Rapport SGC 107

JÄMFÖRELSE MELLAN EL-IR OCH GAS-IR VID TILLÄMPNINGAR I INDUSTRIELLA PROCESSER

Magnus Palm
Lunds Tekniska Högskola

Februari 2000

Rapport SGC 107
ISSN 1102-7371
ISRN SGC-R--107--SE

Rapport SGC 107

JÄMFÖRELSE MELLAN EL-IR OCH GAS-IR VID TILLÄMPNINGAR I INDUSTRIELLA PROCESSER

Magnus Palm

Lunds Tekniska Högskola

Februari 2000

SGC:s FÖRORD

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

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

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

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

Följande parter har gjort det möjligt att genomföra detta utvecklingsprojekt:

Sydgas AB
Helsingborg Energi AB
Lunds Energi AB
Vattenfall Naturgas AB
Göteborg Energi AB
SE Gas AB

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB

Johan Rietz

Förord

Jag vill främst tacka kontaktpersonerna på företagen som jag besökt, och som hjälpt mig med information och upplysningar.

Bröderna Edstrand, Malmö
Kjell Johannesson
Josef Matusik

Kockums Industrier AB, Malmö
Rickard Månsson

STORA Nymölla AB
Mats Dalquist

Skjerns Papirfabrik, Danmark
Kurt Larsen

Volvo Excavators AB, Eslöv
Ricardo Björk

Jag vill även tacka följande personer:

Rune Eriksson, Sydkraft i Malmö, för att ha hjälpt mig med diverse upplysningar och ideer, samt lett mig genom Sydkraftskoncernens djungel och hänvisat till rätt kontaktperson då mina frågor blev för kluriga.

Owe Jönsson, Svenskt Gastekniskt Center AB i Malmö, som utifrån sitt och företagets intresse av examensarbetet, hjälpt till med att fixa fram kontaktpersoner inom gasanvändarindustrin och annan information.

Corfitz Noren, för att ha hjälpt mig med kostnadsberäkningar för uppvärmning av en lokal med luftburet värmesystem.

Johan Peterson och Johannes van Roode på Amgas Industrigassystem i Göteborg, har hjälpt mig med tekniska förklaringar och kostnadsuppskattningar för IR-strålare i lokaler.

Sven Pavin och Paul Pavin på Pavima Teknik AB i Malmö för att hjälpt mig med kostnadsuppskattningar och teknisk beskrivning av el-IR-strålare.

Min handledare Magnus Pettersson, avdelningen för Kemisk Apparatteknik, Lunds Tekniska Högskola, som alltid tog sig tid för att hjälpa mig då problem och frågor uppstod.

Sammanfattning

Infraröda (IR) strålare har flera fördelar jämfört med konventionella värmnings- och torkningsprocesser. Ett exempel är att större energimängder kan tillföras per ytenhet jämfört med konvektions- och ledningsförlopp. Antalet tillämpningar för IR-strålare är många och förväntas öka. Trots att tekniken är etablerad i vissa branscher, exempelvis pappersindustrin, saknas mycket kunskap.

Rapporten behandlar olika tillämpningar för IR-strålare inom industrin. De tillämpningarnas som undersökts och utvärderats är torkning av papper och lacker samt lokaluppvärmning. Syftet med rapporten var att studera olika tekniska och systemmässiga lösningar samt göra en jämförelse mellan el-IR och gas-IR avseende kostnader och status.

Det inledande kapitlet beskriver rapportens bakgrund, syfte, frågeställningar och hur materialinsamlingen gjordes. Sedan följer kort teori om strålningsenergi, beskrivning av IR-strålare samt en litteraturöversikt.

På Volvo Excavator AB i Eslöv finns en torkugn för lacker med gas-IR-strålare. Gas-IR-strålarna är en så kallad termoreaktor med förmåga att förbränna lösningsmedel som avdunstar ifrån torkgodset. Syftet var att erhålla bättre kvalite på lackeringen, samt att minska utsläpp av lösningsmedel. En termoreaktor är en kombination av en traditionell konvektionsugn och en IR-strålningsugn på grund av att blandningen av luft, vattenånga och lösningsmedel i ugnen sätts i rörelse

För att samla material om papperstorkning med IR-strålare gjordes studiebesök på StoraEnso Nymölla och Skjern Papirfabrik. Information erhölls också från SCA Ortviken.
StoraEnso Nymölla använder elektriska IR-strålare för att torka bestrykningssmet på finpapper. Syftet med de föregående el-IR-strålarna var kvalitetsförbättring. Dessa ersattes med de nuvarande el-IR-strålarna. Detta på grund av att effekten på de gamla IR-strålarna var för låg.
Pappersmaskinen på Skjern Papirfabrik har gas-IR-strålare för att torka olika papperssorter tillverkade från återvinningspapper. Installationen av gas-IR-strålarna gjordes för att erhålla en produktionsökning, som av företaget uppskattats till 13-14 %.

För tillämpningen lokaluppvärmning gjordes studiebesök Bröderna Edstrands och Kockums Industrier. Bröderna Edstrands och Kockums Industrier använder el-IR respektive gas-IR för uppvärmning av lokaler.
En stor skillnad i driften för IR-strålarna är att Bröderna Edstrands värmer inventarier, golv och väggar på natten. Värmen avges sedan på dagen till luften i lokalen. Driften av IR-strålarna på dagen är begränsad. Kockums har sina IR-strålare i drift dagtid och värmer istället personalen.

Det gjordes även mätningar på IR-strålarna i de besökta lokalerna för att bestämma strålningseffekten och verkningsgraden för respektive strålare.

Uppmätt strålningseffekt på golvet i Bröderna Edstrands och Kockums lokal bestämdes till 31 respektive 42 W/m^2. Resultaten från mätningarna användes för att bestämma den teoretiska strålningseffekten för en IR-strålare med hjälp av vinkelfaktorberäkningar.

Verkningsgraden definierades som förhållandet mellan beräknad strålningseffekt för IR-strålaren och installerad gas- eller eleffekt. Verkningsgraden för Kockums gas-IR-strålare bestämdes till 36 %, och för Bröderna Edstrands el-IR strålare blev verkningsgraden omöjliga 248 %.
Exempel på felkällor som kan påverka verkningsgraden och mätningarna är omgivningens strålningsbidrag. Därför måste övriga omgivningens strålningsbidrag bestämmas med mätningar eller uppskattas med hjälp av temperaturskillnaderna för att erhålla ett rimligt resultat (främst för el-IR-strålaren).
Den totala skillnaden i upptagen energi, oavsett om den upptas genom strålning, konvektion eller värmeledning, har däremot bestämts på ett tillräckligt noggrannt sätt.

Driftkostnaderna för respektive lokal jämfördes med ett luftburet system som var tänkt att installeras i samma lokal. Det gjordes ingen direkt jämförelse mellan de båda lokalernas driftkostnad för deras IR-system. Detta på grund av olika driftsätt och reglering. Även förbrukningen av gas respektive el var osäkra.
Stora besparingar kan göras framför allt jämfört med ett elvärmesystem.
För Kockums gas-IR system blev driftkostnaden 53-72 % lägre jämfört med ett elvärmesystem (elpris, 50 öre/kWh). Bröderna Edstrands lokal har inte enbart IR-strålare för uppvärmning av lokalen. De har även ett värmebatterie som drivs dagtid med 50 kW. Driftkostnaden för värmebatteriet är 9-12 % av den totala driftkostnaden. Driftkostnaden för Bröderna Edstrands lokal beräknades till 26-61 % lägre jämfört med ett luftburet värmesystem med elvärme.

Investeringskostnaden för olika produktionshallar med gas-IR-strålare för lokaluppvärmning erhölls från leverantören. Utifrån dessa investeringskostnader gjordes beräkningar för att bestämma investeringskostnaden för samma lokal om istället el-IR-strålare hade varit installerade.

Om den installerade effekten är under 69 W/m^2 är investeringskostnaden lägre för ett el-IR-system. Denna jämförelse kan endast göras om man bortser ifrån strålarnas olika verkningsgrad, dvs den installerade effekten är lika för båda alternativen, gas- eller el-IR-strålare.

Om förhållandet mellan verkningsgraderna för en gas-IR-strålare och en el-IR-strålare är mindre än 0,32 blir investeringskostnaden alltid lägre för ett el-IR-system.
Om förhållandet istället är 0,4 blir investeringskostnaden för ett el-IR-system lägre om den installerade eleffekten är 124,4 W/m^2 eller lägre.

Offerter för installation av IR-strålare i en befintlig eller tänkt lokal kan erhållas från olika leverantörer och en mer noggrann jämförelse kan göras. Svårigheten med detta kan vara leverantörernas olika vilja att samarbeta om inte en verklig affärsmöjlighet föreligger.

Innehåll

1. INLEDNING **1**

1.1. BAKGRUND 1
1.2. SYFTE 2
1.3. MATERIALINSAMLING, BEGRÄNSNINGAR 2
1.4. FRÅGESTÄLLNINGAR 3
1.5. ÖVRIGT 3

2. ELEKTROMAGNETISK STRÅLNING **4**

2.1 SVART KROPP 4
2.2 VERKLIG KROPP 5
2.3 INFRARÖD (IR) STRÅLNING 6
2.4 STRÅLNINGTEORI FÖR BESTRÅLADE YTOR 6

3. IR-STRÅLARE **8**

3.1 ANVÄNDNING AV IR-STRÅLARE 8
3.2 BESKRIVNING AV IR–STRÅLARE 8
3.2.1 Elektriska IR-strålare *8*
3.2.2 Gaseldad IR-strålare *9*
3.3 JÄMFÖRELSE MELLAN GAS- OCH EL 10

4. LITTERATURÖVERSIKT **12**

4.1 ENERGI 12
4.2 AVSVALNING 13
4.3 BRANDSÄKERHET 13
4.4 SERVICE, UNDERHÅLL 13
4.5 ABSORPTION 14
4.6 ENERGIEFFEKTIVITETER 14
4.7 REGLERING 14
4.8 KOSTNADER 15
4.9 ÖVRIGT 15

5. LACKERINGSINDUSTRIN, TORKNING AV LACKERING OCH FÄRGER **16**

5.1 INLEDNING 16
5.2 ALLMÄNT 16
5.2.1 Termoreaktorn *17*
5.3 BESKRIVNING AV VOLVO EXCAVATOR AB:S SYSTEM 20

6. PAPPERSINDUSTRIN, TORKNING AV PAPPER **23**

6.1 INLEDNING 23
6.2 TORKNINGSTEORI 23
6.2.1 Baspapper *23*
6.2.2 Bestruket papper *25*
6.3 STORA NYMÖLLA AB 26
6.4 SKJERN PAPIRFABRIK 30
6.5 SCA ORTVIKEN 35
6.6 JÄMFÖRELSE MELLAN PAPPERSBRUKEN 36

7. LOKALUPPVÄRMNING 37

7.1 ALLMÄNT 37
7.1.1 Fördelar 37
7.1.2 Lokaler 39
7.1.3 IR-strålare för lokaluppvärmning 39
7.1.4 Installerad effekt 39
7.2 KOCKUMS INDUSTRIER AB 41
7.3 BRÖDERNA EDSTRAND 45
7.4 JÄMFÖRELSE MELLAN DE OLIKA LOKALERNA 48

8. MÄTNINGAR PÅ IR-STRÅLARE FÖR LOKALUPPVÄRMNING 50

8.1 INLEDNING 50
8.2 BESKRIVNING 50
8.3 EKVATIONER FÖR BERÄKNINGAR 50
8.4 TEORI 51
8.5 MÄTNING PÅ BRÖDERNA EDSTRAND, (981210) 52
8.5.1 Resultat 52
8.6 MÄTNINGAR KOCKUMS INDUSTRIER AB, (990125) 54
8.6.1 Resultat 54
8.7 NOGGRANNHET I MÄTNINGARNA 56
8.8 BESTÄMNING AV VERKNINGSGRADER 57
8.8.1 Teori 57
8.8.2 Beräkningar Bröderna Edstrands 60
8.8.3 Beräkningar Kockums Industrier 62
8.9 JÄMFÖRELSE AV TEMPERATUR MED LEVERANTÖRSUPPGIFTER 66
8.9.1 El-IR, Bröderna Edstrands 66
8.9.2 Gas-IR, Kockums 66
8.10 SLUTSATS, DISKUSSION 66
8.10.1 Mätningar 66
8.10.2 Verkningsgrader 68

9. BESTÄMNING AV DRIFTKOSTNADERNA FÖR OLIKA VÄRMESYSTEM VID UPPVÄRMNING AV LOKALER 70

9.1 INLEDNING 70
9.2 BESTÄMNING AV DRIFTKOSTNADEN FÖR BRÖDERNA EDSTRANDS NUVARANDE VÄRMESYSTEM 70
9.2.1 Beskrivning av aktiviteten, nuvarande värmesystem och elenergikostnad 70
9.2.2 Resultat 72
9.3 BESTÄMNING AV DRIFTKOSTNADEN FÖR BRÖDERNA EDSTRAND MED ETT LUFTBURET VÄRMESYSTEM 74
9.3.1 Beskrivning av dataprogram, BV95 Bygningers Varmebehov 74
9.3.1.1 Beskrivning av olika indata 75
9.3.1.2 Beskrivning av resultat rapport 76
9.3.1.3 Beskrivning av Bröderna Edstrands lokal 77
9.3.2 Resultat 78
9.4 BRÖDERNA EDSTRANDS, JÄMFÖRELSE NUVARANDE SYSTEM OCH LUFTBURET SYSTEM 79
9.4.1 Slutsats, Diskussion 81
9.5 BESTÄMNING AV DRIFTKOSTNADEN FÖR KOCKUMS NUVARANDE IR-SYSTEM 82
9.5.1 Beskrivning av IR-systemets kostnader 82
9.5.2 Resultat 83
9.6 BESTÄMNING AV DRIFTKOSTNADEN FÖR KOCKUMS MED ETT LUFTBURET SYSTEM 84
9.7 KOCKUMS, JÄMFÖRELSE IR-SYSTEM OCH LUFTBURET SYSTEM 85
9.7.1 Slutsats, Diskussion 87

10. INVESTERINGSKOSTNAD OCH INSTALLERAD EFFEKT FÖR LOKALUPPVÄRMNING MED IR-STRÅLARE 88

10.1 INLEDNING 88
10.2 GAS-IR 88
10.3 EL-IR 89
10.3.1 Kostnaden för IR-elementen 89
10.3.2 Kostnad för arbetet och indirekt material 89
10.3.3 Ekvation för uppskattning av investeringskostnad 90
10.3.4 Uppskattning av investeringskostnaden 90
10.4 JÄMFÖRELSE, GAS-IR OCH EL-IR 92
10.5 SLUTSATS, DISKUSSION 102

11. SLUTSATSER 103

11.1 ALLMÄNT 103
11.2 TORKNING AV PAPPER 103
11.3 LOKALUPPVÄRMING 104

12. VIDARE UNDERSÖKNINGAR 106

12.1 TORKNING AV PAPPER 106
12.2 LOKALUPPVÄRMNING 106
12.3 TORKNING AV LÄCKER 106

13. BETECKNINGAR 107

14. REFERENSER 110

BILAGOR

1. DIAGRAM, TOTAL STRÅLNINGSENERGI SOM FUNKTION AV TEMPERATUREN
2. DIAGRAM, ANDELEN AV TOTAL STRÅLNINGSENERGI SOM FUNKTION AV VÅGLÄNGDEN OCH TEMPERATUREN
3. SKISS ÖVER EN GENERELL TORKUGN MED TERMOREAKTORER
4. SKISS ÖVER BESTRYKNINGSMASKINEN PÅ STORA ENSO NYMÖLLA
5. SKISS ÖVER PAPPERSMASKINEN PÅ SKJERN PAPIRFABRIK
6. FLÖDESSCHEMA PM-KÅPAN, SKJERN PAPIRFABRIK
7. BEDFORDDIAGRAM
8. PLANRITNING, KOCKUMS LOKAL MED GAS-IR-STRÅLARE
9. PLANRITNING, BRÖDERNA EDSTRANDS LOKAL MED EL-IR-STRÅLARE
10. EFFEKTBALANSBERÄKNING, BRÖDERNA EDSTRANDS LOKAL
11. REDOVISNING AV DRIFTKOSTNADSBERÄKNINGAR, BRÖDERNA EDSTRANDS
12. FÖRKLARINGAR OCH BERÄKNINGAR AV VÄRDEN TILL BV 95, BRÖDERNA EDSTRANDS
13. RESULTATRAPPORT ENENERGIBERÄKNINGS-PROGRAMMET, BV 95
14. OLJEKOSTNADER FÖR VILLAÄGARE, DECEMBER 1998
15. KOSTNADSBERÄKNING FÖR INSTALLATION AV IR-STRÅLARE AV ELEKTRO SANDBERG
16. REDOVISNING AV BERÄKNINGAR, KAPITEL 10
17. EKVATION FÖR BERÄKNING AV VINKELFAKTOR, SAMT FÖRKLARINGAR
18. SKISS ÖVER GAS-IR-STRÅLAREN, KOCKUMS

1. Inledning

1.1. Bakgrund

De senaste åren har värmeöverföring genom infraröd (IR) strålning fått allt fler industriella tillämpningar. I till exempel pappersmaskiner och lackeringsugnar finns idag ofta s.k IR-strålare som på mycket små ytor kan överföra stora energimängder. I IR-strålare omvandlas energi i form av elektricitet eller gas till värmestrålning. Användning av IR-strålning, framför allt i olika torkprocesser, är under utveckling och antalet tillämpningar förväntas öka. Exempel på tillämpningar i olika branscher är [14, 41]:

Pappersindustrin:	Torkning av baspapper och bestruket papper
Lackeringsindustrin:	Torkning av våta applikationer och pulverbeläggningar
Livsmedelsbranschen:	Uppvärmning av frityrbad Bakugnar
Träindustrin:	Torkning av trä, spackel och färg på träfiberplattor
Järn- och stålindustrin:	Förvärmning vid bandvalsning Plastlaminering på valsad plåt Torkning av emalj
Plastindustrin:	Krympning, laminering och härdning av plast
Textilindustrin:	Torkning av tyger, textiler och textiltryck
Kemiska-, petroleum- och gummivaruindustrin:	Embossing, dvs ytvärmning av plastmattor före prägling av mattmönstret Värmning av asfalt Uppvärmning av maskiner, verktyg, vätskor i tankar och immersionstuber
Jord-, stenvaruindustrin:	IR-strålare för laminering av bilglas Sterilisering av glas Torkning av keramik
Verkstadsindustrin:	Torknings- och värmebehandlingsapplikationer Uppvärmning av lokaler med IR-strålare

Trots att tekniken redan är etablerad i vissa branscher saknas mycket kunskap. I samtal med en IR-leverantör frågades om deras företag märkt en uppgång i försäljningen av IR-strålare. De hade inte haft en märkbar uppgång på flera år. Ett av

skälen till det var industrins dåliga intresse. Varför är det så ? IR-tekniken började användas på slutet av 1930-talet av Henry Ford för torkning av lacker [42]. Tekniken har således varit känd länge och företag med intresse borde kanske känna till IR-tekniken. Litteraturen som skrivits om IR-teknik har visat flera fördelar med att använda IR-strålare jämfört med konvektions- och ledningsystem. Ett skäl till det dåliga intresset kan vara brist på kunskap.
Att välja och projektera ett IR-system är inte en lätt uppgift. Om det fanns en regel eller ett samband för valet av IR-system skulle valet underlättas.

1.2. Syfte

Detta examensarbetet gjordes för att studera olika tekniska och systemmässiga lösningar för industriell användning av IR-strålare. En jämförelse mellan gas- och el-IR-strålarens teknik och status gjordes. Det undersöktes om det finns ett samband mellan enstaka parametrar som säger vilken typ av IR-strålare som lämpas bäst till en industriell process eller uppvärmning. Sambandet mellan installerad effekt och grundinvesteringskostnaden för lokaluppvärmning med IR-strålare undersöktes.
En jämförelse av ex. start och stopptider, driftkostnad och tillförlitlighet kan vara en fingervisning om strålarens status.

Ett företag som investerar i ett IR-system har naturligtvis ett problem som behöver lösas eller ett behov att tillfredställa. Dessa orsaker undersöktes och en analys gjordes för att se om företaget uppfyllt sina mål. Exempel på problem kan vara otillräcklig kvalite och varierande fuktprofil inom torkgodset. Exempel på behov kan vara produktionsökning och utveckling av en ny produkt. De olika tillämpningarna som studerats är lackeringstorkning, papperstorkning och lokaluppvärmning.

1.3. Materialinsamling, Begränsningar

Besök gjordes på 5 st företag med IR-strålare. IR-systemet utvärderades och personer intervjuades för att samla in information och material. Även leverantören av IR-systemet kontaktades för att erhålla ytterligare information.
Företagen som besökts är följande:

Lokaluppvärming:	*Leverantör:*	*Typ:*
Bröderna Edstrand, Malmö	Pavima Teknik	el-IR
Kockums Industrier AB, Malmö	Amgas Industrigassystem	gas-IR
Papperstorkning:		
StoraEnso, Nymöllabruket	Compact Engineering	el-IR
Skjerns Papirfabrik, Danmark	Impact	gas-IR
Lackeringstorkning:		
Volvo Excavators AB, Eslöv	Linde Metallteknik	gas-IR

För tillämpningen lokaluppvärmning har även försök gjorts för att uppskatta IR-strålarnas verkningsgrad. Ekonomiska beräkningar, exempelvis av driftkostnaden, gjordes också för denna tillämpningen.

1.4. Frågeställningar

En hel del frågeställningar och frågor togs fram innan kontakten togs med företagen och leverantörerna. Efter att ha fått svar på dessa ursprungliga frågor tillkom en hel del andra intressanta frågor. Det finns egentligen inga begränsningar på antalet frågor man skulle vilja ha svar på. Rapporten kan naturligtvis inte beskriva svaren på alla frågor.
Några viktiga frågeställningar som fanns och som behandlas i rapporten redovisas nedan:

- Varför valde företaget ett IR-system gentemot ett annat ?
- Har företaget några speciella lösningar för att få hela systemet att fungera ?
- Vilket önskat mål hade företaget när det installerade IR-strålare ?
- Har detta målet uppnåtts ?
- Saknas det kunskap i vissa branscher ? Varför ?
- Hur stora var kostnaderna för IR-systemet ?

1.5. Övrigt

Examensarbetet är gjort i samarbete med avdelningen för Kemisk Apparatteknik, Lunds Tekniska Högskola och Svenskt Gastekniskt Center, (SGC), i Malmö. På LTH bedrivs ett forskningsprojekt om IR-torkning av papper, men även andra tillämpningar undersöks.

2. Elektromagnetisk strålning

Alla kroppar emitterar elektromagnetisk strålning om kroppens temperatur är över absoluta nollpunkten, (0 K). Ju högre temperatur en kropp har desto större del av strålningen hamnar inom det synliga området (390-770 nm). Elektromagnetisk strålning färdas med ljusets hastighet och behöver ej ett medium eller annan kropp för att fortplanta sig till omgivningen.

2.1 Svart kropp

En svart kropps totala strålningsenergi, E (W), kan beskrivas med ekvationen [7].

$$E_b = A * n^2 * \sigma * T^4 \qquad (1)$$

Ekvation (1) bestämmer den totala energin som en kropp utstrålar.
Spektralfördelningen för en svart kropp bestäms av Planck's lag [7].

$$E_{\lambda b} = \frac{2\pi h c_0^{\,2}}{n^2 \lambda^5 \left[e^{hc_0/n\lambda kT} - 1 \right]} \qquad (2)$$

Ekvation (2) avsätts i diagram 2.1, som visar strålningsenergin för en svart kropp. Strålningens intensitet vid en viss våglängd beror endast av temperaturen.

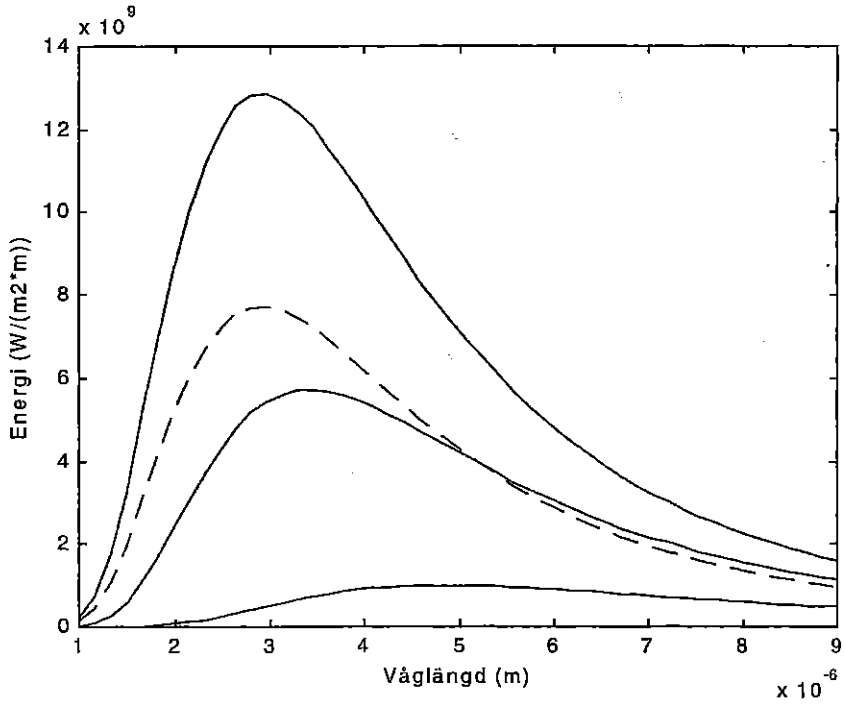


Diagram 2.1, Strålningsenergin som funktion av våglängden. Temperatur för översta heldragna linjen är1000 K. Temperaturen för följande heldragna kurvor är 850 respektive 650 K. Streckade kurvan är strålning från en grå kropp vid 1000 K.

Den totala energin får man om man integrerar funktionen i ekvation (2).

$$E_b(T) = A * \int_0^\infty E_{b\lambda}(T,\lambda)\, d\lambda \qquad (3)$$

Brytningsindex, n är konstant.
Om man löser ekvation (3) analytiskt får man lösning enligt ekvation (1).
Den våglängd som har störst strålningsenergi inom hela våglängdsområdet kan beräknas med ekvation(4). Ekvation (4) fås genom derivering av ekvation (2), med avseende på λT.

$$\lambda_{max} = \frac{2898}{T(K)} \qquad (4)$$

2.2 Verklig kropp

Verkliga kroppars strålningsenergi är mindre än en svart kropps strålningsenergi.

$$E_{verklig\ kropp} = \varepsilon(T, \lambda, \theta) * E_{svart\ kropp} \qquad (5)$$

Emissionsförhållandet, $\varepsilon(T, \lambda, \theta)$ är unik för varje material, och är beroende av temperaturen, våglängden och riktningen. Dahlin [14] ger emissionsförhållandet för vissa material. Emissionsförhållandet, $\varepsilon=1$ för en svart kropp och $\varepsilon(T, \lambda, \theta)<1$ för alla verkliga kroppar. En verklig kropps spektralfördelning kan ej beskrivas som en svart kropps enligt ekvation (2). För att beskriva spektralfördelningen för en verklig kropp måste funktionen $\varepsilon(T, \lambda, \theta)$ vara känd. Totala strålningsenergin för en verklig kropp beskrivs enligt:

$$E(T) = A * \int_0^\infty \varepsilon(T,\lambda,\theta) * E_{\lambda b}(T,\lambda)\, d\lambda \qquad (6)$$

Det finns svårigheter att bestämma funktionen, $\varepsilon(T, \lambda, \theta)$. Därför definieras en "grå kropp" som en kropp som har samma spektralfördelning som en "svart kropp" men energi-intensiteten är proportionell, enligt ekvation (7).

$$E_{grå\ kropp} = \varepsilon * E_{svart\ kropp} \qquad (7)$$

Emissionsförhållandet är konstant, $\varepsilon<1$.
Den streckade kurvan i diagram 2.1 representerar strålningsenergin för en grå kropp med $\varepsilon=0{,}6$ och temperaturen 1000 K.

2.3 Infraröd (IR) strålning

Infraröd strålning är den elektromagnetiska strålningen som tillför mest värmeenergi till en absorberande kropp. IR-bandet är en liten del av hela elektromagnetiska spektrumet med våglängdsområdet 0,76–1000 µm.
Infraröda strålare kan delas in i tre grupper med hänseende på strålningsvåglängden och temperaturen [45].

- Kortvågig IR strålare: 0,8-2,0 µm
  Detta våglängdsområde motsvarar en yttemperatur mellan 1100-3200 °C.
  Elbaserade IR-strålare arbetar vid de högre temperaturerna i givet temperaturintervall.
  Gaseldade IR-strålare avger strålning vid temperaturen ca 1500 °C och lägre.

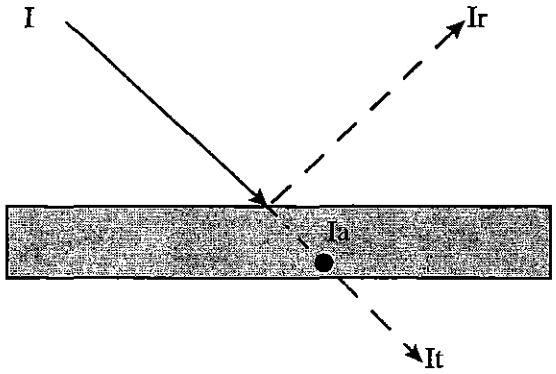
- Mellanvågig IR strålare: 2,0-4,0 µm
  Yttemperaturen för IR-strålaren är 500-1100 °C. IR-strålare av keramiska plattor, keramiska fibrer, metallfiberbrännare och direkteldade system används. Både elektriska och gaseldade IR-strålare används.

- Långvågig IR strålare: 4,0 µm–1 mm
  Dessa IR-strålare kallas vanligtvis för svartstrålare eftersom strålningen på grund av den relativt låga temperaturen faller utanför det synliga området. Denna typen av strålare har yttemperaturen mellan 30-500 °C. Till den här typen av strålare hör till exempel katalytiska brännare och elektriska keramikstrålare.

Det är endast kort- och mellanvågiga IR-strålare som används vid torkning av t.ex. papper och lacker. Papprets cellulosa absorberar strålning i det kortvågiga området, vilket leder till att energi även tillförs i papprets kärna. Vatten absorberar inte kortvågig strålning utan har sitt absorptionsmaximum inom det mellanvågiga området. IR-strålare inom det långvågiga området används mest till lokaluppvärmning och andra värmningsapplikationer.

2.4 Strålningteori för bestrålade ytor

En bestrålad yta kan reflektera, absorbera eller transmittera den inkommande strålningen. Figur 2.1 visar hur en ingående strålning till en yta fördelas.



Figur 2.1, Beskrivning en bestrålad yta

Energibalans:

$$I_r + I_a + I_t = I \qquad (8)$$

$$I_r/I + I_a/I + I_t/I = 1 \qquad (9)$$

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \qquad (10)$$

Reflektionen (ρ), absorptionen (α) och transmissionen (τ) är temperatur-, riktnings- och våglängdsberoende. Vid konstant yttemperatur är ytans strålning till omgivningen lika stor som den absorberade strålningen, dvs $\varepsilon = \alpha$ (Kirchoffs lag).
Om en IR–strålare används vid torkning är det viktigt att godset absorberar vid det våglängdsområde som IR-strålaren emitterar. Vattnets absorptionsbandsområden [44] vid 25 °C har sina toppar vid 1.19, 1.43, 2.93, 4.72, 6.10 och 15.3 μm

3. IR-strålare

3.1 Användning av IR-strålare

IR-strålare kan används för uppvärmning och torkning. Exempel på uppvärmning inom industrin är förvärmning av papper, värmning av vätskor samt uppvärmning av lokaler. Fördelen med IR-strålare för lokaluppvärmning är att lufttemperaturen i lokalen kan vara lägre jämfört med ett traditionellt luftvärmesystem.

Flera olika material kan torkas med IR-strålare. Exempel på material är papper, tyger och lacker. Fördelar med att använda IR-strålare jämfört med konvektionstorkar är IR-strålarens stora energitillförsel, (W/m^2), till torkgodset. Enligt litteraturen kan 8-10 gånger mer vatten per ytenhet drivas bort [8]. Det behövs ingen fysisk kontakt mellan torkmedium och torkgods. Detta är en fördel om bestrykningssmet på papper eller ytbeläggningar, typ lacker, skall torkas.

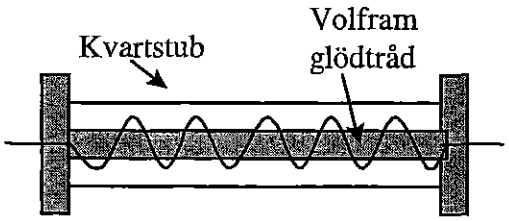
Användning av IR-teknik i processindustrin har ökat snabbt och blivit mer och mer viktig. IR-tekniken kan användas i många sammanhang där det finns ett värmebehov. Utvecklingen av IR-strålare inom pappers- och lackeringsindustrin är långt framskriden och dessa industrier är de största användarna av IR-strålare.

3.2 Beskrivning av IR–strålare

En IR-strålare består av en radiator som avger strålningen. Radiatorn kan t.ex vara en glödtråd i en IR-lampa eller en platta av metallfibermaterial. Energin som tillförs IR-strålaren är el- eller förbränningsenergi. Delar av den tillförda energin värmer upp radiatorn till höga temperaturer, som avger strålningsenergi. Temperaturen på radiatorn är beroende på vilken energikälla som används.

3.2.1 Elektriska IR-strålare

I elektriska IR-strålare passerar ström genom ett motstånd. I en vanlig IR-lampa är motståndet en glödtråd. När strömmen passerar motståndet alstras värmeenergi och temperaturen på radiatorn stiger. En el-IR-strålare visas i figurerna 3.1 och 3.2.

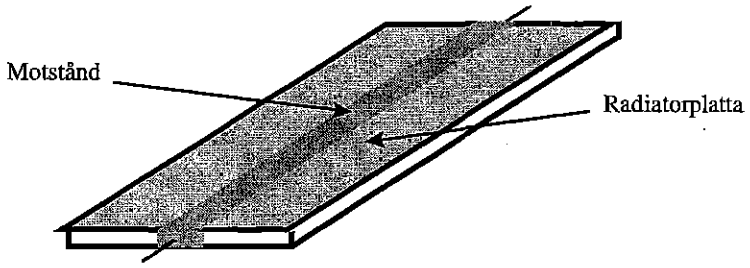


Figur 3.1, Lampa med volframsglödtråd och kvartsglas

Figur 3.2, Lampor med olika reflektrorer, Elliptisk(höger), Parabolisk(mitten) och planreflektor(vänster)

Den vanligaste IR-lampan som används inom pappersindustrin har en glödtråd som består av volfram och avger IR-strålning vid ca 2200 °C. Glaset runt glödtråden är kvartsglas, och atmosfären innanför glaset är inert. Den elektriska effekten är normalt 1-4 kW. Flera lampor monteras med reflektorer och skyddsglas i en enhetsmodul eller s.k IR-ram. Reflektorerna reflekterar den utgående strålningen från glödtråden mot torkgodset. De är gjorda av, eller överdragna, med ett reflekterande material som har väldigt hög reflektivitet till exempel guld. Modulens skyddsglas är oftast gjort av kvartsglas. Kvartsglas reflekterar och absorberar våglängder över 4 µm vilket gör att modulens övriga komponenter måste kylas, vanligen med luft, för att säkerhetställa lång drifttid. Kylningen gör att energi förloras till kylmediumet.

Det finns även elektriska IR-strålare med keramisk radiator med ingjutna högeffektsmotstånd. En sådan visas i figur 3.3. Elektricitet leds genom ett motstånd som går genom hela radiatorplattan. Värmen som alstras i motståndet sprider sig ut i plattan. Flera radiator plattor kan monteras tillsammans i en modul för att erhålla högre effekt. En IR-strålare av denna typen kan användas för uppvärmning av lokaler och vätskor i tankar.

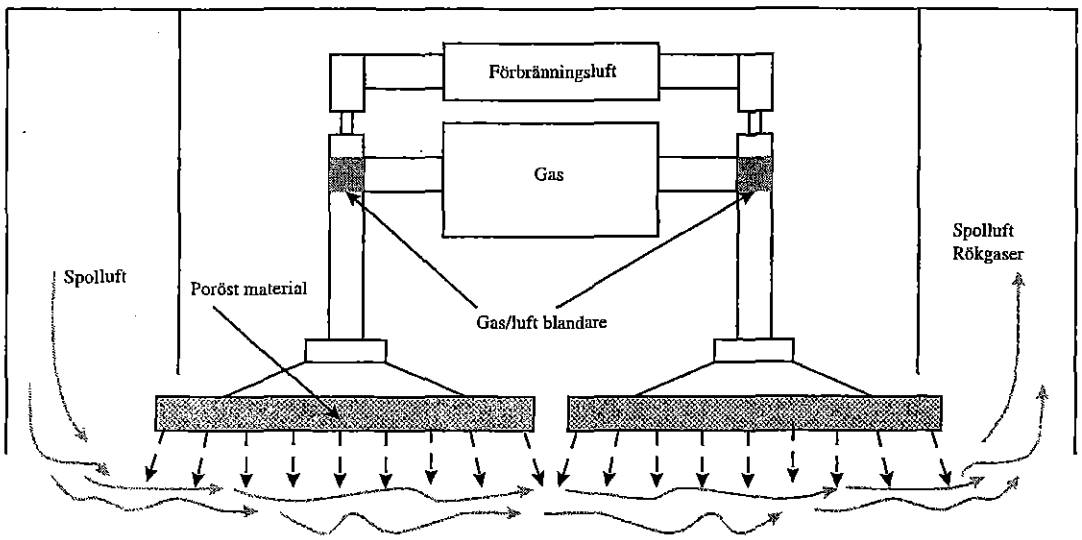


Figur 3.3, Elektrisk radiatorplatta med elektriskt motstånd

3.2.2 Gaseldad IR-strålare

Figur 3.4 visar en gaseldad IR-strålare för torkning.
En luft och gasblandning förbränns och värmer det porösa materialet dvs radiatorn. Radiatorn kan bestå av till exempel keramiskt material, metallfibrer eller katalytiskt material. Förbränningen sker vid ytan (i riktning mot torkgodset) av radiatorn. Yttemperaturen på radiatorn är 800-1100 °C. Effektregleringen (strålningseffekten från radiatorn) kan endast göras inom ett visst bestämt intervall. För att strålningsytan skall hettas upp effektivt skall helst förbränningen ske vid ytan. Förändrat flöde på gasblandningen ändrar flamfrontens läge och påverkar uppvärmningen av radiatorn. Luftöverskottet vid förbränningen måste ligga inom vissa intervall. Litet luftöverskott leder till ofullständig förbränning av gasen och ett stort luftöverskott leder till ökade energiförluster i rökgaserna.

Vid torkningsprocesser är det viktigt att luft- och ångblandningen ovanför torkgodset inte mättas med vattenånga eller lösningsmedel. Spolluften evakuerar rökgaserna ut ur systemet, så att ingen mättnad ovanför torkgodset erhålls. Dessutom hindrar den att torkgodset kommer i kontakt med radiatorn och fungerar som kylluft för metallmodulen runt radiatorn och gas/luft ledningar. De varma rökgaserna och spolluften utgör en energiförlust om man inte använder dessa vidare i någon annan process.



Figur 3.4, Gaseldad IR-strålare för torkning

Gas-IR-strålare för uppvärmning fungerar på samma sätt. Det behövs dock ingen spolluft för att avlägsna rökgaser. Det kan till och med vara en fördel om de varma rökgaserna kan användas för att bidraga med sin värme till det objekt som skall värmas upp. Det kan även vara en nackdel vid lokaluppvärmning. Halterna av CO och NO_X i rökgaserna måste vara så låga att inte personalen i lokalen påverkas.

3.3 Jämförelse mellan gas- och el

	Gas IR	El IR
Fördelar	Lägre energikostnad (kr/kWh)	Kräver lite utrymme där den installeras
	Gas kan distribueras via ett gasnät	Enkelt att reglera effekten
Nackdelar	Mer utrymme krävs vid torkplatsen	Stort lokal-utrymme för ställverk etc.
	Svårare konstruktionen	Högre energikostnad (kr/kWh)
	Svårare reglering	
	Längre start och stopptider	

Tabell 3.1, Jämförelse mellan gas- och el-IR

Tabell 3.1 nämner generella för- och nackdelar med gas- resp. el-IR-strålare. Utrymmet ovanför pappersbanan i en bestrykningsmaskin är kanske inte så stort. Då är det enklare att montera el-IR-strålare. En stor fördel med el-IR är enkelheten att reglera effekten. Vid torkning av papper varierar fuktprofilen i pappret. Om man installerar el-IR-strålare med automatisk effektreglering kan fuktprofilen i pappret utjämnas.
Att reglera gas-IR-effekten på detta sätt är svårare eftersom flera olika parametrar styr effekten och även tillförseln av gas. Men gas-IR för fuktprofilering används i stor utsträckning, vilket visar att det är möjligt.

Tillgång till ett fast gasnät vid användning av gas-IR är en fördel. Gasleverans via pipeline kan anses vara säkrare och risken för leveransavbrott mindre. Man kan antaga att den totala gaskostnaden vid leverans via pipeline är lägre än frekventa leveranser med tåg eller lastbil, men det är ej en generell regel [10].

