
Rapport SGC 025

PAPPERSTORKNING MED GAS-IR
Sammanfattning av ett antal FUD-projekt

Per-Arne Persson
Svenskt Gastekniskt Center AB

September 1992



Rapport SGC 025
ISSN 1102-7371
ISRN SGC-R--25--SE

SGC:s FÖRORD

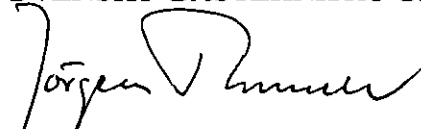
FUD-projekt inom Svenskt Gastekniskt Center AB avrapporteras normalt i rapporter som är fritt tillgängliga för envar intresserad.

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 f n följande delägare: Svenska Gasföreningen, Vattenfall Naturgas AB, Sydgas AB, Vattenfall AB, Sydkraft AB, Göteborg Energi AB och M.E.Malmö Energi AB.

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB



Jörgen Thunell

Sammanfattning av FUD-projekten

I flera av projekten har strålnings- och totalverkningsgraden för IR-strålare i torkapplikationer undersökts. Varierande värden har rapporterats, särskilt vad gäller strålningsverkningsgraden. Finska mätningar utförda vid VTT på keramiska strålare har visat på strålningsverkningsgrader i intervallet 36 - 42 % för strålare som förekommer på marknaden. DTI i Malmö har vid sina mätningar nått värden på ca 60 % för en strålare med keramiskt fibermaterial.

Totalverkningsgraden, dvs hur stor andel av inmatad effekt som tas tillvara i torkförloppet, är det intressantaste måttet för en verklig installation och några sådana värde redovisas av Neste och CTP. Nestes mätningar visar på runt 45 % för gas-IR och under 40 % för el-IR i en viss applikation. CTP redovisar för gas-IR 45 % för fluting med ytvikt 115 g/m² och 35 - 40 % för ett vitt baspapper med ytvikt 47 g/m². Motsvarande för en el-IR blev 45 % respektive 25 - 30 %. Således var el-IR sämre för den lägre ytvikten.

Tester i Finland visar att man uppnår minst lika bra kvalitet på ett bestruket papper som torkas med gas-IR som med el-IR.

Försök att påvisa autoprofilering med gas-IR har inte varit lyckosamma. Effekten var jämförbar med det man uppnår med en lufttork.

Varmpressning går utmärkt att utföra med ånglåda eller gas-IR, visar kanadensiska försök. Resultat och energiförbrukning är jämförbara. Man fick en klart positiv effekt på papprets torrhalt efter presspartiet.

Vill man öka kapaciteten hos en pappersmaskin, som är begränsad av sitt torkparti, kan detta ske genom installation av t ex en gas-IR. Verkningsgraden är dock lägre än för en cylindertork.

Innehållsförteckning

	<u>Sid</u>	
1	Inledning	2
2	Kortfattad teori	2
3	Marknad för gas-IR, sydsvensk pappersindustri	4
4	FUD-projekt kring gas-IR	4
4.1	Spektralfördelning och verkningsgrader för gaseldade IR-strålare Driftekniska Institutionen vid LTH	4
4.2	The use of Ceramic Burners in Paper Drying VTT, Finland	5
4.3	IGRC 1989. Infrared drying of Coated Paper Pontus Mattsson, Jaana Pelkonen, Arto Riikonen, Neste Oy	7
4.4	Efficiencies of different types of IR-dryers Tekniska Högskolan, Helsingfors	9
4.5	Autoprofilering CTP, Frankrike och Tekniska Högskolan, Helsingfors	11
4.6	En jämförelse mellan ång- och IR-värmning för varmpressning Paprican, Kanada	13
4.7	Radiation Heating to Increase Machine Production CTP, Frankrike	14
5	Referenser	17

Papperstorkning med gas-IR

1 Inledning

Infraröd torkning används inom pappersindustrin dels för att torka själva pappersbanan eller de bestrykningar som gjorts med papperet som bas, dels för att korrigera papperets fuktprofil. Den användning som dominerar är torkning av bestruket papper. I Sverige finns ca 90 % av den installerade IR-effekten i bestrykningstorkar.

I Sverige finns i dag endast två gas-IR anläggningar installerade. En äldre, från ca 1980 av fabrikat Krieger, samt en, av fabrikat Impact, som installerats 1991 på MODO Husumsfabriker. El-IR är i dag den dominerande typen inom svensk pappersindustri.

Situationen är annorlunda i flertalet andra länder, som har tillgång till gas. T ex i Finland var också el-IR helt dominerande under början av 1980-talet. Genom en målmedveten satsning från Neste Oy (naturgasdistributör i Finland) på dels marknadsföring av gas-IR till pappersindustrin men också på ett antal FUD-projekt där man jämförde el- och gas-IR:s verkningsgrader m m samt deras inverkan på papperskvaliteten vid torkning, har man vänt trenden och under senare delen av 1980-talet installerades gas-IR i allt större omfattning.

Enligt en uppgift från mitten av 80-talet hade en tysk tillverkare fram till 1985 installerat 443 gas-IR anläggningar på pappersmaskiner runt om i världen. Av dessa fanns 148 st i Tyskland varav 35 hos Feldmühle (ägs av STORA-koncernen).

Under senare år har ett antal FUD-projekt genomförts, såväl i Sverige som i flera andra länder, i syfte att bättre belysa gas-IR:s egenskaper och möjligheter. Resultaten från några av de mer intressanta projekten presenteras i sammandrag nedan.

2 Kortfattad teori

Värme kan överföras genom ledning, konvektion eller strålning. Värmestrålning är, i likhet med t ex synligt ljus, elektromagnetisk strålning. Våglängdsområdet, som i första hand bidrar till värmeöverföring, är strålning med våglängder mellan 0,75 och 1000 μm (se fig 2.1). Detta område brukar kallas det infraröda området. Den överförda värmemängden per ytenhet kan ökas kraftigt genom att utnyttja strålning istället för konvektion. Detta innebär också att en IR-tork i regel kan göras betydligt kompaktare än en konvektiv tork.

När strålningen träffar materialet som skall värmas kommer den infallande strålningen att antingen reflekteras, absorberas eller transmitteras (se fig 2.2). Summan av reflekterad, absorberad och transmitterad strålning är lika med infallande strålning, dvs $\alpha + \tau + \zeta = 1$.

