

IR-värmning med gasstrålningsbrännare i olika typer av värmnings- och torkprocesser



IR-VÄRMNING MED GASSTRÅLNINGS-
BRÄNNARE I OLIKA TYPER AV
VÄRMNINGS- OCH TORKPROCESSER

Malmö juli 1988

Michael Johansson Åke Jansson

Drifftekniska Institutionen LNTH/Malmö

FUD-RAPPORT

swedegas ab

Inledning

Idag strävar industrin efter att göra sina processer så rationella som det är möjligt. Produktionshastigheter och automatiseringar ökas, vilket får till följd att processerna oftare blir datorstyrda.

Samtidigt vill man minska sina energikostnader genom att använda en modernare teknik. Miljödebatten har dessutom satt ett högt tryck på industrin, för att den skall använda mer miljövänliga och mindre energislukande metoder än tidigare.

Denna rapport inriktar sig på en högeffektiv värmningsmetod, den gaseldade IR-strålaren.

Med gaseldade IR-strålare kan man inom vida gränser optimera sitt värmeutbyte mellan den värmeavgivande ytan och den värmemot-tagande ytan/materialet. Har man något som skall värmas, torkas eller på något sätt värmebehandlas kan IR-strålare vara ett alternativ, det viktiga är att man anpassar strålarens emission (dess yttemperatur/utstrålningsvåglängd) till det material som skall värmebehandlas (materialets absorptionsegenskaper, ytstruktur, färg mm.).

Med IR-strålare kan man bygga värmebehandlingsanläggningar som är enkla, kompakta och energisnåla. Oftast kan man placera värmningszonen i den befintliga produktionslinjen utan alltför stora ingrepp, då IR-strålare normalt är utrymmessnåla.

Malmö 198807

Michael Johansson

Åke Jansson

Sammanfattning

Inom de flesta industrier förekommer någon typ av torknings- eller värmningsprocesser. Idag är dessa processer oftast av konventionell art, och ofta energikrävande. T.ex. är en konventionell torkprocess uppbyggd av konvektiv värmeöverföring eller värmeöverföring via ledning, med allt vad det innebär i form av tröghet och värmeöverföringsproblem.

I denna rapport beskrivs hur man istället för de konventionella tork- och värmningssystemen använder gasbaserade IR-strålare.

Rapporten inleds med en teoridel som kort beskriver värmeöverföring och infraröd strålning. Absorptions- och emissionsförhållandet diskuteras. Hur påverkar valet av strålare (yttemperatur) värmeutbytet och verkningsgraden.

De vanligast förekommande IR-strålarna beskrivs med avseende på funktionssätt och uppbyggnad.

Absorptions- och emissionsdata för strålare och för olika material som skall torkas eller värmas finns med i rapporten för att man skall kunna bestämma en lämplig yttemperatur hos strålaren, så att värmeöverföringen och därmed ekonomin skall bli optimal.

Några processtillämpningar där det är lämpligt att använda IR-strålare beskrivs i rapporten.

Som exempel kan nämnas: torkning av papper, där IR-strålarna ger en betydande energibesparing samt kvalitetsförbättring.

Härdning av betong, där härdningstiden förkortas avsevärt samtidigt som hållfastheten bibehålls på en hög nivå.

Torkning av färg, där torktiden kan förkortas samtidigt som behovet av rengöringsanläggningar för ventilationsluften minskas, då processen i sig förbränner en del av de lösningsmedel som frigörs från färgen.

Rapporten är beställd av Mats Johansson, Swedegas, och ingår i Swedegas FUD-program för 1987.

INNEHÅLL

Kap.		Sid.
1	Värmeöverföring	1
1.1	Allmänt	1
1.2	Fysikaliska grunder	3
2	Apparater	9
2.1	Katalytiska IR-strålare	10
2.2	Strålare med keramiskt permeabelt block	13
2.3	Keramisk fiberplatta	16
2.4	Metallfiberbrännare	19
2.5	Strålningsvägg	21
2.6	Övriga IR-typer	23
2.7	Tubstrålare	25
3	Tillämpningar	29
3.1	Allmänt om torkning	29
3.2	IR-strålare i pappersmaskinen	32
3.3	Betonghärdning	45
3.4	Torkning av färg, lackhärdning	49
3.5	Torkning av textilier	55
3.6	Torkning av keramikplattor	57
	Tabell 1 Absorptionstal för olika material	59
	Referenser	67

INNEHÅLL

Kap.		Sid.
1	Värmeöverföring	1
1.1	Allmänt	1
1.2	Fysikaliska grunder	3
2	Apparater	9
2.1	Katalytiska IR-strålare	10
2.2	Strålare med keramiskt permeabelt block	13
2.3	Keramisk fiberplatta	16
2.4	Metallfiberbrännare	19
2.5	Strålningsvägg	21
2.6	Övriga IR-typer	23
2.7	Tubstrålare	25
3	Tillämpningar	29
3.1	Allmänt om torkning	29
3.2	IR-strålare i pappersmaskinen	32
3.3	Betonghårdning	45
3.4	Torkning av färg, lackhårdning	49
3.5	Torkning av textilier	55
3.6	Torkning av keramikplattor	57
	Tabell 1 Absorptionstal för olika material	59
	Referenser	67

INNEHÅLL

Kap.		Sid.
1	Värmeöverföring	1
1.1	Allmänt	1
1.2	Fysikaliska grunder	3
2	Apparater	9
2.1	Katalytiska IR-strålare	10
2.2	Strålare med keramiskt permeabelt block	13
2.3	Keramisk fiberplatta	16
2.4	Metallfiberbrännare	19
2.5	Strålningsvägg	21
2.6	Övriga IR-typer	23
2.7	Tubstrålare	25
3	Tillämpningar	29
3.1	Allmänt om torkning	29
3.2	IR-strålare i pappersmaskinen	32
3.3	Betonghårdning	45
3.4	Torkning av färg, lackhårdning	49
3.5	Torkning av textilier	55
3.6	Torkning av keramikplattor	57
	Tabell 1 Absorptionstal för olika material	59
	Referenser	67

1 VÄRMEÖVERFÖRING

1.1 ALLMÄNT

Värmeöverföring kan ske på tre olika sätt. Ledning, konvektion och strålning. Ofta är alla dessa tre sätt representerade vid en värmeöverföringsprocess.

Ledning.

Värme överförs via ledning i fasta kroppar eller i tunna skikt av stillastående gas eller vätska. Värmen överförs från delar med högre temperatur till delar med lägre temperatur. Värmeledning sker med mikroskopiska rörelser, dvs atom och molekylrörelser. De faktorer som bestämmer hur mycket värmeenergi som överförs via ledning är materialets värmeledningsförmåga, temperaturskillnaderna i och mellan materialen samt arean.

Exempel på värmeöverföring via ledning är tex konventionell värmeöverföring i en papperstork, där man överför värmen från stålcyndrar till pappersbanan som ligger i kontakt med cylindrarna.

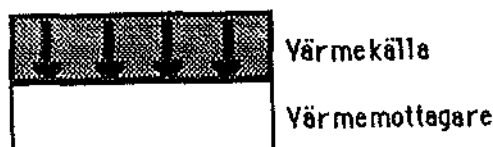


Fig. 1:1.1 Värmeöverföring via ledning.

Konvektion.

Värmeöverföring via konvektion sker med makroskopiska rörelser i ett medium. Detta innebär att värme överförs från en kropp till en annan med hjälp av en gas eller vätska som är i rörelse. Vanligtvis delar man upp konvektion i två delar, naturlig och påtvingad konvektion. Vid naturlig konvektion orsakas strömningen av de densitetsskillnader som uppstår till följd av temperaturdifferanser i vätskan eller gasen. Exempel på naturlig konvektion är värmeöverföringen från en radiator, luften närmast radiatoren blir varm och får på så sätt en lyftkraft varpå den ersätts med kall luft.

Påtvungad konvektion har man i radiatoren, där vattnet sätts i rörelse med hjälp av en pump. Vid konvektion beror värmeutbytet dels på värmeledningen i vätskan eller gasen dels på den energitransport som den strömmande fluiden åstadkommer.

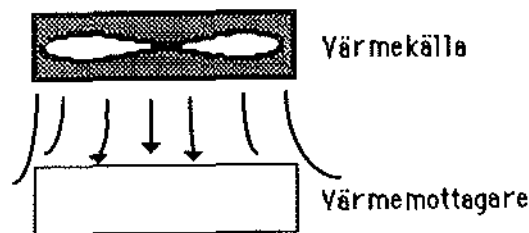


Fig. 1:2.2 Värmeöverföring via konvektion.

Strålning.

Energi överförs via strålning från alla medier fasta, flytande och gaser. Strålningen som överförs är elektromagnetisk strålning inom ett visst våglängdsområde. Denna strålning brukar i dagligt tal kallas för IR-strålning, Infra Röd strålning. Hur mycket energi som överförs via strålning är till stor del beroende på temperaturskillnaden mellan de medier där strålningsöverföringen sker samt emissions- och absorbtionsegenskaper hos de medier som avger och upptar strålningen. Som exempel på värmeöverföring via strålning kan man ta solen. En vinterdag kan det kännas behagligt att stå i solskenet fast temperaturen i luften är under noll grader.

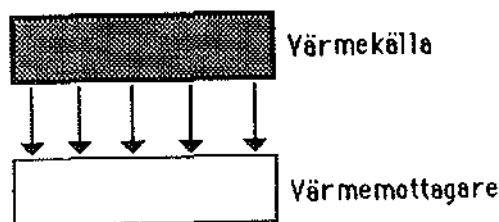


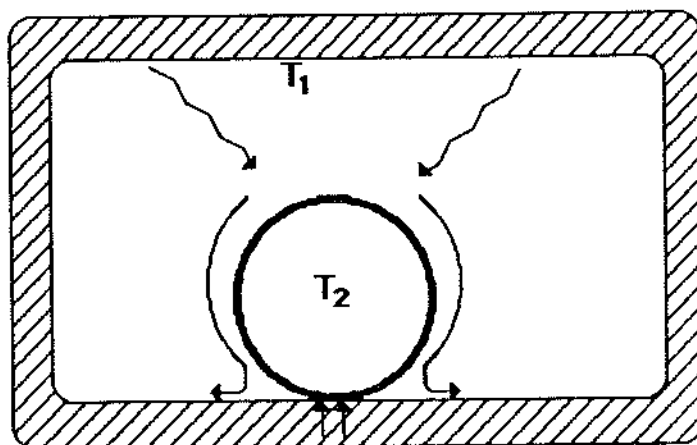
Fig. 1:1.3 Värmeöverföring via strålning.

1.2

FYSIKALISKA GRUNDER

I många värmeöverföringsprocesser utgör värmestrålning en viktig komponent. Det är framförallt vid höga temperaturer som strålningen blir den dominerande värmeöverföringsfaktorn. Vid temperaturer som ligger nära rumstemperatur brukar man ofta försumma strålningens inverkan på värmeöverföringen. En orsak till detta är att beräkningarna ofta är mycket komplicerade. En annan orsak är att man vid värmeöverföringsmätningar ofta har svårt att skilja strålningsandelen från konvektionsandelen, vilket gör att man inräknar strålningen i värmeövergångskoefficienten. För att kunna utesluta strålningsandelen måste man vara säker på att denna inte är en viktig/stor del av värmeutbytet.

För att visa hur stor andel strålningen utgör och vilken betydelse temperaturen har kan man tänka sig en ugn där man värmer en stålkula till en viss temperatur. Kulans yta är oxiderad och ugnen värms med hjälp av motståndselement i ugnens golv, väggar och tak. Ugnsatmosfären utgörs av luft.



$$T_1 - T_2 = 100 \text{ K}$$

Fig. 1:2.1 Ugnsexempel.

Vi tänker oss först att ugnen har en temperatur av 300°C och att stålkulan har 100° lägre temperatur. Beräkningsmässigt kommer då fördelningen av värmeeffekten att utgöras av ca 80 W genom strålning, ca 25 W genom konvektion och slutligen ca 5 W genom värmeledning.

Om man istället tänker sig att ugnen har en temperatur av 1500°C och

stålkulan fortfarande har 100° lägre temperatur finner man att ca 2900 W överförs genom strålning medan fortfarande endast ca 25 W överförs genom konvektion och endast ca 5 W genom ledning.

Exemplet visar att strålningen blir den klart dominerande faktorn vid höga temperaturer.

Givetvis kan man öka den konvektiva värmeöverföringen genom att sätta in en fläkt och på så sätt få en påtvingad konvektion, men strålningen hade ändå varit den dominerande faktorn.

Värmestrålning är, i likhet med exempelvis synligt ljus och radiovågor, en form av elektromagnetisk strålning. skillnaden består endast i strålningens våglängd. Uppdelningen i olika typer av strålning är relativt godtycklig, men i allmänhet brukar man definiera värmestrålning som elektromagnetisk strålning med våglängder mellan 0,76 μm och 1000 μm . Gränsen 0,76 μm sammanfaller ungefär med gränsen för ögats känslighet i det röda området. Värmestrålning kallas därför ofta för infraröd (IR-) strålning. Vidare delas IR-strålningen in i tre grupper, kortvågig strålning (0,76 - 2 μm), mellanvågig strålning (2 - 4 μm) och långvågig strålning (4 - 1000 μm).

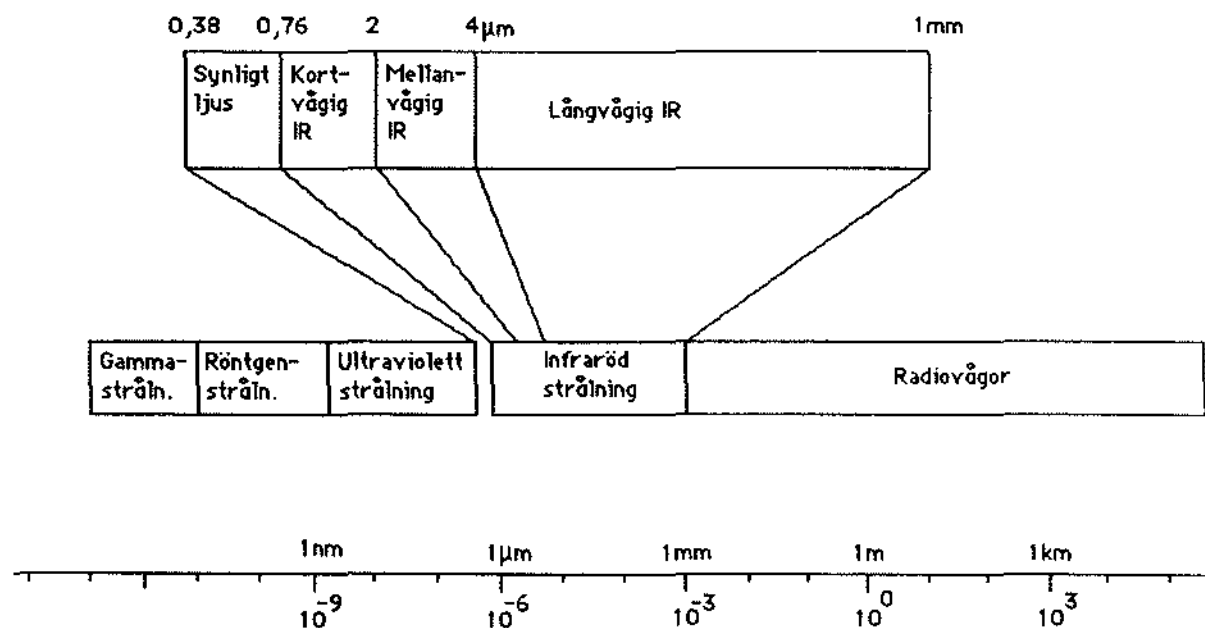


Fig. 1:2.2 Elektromagnetiska spektrat.

Om en kropp utsätts för IR-strålning kan kroppen påverka strålningen på tre sätt.

- strålningen absorberas i föremålet och höjer dess inre energi (temperatur). Kvoten mellan den absorberade andelen och hela den infallande strålningen kallas för absorptans och betecknas med α .

- strålningen transmitteras genom föremålet utan att påverkas. Kvoten mellan den transmittierande andelen och hela den infallande strålningen kallas transmittans och betecknas med τ .

- strålningen reflekteras mot föremålets yta. Här kan två fall inträffa. Antigen fortsätter strålningen i en bestämd riktning (spegling) eller sprids i alla riktningar (diffus reflektion). Kvoten mellan den reflekterande andelen och hela den infallande strålningen kallas reflektans och betecknas med ζ .

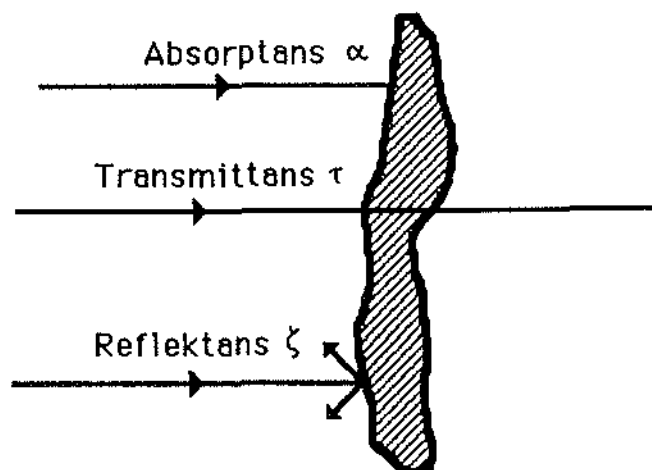


Fig. 1:2.3 Absorberad, transmitterad och reflekterad strålning.

Föremålets påverkan på strålningen beskrivs av ovannämnda tre koefficienter, vilkas summa måste bli ett.

$$\alpha + \tau + \zeta = 1$$

Om föremålet befinner sig i termisk jämvikt med omgivningen (och således har konstant temperatur) kräver energibalansen att föremålet avger (emitterar) lika mycket energi genom strålning som det mottar. Därav följer att,

$$\alpha = \varepsilon \quad (\varepsilon = \text{emittansen})$$

Om vi antar att föremålet är ogenomskinligt, ($\tau = 0$) gäller att den strålning som utgår från föremålet är sammansatt av dels temperaturberoende egenstrålning från föremålet självt, dels av reflekterad strålning från omgivningen.

$$\epsilon + \zeta = 1 \quad \alpha = \epsilon = 1 - \zeta$$

Ett föremål som har $\alpha = 1$ och därigenom $\epsilon = 1$ och $\zeta = 0$ kommer att absorbera all infallande strålning. Detta är definitionen på en svartkropp. Den är alltså både en ideal absorbator och en ideal strålare.

Alla kroppar avger (emitterar) strålningsenergi (effekt) enligt sambandet

$$P_s = A * \epsilon * C_s \left[\frac{T}{100} \right]^4 \quad W$$

A = kroppens area,

ϵ = emissionsfaktor

C_s = strålningstalet för en absolut svart kropp = $5,67 W/m^2, K^4$

En absolut svart kropp har emissionsförhållandet $\epsilon = 1$ och alla "verkliga" kroppar har $\epsilon < 1$, vilket innebär att de emitterar och absorberar mindre värmestrålning än en absolut svart kropp.

Den emitterande strålningen från en ideal kropp fördelar sig över ett spektrum enligt figur.1:2.4.

Strålningens intensitet vid en viss våglängd beror endast av temperaturen. För att kunna tillgodogöra sig strålningsenergin måste den emitterade strålningens spektrala fördelning anpassas till den aktuella tillämpningen. Denna anpassning uppnås genom att välja strålare med rätt temperatur. Om man tex är intresserad av strålning med en våglängd av $3 \mu m$ så skall strålaren ha en temperatur av ca $800^\circ C$.

I fig 1:2.4 visas även vid vilka våglängder vatten och koldioxid absorberar strålning. Det är viktigt att man tar hänsyn till detta då man har en strålare som arbetar vid dessa våglängder. Oftast undviks vattenångan genom att man forcerar ventilationen under strålaren. Se kapitel 3.1.

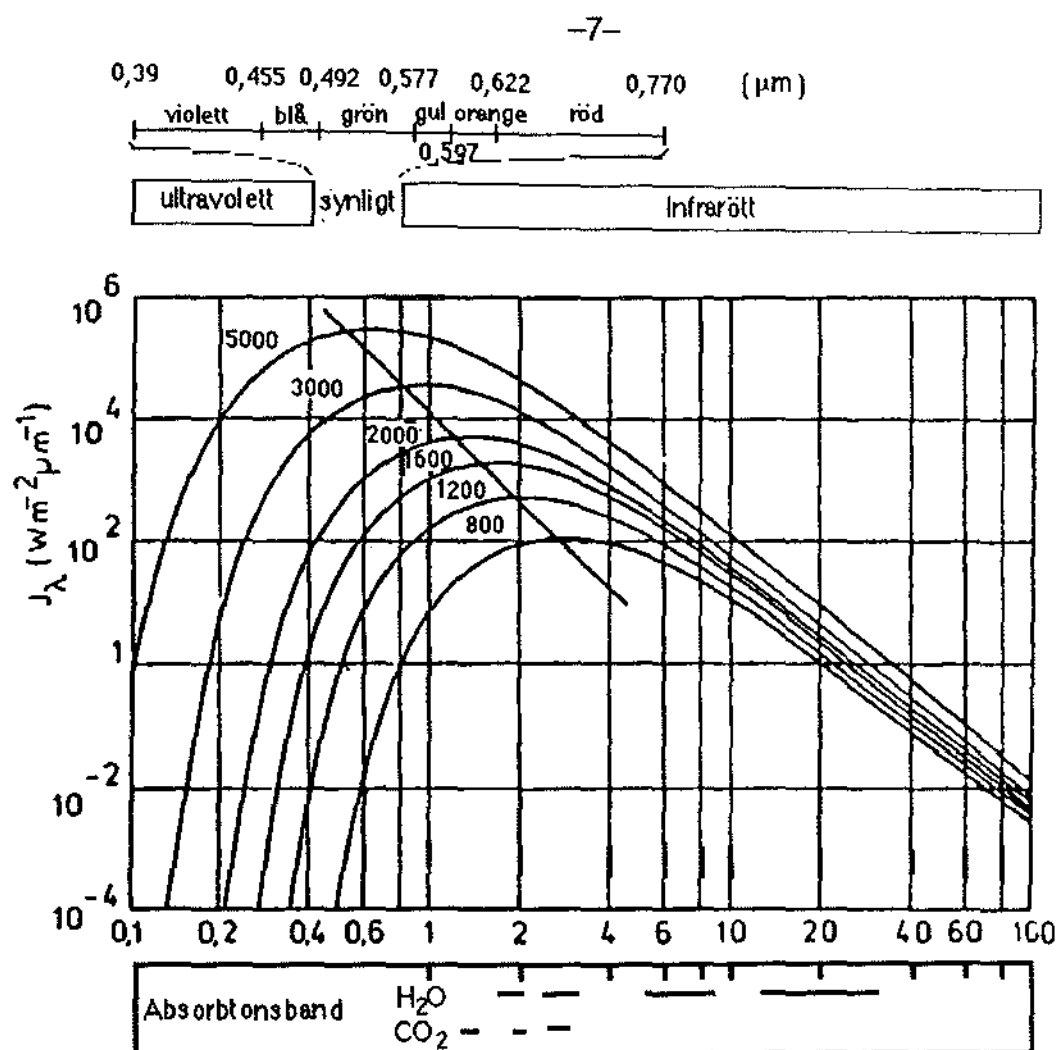


Fig. 1:2.4 Strålningsspektra för en svart kropp enligt Planck's lag. I fig. visas också absorptionsbanden för koldioxid och vatten

Värmeutbytet mellan två kroppar genom strålning åskådliggörs i figur 1:2.5.