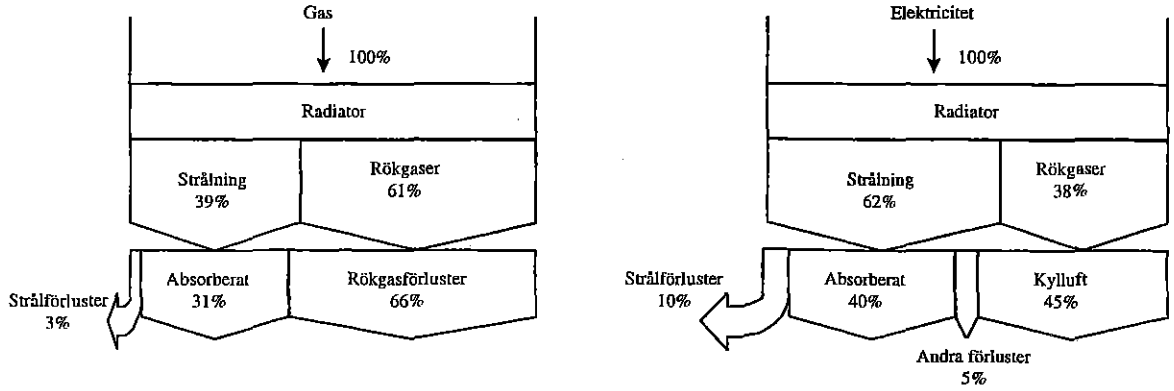
4. Litteraturöversikt

Litteraturen som undersökts och har behandlats nedan är litteratur som gör en jämförelse mellan gas- och el-IR för en industriell tillämpning. Den mesta litteraturen behandlar användning av IR-strålare inom papperstorkning. Litteratursökning har gjorts för att erhålla mer information om tillämpningen lokaluppvärmning, men någon omfångsrik litteratur har inte hittats. Litteratursökningen gjordes i *Chemical Abstract* och databasen *Ei CPX Web*. Dock har Andersen et al [40] i sin projektrapport beskrivit användning av naturgaseldade strålvärmerör för lokaluppvärmning.
En del litteratur behandlar endast en typ av strålare inom ett litet område. Viss information har refererats från denna litteratur.

4.1 Energi

Totala strålningsenergin för en svart kropp vid 2000 °C och 1000 °C är ca 1500 resp. 150 kW/m^2 strålningsyta, se bilaga 1. Den totala strålningsenergin(W) är proportionell mot arean på den emmiterande kroppen. Strålningsintensiteten per ytenhet för el-IR-lampa är större på grund av den högre temperaturen, men den effektiva ytan på en glödtråd i en el-IR-lampa är avsevärt mindre än strålningsytan på en gas-IR eller el-IR med radiatorplatta.

Den primära energin, elenergi eller gasens förbränningsenergi, omvandlas delvis till strålningsenergi och delvis till förluster. Figur 4.1 nedan visar energidiagram för gas- respektive elbaserade IR-strålare [9], som används till torkning av bestruket papper. Andelen strålning av den totalt tillförda energin är ungefär 1,6 gånger större för el-IR jämfört med gas-IR. Förhållandet för den absorberade strålningen är ungefär 1,3.
Detta visar att man generellt inte kan säga att el-IR är ett visst antal gånger mer effektiv jämfört med gas-IR. För att göra en korrekt jämförelse måste även torkgodsets absorption bestämmas.



Figur 4.1, Energidiagram för el- respektive gasbaserad IR-strålare för torkning av bestruket papper[9]

Produktion av elenergi sker exempelvis på värmekraftverk där fossila bränslen förbränns för att skapa högtryckånga som driver turbiner och generatorer. Skapandet av elenergi från fossila bränslen medför stora förluster. Om man tar hänsyn till dessa förluster kommer energidiagrammet för el-IR i figur 4.1 att förändras. Om det antags att den producerade elenergin är 40 % av den tillförda förbränningsenergin skall procenttalen för el-IR

multipliceras med 0,4. Då blir andelen strålning för el-IR cirka 25 %, dvs lägre än gas-IR:s strålningsandel. Hur den primära energi som används till IR-strålaren har skapats påverkar därmed indirekt effektiviteten.

I DGC-rapporten av Andersen [40] har det beräknats att energianvändningen minskar med ca 30 % för uppvärmning med naturgaseldade IR-strålvärmetuber jämfört med ett konventionellt värmesystem. I rapporten gjordes också en prognos för hur stor mängd naturgas som kan sparas under tidsperioden år 1996-2000. Den energimässiga besparingen i Danmark är 117 GWh eller cirka 11 miljoner m^3 naturgas.

4.2 Avsvalning

En glödtråd i en el-IR svalnar från ca 2200 °C till omgivningstemperatur på mindre än 5 sek [7,11], på grund av den låga termiska massan. Gas-IR har längre avsvalningstid på grund av större termisk massa på radiatorn. Avsvalningstiden är beroende av flera faktorer t.ex. massan, material och värmetransport till omgivningen. Vissa moderna keramiska gas-IR-strålare har start och stopp tider på omkring 10 sek [3], däremot har en traditionell gas-IR-strålare några minuters start och stopp tider. Kortare avsvalningstider förbättrar brandsäkerheten och regleringen av effekten, samt underlättar service och reparationer.

4.3 Brandsäkerhet

Brandsäkerheten diskuteras i litteraturen [1]. Referensen är en studie av flera pappersbruk i Finland. IR-torkarnas temperaturer är avsevärt högre än papprets antändningstemperatur. Det medför att pappersbanan kan fatta eld vid driftstopp, banbrott eller andra störningar i driften. Strålningsytan på gas-IR-strålarna har högre temperatur jämfört med el-IR-strålarna, ändå är risken för brand större vid användning av gasinfror. Detta beror på IR-strålarnas avsvalningshastighet och designen. Gas-IR-strålare har öppen strålaryta mot torkgodset. Glödtråden som är den strålande ytan för el-IR-strålare är innesluten i kvartsglas, som i sin tur skyddas av modulen.

4.4 Service, Underhåll

Typiska serviceåtgärder för IR-strålare är rengöring av ytor, lampbyte/elementbyte och byte eller rengöring av luftfilter. I tabell 4.1 visas serviceåtgärderna och hur många gånger per år som servicen görs [1].

Åtgärd		El	Gas
Rengöring av ytor		1-9	2
Lamp- resp. Elementbyte		1-4	1-6
Byte eller rengöring av luftfilter		2-12	-

Tabell 4.1, De vanligaste serviceåtgärderna och antalet servicetillfälle per år [1]

Enligt referensen förekommer ej något byte eller rengöring av luftfilter för användare av gas-IR-strålare. Gas-IR-strålare använder luften i omgivningen till förbränningen. Vissa gas-IR-strålare använder dock luftfilter.

Serviceåtgärderna sker oftast i samband med ett annat avbrott i produktionen, detta för att servicen inte skall förlänga maskinens stilleståndstid.

För de studerade IR-system på företagen som har besökts är serviceintervallet 1 år för nästan samtliga. På Skjerns Papirfabrik är en gas-IR är installerad. En tillsynsmyndighet gör även en brandsäkerhetskontroll av IR-systemet två gånger per år.

4.5 Absorption

Vid torkning erhålls högre energieffektivitet om emissionsspektrumet så långt som möjligt överensstämmer med torkgodsets absorptionsspektrum. I litteraturen [52] görs en enkel "svart-kropps" approximation för att bestämma emissions-spektrumet för IR-strålare. Papper har högst absorption vid våglängder över 2,7 µm [12]. Vid torkning av papper har valet av gas- eller el-IR en viss betydelse. Om gas-IR (vid 1000 °C) används kommer våglängder mindre än 2 µm utgöra 20 % av den totala emitterade energin. Om istället el-IR (vid 2000 °C) är motsvarande värde för energiandelen 60 %. Diagram som visar detta finns som bilaga 2. Detta betyder att 60 % av den primära strålningsenergin kommer att transmitteras eller reflekteras, och således inte bidraga till någon torkeffekt.
För att reducera förlusten monteras i praktiken alltid speciella motreflektorer på baksidan av pappersbanan [6, 30]. Slutsatsen att 60 % av den primära energin inte kommer att bidra med någon torkeffekt är då inte helt sann, eftersom motreflektorerna också bestrålar pappersbanan.

4.6 Energieffektiviteter

I litteraturen finns det många rapporter om IR-strålares effektiviteter. En direkt jämförelse mellan dessa givna effektiviteter kan ej göras om man inte vet exakt hur dom definieras. Petterson [7] beskriver olika definitioner på effektivitet och anger effektivitetsvärde från flera undersökningar i rapporten.

En vanlig definition av totala effektiviteten [8] är kvoten mellan absorberad energi och tillförd energi till strålaren. Den tillförda energin är el-energin eller energivärdet i gasen som IR-strålaren förbrukar.

4.7 Reglering

I litteraturen[1,7,13] enas man om att el-IR är enklare att använda, och start och effektreglering sker snabbare än jämfört med gas-IR. Flera parametrar styr effekten för en gaseldad IR-strålare, ex. luftöverskott och gasens tillflödestemperatur.

Porösa keramiska material i en gaseldad IR-strålare ger fördelar som jämnt fördelad strålning och god kontroll jämfört med gas-IR-strålare med andra strålningsytor, exempelvis metall-fiber [2].

4.8 Kostnader

Kostnaden för el och gas är oftast en faktor som påverkar valet av gas- eller el-IR
I Sverige är energiprisförhållandet (kr/kWh) mellan el och gas cirka 1,3 och i övriga Europa är förhållandet cirka 4 [10].

Installation av IR-strålare i processer kan leda till ökad produktion. Om inga besparingar görs, kommer den ökade produktionen att leda till större intäkter som ökar täckningsbidraget och pay-off tiden minskar för investeringen [5]. Även installation av IR-strålare som komplement till konventionella torknings- eller uppvärmningsmetoder kan leda till energibesparingar.

Madsen [46] jämför investeringskostnaden mellan olika gas- resp. el-IR system för lokaluppvärmning med olika effekter. För ett mindre IR-system med installerad effekt på 1-50 kW, utan reglering, är investeringskostnaden för el-IR minst. För ett större system med effekten 50-100 kW, är investeringskostnaderna jämförbara. För riktigt stora system med effekten 100-1000 kW är investeringskostnaden för gas-IR lägst.

En tumregel för installationskostnaden av IR-strålare enligt [40] är 70-80 dkr/m^2 för lokaler över 1000 m^2. Denna installationskostnad gäller sannolikt för IR-strålvärmetuber, men det framgår inte klart från rapporten.

I detta examensarbete bestämdes driftkostnaden för uppvärmning av lokaler med IR-strålare (se kapitel 9) och driftkostnaden för Skjern Papirfabrik med gas-IR-strålare för torkning av papper (se kapitel 6).

4.9 Övrigt

El-IR-strålarens höga temperatur leder till att större del av strålningen är inom det synliga ljusets område. Den starka intensiteten gör att människor som vistas i närheten bländas om inga skyddsåtgärder har vidtagits.

På Forbo-Forshaga i Göteborg finns en gas-IR installerad för ytvärmning av plastmattor före prägling av mönstret [41]. Gas-IR-strålaren ersatte den el-IR-strålare som var monterat förut. En jämförelse gjordes sedan av driften med de olika strålarna. Då el-IR-strålaren inte var i drift bildades kondens på strålarens yta. Vattnet droppade ner på plastmattans yta vilket gav droppmärken med kassationer som följd. Den gasvärmda IR-strålaren ger enligt uppgift, från Forbo-Forshaga, inte upphov till några kondensproblem eftersom en viss genomluftning kan ske.

5. Lackeringsindustrin, torkning av lackering och färger

5.1 Inledning

Det ursprungliga syftet med detta kapitel var att beskriva både gas- och el- IR för torkning av lacker och färger, och sedan göra jämförelser av de olika IR-systemen. Studiebesök gjordes endast på ett företag med gas-IR och därför beskriver detta kapitel i stor del den informationen jag fick utifrån mitt studiebesök. Anledningen till att el-IR inte behandlas är att tiden för ett examensarbete är begränsad. Undersökningar om var det finns större anläggningar för IR-torkning av lacker och färger gjordes. Nord-Plan A/S är ett företag som ligger på Själland i Danmark och som använder el-IR för torkning av lacker.

5.2 Allmänt

Konventionell torkning av lacker och färger sker normalt i en tunnel i vilken man cirkulerar uppvärmd luft. Mängden torkluft som ska värmas och cirkuleras blir stor, dels för att erhålla tillräcklig värmeöverföring men även för att hålla lösningsmedel-koncentrationen under den gräns då explosionsrisk föreligger.

Infraröd strålning för torkning av lacker och färger är ett väldigt stort tillämpningsområde för IR-strålare. I stället för en konvektiv varmluftsugn kan man använda en strålningsugn där värmestrålningen alstras av IR-strålare, till exempel av keramiska plattor, katalytiska strålare eller tubstrålare. Förbättringar som kan uppnås jämfört med konvektiv ugn är högre värmeöverföring, kortare torktid, mindre mängd lösningsmedelshaltig luft och reducerad energianvändning.

Vid torkning av lösningsmedelbaserade färger och lacker kan den katalytiska gas-IR-strålaren vara lämpad. Detta beror att den lösningsmedelbemängda luften i ugnen kan recirkuleras genom strålarplattan som sekundärluft, varvid lösningsmedlet oxideras till koldioxid och vatten. Man har alltså en inbyggd rening av ventilationsluften i ugnen vilket under normala förhållanden gör ytterligare rening överflödig. Den låga lösningsmedelshalten gör även att explosionsrisken i ugnen blir minimal.

När det gäller färg- och lacktorkning har gas-IR den fördelen framför el-IR att våglängden stämmer bättre överens med färgernas absorptionsspektra. Detta ger en bättre värmeöverföring och högre verkningsgrad för gas-IR. Vid installation i befintlig utrustning kan el-IR-strålare ha fördel av att dessa är mindre utrymmeskrävande än gas-IR. För övrigt är gas- och elpriset avgörande för valet mellan gas- och el-IR.

En annan fördel med IR-strålare är att risken för förorening av lackeringsytan blir mindre än om ett konvektivt luftsystem används. Vid användning av el-IR, ventileras avdunstat lösningsmedel bort, och ingen yttre eventuellt förorenad luft kommer i kontakt med ytan om IR-ugnen är ett slutet system. Även förbränning av gas vid

användandet av gas-IR leder till renare atmosfär runt lackeringsytan. Dock behövs eventuellt luftfilter för att rena förbränningsluften.

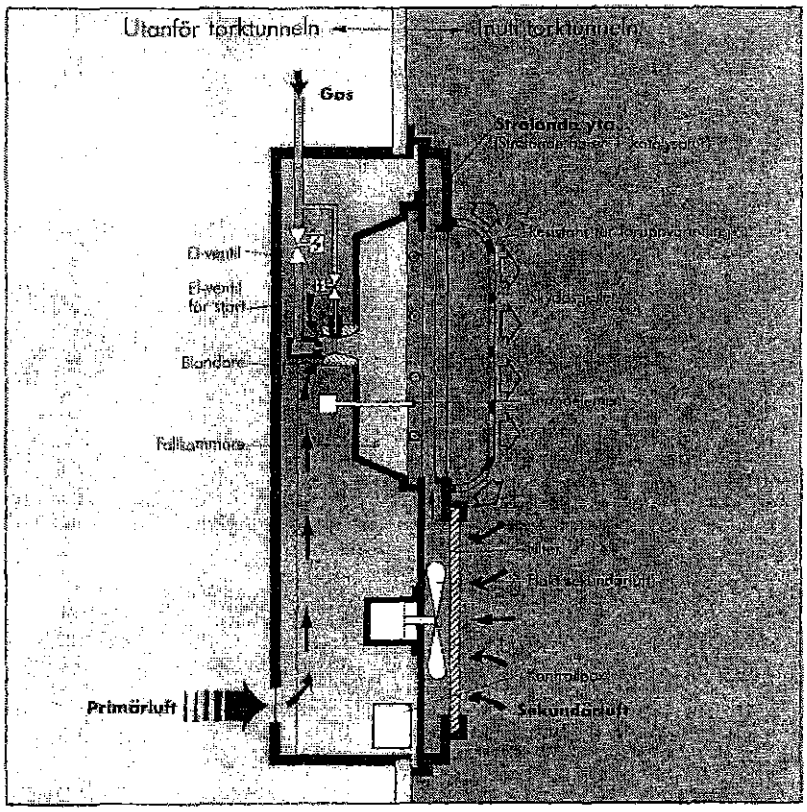
Användningen av lösningsmedelsbaserade lacker och färger har minskat och kommer minska ännu mer på grund av myndigheternas krav på minskade utsläpp av lösningsmedel i luften. Vissa lösningsmedelsbaserade lacker och färger har ersatts med vattenbaserade. Energitillförseln som behövs för att avdunsta vattnet är större än för lösningsmedlet. En fördel med IR-strålare är att större mängder energi kan tillföras med infraröda strålare jämfört med konvektiva torkningsugnar. Denna fördel är viktig och exempelvis bilindustrin är intresserad av forskning inom torkning av vattenbaserade färger och lacker [41].

Vid överhettning av lacken sker en snabb härdning på det yttersta skiktet. Detta skiktet stänger inne lösningsmedlet och vattnet innanför. När ångtrycket blir alldeles för stort sprängs ytan och en krater bildas. Detta vill man naturligtvis förhindra på alla sätt. De vattenbaserad lackerna är ej så känsliga för överhettning som ex. tvåkomponentslacker.

5.2.1 Termoreaktorn

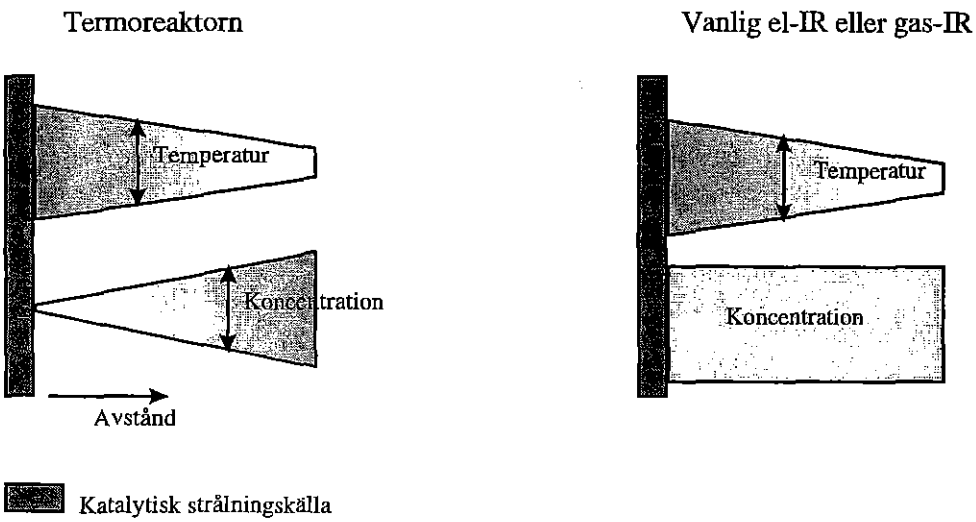
I bilaga 3 visas ett exempel på hur en termoreaktorugn kan se ut.
Figur 5.1 visar termoreaktorn [23] som marknadsför och säljs av Linde Metallteknik. Termoreaktorn som är installerad på Volvo Excavator är identiskt. Gasen leds till fallkammaren där den blandas med primärluft. I sin främre yta har kammaren en cirkelrund katalysatorskiva där förbränningen äger rum. Sekundärluften från torkzonen tillföres katalysatorn med hjälp av en mindre fläkt. Denna sekundära tillförsel av lösningsmedelsbemängd luft har en stor renande effekt i det att lösningsmedlet utsätts för katalytisk förbränning och fungerar alltså som bränsle i processen.

Enligt leverantören [23, 38] är ingående gaseffekt på varje enskild strålare ca 4 kW. Av ingående energi emitteras 40 % som strålning och 50 % avges genom konvektion. Övriga 10 % är förluster i form av UV-ljus och synligt ljus samt avgasförluster. Enligt Christensen [41] är yteffekten 12 kW/m^2 vid 400 °C.
Denna temperatur är inte den maximala för termoreaktorn. Strålarytan är cirkelformad med radien ungefär 14 cm och den installerad gaseffekten är 4 kW. Om verkningsgraden är 40 % blir strålningenergin 1,6 kW. Temperaturen beräknades med ekvation (1), till 550 °C. I denna beräkning har strålarytan antagits vara en svart kropp. Beräknad temperatur är lägre än den av leverantören uppgivna temperaturen 650-1000 °C. Felet beror delvis på antagandet att strålarytan var en svart kropp vid beräkningarna.



Figur 5.1, Termoreaktorn installerad i Volvos torkugn[23]

Figur 5.2 visar, enligt Linde Metallteknik [23], koncentrations- och temperaturprofilen för deras termoreaktor.
I referens [23] beskrivs koncentrationsprofilerna enligt stycket nedan.
Genom sin förmåga att "konsumera" lösningsmedel blir koncentrationen vid termoreaktorns yta noll, och stiger därefter med avståndet. Koncentrationen för en vanlig strålare förändras inte med avståndet och risken för explosion, på grund av hög koncentration vid ytan, blir större.



Figur 5.2, Beskrivning av temperatur- och koncentrationsprofiler [23]

Det framgår inte klart i referensen vilket avstånd som menas. Ifall avståndet definieras som sträckan från strålningsytan fram till torkobjektet, är det underligt om koncentrationen av lösningsmedel minskar till noll. Lösningsmedlet sugs in med sekundärluften och förbränns sedan vid strålningsytan. Koncentrationen av lösningsmedel blir då konstant fram till strålningsytan där förbränningen sker och minskar inte som figur 5.2 visar.

5.3 Beskrivning av Volvo Excavator AB:s system

Företagsbeskrivning Volvo Construction Equipment [24]

Denna koncern har produktionsfabriker i Tyskland, Sverige, Frankrike, USA, Kanada och Brasilien. Produktsortimentet är brett, exempelvis hjullastare, mindre och stora grävmaskiner och lastbilar vid stenbrott och gruvor. Produktionsenheterna är indelade i tre olika huvudgrupper. Volvo Excavators tillhör gruppen General Purpose and Service Equipment. Produktionen av större grävmaskiner i denna huvudgrupp skedde på Volvo Excavators i Eslöv.
Beslutet om att lägga ner Volvo Excavator i Eslöv togs efter mitt studiebesök. Hur förändringen av koncernen kommer se ut har ej undersökts.

Beskrivning av IR-systemet

Torkugnen med termoreaktorer (se figur 5.1) på Volvo Excavator installerades 1991 och eldas med naturgas. Antalet termoreaktorer är 36 st och ugnen installerades i samband med att måleriet byggdes. Den totala installerade gaseffekten är 144 kW jämt fördelade över samtliga termoreaktorer. Den torkar målade komponenter till grävaggregat och chassi. Lacken som torkas är en vattenbaserad lack med små mängder lösningsmedel av typen akrylat (polymerer). En termoreaktor är en kombination av en traditionell konvektionsugn och en IR-strålningsugn. Luften i ugnen sätts i rörelse dels genom ventilation och dels att blandningen av luft, vattenånga och lösningsmedel sugs tillbaka för att användas som sekundärluft och bränsle. Färskluft tas utifrån lokalen genom cirkelformade hål på sidorna av ugnen.

Komponenterna som torkas i ugnen är asymmetriska. Om endast en vanlig IR-strålare hade använts hade vissa ytor på komponenten hamnat i strålningsskugga. För att erhålla snabb och effektiv uppvärmning av lacken på hela godset, krävdes en kombinationsugn.

Torkningen sker till väldigt låga fukhalter. Stora komponenter torkas ej till samma låga fukthalt som mindre komponenter, men detta är ej något problem för Volvo Excavator. Komponenternas massa varierar mellan 0,5-8 ton. Efter torkugnen får komponenterna ligga inomhus i ett dygn. Lacken som används kan kännas mjuk och klibbig efter ugnen på grund av att den är varm. När lacken svalnar härdar lacken helt och ytan blir hård. Eftersom vattenbaserad färg används har det inte förekommit något problem med överhettning av färgen.

Eftersom vattenbaserade lacker torkas var det nödvändigt med ventilation av ugnen. Annars hade luften blivit mättat och någon avdunstning hade inte skett.
Därför modifierades ugnens ventilationssystem. Specifikationer och upplysningar lämnades till leverantören som gjorde nödvändiga modifieringar på systemet.
Ventilationen i ugnen är totalt 100 m^3/h och med separat ventilation av reaktorn[38].

Bakgrund

Det fanns ingen kunskap i företaget om IR-strålare då planeringen och projekteringen av IR-installationen startade. Myndigheterna ville på den tiden få ner användningen och utsläpp av lösningsmedel i industrin och en termoreaktor löste problemet med utsläppen på ett bra sätt. Användningen av vattenbaserad lackfärg bidrog till minskningen av användandet av lösningsmedel. Därför valdes termoreaktorn efter diskussion med färgleverantören och interna källor inom Volvokoncernen, samt leverantören av systemet.
Under slutet av 80-talet fanns anläggningar i Karlskrona för lackering av Volvos produkter. Där hade Volvo investerat i en termoreaktorugn liknande Volvo Excavators för härdning av lacker. Erfarenheter och kunskap från Karlskrona underlättade valet.

Reglering

Vid uppstart mäts lufttemperaturen i ugnen och denna parameter styr gasflödet. Ett överhettningsskydd utgör säkerhet mot för hög temperatur i ugnen. Vid full drift av termoreaktorerna regleras torktiden för de olika komponenterna.

Ekonomi

Grundinvesteringen var ca 1 miljon kr (år 1991). Payback tiden eller nuvärdet av investeringen har ej beräknats av Volvo Excavator.

Service och underhåll

Service och underhåll av IR-systemet sker en gång per år, då en översyn och byte av filter sker. Kostnaden är ca 10 000-15 000 kr/år för ett sådant system som Volvo har installerat. Eftersom eldning av gas sker i ugnen råder förordningar och lagar som företaget måste följa. Ett säkerhetssystem finns för att förhindra brand och explosion vid gasläckage etc. Regelbunden inspektion av tillsynsmyndigheten görs för att kontrollera driften av systemet.

Miljö

Termoreaktorn har förmågan att bränna de lösningsmedel som avdunstas i ugnen. Lacken som torkas är en vattenbaserad lack med vattenhalten 40-50 volymsprocent, och lösningsmedelshalten 2-5 volymsprocent. Förbränningen av lösningsmedel leder ej till någon minskning av gaskostnaden. Detta grundar sej på att koncentrationen av lösningsmedel i denna sortens vattenbaserad lack är för liten för att kunna påverka mängden eldad naturgas.

Enligt leverantören [23] av termoreaktorn sker förbränningen utan avgivande av skadliga restprodukter. Vilka restprodukter som menas sägs icke i referensen.
Vid studiebesöket efterfrågades det ifall problem förekommit med termoreaktorugnen. Om utsläpp av CO, NO_X och oförbrända kolväten hade skapat problem för den arbetande personalen skulle kanske detta problem nämnts av Björk [22], som var personen som intervjuades vid studiebesöket.

Torkkapacitet

Det gjordes inte någon total energibalans över torkugnen. Från kontaktpersonen på Volvo Excavator erhölls en del ungefärliga värden på ugnens torkkapacitet.

Givna data från Volvo, [22]

Torkcykeltid:	30 min
Avdunstad mängd vatten:	1-2 kg/torkcykel
Torkgodsets massa:	0.5-8 ton
Full gaseffekt på IR-strålarna:	144 kW
Lufttemperaturen i ugnen:	90 °C.

Några enkla antagande gjordes för att uppskatta energierna för avdunstning av vatten och uppvärmning av torkgodset.

Den totala energianvändningen för förångning av vattnet, gas-IR-strålarna och uppvärmning av torkgodset, per torkcykel kan avläsas i tabell 5.1-3. Den genomsnittliga temperaturen i torkgodset efter torkningen antags vara 80 °C och godsets massa 8 ton. Det antogs att 2 kg vatten förångades i torkugnen. Massan av lösningsmedel och energin för att värma upp vattnet från ca 20 °C till 90 ° försummades.

IR-strålare

Ingående effekt:	144 kW
Total energi	259200 kJ/torkcykel

Tabell 5.1, Gas-IR-strålarnas energianvändning per torkcykel

Avdunstning av 2 kg vatten vid 90 °C

Ångbildningsentalpi (vid 90 °C)	2283 kJ/kg
Total energi	4566 kJ/torkcykel

Tabell 5.2, Energianvändningen för avdunstning av vattnet vid 90 °C per torkcykel

Torkgods

Ingående gods:	**8** ton
Genomsnittlig temperaturhöjning	**60** grader C
Medelvärmekapacitet, Stål	460 J/(kg*C)
Total upptagen energi	220800 kJ/torkcykel

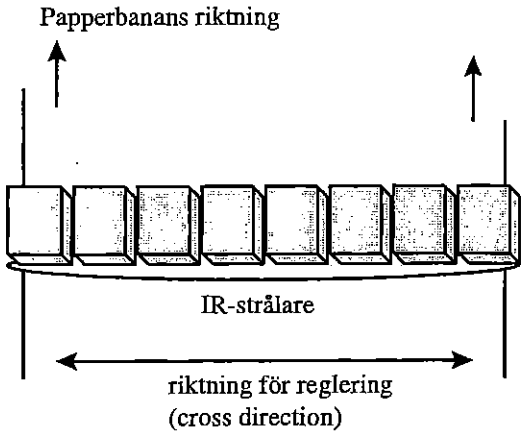
Tabell 5.3, Energianvändningen för uppvärmning av torkgodset per torkcykel

Av total tillförd energi till IR-strålarna används 2 % till att förånga vattnet. Den största delen av tillförd energi till gas-IR-strålarna går enligt beräkningarna till att värma upp torkgodset. Vid studiebesöket gjordes inga mätningar på torkugnen. Uppskattningen ovan är bara en fingervisning om energiförhållandena i torkugnen. För att kunna göra en noggrann energibalans krävs att mätningar görs.

6. Pappersindustrin, Torkning av papper

6.1 Inledning

Inom pappersindustrin kan infraröda strålare användas för torkning av baspapper eller bestruket papper. Den användning som dominerar idag är torkning av bestruket papper. I Sverige, 1992, användes 90 % av installerad IR-effekt för torkning av bestruket papper [43]. Även profilreglering förekommer, dvs man reglerar fukthalten på pappersbanan. Figur 6.1 nedan visar hur IR-strålare är monterade på pappersbanan. Vid profilreglering, (CD -profilering), kan man se IR-strålaren som flera enheter där effekten kan regleras enskilt. Andra tillämpningar för IR-strålare kan vara förvärmning av pappersbanan innan varmpressningen. Högre temperatur på pappersbanan leder till att mer vatten kan pressas ut från pappret.



Figur 6.1, Monterade IR-strålare för torkning av papper, vy uppifrån IR-strålarna

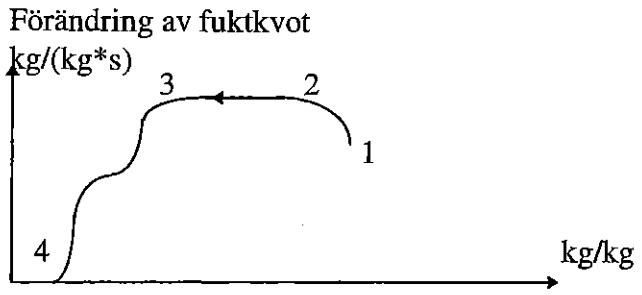
6.2 Torkningsteori

6.2.1 Baspapper

I en pappersmaskin eller bestrykningsmaskin sker torkningen normalt med ett stort antal ångvärmda cylindrar, vilket är tämligen ineffektivt förfarande i början och i slutet av torkningen. Detta beroende på att värmeöverföringskapaciteten är låg vid uppvärmningen, samt att ytskiktet under sluttorkningen är torrt vilket isolerar papprets fuktiga mittparti från värmetillförsel.

Papper är ett hygroskopiskt material och binder alltid en del vatten. Mängden bundet vatten är beroende av temperatur och tryck. Torkningen av pappret sker ej så långt att fukthalten kommer under den fuktkvot som pappret har vid färdigt tillstånd. Torkförloppen för ett hygroskopiskt material och ett endast ytfuktigt material är annorlunda.

Figur 6.2 nedan visar en typisk torkförloppskurva för torkning av exempelvis papper.

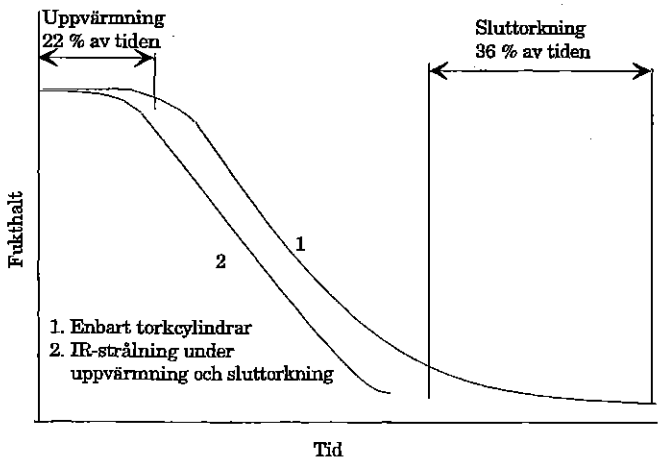


Figur 6.2, Torkhastigheten som funktion av tiden

I torkfasen 1-2 sker en uppvärmning av papprets yta. Så länge pappret är ytfuktigt, fas 2-3, sker en konstant torkningshastighet. I detta skede bestäms torkhastigheten av värme- och masstransporten i luftfilmen ovanför pappersytan. Vid en viss kritisk fukthalt börjar torra fläckar uppstå på pappersytan och torkhastigheten börjar sjunka (fas 3-4 i figur). Pappret torkar till slut helt på ytan, men papprets kärna är fortfarande fuktig. I denna fas kommer även papprets temperatur att öka. Torkhastigheten i denna fallande fasen begränsas av transporten av vatten från papprets inre till ytan, samt värmetransporten från ytan till fukten i papprets inre.

För att snabbt tillföra värme till de inre delarna av pappret och höja torkhastigheten kan en IR-strålare användas. Korta våglängder går genom ytan och absorberas av papprets kärna. Man använder med fördel IR-strålare i denna fasen jämfört med fas 2-3. I fas 2-3 begränsas inte transporten av vatten på samma sätt jämfört med fas 3-4. Förhöjning av torkhastigheten i fas 2-3 kan ske exempelvis med ökat ångtryck i torkcylindrarna eller med IR-strålare.

På grund av IR-strålarnas förmåga att tränga in till papprets mittparti kan torktiden förkortas som visas i figur 6.3 [15].



Figur 6.3, Fukthalt som funktion av tiden vid torkning av papper [15]

I figur 6.3 visas också att 58 % av den totala torktiden används till uppvärming och sluttorkning, om endast ångcylindrar används. Cirka 20 % av fukten avlägsnas från

pappret under denna tid. Om IR-strålare i kombination med ångcylindrar används blir torktiden kortare. Figur 6.3 är ett exempel på hur fukthalten kan förändras med tiden.

6.2.2 Bestruket papper

Vid torkning av bestruket papper är det viktigt att så snabbt som möjligt värma upp pappersbanan till immobiliseringspunkten, för att exempelvis förhindra kvalitetsproblem vid tryckning på pappret. För att förhindra skador och defekter på pappersytan är det omöjligt att använda ångcylindrar för torkning precis efter bestrykningssmeten är pålagd. För att snabbt uppnå immobiliseringspunkten och även torka det bestrukna pappret kan med fördel IR-strålare användas. Det eliminerar risken för att bestrykningen skadas. Även lufttorkar istället för, eller i kombination med IR-strålare, kan användas för att erhålla bättre kvalite. Efter den kritiska perioden då risk föreligger för att skada bestrykningen kan pappret torkas med vanliga ångcylindrar.

För att kunna förklara torkningsprocessens inverkan på kvaliteten brukar den indelas i fyra olika faser [48].

Fas 1:	Smetapplikation till avdunstningens början
Fas 2:	Avdunstning till kritiska områdets början ("initialtorkning"), smetens immobilisering börjar
Fas 3:	Kritiska området, smetens immobiliseringsområde
Fas 4:	Sluttorkning

Från kvalitetssynpunkt är det viktigt att *Fas 1* är så kort som möjligt. Under detta skede absorberar pappret vatten från smeten med fibersvällning som följd. Till detta skede hör även uppvärmning av pappersbanan till förångningstemperaturen. Användning av IR-torkar som första torkenhet anses ge förbättrade kvalitetsegenskaper hos pappret [48]. När förångningstemperaturen har uppnåtts är det önskvärt att förångningen vidtar omedelbart och hålls på en hög nivå för att minimera vidare absorption, *Fas 2*. Detta kräver en så snabb immobilisering av smeten som möjligt . En alltför intensiv torkning kan dock ge övertorkningsproblem.
Fas 3 utgör det kritiska och mest kvalitetsbestämmande torkningsområdet. En alltför kraftig torkning resulterar i relativt stora variationer (orientering, bindemedelsvandring) mellan tunnare och tjockare smetskikt vid olika tidpunkt. Därför är det önskvärt att torkningen under denna fas är skonsam. Smetens immobilisering sker vanligtvis vid en smet-torrhalt på 70-76 % [48]. I *Fas 4* kan slutfukthalten justeras. Under denna fas kan man i princip torka med vilken tork som helst.

Installation av IR-torkar i bestrykningsmaskiner är nuförtiden standard. Vid nybyggnation av bestrykningsmaskiner utrustas dessa praktiskt taget alltid med IR-strålare som komplement till luft- och cylindertorkar [30].

6.3 Stora Nymölla AB

Företagspresentation

Stora Nymölla ingick i Stora Fine Paper, som var ett affärsområde inom Stora-koncernen. I december 1998 startade Stora och det finländska skogsindustriföretaget Enso sin verksamhet tillsammans. Koncernen heter Stora Enso, men i dagsläget har det inte beslutats vad Stora Nymölla skall heta efter sammanslagningen, därför kommer det i rapporten benämnas Stora Nymölla AB.

Stora Nymölla AB är ett av världens största tillverkare av blekt magnefitmassa och finpapper. Råvaran är både löv- och barrträd. Den första tillverkningslinjen för pappersmassa startades 1962 och papperstillverkningen kom igång tio år senare. 1988 togs en andra pappersmaskin i bruk tillsammans med en bestrykningsmaskin. Stora Nymölla producerar ca 155 000 ton bestruket papper/år [35].

Beskrivning av IR-systemet

I bilaga 4 visas en skiss över bestrykningsmaskinen.
Stora Nymölla AB använder elektriska IR-strålare för att torka bestrykningssmet på finpapper. Även fuktprofilering med IR-strålare är och var installerade. IR-strålarna är enkelsidiga med en reflektor av ren aluminium monterad på baksidan av den bestrukna pappersytan. Två utav tre IR-ramar höjer pappersbanans temperatur till immobiliseringstemperaturen, innan pappret torkas vidare med lufttorkar och ångcylindertorkar. Den tredje IR-ramen används till fuktprofilering. Samtliga IR-strålare är monterade efter bestrykningspåläggningen. Immobiliserings-temperaturen är mellan 60-80 °C, beroende på baspapper och bestrykningssmet. Baspapprets ytvikt är 58-125 g/m^2. Pappret bestrykes även på andra sidan i samma bestrykningsmaskin. Samma antal IR-strålare bestrålar den andra bestrukna sidan och de har samma funktion som de ovan nämda. Den totala installerade eleffekten på alla sex IR-strålare är 6,2 MW. Medelhastigheten på pappersbanan är 1025 m/min.

IR-strålarna är monterade i en modul som är ca 1 m hög och 0,5 m bred. Längden och pappersbanans bredd är lika. Inga stora modifieringar av bestrykningsmaskinen gjordes vid monteringen. Installationen underlättades på grund av att det förut hade varit IR-strålare monterade.

Bakgrund

Bestrykningsmaskinen byggdes från början utan IR-strålare. Stora Nymölla insåg senare att IR-strålare var nödvändigt för att förbättra kvaliten på det bestrukna pappret. De IR-strålarna som först monterades har ersatts med andra. Bytet gjordes på grund av bristande effekt på de gamla IR-strålarna.

Under sommaren 1998 installerades de nya IR-strålarna av Compact Engineering. Vid bytet av IR-strålarna kontaktades flera leverantörer av IR-strålare till pappersindustrin. Eftersom det fanns kunskap och erfarenhet av IR-strålare på Stora Nymölla visste företaget vilka behov och önskemål man hade för nya IR-strålare.

Byte och val av IR-strålare

Byte av strålarna gjordes på grund av att de ersatta strålarna ej hade tillräckligt hög effekt för att värma pappersbanan till önskad temperatur. Vid byte beräknade leverantören 30 % ökning i verkningsgrad, vilket skulle leda till energibesparingar. Någon undersökning har inte gjorts för att bekräfta leverantörens beräknade energibesparing. Produktionskvantiteten och kvaliten förblev den samma som innan. Varför effekten inte räckte till på de föregående strålarna kan vara på grund av att livslängden för dessa hade gått ut.

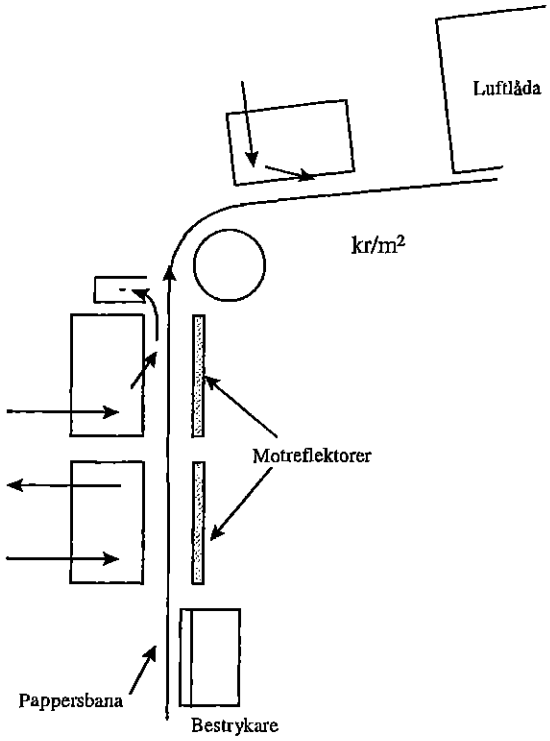
Stora Nymölla bestryker tunna papperskvaliteter med lägsta ytvikten 58 g/m^2. För att öka effektiviteten vid bestrykning av så tunt papper finns det behov av motreflektor. Motreflektorer kan antingen vara reflekterande eller absorberande. En reflekterande motreflektor reflekterar det mesta av den inkommande strålningen. En absorberande motreflektor absorberar mycket av den inkommande strålningen och värms upp till höga temperaturer. Den höga temperaturen gör att motreflektorn i sin tur avger strålning mot pappersbanan. Strålningspektrumet för en absorberande motreflektor är annorlunda jämfört med det inkommande spektrumet. Stora Nymöllas motreflektor är reflekterande och är gjorda av ren aluminium.