Verkningsgraden för en IR-tork kan uttryckas som förhållandet mellan den nyttiga effekt som materialet upptar i form av värme och den till IR-strålaren tillförda effekten. Av detta framgår att det speciellt är två parametrar som är av betydelse för torkningsförloppets verkningsgrad: IR-strålarens strålningsverkningsgrad, dvs hur stor del av den tillförda energin som omsättes till strålningsenergi, och materialets absorptionskoefficient, α , för det våglängdsområde som

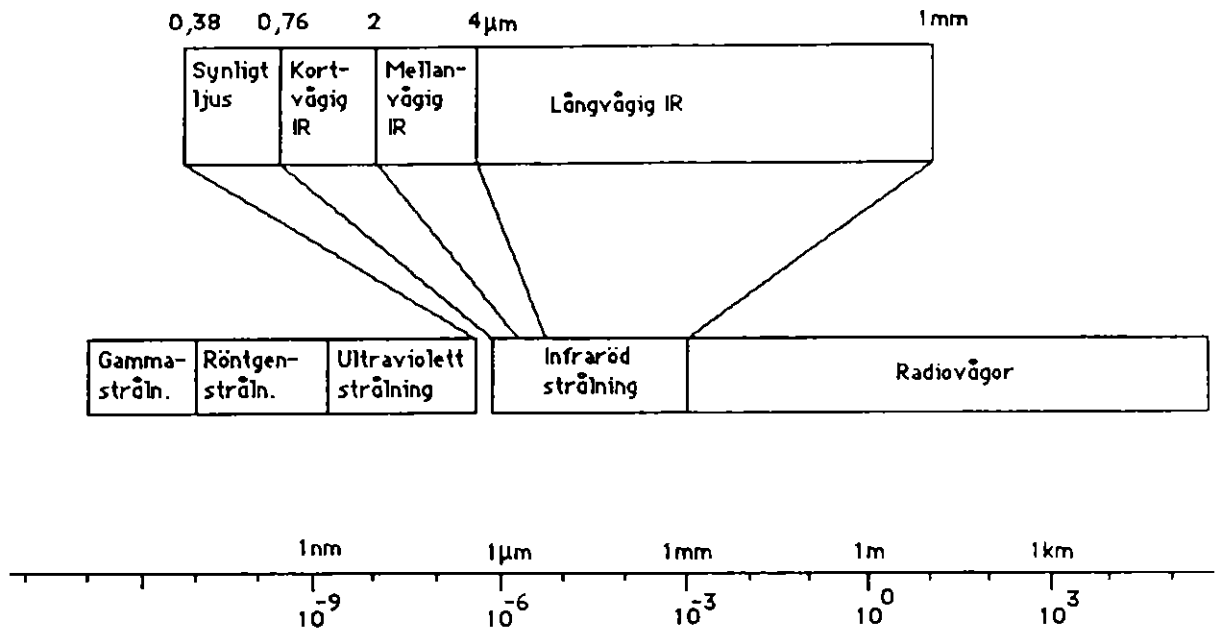


Fig 2.1 Elektromagnetisk strålning. Olika våglängdsområden

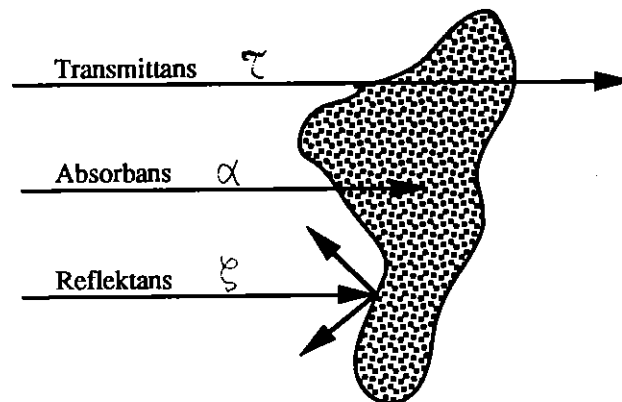


Fig 2.2 Absorberad, transmitterad och reflekterad strålning

strålaren omfattar. Exempel på hur absorptionsspektra kan se ut för vatten och papper visas i fig 2.3. Utseendet på dessa diagram är bl a beroende av skiktjocklek. Av dessa diagram kan man dra slutsatsen att IR-strålning som användes för torkning av fuktigt papper bör ha en våglängd från 3 μm och uppåt.

Vid passagen från strålare till material sker också en viss absorption i framförallt koldioxid och vattenånga som finns i det mellanliggande luftlagret. Vattenånga har t ex ett kraftigt absorptionsband i området $\lambda = 2,2 \dots 3,3 \mu\text{m}$, koldioxid i området $\lambda = 4,0 \dots 4,8 \mu\text{m}$. Det är därför av vikt att ha en sådan luftväxling mellan strålare och material att man håller en låg koncentration av vattenånga och koldioxid i mellanrummet.

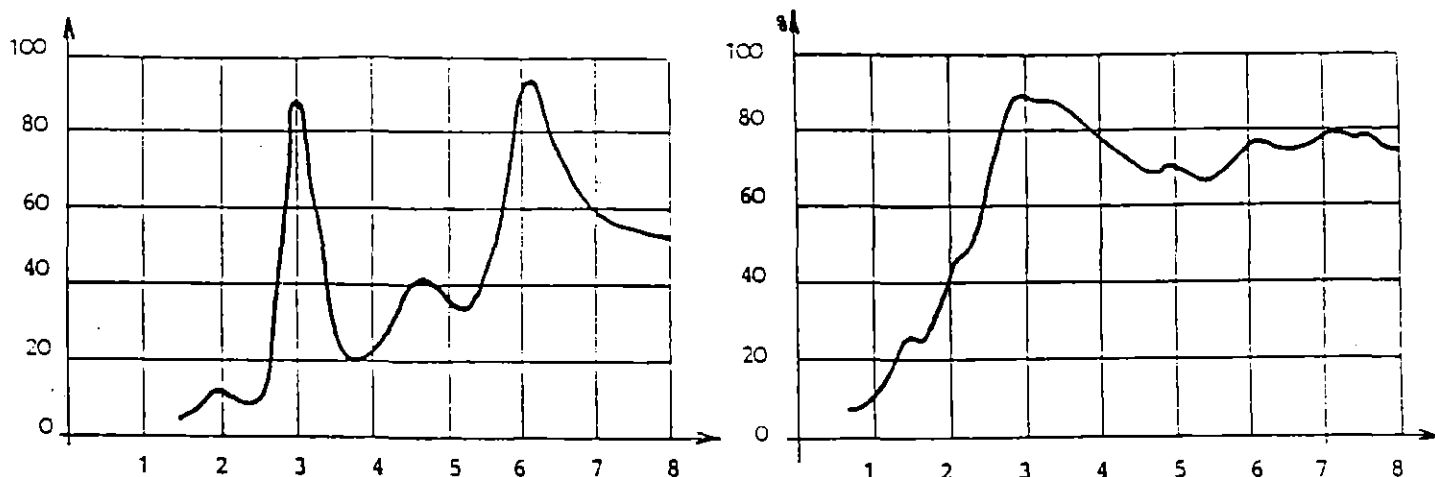


Fig 2.3 Absorptionsspektra för vatten och torrt papper

3 Marknad för gas-IR, Sydsvensk pappersindustri

SwedeGas gav i mars 1989 Jaakko Pöyry AB i uppdrag att utreda användningen av IR i svenska pappersbruk söder om Gävle samt diskutera framtida potential och marknadsmöjligheter för gas-IR i pappersindustrin.

Resultatet av undersökningen blev att det 1989 fanns IR installerat i 16 av 38 pappersbruk från Gävle och söderut. Bestrykningstorkning var helt dominerande och omfattade 90 % av den totalt installerade effekten på 26,5 MW. Endast en gaseldad IR på 1 MW var installerad, resten på el.

Det som framförallt kan påverka en utveckling mot ökad IR-användning i framtiden är att den snabbast växande produktgruppen är bestrukna papperskvaliteter, så har t ex Nymölla den största bestrykningsmaskinen för finpapper i Europa. Denna maskin har idag el-IR.

I rapporten anges också ett antal skäl till varför elen dominerar så kraftigt över gasen som energikälla i den här applikationen. Priset är naturligtvis en viktig faktor. Vidare anser man att gasinstallationer tar större plats. Man bortser då från utrymmeskrävande ställverk och transformatorer. Vidare lever föreställningen kvar att el-IR har ett gynnsammare våglängdsområde. Ett antal av de undersökningar som refereras nedan visar att så inte är fallet.