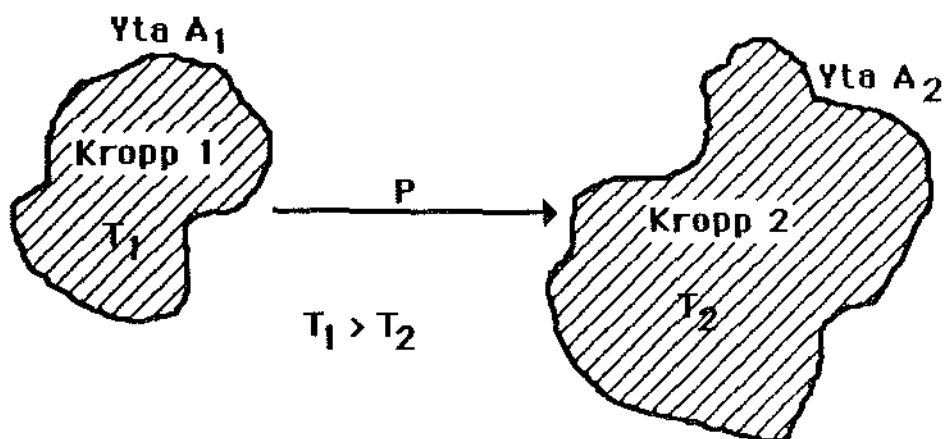


Fig. 1:2.5 Värmeutbytet mellan två kroppar.

Värmeflödet går från kropp 1 till kropp 2. Med ytan av kropp 2 som referensyta kan värmeutbytet skrivas som.

$$P_S = A_2 \cdot \epsilon_{21} \cdot C_S \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad W$$

Där ϵ_{21} är det resulterande emissionsförhållandet. I storheten ϵ_{21} tas hänsyn till de båda kropparnas emissionsfaktorer ϵ_1 och ϵ_2 . Vidare beror ϵ_{21} på kropparnas areor, A_1 och A_2 , avståndet mellan kropparna samt kropparnas orientering i förhållande till varandra. Eftersom emissions- absorptionsförhållandet är våglängdsberoende (temperaturberoende) är det viktigt att den varma kroppen har dels högt emissionsförhållande och dels emitterar strålning i ett våglängdsområde där den varma kroppen (eller mediet) har hög absorptionsförmåga.

Verkningsgrad.

Verkningsgraden för en IR-applikation kan definieras som kvoten mellan den nyttiga effekt det varma föremålet upptar och den tillförda effekten till strålaren. Med nyttig effekt menas den effekt som måste tillföras godset för att uppnå önskad temperaturhöjning. Vid torkprocesser inräknas även effekten för förångning i nyttig effekt. Skillnaden mellan tillförd effekt och nyttig effekt utgörs av ett antal förluster, strålarens förluster, ventilationsförluster, väggförluster och förluster i kylluft eller kylvatten.

Verkningsgraden är också till hög grad beroende på vilken typ av applikation det gäller, vilken strålare som används, anpassning mellan strålare och objekt, temperaturkrav, placering av strålarna i förhållande till godset, absorptionsal hos godset och omkringliggande material.

Temperaturkravet har en mycket stor betydelse eftersom en högre temperatur ger en större värmemängd genom konvektion och egenstrålning. För att minska förlusterna i en ugnapplikation är det därför viktigt att ugnsväggarna har ett högt reflektionstal, så att egenstrålningen från godset reflekteras.

2. APPARATER.

IR-strålare kan indelas på olika sätt, det vanligaste är att indela strålarna beroende på ytemperatur. Denna indelning ger en snabb bild av vid vilken våglängd strålarna har sitt strålningsmaximum.

-Lågtemperaturstrålare.

Arbetar inom det långtvågiga området och kallas i dagligt tal för svartstrålare eftersom ingen del av strålningen ligger inom det synliga området. Strålningsmaximum för den här typen av strålare ligger i området 4-10 μm vilket motsvarar 30-500°C.

Till dennagrupp hör tubstrålarna och de katalytiska strålarna.

-Mellantemperaturstrålare.

Denna typ av strålare kallas vanligtvis för glödstrålare eftersom en del av strålningen ligger inom det synliga området. Ett annat namn är röda strålare. Strålningsmaximum ligger inom det mellanvågiga området som brukar definieras som 2-4 μm , vilket motsvarar 500-1100°C.

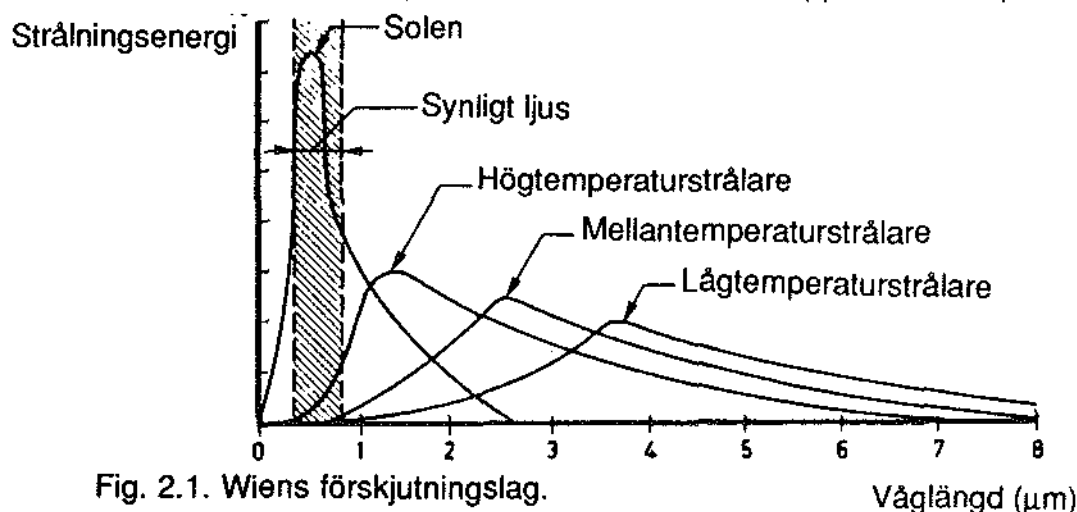
Keramiska plattor, keramiska fiber, metallfiberbrännare och de flesta direkteldade strålarna hör till mellantemperaturstrålarna.

-Högtemperaturstrålare.

Strålningsmaximum ligger mellan 0,76-2 μm , motsvarar en ytemperatur mellan 1100-3200°C. Även här ser man en glödande yta.

Här är elbaserade IR-strålare dominerande i det övre området medan det upp till ca 1500°C finns några direkteldade typer som kan användas.

I nedanstående figur ser man var strålarna har sitt strålningsområde. Topparna kan naturligtvis vara förskjutna beroende på temperaturen. T.e.x. så kan en mellantemperaturstrålare ha sin topp mellan 2-4 μm .



2.1

KATALYTISKA IR-STRÅLARE

Under senare år har man som ett led i att minska förbrännings-temperaturen och för att förbättra strålningsegenskaperna utvecklat katalytiska brännare. Fördelen med en katalytiska brännare är framförallt att man får en minskning av NO_x- och CO-emissionerna.

Vid katalytisk förbränning sker oxidationsreaktionerna på ytan av katalysatorn. Bränsle och syre fastnar under korta ögonblick på katalysatorns yta där de under inverkan av katalysatorn blir mycket reaktiva och reagerar med varandra till slutprodukter, vattenånga och koldioxid, som snabbt lämnar ytan. Luftens kväve fastnar i allmänhet inte på katalysatorn vilket tillsammans med den låga temperaturen är orsaken till att man får en låg NO_x-bildning.

Vid katalytisk förbränning finns inga kritiska blandningsförhållanden och temperaturen är därmed kontinuerligt varierbar. Tack vare katalysatorns "aktivering" av bränsle och syre kan förbränningen ske vid mycket låga temperaturer.

Vid flamförbränning av en bränsle/luftblandning, t.e.x. vid förbränning i en konventionell gasbrännare, finns två kritiska villkor.

-För det första måste bränsle/luft-förhållandet ligga inom vissa gränser för att självunderhållande förbränning skall ske överhuvudtaget (vid dansk naturgas är gränserna 5,1-13,8 vol% naturgas i luft, vid temperaturen 20°C). Fullständig och stabil förbränning kräver ännu snävare gränser.

-För det andra krävs någon form av initial energitillförsel för att tända blandningen så att förbränningen kommer igång (tex en gnista eller en het yta). För att förbränningen sedan skall fortsätta måste en hög temperatur upprätthållas.

Katalytisk förbränning innebär att förbränningen kan underhållas vid en låg temperatur. Vidare kan man i praktiken ha nästan hur magra blandningsförhållanden som helst utan att förbränningen försämras. Därmed kan förbränningstemperaturen regleras steglöst med bibehållen fullständig och stabil förbränning.

Fördelarna med katalytisk förbränning är:

- Låg förbränningstemperatur vilket medför låg NO_x-bildning
- Fullständig och stabil förbränning inom ett brett intervall av bränsle/ luft-förhållande.
- Mycket låg antändningstemperatur kan åstadkommas.
- Steglös varierbar förbränningstemperatur.

Till nackdelarna hör först och främst behovet av en katalysator som kan åldras tex genom att bränsleföroreningar förgiftar den. Även rent mekanisk åldring och förslitning kan ske liksom termisk åldring.

Vidare kan lufttillförseln i vissa fall bli något mer komplicerad än vid förbränning i öppen låga. En katalytisk IR-strålare kräver också ett luftfilter eftersom katalysatorn annars kommer att samla upp de föroreningar som finns i luften

För att förbränningsreaktionen skall initieras krävs det en viss temperatur. Därför har strålaren en elektrisk tändning. När strålaren har tänd underhålls temperaturen av den katalytiska reaktionen.

En katalytisk IR-strålare för industriellt bruk arbetar med en temperatur på ca 400°C och har en yteffekt av ca 12 kW/m², vilket jämfört med en glödstrålare är ganska lågt.

Den katalytiska IR-strålaren emitterar långvågig, diffus infraröd strålning med sitt strålningsmaximum vid 4-4,5 µm.

I området 2-6 µm har många lacker och andra material sina absorptionsband. Detta innebär att den katalytiska strålaren är väl avpassad för många industriella processer.

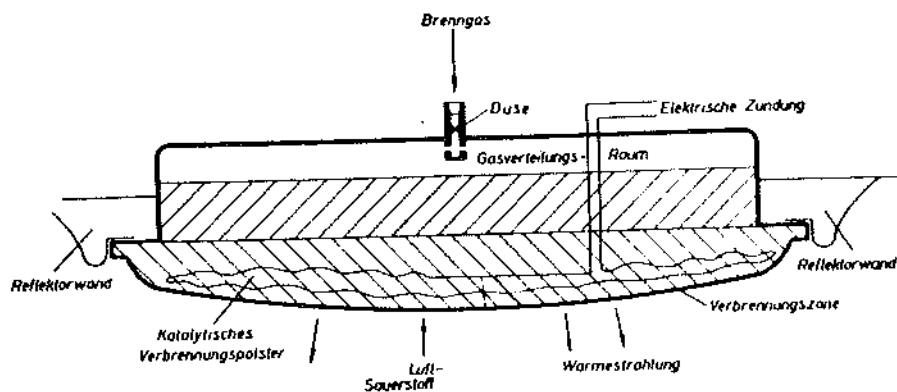


Fig. 2:1.1 Principskiss över katalytisk IR-strålare.

Strålaren är explosionssäker i atmosfär som innehåller brännbara gaser vilket medför att den med fördel kan användas vid lacktorkning och inom plastindustrin.

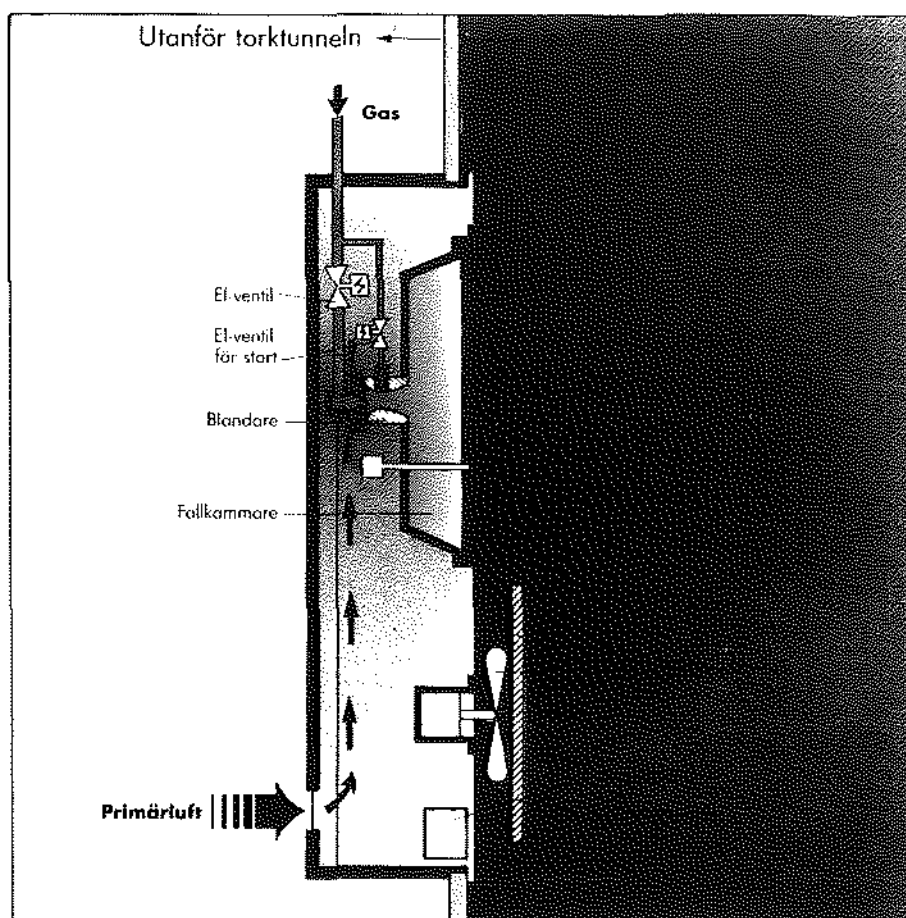


Fig.2:2.1. Exempel på en katalytisk IR-strålare för användning i en torktunnel för torkning av lackerade detaljer. Gasen leds till fallkammaren där den blandas med primärluft. I den främre ytan på kammaren finns en katalysatorskiva där förbränningen sker. Sekundärluft från torktunneln tillförs katalysatorn med hjälp av en mindre fläkt. Denna sekundära tillförsel av lösningsmedelsbemängd luft innebär en minskning av miljöfarliga utsläpp eftersom en del av de brännbara lösningsmedlen förbränns.

2.2. STRÅLARE MED KERAMISKT PERMEABELT BLOCK.

IR-strålaren består av ett antal keramiska plattor som byggs in i en ram. Typen är den vanligaste av mellanvågiga strålare.

Perforerade keramiska plattor patenterades av Schwank redan 1956 och har i regel över 35 perforeringar/cm². Diametern hos varje hål är mellan 0,5 och 1,5 mm. Hålen är avpassade så att flamfronten bildar ett tunt skikt som ligger mycket nära plattan som blir glödgd och ger ifrån sig värme i form av strålning. Plattorna utvecklas för att få en så bra verkningsgrad som möjligt och idag finns det ett antal att välja på. Plattorna är rektangulära och har en storlek av ca 130 × 100 mm. Effekten hos varje platta är ca 1,5 kW, vilket medför att man får en effekt som är ungefär 140 kW/m².

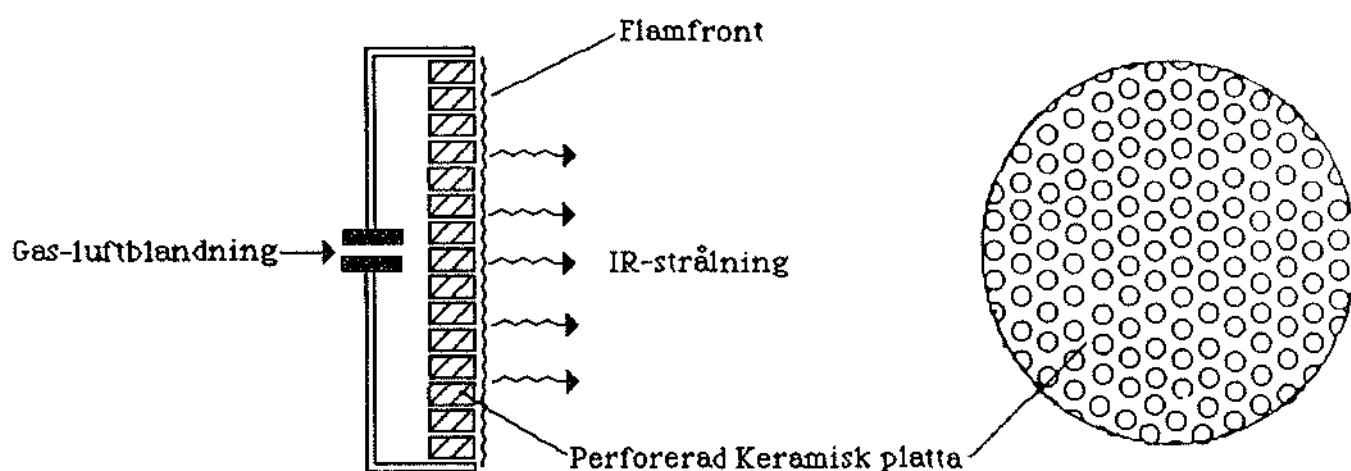


Fig. 2:2.1 Keramisk platta.

Gasen tillförs genom ett ejektormunstycke där förbränningsluften sugs med och blandningen sker i ett blandningsrör innan gas/luft-blandningen strömmar genom hålen i de keramiska plattorna.

Antändningen sker med en pilotlåga eller en gnista. Pilotlågan är inte konstant brinnande utan antänds, i de fall den förekommer, av en gnista.

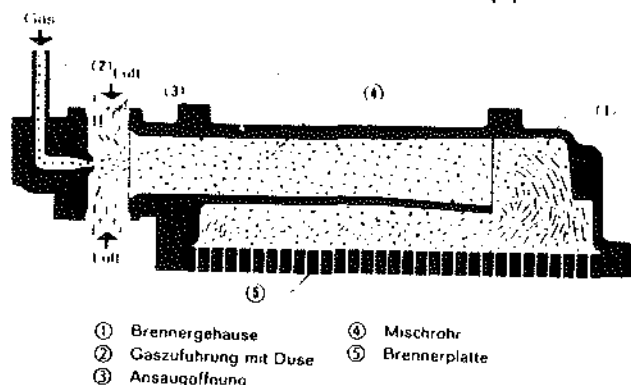


Fig. 2:2.2 IR-strålare av Schwank-typ.

Brännaren har vanligen en yttemperatur av ca 750 till 900°C. Strålningsmaximum blir då mellan 2,5 - 3µm.

Strålningsverkningsgraden för en keramisk platta är något mindre än för en keramisk fiber. Vid mätningar och beräkningar används ofta olika metoder, därför är det svårt att nämna någon exakt siffra.

Brännaren fungerar oftast som en atmosfärbrännare, alltså utan fläkt, men kan, framförallt vid stora effekter också förses med fläkt och arbeta som en övertryckseldad brännare.

De problem som kan uppstå med en keramisk brännare är framförallt flamlyft och nedslag vid för hög yttemperatur. Flamlyft uppstår framförallt när brännaren eldas med naturgas. Det kan vara svårt att få lågan tillräckligt nära den keramiska plattan. Detta beror på att naturgasen har en låg förbränningshastighet som gör att lågan tenderar att bildas ett stycke från blocket med minskad stråleffekt som följd. För att motverka detta förser fabrikanterna ofta brännaren med en metallduk som fästs 10 till 15 mm från brännarytan.

På grund av sin termiska tröghet måste brännaren placeras ganska långt från de föremål som skall värmas för att undvika överhettning. Detta minskar strålningsintensiteten något och försämrar därmed verkningsgraden för processen. Det finns emellertid system idag där man vid tex användning för att torka papper placerar brännaren mycket nära pappersbanan. Då har man givare som känner av att pappersbanan rör sig med rätt hastighet, en temperaturgivare känner också av temperaturen hos papperet. Om något skulle falla så släcks brännaren och lyfts eller sänks omedelbart för att undvika brand.