Inne i lampmodulen finns också reflektorer. Vid valet av olika IR-strålare valdes en plan reflektor. Det finns även elliptiska och paraboliska reflektorer. Nackdelen med de två sist nämda reflektorerna är att om flera lampor går sönder kommer ett större område på pappersbanan vara fri från strålning, och torkningen sker ej så effektivt. Denna nackdel finns ej vid en plan reflektor, eftersom reflektionen sker mer slumpmässigt.

Service och problem med kylluftsflödet

När IR-strålarna togs i drift upptäcktes att kylluftsflödet var underdimensionerat. Detta ledde till att endast två av tre IR-ramar kunde brukas. Detta åtgärdades under hösten 1998. Trots detta kvarstod en del problem med kylningen av IR-strålarna. För höga temperaturer ledde till att guldpläteringen på reflektorn i lampmodulen smälte. Många lampor brändes också på grund av den höga temperaturen. Dessa problem är naturligtvis kostsamma och leder till driftstopp.

Vid första åtgärdandet av den otillräckliga kylluften, var även leverantören och renoverade IR-strålarna. Dessa hade ej tillräckligt med reservdelar med sig för att åtgärda IR-strålarna. Detta ledde till att man ändå var tvungen att endast köra två av tre IR-ramar. I januari 1999 kvarstod leverantörens problem att leverera komponenter till IR-strålarna. Figur 6.4 nedan visar en skiss över kyllluftsflödet.



Figur 6.4, Kylluftsflödet för Stora Nymöllas IR-strålare

Kylluften till den understa ramen kyler endast modulen. Kylluften för ramen ovanför blåses ut över pappersbanan, och sugs ut en bit ovanför. Luften tillförs mot pappersbanan för att minska gränskiktet som uppstår vid pappersytan. Även om avdunstningen av vattnet inte sker på allvar förrän i luftlådor och cylindertorkar så finns ändå ett gränskikt av fukt. Minskningen av gränskiktet leder till högre effektivitet för sista IR-ramen och bättre förutsättningar för fuktprofileringen och torkningen i luftlådorna. Sista IR-ramens kylluft blåses ut på banan och sugs ut tillsammans med torkluften i luftlådorna.

Arbetsmiljön

Ljudnivån vid bestrykningsmaskinen är hög på grund av de stora fläktarna och luftflödena. Värmen som bildas av IR-strålarna sprids naturligtvis delvis genom konvektion och ger en sämre arbetsmiljö. Arbete i direkt närhet av IR-strålarna är ej möjlig under lång tidsperiod under drift. Mycket av armaturen och stålet i maskinen värms upp. Det tar cirka 3 minuter för armaturen att kylas ner, så detta är ej ett stort problem.

Ett säkerhetssystem finns för att förhindra brand. Sprinklersystemet med vatten kan sättas på manuellt på tre olika platser, kontrollrummet, kontrollpanelen vid maskinen samt uppe på maskinen. Vid banbrott och brand förs strålarna i serviceläge. En fördel med IR-strålarna är att inspektionsutrymmet lyses upp och detta gör att märken, repor och andra defekter på pappersbanan upptäckts lättare.

Reglering

Operatören bestämmer det minimala och maximala effektvärdet, i procenttal av installerad effekt. Regleringen sköts sedan automatiskt mellan dessa inställda värdena. Effekten styrs av en nollgenomgångstyristor. Denna fungerar på det sättet att den skär bort halva våglängder istället för att kapa en del av svängningen för strömmen, som en vanlig tyristor gör. Nollgenomgångstyristor leder inte till samman brus på spänningen. Eftersom brus ger upphov till oönskade effektförluster är det mer fördelaktigt att använda en nollgenomgångstyristor. Elsystemet för installationen har fungerat mycket bra.
De nedre ramarna körs på en fast effekt och regleras inte så mycket, medans den tredje ramen är i behov av mer reglering.

Ekonomi

Grundinvesteringen för IR-systemet lämnades ej ut av Stora Nymölla. Paybacktiden angavs till mindre än 5 år och den baseras på en energibesparing. Energibesparingen har ännu inte bekräftats av Stora Nymölla.

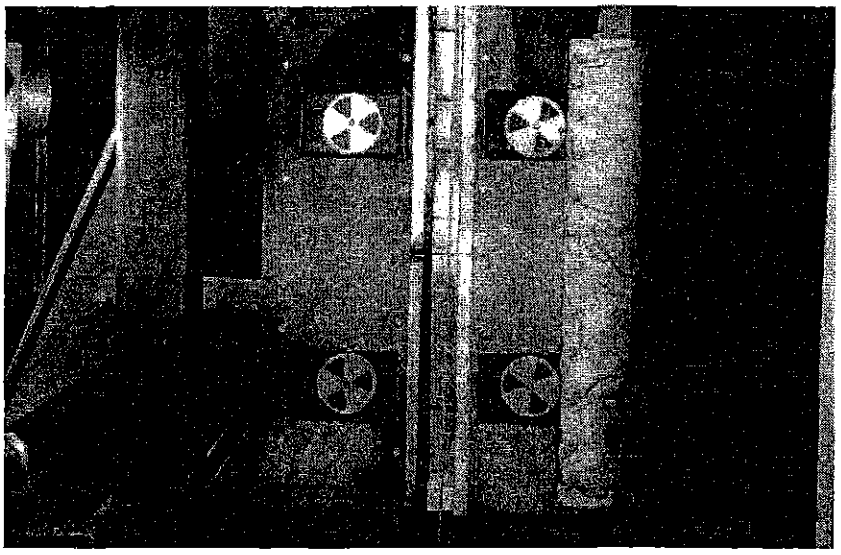
6.4 Skjern Papirfabrik

Företagspresentation

Skjern Papirfabrik ligger på Västjylland i Danmark. Pappersbruket ägs av den danska koncernen Hartmann och det producerar linerboard och hylspapper. Linerboard används exempel till ytterpapper på pärmar och baksidan av kollegieblock. Hylspapper används exempel till hylsan i toalettpappersrullar, och på baksidan av barnpussel. Pappret produceras från återvinningspapper som tidningar, tidskrifter och kartong.

Beskrivning av IR-systemet

I bilaga 5 visas en skiss över pappersmaskinen.
Nedan visas ett foto på gas-IR-strålarna som är från sidan av pappersmaskinen.



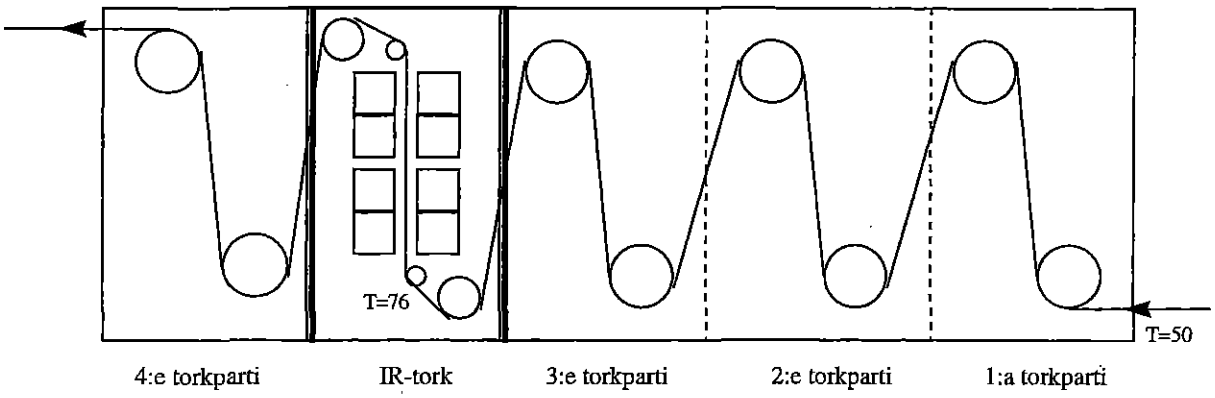
Figur 6.5, IR-strålarna installerade på Skjern Papirfabriks pappersmaskin, vy från sidan av maskinen

Gas-IR-strålarna på Skjern Papirfabrik's pappersmaskin används till att torka olika pappersorter tillverkade från återvinningspapper. Pappersmaskinens torksektion består av 3 sektioner med ångcylindrar, en sektion med IR-strålare och därefter ytterligare en sektion med ångcylindrar. Antalet installerade IR-paneler är totalt 8 st, och delas lika på de två sidorna av pappersbanan. Den installerade effekten är 2400 kW och strålningseffektiviteten har uppskattats till ungefär 50 % av leverantören. Strålningsytan på gas-IR-elementen består av metallfibrer. Förutom förbrännings-luften tillförs också spolluft till panelerna. Denna för med sig rökgaser och avdunstad ånga från pappersytan. Skjern Papirfabrik producerar i genomsnitt 42 000 ton/år och ytvikterna varierar mellan 90-475 g/m^2. Den totala naturgasförbrukningen på alla IR-paneler är ca 180 m^3/h. Inga IR-ramar finns för fuktprofilering och installationen av strålarna tog cirka en vecka.

Bakgrund

IR-strålarna installerades 1996 för att öka brukets pappersproduktion. Leverantören av strålarna är Impact Nordic System AB. Eftersom kunskap om IR-strålare saknades i företaget hade man inga speciella önskemål eller krav på IR-strålarna och projekteringen gjordes av leverantören. Leverantören utlovade en produktionsökning på ca 20 %. IR-strålarna eldas med naturgas, och det valet gjordes på grund av att energipriset för naturgas i Danmark är cirka en tredjedel av elpriset. Investeringens huvudmål att öka produktionen 20 % har inte uppfyllts. Produktionsökningen blev istället 13-14 % [26].

Placering av IR-strålarna



Figur 6.6, Principskiss över torksektionen Skjern Papirfabrik

I figur 6.2 ser man att torkhastigheten sjunker för ett papper som inte längre är ytfuktigt.
Genom att installera IR-strålare kan man förbättra torkhastigheten genom att tillföra energi till papprets fuktiga mittkärna. Vid besöket på pappersbruket gjordes en del mätningar på torksektionen. Temperaturen på pappersbanan innan torksektionerna var 50 °C och temperaturen på pappersbanan precis innan IR-strålarna var 76 °C. En temperaturökning sker i de första torksektionerna innan förångningstemperaturen uppnås. Ovan diskuteras hur IR-strålare skall placeras. IR-strålare placeras med fördel i det parti där torkhastigheten börjar minska. Om torkhastigheten minskar i det 3:e torkpartiet är IR-strålarna rätt placerade och gör att torkningshastigheten ökar. Där IR-systemet är monterat var tidigare kalendervalsar placerade. Inga ångcylindrar monterades bort och flyttades för att IR-systemet skulle passa in i maskinen.

Service och problem

Brännarelementens ytor hade inte bytts ut sedan starten och de har inte varit någon service eller underhåll från pappersbrukets sida. Personal från leverantören har en årlig kontroll av systemet och gör de servicemoment och andra åtgärder som behövs. Garantitiden, som nu gått ut, var 2 år och leverantören bekostade reservdelar under denna tidsperiod. Enligt kontraktet skulle arbetskostnaderna betalas av Skjern Papirfabrik.

Problem fanns med att få driftgodkännande av brandmyndigheterna. Detta på grund av nödvändig installation av brandväggar och utbyggnad av sprinklersystemet till angränsande sektioner.

På grund av den ökade produktionen var en del kringutrustning nödvändig att omdimensionera, ex. pumpar och fläktar.

IR-strålarna värmer även upp inventarier och maskindelar. Personalen är tvungna att vänta cirka 1 timme om några åtgärder skall vidtas i direkt närhet av IR-strålarna.

Brandsäkerheten

Eftersom eldning sker med gas är det strikta regler som gäller ur brandsäkerhetsmässig synpunkt. IR-strålarnas sektion är avskild från de andra med en brandvägg och dessutom finns ett sprinklersystem. Dessa två säkerhetsinstallationer var ett krav från myndigheterna. Större delen av sprinklersystemet finns i IR-sektionen men också liten del i närliggande sektioner för att undvika spridning av bränder.
För att upptäcka flammor är flamdetektorer installerade i torksektionen. Flamdetektorer är baserade på IR-mätning, eftersom flammor avger IR-strålning. Detektorn inne i IR-sektionen har det varit problem med. Eftersom reflektion i sektionen sker av de IR-strålar som kommer ifrån panelerna händer det ibland att detektorn utlöser sprinklersystemet.
Normalt fungerar detektorn på följande sätt. Den läser av omgivningen i 5 sekunder. Om flammor upptäcks läser den av ytterligare 5 sekunder. Om flammor upptäcks även andra gången utlöses sprinklersystemet.
Det är tidsödande för personalen att kontrollera om det verkligen brinner eller inte, och dessutom finns också en risk för att pappersbanan skall gå av.

Det finns även en detektor i den fjärde ångsektionen. Detektorn aktiverar ett larm hos operatören som manuellt kan slå på sprinklersystemet. Man valde ett manuellt utlösningssystem för att undvika de problem man har med den detektorn i IR-sektionen.

Vid tre tillfällen har brand upptäckts men dessa har ej varit förödande för material och människor. Gasmyndigheter har kontroll en gång i halvåret för att kontrollera systemet.

Reglering

Vid normal drift av maskinen sker ingen reglering av strålarnas effekt. Det finns dock möjlighet att reducera gasflödet ner till 60 % av maximalt flöde. Driftstarten av strålarna sker manuellt. Ett automatiskt säkerhetssystem kontrollerar IR-systemet och sedan tas det i drift.

Värmeåtervinningsystemet

En flödesschema över pappersmaskinens luftsystem visas i bilaga 6.
För att inte befintlig luft i pappersmaskinen skall bli mättad ersätts denna kontinuerligt med förvärmd torrare luft. Den förvärmda luften till pappersmaskinen förvärms i två steg. Värmande medium i första steget är blandning av luft, rökgaser och avdunstad ånga från pappersbanan. Värmande medium i andra steget är rökgaser och spolluft direkt från IR-panelerna. Blandningen förvärmer sedan ventilationsluften till lokalerna, kyls av åvatten och släpps sedan ut i uteluften.

Energibesparingar enligt DGC rapport

Danskt Gastekniskt Center A/S är ett institut som ägs av naturgasrelaterad företag i Danmark. I en rapport [4] från november 1997 beskrivs hur mätningar gjorts för att utreda produktionsökningen och den totala energiförbrukningen efter installation av IR-strålare. I undersökningen erhålls en produktionsökning på 18,6 % och en minskning av totalförbrukningen av energi med 6,4 % [4]. En produktionsökning har kunnat bekräftas av Skjern Papirfabrik, men inte energibesparingen. Detta på grund av att Larsen [26], som är projektingenjör på pappersbruket, ansåg att energibesparingen var alldeles för liten storleksmässigt. Undersökningen var alldeles för begränsad för att säkert kunna bekräfta att energibesparingen gäller generellt för pappersbruket. Vid mätningarna kördes exempelvis endast två stycken ytvikter på pappret. DGC hade även problem med mätningarna som framgår i deras rapport. Problemen och de begränsade undersökningarna kan förklara skillnaden i givna produktionsökningar. Om energibesparingen på 6,4 % kan fastställas med säkerhet är detta en ytterligare förbättring av pappersmaskinen.

Ekonomi

Den totala kostnaden för installationen var ca 6 miljoner danska kronor, varav 2 miljoner utgjorde kostnaden för IR-elementen.
Service och underhållskostnaderna uppges till 160 000 dkr/år. Detta motsvarar ungefär 200 000 sek/år. All information finns för att kunna beräkna en paybacktid för investeringen. Produktionsökningen var enligt Larsen [26] ca 13 %. Ökningen i producerat papper blir då 4832 ton/år. I Danmark är gaskostnaden lägre än jämfört med Sverige. Beräkningarna redovisas i tabellerna 6.1 och 6.2.

Grundinvestering	7 500 000 kr
Driftimmar	8000 h/år
Gaskostnad	0.15 kr/kWh
Papprets försäljningspris	1500 kr/ton

Intäkter (sek)

Pappersförsäljning	
Ökad produktion	4832 ton/år
Total intäkt	**7 248 000 kr/år**

Tabell 6.1, Bestämning av grundinvesteringen och intäkter

Kostnader (sek)

Kostnader (sek)

Gas	
Förbrukning	180 m^3/h
Totalt	1 440 000 m^3/år
Total kostnad gas	2 354 400 kr/år
Service och underhåll	200 000 kr/år
Total driftkostnad	**2 554 400 kr/år**

Totalt täckningsbidrag	**4 693 600 kr/år**
Paybacktid	**1.60 år**

Tabell 6.2, Bestämning av kostnader och paybacktid

Paybacktiden definieras som grundinvesteringen dividerat med täckningsbidraget. Paybacktiden är 1.6 år, vilket betyder att redan efter andra året kommer intäkterna för försäljningen av det pappret som tillkom vid produktionsökningen att förbättra företagets ekonomiska resultat.

6.5 SCA Ortviken

För att erhålla informationen om IR-systemet på SCA Ortviken gjordes telefonintervjuer med kunnig personal på pappersbruket. Endast de viktigaste frågorna ställdes till personalen. Detta gör att samma grundläggande undersökning som gjordes på Stora Nymölla och Skjern Papirfabrik inte gjorts på SCA Ortviken. Vid ett studiebesök är det lättare att komma på frågor och få svar på funderingar om systemet.

Allmänt

SCA i Ortviken har installerat en gas-IR-strålare från Solaronics, för torkning av bestruket LWC-papper. Bestrykningsmaskinen planerades och byggdes under 1995 och togs i drift januari 1996. IR-strålarens installerade gaseffekt är 7,5 MW. Under drift är effekten 7,5 MW vid full kapacitet. Den är installerad precis efter bestrykningspåläggningen, och är en enkelsidig strålare. Strålningsytan är av keramik. Även en ramp med el-IR finns för reglering av fuktprofilen, med reflektor på den torra sidan av pappersbanan. Denna användes sällan och någon utvärdering av dess effektivitet och önskade funktion har ej gjorts.

En andra bestrykningsmaskin som är 5 år äldre än den ovan nämnda finns också. På denna maskin finns enbart el-IR-strålare, med effekten 9 MW installerad.

Bestrykningskapaciteterna för LWC-bestrykarna är 230 000 årston för den yngre maskinen och 192 000 årston för den äldre.

Val av gas-IR-systemet

Gasol eldas för att erhålla högre temperaturer på torkluften i konvektionstorken. Den högre temperaturen kunde inte uppnås om ånga används som värmemedium. Valet av gas-IR var då naturligt eftersom gas redan användes till maskinen.

Övrigt

Ingen modifiering av IR-systemet har gjorts efter driftsstart eftersom inga problem uppstått. Brand uppkommer emellanåt då oplanerade stopp och haverier sker. Därför är IR-strålaren utrustad med ett eldsläckningssystem med vatten.
Man har ej haft några problem med utsläpp av NO_X, CO.

Den nyare maskinen har lite mer behov av underhåll och service på IR-systemet. Detta trots att den äldre maskinen är 5 år äldre.

Den totala energiförbrukningen per år är ca 540 GWh för de båda bestrykningsmaskinerna. För den äldre maskinen är den totala elanvändningen 0,85 MWh/ton bestruket papper. För den yngre maskinen är totala energivändningen av gas 0,25 MWh/ton bestruket papper.
Leverantören av gas-IR-strålaren beräknade en lägre kostnad för gas-IR-strålaren, men detta har ej bekräftats av SCA.

6.6 Jämförelse mellan pappersbruken

	Stora Nymölla AB	Skjern Papirfabrik	SCA Ortviken	
Gas/el- IR	el	gas	gas	el
Installerad effekt(MW)	6.2	2.4	7.5	9.0
Grundinvestering(SEK)	-	7 600 000 kr	-	-
Underhållskostnad(SEK)		200 000		
Produktion(årston)	155 000	42 000	230 000	192 000
Inst. effekt/ton (W/årston)	40	57	33	47
Syfte	Högre effekt på strålarna och önskad energi-besparing	Produktionsökning	Gas-IR valdes pga gas var tillgängligt i maskinen.	-
Profilreglering	Ja	Nej	Ja	-
Motreflektor	Ja	Nej	Ja	-
Pay-backtid	<5 år	1,6 år	-	-

Tabell 6.3, Jämförelse av tillämpningen torkning av papper vid olika pappersbruk

Tabell 6.3 visar jämförelser av parametrar för de undersökta pappersbruken. En del information saknas och de uppgifterna anges inte i tabellen. Exempelvis lämnades inte investeringskostnaden för IR-strålarna ut av Stora Nymölla.

Förhållandet mellan installerad effekt och produktionen är i samma storleksordning för samtliga bruk. Någon slutsats av förhållandet görs inte i denna rapport eftersom undersökningen är begränsad. Flera parametrar, exempelvis fukthalter och banhastigheten, styr med säkerhet storleken på den installerade effekten.

SCA Ortvikens bestrykningsmaskin med gas-IR har större produktion jämfört med bestrykningsmaskinen med el-IR. Den installerade gaseffekten är ändå mindre jämfört med el-IR. Varför det är så har inte undersökts vidare.

I samtliga bestryknings- och pappersmaskiner var ett brandsläckningssystem installerat.

Endast Stora Nymölla AB hade haft problem med sitt IR-system. Modifieringar av kylluftssystemet gjordes för att öka luftflödet efter installation och driftstart.

Vid torkning av bestruket papper används motreflektor för samtliga fall. Detta för att effektivisera strålningen mot pappersbanan. Stora Nymöllas motreflektor reflekterar större delen av ingående strålning tillbaka mot pappersbanan.

Pappersbruken Stora Nymölla AB och Skjern Papirfabrik hade stor skillnad i avsvalningstid vid driftstopp för armaturen och inredningen i närhet av IR-strålarna. Förklaringen till Stora Nymöllas korta avsvalningstid är att stora mängder kylluft kyler IR-ramarna och även armaturen och inredningen runt om.

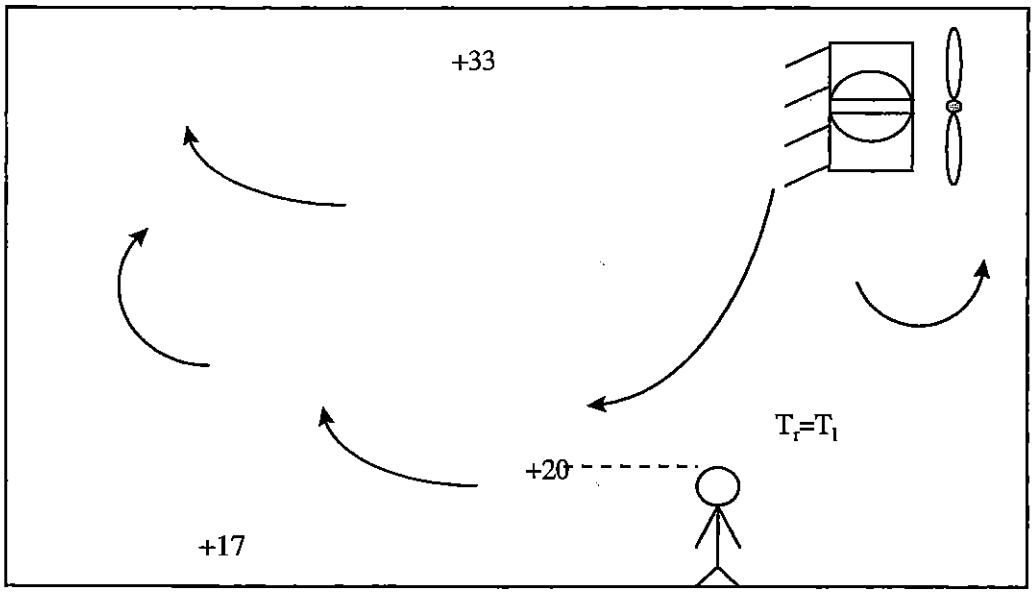
7. Lokaluppvärmning

7.1 Allmänt

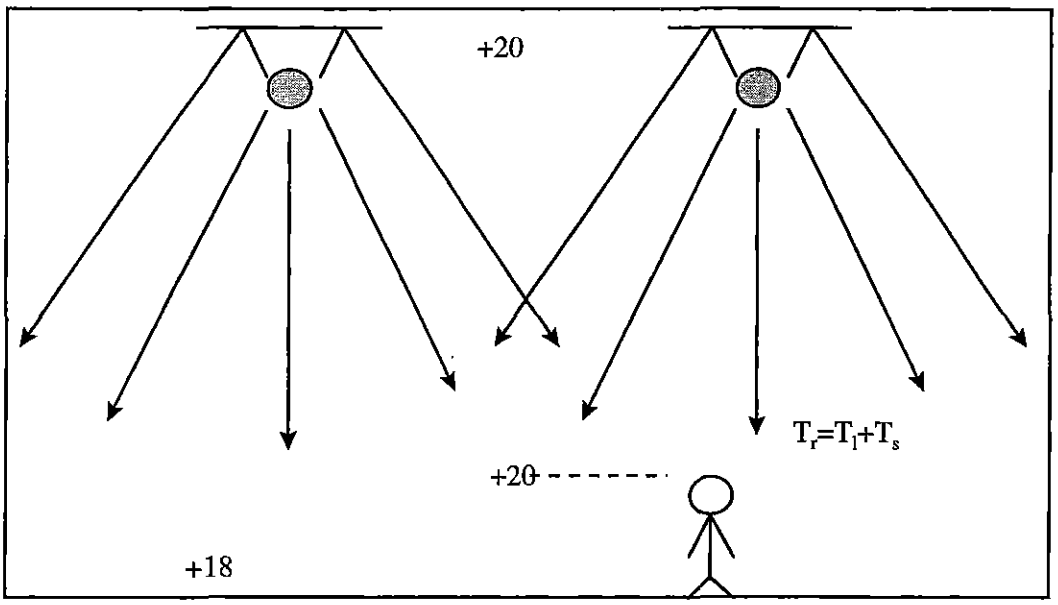
7.1.1 Fördelar

I en lokal med IR-strålningsvärmare är temperaturförhållandena väsentligt annorlunda än i en lokal med traditionellt luftburet värmesystem. Vid användning av IR-strålare kan den genomsnittliga lufttemperaturen i lokalen sänkas, vilket leder till mindre energiåtgång och mindre förluster ifall ventilation och mycket luftdrag förekommer i lokalen.

Varm luft stiger mot taket och detta leder till större temperaturgradienter i en lokal med luftburet värmesystem. Temperaturgradienten leder till att värmesystemet måste tillföra mer energi än om temperaturen i lokalen hade varit homogen.
Luften absorberar inte IR-strålning och därför påverkas inte temperaturen, vilket leder till mindre temperaturgradient från tak till golv.
Denna effekt beskrivs också i litteraturen [40] och visas i figurerna 7.1 och 7.2.



Figur 7.1, Temperaturgradienter för en lokal med varmluftsanläggning, [40].
Utomhustemperatur -15 °C, takhöjd 8 m. Upplevd temperatur, T_r=20 °C
Temperaturgradient, 2 °C/m



Figur 7.2, Temperaturgradienter för en lokal med IR-strålare, [40].
Utomhustemperatur -15 °C, takhöjd 8 m. Upplevd temperatur, T_r=20 °C
Strålningstemperatur, T_s= 2 °C, Temperaturgradient, 0.5°C/m

T_s är den så kallade strålningstemperaturen. Det är temperaturhöjningen som personen känner på grund av strålningen. T_l är lufttemperaturen i lokalen och T_r är den temperaturen personen upplever totalt. Sambandet mellan T_r, T_l och T_s beskrivs nedan i avsnitt 7.1.4.

IR-strålare installeras med fördel i lokaler där det förekommer stort luftombyte. Ett exempel är lokaler med trucktrafik eller lastbilstrafik. På grund av den nödvändiga ventilationen av avgaser måste luften bytas ut ofta. Nackdelar med att använda ett luftburet värmesystem är att större luftmängder behöver värmas upp.

Andra fördelar med ett IR-system jämfört med ett konventionellt värmesystem är att IR-strålarna kan placeras så att endast de platser eller ytor där verksamhet (exempelvis arbetande människor) pågår värms upp. Resten av lokalytorna fungerar kanske som lagerplatser av produkter, okänsliga för omgivningstemperaturen. På dessa platser behöver ingen uppvärmning ske.

I en lokal med luftburet värmesystem måste den varma luften sättas i rörelse med hjälp av fläktar. Luftens rörelse kan då dra upp damm och andra partiklar som sprids i lokalen och som kan skapa problem med arbetsmiljön eller för produkter.

7.1.2 Lokaler

Det är egentligen bara fantasin som sätter gränserna för i vilka lokaler infraröda strålare kan installeras. Några exempel är:

Fabrikslokaler
Distributions- och lagerlokaler med frekvent öppning av dörrar och portar
Kyrkor, Saluhallar
Väntsalar på tåg- och busstationer
Garage
Uterum, Växthus
Sporthallar
Uteserveringar

En annan tillämpning för denna sorten av IR-strålare kan vara förhindrande av kondensation på en yta och avfrostning av ytor.

7.1.3 IR-strålare för lokaluppvärmning

Det finns flera olika typer av IR-strålare för lokaluppvärmning.

- Mindre IR-lampor för uppvärmning av mindre ytor
- El-IR-paneler med flera lampor eller radiatorer monterad i en enhet. Används till lokaluppvärmning.
- Strålningstuber; eldning med naturgas i rörsystem, där flera brännare kan kopplas på samma rörsystem.
- Gas-IR paneler

IR-strålarna för lokaluppvärmning är röd-IR eller svart-IR strålare.

7.1.4 Installerad effekt

Vilken installerad effekt som väljs vid projektering av en lokal uppvärmd med IR-strålare är beroende av den upplevda temperaturen, geografiska läget för lokalen, samt vilken verksamhet som bedrivs i lokalen.

För att bestämma den temperatur människan upplever kan den s.k Bedfordfaktorn användas. Den upplevda rumstemperaturen är summan av luftens temperatur och strålningstemperaturen, se ekvation (11).

$$T_r = T_l + T_s \qquad (11)$$

Strålningstemperaturen beräknas med ekvation (12), där Bedfordfaktorn är 0,072 m^2*°C/W

$$T_s = 0{,}072 * I \qquad (12)$$

I ekvation (12) betecknar I, strålningsfluxet (W/m^2) som personen absorberar.

Det finns även Bedforddiagram för att snabbt kunna bestämma upplevd temperatur vid olika lufttemperatur och strålningflux. Ett sådant visas i bilaga 7.

För att erhålla ungefärliga installerade effekter för lokaler kontaktades leverantörer av IR-strålare för lokaluppvärmning. Vid installation av el-IR är den installerade effekten i genomsnitt 45-60 W/(m^2 uppvärmd lokalyta). Enligt Lindau [37] gäller detta för ungefär 90 % av deras installationer. Någon motsvarande siffra för gas-IR har ej erhållits. Men enligt van Roode [34] är strålningseffekten för gas-IR 80-150 W/m^2, vilket är ungefär dubbelt så mycket som installerad effekt för el-IR.

7.2 Kockums Industrier AB

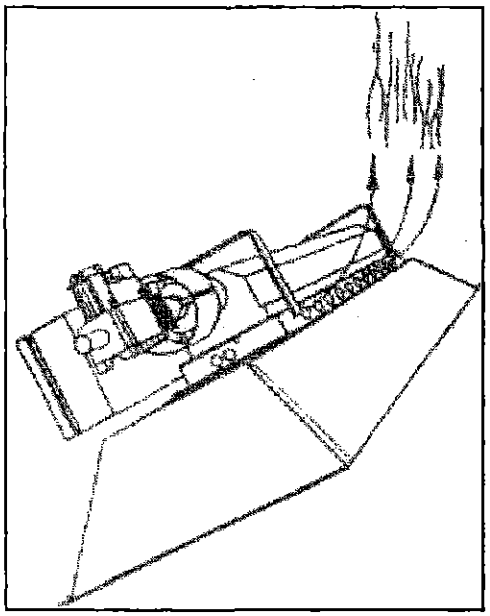
Företagspresentation

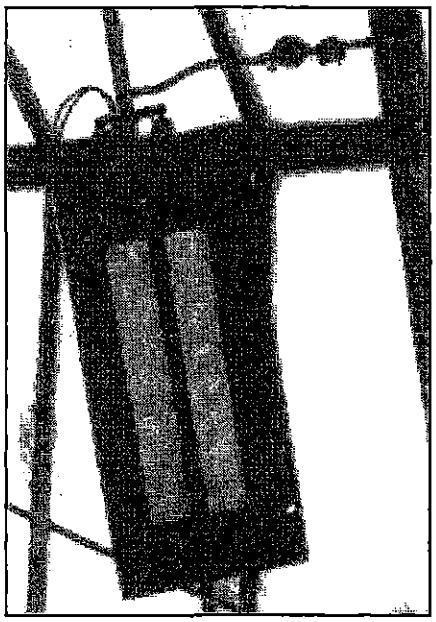
Kockums Industrier AB ingår i Celsius-koncernen. I Malmö tillverkades förut ubåtar till marinen. Denna verksamhet är flyttades helt till Karlskrona 1997. Kockums verksamhet är inriktad mot tre stycken affärsområde. Basen för verksamheten är den militära sidan med marina produkter och tjänster. Den civila marknaden fokuseras på två kärnområden, dels civil verksamhet med utveckling och tillverkning, dels allmän civil verksamhet med utveckling och tillverkning av egna produkter samt legoverksamhet.

Beskrivning av gas-IR-strålarna och IR-systemet

I bilaga 8 visas placeringen av installerade gas-IR-strålare på Kockums industrier AB. Relationsritningen i bilagan kan inte användas för att betämma exakta mått och avstånd eftersom kopian och originalet inte är skalenliga.

IR-strålarna är installerade i en stor produktionslokal (ca. 7000 m^2 uppvärmd golvyta, 12 m i tak), där förtillverkningen av plåt sker. Leverantör av IR-värmarna är Amgas Industrigassystem AB, som är försäljningsagent till HOAF Ray-O-Therm B.V i Holland. IR-värmarna installerades under våren 1997 och togs i drift hösten/vintern 1997. Effekten uppges [39] till 32-36 kW per enhet och då är gasförbrukningen ca 3 Nm^3/h. Antalet enheter är 50 st och installerad maxeffekt 1750 kW.
Temperaturen på strålningsytan är 850-900 °C [39], vilket gör att strålarna är av typen röd-IR-strålare.





Figur 7.3, Installerad IR-strålare på Kockums Industrier AB
Vänstra bilden, referens [17].

I figur 7.3 visas en figur på installerade gas-IR-strålare. Strålarens längd och bredd är 1,4x0,6 m. Höjden är totalt ca 0,4 m, inklusive gasanslutningar och brännare. IR-strålarna är placerade i taket och påverkar ej verksamheten i lokalen. Traverser och andra utrustningar löper fritt i taket. Eventuellt kan kanske högt svängande last på traverserna och höglyftande truckar skada IR-strålarna.

IR-värmarna eldas med naturgas, som levereras via naturgasnätet av Sydgas. Leveransen av naturgasen sker på ett enkelt sätt och ingen utrymmes- och underhålls-krävande utrustning behövs för att distribuera naturgasen till IR-strålarna.
De varma rökgaserna som erhålls vid förbränning av naturgasen släpps ut i lokalen och ger ett bidrag till uppvärmningen.

Bakgrund

Innan IR-värmaren installerades användes ett luftburet värmesystem som var monterat i taket, och varmluften spreds och fördelades i varmluftsledningar. Detta system hade varit i bruk under lång tid och fungerade dåligt, därför var byte nödvändigt. Stora lokaler gör det energimässigt kostsamt att värma hela lokalen effektivt med hjälp av ett luftburet system. För att sprida luften krävs fläktar i taket som trycker ner den uppvärmda luften.
I förtillverkningen sker mycket svetsning och andra processer som föranleder en ventilation av luften. Vid drift av både uppvärmningssystemet och ventilationssystemet skapades ett stillastående luftskikt i taket på grund av att de båda systemen motverkade varandra.
Därför valdes ett IR-system som inte leder till dessa nackdelar.

Förprojekteringen av anläggningen gjordes av Sydkraft Konsult och när det slutliga systemet projekterades tillsammans med entrepenören var personal på Kockums Industrier delaktiga i slutprojekteringen. Gas-IR valdes därför att naturgas redan användes i olika processer och värmning. Dessutom kunde leveransen av gasen ske enkelt eftersom Kockums Industrier redan var kopplade till naturgasnätet.

Syfte

IR-värmarna installerades för att ge energibesparingar. Besparingen är en liten del i den satsningen som Kockums Industrier gör för att minska sina totala energikostnader. Totala energikostnaden 1997 var ungefär 30 % lägre än kostnaden 1996. Ingen direkt mätning av energikostnaden gjordes i lokalen innan installationen av IR-värmare. Därför uppskattades kostnaden för det luftburna systemet med hjälp av en modell. Hur stora besparingarna som gjorts för lokalen med IR-strålare har inte verifierats, men besparingar har sannolikt infallit [16].
En andra orsak till varför IR-strålare installerades var att höja komforten i lokalen för de arbetande människorna. Arbetarna tycker att komforten är bra och är positiva till IR-systemet.

Problem med förbränningen

IR-systemet togs i drift vintern 1997 och kördes hela säsongen ut. Efter en undersökning av IR-systemet pågående under vintern tillsammans med SGC och

Högskolan i Malmö, kunde man konstatera höga halter av kolväten (främst CO) på grund av att ofullständig förbränning förelåg. Den ofullständiga förbränningen berodde dels på felaktiga munstycken som gjorde att naturgas- och luftförhållandet inte var korrekt, dels var IR-strålarna monterade på ett sådant sätt att rökgaserna blandades med förbränningsluften.

Personalen hade märkt en konstig lukt på morgonen, men denna lukten försvann under förmiddagen efter det att maskiner och IR-strålarna tagits i drift. För att försöka undkomma den underliga lukten startades IR-systemet tidigare på morgonen och med full effekt. Detta ledde naturligtvis till mer utsläpp av CO. Personalen klagade också över trötthetsymptom och andra besvär. Systemet modifierades under 1998 för att tas i drift igen i december.

Service och underhåll

Service och underhållet sker av Amgas IGS under en garantitid på 3 år. Detta gör att inga kostnader uppstår för Kockums Industrier vid service och underhåll av IR-systemet under garantitiden. En rutinmässig service sker en gång varje år, då eventuellt byte av tändstift, dysor och galler görs.
Kostnaden för service och underhåll uppges av leverantören till 500 kr per enhet och år. Den totala kostnaden för Kockums blir då 25 000 kr/år efter garantitidens slut. Livslängden för gas-IR-strålarna är ej känd.

Reglering

Lokalen är uppdelad i 9 zoner. I varje zon sker mätning av temperaturen med en sensor, som är kopplade till en termostat. Temperaturen på luften bestämmer effekten och gasflödet till strålarna regleras till 0, 50 eller 100 % av maximalt naturgasflöde. Som ex. kan nämnas att vid lufttemperaturen 14 °C var gasförbrukningen maximal. Vid lufttemperaturerna 15 och 16 °C var gasförbrukningen 50 respektive 0 %. Mätningen av lufttemperaturen görs av s.k Bedfordtermostater. Dessa tar hänsyn till den strålning som absorberas av sensorn samt luftens rörelse mm. För att mäta korrekt lufttemperatur kan inte en vanlig termometer som sitter skuggad användas för att reglera IR-strålarna. Att mäta lufttemperaturen är ett enkelt sätt att reglera effekten. Luftens temperatur påverkas ej av strålningen eftersom ingen absorption sker. Det är människorna och gods som absorberar strålningen som värms upp. En viss uppvärmningen av luften sker dock på grund av konvektion och de varma rökgaserna som går ut i lokalen.

Framtida investeringar

Kockums Industrier satsar på att datorisera alla byggnaders uppvärmningsdata och energidata. Detta ingår i deras energibesparande åtgärder. För att notera en besparing måste man ha något att jämföra med. Alla väsentliga data lagras och kan kontinuerligt läsas av. Lagrade data kontrolleras automatiskt och om en energianvändning är större (ex. dörr stått öppen under lång tid) än ett uppsatt mål larmar systemet automatiskt.

Ekonomi

Grundinvesteringen för IR-systemet var ca 1 miljon SEK. För att kunna uppskatta en payback-tid måste energibesparingarna efter installationen undersökas.

Förbrukningar av naturgas

Kockums Industrier har idag ingen direkt mätning av förbrukad mängd naturgas till IR-strålarna. I samband med de nya undersökningarna av rökgaserna, som skall göras av Högskolan i Malmö och SGC, kommer Kockums Industrier att försöka göra en kontinuerlig mätning av förbrukningen.

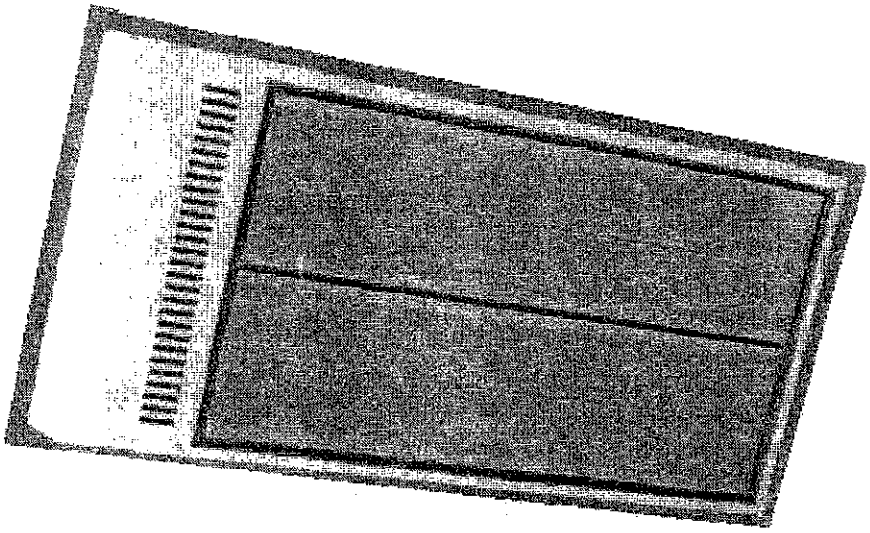
7.3 Bröderna Edstrand

Företagspresentation

Bröderna Edstrand, [19], är en rikstäckande grossist som köper in, lagerhåller och distribuerar stål, armering, specialstål, industrirör, rostfritt stål och aluminium till den svenska marknaden. Företaget har lager och försäljningskontor i större delen av Sverige. Ursprungligen startades företaget 1885.