Avgörande för den framtida utvecklingen för gas-IR i Sverige är naturligtvis tillgången till gas, men också de kostnads fördelar som en gas-IR kan ge t ex genom produktutveckling hos tillverkarna av IR-utrustning.

4 FUD-projekt kring gas-IR

4.1 Spektralfördelning och verkningsgrader för gaseldade IR-strålare

Projektet har genomförts vid Drifttekniska Institutionen vid LTH av högskoleadjunkt Michael Johansson.

Med en för ändamålet inköpt infrarödspektrometer, typ Perkin Elmer modell 1760 (s k FTIR-spektrometer) har strålningsspektra samt strålningsverkningsgrader för två gas-IR strålare undersökts.

Den strålare, på vilken mest omfattande mätningar genomförts, är av fabrikat Marsden där den strålände ytan består av en keramisk fiberplatta. Gas/luft blandningen förbränns i fiberplattans ytskikt, se fig 4.1.1. Maximalt tillförd gas-effekt är 75 kW och rökgaserna lämnar plattan med temperaturen ca 1 030 °C.

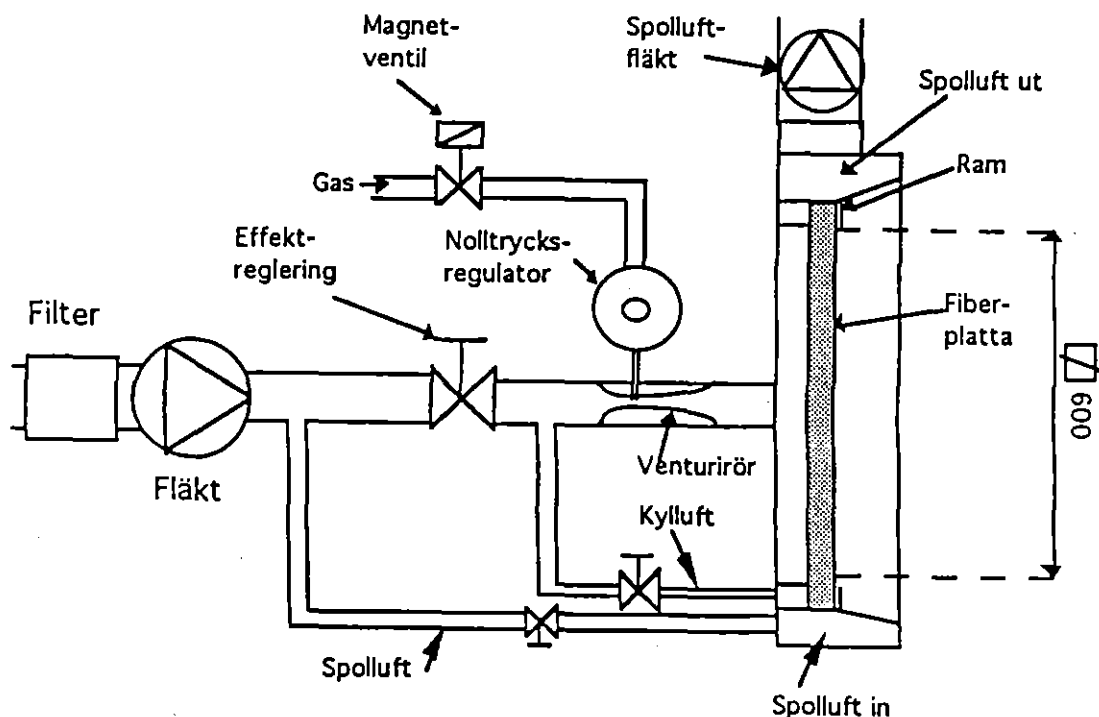


Fig 4.1.1 Marsdenstrålare, principskiss

I fig 4.1.2 visas emissionsspektra för Marsdenstrålaren vid effekten 74 kW och i tre olika mätpunkter på plattan. Som jämförelse finns också emissionspektra för en s k svartkroppsstrålare inlagd i diagrammet. I emissionsspektret finns två stora toppar där strålarens spektra kraftigt avviker från en svartkroppsstrålare. Dessa båda toppar kan hänföras till komponenter i förbränningsgaserna. Toppen vid 2,5 - 3 μm kommer från vattenångan och toppen vid 4,2 - 4,8 μm från koldioxiden.

Genom att integrera ytan under kurvan får man den totala strålningseffekten över hela våglängdsområdet. Med hjälp av denna och tillförd gaseffekt kan man beräkna strålningsverkningsgraden. Denna låg för Marsdenstrålaren vid ca 60 %.

Av den totalt uppmätta strålningseffekten kommer ca 20 % från gasstrålning (vattenånga och koldioxid). Detta betyder att om man räknar bort denna del faller strålningsverkningsgraden från 60 % till ca 48 %.

Förutom strålningsmätningar har också emissioner från strålningspanelen uppmätts. Vid gaseffekten 74 kW uppmättes koncentrationen av CO till 55 ppm och NO_x till under 5 ppm vid ca 2 % O₂ i rökgaserna.

4.2 The use of Ceramic Burners in Paper Drying

Projektet har genomförts vid Tekniska Forskningscentralen (VTT), Finland av Harri Kiiskinen och Kari Edelmann. Det ingår i de finska programmet Raina (Fiber) som stöds av Industri- och Handelsministeriet.