Reglermöjligheterna hos den här typen av brännare är ganska små.

För att förbättra möjligheterna till reglering har man utvecklat en brännartyp där man istället för ejktormunstycke har en blandnings-kammare. Regleringen sker genom att man med hjälp av en ventil stryper lufttillförseln. Här kan man variera effekten steglöst ner till ca 50% av full effekt.

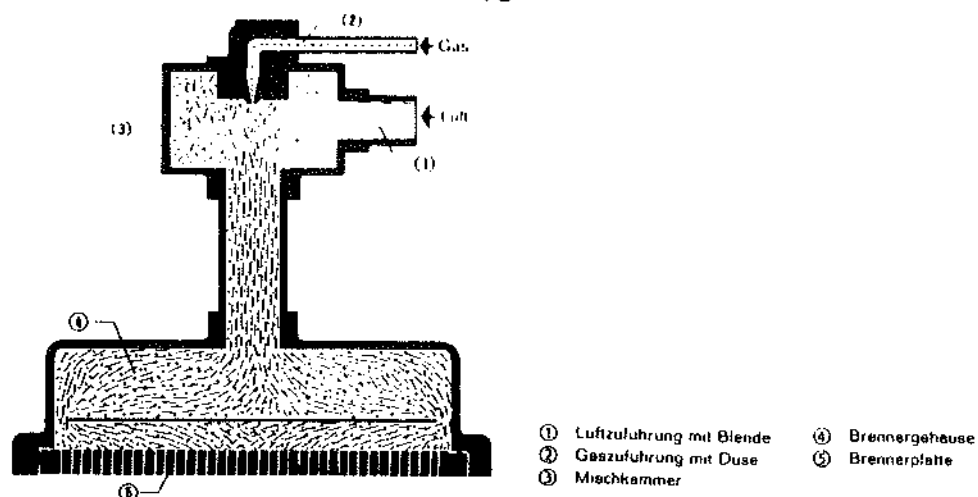


Fig. 2:2.3 Keramisk IR-strålare med reglerventil på luftsidan.

Ett annat sätt är att strypa gasen genom ejektormunstycket och på så sätt minska effekten. Detta har emellertid sina begränsningar eftersom luftöverskottet ökar med minskad gasmängd.

Stegvis reglering av strålaren kan erhållas om densamma indelas i sektioner med separat gastillförsel.

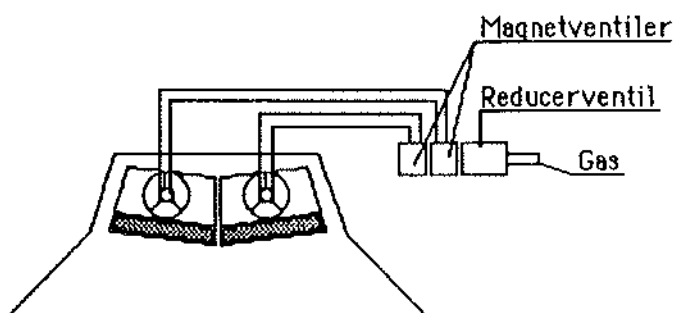


Fig. 2:2.4 Tvåstegs IR-strålare

2.3 KERAMISK FIBERPLATTA

Den keramiska fiberplattan är uppbyggd av fibrer vilka är packade så att en permeabel ca 25 mm tjock skiva erhålles. Gas/luftblandningen strömmar genom den permeabla fiberplattan och brinner i respektive på ytan av densamma. Fiberplattan är placerad i en ram av metall med en kammare på insidan för att sprida gas-luftblandningen över hela ytan. Blandningen av gas och luft sker vanligen i en atmosfärblandare (trycket på gasen är lika med atmosfärstrycket) Den gas som skall tillföras "sugs" med av luften. Detta medger att man kan reglera brännareffekten till ca 50% av full effekt. Blandningen sker i en blandningskammare varpå gas/luftblandningen strömmar till den inre kammaren med ett övertryck på ca 50-150 Pa (0,5-1,5 mbar)

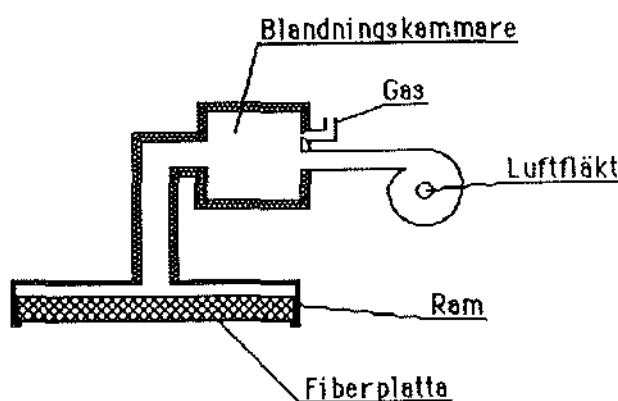


Fig. 2:3.1 Principen för en IR-strålare med keramisk fiberplatta.

Hastigheten hos gas-luftblandningen är lägre än flamhastigheten när den når fiberplattans ytersida. Detta innebär att det inte bildas någon flamfront som är fallet vid keramiska plattor, utan förbränningen sker från ytan och någon eller några mm in i fibermaterialet. Förbränningen hettar upp fibrerna så att man får en glödande yta som i sin tur ger ifrån sig strålning till omgivningen. Eftersom den delen av fiberplattan som värms upp har en liten termisk massa (ca 0,7 kg/m²), ett keramiskt permeabelt block har den termiska massan ca 5 kg/m², är uppvärmnings- och avsvälningstiderna korta. Avsvälningstiden är framförallt betydelsefull vid torkningsprocesser, av t e x papper eller textil, då ett stopp på materialet som torkas måste resultera i att värmningen avbryts direkt. Redan ca 5 sek efter det att förbränningen stoppats är fiberplattan så sval att man kan beröra den. Uppvärmnings- och avsvälningstiderna är även betydelsefulla vid användning av strålaren i ugnar.

Nedslag förhindras genom att fibermattan fungerar som en isolator pga sin låga värmeledningsförmåga. Stabilisering av lågan sker mha den konvektion som uppstår i förbränningszonen.

Fiberbrännaren arbetar efter nästan samma principer som en brännare med keramisk platta men är stabilare vad det gäller nedslag och kan fungera med ett lägre luftöverskott. Den är till skillnad från brännaren med keramisk platta inte speciellt känslig för termiska chocker.

Avsaknandet av en öppen låga gör också att den kan placeras närmare en produkt som skall värmas, vilket gör att energiutbytet mellan strålaren och den produkt som skall värmas ökar.

Det finns två typer av fiberbrännare, klassade efter arbetstemperatur. Högtemperaturtypen (850-1100°C) arbetar vanligen utan katalysator.

Lågtemperaturtypen (200-450°C) måste ha en katalysator för att få en bra förbränning.

Högtemperaturtypen kan användas i samma applikationer som brännare med keramiska plattor men är inte lika vanlig som dessa. Detta beror förmodligen på fiberbrännarens högre pris. Men utvecklingen och fiberbrännarens fördelar i industriella processer har gjort att den börjar bli allt mer vanlig i Europa.

Lågtemperaturbrännaren skiljer sig från högtemperaturbrännaren genom att den arbetar med en yttemperatur ner till 200°C och man har en mörk yta som avger IR-strålning. Den är också en diffus brännare där gas/ luftblandningen sker på brännarytan. Tändningen sker med en pilotlåga eller med ett elektriskt element. Förbränningsreaktionen initieras och underhålls av närvaron av ett katalytiskt material (vanligtvis platina) på brännarytan.

En modell av keramisk fiberbrännare som är under utveckling är den cylindriska fiberbrännaren. Brännaren består av en metallkropp som är belagd med ett keramiskt fibermaterial och arbetar efter samma principer som den keramiska fiberplattan.

Gas/luftblandningen strömmar från mitten och ut genom fibermaterialet där den antänds på ytan som glöder med en temperatur på ca 800°C. Den låga värmekonduktiviteten hos fibermaterialet och den avkylande effekt som gas/luftblandningen har håller temperaturen på brännarens insida på en låg nivå.

Användningsområde är framförallt i immersionstuber för värmning av vätskebad och eldrörspannor.

Eftersom förbränningen sker jämt över hela brännarytan får man en värmetransport som fördelar sig lika över hela den tubyta som skall värmas.

Vid applikationer där en konventionell brännare kan vara svår att applicera är fiberbrännaren utmärkt p.g.a. sin flexibilitet när det gäller längd-diameter förhållandet, som kan vara upp till 30-1.

Brännaren finns i storlekar från ca 60 kW upp till ca 2 MW och kan tillverkas i storlekar efter kundens önskemål. Den stora nackdelen är att fibermaterialet blir poröst och är mycket känsligt för beröring.

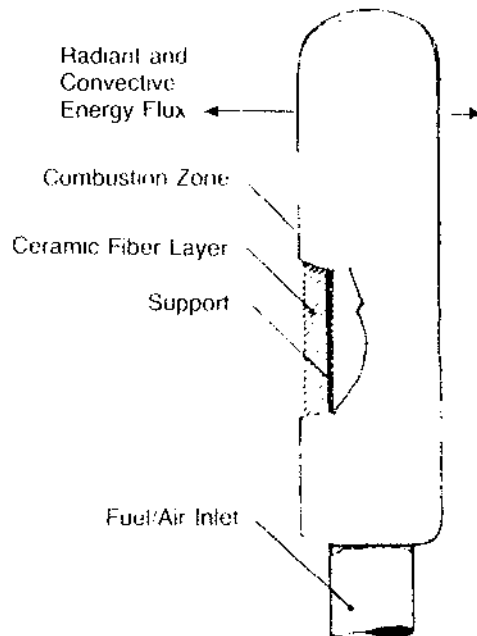


Fig. 2:3.2 Cylindrisk keramisk fiberbrännare.

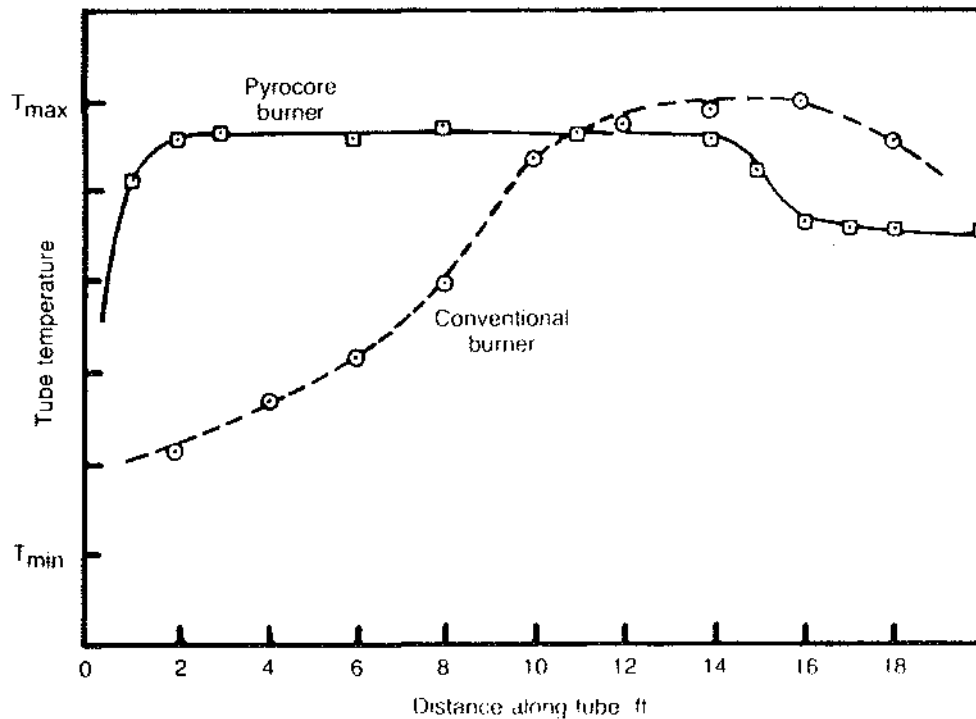


Fig. 2:3.3 Jämförelse av temperaturfördelningen vid förbränning i en immersionstub, mellan en konventionell brännare och en fiberbrännare.

2.4. METALLFIBERBRÄNNARE.

Metallfiberbrännaren är en utveckling av den keramiska fiberbrännaren. Brännaren utvecklades från början i syfte att finna en brännare med ett material som var robustare än det keramiska materialet. Det har också visat sig att metallfiberbrännarna tål slag och beröring bättre än keramiska brännare. När man använder sig av rostfritt stål får man emellertid problem med oxidation redan vid ganska låga temperaturer

Shell Research Ltd har tagit fram en brännare som består av en blandning av olika metaller, krom, aluminium och yttrium som har visat sig stå emot oxidation upp till en temperatur av 1200°C.

Fibermaterialet bildar en labyrinthstruktur som tillåter gas/luftblandningen att strömma igenom. Eftersom metallen i sig är mekaniskt starkt kan metallytan göras ganska tunn, 2,5 - 5 mm.

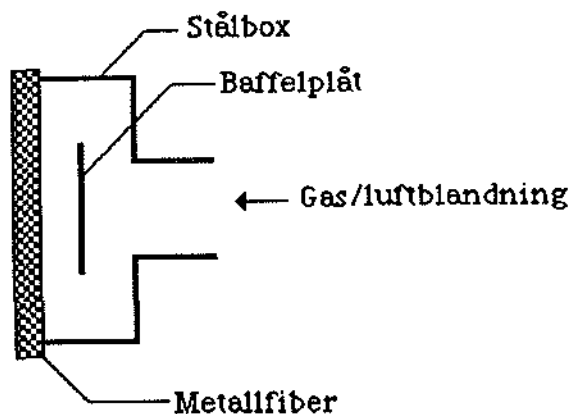


Fig. 2:4.1 Metallfiberbrännare.

Brännaren arbetar, enligt tester på Shell Research, bäst vid effekter mellan 100-1000 kW/m². Under 100 kW/m² fick man en låg ytuppvärmning av metallen och över 1000 kW/m² fick man en bildning av blå lågor. Vid tester med effekter över 2000 kW/m² bildades flammen ovanför metallfibrerna. Detta innebär att brännaren har ett reglerområde på 10:1 inom vilket man har en stabil förbränning. Temperaturen på metallytan stiger med tillförd effekt, vilket kan ses i nedanstående diagram.

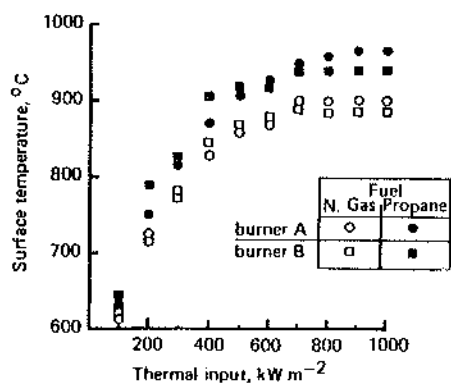


Fig. 2:4.2 Ytemperaturen variation s.f.a. tillförd effekt. Brännare A har en porösare ytstruktur än brännare B.

Vid testerna mättes även NO_x-emissionerna. Man fann att NO_x-emissionerna till stor del är beroende av hur metallfiberstrukturen ser ut. Ju porösare struktur desto högre NO_x-halt eftersom man vid en porösare struktur har lokala zoner med högre temperatur. NO_x-halterna befanns ligga på låga värden i det område där flaman var stabil (100-1000 kW/m²).

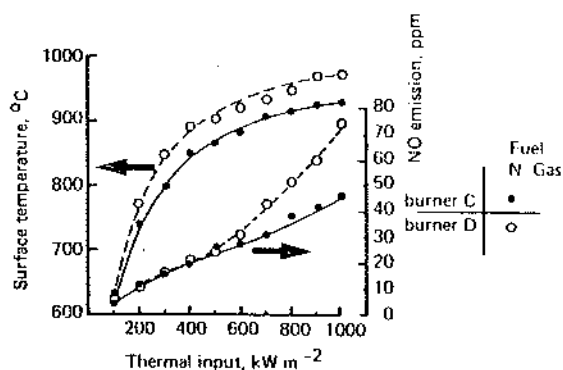


Fig. 2:4.3 Ytemperatur och NO_x-emission s.f.a. tillförd effekt. Brännare D har en porösare fiberstruktur än brännare C.

Man räknar med att brännaren har en mängd användningsområden, både inom industriprocesser och till uppvärmningsändamål, eftersom den är lätt att bygga i nästan vilken form som helst. Brännaren kan t.e.x. ersätta en konventionell gas-eller oljebrännare i en ångpanna och därmed förbättra värmeöverföringen samt minska kvävedioxidbildningen.

2.5. STRÅLNINGSVÄGG.

Strålningsväggen består av porösa keramiska block som släpper igenom gas/luftblandningen.

Gas och luft blandas i ett venturidysa och blåses igenom väggen som består av högporösa block. Borrade hål medger ett fritt flöde genom cirka tre fjärdedelar av blocktjockleken. Den sista biten genom blocken strömmar blandningen genom porerna och får en förvärmning innan själva förbränningen tar vid. Förbränningen sker strax under och på ytan och består av så många små flammor, att man nästan kan tala om en flamlös förbränning.

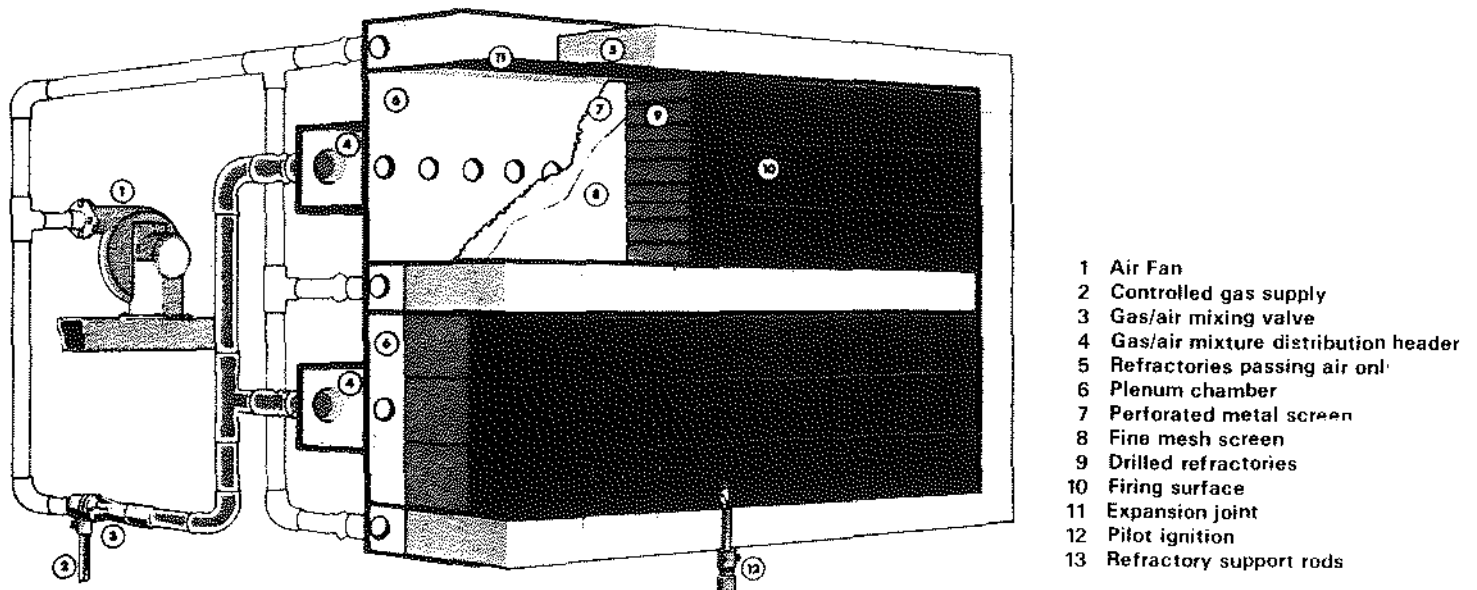


Fig. 2:5.1 Strålningsvägg.

Luftspalten som ligger runt strålväggen förhindrar att man får en konvektiv värmeöverföring till stålkonstruktionen och cirkulations-kammaren runt strålväggen. Även denna luft går genom porösa stenblock.

Regleringen kan ske på olika sätt. On/off, 2-steps eller modulerande reglering.

Max effekt hos strålaren är ca 300 kW/m². Min effekt är ca 60 kW/m².

Temperaturen på strålningsytan kan varieras från ca 600°C till ca 1250°C. Emellertid kan man med On/off-reglering gå ännu lägre i genomsnittstemperatur. I dessa fall brinner pilotlågan hela tiden och tänder brännaren varje gång gasventilen öppnar.

Strålväggen kan delas in i sektioner, där varje sektion har sin separata cirkulationskammare. På detta sätt kan man få oberoende zonuppvärmning, manuellt eller automatiskt.

Uppvärmningen hos en strålvägg är snabb (några sekunder från tändningsögonblicket) men även avkylningen går snabbt tack vare att luftfläkten fortsätter att gå även om gasventilen stänger.

2.6. ÖVRIGA IR-TYPER.

Förutom de nämnda brännarna finns det några mer eller mindre vanliga andra typer. Flera av dessa har en konventionell brännare vars låga riktas mot en ickeporös keramisk yta. Den uppvärmda ytan ger ifrån sig strålning. Det ickeporösa keramiska blocket har en högre temperaturkapacitet än det porösa keramiska blocket och kan arbeta med yttemperaturer upp till ca 1500°C. Detta gör att brännaren vanligen används i industriella processer, framförallt ugnar, där processen kräver en hög temperatur. Brännarna finns i några olika utförande.

Brännare av "kopp"-typ.