Beskrivning av el-IR-strålarna och IR-systemet

Bilaga 9 visar placeringen av installerade el-IR-strålare i Bröderna Edstrands lokal. Inte heller denna bilaga är skalenlig med relationsritningens original.
Figur 7.4 [32] visar installerad IR-strålare av märket Energostrip®.



Figur 7.4, IR-värmare i Bröderna Edstrands lokal [32]

IR-strålaren är 1,7 m lång, 0,3 m bred och 5 cm hög. De är installeras i taket och stör inte på något sätt verksamheten. Störst utrymme på golvet krävs för de elektriska matarcentralerna. Dessa är placerade inomhus vid de bärande balkarna för lokalens traverser. Placeringen av matarcentralerna inomhus har inte skapat något problem.

De elektriska svart-IR-strålarna är installerade i en lagerlokal (84x62x ca 10 m), varifrån Bröderna Edstrands produkter distribueras. Arbetare vistas i lokalen och därför är lokalen i behov av ett värmesystem. Installationen av IR-systemet gjordes i samband med att lagerlokalen byggdes 1984, och elementen byttes ut 1991 på grund av att de gamla elementen var utbrända. Elektro Sandberg AB projekterade och installerade IR-systemet. El-IR strålarna är totalt 104 st med sammanlagd installerad effekt 208 kW. Effekten för varje element är 2 kW/enhet och temperaturen på strålarytan är ca 250 °C [50]. I strålarytorna av aluminium, som är två stycken per enhet, är elektriska motstånd ingjutna. De är monterade i taket och är placerad så att huvuddelen av strålningen skall träffa personalen på marknivå, och inte skuggas av lokalens lagerhyllor.

Val av värmesystem

Vilket värmesystem som skulle väljas utreddes internt i företaget och redan på ett tidigt stadium kom man fram till att IR-strålare var det bästa alternativet.
Bättre driftsäkerhet och lägre investeringskostnad var de avgörande skälen till varför ett el-IR-system valdes.

Alternativen förutom ett IR-system var eldning i värmepanna med gas eller olja och fjärrvärme. Grundinvesteringen för installation av en värmepanna hade blivit högre. Om ett gaseldat system, gas-IR-strålare eller gaspanna, valts hade säkerhetsutrustning, gasledningar och trycktankar för förvaring av gasen behövts. Dessa kringutrustningar är kostsamma investeringar. Möjlighet att få gas via pipeline fanns då inte eftersom naturgasnätet på sydvästkusten byggdes först 1985 [18].

Vid projekteringen under 1984 beräknades driftkostnaderna för alternativen. Driftkostnaden för alternativen blev högre än ett IR-system. Om ett luftburet värmesystem hade installerats i lokalen hade de behövts fläktar för att sprida den värmda luften. Temperaturen på luft i rörelse upplevs lägre än vad temperaturen verkligen är. Då hade man erhållit ytterligare värmekostnader för att kompensera för denna effekt, om samma komfort skall upplevas av den arbetande personalen. Ventilation är också nödvändig eftersom truckar och lastbilar periodvis är i drift i lokalen.

Valet stod nu mellan gas- eller el-drivna strålare. El-IR valdes på grund av att leverantören kunde garantera ett fungerande och driftsäkert system. Ett el-IR systems enkla installation gjorde att investeringkostnaden blev mindre än ett gas-IR system. IR-strålarna körs huvudsakligen på natten och besparingar på elkostnaden kunde göras på grund av nattaxa. Även idag är elpriset lägre på natten. Driftsäkerheten och pålitligheten för gas-IR ansågs ej tillräcklig. Utvecklingen av gas-IR hade 1984 ej kommit så långt, och installation av kringutrustning enligt ovan hade ökat investeringskostnaden.

Några alternativa el-IR strålarna fanns ej och de valda IR-strålarna blev rekommenderade av Elektro Sandberg AB. Vid utbyte av elementen 1991 kontaktades Pavima Teknik AB och de tog fram ett bästa val för lokalen.

Reglering

På dagen sker regleringen av effekten i tre steg, dvs man använder tre olika effektlägen vid drift. På natten körs värmestrålarna på full effekt och hela byggnaden kommer att fungera som en ackumulator och avge denna värme under dagtid då strålarna körs på deleffekt eller är helt avstängda.
På dagen fungerar trestegsregleringen på följande sätt. Vid totalt effektuttag i lokalen över 220 kW kopplar belastningsvakten ifrån värmestrålarna i tre steg. Den bortkopplade effekten vid de tre stegen är 60, 50 respektive 58 kW.

Värmestrålarna vid portar är reglerade med enstegstermostat och belastas med totalt 40 kW. Dessa kopplas ej ifrån om effekten överstiger det maximalt tillåtna effektuttaget 220 kW.

Service och underhåll

Inga problem har uppstått vid installation och drift av IR-systemet och IR-elementen är underhållsfria. Dock är livslängden begränsad, som man fick erfarenhet av från de förut installerade strålarna. Detta innebär naturligtvis en kostnad för utbyte av elementen.

Ekonomi

Kostnaden för uttagen effekt är maximalt 21,5 öre/kWh och minimalt 19,0 öre/kWh. Till denna kostnad tillkommer abonemangskostnader och elskatt, se avsnitt 9.2. Investeringskostnaden för IR-systemet från 1984 kunde ej erhållas. Vid elementbytet 1991 var kostnaden för elementen 400 000 kr.

Någon arbetskostnad för installationen 1984 kunde inte erhållas från Elektro Sandberg, men efter företaget fått tillgång till relationsritningen för lokalen uppskattades den totala arbetskostnaden inklusive indirekta material till 322 000 kr, (se bilaga 15).

Om man inte tar hänsyn till inflationen blir den totala installationskostnaden för Bröderna Edstrands IR-strålare 722 000 kr

7.4 Jämförelse mellan de olika lokalerna

I tabell 7.1 visas olika jämförelser mellan de båda undersökta lokalerna.

	Kockums Industrier AB	Bröderna Edstrand
Allmänt		
Gas/el- IR	gas	el
Yttemperatur (C)	850-900	250
Installerad effekt(kW)	1750	208
Uppvärmd area (m^2)	7000	5200
Grundinvestering	1 000 000 kr	722 000 kr
Underhållskostnad	25 000 kr	-
Syfte	Byte av värmesystem nödvändigt Energibesparingar	Önskade ett säkert och bra system. Låg kostnad
Problem	ja, med förbränningen	-
Yteffekter		
Installerad (W/m^2)	250	40
Mätningar* (W/m^2)	42	31
Kostnader		
Installerad (kr/m^2)	143	139
Effekt (kr/kW)	571	3471

Se kapitel 8

Tabell 7.1, Jämförelse av tillämpningen Lokaluppvärmning

Den installerade effekten per golvyta för Kockums är drygt 6 gånger större än Bröderna Edstrands lokal. Detta beror delvis på att förlusterna för en gas-IR-strålare är större. Den installerade effekten är beroende av vilken strålningseffekt man önskar.

IR-strålarna som är installerade i Bröderna Edstrands lokal tas i drift främst på natten, då de värmer upp inventarier och väggar. Denna värmen sprider sig till omgivningen på dagen då IR-strålarna inte körs med full effekt.
Kockums gas-IR-strålare tas i drift på morgonen och används för att värma upp områden där personalen arbetar. Lokalen är indelad i 9 zoner med separat reglering. För att snabbt ge strålning så att den arbetande personalen upplever rätt temperatur, krävs att strålarna har högre effekt jämfört med IR-strålarna på Bröderna Edstrands som värmer inventarier och väggar under en längre tid på natten.

Bröderna Edstrand använder således sina IR-strålare främst för att värma upp inventarier och produkter. Kockums använder sina IR-strålare för att värma personalen på marken.

I kapitel 8 redovisas hur mätningarna gjordes för att beräkna effekten per golvyta.

Service och underhåll på Kockums gas-IR-strålare är kanske svårare jämfört med el-IR-strålare. Förbränningsutrustningen är komplicerad och vid service är det mera tidsödande att kontrollera alla komponenters funktioner, ex munstycke och

gasledningar. Den enda anslutningen som eventuellt behöver åtgärdas på el-IR-strålare är elsladden.

Inga servicekostnader finns för el-IR-strålarna. Radiatorelementen byts ut då dessa slutar att fungera tillfredsställande. Livslängden för IR-strålarna som var installerade i Bröderna Edstrands lokal tidigare var ca 6 år. Om enbart IR-strålarna behöver bytas ut med jämna mellanrum uppstår naturligtvis en kostnad och den totala investeringens lönsamhet försämras.

Livslängden för gas-IR-strålare är ej känd, eftersom det inte undersökts i denna rapport.

I kapitel 9 bestäms driftkostnaderna för de olika systemen.

Grundinvesteringen för Kockums skedde 1996 och den angivna grundinvesteringen för Bröderna Edstrand är beräknad slutet av 1998. Det har inte tagits någon hänsyn till inflationseffekter i tabellen.

8. Mätningar på IR-strålare för lokaluppvärmning

8.1 Inledning

För att uppskatta strålningseffekten gjordes mätningar på IR-strålarna.
Flera mätningar gjordes men endast de som ansågs vara mest tillförlitliga redovisas i avsnitten nedan.

8.2 Beskrivning

Två papplådor kläddes med svart plast. Dessa fylldes med kallt kranvatten och lådorna placerades rakt under en IR-strålare och temperaturen och tiden noterades. Temperaturen mättes med två digitala termometrar med termoelement som placerades i vattnet. En låda täcktes över med en större kartong för att den ej skulle utsättas för strålning från IR-strålaren. Ovanpå kartongen placerades aluminiumfolie för att reflektera större delen av inkommande strålning. Isoleringsmaterial placerades mellan golvet och lådorna för att förhindra stor värmetransport mellan golv, låda och vatten. Även massförändringen noterades för att kunna bestämma avdunstad mängd vatten.

För den övertäckta lådan bestämdes inte massan av vattnet kontinuerligt på grund av att den inte skulle utsättas för strålning. Massan bestämdes endast vid försökets början och slut. Vattnets massa i den öppna lådan mättes med jämna tidsintervaller, dock ej så frekvent som temperaturmätningarna.

Vid försöken var IR-strålarna i drift med full effekt. Detta för att undvika ytterligare beräkningar och undvika ändring av strålningseffekten under tiden försöket pågick. Den effektiva arean bestämdes till ca 6,3 dm^2. På grund av att termoelementet skuggade vattenytan blev den effektiva arean mindre än lådans area.

Temperaturen på vattnet mättes i tidsintervaller som beskrivs i tabell 8.1.

	Tidpunkt (min)				
Öppen låda	0	5	10	15	osv...
Övertäckt låda	0	6	11	16	osv...

Tabell 8.1, Tidpunkter då temperaturen på vattnet i respektive låda mättes

8.3 Ekvationer för beräkningar

Upptagen energi av papperslådan försummades. Massan av papperslådan är liten jämfört med vattnets massa och värmekapacitetstalet är cirka 1,3 kJ/(kg*°C), vilket är ca 3 gånger lägre jämfört med värmekapaciteten för vatten.

Den tillförda energin till vattnet i de båda lådorna kunde bestämmas.
Upptagen energi för ökning av temperaturen:

$$Q_{temp}=m_n*C_{p,v}*(T_n-T_0) \qquad (13)$$

Massan i ekvation(13) ovan är vattnets massa vid tiden för mättillfället. T_0 är vattnets temperatur vid tiden noll.
Upptagen energi för att avdunsta vattnet:

$$Q_{avd}=\Delta H_{å}*(m_0-m_n) \qquad (14)$$

m_0 och m_n är vattnets massa vid försökets början respektive vid varje mättillfälle.
Total upptagen energi blir således

$$Q_{tot}=Q_{temp}+Q_{avd} \qquad (15)$$

Det totala energiupptaget för vattnet i den övertäckta lådan interpolerades till de tidpunkter då temperaturen noterades för vattnet i den öppna lådan. Detta för att kunna bestämma skillnaden i upptagen energi vid samma tidpunkt. Interpolationen gjordes i MATLAB med kommandot *interp1*.

Index A betecknar energiupptaget för det övertäckta vattnet och index B betecknar upptagen energi för vattnet i den öppna lådan.
Skillnaden i upptagen energi för vattnet i de olika lådorna blir då

$$Q_{skillnad}=Q_{tot,B}-Q_{tot,A} \qquad (16)$$

Om strålningen absorberas av vattnet i låda B blir naturligtvis, $Q_{tot,B}>Q_{tot,A}$
Eftersom lådorna med vattnet placerades likadant i samma omgivning är det endast exponeringen för strålning som skiljer vattnet i låda A och B. $Q_{skillnad}$ borde vara en rimlig uppskattning av strålningseffekten från IR-strålarna. Det antas att överförd värme till vattnet genom konvektions- och ledningsförlopp är lika stora för de båda lådorna.

8.4 Teori

Enligt teorin förändras vattnets egenskaper vid bestrålning för stora temperaturdifferanser, eftersom vattnets absorbans, reflektans och transmittans är beroende av våglängden och temperaturen. Dock är denna ändring helt försumbar vid de små temperaturökningar som erhölls i försöken.

Strålningsenergin mellan två svarta kroppar kan beräknas med ekvation (17). Ekvation (17) gäller om ytan på kropp 2 är mycket större än ytan på kropp 1, och vidare skall ytan på kropp 2 helt omsluta kropp 1.

$$\begin{aligned} &E = A*\sigma*(T_2^4 - T_1^4) \\ &T_2 >> T_1 \quad (Kelvin) \end{aligned} \qquad \text{(W)} \qquad (17)$$

Definiera T_2 som temperaturen på IR-elementens strålningsyta och T_1 som temperaturen på absorberande vatten. Arean på strålningsytan är mycket större än lådans area. Strålaren omsluter inte lådan men det spelar ingen roll för det som skall belysas nedan.

En liten förändring på T_1 kommer inte påverka strålningsenergin nämnvärt. Antag att strålningsytan är 1100 K och vattnets temperatur 280 K. En temperaturökning på vattnet med 10 K kommer leda till en minskning av strålningsenergin med 0,6 promille. Minskningen av strålningsenergin med denna lilla förändring kommer naturligtvis inte påverka temperaturhöjningen av vattnet. Skillnaden i upptagen energi kommer då inte förändras.
IR-strålarna var i drift med full effekt under hela försökstiden, så temperaturen på strålarytorna förändrades ej.

Skillnaden i upptagen effekt är strålningseffekten, P_s (W). Antag att skillnaden i upptagen energi är linjär med tiden enligt ekvation (18).

$$Q_{skillnad}=P_s*tiden \qquad (18)$$

Strålningseffekten förändras ej med tiden enligt förklaring ovan.

8.5 Mätning på Bröderna Edstrand, (981210)

Försökets uppställning beskrivs ovan. Omgivningsluften var ca 12 °C, men försöket avslutades då temperaturen på vattnet uppnått ca 11 °C.
Försöket gjordes kvällstid för att undvika störningar från öppnandet av portar och dörrar, samt för att vara säker på att IR-strålarna var i drift med full effekt.

8.5.1 Resultat

I diagram 8.1 visas temperaturförändringen som funktion av tiden.
Man ser att temperaturhöjningen för vattnet i den öppna lådan sker något snabbare än den övertäckta. Sluttemperaturen skiljer sig ungefär 0,1 °C.

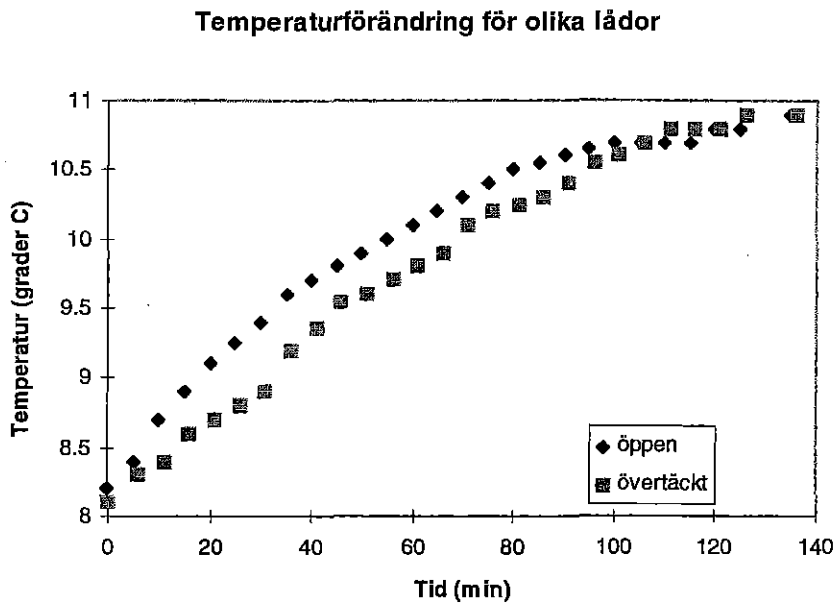


Diagram 8.1, Temperaturförändringen som funktion av tiden

Diagram 8.2 nedan visar massförändringen av vattnet i lådorna. Som framgår av diagrammet var massminskningen för vattnet i den öppna lådan snabbare och större jämfört med vattnet i den övertäckta lådan.

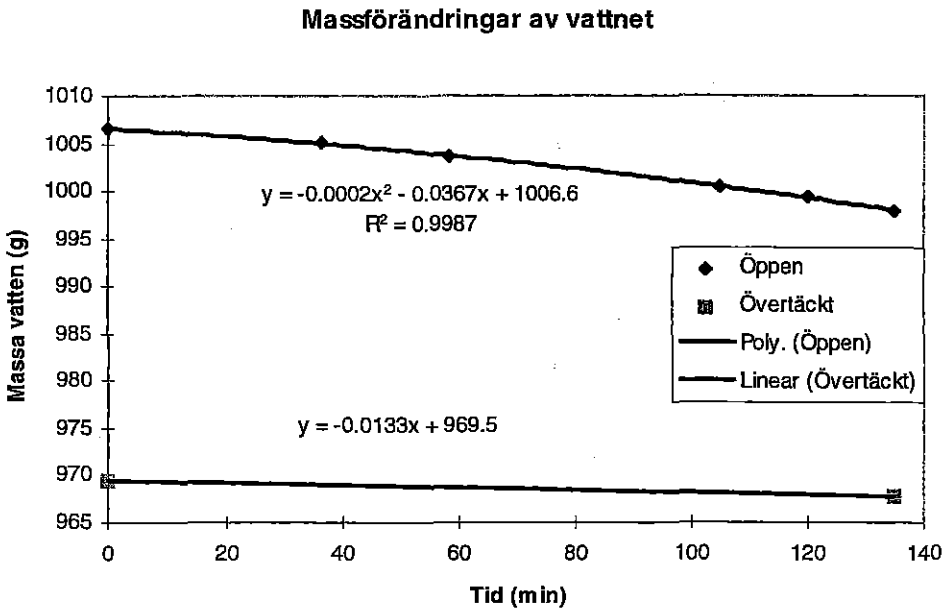


Diagram 8.2, Massförändringen av vattnet

I diagram 8.2 har mätpunkterna anpassats med kurvor eller med en linje. Detta för att kunna beräkna avdunstad mängd vatten vid varje tidpunkt, vilket var nödvändigt för övriga beräkningar i en MATLAB-fil. Ekvationen som skrivs i diagrammet är massan, y(g), som funktion av tiden, x(min).

Beräkningarna gjordes enligt ekvationerna 13-16, och skillnaden i upptagen energi visas i diagram 8.3. I diagrammet har en linje som skär origo anpassats. Linjens lutning är 115 J/min. Vilket motsvarar den upptagna strålningseffekten ca 31 W/m^2.

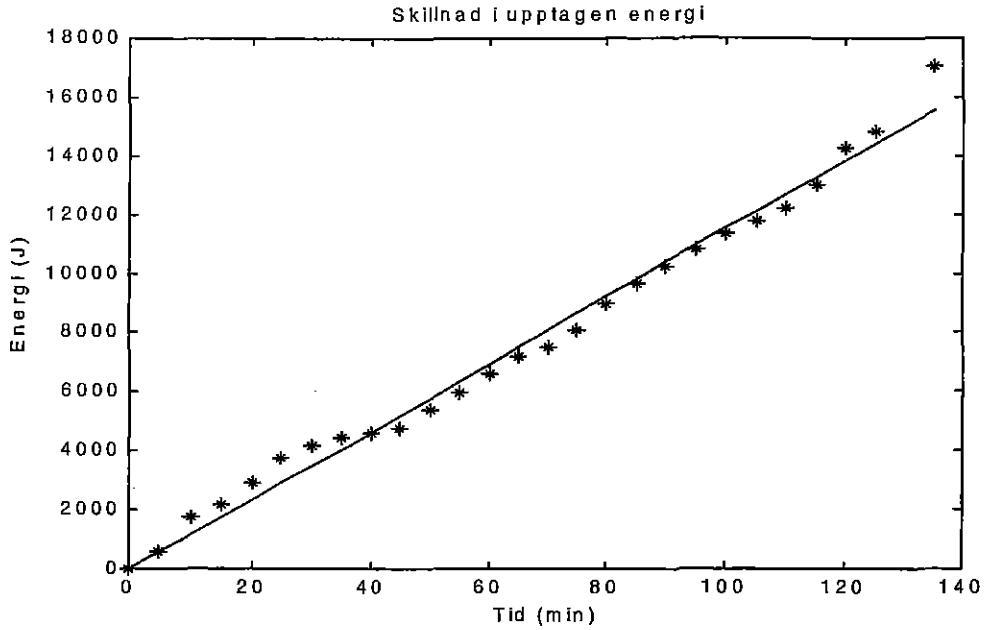


Diagram 8.3, Skillnad i upptagen energi som funktion av tiden

8.6 Mätningar Kockums Industrier AB, (990125)

Försökets uppställning är den samma som mätningarna vid Bröderna Edstrands. Omgivningsluften var 13,6 °C.

8.6.1 Resultat

I diagram 8.4 visas temperaturförändringen som funktion av tiden.
För denna mätning visas klart att temperaturhöjningen i den öppna lådan sker snabbare.

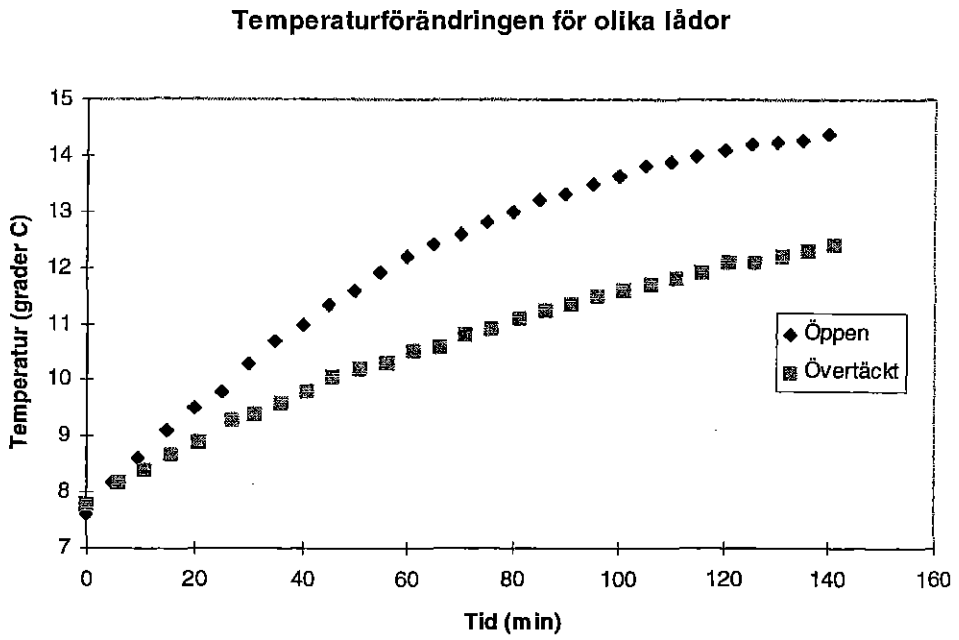


Diagram 8.4, Temperaturförändringen som funktion av tiden, (Kockums Industrier)

Diagram 8.5 nedan visar massförändringen av vattnet i lådorna. Här framgår det tydligt att massminskningen för vattnet i den öppna lådan var snabbare och större jämfört med vattnet i den övertäckta lådan. Även i detta diagrammet har massförändringen anpassats till polynom eller rät linje.

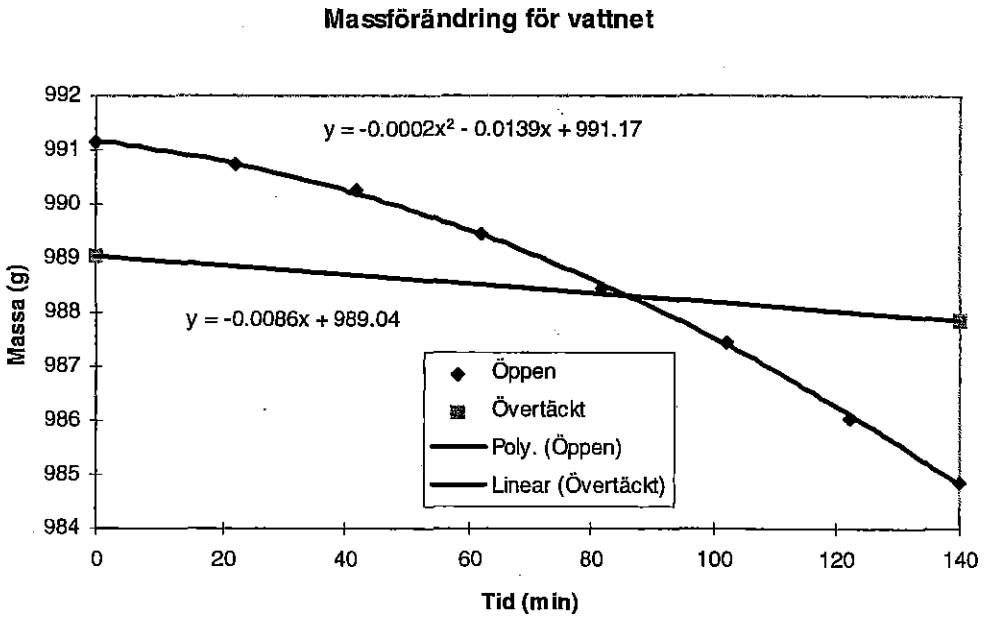


Diagram 8.5, Massförändring av vattnet, (Kockums Industrier)

Skillnaden i upptagen energi visas i diagram 8.6. Strålningsenergin bestäms från diagrammet till 42 W/m^2.

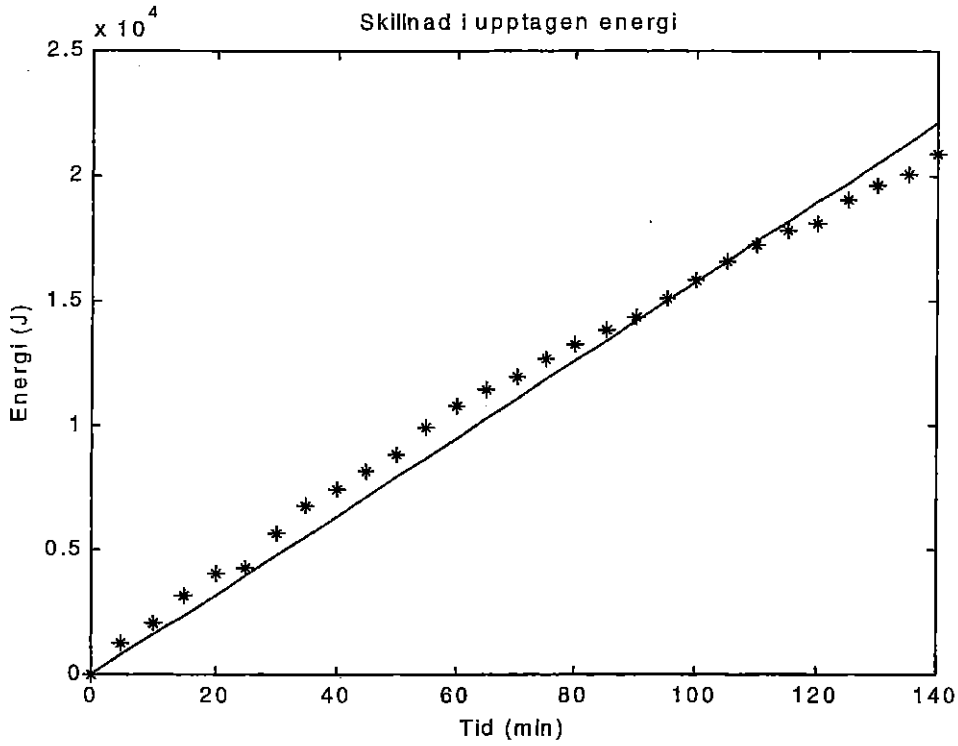


Diagram 8.6, Skillnad i upptagen energi, (Kockums Industrier)

8.7 Noggrannhet i mätningarna

För att uppskatta mätningarnas precision bestämdes upptagen strålningeffekt vid varje mättillfälle enligt ekvation (19). Denna strålningsenergi jämfördes med den strålningsenergi som bestämdes i diagram 8.3 och 8.6.

$$P_s = \left(\frac{Q_{skillnad,n}}{t_n} \right) \Big/ Arean \qquad (W/m^2) \qquad (19)$$

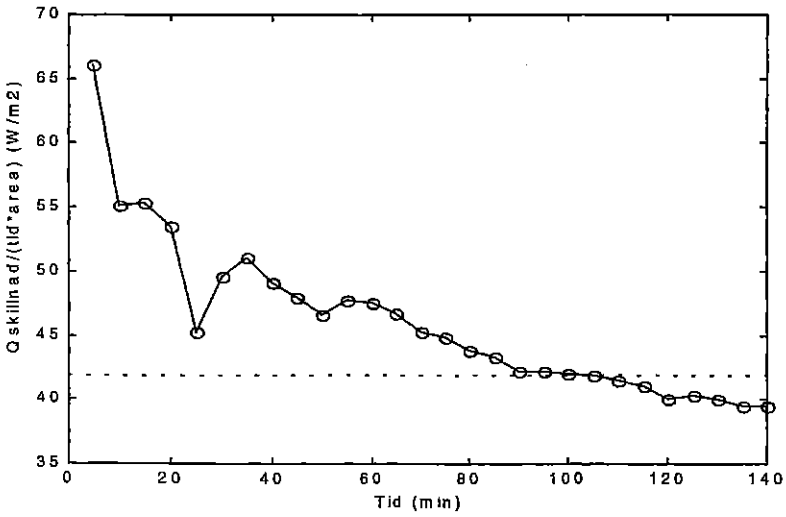


Diagram 8.7, Bestämning av strålningsenergin i varje mätpunkt, (Kockums Industrier)

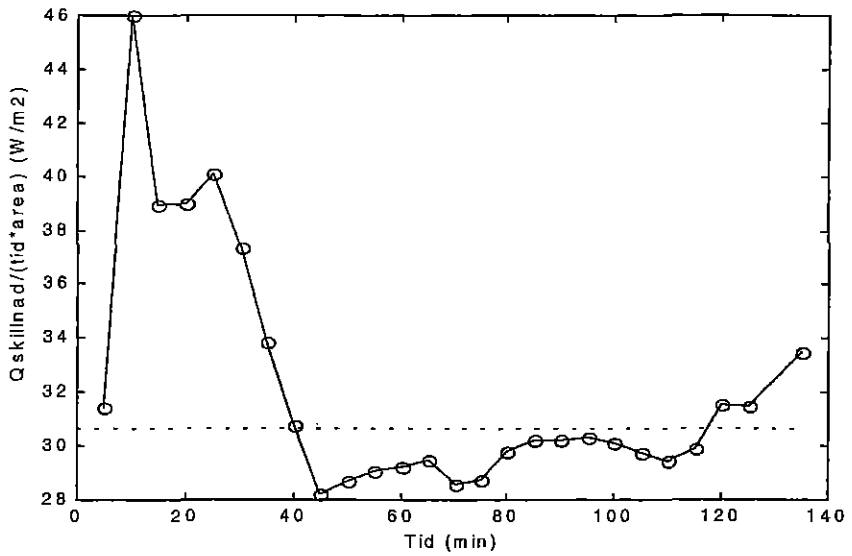


Diagram 8.8, Bestämning av strålningsenergin i varje mätpunkt, (Br. Edstrands)

Diagrammen 8.7 och 8.8 visar jämförelsen. Kurvorna med cirklar beskriver strålningsenergin enligt ekvation (19), och de räta linjerna är resultaten som erhölls ifrån diagram 8.3 och 8.6 ovan.
Diagrammen visar stora variationer med tiden för upptagen strålningsenergi. Kurvornas högsta upptagen strålningsenergi är ca 1,5 gånger större än värdet för den räta linjen. Om man bortser från de upptagna strålningsenergier vid mättider <30 min, är den horisontella linjens värde ungefär medelvärdet av kurvans punkter.
Om skillnaden i upptagen energi antags vara linjär skall kurvorna vara räta horisontella linjer. De spridda punkterna och fluktationerna visar hur onoggrann mätmetoden var.

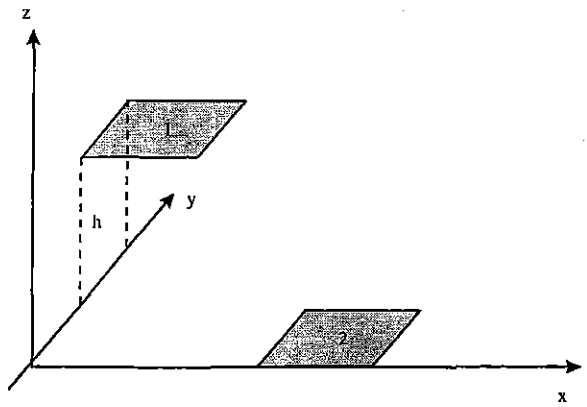
8.8 Bestämning av verkningsgrader

8.8.1 Teori

Strålningsenergin vid golvet i de båda lokalerna bestämdes vid mätningarna till 31 W/m^2 för el-IR och 42 W/m^2 för gas-IR. Dessa mätningar kan användas för att beräkna den teoretiska strålningseffekten från IR-strålarna med hjälp av vinkelfaktorer (se nedan). Verkningsgraden, η beräknas enligt ekvation (20).

$$\eta = \frac{\textit{Beräknad effekt för en strålare}}{\textit{Installerad gas-, eleffekt för strålaren}} \qquad (20)$$

Strålningsenergin från en yta till en annan är delvis beroende av lägesförhållandet mellan ytorna. Figur 8.1 visar ett exempel på placeringen av två ytor.



Figur 8.1, Lägesförhållande mellan två ytor

Vinkelfaktorn, $F_{1\text{-}2}$ är en storhet som bestämmer hur stor del av strålningsenergin från yta 1 som riktas mot yta 2. Vinkelfaktorn är beroende av ytornas läge och avståndet, h, och den är störst då ytorna ligger rakt ovanför varandra. Vinkelfaktorn är en andelsfaktor och har värdet $0 \leq F_{1\text{-}2} \leq 1$.

För att bestämma strålarens verkningsgrad kan man med hjälp av vinkelfaktorn bestämma hur mycket strålningsenergi som går från IR-strålaren till vattnet i lådan. Vinkelfaktor (*eng. shape factor, angle factor*) och vinkelfaktoralgebra beskrivs ytterligare i Modest [47].

Vinkelfaktorn mellan två godtyckliga rektanglar i parallella plan bestäms av ekvationen nedan [51].

$$F_{1\text{-}2} = \frac{1}{A_1} \int_{A_1} \int_{A_2} \frac{\cos\theta_1 \cos\theta_2}{\pi s^2} dA_2 dA_1 \qquad (21)$$

Lösningen av ekvation (21) har gjorts av Hsu [51]. Lösningen, som är komplicerad, visas i bilaga 17 tillsammans med definitioner av parametrar.

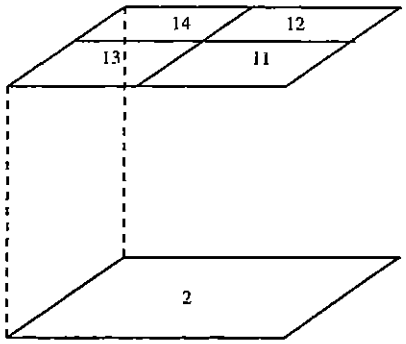
Ekvationen beräknades i en MATLAB-fil. För att kontrollera om beräkningarna var korrekta beräknades vinkelfaktorn för två stycken lika stora parallella ytor rakt ovanför varandra. Detta fall är enkelt att beräkna för hand, eftersom ekvationen förenklas avsevärt. Resultaten jämfördes och de stämde överens. Andra beräkningar med MATLAB jämfördes också med ett diagram i referens [51], och resultaten blev lika.

Ekvationen i bilaga 17 beräknar vinkelfaktorn från yta 1 till yta 2, dvs $F_{1\text{-}2}$. Utifrån hur ytorna definieras i bilaga 17 kan det i vissa fall vara enklare om strålaren väljs som yta 2 och lådan som yta 1. Då måste $F_{2\text{-}1}$ bestämmas genom att använda reciprocitetsregeln enligt ekvationerna (22, 23).

$$A_1 * F_{1\text{-}2} = A_2 * F_{2\text{-}1} \qquad (22)$$

$$F_{2-1} = \frac{A_1}{A_2} * F_{1-2} \tag{23}$$

I vissa fall får man komplettera med vinkelfaktoralgebra för att finna den önskade vinkelfaktorn. Om den totala ytan består av flera delytor kan vinkelfaktorerna summeras. I figur 8.2 visas en yta som är uppdelad i flera delytor.



Figur 8.2, Beskrivning av vinkelfaktoralgebra.
Den totala ytan överst definieras som yta 1.
$A_1=A_{11}+A_{12}+A_{13}+A_{14}$

I ekvation (24) visas hur vinkelfaktorerna summeras för att erhålla den totala vinkelfaktorn.

$$F_{1-2}=F_{11-2}+F_{12-2}+F_{13-2}+F_{14-2} \tag{24}$$

Definiera q_s som strålningsenergin från en av IR-strålarna och A_s som strålarens effektiva strålningsyta.
Sambandet mellan den totala strålningseffekten till vattnet i lådan och alla strålare runt om anges i ekvation (25).

$$q_{låda} * A_{låda} = \sum_{i=1}^{k} q_{s,i} * A_{s,i} * F_{s,i-låda} \tag{25}$$

I ekvation (25) skall egentligen alla strålningsytor som kan avge strålningsenergi till vattnet i lådan, exempelvis väggar, inkluderas. Vidare beräkningar antar att eventuella strålningsbidrag från väggar och andra strålningskällor tilldelas IR-strålarna.

Den totala strålningseffekten, P_s till vattnet i lådan är känd från mätningarna ovan. Antag att strålningsenergin, q_s och den effektiva arean, A_s är lika.

$$\begin{aligned} q_{s,1} &= q_{s,2} = q_{s,3} = \ldots = q_{s,n} \\ A_{s,1} &= A_{s,2} = A_{s,3} = \ldots = A_{s,n} \end{aligned} \tag{26}$$

Vilket leder till att ekvation (25) kan förenklas till ekvation (27).

$$P_s * A_{låda} = q_s * A_s * \sum_{i=1}^{k} F_{i-vattnet\ i\ lådan} \qquad (27)$$

Strålningsenergin, q_s kan bestämmas ifrån ekvation (27).

Verkningsgraden för IR-strålaren definieras som:

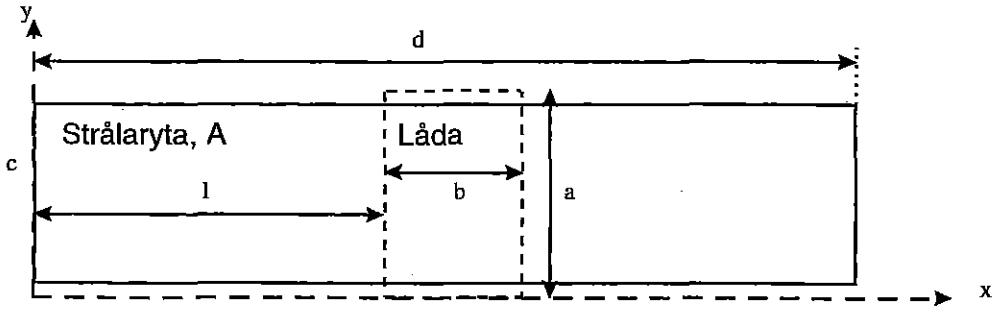
$$\eta = \frac{q_s * A_s}{Installerad\ el-, gaseffekt} \qquad (28)$$

Hela IR-strålaren består inte av strålande yta. Avstånden mellan strålarna enligt relationsritningarna är avståndet mellan hela IR-strålare. För att bestämma sidornas längd enligt definitionerna i bilaga 17 måste man ta hänsyn till detta. Exakta mått på millimetern behövs dock inte eftersom det påverkar beräknad vinkelfaktor minimalt.

Koordinatsystemet, x och y, placeras olika för varje beräkning av vinkelfaktorn mellan strålare och vattnet i lådan.

8.8.2 Beräkningar Bröderna Edstrands

IR-strålaren sitter över traversbanan i lokalen och höjden över golvet är ca 8 m. Hela IR-strålaren har måtten 1680x290 mm. Strålaren består av två strålarplattor som är 1550x130 mm. Dessa strålarplattor approximeras till en hel yta med arean 0,403 m^2. Figur 8.3 visar uppställningen av låda med vatten och IR-strålaren.



Figur 8.3, Uppställning av strålaryta, A och låda. Vy uppifrån.

Nedan visas vilka avstånd som används för att beräkna $F_{låda\text{-}A}$.
Välj strålaren A till yta 2 och lådan med vatten till yta 1.