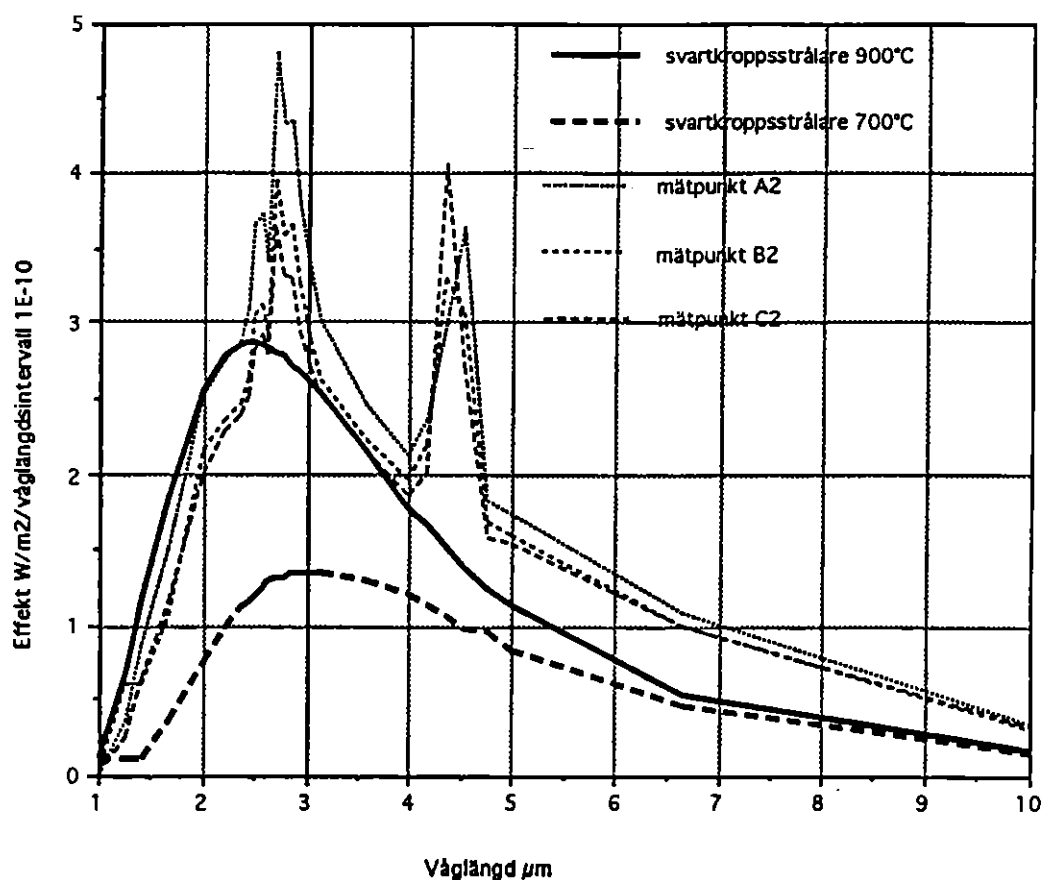


Fig 4.1.2 Emissionsspektra från Marsden-strålaren och svartkroppsstrålare
Tillförd gaseffekt 74 kW

Den här redovisade sammanfattningen bygger på ett föredrag vid en papperstorkningskonferens i Helsingfors 1991. Den fullständiga projektrapporten är endast tillgänglig på finska.

Inom ramen för projektet har följande undersökningar genomförts:

- strålningsegenskaper och emissioner för en gaseldad keramisk IR-strålare
- prov med en keramisk strålare i en pilotbetrykare
- en teoretisk värdering av värmning av en torkcylinder med en invändig strålningsbrännare

Här sammanfattas endast resultaten av den första punkten, eftersom framställningen av de övriga punkterna är mycket knapphändigt behandlade i föredraget och svåra att följa.

Strålningsegenskaper samt emissioner för en keramisk IR-strålare

Man har på VTT gjort mätningar på en plan keramisk brännare. Tillförd bränslemängd (ren metan) uppmättes och belastningen beräknades som tillförd effekt i kW/m² brännaryta. Strålningseffekten bestämdes med hjälp av en Laser Precision Radiometer med mätområde mellan 0,2 och 16 µm. Dessutom bestämdes strålningsspektret för strålaren med FTIR-spektrometer, vars mätområde var 1,0 till 16 µm.

Strålningsspektrat uppvisar två toppar, en vid 2,7 μm och en vid 4,3 μm , som härrör från vattenånga respektive koldioxiden i rökgaserna. I övrigt överensstämmer spektrat väl med det från en svartkroppsstrålare med temperaturen 975 till 1 025 °C. Belastningen på brännaren varierades mellan 140 och 450 kW/m^2 inmatad effekt. Även luftöverskottet i brännaren varierades och mätningar utfördes vid $\lambda=1.05; 1.10; 1.20; 1.30$. Inom dessa intervall bestämdes strålningsverkningsgraden till mellan 20 och 36 % med en sjunkande verkningsgrad vid ökad, inmatad effekt och vid ökande luftöverskott, se fig 4.2.1.

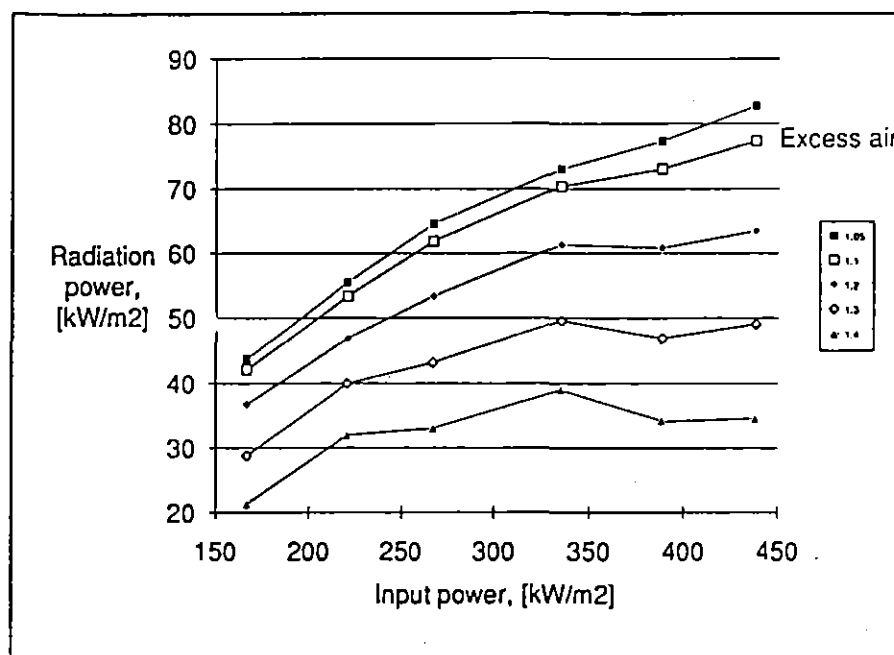


Fig 4.2.1 Strålningsseffekt som funktion av inmatad effekt för keramisk IR-strålare

Vid $\lambda=1.05$ uppmättes också emissionerna från brännaren. Koncentrationen av NO, NO₂, N₂O i rökgaserna framgår av fig 4.2.2. Dessutom bestämdes CO, som varierade mellan 5 och 50 ppm. Koncentrationen av oförbrända kolväten i rökgaserna var inte detekterbar.

4.3 IGRC 1989. Infrared drying of Coated Paper

Vid IGRC (International Gas Research Conference) i Tokyo 1989 presenterade Pontus Mattsson, Jaana Pelkonen och Arto Riikonen från Neste Oy, Finland ett Paper kring IR-torkning av papper.

Rapporten redogör för ett Neste-projekt som i sig innehåller fyra delundersökningar:

- intervjuer med pappersbruk som använder gas-IR
- laboratoriebestämningar av strålningsverkningsgrader för IR-strålare
- bstrykningstorkning i pilotmaskin med gas- respektive el-IR
- energibalansmätningar på gas-IR i fält

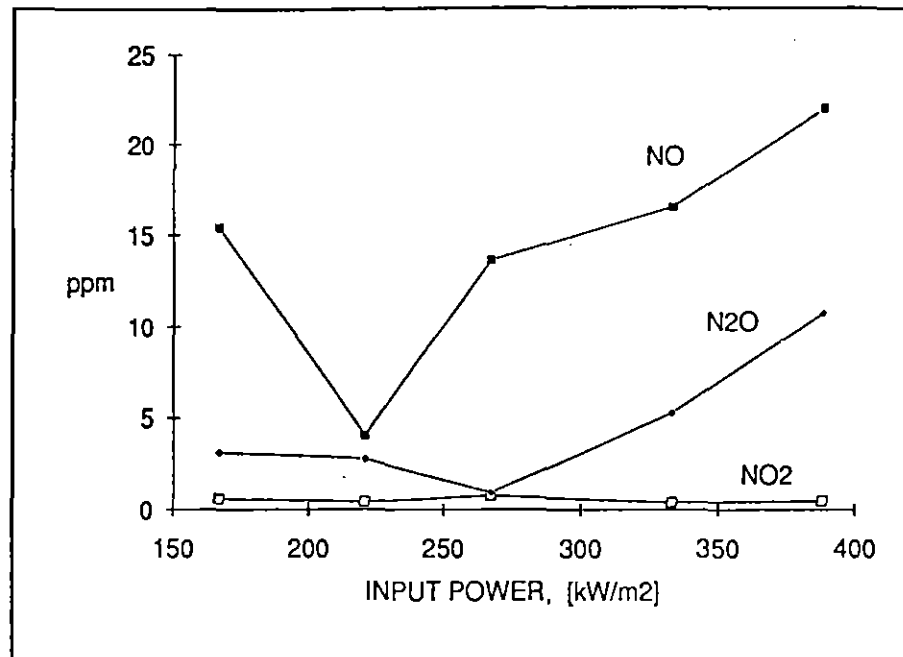


Fig 4.2.2 NO, NO₂ och N₂O koncentrationer i avgaser från keramisk IR-strålare vid 5 % luftöverskott