Gas-luft blandningen tillförs från en atmosfärblandare och flamman riktas mot den keramiska ytan som värms upp och avger strålningen. Brännaren finns från ca 1.5 - 110 kW. Om större effekter krävs använder man sig av flera små brännare. Regleringen sker genom att man varierar gasflödet till atmosfärsblandaren. Temperaturen ligger mellan 350 - 800°C.

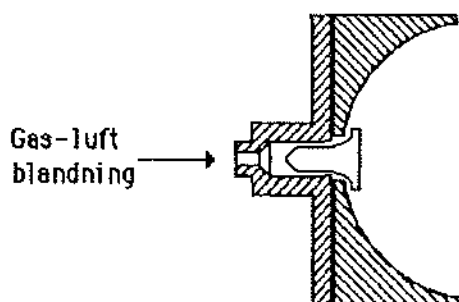


Fig. 2:6.1 Strålningsbrännare av kopp-typ.

Kronformad strålningsbrännare.

Förbränningsluften tillförs axiellt kring gasstrålen. Detta gör att luften börjar rotera. Gas-luftblandningen sker i brännaröppningen där antändning sker. P.g.a. centrifugalkraften trycks lågan ut mot brännarkupan och ugnsytan omkring brännaren. Brännareffekten varierar mellan 35 - 1400 kW. Reglerbarheten är 4/1 och brännaren kan fungera med 100% luftöverskott. Temperaturen ligger mellan 460 - 1300°C

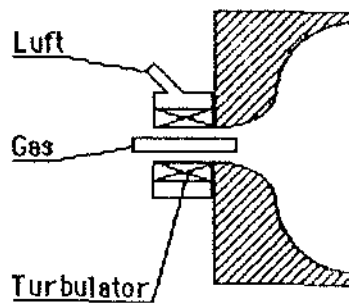


Fig. 2:6.2 Kronformad strålningsbrännare.

Klotformad strålningsbrännare.

Brännaren liknar den kronformade brännaren till konstruktionssättet. Det som skiljer dem åt är det eldfasta blocket som är klotformat på denna brännare. Formen möjliggör en flamma som är mycket kort. Effekt, regleringsmöjligheter och temperaturer är de samma som gäller kronformiga brännaren.

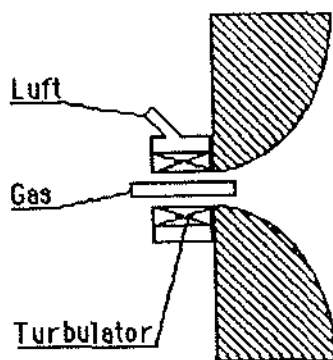
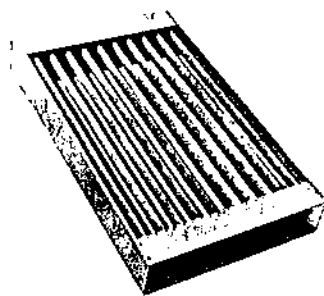


Fig. 2:6.3 Klotformad strålningsbrännare.

2.7. TUBSTRÅLARE.

Tubstrålarna arbetar inom det långvågiga området med en ytemperatur mellan ca 200 och 450°C. Strålarna har tagits fram eftersom många applikationer som skall torkas eller värmas har en stor absorptionsfaktor vid en längre våglängd än vad en mellantemperaturstrålare kan ge. Dessa applikationer kan vara t.e.x. färgtorkning och värmning av mat. Vid användandet av tubstrålare har man i Japan funnit att tork- värmningstiderna förkortas väsentligt samt att energibesparingarna kan bli upp till 30%. En annan viktig del vid användandet av tubstrålarna är att kravet på utrymme, i jämförelse med en konventionell ugn, kan minskas med upp till 50%.

Strålarna är uppbyggda av tuber. I änden på tuberna sitter en gasbrännare vars låga och rökgaser värmer dessa. De varma tuberna avger i sin tur IR-strålning till omgivningen. För att rikta strålningen kan sedan olika typer av reflektorangemang förekomma. De strålare som har tagits fram av Osaka gas i Japan har en effekt på 35 kW. Storleken kan emellertid förändras, beroende på applikation, genom att öka eller minska antalet tuber. Brännaren är en ganska enkel typ av atmosfärbrännare.



Model	FIH-30 (14)	FIH-30 (18)	Remarks
Heating value of combustion (kw)	35	35	
Dimensions (mm)	A	1,720	2,120
	B	1,040	1,040
	C	225	225
	D	1,400	1,800
	E	100	100
Weight (kg)	98	121	

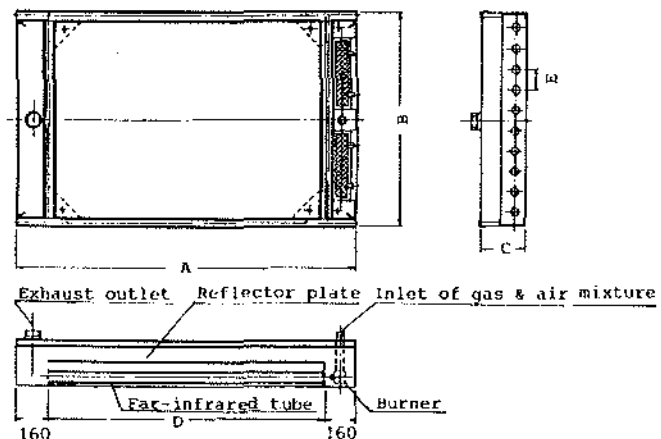


Fig. 2:7.1 Exempel på en tubstrålare framtagen av Osaka gas i Japan.

Som ses i fig 2:7.2. har objekt med komplexa molekyler stor absorptionsförmåga vid långvågig strålning, den långvågiga strålningen kan sägas vara den mest effektiva värmningsmetoden för den här typen av material.

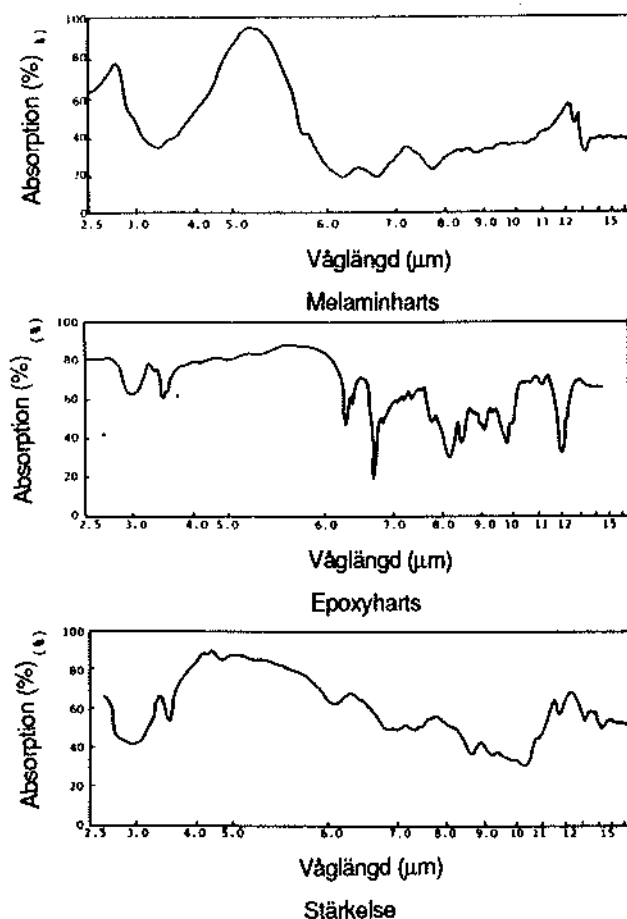


Fig. 2:7.2 Absorptionsförmågan s.f.a. våglängden för några olika ämnen.

Exempel på applikationer där långvågig strålning är effektiv är:

- Färgtorkning
- Torkning av tryckfärg
- Värmning av syntetisk harts
- Limtorkning
- Torkning av trä och träprodukter
- Värmning av matprodukter.

De fördelar som kan uppnås med tubstrålare är:

- Energibesparing
- Reducering av utrymme
- Högre produktkvaliteter
- Avgaserna kan utnyttjas effektivt.

I Japan har man fram till idag 47 installationer med tubstrålare fördelat på de applikationer som är angivna ovan.

Exempel på installationer visa nedan. En färgtork och en bakugn för fiskbullar.

Färgtork.

Fig 2:7.3 visar en färgtork där de produkter som skall torkas transporteras på en transportör. Strålarna är installerade på över och under godset. En jämförelse med en konventionell lufttork för samma ändamål visar att strålugnen har stora fördelar när det gäller energiåtgång och utrymmes-krav. Fig. 2:7.4.

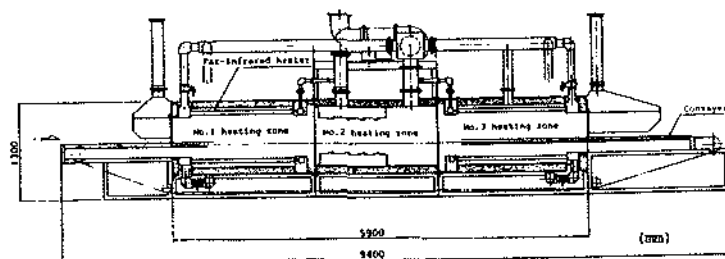


Fig. 2:7.3 Färgtork.

Drying time	8 min. 21 min.	Time reduction by 62%
Fuel consumption rate	1925 kJ/kg 2845 kJ/kg	Energy saving by 33%
Installation space	7.2 m ² 14.9 m ²	Space saving by 52%

Fig. 2:7.4 Jämförelse mellan en IR-tork och en konventionell torkugn.

Bakugn för fiskbullar.

I bakningsdelen av ugnen värms fiskbullarna till 40°C av en infrastrålare för att få rätt konsistens. För att få rätt färg på ytan har man sedan ett andrasteg där man har infrastrålare av medeltemperaturtyp.(röd IR)
En jämförelse med en konventionell ugn där man endast har röda IR-strålare (varmluft i bakningsdelen) visar att långvågsstrålarna ökar produktionen genom att värmningstiden förkortas. Fig 2:7.6. visar denna jämförelse.

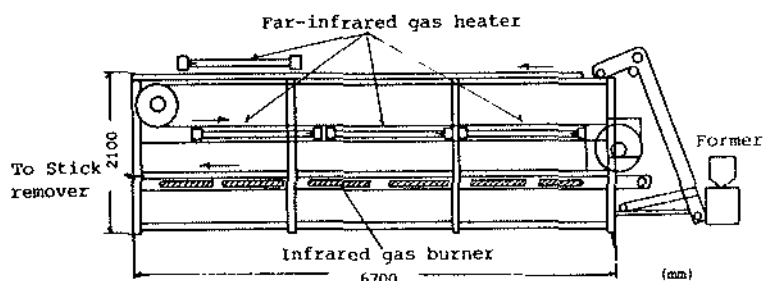


Fig. 2:7.5 Bakugn.

Treatment time	11 min. 29 min.	Time reduction by 62%
Fuel consumption rate	105 kJ/piece 240 kJ/piece	Energy saving by 56%
Production capacity	1800 pieces/h 4000 pieces/h	Productivity increased by 122%

Fig. 2:7.6 Jämförelse mellan en IR-ugn och en konventionell ugn.

3 TILLÄMPNINGAR

3.1 ALLMÄNT OM TORKNING

Att torka innebär att ett material frigörs från vatten eller någon annan vätska. Ofta sker detta genom förångning av vätskan. (Förutsättes i fortsättningen att vätskan som skall drivas ur materialet är vatten, då detta är det vanligaste fallet. Principen är i stort sett den samma oberoende av vilken vätska det gäller. Skillnaden ligger i hur stor effekt som krävs för att förånga vätskan, ångbildningsvärmets.)

Torkförloppet för ett fuktigt material kan indelas i tre faser, vilka framgår av fig. 3:1.1

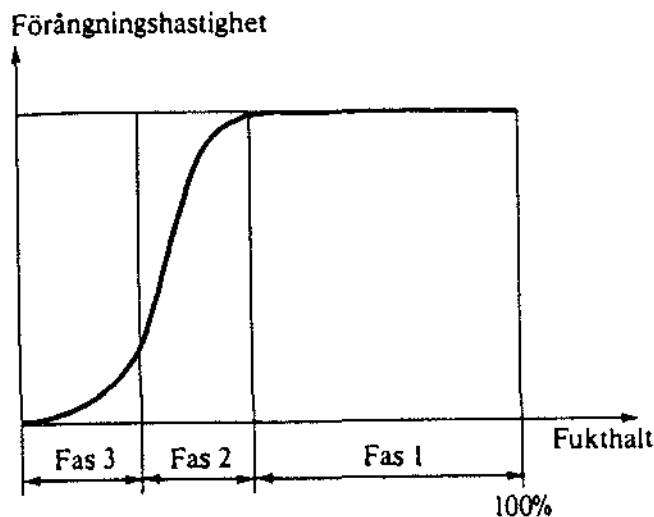


Fig. 3:1.1 Förångningshastigheten s.f.a. fukthalten.

I fas 1 förångas vattnet med konstant hastighet. Materialets yta är vätskemättad, vilket gör att förångningshastigheten är den samma som från en fri vattenyta.

I fas 2 avtar förångningshastigheten starkt. Diffusions- och kapillärkrafterna kan inte hålla ytan mättad med fukt. Man kan tala om en torkningsfront, som sakta rör sig in i materialet. Den fukt som är bunden inne i materialet måste, för att kunna förångas, passera genom material som har en lägre fukthalt. Vid torkning av porösa material, såsom papper och textilier, rör sig torkfronten snabbare än vid mindre porösa material, såsom tex färg.

I fas 3 avtar förångningshastigheten långsamt. Den markanta skillnaden i fukthalt mellan materialets yta och kärna har jämnats ut, och alla delar av materialet avger fukt och fukthaltsfördelningen blir allt jämnare.

Fuktig luft är en blandning av luft och vattenånga. För att förångning skall kunna ske från en fuktig yta får den omgivande luften inte vara mättad med vattenånga. Ju högre luftens temperatur är, desto mer vattenånga kan den ta upp innan den blir mättad. Skall förångningen bli effektiv måste alltså den luft som befinner sig ovan materialets yta hållas så "torr" att den kan ta upp den fukt som avges från materialet. Den får inte heller innehålla så mycket vattenånga att förångningsprocessen dämpas.

Förutom materialets egenskaper så är det följande faktorer som påverkar förångningsförloppet:

Luftens temperatur

Luftens innehåll av vattenånga (vattnets partialtryck)

Vattenångans strålningsabsorption

Materialets temperatur

För att förånga vatten krävs en hög och effektiv värmetillförsel. Ångbildningsvärmets värme är för vatten 2260 kJ/kg. För lösningsmedel, såsom trikloretylen (240), xylol (339), toluen (356), bensen (393) mfl är ångbildningsvärmets betydligt lägre.

Dessutom krävs en effektiv ventilation, för att vattenångan ovan den fuktavgivande ytan skall hålla ett lågt partialtryck. Trots att man i en torkugn har en stor luftomsättning så bildas det ovanför materialytan ett gränsskikt av stillastående luft/vattenånga. För att förångningen skall ske så effektivt som möjligt måste detta ångskikt brytas upp med någon form av luftstrålar eller luftknivar.

Vid torkning med IR-strålare sker värmeöverföringen direkt till det fuktiga materialet. Det är endast en liten del av strålningsenergin som absorberas av den luft och vattenånga som finns mellan ytan och strålaren. Luftens enda uppgift är att transportera bort vattenångan, inte som i en konventionell torkugn där luften dels skall transportera värmeen energi till materialet och dels transportera bort vattenångan.

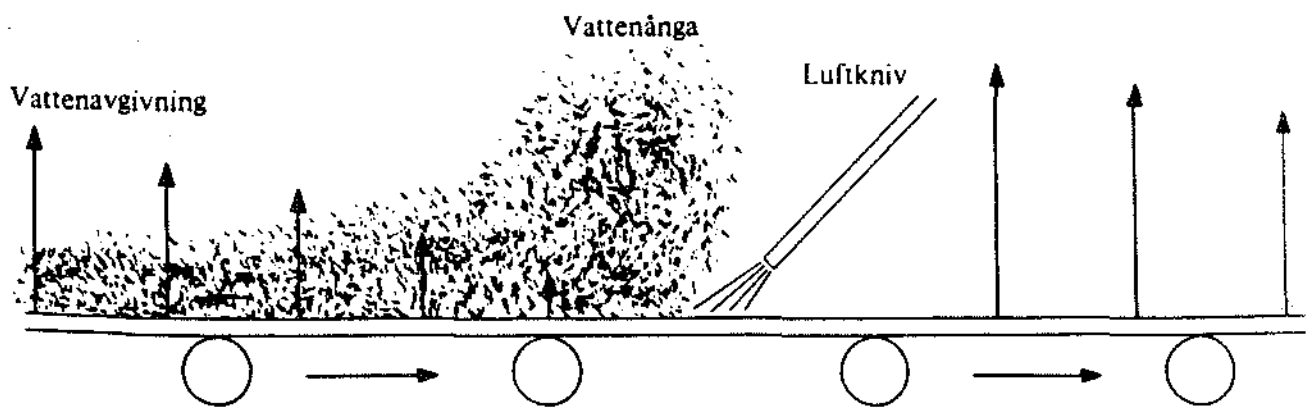


Fig. 3:1.2 Brytning av ångskikt med luftkniv.

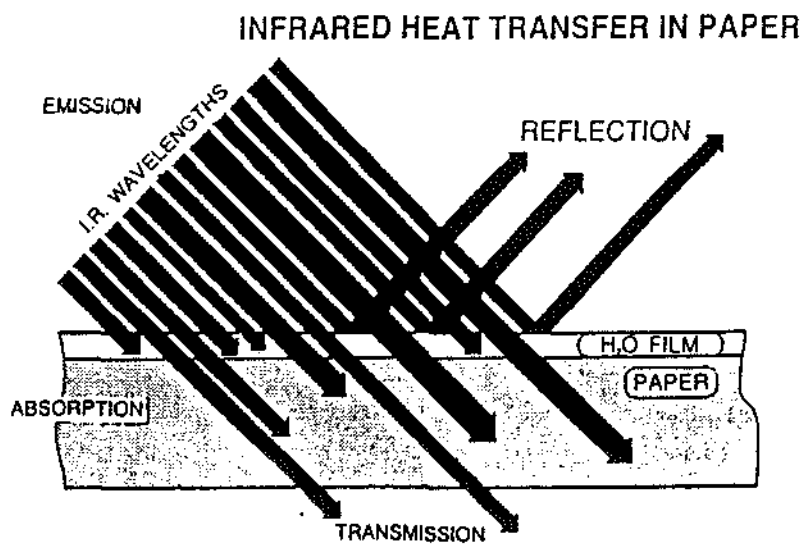


Fig. 3:1.3 IR-värmeöverföring till material (papper) som skall torkas.

3.2

IR-STRÅLARE I PAPPERSMASKINEN

IR-strålning tränger direkt in i pappersbanan och eliminerar den våta kärna och de övertorra ytor som ofta uppstår vid användandet av ångvärmda cylindrar för torkning.

IR-strålningen är betydligt effektivare än ångcylindertorken under uppvärmningsfasen och i sluttorkningsfasen.

IR-strålning torkar ytbeläggningar utan fläckbildning som kan vara ett problem vid konventionell torkning, och IR-torkningen minskar bindmedelsvandringen markant.

IR-strålarna kan vara av elektrisk eller gaseldad typ.

Elektriska IR-strålare

De elektriska IR-strålarna är lampor med tungstenglödtråd, vilken opererar i en halogen atmosfär innesluten i kvartsglas. Då ytan hos glödtråden är mycket liten, arbetar den elektriska strålaren vid mycket hög temperatur, ca 2200°C, för att erhålla en hög avgiven energimängd.

Detta betyder att emissionsmaxpunkten ligger på ca 1,1 μm . Vid denna temperatur faller ca 20% av energin ut vid 1 μm eller mindre, där det inte absorberas någon strålning alls, vare sig av det i pappret bundna vattnet eller av fibrerna i pappret, och en stor del av energin är i form av synligt ljus.

Tungsten har en emissivitet på 0,301 vid 2500°K. Detta är mycket lågt, och verkningsgraden reduceras ytterligare av det kvartsglas som omsluter glödtråden.

Nettoresultatet blir (under ovanstående förhållanden, ref 11) att endast ca 30% av den tillförda energin utnyttjas för förångningen av vattnet i pappret.

Gaseldade IR-strålare

Gaseldade IR-strålare producerar strålning med längre våglängd än de elektriska, och denna längre våglängd stämmer bättre överens med vattnets och med papprets absorptionsband.

Strålare av keramisk material har yttemperatur på ca 850°C, alltså strålningsmaximum vid 2,5-3 μm . I detta område finns också pappersfiberns och vattnets högsta absorptionsvärden.

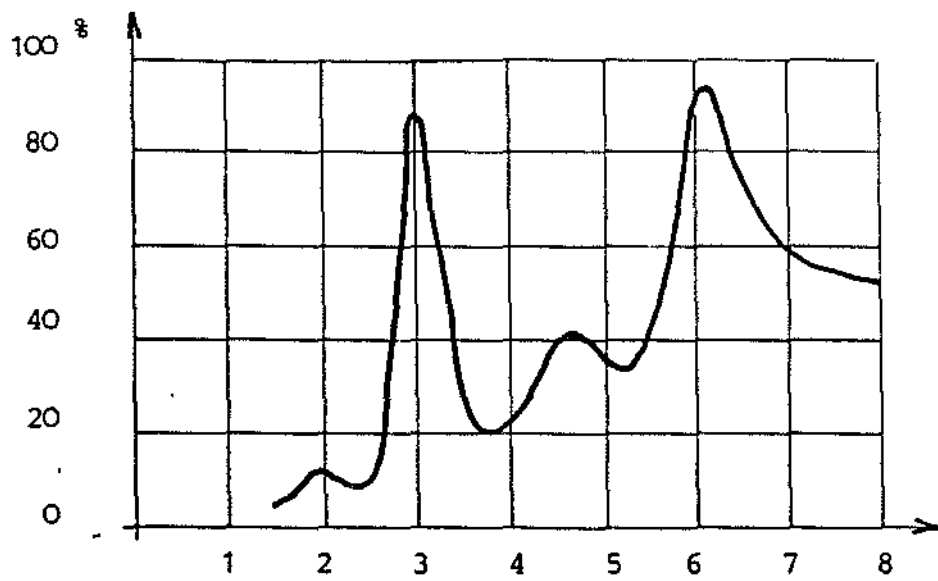


Fig. 3:2.1 Absorptionen s.f.a. våglängden, för vattenfilm.