Avstånd vid bestämning av $F_{låda\text{-}A}$

a=lådans längd, 310 mm
b=lådans bredd, 215 mm
c=strålarytans bredd, 260 mm
d=strålarytans längd, 1550 mm
l=avståndet i x-led från origo till lådans kant, 668 mm
m=avståndet i y-led från origo till IR-strålarens kant, 25 mm
h=avståndet (höjden) mellan IR-strålaren och lådan, 8000 mm

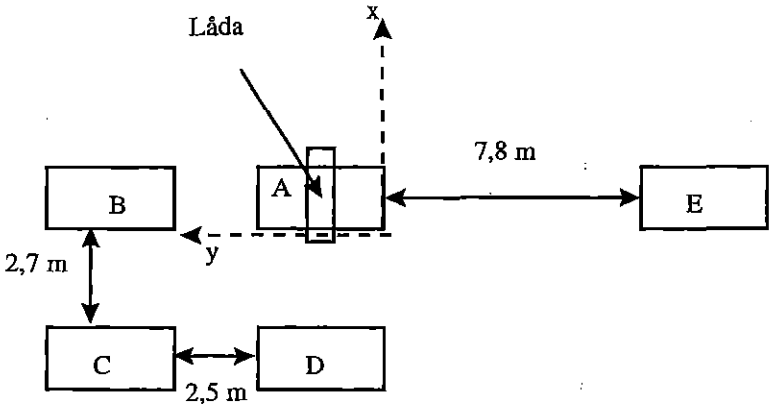
$F_{låda\text{-}A}$ beräknas med formeln i bilaga 17.
$F_{låda\text{-}A}$=0,002

$F_{A\text{-}låda}$ bestäms med reciprocitetsregeln enligt

$$F_{A-låda} = \frac{A_{låda}}{A_A} * F_{låda-A} = \frac{0{,}067}{0{,}403} * 0{,}02 = 0{,}00033$$

Närliggande strålare

Vattnet i lådan erhåller även strålning från närliggande IR-strålare. Vinkelfaktorerna beräknades för närliggande strålare till lådan. Strålningsenergin från övriga strålare i lokalen försummas. Endast de strålare som ligger runt om tas med i beräkningarna. Figur 8.4 visar hur närliggande strålare är placerade.



Figur 8.4, Närliggande IR-strålare, Bröderna Edstrands

Nedan visas vilka avstånd som används för att beräkna $F_{låda\text{-}B}$.
Välj strålaren B till yta 2, och lådan med vatten till yta 1.

Avstånd vid bestämning av $F_{låda\text{-}B}$

a=215 mm
b=310 mm
c=1550 mm
d=260 mm
l=25 mm
m=3513 mm

reciprocitetsregeln

$\Rightarrow \qquad F_{B\text{-}låda}=0{,}000205$

Resultaten visas nedan

Vinkelfaktorer från strålare till lådan	
$F_{A\text{-}låda}$	0.000329
$F_{B\text{-}låda}$	0.000205
$F_{C\text{-}låda}$	0.000171
$F_{D\text{-}låda}$	0.000251
$F_{E\text{-}låda}$	0.000085
Summa vinkelfaktorer:	0.001041

Tabell 8.2, Vinkelfaktorer (Bröderna Edstrands)

Vinkelfaktorerna i tabell 8.2 visar ett rimligt resultat. Strålare A, som ligger rakt ovanför lådan har störst vinkelfaktor. Strålare E som ligger längst ifrån lådan har minst vinkelfaktor. Vinklefaktorerna för strålare B och C är ungefär lika.

Verkningsgrad

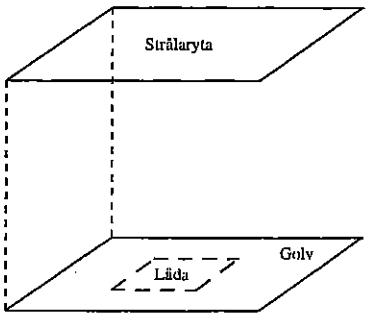
q_s beräknas med ekvation (27). Summan av alla vinkelfaktorer är ca 0,00104 och total uppmätt strålningsenergi vid golvet är 31 W/m^2. Den effektiva arean av en strålare är 0,403 m^2.

$$q_s = \frac{31{,}0 * 0{,}067}{0{,}00104 * 0{,}403 * 1000} = 4{,}96\ kW$$

Ingående el-effekt är 2 kW. Verkningsgraden är då 248 % ! Det är naturligtvis omöjligt med en verkningsgrad större än 100 %. I diskussionsavsnittet nedan ges några tänkbara förklaringar för varför verkningsgraden blir orimlig.

8.8.3 Beräkningar Kockums Industrier

För att bestämma vinkelfaktorn för uppställningen hos Kockums måste vinkelfaktor-algebra användas. Definiera strålarytan som en yta och golvytan under strålaren, inklusive lådan, till en andra yta, (se figur 8.5). Golytan med lådan är lika stor som strålarytan och ligger parallellt rakt under. Lådan har samma dimension som ovan och strålarytan ovanför har approximeras till 950 mm lång och 360 mm bred, (area 0,34 m^2) från en ritning av strålarna (se bilaga 18).



Figur 8.5, Uppställning av låda och strålaryta

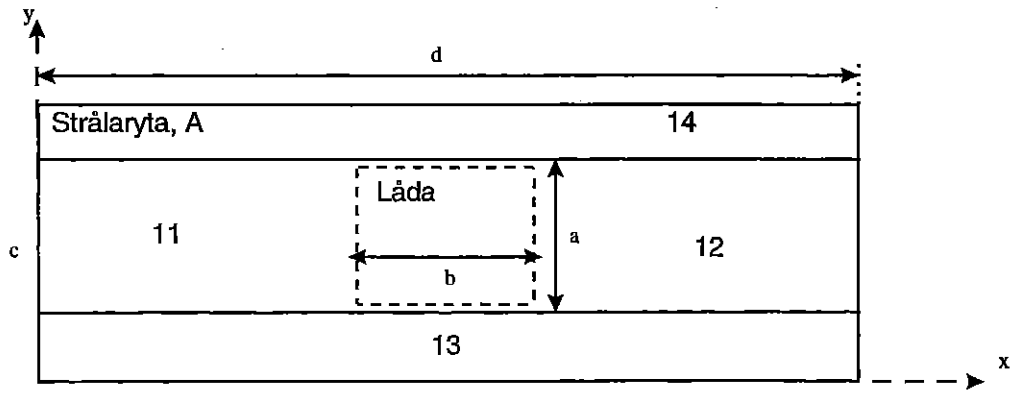
Den effektiva strålarytan är inte riktigt lika stor som den definierade strålarytan, 0.34 m^2 ovan.
Strålarytan är uppdelad i flera mindre strålarplattor som tillsammans bildar den effektiva strålarytan. IR-strålaren består av 2 st strålarkassetter med 12 st strålarplattor/kasset. Dimensionerna på strålarplattorna är 132x92 mm, vilket leder till en total effektiv area på 0,291 m^2 [39].

För att göra helt korrekt beräkningar skall vinkelfaktorerna för varje enskild strålarplatta till vattnet i lådan ha gjorts. Men detta skulle ytterligare försvåra beräkningarna, utan att resultatet kanske skulle skilja nämnvärt.

När strålarkassetterna monteras blir ytan lite större eftersom de inte är monterade alldeles tätt inpå varandra. Vattnet i lådan upplever att strålningen kommer från den större ungefärliga strålarytan (950x360 mm), och inte den effektiva strålarytan.

De totala måtten för IR-strålaren, med gasanslutningar etc, är 1411x588 mm.
Avståndet från lådan till IR-strålaren i taket var 9,5 m.

Figur 8.6 visar hur ytan (golvyta+låda) under strålarytan i figur 8.5 är uppdelad.



Figur 8.6, Indelning i delytor, Vy uppifrån

Vinkelfaktorerna $F_{11\text{-}A}$, $F_{12\text{-}A}$, $F_{13\text{-}A}$ och $F_{14\text{-}A}$ kan bestämmas.
Strålare A är den strålare som ligger rakt ovanför lådorna.

Vinkelfaktoralgebra säger att:

$$F_{golvyta-A} = \sum_{delytor} F = F_{11-A} + F_{12-A} + F_{13-A} + F_{14-A} + F_{låda-A}$$
$$F_{11-A} = F_{12-A}, F_{13-A} = F_{14-A} \qquad (29)$$

$F_{låda-A}$ kan erhållas från ekvation (29) om alla andra vinkelfaktorer är kända. Reciprocitetsvillkoret gäller även för denna uppställning.

$$F_{A-låda} = \frac{A_{låda}}{A_A} * F_{låda-A} \qquad (30)$$

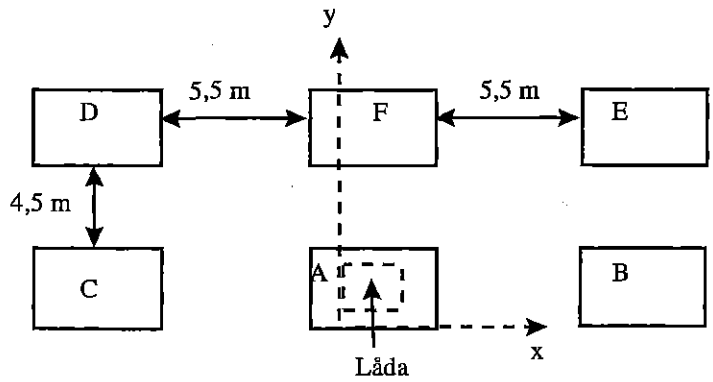
Ekvation (30) gäller även för ytorna 12, 13 och 14.
Nedan visas vilka avstånd som används för att beräkna F_{11-A}.

Avstånd vid bestämning av F_{11-A}

a=215 mm
b=310 mm
c=360 mm
d=950 mm
l=0 mm
m=73 mm

$\Rightarrow F_{A-11}=0,000242$

Närliggande strålare



Figur 8.7, Närliggande IR-strålare, Kockums

Figur 8.7 visar hur närliggande strålare är placerade i förhållande till den öppna lådan med vatten.
Nedan visas vilka avstånd som används för att beräkna $F_{B-låda}$. Strålaren B är yta 1, och lådan med vatten är yta 2. Koordinatsystemet är placerat som i figur 8.7.

Avstånd vid bestämning av $F_{B\text{-}låda}$

a=360 mm
b=950 mm
c=215 mm
d=950 mm
l=6230 mm
m=173 mm

$\Rightarrow F_{B\text{-}låda}=0{,}000108$

Vinkelfaktorerna, $F_{C\text{-}låda}$, $F_{D\text{-}låda}$ och $F_{E\text{-}låda}$ och $F_{F\text{-}låda}$ beräknas på liknande sätt.

Beräkningsresultaten för Kockums lokal visas nedan i tabell 8.3.

Vinkelfaktorer från strålare till delytor	
$F_{A\text{-golvyta}}=F_{golvyta\text{-}A}$	0.001204
$F_{A\text{-}11}=F_{A\text{-}12}$	0.000242
$F_{A\text{-}13}=F_{A\text{-}14}$	0.000242
Vinkelfaktorer från strålare till lådan	
$F_{A\text{-}låda}$	0.000237
$F_{B\text{-}låda}=F_{C\text{-}låda}$	0.000108
$F_{D\text{-}låda}=F_{E\text{-}låda}$	0.000080
$F_{F\text{-}låda}$	0.000167
Summa vinkelfaktorer:	0.000780

Tabell 8.3, Vinkelfaktorer (Kockums)

Vinkelfaktorn för strålare A är störst vilket är rimligt eftersom strålaren ligger rakt ovanför lådan.

Verkningsgrader

Den totala strålningsenergin uppmättes till 42 W/m^2. Summan av alla vinkelfaktorer är 0,000780. Effektiva arean för varje strålare är 0,291 m^2.

$$q_s = \frac{42{,}0 * 0{,}067}{0{,}000780 * 0{,}291 * 1000} = 12{,}4\ kW$$

Ingående gaseffekt till strålaren uppges av leverantören till ca 34 kW [34]. Verkningsgraden blir då 36 %.

8.9 Jämförelse av temperatur med leverantörsuppgifter

Den beräknade strålningsenergin för el-IR respektive gas-IR-strålarna kan användas för att bestämma temperaturen på strålarytan. Strålningsytorna antags vara gråa kroppar med konstant emmisionsförhållande, ε =0,8. Arean är strålarens effektiva area. För att bestämma temperaturen används ekvation (31).

$$E = \varepsilon * A * \sigma * T^4 \qquad (31)$$
$$\sigma = 5{,}67 * 10^{-8}\ W/(m^2 * K^4)$$
$$\varepsilon = 0.8$$

8.9.1 El-IR, Bröderna Edstrands

Strålningseffekten för varje IR-strålare betämdes till 4,96 kW. Temperaturen beräknas då med ekvation (31) till 450 °C. Enligt leverantören är temperaturen på strålarytan cirka 250 °C. Verkningsgraden för el-IR-strålarna blev högre än 100 %, och det leder till att beräknad temperatur på strålarytan blir högre än leverantörens uppgifter.

8.9.2 Gas-IR, Kockums

Strålningseffekten för varje IR-strålare betämdes till 12,4 kW, vilket leder till att strålarytan har temperaturen 710 °C. Vid denna strålningstemperatur kan man se att strålarytan är röd. Enligt leverantören är temperaturen på strålarytorna 850-900 °C [39]. Temperaturen enligt leverantören är ca 30 % högre än den beräknade. Vad detta beror på diskuteras vidare i avsnitt 8.10.

8.10 Slutsats, Diskussion

8.10.1 Mätningar

Vattnets massa är olika vid samma mätningstillfälle. Detta påverkar inte resultatet mycket. Massan i den öppna lådan jämfört med den övertäckta är ca 4 % större vid mätningen på Bröderna Edstrands. Upptagen energi vid konvektions- och ledningsförlopp, som ej påverkas av strålningen, kan vid 4 % massdifferans anses vara lika.
Vattnets djup i lådan påverkas inte absorptionen av strålning i dessa mätningarna eftersom de små massdifferanserna förändrar vattnets djup försumbart.

Strålningseffekten vid golvet i Bröderna Edstrands lokal bestämdes till 31 W/m^2. Motsvarande resultat i Kockums lokal var 42 W/m^2.
Denna effekt har beräknats utifrån ekvation (18) och i denna har antagits att skillnaden i upptagen energi är linjär. Antagandet om linjärt förhållande kan anses rimligt.

Det starkaste argumentet är att strålningseffekten från IR-strålaren till vattnet inte påverkas av temperaturförändringen på vattnet. Detta har sin grund i ekvation (17). Temperaturökningen för vattnet är alldeles för liten för att påverka strålningseffekten och vattnets temperaturförändring med tiden.

Ett fenomen som noterades vid försöken både på Bröderna Edstrands och Kockums var att vattnet vid kanterna och hörnorna av lådan hade cirka 0,3 grader högre temperatur. För att jämna ut dessa gradienter sattes vattnet i lådorna i rörelse så att omblandning skedde.

Hur stora strålningsbidrag som eventuellt kommer från väggar har inte tidigare beräknats. Vid mätningarnas start var vattnet i lådorna ungefär 8 °C och lufttemperaturerna i Bröderna Edstrand lokal och Kockums lokal var cirka 12 respektive 14 °C.
Utomhusluftens temperatur var lägre än lufttemperaturen inne i lokalen. Detta leder till att insidan av väggen blir lite kallare än lufttemperaturen i lokalen på grund av en temperaturgradient genom väggen.

Ekvation (17) kan användas för att beräkna strålningen från väggarna till vattnet i den öppna lådan .Väggarna kan approximeras vara helt omslutande lådan och väggarean är avsevärt mycket större än lådans area.
Temperaturen på väggen antags vara 10 °C, och temperaturen på vattnet är ca 8 °C vid mätningarnas början. Strålningsenergin från väggarna till vattnet i den öppna lådan blir då ca 15 W/m^2 väggyta. Detta strålningsbidrag är 35-50 % av de uppmätta strålningsenergierna vid golvet, som var 42 W/m^2 respektive 31 W/m^2. Denna strålningsenergi absorberas av vattnet i den öppna lådan men har i mina beräkningar antagits komma ifrån IR-strålarna. De verkliga strålningsenergierna från IR-strålarna skulle då bli mindre än de bestämda.
Strålningen från väggar och andra inventarier är i samma storleksordning som den uppmätta strålningen. Detta gör att de bestämda strålningsenergierna från IR-strålarna blir osäkra.

När vattnet i den öppna lådan överstiger väggens temperatur strålar det tillbaka energi till väggarna, vilket ytterligare komplicerar beräkningarna.

Omgivningen för de båda lådorna är inte densamma. Vattnet i den övertäckta lådan kommer inte att uppleva väggen som omgivning. Den övertäckta lådan kommer att uppfatta alla sidorna på kartongen som sin omgivning. Ytorna på kartongen är varmare än väggen och antar approximativt luftens temperatur. Det gör att strålningen från den övertäckande kartongen till vattnet är större än väggarnas strålning till vattnet i den öppna lådan. Vid mätningarna kommer skillnaden i upptagen energi blir mindre än vad den verkligen är.

I beräkningarna har det antagits att strålningen från närliggande strålare till vattnet i lådan inte skuggas av inventarier, ex hyllor. Detta påverkar resultatet om vissa strålare skuggas mer än andra.

När mätningar görs vid dessa låga strålningseffekter är osäkerheten relativt stor eftersom många faktorer kan påverka mätningen. En lätt arbetande människa avger ca 100 W i form av värmeenergi till omgivningen [40]. Mätningarna av temperaturen gjordes i direkt närhet av lådan, vilket kan ha påverkat vattnets upptagna energi.

Den övriga omgivningens strålningsbidrag till vattnet i den öppna lådan måste bestämmas med mätningar eller uppskattas med hjälp av temperaturskillnaderna för att mätningarna och bestämningen av IR-strålarnas verkningsgrad skall bli bättre. Den totala skillnaden i upptagen energi, oavsett om den upptas genom strålning, konvektion eller värmeledning, har däremot bestämts på ett tillräckligt noggrannt sätt.

8.10.2 Verkningsgrader

I tabell 8.4 visas de beräknade verkningsgraderna som baseras på mina mätningar.

Plats	Typ	Verknings-grad
Bröderna Edstrands	el-IR	248 %
Kockums	gas-IR	36 %

Tabell 8.4, Beräknade verkningsgrader för IR-strålarna

Verkningsgraden för Kockums gas-IR-strålare beräknades till 36 %. Denna verkningsgrad är utifrån de mätningarna som gjordes rimlig för en gas-IR-strålare. Leverantören [39] uppgav verkningsgraden till höga 75 % och menade att detta var förhållandet mellan utgående strålningseffekt och ingående gaseffekt.

Temperaturen på rökgaserna måste vara högre än strålarytans temperatur för att det skall ske en värmeöverföring mellan rökgas och strålaryta. Teoretiskt kan temperaturerna vara lika men då måste värmeväxlingen ske i oändligt stora strålkassetter.
Heikkilä [53] har studerat gas-IR-strålare och bestämt verkningsgraden som funktion av temperaturen på rökgaserna. Ifall att strålningsytans och rökgasernas temperatur är 900 °C, samt att förbränningen sker med teoretisk luftmängd, kommer den maximala teoretiska verkningsgraden för en gas-IR-strålare att vara 60 %. Detta värde är 0,8 gånger lägre jämfört med given verkningsgrad från leverantören. Det är nog mest troligt att leverantörens verkningsgrad är för högt angiven.

De olikheter som föreligger för de båda lokalerna kan påverka verkningsgraden. Verkningsgraden för Kockums gas-IR-strålare är rimlig, men verkningsgraden för el-IR-strålaren på Bröderna Edstrands är orimlig (>100%). I avsnitten nedan nämns de olikheter som kan tänkas påverka mätningarna och således även verkningsgraden.

Vid mätningen på Bröderna Edstrands var den slutliga temperaturhöjningen (ca 2,7 °C) och sluttemperaturen (ca 11 °C) för vattnet i respektive låda approximativt lika. Skillnaden i upptagen energi blir således den energi som tillförs för att förånga större mängd vatten i den öppna lådan. Detta kan jämföras med mätningarna på Kockums, som visar skillnader både för sluttemperaturen och temperaturhöjningen för vattnet i

de båda lådorna. Denna olikhet gör eventuellt att verkningsgraden för el-IR-strålaren, baserad på den experimentella mätningen, blir orimlig.

I Bröderna Edstrands lokal fanns mer hyllor runt försöksplatsen som kunde skugga IR-strålarna. Kockums lokal var mer öppen och försöksplatsen skuggades inte så mycket som på Bröderna Edstrands.

De olika driftsätten för de båda lokalerna leder kanske till det orimliga värdet på Bröderna Edstrands. Bröderna Edstrands kör sina IR-strålare med full effekt under natten och Kockums har sina IR-strålare i drift endast under dagtid. Olikheter i strålningsbidrag från väggar och inventarier för de båda lokalerna påverkar kanske verkningsgraden.

Verkningsgraderna som beräknats utifrån mätningarna påverkas också av felkällorna som diskuterats i avsnitt 8.10.1 ovan.

9. Bestämning av driftkostnaderna för olika värmesystem vid uppvärmning av lokaler

9.1 Inledning

I avsnittet 9.3 beskrivs ett dataprogram som användes för att beräkna energibehovet för en lokal med ett luftburet värmesystem. En hel del information om lokalen behövs för att beräkningarna skall kunna göras. Kockums plåtslagerilokal har inte undersökts lika grundligt och för att bestämma energibehovet för denna lokal, användes resultatet från Bröderna Edstrands lokal. Lokalerna antags vara likvärdiga. Exempelvis behövs i båda lokalerna ventilation av luften, och även i Kockums lokal lagras mycket metallråvaror innan de bearbetas.

Vilket värmesystem som är mest fördelaktigt ekonomiskt kan inte bara baseras på skillnader i driftkostnaden. Investeringskostnaderna för respektive system påverkar den totala ekonomiska bedömningen. Jämförelse av lokalernas driftkostnad, med nuvarande system respektive ett luftburet system, görs med förutsättningen att det luftburna systemet (exempelvis gaspanna, oljepanna) hade varit installerat i lokalen.

Grundinvestering för luftburna värmesystem har inte undersökts i detta examensarbete, men är sannolikt betydligt högre än för ett IR-system.

9.2 Bestämning av driftkostnaden för Bröderna Edstrands nuvarande värmesystem

9.2.1 Beskrivning av aktiviteten, nuvarande värmesystem och elenergikostnad

Arbetstider

Arbetstiden under veckan är 80 h/vecka med 5 dagars arbetsvecka. Efter ca 18.00 är de stora öppningarna alltid stängda. IR-strålarna tas under kvällen i drift med full effekt. Drifttiden för strålarna på dagtid har antagits till 50 h/vecka.

IR-strålarna

IR-strålarna är termostatreglerade och tas i drift då temperaturen understiger 14 °C. Medeltemperaturen är över 14 °C under perioden 10 juni-10 september [28]. IR-strålarna är under drift resten av året, dvs 8 månader.
Eftersom övrig elförbrukande verksamhet påverkar driften av IR-strålarna under dagen, är det svårt att exakt bestämma drifttiden på dagen för största delen av IR-strålarna.
Effekten för IR-strålarna monterade vid portar är 40 kW och dessa drivs alltid med full effekt om temperaturen är lägre än 14 °C.

Antalet timmar per vecka som IR-strålarna är i drift dagtid uppskattas till 50 h. Efter ca kl 18.00 slår IR-strålarna om till nattdrift och går med full effekt.

På natten är det svårt att uppskatta en drifttid. Eftersom IR-strålarna är termostatreglerade slår de av om temperaturen överstiger ett önskat värde. Olika väderleksförhållanden under året gör att IR-strålarna är i drift olika antalet timmar. Exakt när IR-strålarna slår av och hur många timmar de är i drift är svårt att exakt få information om. Ett medelvärde för drift på natten kan uppskattas till 8 timmar [25]. Effekten på IR-strålarna under natten är den maximala.

Värmebatteri

I lokalen finns även ett elektriskt värmebatteri som värmer upp en del ingående luft. Effekten på värmebatteriet är 50 kW och det är i drift under dagtid.
Eftersom värmebatteriet ingår i nuvarande värmesystem inkluderas detta vid beräkningar av den totala driftkostnaden. Värmebatteriet är inte kopplat till belastningsvakten.

Kostnad för elektriciteten i lokalen

Effektkostnad:

Låglast (kl. 22-06):	19,02 öre/kWh
Höglast (Övrig tid):	21,50 öre/kWh

Abonemangskostnader:

Maximal effektuttag	228 kW
Kostnad abonemang:	437 kr/kW
Total abonemangskostnad:	99 636 kr/år
Fast avgift:	10 000 kr/år

Skatter:

Energiskatt:	15,2 öre/kWh

Elskatten betalas för 79 % av elförbrukningen i kWh.
Moms tas inte med eftersom det inte är en reell kostnad för företaget.

Övrig elförbrukning

Den övriga elförbrukningen har även betydelse för förbrukningen av el till IR-strålarna. Belastningen i lokalen får vara högst 220 kW. Hur övriga elförbrukande aktiviteter uppskattas visas i bilaga 10. Den totalt möjliga effekten uppgår till 374 kW för alla storheter.

Effekten för dagtid beräknas till 206 kW. Några el-IR-värmare kan då inte kopplas in eftersom effekten kommer att överstiga 220 kW. För att IR-strålarna skall kopplas in måste effektbehovet för traverser eller processmaskiner sjunka. Effekten för processmaskiner är mycket större än traverseffekten, 100 respektive 6 kW.

Antag att medeleffekten under året är 50 kW för processmaskinerna. Då kan IR-strålarnas effekt vara maximalt 64 kW för att inte överstiga maximal effekt 220 kW. Endast den gruppen av IR-strålare (första steget) med totalt 60 kW kan då kopplas in.

Vidare beräkningar antar en medeleffekt som är en del av maximala 168 kW, (exklusive IR-strålarna vid portar), och IR-strålarna går med denna effekt hela dagen. Om dessa går med 40 % medeleffekt är effekten 67,2 kW.

På natten har man inte detta problem eftersom processmaskiner, traverser och full belysning inte behövs. Alla IR-strålare kan då köras med full effekt.

9.2.2 Resultat

I bilaga 11 visas en tabell som redovisar beräkningarna av den årliga driftkostnaden för Bröderna Edstrand nuvarande värmesystem.

Den totala årliga driftkostnaden delas upp i flera olika delkostnader. Driftkostnaden för IR-strålarna bestäms för drift under dagen respektive natten. Skatt- och abonemangskostnaden samt driftkostnaden för värmebatteriet delas upp i tre delkostnader. Värmebatteriets driftkostnad uppgår till ca 30 000 kr/år (inklusive skatt), och påverkas ej av förändrad medeleffekt.

Procenttalet som anges i tabellen (bilaga 11) bestämmer hur stor del av den maximala el-IR-effekten 168 kW som kan anses som medeleffekten under dagtid. Eftersom den totala kostnaden är beroende av medeleffekten visar diagram 9.1 nedan den årliga driftkostnaden för nuvarande värmesystem vid olika medeleffekter.

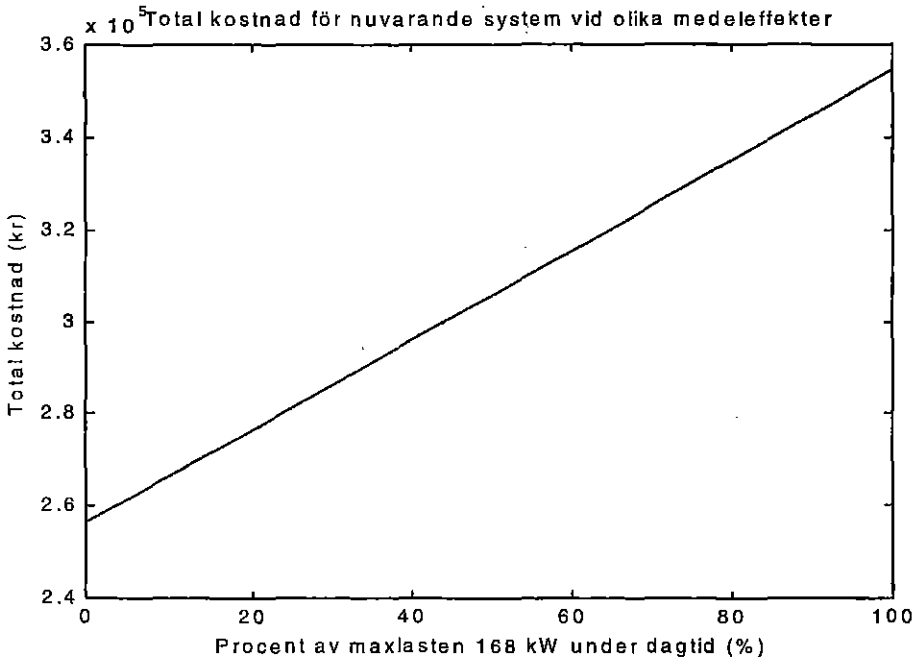


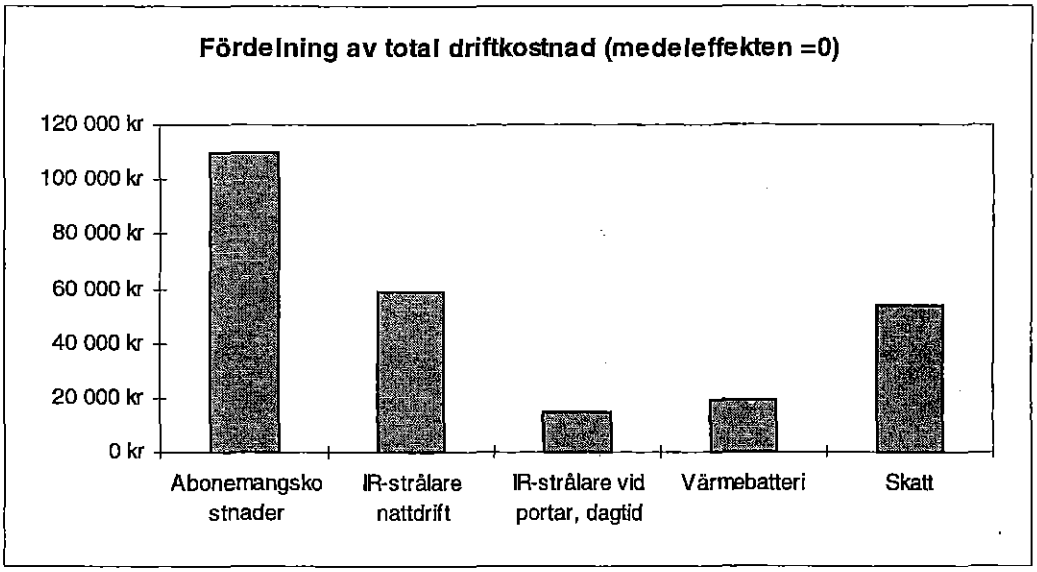
Diagram 9.1, Årlig driftkostnad för nuvarande värmesystem i Bröderna Edstrands lokal

Då medeleffekten är noll är endast värmebatteriet och IR-strålarna vid portarna i drift under dagtid. Under natten drivs alla IR-strålare med full effekt. Figur 9.1 nedan visar hur den totala årliga kostnaden fördelas. Total årlig driftkostnad då medeleffekten under dagtid är noll är ca 256 000 kr. Största delen av driftkostnaden representeras av abonemangskostnad (43 %). Driftkostnaden för IR-strålarna under natten och skattekostnaderna har näst störst andel (drygt 20 %) av den totala driftkostnaden.

Den maximala kostnaden är 355 000 kr. IR-strålare som ej är monterade vid portarna med körs då med full effekt (168 kW) även under dagen. Denna maximala kostnad är säkerligen inte den verkliga kostnaden för Bröderna Edstrands.
I bilaga 10 uppskattas att totalt effektuttag för processmaskiner, traverser, belysning och IR-strålare vid portarna i lokalen är 206 kW under dagtid.
Vid detta effektuttag kan inte IR-strålarna tas i drift, eftersom första gruppen IR-strålare har effekten 60 kW.

Sannolikt är medeleffekten under dagtid ≤ 30 % av maxlasten 168 kW för IR-strålarna som inte är monterade vid portarna. Kostnaden för IR-systemet blir då totalt 286 000 kr eller lägre, vilket sannolikt är mer jämlikt med den verkliga kostnaden för Bröderna Edstrands.

I driftkostnaden finns ingen kostnad för service och underhåll av IR-strålarna medräknade . Det antags att ingen IR-strålare blir utbränd och ersätts.



Figur 9.1. Fördelning av driftkostnaden då medeleffekten är noll

Vid ändring av procenttalet (0-100 %) blir elanvändningen mellan 450-740 MWh per år. Energipriset visas i diagram 9.2 nedan.

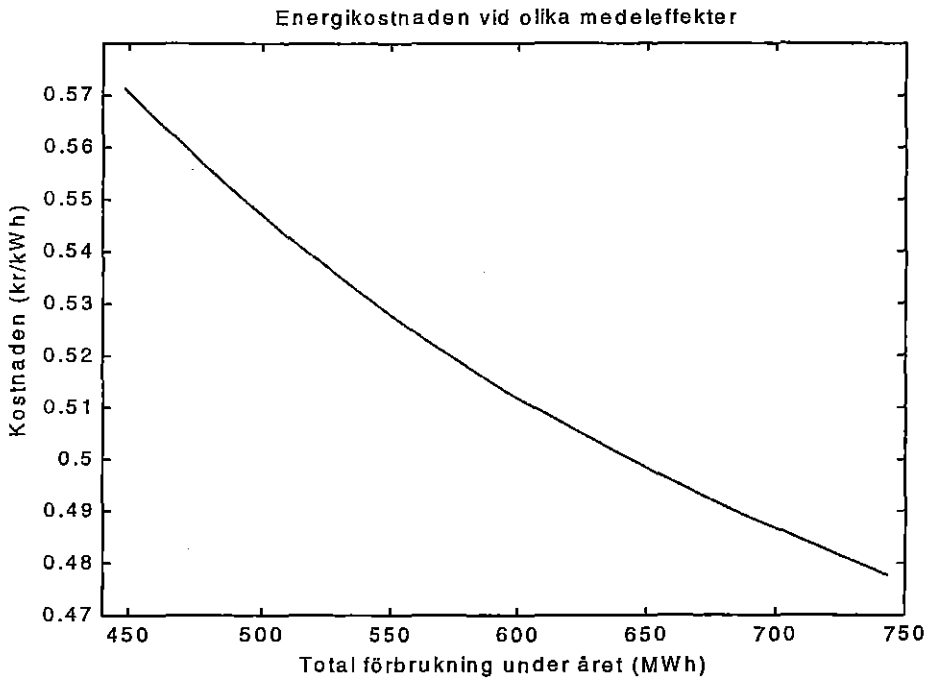


Diagram 9.2, Kostnaden (kr/kWh) som funktion av total årsanvändning

9.3 Bestämning av driftkostnaden för Bröderna Edstrand med ett luftburet värmesystem

Det finns ett intresse att göra en jämförelse av drift- och energikostnaden för de två lokalernas nuvarande värmesystem och ett luftburet värmesystem. Detta för att kontrollera om energibesparingar vid lokaluppvärmning kan göras, om ett IR-system används istället för ett luftburet.
För ett luftburet system beräknades energibehovet med ett simuleringsprogram från Danska Statens Byggforskningsinstitut. Programmet heter BV95, Bygningers Varmebehov.

9.3.1 Beskrivning av dataprogram, BV95 Bygningers Varmebehov

Programmet användes för att beräkna energibehovet per månad. Dessa resultat summeras ihop till ett årligt energibehov. Uppgifter om lokalen, exempelvis temperatur, ytors egenskaper och ventilation, ges som indata.

Programmet kan även beräkna mer dynamiska förlopp. Då bestäms energiförhållandena för varje timme. Många av de indata som ges kommer att ha stor påverkan på energiförhållandena om en sådan dynamisk beräkning skall göras. Exempel på indata som påverkar de dynamiska energiförhållandena är medelvärmekapaciteten för lokalen.
Några dynamiska beräkningar gjordes ej och om parametrarna inte anges exakt enligt verkligheten kommer ej resultatet i stort att påverkas vid månadsberäkningar.

Programmet använder genomsnittliga väderförhållanden baserade på 30 års mätningar i Köpenhamn. Dessa data kan med stor säkerhet användas även för Malmö.

9.3.1.1 Beskrivning av olika indata

Väggar, golv och tak

Värmegenomgångstalet, U(W/(m^2*K)) är beroende av vilka material väggen eller ytan är byggd. Svårigheter att ta fram exakta byggnadsmaterial har lett till vissa antaganden. Undersökta lokaler har haft lätt konstruktion där isoleringsmaterialet utgör det stora värmemotståndet. På Bröderna Edstrands lokal har en ytterplåt på väggen antagits. Denna kan egentligen försummas helt vid bestämning av totala värmemotståndet, på grund av det minimala bidraget. Golvet har antagits bestå av 10 cm betong och en grundskiva.

Ett extra övergångsmotstånd har adderats totala värmemotståndet.
Även luftskiktet närmast inner- och ytterytan hos en byggnadsdel är isolerande. Dessa värmemotstånd kallas övergångsmotstånd. Storleken på dessa värmemotstånd beror bland annat av strålnings- och vindförhållanden. Svensk standard SS 02 42 02 anger summan av de två (inre och yttre) övergångsmotstånden till 0,17 (m^2*K)/W.

Egenventilation

Vid egenventilation i lokaler omsätts 0,10-0,25 gånger av den totala volymen per timme [27]. Eftersom denna parameter är beroende av en rad ofullständigt kända faktorer antogs värdet 0,2. Volymen för produkter och inventarier har beräknats för att kontrollera hur stor påverkan dessa har på luftvolymen i lokalen.

Mekanisk ventilation

Mekaniska ventilationen för lokalen är den som påtvingas med fläktar och utsug mm. Med infiltration menas den luftmängd som utöver den mekaniska ventilationen omsätts i lokalen. Eftersom det är svårt att uppskatta infiltrationsparametrarna, har dessa antagits lika stora som egenventilationen.

Värmekapaciteten för lokalen

Värmekapaciteten är ett medelvärde för material och inventariers värmekapacitet som finns i lokalen. Större värmekapacitet leder till att större energimängder lagras i material och inventarier.

Värmekapaciteten för väggar och golv kan försummas eftersom deras påverkan på det slutliga resultatet är försumbart. För att kontrollera detta antogs att medelvärme-kapaciteten för en lokal var dubbelt så stor. Det årliga energibehovet minskade då endast med några tiondels procent.

Internt värmetillskott

Exempel på aktiviteter som skapar värmetillskott är arbetande människor, belysning, truckar och lastbilar. All eleffekt som förbrukas till lampor kan antagas omvandlas till

värmeenergi. Ett tillägg för andra aktiviteter har gjorts med lampeffekten som påläggsbas. En lätt arbetande person avger 100 W i form av värmeenergi till omgivningen, och en hårt arbetande 600 W [40]. Det antogs att arbetande personer i lokalerna avger 200 W/person.

Det interna värmetillskottet som matas in i programmet gäller för ett helt år. Arbetstiden för verksamheten i lokalen är beräknad till 3120 h/år. Antalet timmar på nio månader är 6570 h. Det interna värmetillskottet multiplicears med faktorn 0,47 för att kompensera för denna tidskillnad.

9.3.1.2 Beskrivning av resultat rapport

I bilaga 13 visas en resultatrapport för beräkning av energibehovet i Bröderna Edstrands lokal. Resultaten kommenteras i avsnitt 9.3.2 nedan.

Byggnadsdata

I denna tabell redovisas inmatade värden, t. ex temperaturen i lokalen, total golvarea och antalet brukstimmar per vecka för värmesystemet.

Ventilation

Den totala ventilationen i lokalen redovisas i tabellen och det har antagits att ingen ventilation är outnyttjad under brukstiden.
Den mekaniska ventilationen matas in i ett speciellt schema och redovisas i resultatrapporten självständigt. Om schema för mekanisk ventilation fylls i, sätts automatiskt "Ventilation i brugstiden" till noll.

Egenventilationen och mekaniska ventilationen ges med enheten: liter/(s*m^2). I mina beräkningar är arean som använts i divisionen densamma som golvarean. Areorna kan vara olika för mer komplicerade byggnader.

Tidskonstant

Tiden det tar för godset att förlora sin energi till omgivningen utifrån de beräknade värmeförlusterna, kallas tidskonstanten

Tidskonstanten beräknas automatiskt enligt:

$$Tidskonstanten(h) = \frac{Total\ uppvärmd\ area * Lokalens\ värmekapacitet}{Lokalens\ totala\ värmeförluster} \quad (32)$$

Internt värmetillskott

Aktiviteter som skapar värme inne i lokalen finns här angivet.

Värmebehov

I tabellen redovisas värmebehovet månadsvis. Endast 9 månader redovisas eftersom ingen energianvändning för lokal uppvärmning under sommartid behövs.
För varje kolumn summeras energibehoven. Förklaring av varje term finns i nomenklaturlistan.

Ytterväggar, tak och golv

I denna delen redovisas alla angivna data för lokalens ytor, exempelvis värmegenomgångstalet och ytarea.

Mekanisk ventilation och utsug

Förklaring av beteckningar i resultatrapporten finns i nomenklaturlistan.

9.3.1.3 Beskrivning av Bröderna Edstrands lokal

Lagrade produkter, ventilation

I Bröderna Edstrands lokaler lagras och distribueras stora mängder stål och aluminium. Lagrade massan är totalt 800-1000 ton. Det har antagits att lika stor massa av aluminium och stål förvaras.
Volymen av lagrad massa bestämdes till ca 0,5 % av totala lokalvolymen. Någon uppskattning volymen av andra inventarier och traverser har ej gjorts. Detta på grund av att de ej kommer påverka volymen luft i lokalen nämnvärt.

Den mekaniska ventilationen för Bröderna Edstrands lokal är 6000 Nm^3/timme [20].

Vald lufttemperatur för ett luftburet system

Bröderna Edstrand hade ingen kunskap om vilken temperatur som skulle upplevas i lokalen för det nuvarande systemet. Strålningsintensiteten är uppmätt till 31 W/m^2 och lufttemperaturen vid driftstart av IR-strålarna är 14,0 °C. Den upplevda temperaturen blir enligt ekvationerna (11, 12) ungefär 16 °C.

Vid valet av lufttemperatur för ett luftburet värmesystem skulle den upplevda temperaturen, 16 °C (för nuvarande system) kunna väljas.