Intervjuer med pappersbruk som använder gas-IR

Totalt besökte man sju pappersbruk för intervjuer. Alla installationer utom en var för bstrykningstorkning. IR hade i första hand installerats för att öka hastigheten i maskinen. De produktions- och kvalitetsmål som man satt upp hade man i samtliga fall klarat.

Avsvalnings- och uppvärmningstider var inte av någon avgörande betydelse i de undersökta installationerna.

Vissa användare rapporterade att man haft problem med tändning av brännarna. Dessa problem har dock eliminerats i nyare installationer.

Livslängden hos brännarelementen är svår att uppskatta eftersom endast vissa element byts vid varje tillfälle. En livslängd på tre år kan uppnås med bra underhåll, men denna tid kan kraftigt förkortas om t ex förbränningen sker med luftunderskott.

Laboratoriebestämning av strålningsverkningsgrad

VTT (Tekniska Forskningscentralen i Finland) utförde strålningsmätningar på IR-paneler från två av de större tillverkarna. Dessa mätningar visade att strålningsverkningsgraden låg mellan 36 och 42 %. I en verklig installation bör denna bli högre, över 45 %, eftersom panelerna installeras nära varandra vilket kan ge högre ytemperaturer.

I en verklig torkinstallation kommer också de heta rökgaserna att genom konvektiv värmeöverföring öka vattenavdunstningen och den totala verkningsgraden.

Energibalansmätning på gas-IR i fält

Strålningsverkningsgraden ensam berättar inte mycket om hur ett komplett IR-torksystem fungerar. Det är framför allt vid en jämförelse mellan olika gas- eller el-IR paneler som strålningsverkningsgraden är av värde.

Energibalansen för en gas-IR installation utfördes i samarbete med Valmet Pansio. Torken var installerad i en bestrykare för LWC-papper.

Resultaten visade att minst 45 % av den inmatade gaseffekten absorberades i pappret. Tillverkare av gas-IR utrustning använder betydligt högre värden, uppemot 60 %, vid dimensionering av torksystem utan att man rapporterat några kapacitetsproblem.

Studier av elektriska IR-torkar visar att systemverkningsgraden för dessa är under 40 %.

Bestrykningstorkning i pilotmaskin med gas-IR respektive el-IR

Under augusti 1988 genomfördes bestrykningsprov med en pappers- och en kartongkvalitet hos KCL (Centrallaboratoriet, dvs Finska Forskningsinstitutet för Papper och Massa).

Den kompletta torkningsutrustningen efter bestrykaren bestod av två rader med fyra gasbrännarelement i varje, följd av tre stycken Valmet lufttorkar.

Proven visade att IR-torkning med gas gav samma eller något bättre resultat jämfört med el. Större betydelse för resultatet, än valet mellan el- och gas-IR, har dock körparametrar hos lufttorken, som t ex lufthastighet och temperatur samt andra faktorer som val av baspapper, bestrykningssmet m m.

För en viss kombination av baspapper och bestrykningssmet visar fig 4.3.1. en jämförelse av flammigheten för gas- resp el-IR.

4.4 Efficiencies of different types of IR-dryers Tekniska Högskolan, Helsingfors

Under slutet av 1980-talet och början av 1990-talet har vid Tekniska Högskolan i Helsingfors, Institutionen för Energiteknik, pågått ett forskningsarbete med målsättningen att beskriva olika typer av el- resp gas-IR strålare. En matematisk datormodell för en IR-tork för papper har tagits fram.

Arbetet presenterades av professor Markku Lampinen i ett föredrag vid en pappersteknisk konferens i Helsingfors 1991.

Det är framför allt resultat från simuleringar med den framtagna datormodellen som redovisas i föredraget.

Modellen beskriver strålningsutbytet mellan olika delar i en el- eller gas-IR tork. I fig 4.4.1 visas den modell som användes för den gaseldade varianten. Som synes utgår man från en strålande keramisk yta i vilken förbränningen sker. Därefter träffar strålningen pappersbanan och absorberas, reflekteras eller transmittas. På undersidan av pappersbanan finns en reflektor som åter-reflekterar en del av den genomfallande strålningen mot pappersbanan.

