M m fl Lunds Tekniska Högskola	150
057	Läckagedetekteringssystem i storskaliga gasinstallationer	Dec 94	Fredrik A Silversand	150
058	Demonstration av låg-NOx-brännare i växthus	Feb 95	B Karll, B T Nielsen Dansk Gasteknisk Center	150
059	Marknadspotential naturgaseldade industriella IR-strålare	Apr 95	Rolf Christensen Enerkon RC	150
060	Rekommendationer vid val av flexibla insatsrör av rostfritt i villaskorstenar	Maj 95	L Hedeem, G Björklund Sydgas AB	50
061	Polyamidrör för distribution av gasol i gasfas. Kunskapssammanställning	Jul 95	Tomas Tränkner Studsvik Material AB	150
062	PE-rörs tålighet mot yttre påverkan. Sammanställning av utförda praktiska försök	Aug 95	Tomas Tränkner Studsvik Material AB	150
063	Naturgas på hjul. Förutsättningar för en storskalig satsning på NGV i Sverige	Aug 95	Naturgasbolagens NGV- grupp	150
064	Energieffektivisering av större gaseldade pannanläggningar. Handbok	Aug 95	Lars Frederiksen Dansk Gasteknisk Center	200
065	Förbättra miljön med gasdrivna fordon	Aug 95	Göteborg Energi m fl	150
066	Konvertering av oljeeldade panncentraler till naturgas. Handbok.	Nov 95	Bo Cederholm Sydkraft Konsult AB	150

96-04-02

**RAPPORTFÖRTECKNING**

<b>SGC Nr</b>	<b>Rapportnamn</b>	<b>Rapport datum</b>	<b>Författare</b>	<b>Pris kr</b>
067	Naturgasmodellen. Manual för SMHI:s program för beräkn av skorstenshöjder	Dec 95	Tingnert B, SKKB Thunell J, SGC	150
068	Energigas och oxyfuelteknik	Dec 95	Ingemar Gunnarsson Energi-Analys AB	150
069	CO2-gödning med avgaser från gasmotor med katalysator	Dec 95	Bent Karll Dansk Gasteknisk Center	150
070	Utvärdering av naturgasförbränning i porösa bäddar	Mar 96	Henric Larsson Lunds Tekniska Högskola	150
071	Utvärdering av naturgasdrivna IR-boostar i ugn för pulverlackering	Nov 95	Ole H Madsen Asger N Myken	150
A01	Fordonstankstation Naturgas. Parallellkoppling av 4 st Fuel Makers	Feb 95	Per Carlsson Göteborg Energi	50
A02	Uppföljning av gaseldade luftvärmare vid Arlövs Sockerraffinaderi	Jul 95	Rolf Christensen Enercon RC	50
A03	Gas användning för färjedrift. Förstudie (Endast för internt bruk)	Jul 95	Gunnar Sandström Sydkraft Konsult	0
A04	Bussbiller. Förslag till mätprogram	Jun 95	Ingemar Carlsson Ecotrans Teknik AB	50
A05	Värmning av vätskor med naturgas - Bakgrund till faktablad	Okt 95	Rolf Christensen Enerkon RC	50
A06	Isbildning i naturgasbussar och CNG-system (Endast för internt bruk)	Nov 95	Volvo Aero Turbines Sydgas, SGC	0
A07	Större keramisk fiberbrännare. Förstudie	Jan 96	Per Carlsson Sydkraft Konsult	50



**Svenskt Gastekniskt Center AB**

---

---

S-205 09 MALMÖ  
Telefon: 040-24 43 10  
Telefax: 040-24 43 14

KFS AB, LUND