I DGC:s rapport [40] om strålvärmare föreslås att den upplevda temperaturen skall vara 18 °C i en lokal där arbetarna har måttlig fysisk arbetsaktivitet.
Därför antogs det att lufttemperaturen i Bröderna Edstrands lokal med ett luftburet system är 18 °C. Detta på grund av att temperaturen på luft i rörelse upplevs lägre än vad temperaturen verkligen är. Denna effekt gör kanske att den upplevda temperaturen är ungefär 16 °C.

I bilaga 12 visas beräkningarna som gjordes för att bestämma de indata som gavs till datorprogrammet, BV 95.

9.3.2 Resultat

I bilaga 13 visas resultattabellen vid körning av dataprogrammet, BV95. Resultatrapporten beskrivs i avsnitt 9.3.1.2 ovan.
Energibehovet för lokalen beräknades med dataprogrammet och driftkostnaderna för olika värmesystem, exempelvis olje- och naturgaspanna, beräknades.

Energibehovet för Bröderna Edstrands lokal beräknades till 1127 MWh/år. Detta motsvarar ett värde på 216 kWh/m^2. Enligt Noren [27] är energibehovet för en lokal 100-200 kWh/m^2. De beräknade energibehovet stämmer bra överens med det uppskattade.

Producerad energi för ett luftburet värmesystem beräknas med ekvation (33).

$$Producerad\ energi = \frac{Energibehovet}{Verkningsgraden\ för\ systemet} \qquad (33)$$

I tabell 9.1 nedan redovisas driftkostnaderna för olika system.

ÅRLIGA DRIFTKOSTNADER FÖR ETT LUFTBURET VÄRMESYSTEM

Energibehov för luftburet system, 18 °C	1127 MWh/år
Energibehov för luftburet system, 14 °C	756 MWh/år
Skillnad	370 MWh/år

Värmesystem	Kostnad	Verkningsgrad	Energianvändning		Tot. Kostnad	Kostnadsökning 14-18 °C
			18 °C	14 °C	18 °C	
	(kr/kWh)	(%)	(MWh)	(MWh)	(kr)	(kr)
Fjärrvärme* (från naturgas)	0.30	90%	1252	840	375 533 kr	123 441 kr
Oljepanna, EO1	0.20	80%	1408	945	281 650 kr	92 581 kr
Gaspanna	0.20	88%	1280	859	256 046 kr	84 164 kr
Elpanna	0.52	93%	1211	813	632 718 kr	207 979 kr
Elvärme	0.52	97%	1161	780	606 627 kr	199 403 kr

Tabell 9.1, Energianvändningen för olika värmesystem samt driftkostnaden vid lufttemperaturen 18 °C, Bröderna Edstrands

9.4 Bröderna Edstrands, Jämförelse nuvarande system och luftburet system

Datorprogrammet användes också för att beräkna uppvärmningskostnaden för en lokal med temperaturen 14 °C. Den sista kolumnen i tabell 9.1 visar kostnadsökningen för ett luftburet värmesystem då lufttemperaturen i lokalen ökar från 14 till 18 °C.

Den lägsta driftkostnaden för Bröderna Edstrands värmesystem är 256 000 kr (se diagram. 9.1). Om ej värmebatteriet inkluderas i driftkostnaden blir total driftkostnad 226 000 kr. Samtliga kostnadsökningar i sista kolumnen (tabell 9.1) är mindre än 226 000 kr, om energipriserna ej förändras. Om ett luftburet system hade varit befintligt i lokalen hade det kanske inte varit lönsamt att investera i ett IR-system för att höja temperaturen till 18 °C. Driftkostnaderna måste undersökas och dessutom tillkommer en grundinvesteringskostnad för systemet och installationen.

Den procentuella skillnaden mellan ett luftburet värmesystem och Bröderna Edstrands nuvarande system beräknades med ekvation (34). Procentuella skillnader >0 innebär att driftkostnaderna för det luftburna värmesystemet är högre än nuvarande system.

$$Procentuell\ skillnad = \frac{(Driftkostnad\ luftburet\ system - Driftkostnad\ nuvarande\ system)}{Driftkostnad\ luftburet\ system} \quad (34)$$

Den totala driftkostnaden för det nuvarande systemet med 40 % medeleffekt på IR-strålarna under dagtid (exklusive strålare vid portarna) uppgår till ca 296 000 kr/år med total elförbrukning 566 MWh/år.
Den procentuella skillnaden mellan driftkostnaden för en gaspanna och nuvarande system blir -5,1 %, dvs driftkostnaden för värmesystemet med gaspanna blir 5,1 % lägre jämfört med Bröderna Edstrands nuvarande system.

$$Procentuell\ skillnad = \frac{(281\ 650 - 296\ 000)}{281\ 650} = -5{,}1\ \%$$

Diagrammen 9.3-9.5 nedan visar procentuella skillnader vid olika medeleffekter på IR-strålarna och energipris. Samma verkningsgrader och energibehov för ett luftburet värmesystem har använts, dvs 1127 MWh/år. Drifttiderna på IR-strålarna enligt bilaga 11 är lika.

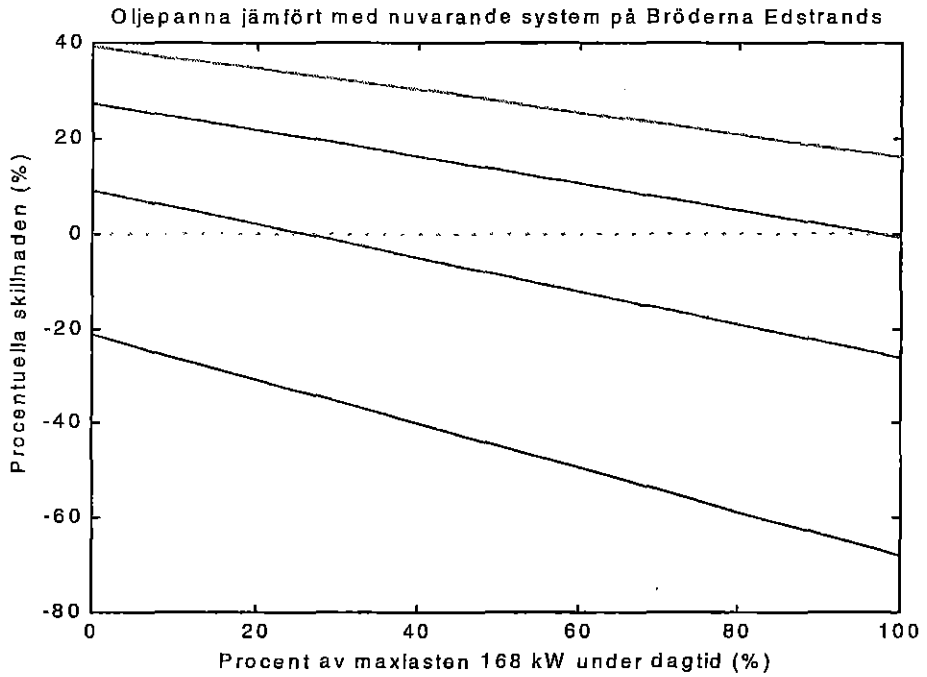


Diagram 9.3, Procentuella skillnader vid olika medeleffekter och energipris på olja Oljans energipris för den nedersta till den översta linjen är 0.15, 0.20, 0.25 och 0.30 kr/kWh

Diagram 9.3 visar skillnaderna mellan Bröderna Edstrands nuvarande system och ett luftburet system med oljepanna. Om oljepriset är >0,25 kr/kWh verkar IR-systemet vara en god investering ur driftkostnadssynpunkt.

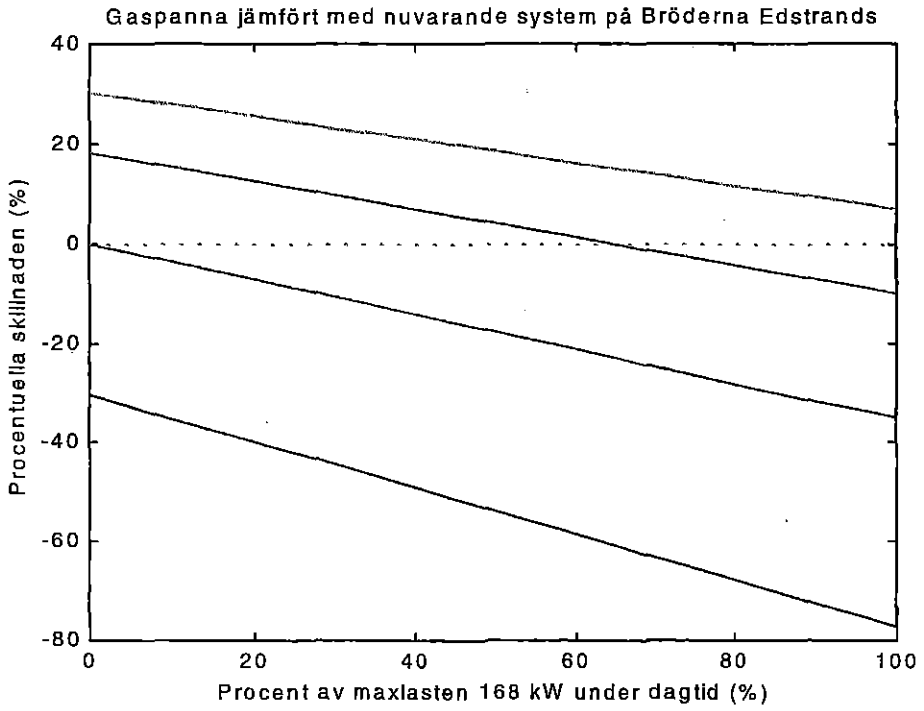


Diagram 9.4, Procentuella skillnader vid olika medeleffekter och energipris på gas. Gasens energipris för den nedersta till den översta linjen är 0.15, 0.20, 0.25 och 0.30 kr/kWh

Diagram 9.4 visar skillnaderna mellan Bröderna Edstrands nuvarande system och ett luftburet system med gaspanna. Om energipriset för gas är < 0,20 kr/kWh, blir driftkostnaden för en gaspanna lägre för alla medeleffekter.

I diagram 9.3 och 9.4 ser man att om energipriset för olja och gas är 0.30 kr/kWh kommer driftkostnaden för Bröderna Edstrands nuvarande system bli lägre för alla medeleffekter. Dock är energipriset 0,30 kr/kWh för olja sannolikt ett högt pris för ett företag. För en villaägare med oljepanna är energipriset på oljan i denna storleksordning, se bilaga 14. Även energipriset 0,30 kr/kWh för gas är sannolikt en hög kostnad för ett företag.

I diagram 9.5 jämförs driftkostnaderna för ett elvärmesystem med Bröderna Edstrands nuvarande system. Mest besparing har erhållits om nuvarande system jämförs med elpanna och elvärme. Detta beroende på att den årliga elförbrukningen till elvärme är större än elförbrukningen för Bröderna Edstrands nuvarande system. Årliga driftkostnaden är 36-62 % högre för elvärme jämfört med nuvarande system.

Vid bestämning av skillnaden i driftkostnaden för ett fjärrvärme- och ett IR-system kan diagram 9.3 användas. Verkningsgraden för en oljepanna och ett fjärrvärmesystem är approximativt lika.

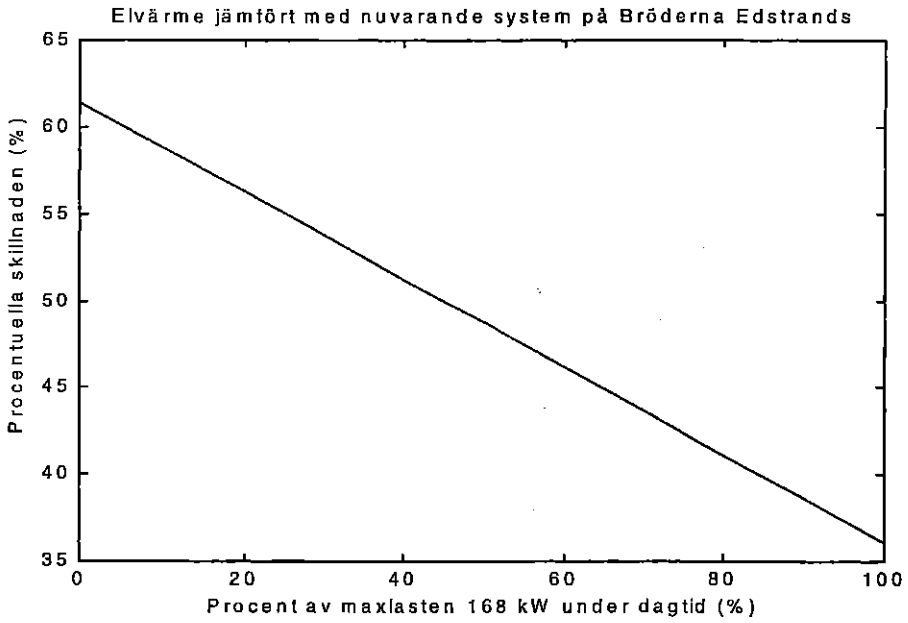


Diagram 9.5, Procentuella skillnader vid olika medeleffekter. Elenergipriset avläses i diagram 9.2.

9.4.1 Slutsats, Diskussion

Om den lägre upplevda temperaturen 16 °C hade valts hade kostnaderna för ett luftburet värmesystem blivit ännu lägre.

Parametrar som i högsta grad påverkar driftkostnaderna är energipriset för respektive energislag och medeleffekten för IR-strålarna på dagen. För att exakta driftkostnader

för el-IR-systemet och värmebatteriet skall tas fram måste man noga undersöka effektförbrukningen vid drift och sedan exakt beräkna kostnaden.

Det ansågs ovan att större delen av IR-strålarna under dagtid var i drift med en medeleffekt som var ≤ 30 % av maximalt 168 kW och total driftkostnad ≤ 286 000. Driftkostnaden är då i samma storleksordning som för ett luftburet system med olje- eller gaspanna och energipriset 0,20 kr/kWh. Vid en ekonomisk bedömning kommer grundinvesteringskostnaden att avgöra vilket alternativ som ur ekonomisk synpunkt är bäst. Investeringskostnaden för ett luftburet värmesystem jämfört med ett IR-system är sannolikt mycket högre. Detta gör att investeringen som Bröderna Edstrand gjorde kan anses vara lönsam.

Energibehovet för ett luftburet värmesystem beräknades med dataprogrammet, BV95. Dessa beräkningar kan anses vara tillräckligt noggranna för ändamålet. Antagna eller osäkra indata påverkade ej resultatet nämnvärt.

Det verkliga elpriset (kr/kWh) för Bröderna Edstrands är sannolikt lägre än de beräknade (0,48-0,57 kr/kWh). Övrig elförbrukning till traverser och belysning är inte bestämd. Om dessa också bestäms och omfattas i beräkningarna kommer energipriset att påverkas.

Mest besparingar gjordes om energipriset för olja och gas var 0,30 kr/kWh
Det är inte sannolikt att kostnaden idag är ungefär 0.30 kr/kWh för olja eller gas för industrier. Olje- och gaspriset förändras med tiden och vid ett val måste priserna undersökas för att valet skall kunna göras.

De elektriska IR-strålarna installerades 1984. Orsakerna till varför el-IR valdes diskuteras även i kapitel 7.3 i rapporten. Ett annan möjlig orsak till varför ett värmesystem drivet med el valdes var kanske att energipriset för olja och elektricitet var likvärdiga år 1984.

Valet styrs även av underhållskostnaderna för respektive system. Dessa har inte tagits med i beräkningarna ovan. Underhållskostnaderna för ett el-IR-system är sannolikt lägre än om man jämför med en oljepannas och dessutom måste även investeringskostnader beräknas. De lägre underhållskostnaderna för el-IR-strålare gör att Bröderna Edstrands investering förbättras ytterligare.

9.5 Bestämning av driftkostnaden för Kockums nuvarande IR-system

9.5.1 Beskrivning av IR-systemets kostnader

Kockums har endast IR-strålare för uppvärmning av lokalen. Inga övriga system eller komponenter, exempelvis värmebatterier, existerar.

IR-strålarna är temperaturreglerade och naturgasförbrukningen kan ändras från timme till timme. Därför är det svårt att bestämma exakt naturgasförbrukning under en kortare tid. Gas-IR-strålarna tas i drift om temperaturen i lokalen är 14 °C eller lägre.

Under första driftsäsongen 1997/98 förbrukades drygt 110 000 Nm^3 naturgas. För vidare beräkningar används intervallet 80 000-150 000 Nm^3/säsong.
Service- och reparationskostnaden är 25 000 kr/säsong (eller år).
Kockums har beräknat en energikostnad på 0.21 kr/kWh för sin naturgas. I det priset ingår skatter och abonemang mm.

Strålningsintensiteten är beräknad till 42 W/m^2 och lufttemperaturen vid driftstart av IR-strålarna är 14 °C. Den upplevda temperaturen blir enligt ekvationerna (11, 12) då 17 °C. Även nu valdes lufttemperaturen för ett luftburet system till 18 °C.

9.5.2 Resultat

Den totala driftkostnaden för gas-IR-systemet redovisas i diagram 9.6 nedan.
I den totala driftkostnaden ingår även service- och reparationskostnaden.

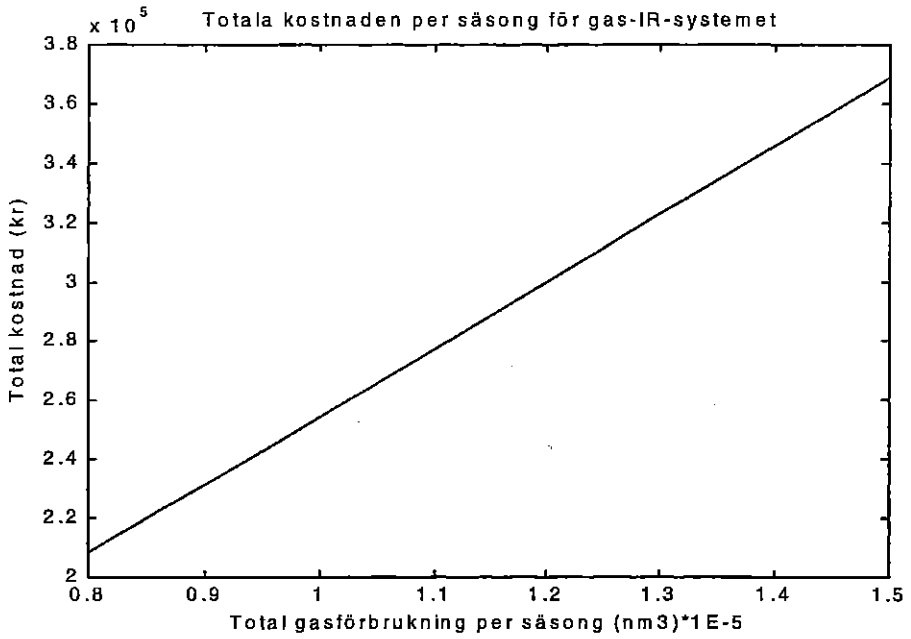


Diagram 9.6, Totala kostnaden för gas-IR systemet vid olika totala gasförbrukningar

Driftkostnaden för Bröderna Edstrands nuvarande system och Kockums IR-system är storleksmässigt lika. Den stora skillnaden på systemen är att den totalt installerade effekten (W) är drygt 8 ggr större, (1750 jmf. med 208 kW), för Kockums lokal.

9.6 Bestämning av driftkostnaden för Kockums med ett luftburet system

För att bestämma energibehovet för ett luftburet system användes det beräknade värdet 216 kWh/m^2 från Bröderna Edstrands lokal. Det totala årliga energibehovet för ett luftburet system i Kockums lokal är 1514 kWh, som visas i tabell 9.2.

Luftburet system	
Golvyta	7000 m^2
Energibehov	216 kWh/m^2
Årligt energibehov	1514 MWh

Tabell 9.2, Totala energibehovet för Kockums lokal

ÅRLIGA DRIFTKOSTNADER FÖR ETT LUFTBURET VÄRMESYSTEM

Energibehov för luftburet system, 18 C	1514 MWh/år	(inga verkningsgrader här)
Förhållandet,18 och 14 grader C	1.5	(från br. Edstrand)
Energibehov för luftburet system, 14 C	1017 MWh/år	
Skillnad	498 MWh/år	

Värmesystem	**Kostnad[49]**	**Verkningsgrad**	**Energiförbrukning**		**Tot. kostnad**	**Kostnadsökning 14-18 °C**
			18 °C	**14 °C**	**18 °C**	
	(kr/kWh)	(%)	(MWh)	(MWh)	(kr)	(kr)
Fjärrvärme* (från naturgas)	0.30	90%	1682	1129	504 749 kr	165 915 kr
Oljepanna, EO1	0.20	80%	1893	1271	378 562 kr	124 436 kr
Gaspanna	0.21	88%	1721	1155	361 355 kr	118 780 kr
Elpanna	0.30	93%	1628	1093	488 467 kr	160 563 kr
Elvärme	0.30	97%	1561	1048	468 324 kr	153 942 kr

Tabell 9.3, Energianvändningen för olika värmesystem samt driftkostnaden vid lufttemperaturen 18 °C, Kockums lokal

Tabell 9.3 visar driftkostnaden för olika luftburna system om det hade varit installerat i Kockums lokal. Energibehovet vid lufttemperaturen 14 °C bestämdes utifrån beräkningarna på Bröderna Edstrands. För Bröderna Edstrands lokal var förhållandet mellan energibehovet vid 18 respektive 14 °C ungefär 1,5.

9.7 Kockums, Jämförelse IR-system och luftburet system

Driftkostnaden baseras helt på hur stor mängd gas som förbrukas. Totala driftkostnad för förbrukningen 110 000 Nm^3/år är ungefär 280 000 kr.
Samtliga kostnadsökningar i sista kolumnen (tabell 9.3) är mindre än 280 000 kr, om energipriserna ej förändras.

Även för denna lokal kan lönsamheten att investera i ett IR-system diskuteras, ifall ett luftburet system hade varit installerat. Kockums hade ett luftburet system innan IR-systemet installerades, men det har inte undersökts hur det föregående värmesystemet såg ut och vilka totala kostnader systemet hade. Kockums var däremot tvungna att investera i ett nytt värmesystem eftersom det gamla var slitet och fungerande ej tillfredsställande. Kockums har säkerligen gjort en ekonomisk bedömning och ansåg att investeringen var lönsam.

Diagrammen 9.7-9.9 nedan visar procentuella skillnader vid olika gasförbrukningar och energipris. Samma verkningsgrader och energibehov för ett luftburet värmesystem har använts, dvs 1514 MWh/år.

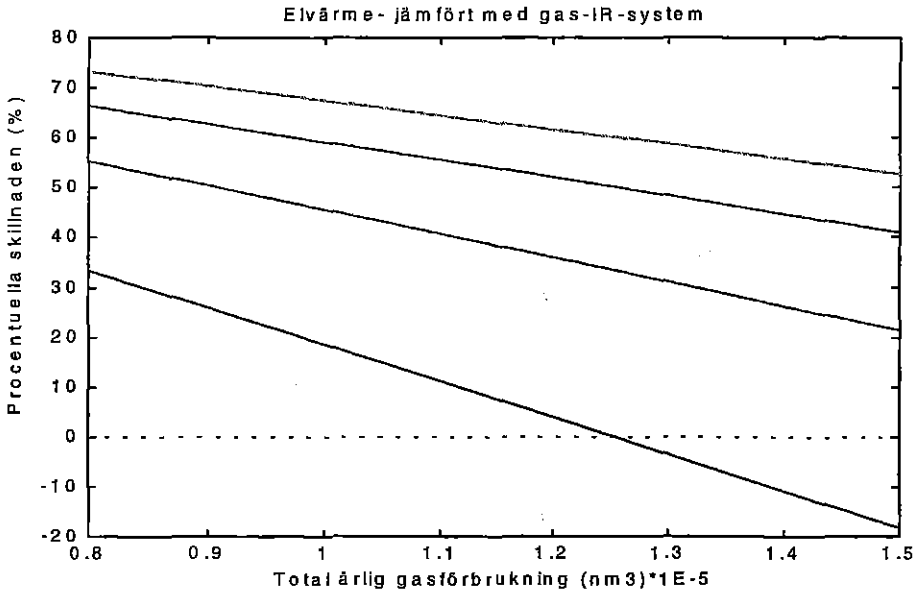


Diagram 9.7, Procentuella skillnader för elvärme jämfört med gas-IR. Elenergipriset för den nedersta till den översta linjen är 0.20, 0.30, 0.40 respektive 0.50 kr/kWh

Diagram 9.7 visar att om elenergipriset är 0,50 kr/kWh blir driftkostnaderna för ett gas-IR system 75-60 % lägre jämfört med driftkostnaden för ett elvärmesystem.

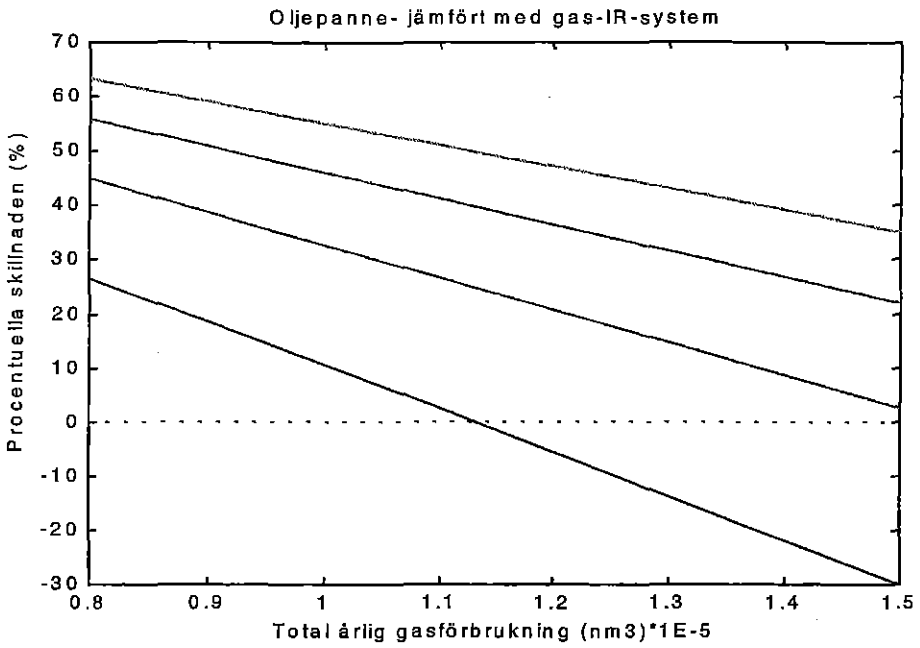


Diagram 9.8, Procentuella skillnader för oljepanna jämfört med gas-IR. Oljans energipriset för den nedersta till den översta linjen är 0.15, 0.20, 0.25 resp. 0.30 kr/kWh

Enligt diagram 9.8 görs besparingar i driftkostnaden med gas-IR-systemet jämfört med en oljepanna om priset är lite mindre än 0,20 kr/kWh.

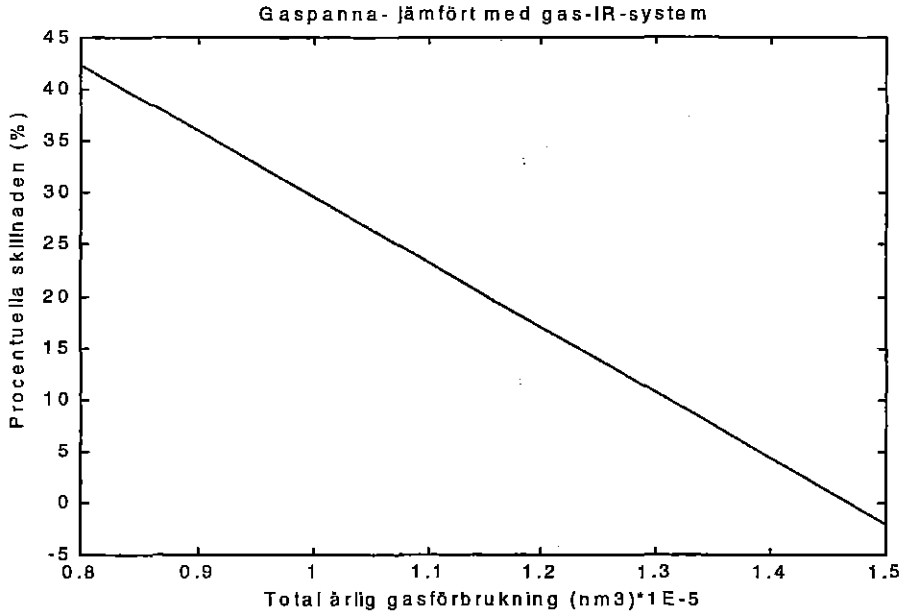


Diagram 9.9, Procentuella skillnader för gaspanna jämfört med gas-IR. Gasens energipris är 0,21 kr/kWh.

Diagram 9.9 visar även procentuella skillnaden i gasförbrukning, eftersom samma energipris har använts. Driftkostnaden för ett gas-IR-system blir 6-47 % lägre jämfört med en gaspanna.

9.7.1 Slutsats, Diskussion

Gasförbrukningen är säkerligen inte den maximalt antagna 150 000 Nm^3 per säsong. Efter att problemet med förbränningen upptäcktes gjordes modifieringar på IR-strålarna. Detta ledde sannolikt till att gasförbrukningen minskade istället för att öka jämfört med föregående säsong 1997/98.
Om gasförbrukningen är 80 000-110 000 Nm^3 blir total driftkostnad 208 000- 278 000 kr/säsong, som är lägre än samtliga luftburna värmesystem i tabell 9.3. Det visar tydligt att kockums IR-system jämfört med ett luftburet är mer lönsamt.

Om ifall ett luftburet system har högre investeringskostnad jämfört med ett gas-IR-system, kommer detta leda till ytterligare ekonomiska fördelar för gas-IR-systemet.

Kockums minskade från 1996 till 1997 sina totala energikostnader med ca 30 %. Installationen av gas-IR-systemet kan enligt diagram 9.7-9.9 medföra besparingar i denna storleksordning jämfört med ett luftburet system. Det är inte säkert att endast installationen av gas-IR har bidragit till minskningen av energikostnaden. Störst besparingar görs sannolikt jämfört med elvärme eftersom energipriset är högre.

10. Investeringskostnad och installerad effekt för lokaluppvärmning med IR-strålare

10.1 Inledning

I detta kapitel görs en undersökning av investeringskostnaden för 8 st olika produktionslokaler. Dessa produktionslokaler har installerat gas-IR-strålare för lokaluppvärmning. Information om investeringskostnaden för dessa lokaler erhölls från leverantören. En investeringskostnad för installation av el-IR, istället för gas-IR, uppskattas i avsnitt 10.3.

10.2 Gas-IR

På Amgas Industrigassystems hemsida på internet [49] finns en referenslista på lokaler med gas-IR-strålare installerade. Efter samtal med Johannes van Roode på Amgas IGS erhölls investeringskostnaderna (kr/m^2) för IR-systemen. Tabellen nedan visar investeringskostnaden för produktionshallarna.

Plats		*Golvarea*	*Installerad effekt*	*Förhållande*		*Grundinvestering*
nr	namn	m^2	kW	kW/m^2	kr/m^2	kkr
1	Yxhult	2800	816	0.2914	**220**	616
2	Siporex	10000	3120	0.3120	**250**	2 500
3	Profilgruppen	3000	216	0.0720	**150**	450
4	Forsbacka Järnverk	800	372	0.4650	**300**	240
5	Bulten	2400	800	0.3333	**250**	600
6	Surahammar Bruk	10000	1620	0.1620	**200**	2 000
7	Aga Cryo	5500	960	0.1745	**210**	1 155
8	Torpedo	1200	240	0.2000	**220**	264

Tabell 10.1, Total grundinvesteringskostnad, gas-IR med naturgas, Plats nr 8 har valts som referens

Grundinvesteringen är beroende av vilken gas som används. Om propan eldas behövs en förångare som kostar ungefär 100 000 kr. Värden på golvarea och installerad effekt erhölls från referenslistan på internet.

För att enkelt kunna bestämma investeringskostnaden gjordes diagram 10.1, där förhållandena kostnad/golvyta, (kr/m^2) avsattes som funktion av installerad effekt/golvyta, (W/m^2).

Ökad effekt ger naturligtvis högre grundinvesteringskostnad. Vilken effekt som installeras i en lokal har behandlats i kapitel 7.
I grundinvesteringskostnaden ingår arbetskostnaden för montering av IR-strålarna. Detta görs av personal från Amgas IGS.

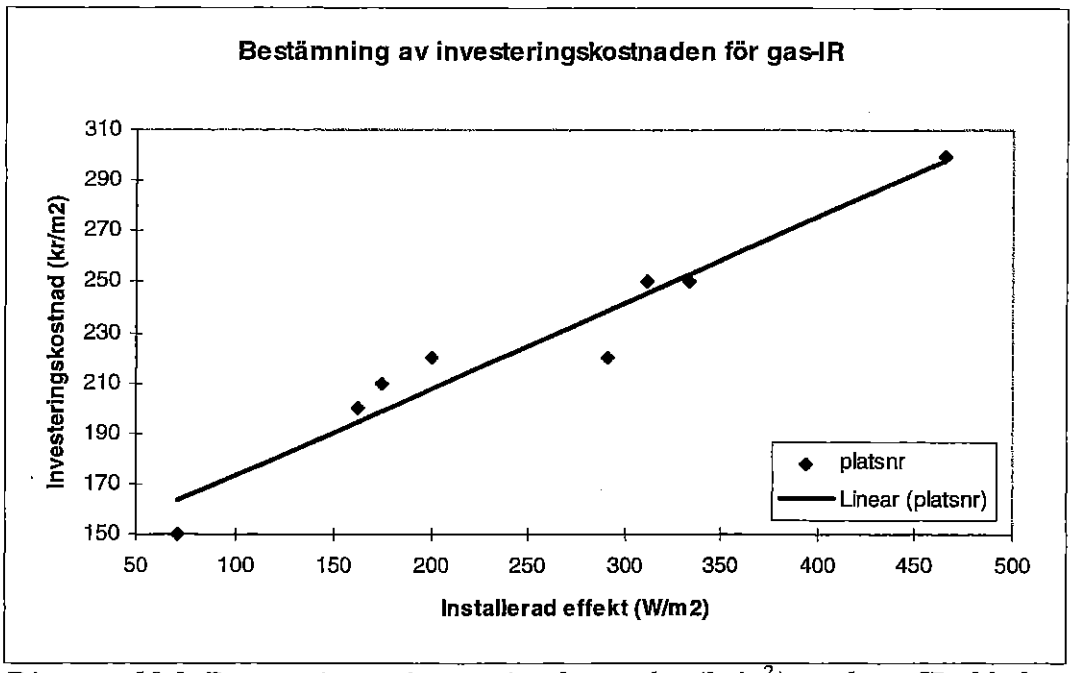


Diagram 10.1, Bestämning av investeringskostnaden (kr/m^2), med gas-IR eldad med naturgas

Ekvation (35) är sambandet för den räta linjen i diagram 10.1. I ekvationen betecknar g investeringskostnaden (kr/m^2) och q är installerad effekt (W/m^2).

$$g=0,3431*q+138,79 \quad (kr/m^2) \qquad (35)$$

10.3 El-IR

10.3.1 Kostnaden för IR-elementen

Leverantörer av IR-strålare kontaktades för att erhålla grundinvesteringskostnaden för IR-strålare. Enligt Pavima Teknik AB [33] är deras tumregeln för uppskattning av kostnaden 65 kr per uppvärmd golvyta med arean ca 1000 m^2 och installerad effekt 50-60 W/m^2. I kostnaden ingår IR-elementen och styr- och reglersystemet. Arbetskostnaden för installationen ingår inte.

Frico i Partille [37] använder inte någon tumregel för grundinvesteringskostnaden, utan den bedöms från fall till fall.

10.3.2 Kostnad för arbetet och indirekt material

Kostnadspålägget för arbetet och indirekt material bestämdes utifrån Elektro Sandbergs beräkning, bilaga 15, och Pavin [33]. Kostnadspålägget blev 127 % (se bilaga 16).

10.3.3 Ekvation för uppskattning av investeringskostnad

För att bestämma hur mycket investeringskostnaden för IR-elementen förändras vid en förändring av installerad effekt kan ekvation (36) användas.

$$\left(\frac{g}{g_{ref}}\right)=\left(\frac{q}{q_{ref}}\right)^{n} \qquad (36)$$

Om exponenten, n är <1 och om referensvärde finns kan ekvationen tolkas på följande sätt.
Om förhållandet (q/q_{ref}) är 2,5 blir (g/g_{ref}) ca 2 ggr större vid exponenten, n=0.8.
Denna metod har använts för att uppskatta investeringskostnaden för installation av el-IR-strålare.

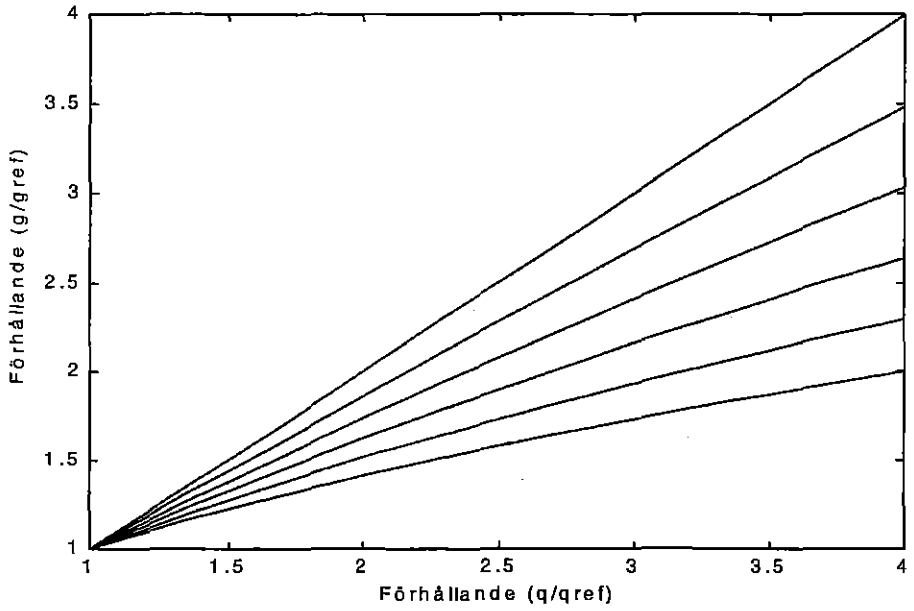


Diagram 10.2, Beräkningar med ekvation 36, Exponenten, n är för den nedersta till den översta kurvan 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 och 1.0

10.3.4 Uppskattning av investeringskostnaden

Tumregelpriset som anges ovan gäller bäst för lokaler med parametrarna, 1000 m^2 och 50-60 W/m^2. Vid installation av den dubbla effekten, så kommer inte investeringskostnaden att bli dubbelt så hög, dvs installation av ca 110 W/m^2 leder inte till kostnaden 130 kr/m^2. Referensvärde för en el-IR-installation, som används vid beräkningar med (36), valdes enligt.

$q_{ref,el}=60\ W/m^2$
$g_{ref,el}=65\ kr/m^2$

Enligt Pavin [50] blir investeringskostnaden 60-70 % högre då installerad effekt/m^2 dubbleras. Därför har det antagits att exponenten, $n=0.7$, enligt diagram 10.2.

Beteckna, z som förhållandet mellan verkningsgraden för gas- respektive el-IR. Verkningsgraden, η definieras som förhållandet mellan strålningseffekt och installerad effekt.

$$z = \frac{\eta_{gas}}{\eta_{el}}, \qquad 0 < z < 1 \tag{37}$$

Verkningsgraden för el-IR antags vara större än gas-IR om villkoret, 0<z<1 gäller.

P_s är den strålningseffekt man önskar i lokalen. Denna är lika för gas- och el-IR eftersom människorna i lokalen skall uppleva samma komfort för båda alternativen. Ekvation (38) används för att bestämma installerad el-IR-effekt i lokalen

$$\begin{aligned} P_s &= \eta_{gas} * P_{gas} \\ P_s &= \eta_{el} * P_{el} \qquad \Rightarrow \\ P_{el} &= \frac{\eta_{gas}}{\eta_{el}} * P_{gas} = z * P_{gas} \end{aligned} \tag{38}$$

Parametern, z kan även tolkas som förhållandet mellan total installerad eleffekt och gaseffekt.

I tabell 10.2 visas resultaten av beräkningarna då z=0,5. Den installerade effekten varieras sedan i diagram 10.3 och 10.4.

Plats nr	***Golvarea***	***Installerad effekt***	***q***	***g***	***Grundinvestering(kkr)***		
	m^2	kW	W/m^2	kr/m^2	el-IR-element	arbete	totalt
1	2800	408	146	121	339	430	**769**
2	10000	1560	156	127	1269	1611	**2880**
3	3000	108	36	45	136	173	**310**
4	800	186	233	168	134	170	**305**
5	2400	400	167	133	319	405	**724**
6	10000	810	81	80	802	1018	**1820**
7	5500	480	87	84	465	590	**1055**
8	1200	120	100	93	112	142	**253**

Tabell 10.2, Totala investeringskostnaden för ett el-IR-system. Total installerad el-effekt är 0,5 gånger total gas-IR-effekt. Exponenten, n=0.7

I tabell 10.2 beräknas q och total investeringskostnad enligt ekvationerna (39) och (40). Kostnadspålägget för arbetet (127 %) är inkluderad i talet 2,27.

$$q = \frac{(Total\ installerad\ gas - IR - effekt) * z}{Golvarea} \qquad (39)$$

$$g = \left(\frac{q}{q_{ref}}\right)^{n} * g_{ref} * 2{,}27 \qquad (40)$$

I tabell 10.3 visas en jämförelse av investeringskostnaden för gas-IR respektive el-IR då z=0,5.