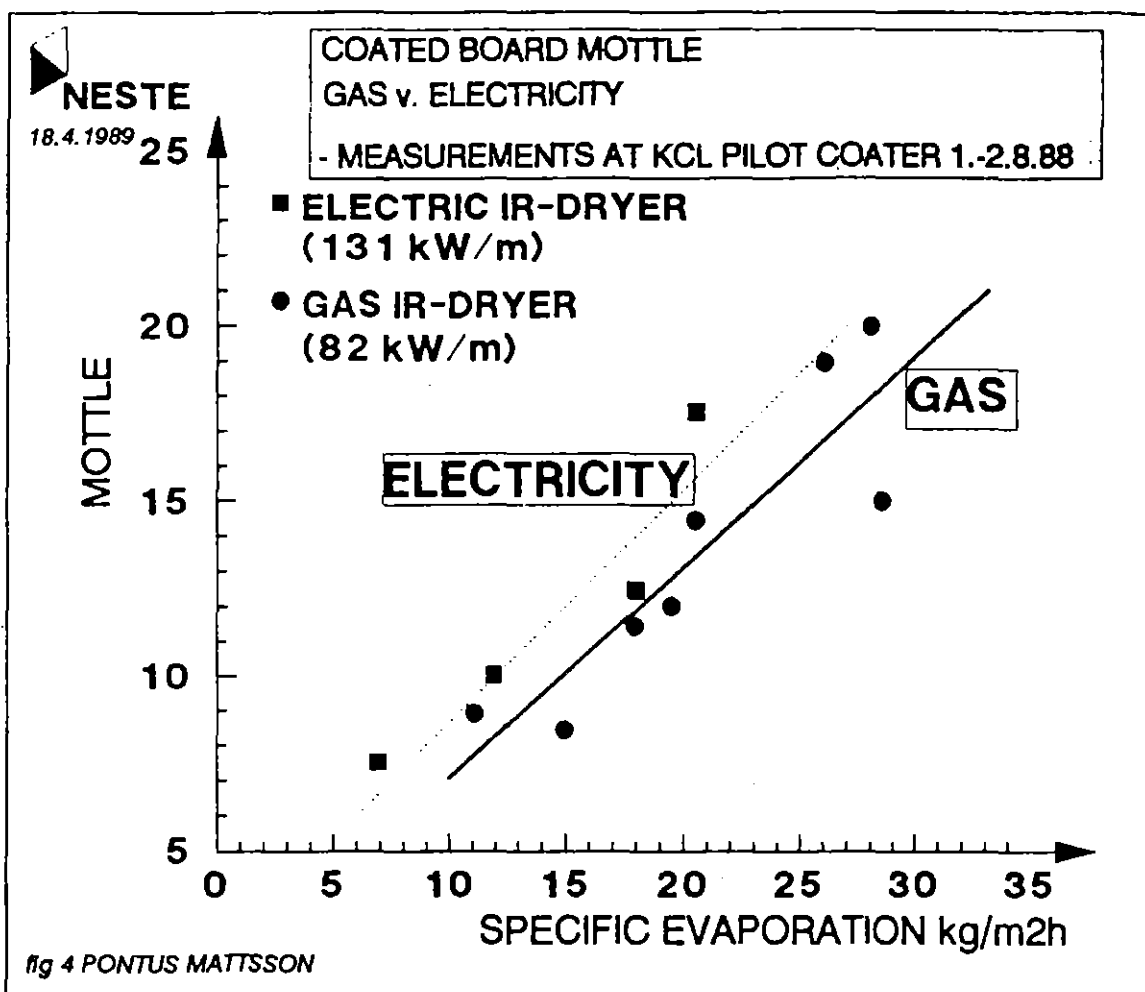


Fig 4.3.1 Flammighet för bestruken kartong vid torkning med el- respektive gas-IR

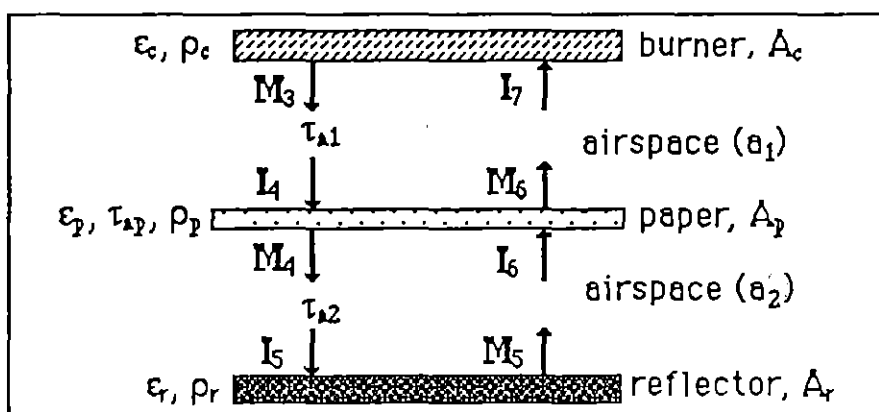


Fig 4.4.1 Illustration av matematisk modell för gas-IR tork

I projektet har också ett antal bestämningar av emissions/absorptionsspektra för såväl komponenter i IR-strålare som olika kvaliteter av papper genomförts. Dessa värden erfordras som indata i beräkningsmodellen.

Med hjälp av modellen har utförts beräkningar av verkningsgraden för en IR-tork med olika papperskvaliteter och fukthalter.

Verkningsgraden definieras som:

$$\eta = P_p/P_{str}$$

P_p = strålningsenergi som absorberas i pappret

P_{str} = strålningsenergi ut från strålaren

Den totala verkningsgraden för IR-torken, η_{tot} , definieras dock som:

$$\eta_{tot} = \eta_g \cdot \eta$$

där η_g är strålningsverkningsgraden, d v s ett mått på hur stor del av den ingående energin, i form av el eller gas, till torken som omvandlas till strålningsenergi i IR-strålaren. För en el-IR antar man att all elektrisk energi som går till lampan omvandlas till strålningsenergi. För en gas-IR däremot är strålningsverkningsgraden lägre än 100 %, enligt finska mätningar ca 34 - 42 %. Den totala verkningsgraden för en gas-IR tork blir alltså starkt beroende av hur väl strålaren omvandlar inkommande energi i gasen till strålningsenergi. Det är därför viktigt att välja material och utforma en keramisk gas-IR strålare så att man får en hög strålningsverkningsgrad. Det gäller att ha hög emissivitet hos materialet och en god värmeöverföring mellan flamma/rökgaser och strålare.

I fig 4.4.2 visas resultaten från modellberäkningar av en gas-IR tork och olika slag av papper. Baspapprets ytvikt varierar från 42 till 98 g/m², bestruket på en sida med 11,5 g/m² och varierande fukthalter. Resultaten för gas-IR torken jämförs med beräknade värden för en el-IR tork med paraboliska speglar bakom lamporna och en keramisk reflektor med temperaturen 600 °C på baksidan av pappret.

Ytvikt baspapper g/m ²	Fukthalt %	Gas-IR			El-IR
		$\eta_g = 34\%$	42 %	55 % *)	
42	3,9	24,2	29,9	39,2	26,0
42	10,0	26,0	32,2	42,2	-----
67	4,3	27,7	34,2	44,8	26,5
98	5,5	30,2	37,3	48,8	33,0

Fig 4.4.2 Beräknade totalverkningsgrader för IR-torkar.

*) Värden för 55 % finns ej med i Lampinens föredrag men svarar mot mätningar utförda vid DTI (se pkt 4.1)

De beräkningar som redovisades i föredraget visade också att verkningsgraden för en el-IR tork kan för samma papperskvalitet höjas med ca 10 % om man värmer reflektorn från ca 600 °C till 1000 °C. Ett smutsigt skyddsglas framför lamporna i en el-IR tork påverkar också verkningsgraden kraftigt. Skillnaden kan vara 5 - 6 % mellan ett rent och ett smutsigt glas.

4.5

Autoprofilering

CTP, Frankrike och Tekniska Högskolan, Helsingfors

Syftet med de undersökningar, som genomfördes under 1991 vid CTP i Frankrike och Tekniska Högskolan i Helsingfors, var att fastställa om en

gas IR tork har en automatiskt utjämnande effekt på fuktprofilen tvärs pappersbanan, s k autoprofilering. Teorin bakom detta antagande är att absorptionen av värmestrålningen inom en gas-IR:s spektralområde är högre för ett fuktigare än för ett torrare parti av en pappersbana. De våtare partierna av pappersbanan skulle alltså absorbera mer värme och följaktligen torkas kraftigare.

CTP genomförde praktiska prov på sin pilotbetrykare i Grenoble. Proven gjordes såväl på obestruket baspapper som på bestruket papper. Som referens vid mätningarna användes en lufttork i vilken lufttemperaturen justerades så att torkningskapaciteten var densamma som hos gas-IR torken.

Obestruket papper

Proven utfördes med träfritt baspapper, ytvikt 84 g/m². Fem rullar användes för proven. Fuktprofilen justerades så att den fick en S-form tvärs banan.

Medelfukthalt rulle 1,2 och 5:	14,5 - 15,0 %
Fukthaltsvariation, "peak to peak":	4,0 - 4,2 %
Medelfukthalt rulle 3 och 4:	9,0 - 9,5 %
Fukthaltsvariation, "peak to peak":	2,9 - 3,2 %

Resultaten av proven med obestruket papper blev att:

Vid den högre medelfukthalten, ca 15 %, blev profilerings effekten hos gas-IR torken densamma som hos lufttorken.

Vid den lägre medelfukthalten, ca 9 %, blev profilerings effekten hos gas-IR torken något lägre än hos lufttorken.