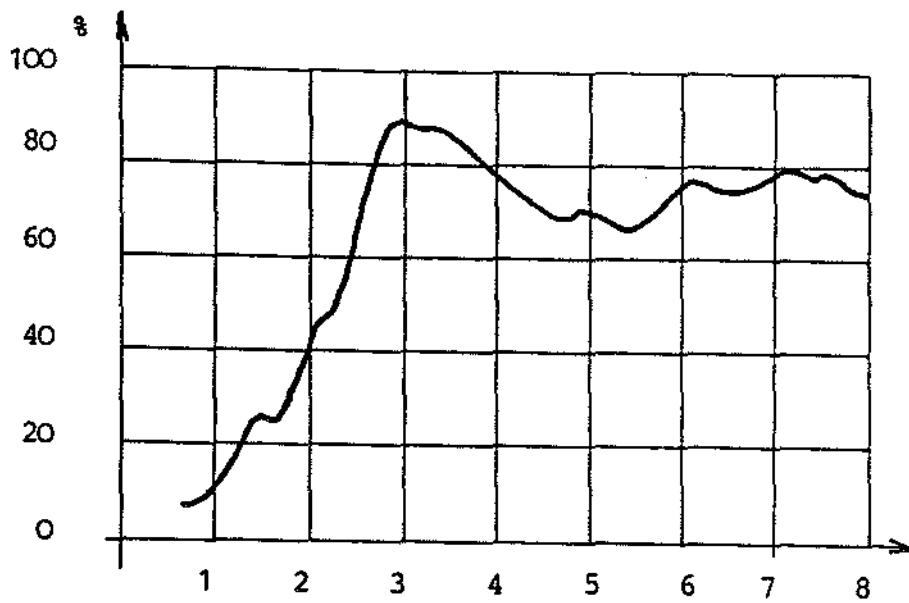


Fig. 3:2.2 Absorptionen s.f.a. våglängden, för torrt papper.

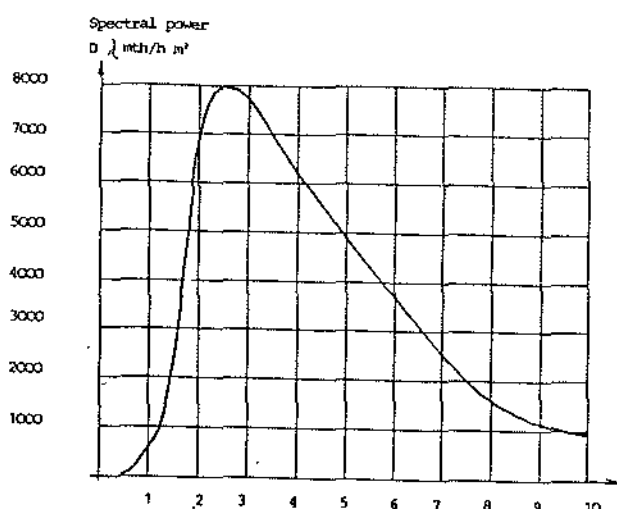


Fig. 3:2.3 Spektral strålningseffekt s.f.a. våglängden, för strålare med ytemperatur ca 900°C

Strålare av metallfibertyp består till stor del av nickeloxid som har emissiviteten 0,86 vid 1500°K, nästan 3 gånger högre än hos tungsten.

Alla gaseldade IR-strålare bildar avgaser bestående av CO₂ och vattenånga. Dessa gaser bildar ett gränsskikt runt strålarytan och genererar även de en infraröd strålningsenergi, som under vissa förhållanden kan vara av ej försumbar storlek. Den totala strålningsemissiviteten kan bli mycket hög och kan om man använder metallfiberstrålare under vissa gynnsamma förhållanden komma upp nära 1, (ref 11).

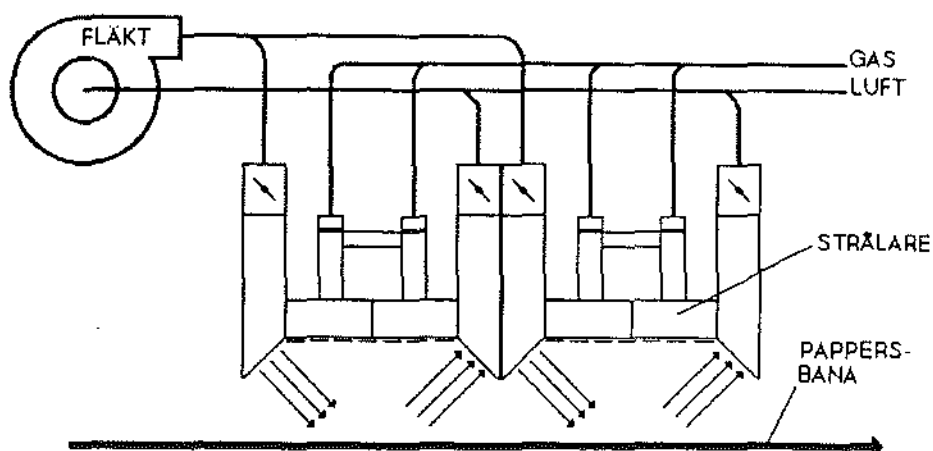


Fig. 3:2.4 Exempel på arrangemang av strålare och ventilation för ett strålarpaket ovan en pappersbana.

I en del pappersmaskiner installeras strålarna efter presspartiet eller ytbeläggningen för att möjliggöra kontaktfri torkning och reducera bindmedelsvandringen.

Ett stort antal installationer har gjorts i presspartiet eller just före presspartiet. Dessa strålare gör att vattnets viskositet minskar med en större mängd utpressat vatten som följd.

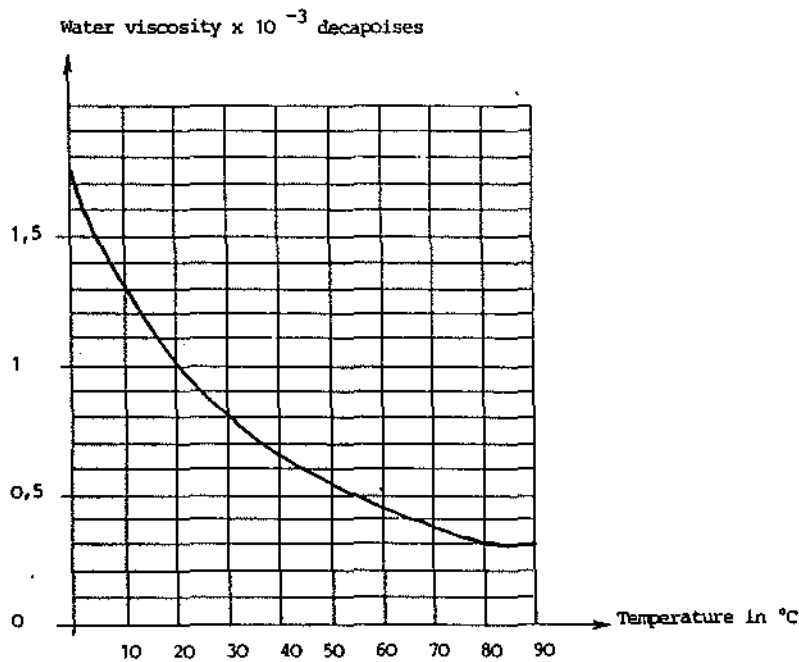


Fig. 3:2.5 Vattnets viskositet s.f.a. temperaturen.

Strålare placerade just före torkpartiet gör att man får en förvärmning av vattnet i pappersbanan innan den går in i torkpartiet.

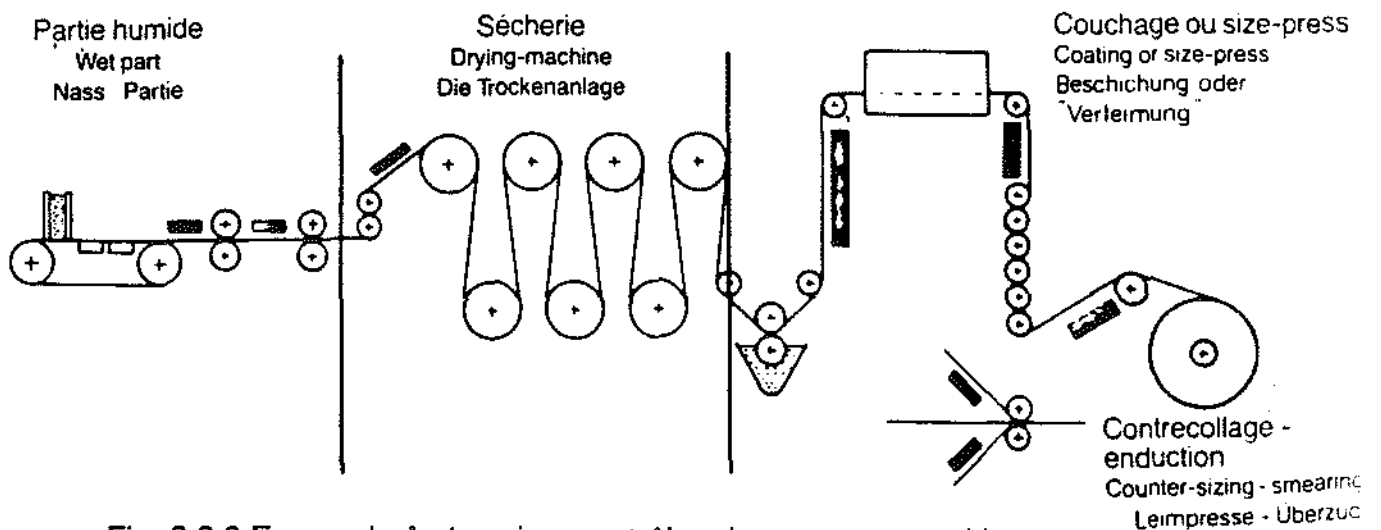


Fig. 3:2.6 Exempel på placering av strålare i en pappersmaskin.

Vinsterna med dessa installationer är anmärkningsvärda. Fuktprofilvariationerna tvärs pappersbanan (CD-Cross Direction) har minskats med 50% eller mera, med en samtidig hastighetsökning på banan med 10-20%. Energiförbrukningen per kg förångat vatten kan reduceras med mer än 50% vid placering vid presspartiet (200g/m² papper) och med 40% vid förvärmningsapplikation.

Wet end application Press section results				
Product	Speed increase	Moisture spread reduction	# of rows	Mill location
Liner — 250gsm 51#/1000	11.4%	N.A.	4	Germany
Liner — 250gsm 51#/1000	9.0%	N.A.	5	Germany
Boxboard — 390gsm 80#/1000	10.5%	62%	7	Germany
Speciality — 85gsm 51#/3000	6.0%	41%	4	Holland
Speciality — 165gsm 80#/3000	16.7%	50%	7	France
Speciality — 31gsm 19#/3000	39.0%	67%	5	USA

Fig. 3:2.7 Produktionshastighets- och fuktprofilförändringar vid några olika installationer i pappersmaskiner.

Typical results forecast			
Grade	Liner board	Carbonless paper	Fine paper
Tons per day	1850	120	45
Moisture correction	3%	4%	4.2%
Resolution	1/2%	1/2%	1/2%
Systems price	374,202	153,375	102,825
Est. installed cost	449,042	184,050	123,390
Annual projected savings \$			
Additional production	1,275,477	1,548,346	805,846
Energy	787,733	66,467	168,630
Fibre	663,679	0	65,310
Total net savings	2,726,888	1,614,813	1,039,786
Payback (months)	1.6	1.1	1.4

Fig. 3:2.8 Återbetalningstider för några olika installationer i pappersmaskiner.

IR-strålning som anbringas vinkelrätt mot pappersbanan eliminerar den våta kärna som normalt uppstår i ett konventionellt torksystem bestående av ångvärmda cylindrar. Den ökar också det inre vattenångtrycket och möjliggör en betydligt bättre vattenångbortföring från de torkade regionerna. I torkmaskinens uppvärmningsdel kommer IR-strålningen till sin rätt. Där är värmeöverföringen mycket dålig i ett konventionellt system, i de första 22%-en av torksektionen förångas endast 7 % av vattnet i pappret. Detta beror på att värmeöverföringen mellan de varma cylindrarna och den fuktiga pappersbanan är relativt dålig, vilket medför en lång uppvärmningstid.

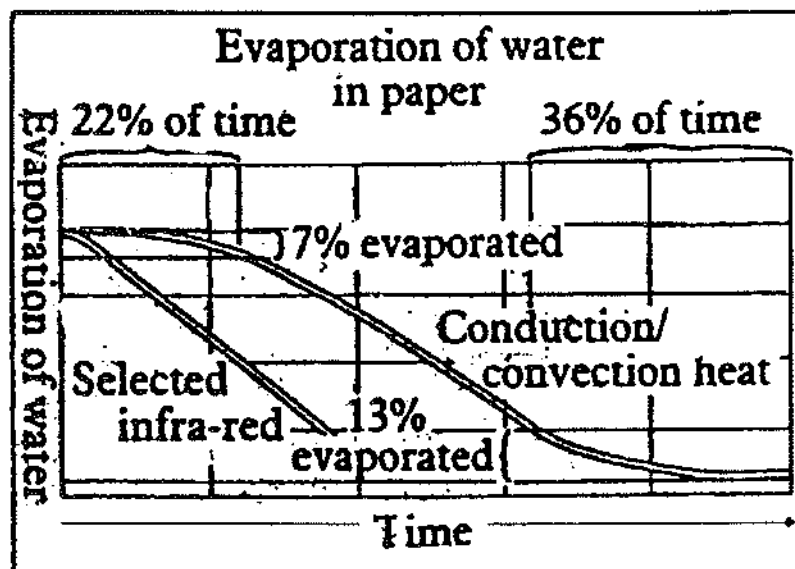


Fig. 3:2.9 Förångningshastigheten s.f.a. tiden för konventionell torkning och för en kombination med IR-strålare.

T.ex. så installerades IR-strålare i en finpappersmaskin efter sista presspartiet för att snabbt höja temperaturen från 50 till 70°C, som är den temperatur som krävs för att förångning skall kunna ske så blev resultatet det följande: slutprodukten fuktprofil-variation minskar med 50% med en samtidig ökning av hastigheten med 10%.

En av anledningarna till det goda resultatet var att ångcylindrarna inte behövde ta hand om förvärmningen. Det är ofta här som grunden till den stora variationen i fukthalt CD uppstår, värmeöverföringen CD är inte jämn och pappret får ojämn temperatur och därmed ojämn fuktavgång som följd.

Det stora flertalet pappersmaskiner skulle klara sig med en liten IR-sektion för att uppnå denna förvärmning. 600-900 mm MD (MD-Machine Direction, längs pappersbanan) är typiska storlekar för att förvärma banan från 50 till 70°C i en

maskin med en produktion av 50-60 ton per dygn och meter maskinbredd. En sådan sektion placerad mellan press- och torkparti skulle kunna ge följande fördelar:

- * jämn förvärmning i djupled, vilket ökar det inre vattenångtrycket och gör att torkningen i papprets inre del blir effektivare.
- * Temperaturen på första ångcylindern kan ökas.
- * Hastigheten kan ökas och ångförbrukningen kan minskas med vardera 10-20%.
- * Fuktprofilvariationen kan minskas med ca 50%, pga den jämnare temperaturen.

Absorptionseffektivitet

Dominerande faktorer som påverkar absorptionseffektiviteten är papprets vikt per ytenhet och dess ytre reflektionsegenskaper. Lättare papper kräver att man anordnar någon slags reflektor (eller använder en befintlig torkcylinder som reflektor) på papprets baksida, för att reflektera den strålningsenergi som transmittats genom pappret. Tyngre papper som kartong o.dyl. absorberar i det närmaste all strålningsenergi och kräver därmed inte någon reflektor. Den mesta energin som reflekteras från papprets yta strålar tillbaka till IR-strålarens yta.

Fuktutdrivningseffektivitet

Enbart uppvärmning av pappersbanan garanterar inte att man får en fuktutdrivande effekt. Följande faktorer måste beaktas:

1. Växelvekan med andra torkningssystem. Det är fullt möjligt att en högeffektiv värmeöverföring med IR-strålare till pappersbanan, just innan banan går in i torkmaskinen, resulterar i att vattenångavgången minskar i torkcylindrarna, vilket kan betyda att pappersbanan har samma fukthalt vid torkmaskinens slut som innan IR-strålare användes. Produktionen kan ökas eftersom ångförbrukningen kan minskas, men fuktprofilen är fortfarande den samma. Denna växelvekan kan undvikas genom att placera strålarpaketet efter torkmaskinen istället.

2. Förångningsvärmens effektivitet. En uppvärmd pappersbana behöver inte betyda att fukten lämnar den samma. Vattenångtrycket i pappersbananeytans omedelbara närhet måste hållas låg. Konsekvensen är att en IR-installation kräver en adekvat ventilation som är tillräcklig för att bortföra en så stor mängd vattenånga som förångas från pappersbanan.

3. Medelfukthalten. Då IR-strålning är fullkomligt penetrerande, kommer vattenmolekylerna att bindas hårdare till fibermolekylerna när fukthalten går under 5-6%. Även om IR-strålning är mycket mer effektiv än torkcylindrar i detta område, så börjar dess förmåga att driva ut fukt ur pappersbanan att minska.

Fuktprofilen

Fuktprofilen varierar både CD och MD. Variationer i fuktprofilen är ett stort problem inom pappersindustrin. Det är dels kvalitetsmässigt betingat, då det i papprets kvalitetskrav ställs villkor att fukthalten i pappret inte får överskrida ett visst antal procent, och det gäller då toppvärden. Variationer påverkar papprets fysikaliska egenskaper, tryckbarhet mm.

Dels är det ekonomiskt betingat att vilja ha en så jämn och kontrollerad fuktprofil som möjligt. Kan man "kapa topparna" på fuktprofilen så kan man också höja upp medelfukthalten i pappersbanan, närmare det maxvärde som finns utsatt för pappret. Detta gör att man kan spara in på antalet fiber per viktenhet färdigt papper.

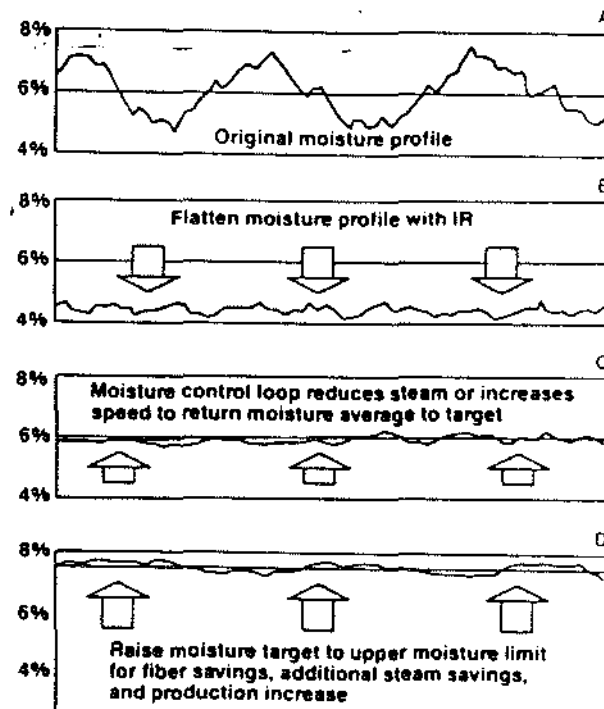


Fig. 3:2.10 Fuktprofilutjämning vid användande av IR-strålare.

Hur detta kan se ut illustreras i fig.3:2.10. Resultatet kan bli antingen minskad ångförbrukning, ökad produktion eller en kombination av de båda.

Fuktopporna i kurva A reduceras med hjälp av IR-strålare, med en lägre medelfukthalt som följd, kurva B. Ett mikrodatorbaserat kontrollsystem återför ärvärdet, och använder detta för att antingen minska ångproduktionen eller öka produktionshastigheten, kurva C, och man erhåller samma medelfukthalt som i kurva A. I båda fallen så kommer förbrukningen av ånga per ton papper att minska. När nu fuktprofilen jämnats ut kan man låta kontrollsystemet höja upp medelfukthalten mot sitt maxvärde, med ytterligare ångbesparing eller produktionsökning som följd, kurva D.

Kvalitetsaspekter

En omedelbar verkan hos IR-systemet är produktionsökning, då effekten uppträder endast några minuter efter att man slagit till strålarna. Men även kvalitetsförbättringarna, pga ökad produktion i förädlings- och omrullningsprocesserna, är av samma om inte större dignitet som den minskade ångförbrukningen eller den ökade banhastigheten. Kvalitetsförbättringar kan vara i form av att kassationen i upprullningspartiet minskar, kalandreringen (glättningen) sker mer kontrollerat pga den förbättrade temperaturprofilen CD, arkskärningen förenklas med mindre kassation som följd samt pappersbanans homogenitet förbättras. Amerikanska försök visar på att kassationen kan minskas med uppemot 46%.

Sist men inte minst så ger detta till följd att kundernas klagomål på papperskvaliteten minskar.