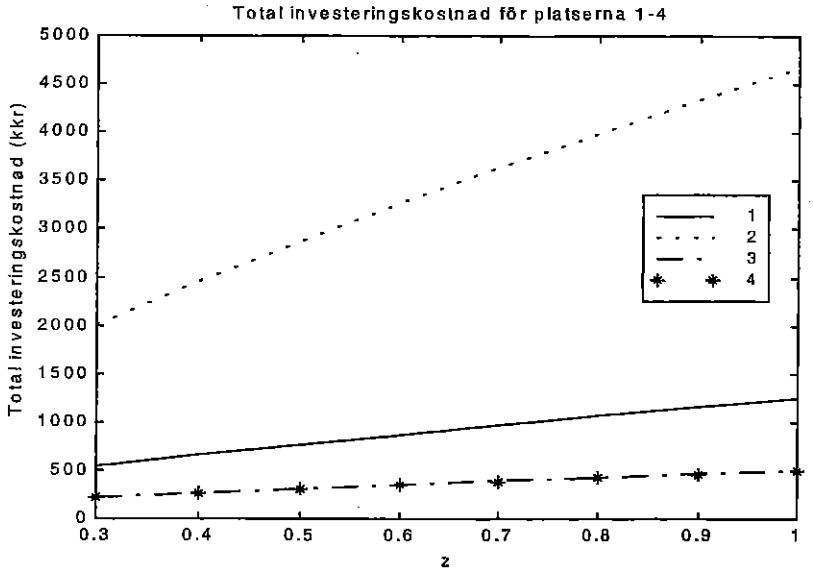
Plats		Investeringskostnad (kkr)		Eleffekt
nr	namn	el	gas	W/m²
1	Yxhult	769	616	146
2	Siporex	2880	2500	156
3	Profilgruppen	310	450	36
4	Forsbacka Järnverk	305	240	233
5	Bulten	724	600	167
6	Surahammar Bruk	1820	2000	81
7	Aga Cryo	1055	1155	87
8	Torpedo	253	264	100

Tabell 10.3, Jämförelse av investeringskostnad för el resp gas

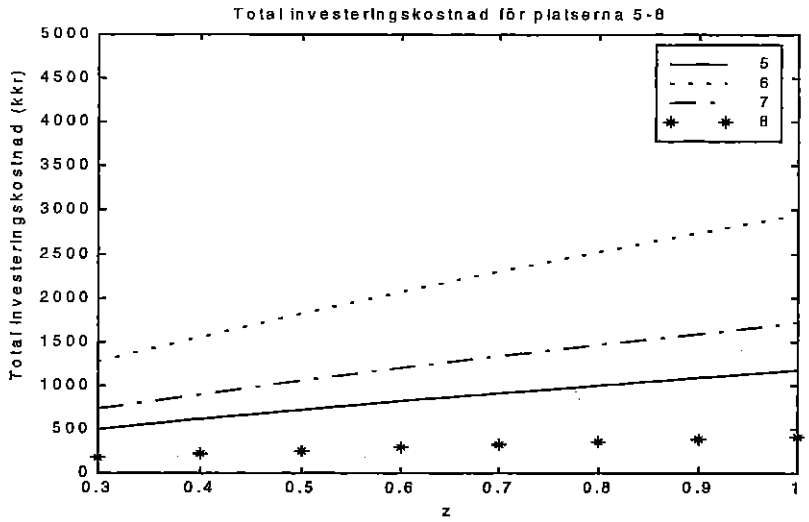
För platserna Profilgruppen (3), Surahammar Bruk (6), Aga Cryo (7) och Torpedo (8) är investeringskostnaden för el-IR-strålare mindre än för gas-IR. Dessa fyra platser har den installerade eleffekten mindre än eller lika med 100 W/m^2.
Diagram 10.3 och 10.4 visar hur den totala investeringskostnaden förändras med olika installerade effekter. Diagram 10.3 avser platserna 1-4, och diagram 10.4 platserna 5-8.

10.4 Jämförelse, Gas-IR och el-IR

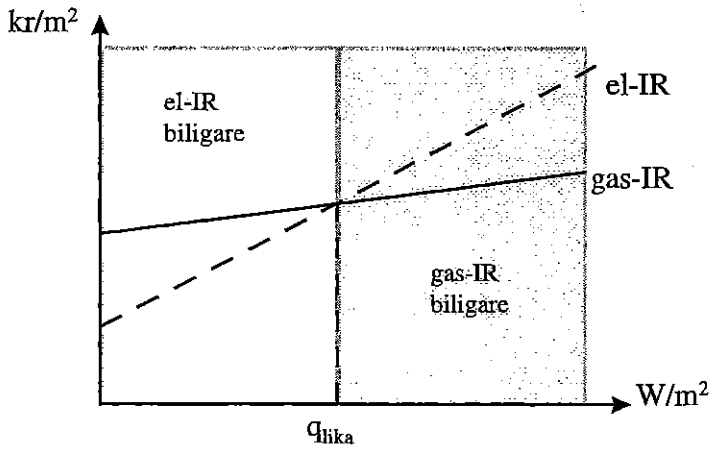
Nedan jämförs investeringskostnaden för gas- och el-IR för varje plats.
Förhållandet mellan verkningsgraden för gas- respektive el-IR, dvs z har valts till 0,2-1,0. Diagram gjordes där investeringskostnaden (kr/m^2) som funktion av installerad effekt (W/m^2) visades.



Diagam 10.3, Totala investeringskostnaden för platserna 1-4



Diagam 10.4, Totala investeringskostnaden för platserna 5-8

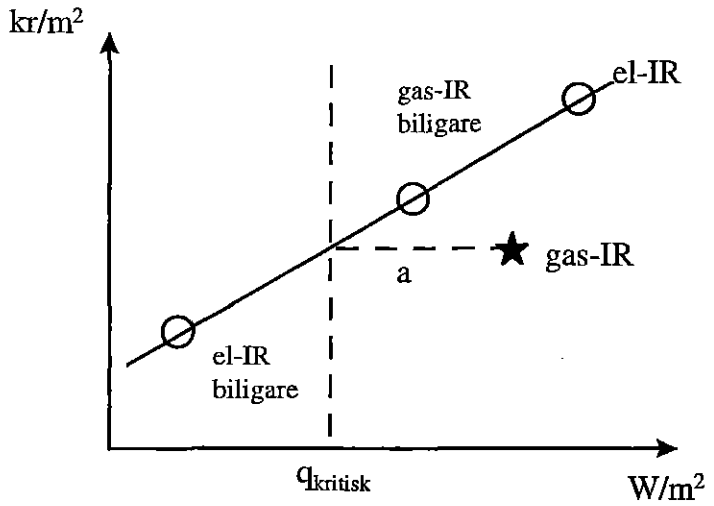


Figur 10.1, Principdiagram för bestämning av mest fördelaktiga investering

Figur 10.1 visar hur diagrammen kan tolkas.
Vid en viss installerad effekt, q_{lika}, kan det bestämmas vilken installation, gas- eller el-IR, som ger lägst investeringskostnad. Gas- och el-IR-installationen måste då ha samma installerad effekt för att man skall kunna bestämma för vilket alternativ investeringskostnaden blir högre eller lägre.
Diagram 10.6-13 visar att q_{lika} är 69 W/m^2. Om installerad effekt, gas- eller el-effekt, är lägre än 69 W/m^2 blir investeringskostnaden lägre för el-IR-installationen.

I diagrammen 10.6-13, visar cirklarna på den heldragna linjen z-värde för el-installationen. Första cirkeln motsvarar z=0.2, andra cirkeln z=0.3, osv tills z=1.0. Linjen utan cirklar är samma som visas i diagram 10.1, (enligt ekvation (35)). Krysset visar gas-IR-installationens värde för den plats diagrammet gäller.

För att bestämma vilken installation som är bäst för varje enskild plats måste en jämförelse göras enskilt.
I figur 10.2 visas hur man kan bestämma vilken installation som har högre eller lägre investeringskostnad.



Figur 10.2, Principdiagram för jämförelse för specifik plats

Stjärnan (kryss i diagram 10.6-13) visar gas-IR-systemets värde på installerad effekt och kostnad för den undersökta platsen.
En horisontell linje, (a) dras från stjärnan till kurvan som representerar el-IR-installationen. Genom att göra en avläsning i diagrammen där linjen (*a*) skär kurvan för el-IR-installationen kan z-värdet bestämmas (med hjälpa cirklarna).
Även $q_{kritisk}$ kan bestämmas. Om den installerade eleffekten är högre än $q_{kritisk}$ kommer investeringskostnaden för el-IR bli högre än gas-IR.

Tabell 10.4 visar den kritiska installerade eleffekten och z-värdet för alla platser. Vid $q_{kritisk}$ är installationskostnaden lika för både el-IR och gas-IR.

Värdena som anges i tabellen är beräknade i EXCEL, och därför kanske dom inte stämmer exakt överens med värdena i diagram 10.6-13.

Plats		z	$q_{kritisk}$ (W/m²)	Installerad effekt (kW) el	gas	Investeringskostnad (kkr)
1	Yxhult	0.37	108	302	816	616
2	Siporex	0.41	128	1279	3120	2500
3	Profilgruppen	0.85	71	184	216	450
4	Forsbacka Järnverk	0.36	167	134	372	240
5	Bulten	0.38	127	304	800	600
6	Surahammar Bruk	0.57	92	923	1620	2000
7	Aga Cryo	0.57	99	547	960	1155
8	Torpedo	0.45	90	108	240	264

Tabell 10.4, Bestämning av kritiska värden för de olika platserna

Ur tabell 10.4 kan man avläsa för vilka installerade eleffekter, $q_{kritisk}$ och vilka z-värden som el-IR-installation skall anta för att investeringskostnaden skall bli lika med gas-IR-installationens.

För att generellt bestämma z-värdena och den installerade effekten (gas och el), som ger samma investeringskostnad kan man använda sig av ekvationerna (35) och (40). Investeringskostnaden för el-IR består av kostnaden för el-IR-element och arbetskostnaden. Total investeringskostnad (kr/m²) för el-IR beräknas då enligt ekvation (41).

$$g_{el} = \left(\frac{q_{el}}{60}\right)^{0.7} * 65 * 2.27 \qquad (41)$$

Total investeringskostnad (kr/m²) för gas-IR beräknas enligt ekvation (42).

$$g_{gas} = 0{,}3431 * q_{gas} + 138{,}79 \qquad (42)$$

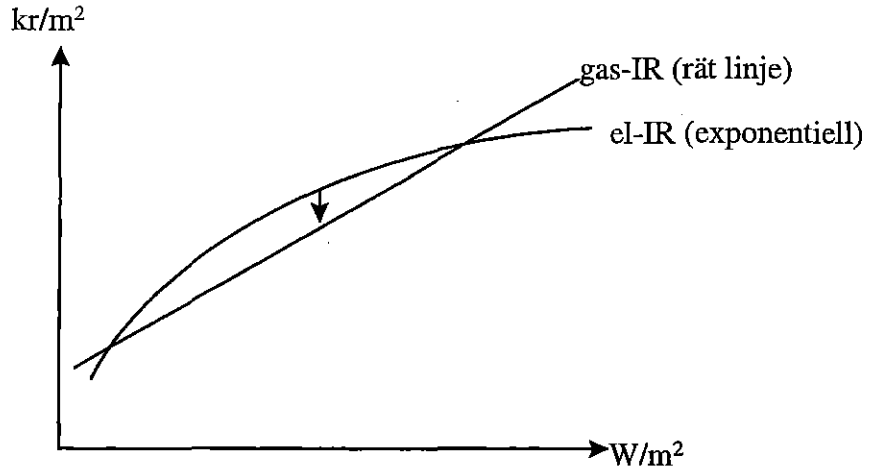
Areorna för alla lokaler är konstanta. Då kan man skriva om ekvation (38) enligt ekvation (43).

$$q_{el} = z * q_{gas} \qquad (43)$$

Om ekvationerna (41) och (42) sätts lika, dvs $g_{el}=g_{gas}$ och q_{el} i ekvation (41) ersätts med $z*q_{gas}$ kan man för varje z lösa ut q_{gas} från ekvation (44).

$$0.3431 * q_{gas} + 138.79 = \left(\frac{z * q_{gas}}{60}\right)^{0.7} * 65 * 2.27 \qquad (44)$$

Lösningarna för ekvationen visas i en figur 10.3.



Figur 10.3. Lösningar, q_{gas}, för ekvation 44

Då z-värdet minskar kommer kurvan för el-IR att sjunka. Till slut tangerar den exponentiella kurvan den räta linje och endast en lösning finns. Då z-värdet sjunker ytterligare kommer ekvationen inte ha några reella lösningar.

Den installerade gaseffekten, q_{gas}, beräknades i MAPLE och de numeriska lösningarna visas i tabell 10.5.

z	$q_{gas,1}$ (W/m²)	$q_{gas,2}$ (W/m²)
1.00	69.0	41030
0.90	79.0	31785
0.80	92.4	23812
0.70	111	17058
0.60	141	11467
0.50	192	6970
0.40	311	3456
0.35	481	1977
0.33	712	1266
0.32	835	1068

Tabell 10.5, Bestämda lösningar, qgas för ekvation 44

Lösningar, $q_{gas,1}$ avsätts som funktion av z i diagram 10.5.
Investeringskostnaden för ett el-IR-system jämfört med ett gas-IR-system kommer alltid att bli lägre då $z \leq 0{,}32$. I det gråa området i diagram 10.5 är investeringskostnaden för ett gas-IR-system lägre än ett el-IR-system.

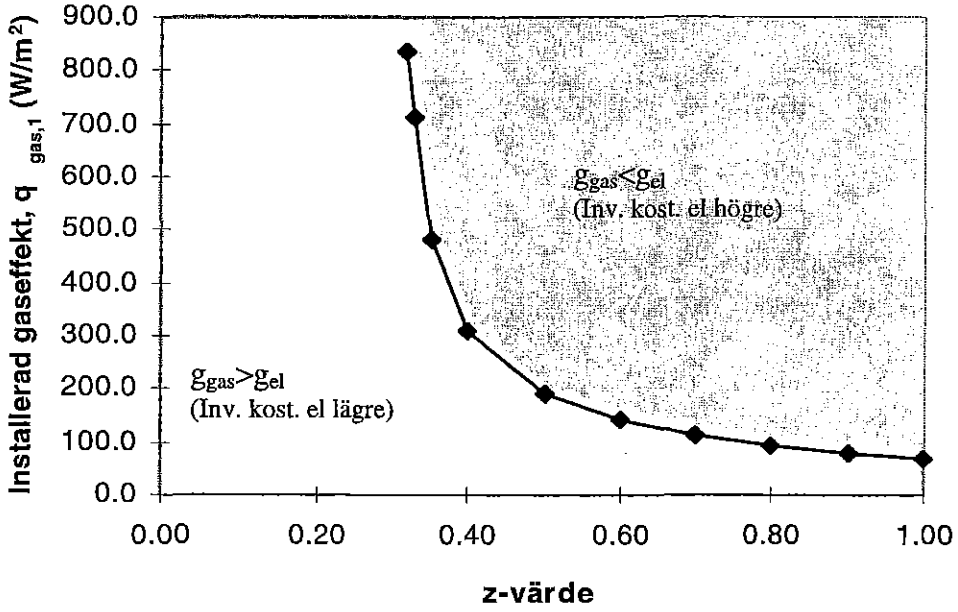


Diagram 10.5, Installerad gaseffekt, $q_{gas,1}$, som funktion av z

Lösningen på ekvation (44) har två lösningar då z>0.32, vilket gör att om den installerade gaseffekten överstiger $q_{gas,2}$ kommer det igen bli mer ekonomiskt fördelaktigt med ett el-IR-system.
Dock är lösningen, $q_{gas,2}$ orimlig eftersom så höga effekter inte installeras.
Installerad effekt vid z=0,5 är 6970 W/m^2 enligt tabell 10.5.

För att belysa orimligheten kan ett enkelt exempel för Kockums lokal beskrivas. Kockums lokal har den totala arean 7000 m^2. Den totala installerade effekten skull vid q=6970 W/m^2 blir hela 49 MW, vilket kan jämföras med den verkliga totala effekten 1750 kW. Eventuellt skulle man då istället kunna använda lokalen som "världens största bastu".

Nedan följer diagram 10.6-13. Varje plats visas i ett eget diagram, vilket leder till att antalet diagram är 8 st.

Plats 1, Yxhult

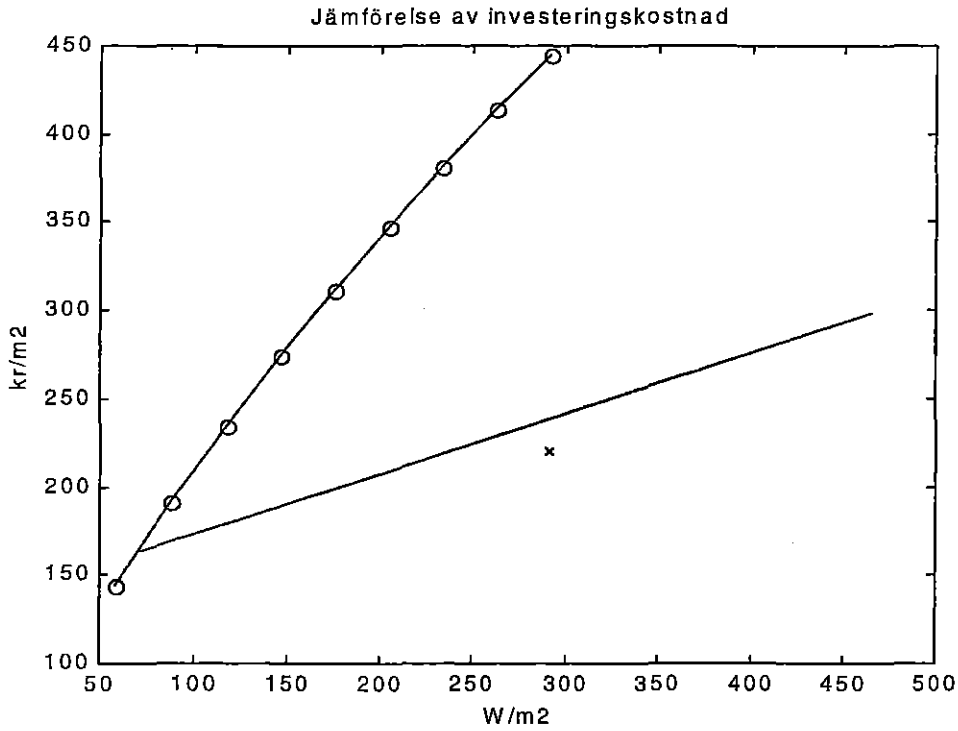


Diagram 10.6, Jämförelse investeringskostnad, Yxhult

Plats 2, Siporex

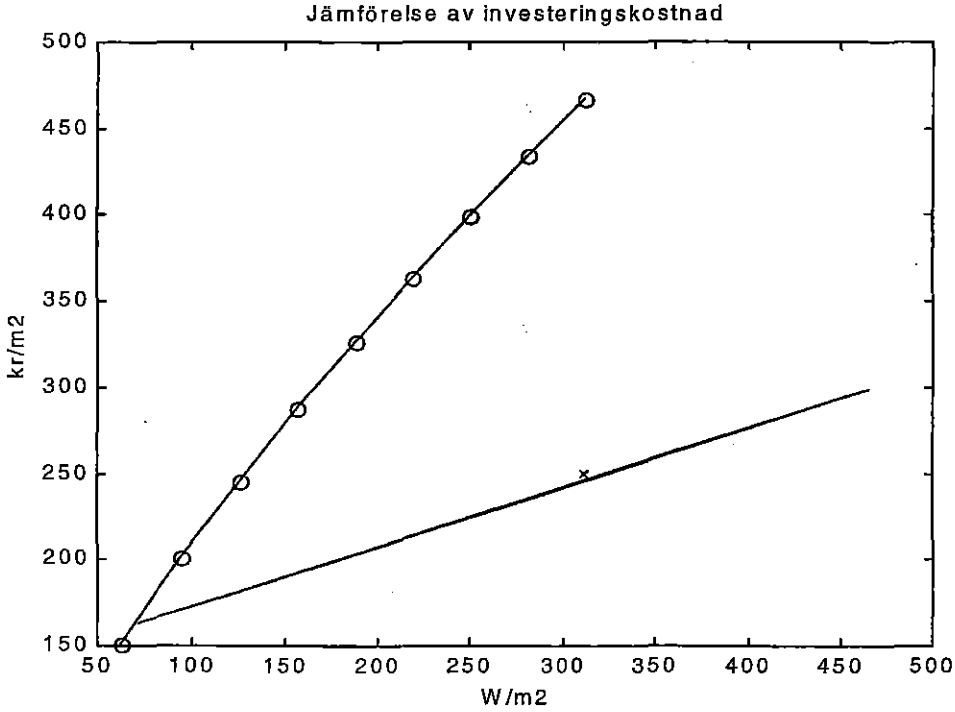


Diagram 10.7, Jämförelse investeringskostnad, Siporex

Plats 3, Profilgruppen

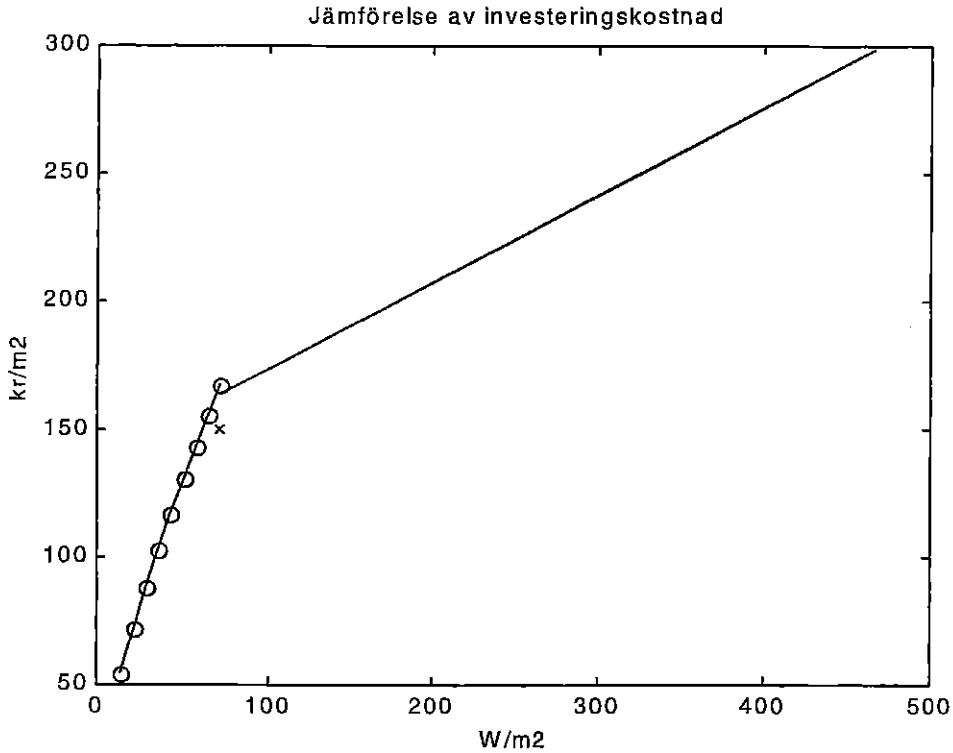


Diagram 10.8, Jämförelse investeringskostnad, Profilgruppen

Plats 4, Forsbacka Järnverk

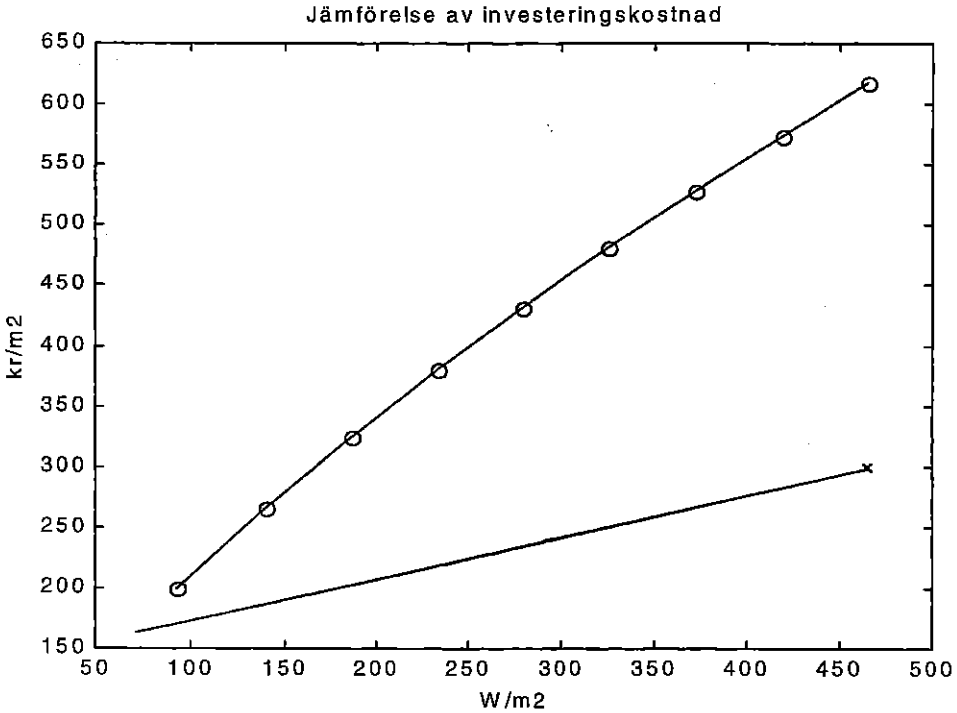


Diagram 10.9, Jämförelse investeringskostnad, Forsbacka Järnverk

Plats 5, Bulten

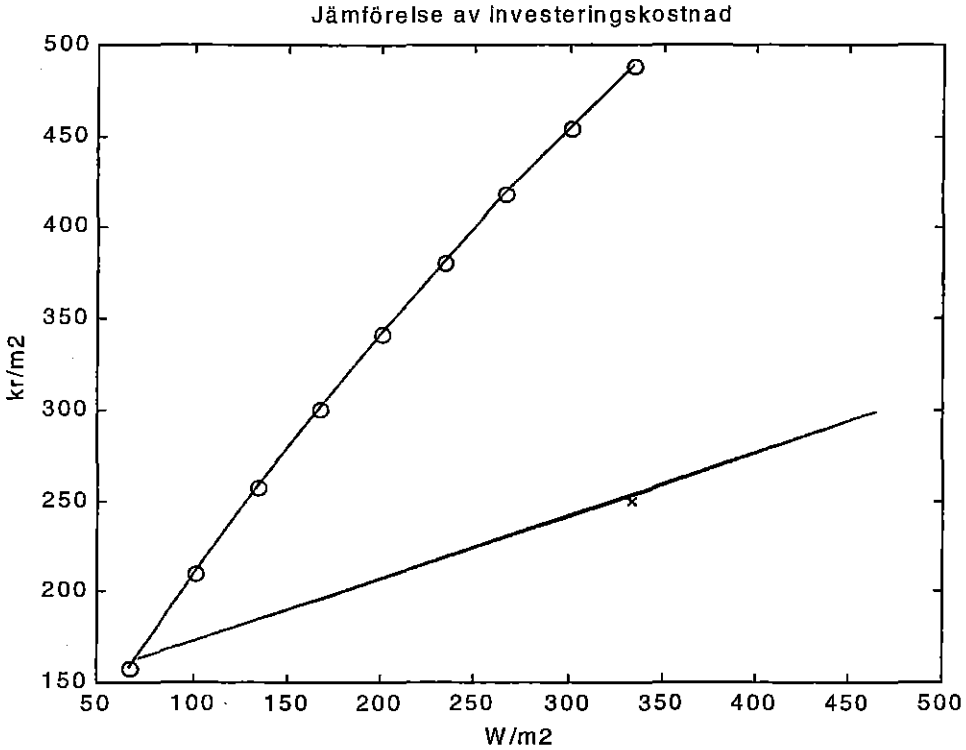


Diagram 10.10, Jämförelse investeringskostnad, Bulten

Plats 6, Surahammar Bruk

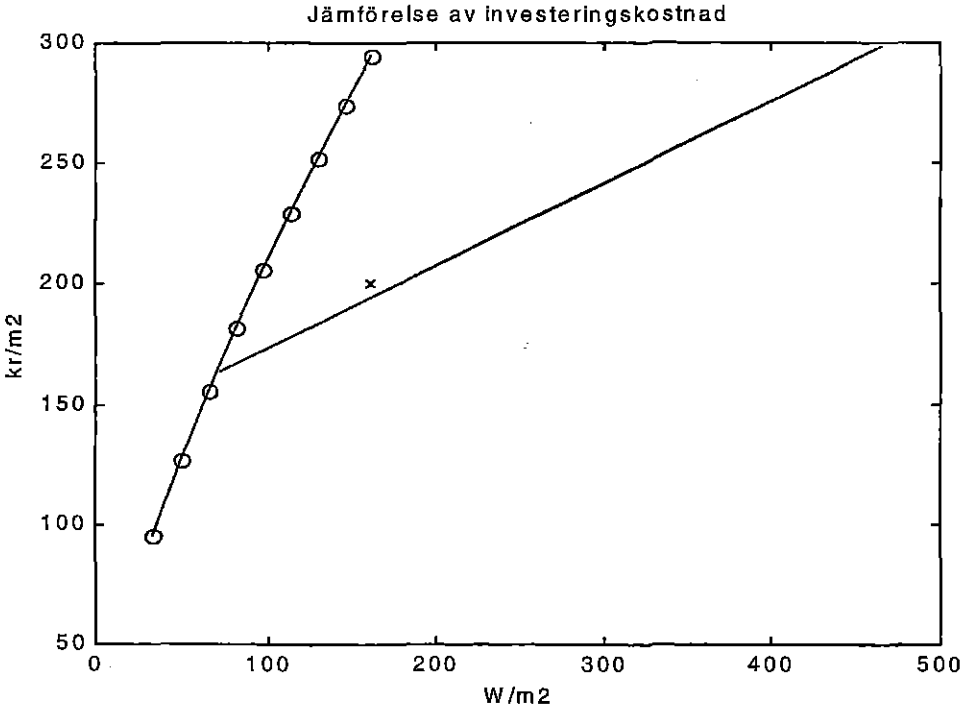


Diagram 10.11, Jämförelse investeringskostnad, Surahammar Bruk

Plats 7, Aga Cryo

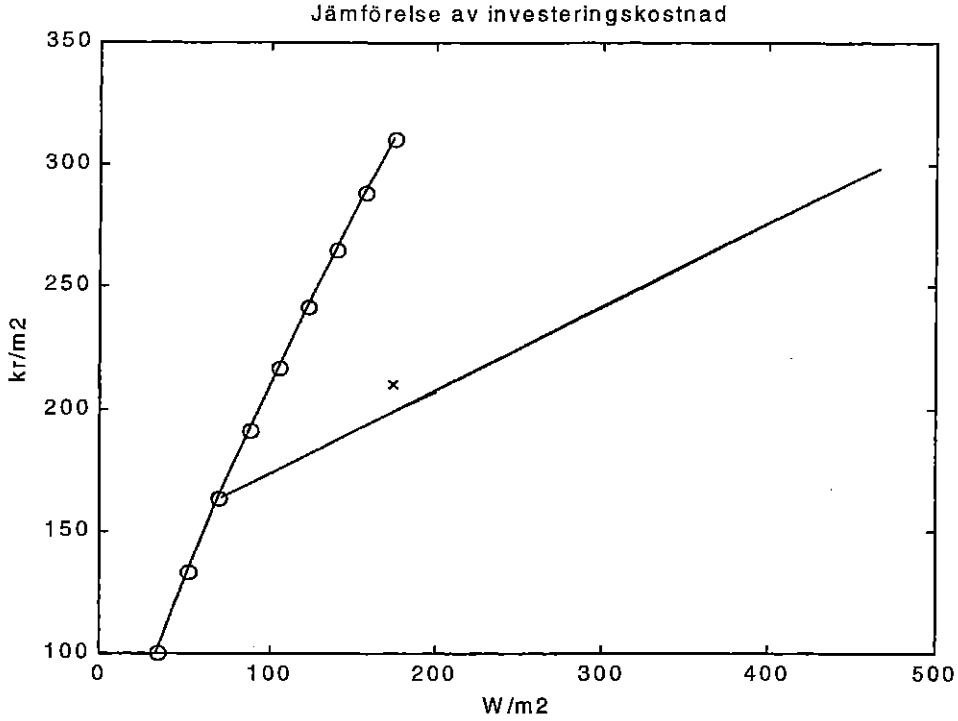


Diagram 10.12, Jämförelse investeringskostnad, Aga Cryo

Plats 8, Torpedo

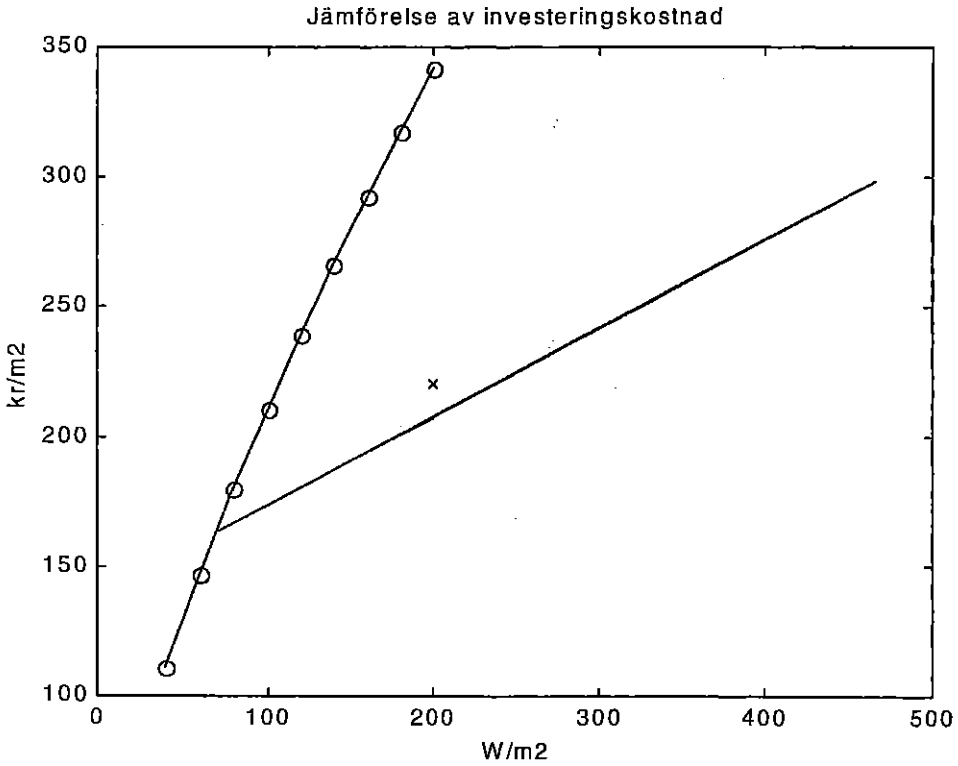


Diagram 10.13, Jämförelse investeringskostnad, Torpedo

10.5 Slutsats, Diskussion

Om den installerade effekten är lika för gas- respektive el-IR är investeringskostnaden för ett el-IR system lägre om installerad effekt är mindre än 69 W/m^2 (n=0,7). Motsvarande installerade effekt för exponenten, n=1 är 66 W/m^2.

Strålningseffekten från en el-IR strålare antags vara högre än en gas-IR. Då behövs det inte installeras lika mycket eleffekt som gaseffekt för att personerna i lokalen skall uppleva samma temperatur.

I en rapport av Bédard [54, s. 273] bestäms verkningsgraden för olika sorters gas-IR-strålare och el-IR-strålare. För dessa IR-strålare blir förhållandet mellan verkningsgraden på gas-IR-strålarna och el-IR-strålarna inom intervallet, z = 0,4-0,8. z-värden utanför detta intervall är knappast troligt för olika IR-strålare.

Om z=0,4 blir investeringskostnaden för el-IR jämfört gas-IR lägre om den installerade gaseffekten är under 311 W/m^2. Om z istället är 0.8 är motsvarande värde 92 W/m^2.

Om z hamnar utanför intervallet 0,4 -0,8 blir investeringskostnaden för el-IR alltid lägre om $z \leq 0,32$.

Vid projektering av ett IR-system för lokaluppvärmning behövs naturligtvis en grundligare undersökning och en jämförelse mellan offerter från flera leverantörer måste göras för att bestämma vilket system som ur ekonomisk synpunkt är bäst.

11. Slutsatser

11.1 Allmänt

Vid projektering av ett IR-system är det många faktorer som påverkar valet av exempelvis IR-strålare och installerad effekt. Ekonomiska beräkningar styr nog valet till stor del. Andra faktorer kan var tillgången till eldningsgas, om bestruket papper eller baspapper skall torkas och typ av lokal.

Vid besök på ett företag menade en intervjuad person att leverantörerna av IR-strålare hellre pekar på konkurrenternas fel än förklarar fördelarna med sin produkt. Kunskap inom företaget vid projekteringen underlättar valet. Företagets kunskap om behoven och önskemålen gör att valet av leverantör kan underlättas, och antalet IR-strålare att välja mellan blir färre.

Inget direkt samband har funnits som visar vilken strålare som lämpar sig bäst för de olika tillämpningarna.

11.2 Torkning av papper

Installationen av IR-strålare har i samtliga fall gjorts med syftet att förbättra processen eller produkten. På Stora Nymölla installerades de första IR-strålarna för att erhålla bättre kvalite på det bestrukna pappret. IR-strålare var bäst jämfört med andra alternativ. Skjern Papirfabrik ökade sin produktion av papper när IR-strålarna hade installerats. Alternativen, exempelvis flera ångcylindrar, hade varit sämre jämfört med IR-strålare.

Problemen med kylluften vid Stora Nymölla AB påverkar indirekt IR-strålarna. Detta visar att hela systemet måste fungera tillsammans för att full effekt och önskade mål skall uppnås. I mars 1999 var det fortfarande problem med IR-ramarna, om det beror på otillräckligt kylluftsflöde eller leverantörens problem att leverera reservdelar har ej undersökts.
SCA Ortviken valde gas-IR dels för att kunna erhålla högre temperatur på torkluften i bestrykningsmaskinen. Detta är ännu ett exempel på hur IR-strålarna är del av ett helt system.

Både el- och gas-IR används till torkning av bestruket papper. Med hjälp av motreflektorer förbättras energieffektiviteten.

11.3 Lokaluppvärming

Mätning och verkningsgrad

Mätningarna som gjordes för att bestämma strålningseffekten vid golvet var osäkra. Det finns säkert mer förfinade metoder och mätinstrument för att mäta strålningsenergin för en IR-strålare. Problemen med mätningarna visar på att det är svårt att noggrannt mäta låga strålningseffekter. Strålningen från omgivningen är i samma storleksordning vilket leder till IR-strålarnas beräknade strålningseffekt blir osäker. Enligt mina mätningar blev de uppmätta effekterna vid golvet 31 W/m^2 i Bröderna Edstrands lokal och 42 W/m^2 i Kockums lokal.

Verkningsgraden för Kockums gas-IR-strålare bestämdes till 36 % och för Bröderna Estrands el-IR-strålare blev verkningsgraden högre än 100 %, vilket naturligtvis är omöjligt. Flera faktorer påverkade upptagen strålningsenergi för vattnet i den öppna lådan. I mina mätningar mättes den totalt upptagna strålningseffekten, och denna effekt tilldelades IR-strålarna.
De olika driftsätten för IR-strålarna i de båda lokalerna bidrar kanske till att mätningarna blev osäkra och verkningsgraden på Bröderna Edstrands blev orimlig.

För att erhålla korrekta mätningar måste strålningen från IR-strålarna och övrig omgivning bestämmas enskilt. Då kan man säga vilken strålning som kommer från IR-strålarna och sedan beräkna verkningsgraden.

Driftkostnader

Det visade sig att stora besparingar kan göras i driftkostnader för ett IR-system jämfört med ett luftburet värmesystem. Störst besparingar kan göras om man installerar ett IR-system istället för ett elvärmesystem. Driftkostnaden för Bröderna Edstrands lokal är 36-62 % lägre jämfört med elvärmesystem.

Driftkostnaderna för Kockums lokal är 53-72 % lägre jämfört med ett elvärmesystem om el-energipriset är 0,50 kr/kWh och gasförbrukningen 80 000-150 000 Nm^3/säsong. Om el-energipriset minskas till 0,20 kr/kWh blir besparingen 21-55 %.

Skillnaderna i driftkostnader påverkas naturligtvis av energiförbrukningen och priset för energibäraren i det luftburna värmesystemet.

Investeringskostnader

Investeringskostnaden bestämdes för ett antal produktionslokaler i Sverige. För att bestämma den totala investeringskostnaden för ett el-IR-system användes en beräkningsmodell som visas i ekvation (45).

$$\left(\frac{g}{g_{ref}}\right) = \left(\frac{q}{q_{ref}}\right)^n * konstant \qquad (45)$$

I konstanten i ekvation (45) ingår kostnadspålägget för installationsarbete. Den installerad eleffekten (W/m^2) bestämdes utifrån givna gas-IR-effekter.

Det bestämdes att investeringskostnaden blir lägre för en el-IR-installation om den installerade effekten är mindre än 69 W/m^2, (n=0.7). Vid bestämning av detta värde togs ingen hänsyn till att el-IR oftast har högre strålningseffekt. Här antags att de installerade effekterna är samma.

De olika platserna undersöktes också med varierande eleffekt i förhållande till installerad gaseffekt. Rimliga z-värden för IR-strålare är enligt litteraturen [54] 0,4-0,8. Om z hamnar utanför intervallet 0,4-0,8 blir investeringskostnaden för el-IR alltid lägre om $z \leq 0{,}32$.

Om z=0,4 blir investeringskostnaden för el-IR jämfört gas-IR lägre om den installerade gaseffekten är under 311 W/m^2. Motsvarande installerad gaseffekt för z=0,8 är 92 W/m^2.

Vid projektering av ett IR-system för lokaluppvärmning behövs naturligtvis en grundligare undersökning och en jämförelse mellan offerter från flera leverantörer göras för att bestämma vilket system som blir billigast.

Investeringsbedömning, IR-system jämfört med luftburet

Vid val av värmesystem för en lokal anses det vara ekonomiskt fördelaktigt att investera i ett IR-system jämfört med ett luftburet system med exempelvis oljepanna. Denna slutsats baseras på beräkningarna som gjordes för lokalerna på Bröderna Edstrands och Kockums.