Bestruket papper

Två sorters träfritt baspapper användes med ytvikterna 84 g/m² och 65 g/m².

Bestrykningsmet: 10,5 - 12,5 g/m², 100 p krita, 8 p latex, 8 p stärkelse.

Betrykare: Bladbetrykare "Short Dwell".

Hastighet: 300 till 600 m/min.

Jämfört med proven med obestruket papper fanns det här betydligt fler variabler som kunde förändras under provens gång. CTP säger därför i rapporten att det är nödvändigt att genomföra betydligt fler prov för att få ett helt entydigt svar på frågan om autoprofilering.

För de genomförda proven pekade i alla fall resultaten i följande riktning:

Profilerings effekten verkar vara i samma storleksordning för såväl lufttork som gas-IR tork. Tendensen är snarast att i vissa prov är effekten större för lufttorken. Detta sammanhänger troligen med den temperaturprofil som pappersbanan hade vid inloppet till lufttorken, med högre temperaturer i de torra partierna. Detta gynnade den konvektiva värmeövergången till de våta partierna.

Beräkningar vid Tekniska Högskolan i Helsingfors

Kari Ojala och Markku Lampinen vid Institutionen för Energiteknik, har, efter vissa modifieringar av strålningsmodellen beskriven under pkt 4.4, försökt beräkna en eventuell autoprofileringseffekt med en gas-IR tork. Med hjälp av modellen har man kunnat konstatera att en våt pappersbana absorberar en större del av den infallande strålningen än en torrare bana. Men man konstaterar också att om variationerna i fukthalt är små, som de i regel är tvärs pappersbanan, är skillnaderna i absorptionsspektra små och i dessa fall blir autoprofileringseffekten ett fenomen av mycket liten betydelse.

4.6 En jämförelse mellan ång- och IR-värmning för varmpressning Paprican, Kanada.

Vid Paprican, Quebec, Kanada genomfördes 1984 jämförande prov mellan gas-IR och ånglåda för värmning av en pappersbana före presspartiet.

Syftet med en sådan värmning är att sänka vattnets viskositet och på så sätt öka den andel vatten som kan pressas ur banan före torkpartiet. Pressning är ett billigare sätt att avlägsna vatten än torkning.

IR-strålarna som användes vid försöket var av fabrikat Eclipse Inc och deras placering i maskinen framgår av fig 4.6.1. Maximala effekten hos IR-panelerna var 70 kW. Proven gjordes på ett papper med ytvikten 48,8 g/m², maskinhastigheten var 700 m/min och presskrafterna 45 och 75 kN/m i första och andra pressnypet.

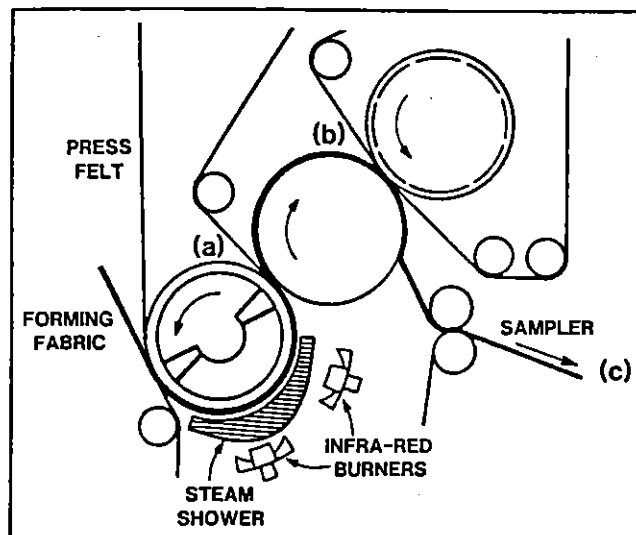


Fig 4.6.1 Placering av ånglåda och IR-värmare före pressparti

Ånglådans effekt var betydligt högre IR-panelernas, vilket innebar att med ånglådans inkopplad kunde temperaturen höjas max 28 °C på banan medan med IR-värmning endast ca 10 °C.

För båda värmningsmetoderna gällde att temperaturen steg linjärt med tillförd effekt med ca 10 °C per 100 kW. Pappersbanans torrhalt ökade också linjärt med temperaturstegringen. 10 °C temperaturökning motsvarade ca 1,6 % torrhaltsökning efter såväl 1:a som 2:a pressnypet.

Om man beräknar energimängden, som ånga eller gas, som tillfördes pappersbanan och den samtidiga ökningen av banans torrhalt efter pressnypen, så kan man beräkna en specifik energiåtgång som kJ per gram avlägsnat vatten. Detta tal varierar från 2,8 till 7,6 kJ/g, den lägre siffran vid lägre effekt och den högre vid högsta tillförda effekten och därmed största temperaturökningen.

Rapporterade energibehov för att torka bort ett gram vatten i torkpartiet ligger mellan 3,0 och 6,9 kJ/g. Detta pekar på att potentialen för att spara energi, genom att värma före presspartiet och därigenom flytta en del av avvattningen av banan från tork till pressparti, är inte särskilt stor. En installation kan vara intressantare om det gäller att totalt öka kapaciteten i en pappersmaskin.

Resultaten av undersökningarna kan sammanfattas sålunda:

1. Ökningen av banans temperatur per inmatad energienhet är densamma för såväl ånglåda som IR-värmare.
2. Ökningen av pappersbanans torrhalt är proportionell mot ökningen av banans temperatur.
3. Eftersom mer energi kunde tillföras via ånglådan erhöles också mycket större torrhaltsökning med denna (4,7 % för ånglådan jämfört med 1,3 % för IR-värmare).
4. Trots att tillförd ångmängd motsvarar en återfuktning av banan med 0,5 till 0,8 % tycks det inte vara någon fördel att använda IR-värmare istället för ånglåda.
5. Båda metoderna för varmpressning har möjlighet att öka avvattningen av banan i presspartiet vilket kan medföra produktionsökningar i en torkbegränsad pappersmaskin. Besparingen i total energiförbrukning kan emellertid lättare åstadkommas genom att använda någon av metoderna för profilering.

4.7 Radiation Heating to Increase Machine Production CTP, Frankrike

Vid CTP (Centre Technique du Papier i Grenoble) finns en pilotmaskin för bestrykning som är utrustad med flera olika typer av torkar. Det finns bland annat gas-IR av Solaronics fabrikat, el-IR av två olika fabrikat, en med låg energiintensitet av fabrikat Servitec och en med hög intensitet fabrikat IRS. Vidare finns en radiofrekvens tork, en lufttork s k Air-Foil samt ångvärmad cylindertork. I fig 4.7.1 nedan specificeras en del data om de intressantaste torkarna.

	El-IR		Gas-IR Solaronics	Radio- frekvens
	Servitec	IRS		
Effekt (kW)	220	390	480	150
Strålyta (m ²)	2,65	1,56	2,09	1,88
Effekt intensitet (kW/m ²)	83	250	230	80

Fig 4.7.1 Data för några av pilotbestrykarens torkar

Syftet med studien som utfördes vid CTP, och som finansierades bl a av EdF/GdF, var att söka svar på följande frågor:

- Vilka verkningsgrader och energiförbrukningar får man med dessa torkar?
- Vilken inverkan har olika driftparametrar, som t ex fukthalt, ytvikt, färg, effektintensitet m m?
- Vilken utrustning är mest lämpad om man vill öka kapaciteten i en pappersmaskin?