Bestrykning

I många finpappersmaskiner sker någon form av bestrykning. De största fördelarna med att använda IR-strålare i dessa är att bindmedelsvandringarna minskas, minskad fästning (picking) på de första torkcylindrarna efter bestrykningen, kassation under kalandringen minskar samt mängden kvalitetsgodkänt papper ökar.

Säkerhet

Liksom vilken energikälla som helst (t.ex. ånga eller elektricitet) är IR-strålare en potentiell risk för utrustning och personal om inte effektiva försiktighetsåtgärder vidtages. Allt eftersom användandet av IR-strålare i pappersmaskiner har ökat, så har även erfarenheten av säkerhetsutrusningar ökat.

Följande faktorer är att tänka på innan en installation skall göras.

1. Temperaturen på alla exponerade ytor skall ligga under papprets antändningstemperatur. Strålaren skall vara av en typ som svalnar ner under denna temperatur omedelbart eller så måste strålpaketet anordnas på sådant vis att hela paketet omedelbart förs bort från pappersbanan vid eventuellt stopp på pappersbanan. Det finns idag på marknaden utrustningar som vattenbegjuter pappersbanan om dess temperatur överskrider en inställd temperatur. Dessa system kopplas ofta ihop för att maximal säkerhet skall nås.

2. Avbrottsdetektorer skall finnas som känner om pappersbanan går av. Avbrott skall detekteras just före och just efter strålpaketet. Ibland används tre stycken avbrottsdetektorer för att med en två-av-tre-logik ge möjlighet till att byta ut en trasig detektor utan att strålarna stängs av. För att strålarna skall stängas av krävs då att minst två av de tre detektorerna ger felsignal.

3. En rotationssensor skall finnas inkopplad för att stänga av strålarna om maskinhastigheten underskrider ett inställt värde.

4. Brännbart material skall inte placeras nära strålpaketet. Kontrollpanelen till strålpaketet skall vara så placerad att operatören kan försäkra sig om att det inte finns något brännbart material i närheten då strålarna startas.

Erfarenheten visar att säkerheten blir mycket god om dessa åtgärder vidtages.

Sammanfattning av fördelar vid olika placeringar

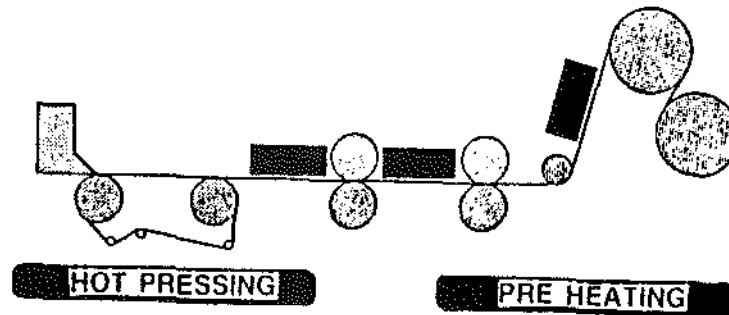


Fig. 3:2.11

Presspartiet:

- * minskning av vattnets viskositet
 - högre presseffektivitet
 - potentiell produktionsökning
 - minskning av ångförbrukning eller hastighetsökning
- * upp till 50% reduktion av fuktprofilvariationen i CD-riktning
- * högsta kända värmeövergångseffektivitet
- * stort reglerområde
- * möjlighet till automatisk fuktstråkreducering

Förvärmning:

- * reduktion av pickingsproblem på första torkcylindern
- * högre effektivitet än konventionella torkare i denna position
- * eliminering av våt kärna och våta ytor
- * minskning av energiförbrukningen eller ökning av produktionshastigheten
- * förbättrad fuktprofil
- * upp till 50% reduktion av fuktprofilvariationen i CD-riktning
- * förbättrad glättningsegenskaper

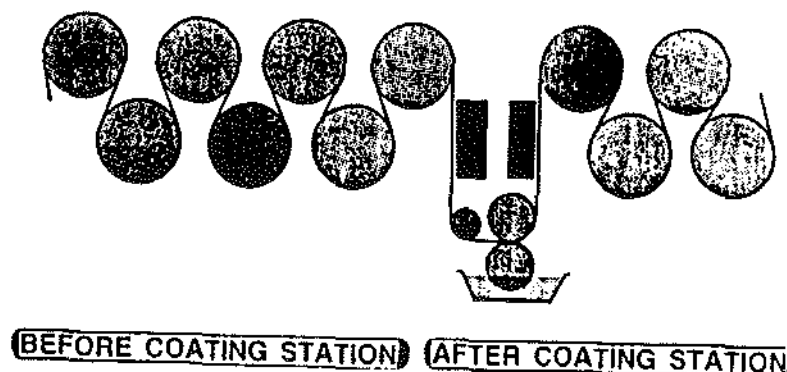


Fig. 3:2.12

Före bestrykning:

- * minskad ångförbrukning eller ökad produktionshastighet
- * besparing av fibrer
- * jämnare bestrykning
- * högre papperskvalitet
- * ökad torkningskapacitet

Efter bestrykning:

- * undvikande av våt kärna/skiktningseffekt
- * eliminerar bindmedelsvandring och efterföljande färgförändringar och smetningar
- * reducerar picking på första torkcylindern
- * ökar kvaliteten
- * potentiell produktionsökning
- * minskning av ångförbrukningen

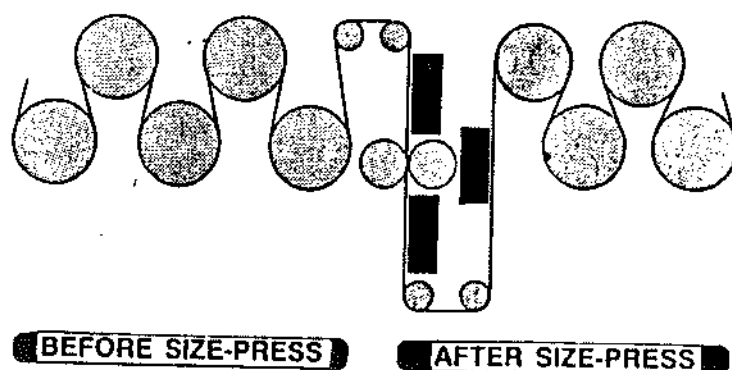


Fig. 3:2.13

Före tjocklekspress:

- * minskning av ångförbrukning eller ökning av hastigheten
- * besparing av fibrer
- * jämnare tjocklek efter pressen
- * ökning av kvaliteten
- * ökad torkkapacitet

Efter tjocklekspress:

- * reduktion av picking på första torkcylindern
- * potentiell minskning av ångtrycket i första torkcylindern
- * ökad torkkapacitet

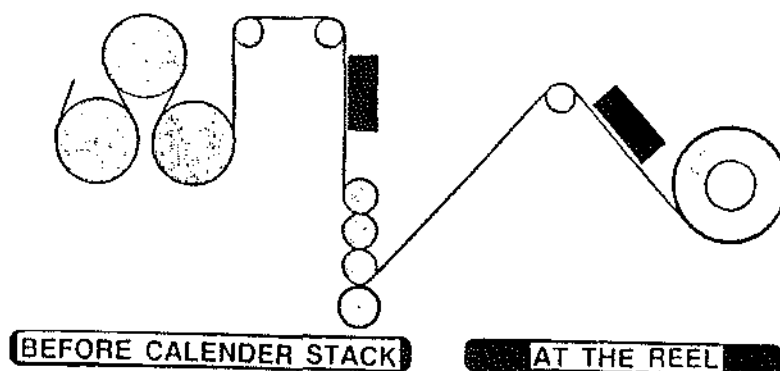


Fig. 3:2.14

Före kalendreringen/glättningen och vid upprullningen:

- * potentiell ökning av torkkapaciteten
- * förbättrad fuktprofil
- * besparing av fibrer och ånga
- * förbättrade bearbetningsegenskaper
- * ökad papperskvalitet
- * ökad jämnhet
- * högre effektivitet än konventionella torkare

BETONGHÄRDNING.

ng vintertid är det nödvändigt att tillföra värme för att undvika r att betongen skall uppnå en avsedd hållfasthetstillväxt. sätts normalt in när temperatuern understiger $+5^{\circ}\text{C}$. Medel- understiger detta värde under 5 till 8 månader i södra i Sverige.

lräcklig hög härdningstemperatur hos betongkonstruktionerna värme på några olika sätt.

gat är det traditionellt mest använda i Sverige, denna metod i dyraste metoden.

om monteras i formarna före gjutning är en metod som har en rkningsgrad men har förhållandevis höga monterings- och er.

en metod som framförallt är populär i Norge. Metoden på värmeförsel men vid temperaturer under -10°C krävs me i någon form.

används inom betongelementindustrin i form av elektriska IR- början på 50-talet. Från slutet på 70-talet har gaseldade at betydligt i Sverige. Infravärme är på väg att bli den ledande r betonghärdning i många länder idag. Detta beror på lar såsom lägre energikostnader, tillförlitliga system och att aktiskt taget samma produktion inom gjutning året om.

inds på byggarbetsplatser mot gjutformar av såväl stål som ste är att använda infra mot stålformar eftersom trä har sämre åga och värmeledningsförmåga vilket ger en lägre effektiv-

skedet av ett bygge har man problem att vid värmning ordna ng för att avgränsa uppvärmningen. Den ofrivilliga ventila- gget brukar vara stor. Strålningsarmaturerna är konstruerade tta mot den yta som skall värmas upp. Strålningen kommer le ytor som träffas av strålningen. Detta innebär en stor an jämför med uppvärmning med luft.

3.3 BETONGHÄRDNING.

Vid betonggjutning vintertid är det nödvändigt att tillföra värme för att undvika frysning och för att betongen skall uppnå en avsedd hållfasthetstillväxt. Vinteråtgärder sätts normalt in när temperaturen understiger $+5^{\circ}\text{C}$. Medeltemperaturen understiger detta värde under 5 till 8 månader i södra respektive norra Sverige.

För att uppnå tillräcklig hög härdningstemperatur hos betongkonstruktionerna kan man tillföra värme på några olika sätt.

Varmluftsassagregat är det traditionellt mest använda i Sverige, denna metod är den i särklass dyraste metoden.

Motståndstråd som monteras i formarna före gjutning är en metod som har en mycket hög verkningsgrad men har förhållandevis höga monterings- och materialkostnader.

Varmbetong är en metod som framförallt är populär i Norge. Metoden minskar kraven på värmeförsörjning men vid temperaturer under -10°C krävs ändå tilläggsvärme i någon form.

Infravärme har använts inom betongelementindustrin i form av elektriska IR-strålare sedan början på 50-talet. Från slutet på 70-talet har gaseldade infravärmare ökat betydligt i Sverige. Infravärme är på väg att bli den ledande värmekällan för betonghärdning i många länder idag. Detta beror på systemets fördelar såsom lägre energikostnader, tillförlitliga system och att man kan köra praktiskt taget samma produktion inom gjutning året om.

Infravärme används på byggarbetsplatser mot gjutformar av såväl stål som trä. Det effektivaste är att använda infra mot stålformar eftersom trä har sämre absorptionsförmåga och värmeledningsförmåga vilket ger en lägre effektivitet.

Under det tidiga skedet av ett bygge har man problem att vid värmning ordna en tät inpackning för att avgränsa uppvärmningen. Den ofrivilliga ventilationen i stombygget brukar vara stor. Strålningsarmaturerna är konstruerade så att de kan riktas mot den yta som skall värmas upp. Strålningen kommer då att värma de ytor som träffas av strålningen. Detta innebär en stor besparing om man jämför med uppvärmning med luft.

Om strålningen riktas mot en oskyddad betongyta medför uppvärmningen en uttorkning av ytskiktet till några cm djup i färsk betong. Denna uttorkning kan motverkas genom att täcka betongen med en plastfolie som förhindrar avdunstningen men släpper igenom värmestrålningen. Vid byggarbetsplatser riktas strålningen mot gjutformar, dessa förhindrar i regel uttorkning av betongen.

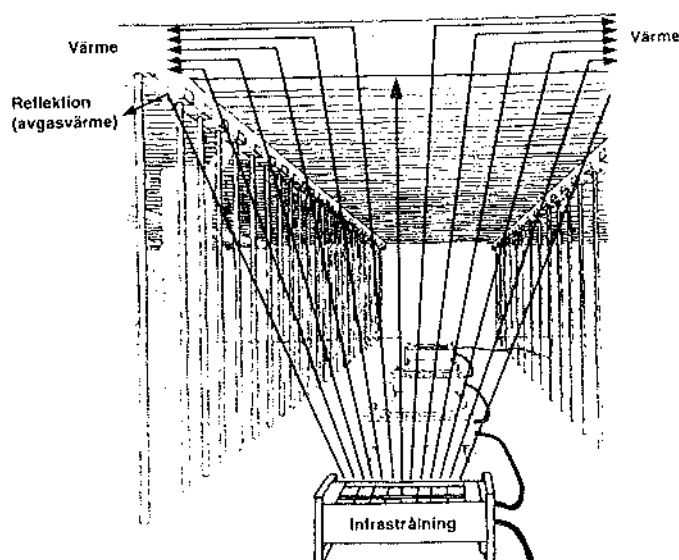


Fig. 3:3.1 Användning av IR-strålare på en byggarbetsplats.

Den våglängdsberoende absorptionen och reflektionen hos fasta kroppar och hos vattenskikt har undersökts av Werner Sieber. I fig.3:3.2 visas absorptionen hos ett tunna vattenskikt. Man kan se att vattenskikt av en hundradels mm har en absorptionsförmåga som är nästan 100% vid våglängden 3 och 6 μm . Detta innebär att fuktigt material tar upp en mycket stor del av strålningsenergin från gasstrålare som har en temperatur av ca 850°C och 250°C.

Fig.3:3.3 visar att även betong har en stor absorptionsförmåga mellan 3 och 6 μm .

Om formlingar av aluminium används är det lämpligt att använda sig av en strålare med en ytemperatur av 850°C medan en lägre temperatur ger ett sämre strålningsutbyte, fig 3:3.4.

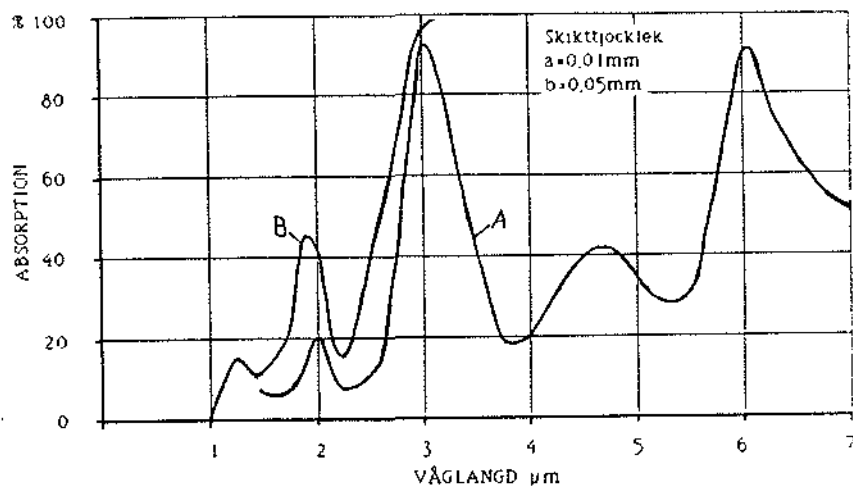


Fig. 3:3.2 Absorptionskoefficienter för vatten med skiktjocklekarna 0,01 och 0,05 mm, enl Sieber.

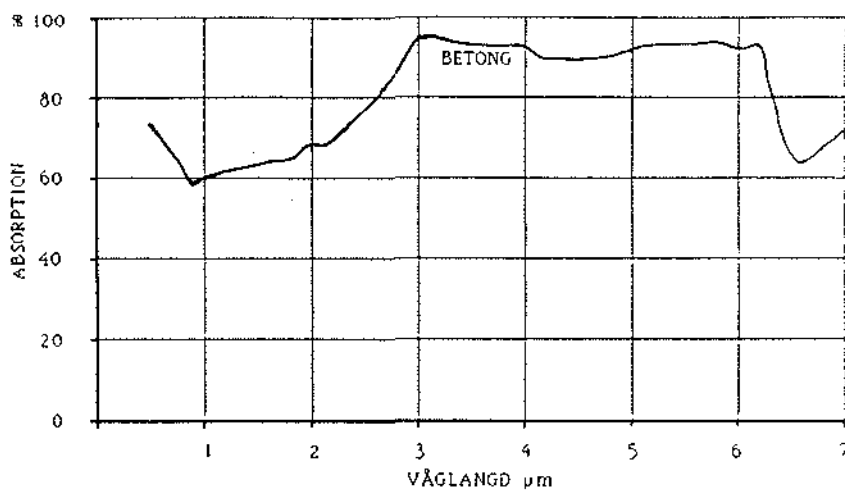


Fig. 3:3.3 Absorptionskoefficient för betong vid monokromatisk strålning.

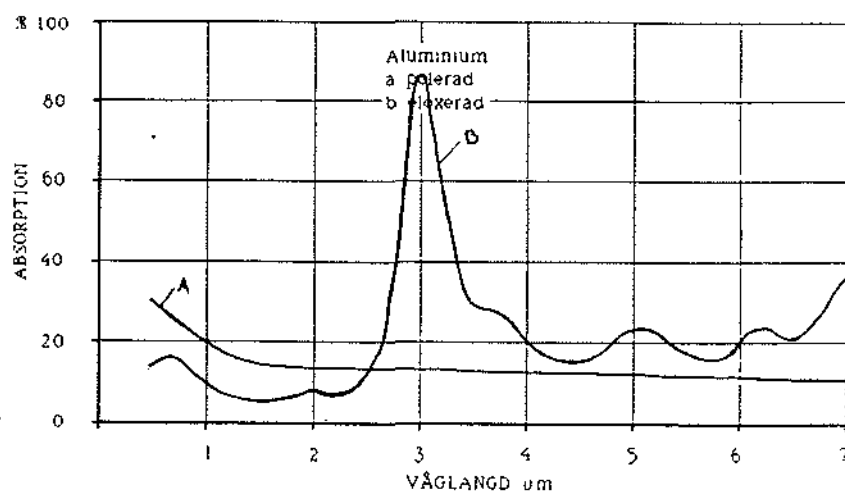


Fig. 3:3.4 Absorptionskoefficient vid monokromatisk strålning mot a, blankpolerad aluminium och b, eliderad aluminium.

Vid formgjutning använder man sig ofta av trä vid inklädning (oftast plywood). Fig.3:3.5 visar hur absorptions- och reflektionsförmågan för trä förändras vid med temperaturen. Vid användning av gaseldade IR-strålare med en yttertemperatur på 800-850°C har man en absorptionsförmåga mellan 0,71-0,73 %.

Istället för att använda sig av röd IR skulle man när det gäller härdning av betong kunna använda sig av svart IR vilket vid inklädning med plywood skulle ge en absorption på 80 till 85 % vilket är att jämföra med röd IR vid inklädning med stål eller aluminium.

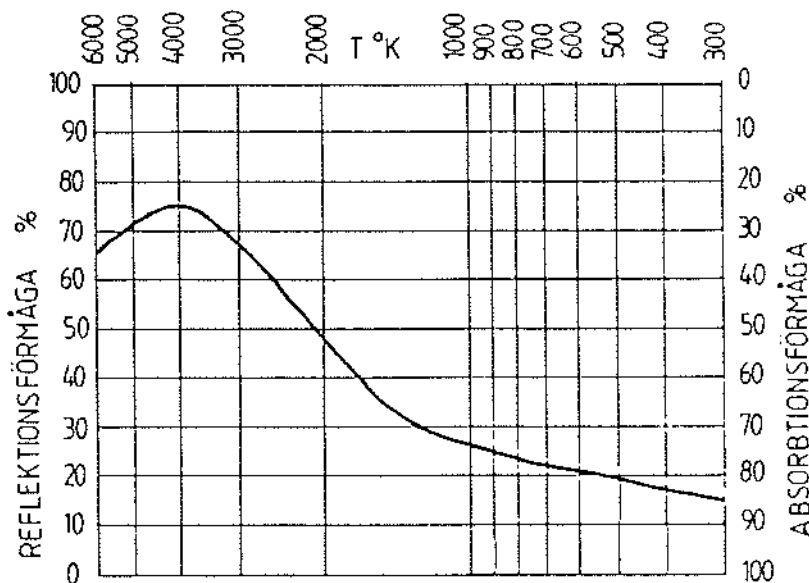


Fig. 3:3.5 Absorptions- och reflektionsförmågan för trä s.f.a. temperaturen

Vid användning av infrastrålare på en byggarbetsplats är nedsmutsningen av reflektorerna på strålarna stor, damm och cementslam kan på en kort tid göra reflektorerna oanvändbara. För att reducera nedsmutsning är det viktigt att på något sätt skydda strålarna när de inte används. Detta kan ske genom övertäckning eller genom att utforma strålarna så att dom kan snedställas.

En gasstrålare avger ca 60% av den tillförda energin som strålning. Resten av energin avges i form av konvektiv värme, detta innebär att det är av vikt att man isolerar byggarbetsplatsen på bästa möjliga sätt för att även utnyttja den uppvärmda luften till värmehärdningen.

3.4

TORKNING AV FÄRG, LACKHÄRDNING

En konventionell ugn för torkning av färg består vanligen av en tunnel i vilken man cirkulerar uppvärmd luft. Längden på denna tunnel är avpassad till godsets hastighet, godstjockleken, färgskiktets tjocklek, värmeövergångsegenskaperna mellan den varma luften och färgen, härdningstiden för färgen mm. Godset transporteras genom ugnen antingen hängande i en löpskena i taket eller placerade på vagnar som löper på ugnens golv. Den senare varianten används främst när det är tyngre detaljer som lackerats. Det finns även ugnar där man placerar godset stillastående i en ugn, och låter det stå där under torknings/härdningsförloppet.

Torkluften i ugnen kan värmas med t.ex. el, olja eller gas. Mängden luft som skall värmas är stor, dels för att erhålla tillräcklig värmeöverföring genom påtvingad konvektion men framförallt för att hålla lösningsmedelskoncentrationen på en så låg nivå att ingen explosionsrisk föreligger.