Proven genomfördes med tre olika papperskvaliteter:

Oblekt fluting av 100 % returpapper, ytvikt 115 g/m².

Träfritt, vitt baspapper, ytvikter 64 - 88 - 120 - 200 - 300 g/m².

Tvåsidigt bestruket papper, ytvikt baspapper 47 g/m², bestrykning 15 g/m² på vardera sidan.

Fluting

Jämförelsen mellan el - respektive gas-IR för torkning av fluting framgår av fig 4.7.2. Värdena gäller för fukthalter över 15 %. Vid lägre fukthalter avtar verkningsgraden efter en exponentiell kurva.

	El-IR Servitec	IRS	Gas-IR Solaronics	Radio- frekvens
Spec energiförbr (kWh/kg H ₂ O) *	1,5-1,7	1,9-2,1	2	1,5-1,8
Torkningsverk- ningsgrad (%) **	ca 55	ca 45	ca 45	50-55

Fig 4.7.2 Jämförelse av el-, gas-IR och radiofrekvenstork vid torkning av fluting

*) Energiförbrukningen, Q_c kWh/kg avdunstat vatten, mätes som totalt inmatad energi till torken. Den totalt avdunstade vattenmängden, E kg/h, från pappersbanan bestämdes genom fukthaltsmätningar vid inloppet till torken och ca 6 - 8 m efter utloppet från torken.

**) Torkningsverkningsgraden definieras som

$$\eta = 100 \cdot Q_u / Q_c$$

där Q_c definieras som tidigare och

$$Q_u = Q_1 + Q_2$$

där Q_1 är energin som behövs för att avdunsta vattenmängden E kg/h och Q_2 energin som behövs för att värma pappersbanan vid torkinloppet från ca 25 °C upp till temperaturen som banan har ca 6 - 8 m efter utloppet.

Bestruket papper

Prov utfördes på ett bestruket papper med följande egenskaper:

Baspapper: trähaltigt, olimmat, ytvikt 47 g/m².
 Bestrykningssmet: 15 g/m², vardera sidan. 60 p kaolin, 40 p krita, 8 p stärkelse, 8 p latex, koncentration 60 %.

Bestrykningen gjordes med bladbestrykare.
 Resultaten av proven framgår av fig 4.7.3.

	El-IR IRS	Gas-IR Solaronics	Radiofrekvens
Spec energiförbr (kWh/kg H ₂ O)	3,0-3,5	2,3-2,6	1,6-1,8
Torkningsverk- ningsgrad (%)	25-30	35-40	>50

Fig 4.7.3 Jämförelse av el-, gas-IR och radiofrekvenstork vid torkning av bestрукet papper.

Punktmätningar som utförts på industriella installationer av IR-torkar av olika fabrikat (Servitec, IRS, IMPACT m fl) stämmer väl överens med resultaten från CTP:s pilotmaskin.

Övriga torkmetoder

Jämförelser har också gjorts mellan IR-, radiofrekvens-, luft- och cylindertork. Lufttorken är gasvärmad och har en max lufttemperatur av 320 °C. Jämförelsen är gjord för bestрукet papper med samma specifikation som tidigare och fukthalten 15 %.

	El-IR IRS	Gas-IR Solaronics	Air-Foil (300 °C)	Cylindertork
Spec energiförbr (kWh/kg H ₂ O)	3,3	2,5	2,0	1,6
Torkningsverk- ningsgrad (%)	27	36	45	56

Slutsatserna av denna intressanta rapport är att:

- Torkningsverkningsgraden för elektriska IR-torkar (kortvågig IR) är starkt beroende av pappersbanans fukthalt, effektintensitet och följaktligen av luftkyllningen av lamporna (för att öka deras livslängd) samt pappersbanans vithet speciellt för bestрукet papper.
- Torkningsverkningsgraden för gaseldade IR-torkar (mellanvågig IR) beror också av banans fukthalt men påverkas mycket litet av färgen.
- Radiofrekvenstorkar har goda verkningsgrader (speciellt för bestрукet papper) men kan inte användas för fukthalter lägre än 15 % för obestрукet och 9 % för bestрукet papper. Investeringen är hög, vilket gör att RF-torken framförallt kan bli aktuell för profilering av fukthalten.
- För att öka kapaciteten hos en befintlig pappersmaskin, speciellt för bestrykning, är gas-IR en lämplig utrustning tack vare låg drift- och investeringskostnad jämfört med cylindertorkar eller lufttorkar.

5 Referenser

1. Michael Johansson
Spektralfördelning och verkningsgrad för gaseldade IR-strålare
Svenskt Gastekniskt Center, SGC 013
2. H Kiiskinen, K Edelman
The Use of Ceramic Gas Burners in Paper Drying
Proceedings of the Helsinki Symposium on Alternate Methods of Pulp and Paper Drying, Helsinki , June 4-7, 1991.
3. P Mattsson, J Pelkonen, A Rikonen
Infrared Drying of Coated Paper
IGRC, 6 - 9 November, 1989, Tokyo, Japan
4. M Lampinen, K Ojala
Efficiencies of Different Types of Infrared Dryers
Proceedings of the Helsinki Symposium on Alternate Methods of Pulp and Paper Drying, Helsinki , June 4-7, 1991
5. A Lemaitre, D Glise
Autoprofiling with Gas Infrared Paper Dryer
NGC July 1991
6. K Ojala, M Lampinen
Optical Properties of Wet Paper and Simulation of the Effect of Autoprofiling on Gas-fired IR Drying
NGC December 1991
7. R Daunais, I T Pye, R C Batty
A Comparison of Steam and Infrared Heating for Hot Pressing
Journal of Pulp and Paper Science: Vol 11, No 1 January 1985
8. A Lemaitre, D Glise
Radiation Heating to Increase Machine Production: Comparison of Various Technologies
Proceedings of the Helsinki Symposium on Alternate Methods of Pulp and Paper Drying, Helsinki , June 4-7, 1991

92-09-21

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
003	Katalog över gastekniska FUD-projekt i Sverige. Utgåva 3	Apr 91	Svenskt Gastekniskt Center 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		R Brodin, P Carlsson Sydkraft Konsult AB920212	100
007	Gas-IR teknik inom industrin. Användnings- områden, översiktlig marknadsanalys	Aug 91	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	100
008	Catalogue of gas technology RD&D projects in Sweden (På engelska)	Jul 91	Swedish Gas Technology Center	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	Asa 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

92-09-21

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
017	Analys och förslag till handlingsprogram för området industriell vätskevärmning	Dec 91	Rolf Christensen ÅF-Energikonsult Syd AB	100
018	Skärning med acetylen och naturgas. En jämförelse.	Apr 92	Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	100
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	0
021	Ny läggningsteknik för PE-ledningar. Förstudie	Jun 92	Ove Ribberström Ove Ribberström Projektering AB	150
022	Katalog över gastekniska FUD-projekt i Sverige. Utgåva 4	Aug 92	Svenskt Gastekniskt Center AB	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	Koldioxidgödsling i växthus med hjälp av naturgas. Handbok och tillämpn.exempel	Aug 92	Stig Arne Molén m fl	150



Svenskt Gastekniskt Center AB

Box 50525, 202 50 MALMÖ
Telefon: 040-700 40
Telefax: 040-30 50 82