En reningsanläggning för den lösningsmedelsbemängda torkluften kommer att bli stor, utrymmeskrävande och kostnadskrävande.

För att förbättra en lacktorkugns egenskaper med avseende på värmeöverföring, torktid, mängd lösningsmedelsbemängd luft och energiförbrukning kan man istället för en konvektiv varmluftsugn använda en strålningsugn där värmestrålningen alstras av IR-strålare, t.ex. av typ keramiska plattor katalytiska strålare eller tubstrålare.

Fördelen med detta är att värmen överförs inte bara till godsets/färgens yta utan den tränger in i både färg och gods vilket får till följd att man får en uppvärmning även innifrån godset, IR-strålningen är penetrerande. Resultatet blir att uppvärmningstiden minskar och man kommer ifrån problemet att färgens yta torkar först och bildar en hinna som hindrar den vidare lösningsmedelsutdrivningen.

Keramiska plattor eller tubstrålare

Torkugnar med keramiska plattor eller tubstrålare är i stort sett uppbyggda på samma sätt som konventionella varmluftsugnar, se fig. 3.4:1. Ugnens väggar är klädda med IR-strålare. Avståndet mellan var strålare avpassas till färgtyp, gods-tjocklek, hastighet och beroende på i vilken del av ugnen de sitter. Den/de översta respektive understa sektionerna görs ofta justerbara, så att man kan vinkla dessa sektioner om man skall torka mindre detaljer, se fig. 3.4:2. Har man stora skillnader i godsets storlekar (framförallt på bredden) kan ugnens ena vägg göras justerbar i sidled, vilket innebär att man alltid kan låta

strålarna sitta på det optimala avståndet från godset och möjliggöra maximal värmeöverföring/verkningsgrad.

Med IR-strålare fås en högre värmeöverföringsverkningsgrad, man avpassar strålarens temperatur efter färgens absorptionsegenskaper. Luften i ugnen har endast till uppgift att ventilerar bort lösningsmedel, vilket innebär att mängden luft kommer att bli mindre än i en konventionell ugn. Luften kommer inte att direkt värmas av strålningen då luftens absorptionstal är mycket lågt, däremot kommer luften att indirekt värmas upp genom konvektion med ugnens varma väggar och det uppvärmda godset.

Vinsterna ligger i:

- * strålarens temperatur kan väljas så att den passar till färgen som skall torkas
- * ugnen kan göras mindre/kortare då uppvärmningstiden minskas
- * ventilationsluftmängden kan minskas
- * energibesparing

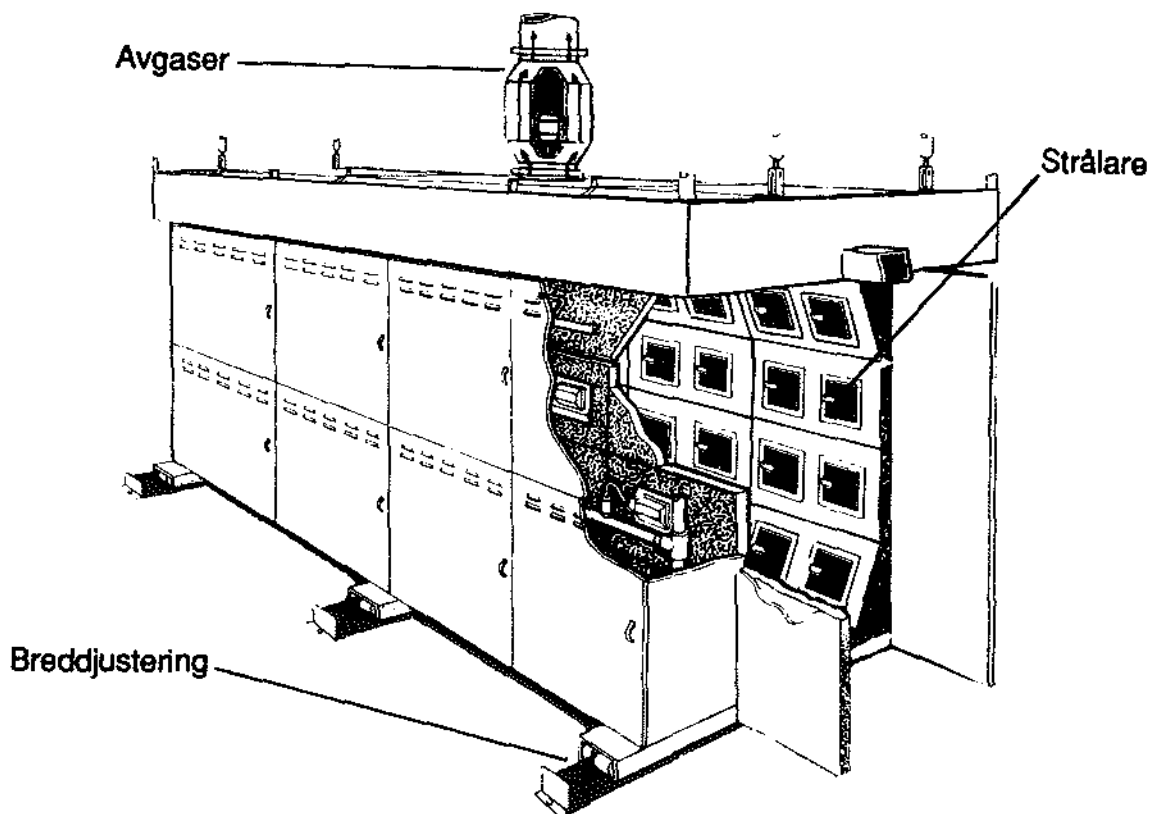


Fig.3:4.1 Strålningsvärmestunnel med keramiska plattor, 4 sektioner.
Tunneln är justerbar i bredd.

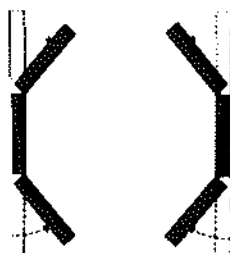


Fig. 3.4:2 Vinkeljustering av övre och undre sektioner.

Katalytiska strålare

En katalytisk oxidation av ett kolväte sker enligt följande reaktionsformel:



Verkningsgraden för reaktionen är ca 96%.

Oxidationen av kolväten sker helt flamlöst vilket minimerar explosionsrisken i torkugnen. Endast den varma strålarytan skulle kunna ge upphov till en explosion, men pga att den katalytiska massan i strålaren snabbt och effektivt oxiderar kolväteföreningarna till koldioxid och vattenånga så kan det inte bildas en explosiv miljö i närheten av den varma ytan. Lösningssmedelskoncentrationen hålls hela tiden på en så låg nivå att man ligger under den lägre explosiva nivån.

Temperaturen på strålaren yta kan hållas sådan att den huvudsakliga strålningsemissionen ligger mellan 3 och 10 μm , se fig. 3.4:3.

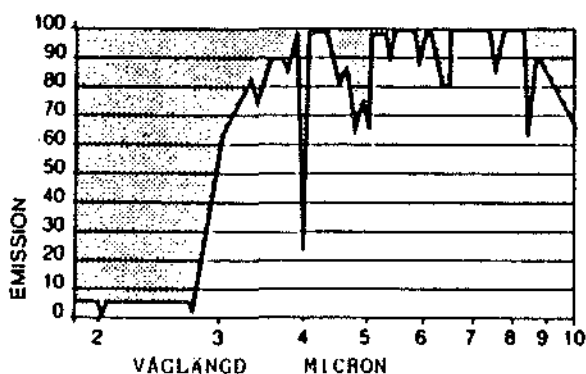


Fig.3.4:3 Emissionsspektrum för en katalytisk strålare (Termoreaktorn).

För att hålla värmeöverföringen på en så hög nivå som möjligt strävar man efter att få emissionsspektrat att så mycket som möjligt överensstämma med färgens absorptionsspektra.

I figurerna 3.4:4-3.4:6 visas några färgtypers absorptionsspektra. I figurerna ser man att emissionsspektra och absorptionsspektra stämmer väl överens, vilket bäddar för ett gott resultat vad gäller värmeöverföringen.

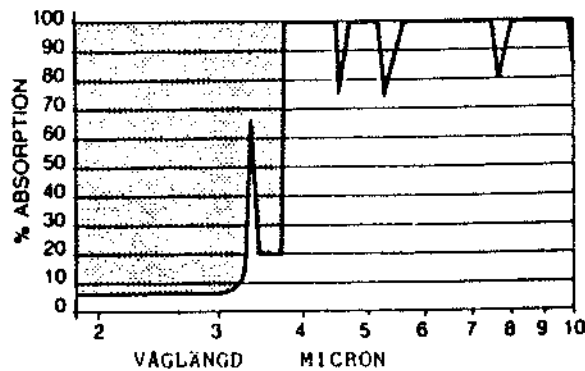


Fig. 3.4:4 Absorptionsspektra för en akryllack.

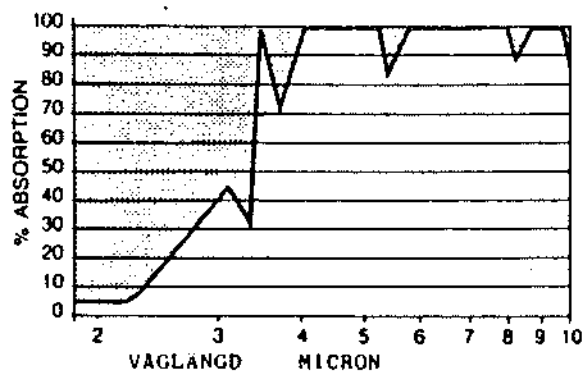


Fig 3.4:5 Absorptionsspektra för en polyuretanlack

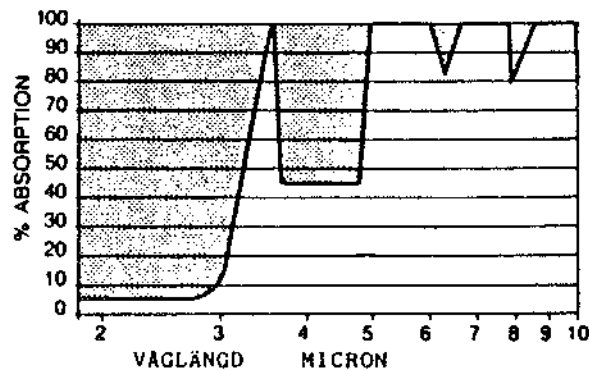


Fig. 3.4:6 Absorptionsspektra för en vattenbaserad lack.

Med katalytiska strålare låter man ofta luften i torkugnen (den lösningsmedelsbemängda) recirkulera genom strålarplattan som sekundärluft. I och med detta kommer det lösningsmedel som finns i gasfas i luften att oxideras till koldioxid och vattenånga. Man har alltså en inbyggd rening av ventilationsluften i ugnen, vilket ger betydligt mindre mängd lösningsmedel i den luft som släpps ut. Under normala förhållanden kommer ventilationsluften att ha så låg koncentration av lösningsmedel att den utan vidare rening kan släppas ut utan att några gränsvärden överskrides. Det finns uppgifter på att lösningsmedelskoncentrationen i ventilationsluften reducerats med upp till 80% jämfört med en konventionell torkugn.

I en tillämpning där man tidigare använde en konventionell oljeeldad torkugn med en installerad effekt på 270 kW tog det 57 timmar för färger att torka (lackering av statorer till växelströmsgeneratorer), vilket gav en energiförbrukning på ca 15400 kWh. Ugnen byggdes om, och det installerades katalytiska strålare (termoreaktorer). Med installerad effekt 184 kW tog det 8 timmar för färger att torka, vilket motsvarar en energiförbrukning på ca 1500 kWh. En energibesparing på ca 90%.

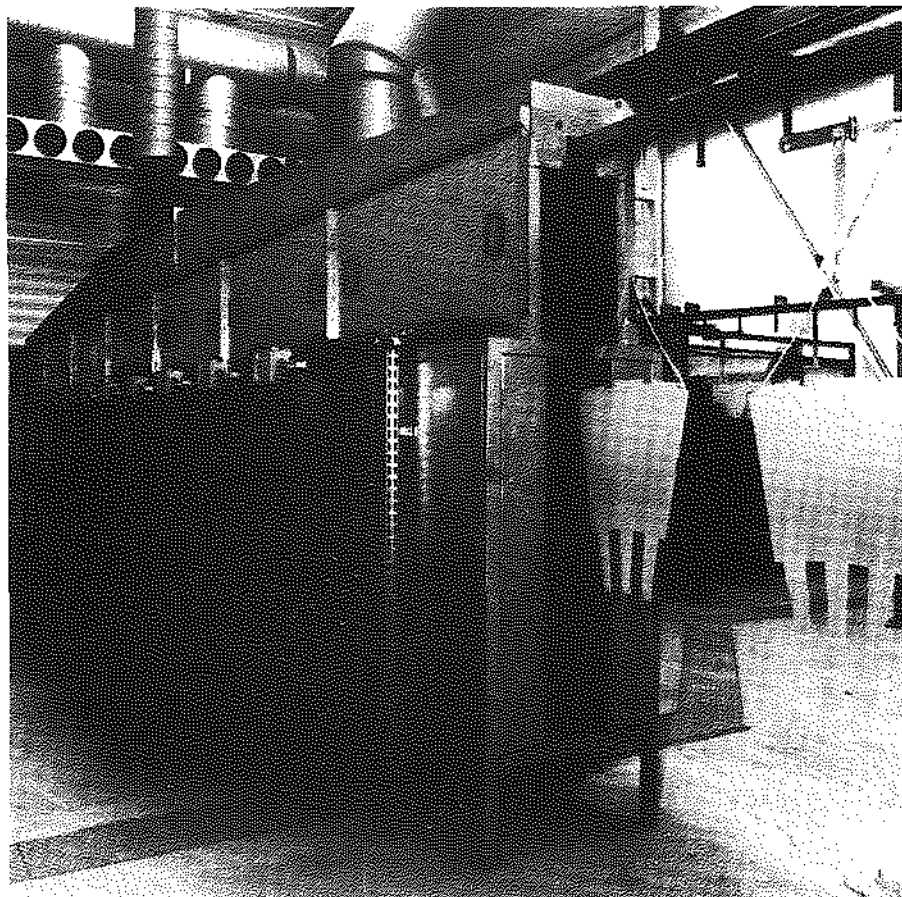


Fig. 3.4:7 Lacktorkningsugn med katalytiska strålare (termoreaktorer).

Egenskaper:

- * emissionsspektra överensstämmer med många färgers absorptionspektra
- * inbyggd förmåga att oxidera lösningsmedel
- * inga explosionsrisker, ej möjligt att erhålla explosiv miljö där risk för antändning finns
- * restprodukter är i det närmaste endast vattenånga och koldioxid

Fördelar:

- * låg energiförbrukning pga spektral överensstämmelse
- * mindre tidskrävande än konventionella metoder
- * reducering av behovet av dyrbara ventilationssystem
- * lösningsmedel i ventilationsluften reduceras kraftigt
- * värmeöverföring genom både strålning och konvektion
- * mindre utrymmeskrävande än konventionella system

3.5 TORKNING AV TEXTILIER

Skillnaderna mellan att torka textil och papper är relativt små. Tekniken är den samma, skillnaderna ligger i att torkmaskinerna är annorlunda konstruerade.

Den största fördelen med att använda IR-strålare för att torka textilier är den snabbhet med vilken temperaturen på det vatten som är bundet i textilen värms. Lämpligt är att installera strålare i partiet just före eller efter den konventionella torkmaskinen, som ofta består av värmda cylindrar. Cylindrarna kan värmas med ånga och ibland med hetolja.

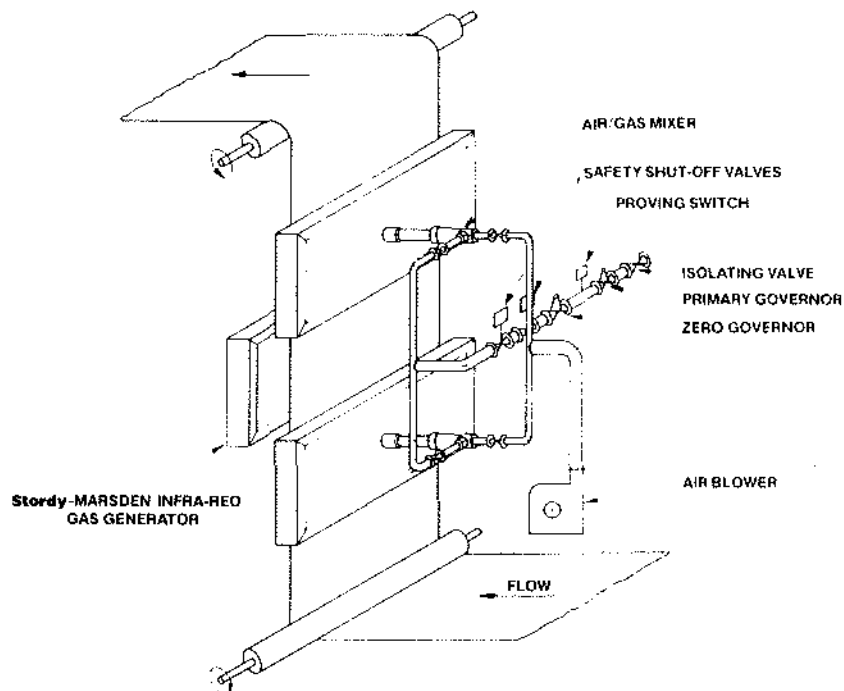


Fig. 3:5.1 Exempel på hur ett strålararrangemang kan se ut i en torkmaskin för textilier (exemplet visar strålare med keramisk fiberplatta).

Resultatet blir att temperaturen på textilbanan höjs till vattnets förångnings-temperatur, så att vattnet förångas på ett tidigare stadium. Vilket ger mindre energiåtgång än med en konventionell maskin och möjlighet till produktions-ökning.

I England har ett flertal installationer gjorts, de flesta med strålare av keramisk fiber. Att använda keramisk fiberstrålare gör att man kan minimera risken med att få en överhettad textilbana, samt underlättar förändringar av dess yttemperatur. Inom textilindustrin är det viktigt att man kan ändra strålarens yttemperatur (och därmed den emitterade strålningens våglängd) då textilens absorptionsfaktor förändras med textilens ytstruktur, material, tjocklek och färg (se tabell 1).

I en del installationer har även sista strålarpartiet gjorts i sektioner för att man skall kunna kompensera för den ojämna fuktprofil som annars kan uppkomma efter torkmaskinen.

På engelska textilfabriker (t.ex. Textured Jersey PLC, Liecester) som installerat IR-strålare just före den konventionella torkmaskinen har man uppnått en produktionsökning på 20-70%, beroende på textilkvalitet, jämfört med den ursprungliga torkmaskinen. Investeringskostnaden låg på ca 10% av vad de hade fått investera för att uppnå samma resultat med en konventionell maskin.

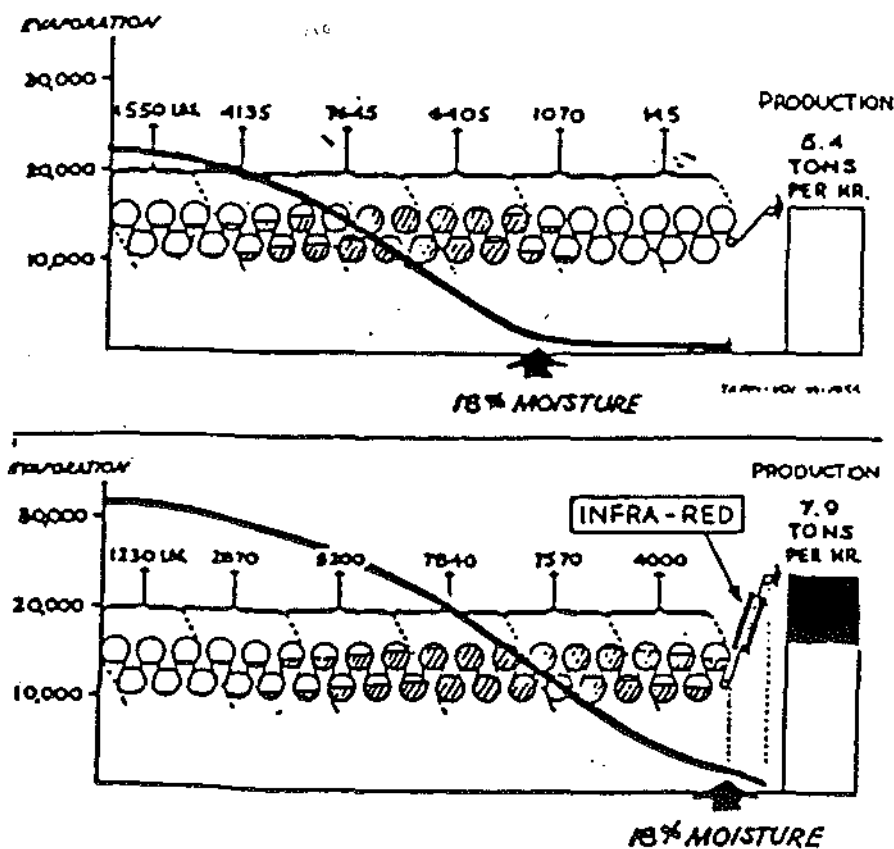


Fig.3:5.2 Bilden visar hur fukthalten förändras längs torkmaskinen, med och utan användandet av IR-strålare. Observera hur produktionen /hastigheten ökas i undre bilden.

3.6

TORKNING AV KERAMIKPLATTOR.

Genom att använda IR-strålare för att torka keramiska plattor kan dels torktiden förkortas dels så kan energiförbrukningen minskas.

Dr. M. Mori (9) har genomfört ett antal försök, både i laboratorium och industriellt. Han har använt strålare som emitterar strålning med emissionsmaximum vid ca 3 μm , där keramiken har sitt absorptionsmaximum och kommit fram till följande resultat:

Keramiska plattor, 300x300x8 mm med vikten 0,17 kg/m², torkades från 5 till 0,6 % fukthalt.

	strålnings- torkning	konventionell torkning
torktid (min)	7	40
energiåtgång (kWh/kg)	1,3	2,1

Keramiska plattor, 100x150x5 mm med vikten 0,12 kg/m², torkades från 5 till 1 % fukthalt.

	strålnings- torkning	konventionell torkning
torktid (min)	12	40
energiåtgång (kWh/kg)	1,4	2,8

Keramiska plattor, 250x250x20 mm med vikten 40 kg/m², torkades från 18 till 1,5 % fukthalt.

	strålnings- torkning	konventionell torkning
torktid (min)	4	12
energiåtgång (kWh/kg)	1,6	2,7

Som synes ger keramiktorkning med IR-strålare en förkortad torktid med en samtidig minskning av energiåtgången per kg gods.

Betänkas bör att en del keramiskt material kräver att torkningsprocessen inte går för hastigt, och då speciellt att uppvärmningsförloppet följer ett noggrant schema, då materialet annars kan spricka. Men även gods som kräver speciella uppvärmningsförlopp kan med fördel torkas med IR-strålare, och då genom att man värmer torkugnen med IR-strålare placerade i ugnsväggen.

TABELL 1

ABSORPTIONSTAL FÖR OLIKA MATERIAL

YTMATERIAL	TEMPERATUR HOS STRÅLN KÄLLAN °C	ABSORPTIONSTAL α
------------	---------------------------------------	----------------------------

METALLER

Aluminium, polerad	6000	0,30
	2600	0,20
	1180	0,13
	1000	0,13
	700	0,12
	450	0,10
	300	0,07
	170	0,039
Aluminium, rå yta	6000	0,63
Aluminium, valsblank	500	0,05
	170	0,039
	500	0,05
Bly	500	0,075
	400	0,057
Bly, åldrad yta	6000	0,79
	220	0,075
	120	0,057
Brons, polerad	816	0,052
	320	0,036
	150	0,03
Gjutjärn, flytande	1540	0,29
Gjutjärn, efter gjutning	0-150	0,8
Gjutjärn, nysvarvat	20	0,41
Gjutjärn, polerat	200	0,21
Guld, polerat	400	0,022
	130	0,018
Inconel, valsad	816	0,69
Inconel, sandblästrad	816	0,79
Järn, polerat	100-500	0,14-0,38

Kobolt, polerad	816	0,225
	150	0,1
Koppar, plåt, blank	20	0,072
Koppar, plåt, värmd till 600°C	200-600	0,57
Koppar, polerat	20	0,03
Koppar, polerad	100	0,023-0,052
Koppar, poler. lätt anlöpt	20	0,037
Koppar, skavd yta	20	0,07
Krom, polerad	816	0,36
	150	0,058
	23	0,075
Kvicksilver	100	0,12
	20	0,1
Magnesium, polerat	540	0,18
	40	0,07
Molybden	2560	0,292
	1400	0,17
	730	0,096
	100	0,071
Mässing, polerad	100	0,06
	20	0,045
Nickel, blank-matt	100	0,041
Nickel, elektropläterad, polerad	25	0,045
Nickel, elektroplät. ej polerad	20	0,11
Nickel, polerad	370	0,087
	100	0,045
Niob	1093	0,24
	816	0,19
Palladium	816	0,094
	150	0,026
Platina	816	0,123
	150	0,022
Rhodium, polerat	816	0,068
	150	0,012
Silumingjutgods, polerat	150	0,186
Silver, polerat	370	0,031
	40	0,022
	20	0,020
Stålgöt, polerat	1038	0,56
	771	0,52
Stål, blanketsat	150	0,128
Stål, blankmärglat	20	0,24

Stål, försinkat	6000	0,94
	25	0,06
Stål, galv. ren yta	6000	0,64
Stål, galv. smutsig yta	6000	0,92
Stål, polerat	100-470	0,066-0,14
Stål, plåt, grå	20	0,8
Stål, rostfritt polerat	20	0,074
Stål, 18/8 värmebehandlat	100	0,62-0,73
Stål, ytbehandlat	200	0,521
Tantal, polerad	816	0,07
	150	0,03
Tenn	100	0,05
	20	0,043
Titan	150	0,082
Vismut, blank	80	0,34
Volfram	1500	0,23
	1000	0,15
	500	0,071
	20	0,024
Zink, ren polerad	327	0,055
	227	0,045

METALLOXIDER

Aluminium, eloxiderat	6000	0,16
	1000	0,37
	300	0,80
Aluminiumoxid	1100	0,26
	277	0,63
Bly, gråoxiderat	20	0,28
Brons, oxiderad	320	0,094
Gjutjärn, oxiderat vid 593°C	600	0,78
	200	0,64
Järn, oxiderat	200-600	0,64-0,78
Kobolt, oxiderad	816	0,3
	316	0,15
Koppar, oxiderad	130	0,76
Koppar, svartoxiderad	20	0,78

Magnesiumoxid	2600	0,10
	1180	0,11
	700	0,37
	450	0,22
	300	0,21
	90	0,4
Mässing, oxiderad	600	0,59
	200	0,61
Nickel, plåt, oxiderad vid 600°C	200-600	0,37-0,48
Stål, oxiderat vid 593°C	600	0,79
	200	0,79
Stål, oxiderat	200	0,79
Stål, oxiderat, gjuthud	100	0,80
Stål, oxiderat, valshud	20	0,77
	130	0,6
Stål, rödrostigt	20	0,61
Stål, starkt rostigt	20	0,85
Tantal, oxiderad	816	0,42
	150	0,42
Tennoxid	20	0,32
Titan, oxiderat	816	0,59
	371	0,54
Toriumoxid	827	0,21
	443	0,58
Uranoxid, (U ₃ O ₈)	1327	0,78
	1027	0,79
Zink, gråoxiderad	20	0,23-0,28

TÄCKMATERIAL

Aluminiumbrons	6000	0,54
	100	0,20-0,40
Aluminiumfärg	6000	0,20
	1000	0,30
	300	0,42
Backelit	80	0,935
Backelitlack	80	0,935
Brännlackering	100	0,925
Emalj	20	0,85-0,95
Emalj, vit på järn	20	0,897

Färg, olje, svart	93	0,92
grön	93	0,95
röd	93	0,97
vit	93	0,94
Lack, svart matt	80	0,97
Lack, vit på trä	6000	0,21
	1000	0,87
	300	0,95
Mönja	100	0,93
Smältemalj	6000	0,38
	1000	0,89
	300	0,96
Tenn, blank förtennt järnplåt	100	0,043-0,064
Zink, förzinkat järn blank	25	0,23
Zink, förzinkat järn gråoxiderad	20	0,28

DIVERSE MATERIAL o

BYGGNADSMATERIAL

Asbest, board	20	0,93
Asbest, papper	371	0,94
	38	0,93
Asfalt	6000	0,88
Betong	6000	0,60
	2600	0,57
	1180	0,68
	1000	0,86
	700	0,95
	450	0,96
	300	0,97
	90	0,95
Chamotte, vit	6000	0,10
	1000	0,57
	300	0,87
Färg, oljebas, medelv. av 16 färger	100	0,94
Gips	20	0,8-0,9
Glas	90	0,94
	20	0,94
Glas, kvarts, 2mm	840	0,41
	280	0,90

Glas, kvarts, 6mm	840	0,47
	280	0,93
Glas, kvarts, 7mm	840	0,47
	280	0,93
Grafit	6000	0,83
	1000	0,68
	300	0,60
	20	0,98
Gummi, grått	6000	0,66
	1000	0,77
	300	0,85
	20	0,92
Hud, människa	6000	0,7
	4500	0,52
	2600	0,80
	1180	0,92
	700	0,92
	450	0,94
	300	0,96
	20	0,95
Kakel, vit	6000	0,18
	2600	0,17
	1180	0,18
	1000	0,65
	700	0,70
	450	0,72
	300	0,96
	90	0,93
Keramik, eldfast vit, Al_2O_3	93	0,9
Kol, ej oxiderat	500	0,79
	20	0,81
Kolfiber	260	0,95
Kork, naturfärgad	6000	0,46
	1000	0,63
	300	0,80
Korund, smärgel rå	80	0,85
Lera	2600	0,70
	1180	0,72
	700	0,91
	450	0,80
	300	0,85
	90	0,90
Lera, bränd	70	0,91

Lera, glaserad	20	0,90
Linoleum, rödbrun	6000	0,85
	1000	0,89
	300	0,93
Marmor, polerad	20	0,93
Marmor, ljusgrå, polerad	0-93	0,90
Marmor, vit	6000	0,44
Olja, smörjfilm på nickel		
nickelplåt utan olja	20	0,05
filmtjocklek 0,025mm	20	0,27
filmtjocklek 0,051mm	20	0,46
filmtjocklek 0,125mm	20	0,72
tjockt överdrag	20	0,82
Papper, citrongult	6000	0,47
Papper, grönt	6000	0,54
Papper, koboltblått	6000	0,66
Papper, mörkblått	6000	0,91
Papper, rött	6000	0,52-0,57
Papper, svart matt el. blankt	6000	0,94
Papper, vitt	6000	0,36-0,41
	2600	0,1
	1180	0,40
	700	0,90
	450	0,78
	300	0,70
	95	0,92
Porcelain, glaserat	20	0,92
Porcelain, vitt	6000	0,5
	1000	0,82
	300	0,95
	20	0,92-0,94
Puts	6000	0,22
	2600	0,12
	1180	0,43
	700	0,92
	450	0,69
	300	0,81
	90	0,87
	20	0,925
Radiator, (enl. VDI-74)	100	0,925
Sand	20	0,90

Stenplattor	6000	0,18
	2600	0,19
	1180	0,18
	700	0,70
	450	0,73
	300	0,92
	90	0,93
Taktegel, rött	6000	0,43
Tegel	20	0,93
Tegelsten, röd	6000	0,56
	1000	0,64
	300	0,92
	20	0,93
Tjärpapp, takpapp	20	0,93
Trä, bok	70	0,935
Trä, hyvlad ek	20	0,90
Trä, fur och gran	6000	0,35
	1000	0,74
	300	0,86
Tyg, vitt	6000	0,30
	1000	0,74
	300	0,36
Vatten, destillerat	20	0,96
Vatten, is	-10	0,96
Vatten, is med rå yta av frost	0	0,966
Vatten, is med slät yta	0	0,985
Vatten, snö	-10	0,85
Vattenfilm, 0,05mm tjock	2600	0
	1180	0,4
	700	1,0
	450	1,0
	300	1,0
	90	1,0
Vattenfilm, 0,01mm tjock	2600	0
	1180	0,12
	700	0,87
	450	0,22
	300	0,34
	90	0,52

REFERENSER

- 1 Strahlungsheizung- Theorie und Praxis.
Dr.sc. techn. Bernd Glück
Verlag C.F. Müller Karlsruhe 1982
- 2 Use of radiant infra-red in solderings surface mounted devices to printed circuit boards.
S.J. Dow
Brazing Soldering n8 spring 1985 p16-19. ISSN: 0263-0060
- 3 Radiation curing of organic coatings.
R.Dowbenko, C.Friedlander, G.Grubber, P.Prucnal, M.Wismer
PPG industries inc. Coatings & resins div. research center, Allison Park Pa,USA
Prog Org Coatings v11 n1 jan 17 1983 p71-103, coden: POGCA
- 4 Safety control system for gas-fired infrared radiant heater.
M.Rozzi
Detroit radiant products co, USA
US 4125355 14 nov 1978
- 5 Non-warping radiant burner construction.
W.J.Bishilany, A.L.Buehl, W.H.Zwipt
Slyman manufacturing copr. USA
US 4255123 10 mar 1981
- 6 Infra-red point heaters, using propane.
Sander, Zdenek (Swiss fed. railw.)
Rail int. v7 n10 oct 1976 p555-570
coden: RAIIF
- 7 Comparison of steam and infrared heating for hot pressing.
R.Daunais, I.T.Pye, R.C.Batty.
Paprican, Point Claire, Que, Kanada
J Pulp and paper sci v11 n1 jan 1985 p 12-17
ISSN: 0826-6220

- 8 Infrared radiative drying in food engineering: a process analysis.
C. Sandu, University of Wisconsin-Madison, USA
Biotechnology progress v2 n3 sep 1986 p109-119
ISSN: 8756-7938
- 9 Trocknung durch Strahlung in der Keramik.
M.Mori, Mori Spa, Modena, Italien
Keramische Zeitschrift v38 n3 mar 1986 p122-124
ISSN: 0023-0561
- 10 Non-touch heater for textured yarn.
Kakiake, Seinosuke, Gunma univ. Kiryo, Gumma-Ken, Japan
Journal of the textile machinery society of Japan, v17 n5-6 oct-dec
1971 p153-160
coden: JTMJAF
- 11 Gas-fired IR can reduce moisture variation by 50%.
R.C.Roth
TachMark corp. Newport USA
Paper technology industri v27 n2 mar 1986 p84-88
ISSN: 0306-252X
- 12 Electric infrared oven designed for thermal efficiency in curing operation.
Industrial Heating jul 1978 v45(7) p23-24
coden: INHTAZ
- 13 Gas-fired infrared heaters.
ANSI standard MH 16.1 1974
coden: ANSIC5
- 14 Infrared and catalytic burner technology assessment.
J.P.Kesselring, W.V.Krill, R.J.Schreiber
Acurex corp. Mountain View, USA
NTIS, PC A08/MF A01
- 15 Electric infra-red - - a worthwhile investigation for paint and powder
coatings.
P.W.Marshall, Hedinair limited,
Product finishing n32 1979 p26-27

- 16 Evolution of a wide-band gas-fired infra-red heater.
J.W.Adams, M.W.Patrick, Bettcher manufact. corp USA
Institute of gas technology 1972 session 1 paper 7
CONF-720615
- 17 Development and application of an advanced gas-fired infrared heater.
E.A.Reid, Columbia gas system service corp. USA
Institute of gas technology 1971 session 1 paper 7
CONF-710234
- 18 Radiation characteristics of gas infrared heaters in radiant heating systems.
A.A.Kundenko, Sci-res inst. of structure production, Kiev, USSR
Journal of engineering physics v29 n5 nov 1975 p1395-1400
coden:JEPHAL
- 19 Use of infrared in France.
M.Bauman, INFRO, Ancenis, Frankrike
Industrial application & adv., Technomic, Lancaster, USA
1985 p79-85
ISBN: 0-87762-382-1
- 20 Allmänna regler för gasolapparater.
Statens provningsanstalt
Meddelande nr 8
- 21 Retningslinjer for installasjon og kontrollav fast monterte strålevarme-
anlegg med gass (LPG) som brensel.
Norska statens Branninspeksjon
- 22 Naturgasmanualen.
Svenska Gasföreningen
- 23 Infrared versus convective ovens.
H.D.Wells, Pet inc. Fenton, USA
Tech paper serie FC 82-307 1982
ISSN: 0161-1844
- 24 Infra heat.
AMGAS AB, Box 32, 71102 Vedeavåg, Sverige

- 25 Metallic fibre surface-combustion radiant gas burners.
L.C.Shirvill, Shell research centre
1986 international gas research conferance, p24-31
- 26 Schwebetrockner für beschichtete Blechbänder.
C.Kramer, D.Freisenhausen, Gogas GmbH, Dortmund, Västtyskland
Gas Värme International, band 24 1975 p527-531
Vulkan-Verlag, 43 Essen
- 27 Einsatz von Gasheizstrahlern in Heizungs- und Trockunsanlagen.
von D.Freisenhausen
Gas Värme International band 22 1973 n7 p258-263
Vulkan-Verlag, Essen
- 28 Infrared gas heaters replace forced air units, save 65%.
V.Racanelli, USA
Energy user news 5aug 1985 v10 p1-2
ISSN: 0162-9131
- 29 Product guide: Infrared heaters.
Energy user news 1oct 1984 v9 p14
ISSN:0162-9131
- 30 Advanced refinery heater.
Gas research institute, september 1987
- 31 Ceramic fiber burner for firetube boilers.
Gas research institute augusti 1987
- 32 Trockungsprozesse und Abluftreinigung mit Gas.
H.Dieckerhoff
- 33 Infrared radiation in the paper industri.
Solaronics Vaneecke, Frankrike
- 34 Lågt elpris ger billig IR-tork.
G.Gavelin
Nordisk Cellulosa 1987 nr1

- 35 A new development in infra red heating.
Stordy-Marsden infra red generators
England
- 36 Einsatz von Gasheizstrahlern in Heizungs- und Trocknungsanlagen.
von D.Freisenhausen, GOGAS,Dortmund
Gas Wärme International band 22 1973 p258-263
Vulkan-Verlag, Essen
- 37 Assessment of infrared and catalytic burner appliances.
W.V.Krill, R.J.Schreiber, Acurex corp, USA
1981 International gas research conference
- 38 Einsatz von Gas-Infrarotstrahlern in industriellen Trocknungs- und
Anwärmanlagen.
von D.Freisenhausen
GOGAS, Dortmund
- 39 Wärmeübertragung durch Gasstrahler II.
von I.Skufca, Gas Wärme Institut, Essen
GasWärme band 10 1961 p322-324
Vulkan-Verlag, Essen
- 40 Catalytic radiant tube--Exploratory research.
J.J.Lannutti, R.J.Schreiber, Alzeta corp., USA
M.A.Lukasiewicz, Gas research institute, USA
1986 international gas reseach conferance p13-23
- 41 Värmeöverföring genom strålning.
P.Mogensen, G.Blockmar, STF
Värmeöverföring-teori och praktisk dimensionering,
1985-03-12/IUC
- 42 Gasgestookte stralingsverwarming in theorie en praktijk.
MARK. Vendaam, Holland
- 43 Infra-red space and process heating: Efficient utilization at its best.
Artikel i Industrial Heating aug 1977
- 44 Installationsrichtlinien für Gas-Heizstrahler.
D.Freisenhausen, L.Reitsch
GWF-gas/erdgas 1981 n3 p100-105

- 45 Rationelle Beheizung von Industriehallen.
von D.Freisenhausen, GOGAS, Dortmund
Gas värme international, band 34 1985 p273-277
Vulkan-Verlag, Essen
- 46 Abgasführung der Abgase bei Hallenbeheizung mit Gas-Infrarotstrahlern.
von J.Becker, GOGAS, Dortmund
Gas värme international band 36 1987 p202-204
Vulkan-Verlag, Essen
- 47 Papper och pappersmassa - en grundbok.
Sveriges skogsindustriförbund 1976
ISBN: 91-7322-031-0
- 48 Use of ceramic elements for infrared heating.
J.B.Arold, GTE special products division
Industrial Heating nov 1985
- 49 Development of low temperature catalytic burner.
H.Sadamori, A.Chikazawa, S.Okamura, T.Noda
Research center, Osaka gas company ltd. Japan
1981 International gas research conferance
- 50 Katalytisk förbränning.
B.Kasemo, K-E. Keck, Fysiska institutionen, Chalmers
Värmeforsks årsskrift "Projekt och resultat 1986"
- 51 Grundlagen der Gasanwendung.
K.Kurth, A.Kochs
- 52 Grundlagen und Anwendung der Gasstrahlwand.
von B.Sinning, Buderus/Wetzlar, Geschäftsbereich
Industrieanlagen
Gas värme international band 23 1974
Vulkan-Verlag, Essen
- 53 Bruleurs fibre surface-combustion radiant gas burners.
L.C.Shirvill, Shell research ltd. Thornton research centre Chester,
England
1986 international gas research conferance

- 54 Wie sinnvoll ist eine Sauerstoffanreicherung bei gasbeheizten Industrieöfen?
von K.Hanzlik
Gas värme international band 34 1985 p370-374
- 55 Engineering principles support an adjustment factor when sizing gas-fired low-intensity infrared equipment.
N.A.Buckley, T.P.Seel
ASHRAE trans. 1987 part 1 p1179-1191
- 56 Development of a standard test method for measurement of the radiant heat output of gas-fired infrared heaters.
T.S.Zawacki, V.Huang, R.A.Macriess
ASHRAE trans. 1987 part 1 p1226-1233
- 57 IR-handboken
UNI CRAFT AB, Box 29019, 100 52 Stockholm
- 58 Experimentelle Untersuchungen an einem katalytischen Strahlrohr.
J.J.Lannutti, R.J.Schreiber, M.A.Lukasiewicz
Gas värme international band 36 1987 p550-556
- 59 Combustion performance characteristics of metal fiber burner.
K.Hosoi, R&D institute, Tokyo gas
L.C.Shirvill, Thornton research centre, Shell research ltd.
Japanese flame days 1987
- 60 VVS-hanboken, Tabeller och diagram.
VVS-tekniska föreningen
Förlags AB VVS
- 61 SBN 80.
Statens planverks författningssamling, 1980:1
- 62 Naturgas Hälsa Miljö.
Vattenfall
ISBN:91-7186-238-2

- 63 Naturgashandbok.
Sydgas AB, 217 01 Malmö
- 64 Strålningsvärmeöverföring I.
B. Leckner, Energiteknik, Chalmers
- 65 IR-strålare - en introduktion.
Michael Johansson
Driftechniska Högskolan
Citadellsvägen 25,
211 20 Malmö
- 66 Gasteknisk kurs.
Sören Dahlin
Driftechniska Högskolan
Citadellsvägen 25,
211 20 Malmö
- 67 Linde Metallteknik AB
Rågångsgatan 4
252 27 Helsingborg
- 68 Maywick Process Heath
Rettendon Common
Chelmsford, Essex CM3 5HV
England
- 69 IR-strålare för industriellt bruk
Michael Johansson, Åke Jansson
Driftechniska högskolan
Citadellsvägen 25
211 20 Malmö
- 70 The use of gas infrared technology in pul and paper industries
M.K. Ratnani
17th World gas conference
IGU / F11-88