För el-IR-strålarna på Bröderna Edstrands är driftkostnaden i samma storleksordning som ett luftburet värmesystemen med olje- eller gaspanna. På grund av högre investeringskostnad för ett system med olje- eller gaspanna, blir det fördelaktigt att investera i ett el-IR-system

På grund av att IR-strålarna på Bröderna Edstrands har ett annorlunda driftsätt gör kanske att denna lokal inte är representativ vid en jämförelse med ett luftburet system. Fördelarna med IR-strålare utnyttjas inte fullt ut i lokalen. Den största fördelen med IR-strålarna är att de kan tas i drift under de perioder människor behöver uppleva en högre temperatur, och IR-strålarna kan sedan vara avstängda under resten av tiden. Men beräkningarna som gjordes visar ändå att besparingar kan göras.

Gas-IR strålarna på Kockums hade jämfört med ett luftburet värmesystem tydligt lägre driftkostnad. Om även investeringskostnaden tas med i den ekonomiska bedömningen förbättras ytterligare investeringen av ett gas-IR-system jämfört med ett luftburet.

12. Vidare undersökningar

12.1 Torkning av papper

För att bestämma energieffektiviteten för en pappers- eller bestrykningsmaskin måste en energibalans göras. Ekonomiska beräkningar av exempelvis drift- och installationskostnaden kan göras, för att sedan göra en ekonomisk bedömning.

12.2 Lokaluppvärmning

Mätningar, Verkningsgrad

För att beräkna strålningen från övrig omgivning kan temperaturen på väggar och inventarier mätas.

Mätningarna kan eventuellt göras närmare IR-strålaren. Strålningen från den övriga omgivningen kommer då inte bli så stor i förhållande till strålningen från IR-strålaren. De närliggande IR-strålarnas bidrag kommer också att minska.
Det kan eventuellt vara svårt att göra mätningar närmare IR-strålaren på ett företag där verksamhet pågår i lokalen.

För att få bättre mätningar måste omgivningen för vattnet i de båda lådorna vara lika. Om försöken utförs enligt denna rapport måste man kompensera för denna olikheten.

Driftkostnader

För båda lokalerna kan förbrukningen av naturgas respektive el undersökas mer noggrannt för att mer exakt kunna bestämma driftkostnaderna under en viss tidsperiod. För att göra en ekonomisk bedömning behöver även grundinvesteringskostnaderna undersökas.

Investeringskostnad

För att göra en mer noggrann jämförelse kan offerter från leverantörer efterfrågas för en antagen eller befintlig lokal. En mer korrekt jämförelse av investeringskostnaden kan då göras utifrån leverantörernas uppgifter.
Svårigheten med detta kan vara leverantörernas olika vilja att samarbeta, om inte en verklig affärsmöjlighet föreligger.

12.3 Torkning av lacker

För att göra en jämförelse måste en el-IR-anläggning för torkning av lacker undersökas. Exempelvis kan energieffektiviteten, driftkostnaden och investeringskostnaden jämföras. Valet av el-IR eller gas-IR beror eventuellt på vilken sorts lack som torkas. En användares val av olika IR-strålare kan då göras enklare.

13. Beteckningar

Strålningsteori, Kapitel 2

Beteckning	Enhet	Betydelse
E	W	Strålningens totala energi
E_λ	W/m^2	Energifluxet för specifik våglängd
I	W/m^2	Totalt energiflux
A	m^2	Area
σ	$W/(m^2*K^4)$	Stefan-Boltzmans konstant $\sigma=5{,}67*10^{-8}$ $W/(m^2*K^4)$
T	Kelvin	Temperaturen
h	Js	Plank's konstant
c_0	m/s	Ljusets hastighet i vaccum
n	-	Brytningsindex för mediumet n=1 för vakuum
k	J/K	Boltzmans konstant $k=1.3806*10^{-23}$ J/K
λ	m	Strålningens våglängd
ρ	-	Reflektiviteten
ε	-	Emissionsförhållandet
α	-	Absorbansen
τ	-	Transmittansen
θ	Radianer	Referensvinkel mot en viss riktning

Index

b	Svart kropp (black body)
r	Reflekterad strålning
a	Absorberad strålning
t	Transmitterad strålning

Lokaluppvärmning, Kapitel 7

T	°C eller K	Temperatur

Index

s	Strålningstemperatur
r	Upplevd temperatur
l	Luftens temperatur

Beteckningar vid beräkningar av industrimätningar, Kapitel 8

t	s	Tid för mätningstillfällena
Q_{temp}	J	Upptagen energi för höjning av vattentemperaturen
Q_{avd}	J	Upptagen energi för avdunstning
Q_{tot}	J	Total upptagen energi för vattnet
m	kg	Vattnets massa
$C_{p,v}$	J/(kg*°C)	Specifika värmekapaciteten för vatten
$\Delta H_å$	kJ/kg	Specifik ångbildningsentalpi
$Q_{skillnad}$	J	Skillnad i upptagen energi
P_s	W	Strålningseffekt
q_s	W/m^2	Strålningseffekten för en IR-strålare
η	-	Verkningsgrad
F	-	Vinkelfaktor
T	K	Temperatur

Byggnaders Värmebehov, BV95, Kapitel 9

d	m	Skiktets tjocklek
l	W/(m*K)	Värmeledningen för ett material
R	$(m^2*K)/W$	Värmemotstånd
U	$W/(m^2*K)$	Värmegenomgångskoefficient
Ql	GJ	Värmeförluster
Qs	GJ	Solinstrålning genom fönster och öppningar
Qi	GJ	Interna värmetillskottet
Qg	GJ	Samlat värmetillskott, Qs+Qi
Qh	GJ	Nettovärmeenergi som måste tillföras lokalen
ny	-	Hur stor del av gratisvärmen som kommer till nytta
gamma	-	Qg/Ql, förhållandet mellan gratisvärme och totala värmeförluster
Abr	m^2	Uppvärmd golvarea (Bruttoareal)
Td	h	Antalet timmar per vecka
Qvm	$liter/(s*m^2)$	Ventilations mängd
Ng	-	Värmeåtervinningens verkningsgrad i ventilationen
Qid	$liter/(s*m^2)$	Infiltrationen vid drift av ventilation
Qis	$liter/(s*m^2)$	Infiltrationen vid driftstopp av ventilationen
dQ	GJ/år	Värmeförluster i ventilationen per år

Bestämning av investeringskostnader, Kapitel 10

q	W/m^2	Installerad effekt
g	SEK/m^2	Grundinvesteringskostnad per ytenhet
n	-	Exponent
z	-	Förhållande mellan verkningsgrad, el och gas
η	-	Verkningsgrad
P_s	W	Total installerad effekt
q_{lika}	W/m^2	Installerad effekt är lika för gas och el, oberoende z-värdet
$q_{kritisk}$	W/m^2	Installerad eleffekt lika vid lika investeringskostnad, gas-IR och el-IR

Index

ref	Referensvärde
gas	Gas-IR
el	El-IR

14. Referenser

1. Kara, M.; *Jämförelse mellan industriell IR-teknik baserad på el och gas*, Imatran Voima Oy, Helsingfors, ss 32-43

2. Kiiskinen, H.; Edelmann, K.; *The use of ceramic burners in paper drying*, Technical Research Center of Finland, Helsinki Symposium on alternative methods of pulp and paper drying, ss 425-436, 1991

3. HyTek DuraNit Radiant System, Optimization Technologies, Inc.; Information från internet: http://www.pulpandpaper.net/ppn.acgi$-DoSuppHome?OPTECH

4. Anderson, P.; Myken, A N.; *Energiforbrug ved fremstilling af papir hos Skjern Papirfabrik*, Projektrapport, Dansk Gasteknisk Center a/s, November 1997

5. Bischof, H.; *The answer is electrical infrared*, Journal of microwave power and electromagnetic energy, vol. 25, No. 1, ss 47-52, 1990

6. Lampinen, M J.; Ojala, K T.; *Efficiencies of different types of infrared dryers*, Helsinki Symposium on alternative methods of pulp and paper drying, ss 381-401, 1991

7. Pettersson, M.; *Drying using infrared radiators. A literature review*, Kemisk Apparatteknik, LUTKDH/(TKKA-7003)/1-64, ss 14, 15, 20-22, 1995

8. Lampinen M J.; Sievänen M.; *An analysis of the efficiency of a radiative dryer*, Sixth international drying symposium, Versailles, ss 195-202, September 1998

9. Pettersson, M.; Stenström, S.; *Evaluation of gas-fired and electrically heated industrial infrared paper dryers*, 1998 International gas research conference, vol. 4, ss 210-221, San Diego, USA, November 1998

10. Owe Jönsson, Svenskt Gastekniskt Center AB, Malmö

11. Björnberg; *Elektro-infrarot-trockner, Praxisergebnisse in nordeuropäischen streichmaschinen*, Wochenblatt fur papierfabrikation 10, s 395, 1988

12. Lampinen, M J.; Ojala, K.; Koski, E.; *Modelling and measurment of infrared dryers for coated paper*, Helsinki University of Technology, s 29, 1990

13. Wirth, D.; *Infrared drying systems help solve coated paper problems*, American paper maker, vol. 53, ss 42-43, November 1990

14. Dahlin, S.; *Grundläggande IR-teknik och industriella tillämpningar*, Energigasinstitutet, LTH, ss 3-10

15. Ehrstedt, T.; *Gas-IR-teknik inom industrin, Användningsområden och översiktlig marknadsanalys*, Rapport SGC 007, 1991

16.Rickard Månsson, Anläggning & Drift, Kockums Industrier AB

17.Amgas Industrigassystem AB, *Installations-, drifts- och skötselinstruktioner för HOAF gas-infravärmare*, Typ R7EL, R14EEL, R17 etc.

18.Broschyr: *Naturgas, Ren Fakta*, Vattenfall Naturgas, 1996

19.Broschyr: Lundquist B, *Bröderna Edstrand, En företagspresentation*, Skogs Grafiska AB

20.Kjell Johannesson, Bröderna Edstrand

21.Josef Matusik, Drift & underhållsansvarig, Bröderna Edstrand

22.Ricardo Björk, Volvo Excavator AB

23.Linde, P.; *Termoreaktorn, Teknisk beskrivning*, Linde Metallteknik AB

24.Broschyr: *Volvo, Corparate Presentation*, AB Volvo(publ),

25.Mats Dalquist, Driftingenjör, Stora Enso, Nymöllabruket, Nymölla

26.Kurt Larsen, Project Engineer, Skjern Papirfabrik, Skjern

27.Corfitz Noren, Avd. för Energihushållning, Lunds Tekniska Högskola

28.Haldo Vedin, SMHI

29.Osmond Järvinen, Driftingenjör, SCA Ortviken

30.Lennart Strandberg, Projektingenjör, SCA Ortviken

31.Örjan Pettersson, SCA Ortviken

32.Broschyr: *Energostrip, Elektriskt takvärmesystem*, Pavima Teknik AB, Malmö

33.Paul Pavin, Pavima Teknik AB, Malmö

34.Johannes van Roode, Amgas Industrigassystem AB, Göteborg

35.Broschyr: *Stora Papyrus Nymölla*

36.Broschyr: *Energiläget 1998*, Statens Energimyndighet

37.Johan Lindau, Frico AB, Partille

38.Civilingenjör Per Linde, Linde Metallteknik AB, Helsingborg

39.Johan Peterson, Amgas Industrigassystem AB, Göteborg

40.Andersen, P.; Jacobsen, L.; *Anvendelsee af naturgasfyrede strålevärmerör til halopvarmning*, Projektrapport, Danskt Gasteknisk Center a/s, Juni 1998

41.Christensen, R.; *Marknadspotential Naturgaseldade industriella IR-strålare*, Rapport SGC 059, 1995

42.Bischof, Horts W.; *Infrared curing in car refinishing*, One day symposium on infra-red curing of paintfilms, London, England, 1984, *Abstract från artikeln*

43.Persson, P-A.; *Papperstorkning med gas-IR, Sammanfattning av ett antal FUD-projekt*, Rapport SGC 025, 1992

44.Sandu, C.; *Infrared radiative drying in food engineering: A process analysis*, Biotechnology Progress, Vol. 2, Nr. 3, ss 109-119, September 1986

45.Johansson, M.; Jansson, Å.; *IR-strålare för industriellt bruk*, Värmeforsk, Stiftelsen för värmeteknisk forskning, ss 19-84

46.Madsen, O.; *Low temperature heating*, DGC, Presentation at the IEA international conference on natural gas technologies, ss 1-13, Augusti 1993

47.Modest, M F.; *Radiative heat transfer*, McGraw-Hill International Editions

48.Karlstedt, B.; Norrdahl, P.; *Lyckad kombination ger bättre torkar*, Nordisk Cellulosa, nr. 4, ss 36-38, 1989

49.http://www.amgas.se/irref.htm

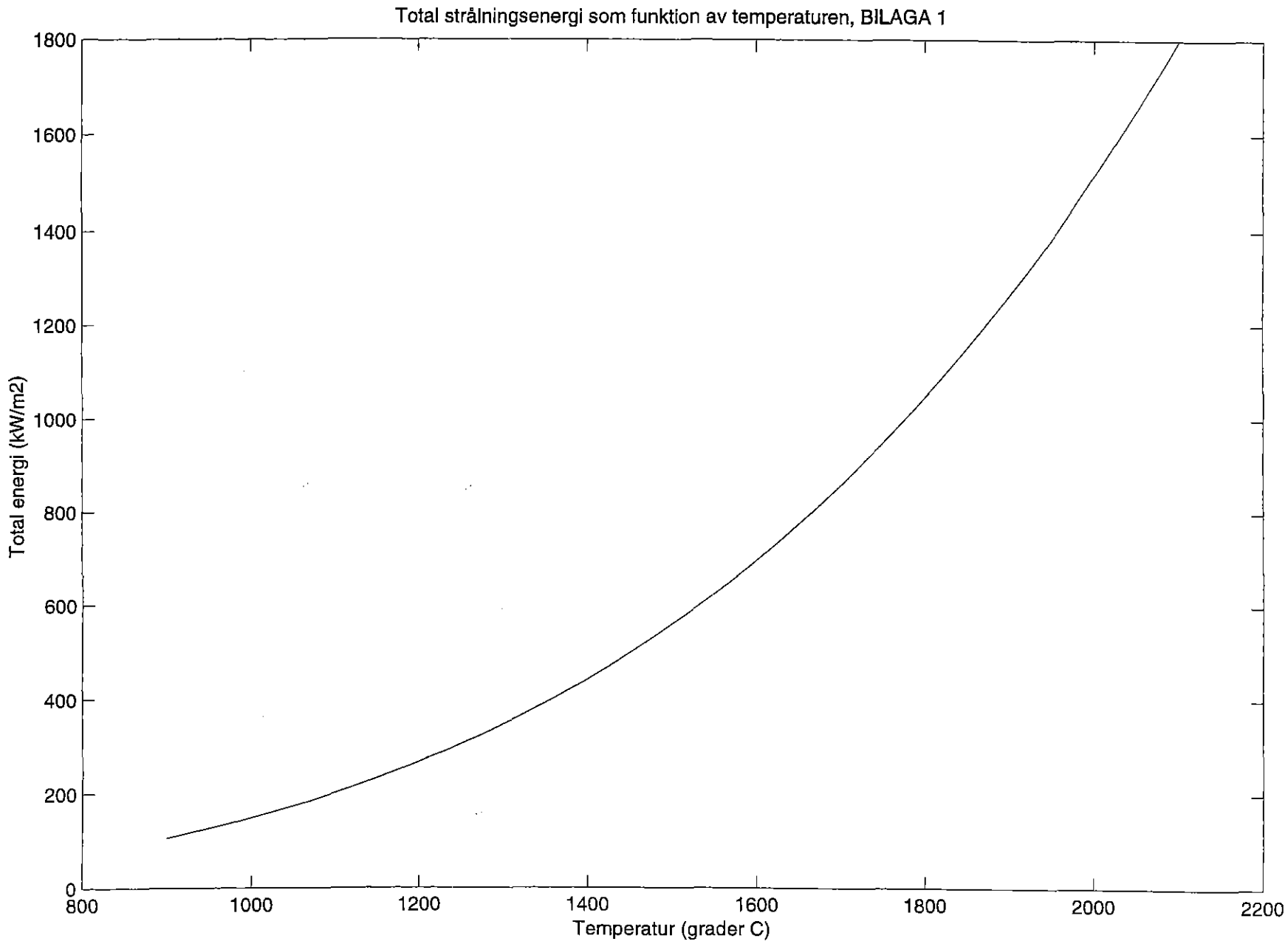
50.Sven Pavin, Pavima Teknik AB, Malmö

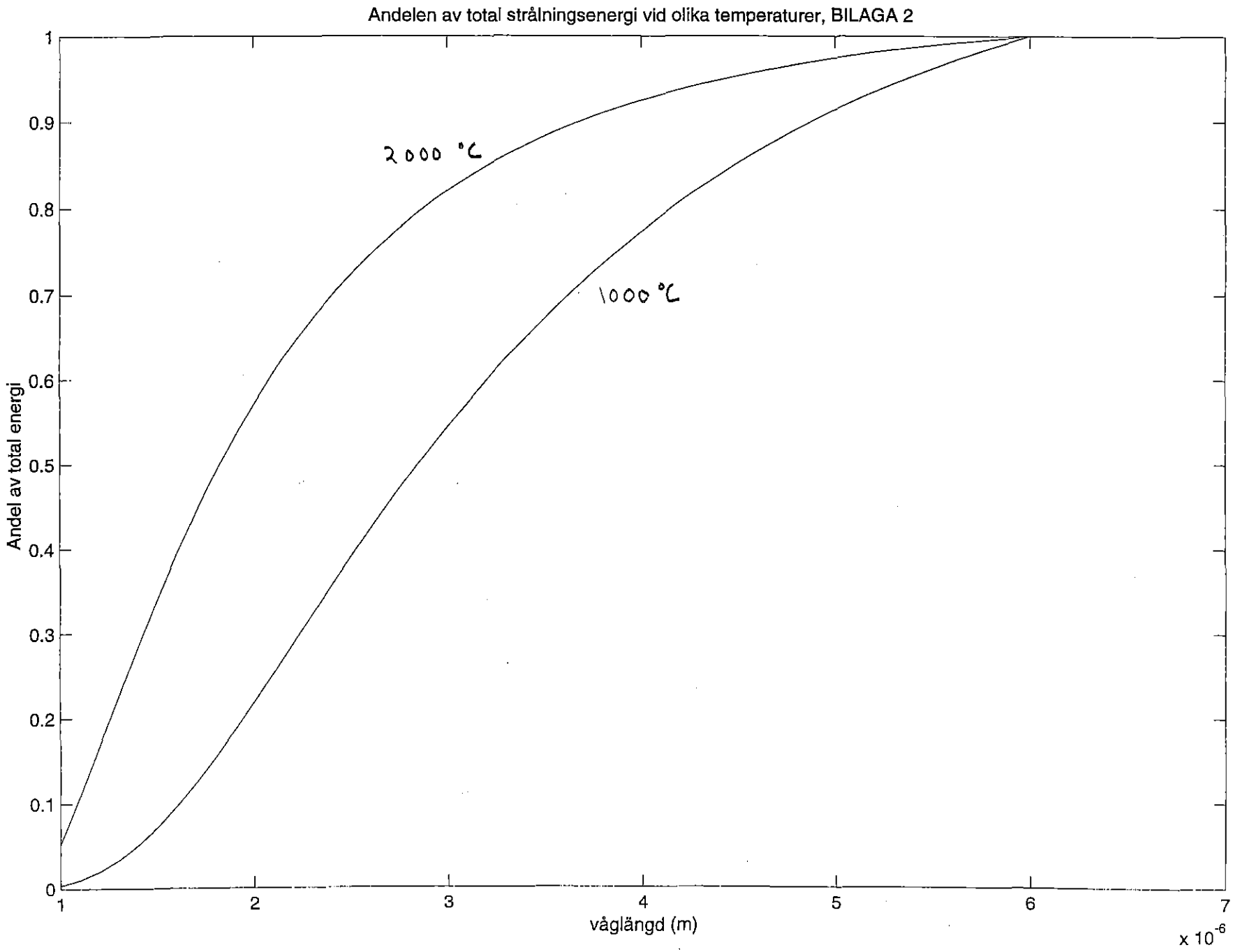
51.Chia-Jung Hsu, *Shape factor equations for radiant heat transfer between two arbitrary sizes of rectangular planes*, The Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 45, ss. 58-60, Februari 1967

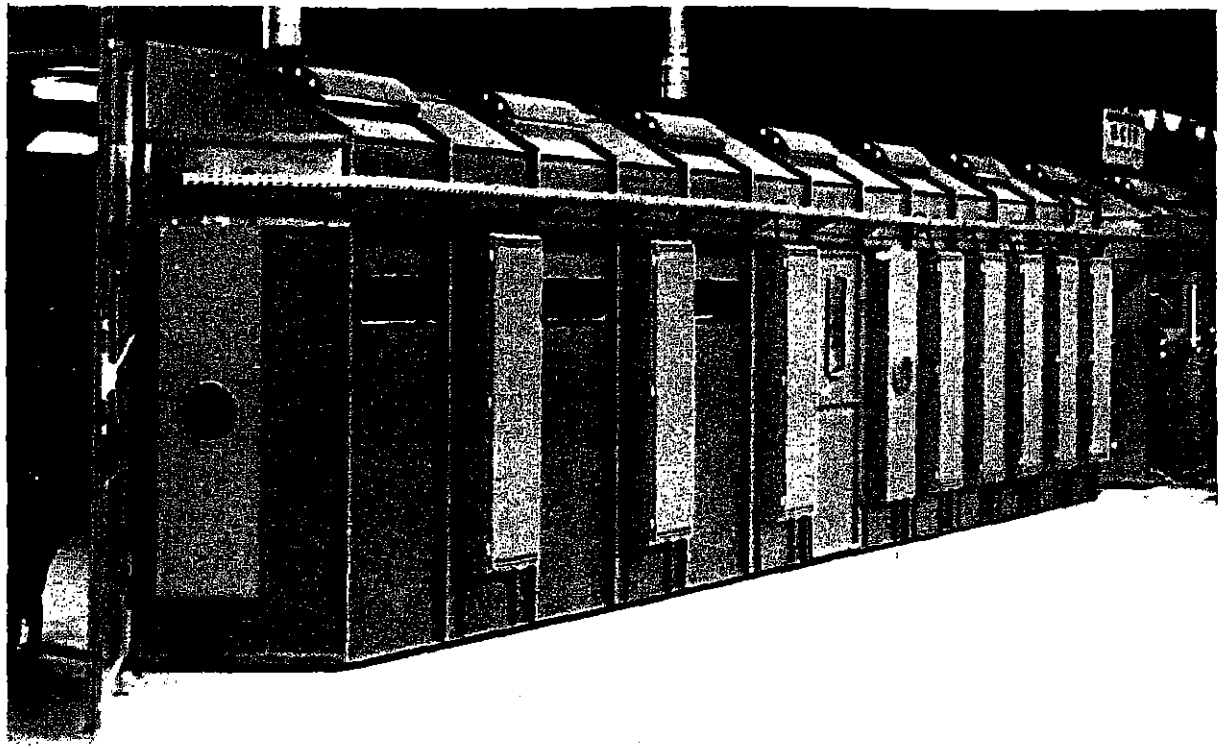
52.Mattson, M.; Pelkonen, J. m.fl; *Infrared drying of coated paper*, International Gas Research Conference, Tokyo, Japan, ss 347-349, November 1989

53.Heikkilä, P.; *A study on the drying process of pigment coated paper webs*, Academic dissertation, Åbo Academy, Department of Chemical engineering, Process Design Laboratory, Report 92-125-A, ISBN 951-650-208-3, ss 105-107, 1993

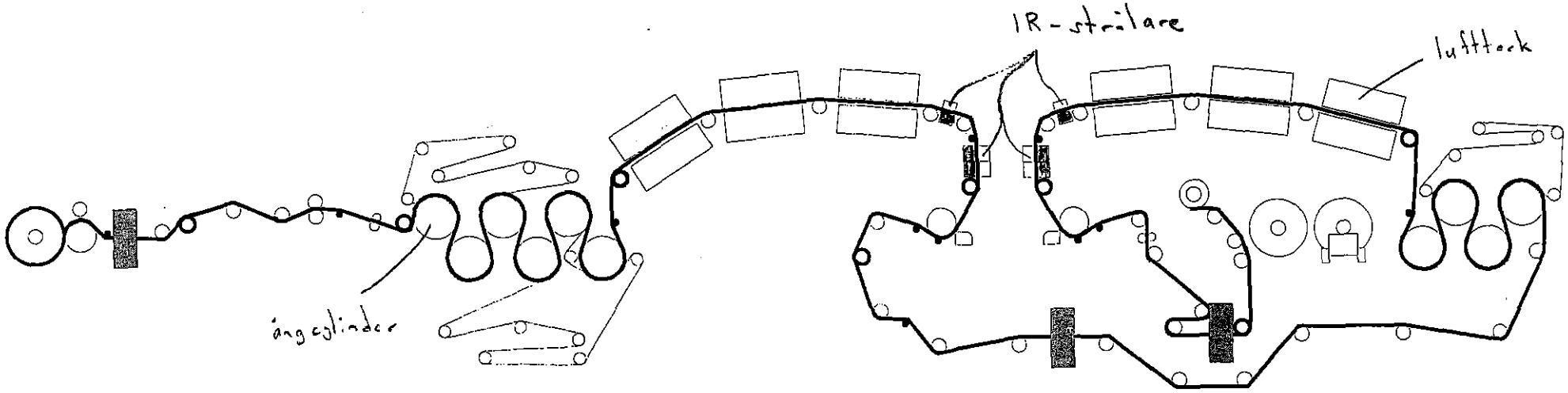
54.Bédard, N.; *Laboratory testing of radiant gas burners and electric infrared emitters*, Experimental heat transfer 11, ss 255-279, 1998


Total strålningsenergi som funktion av temperaturen, BILAGA 1
Total energi (kW/m2)
Temperatur (grader C)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
2200

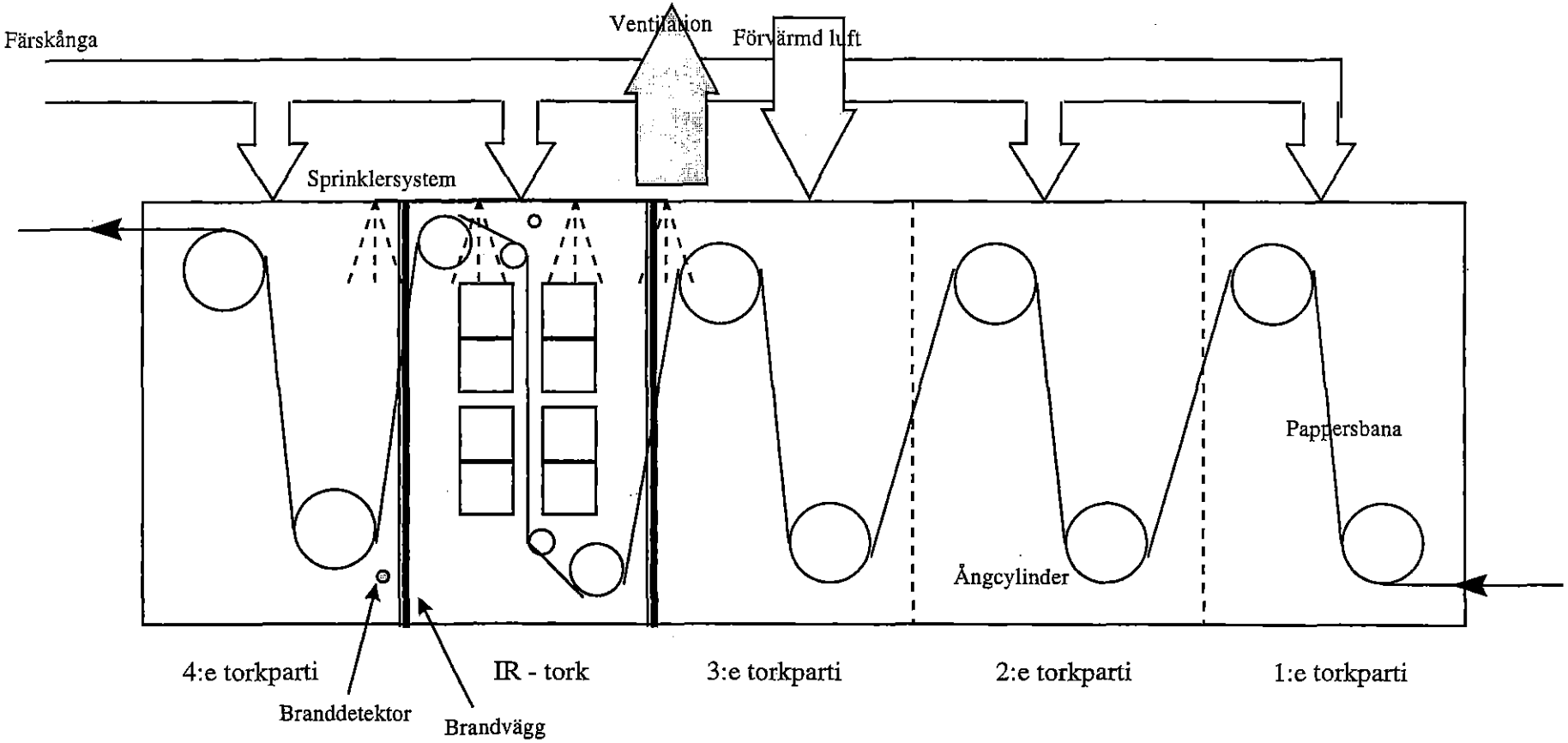

Andelen av total strålningsenergi vid olika temperaturer, BILAGA 2
Andel av total energi
våglängd (m)
x 10^-6
2000 °C
1000 °C
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1
2
3
4
5
6
7



Bilaga 3, Exempel på en termoreaktorugn

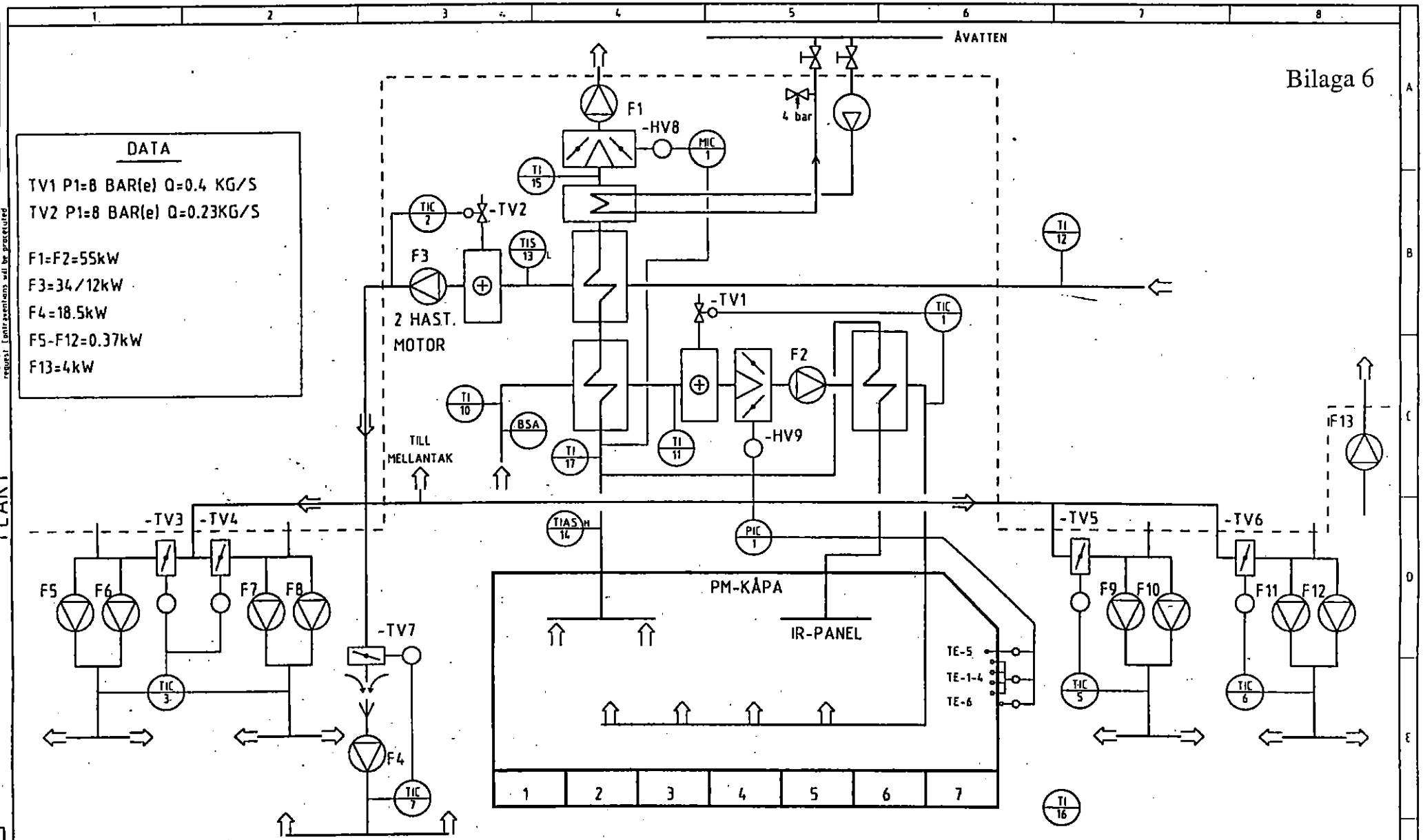


Bilaga 4, Bestrykningsmaskin, Stora Nymölla



Bilaga 5, Skiss över pappersmaskinen på Skjern Papirfabrik

Bilaga 6



DATA

TV1 P1=8 BAR(e) Q=0.4 KG/S
TV2 P1=8 BAR(e) Q=0.23KG/S

F1=F2=55kW
F3=34/12kW
F4=18.5kW
F5-F12=0.37kW
F13=4kW

FLÖDESSCHEMA

Rev.	Ändring	Datum	Sign.
A	MIC1,PIC1,TI17	940309	GE
B	KOMPL IR-PANEL OCH VVX	960717	BH
C	KOMPL VATTEN VVX OCH PUMP	961031	BH

Ritnings namn V3592184/2

Symbolbibliotek FLÄKT-FL

ABB
FLÄKT Industri AB

SKJERN PAPIRFABRIK DANMARK
PM-KÅPA
FLÖDESSCHEMA

Referens nr. A-8739.0001
Ort VÄXJÖ Datum 89 08 31 Rit AER Godk

Ritnings nr. V3592184 Rev. C
Blad 2
Antal 2

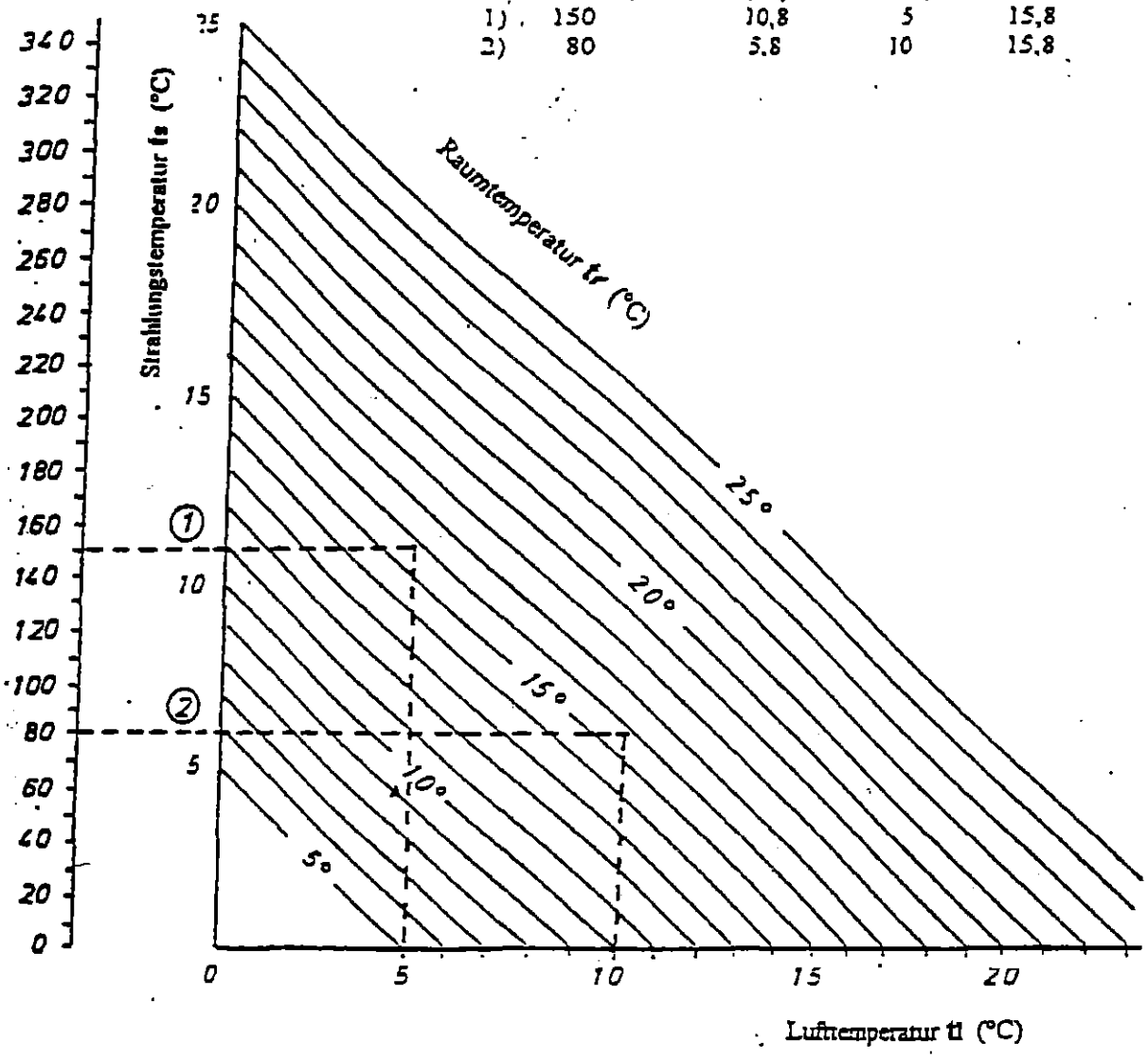
Arkiv disk

COMPUTER GENERATED BY FLÄKT

Ritnings nr V3592184

BEISPIEL:

	Intensität (W/m²)	Strahlungstemp. (°C)	Lufttemp. (°C)	Raumtemp. (°C)
1)	150	10,8	5	15,8
2)	80	5,8	10	15,8

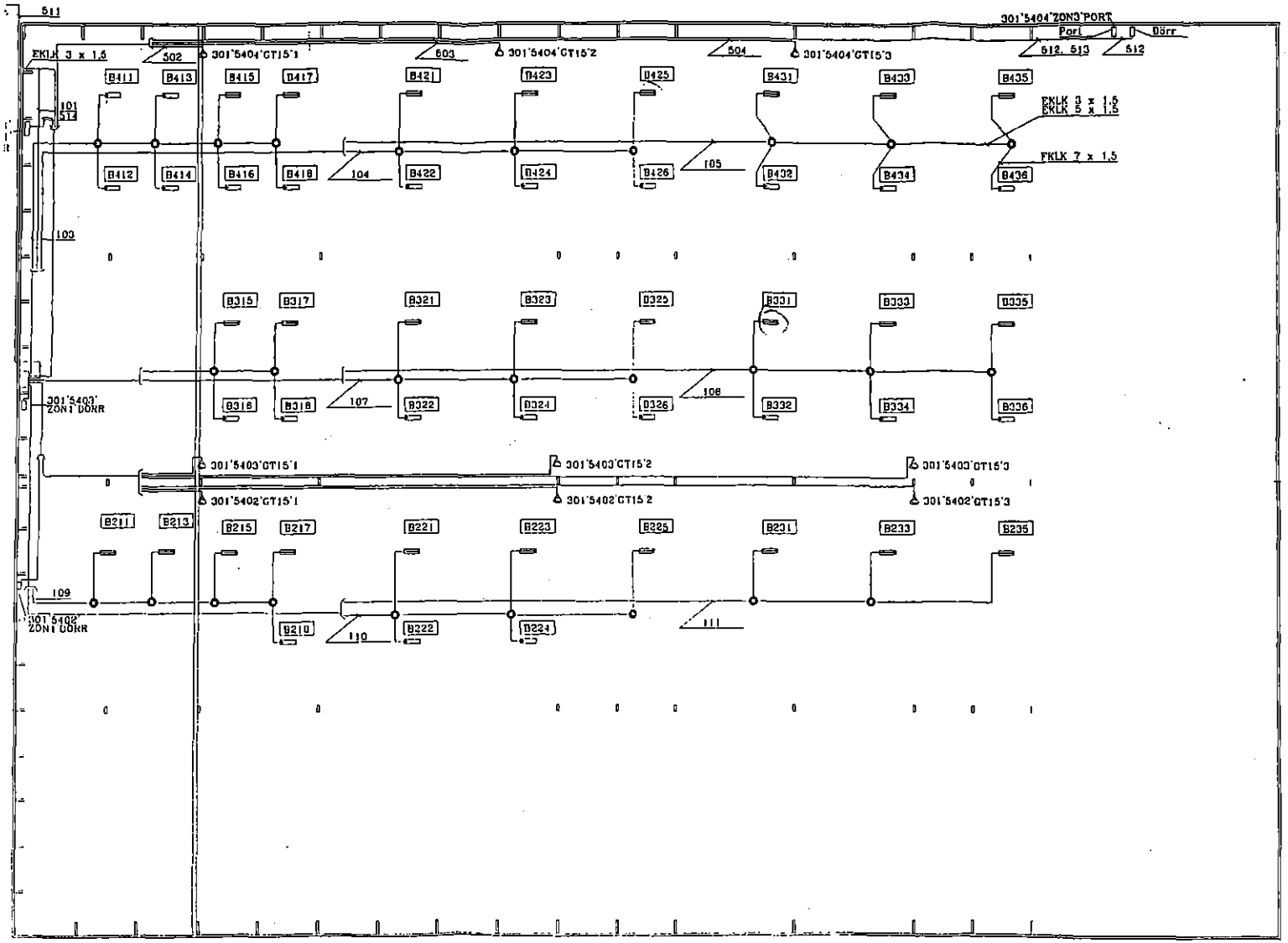


Raumtemperatur nach BEDFORD:

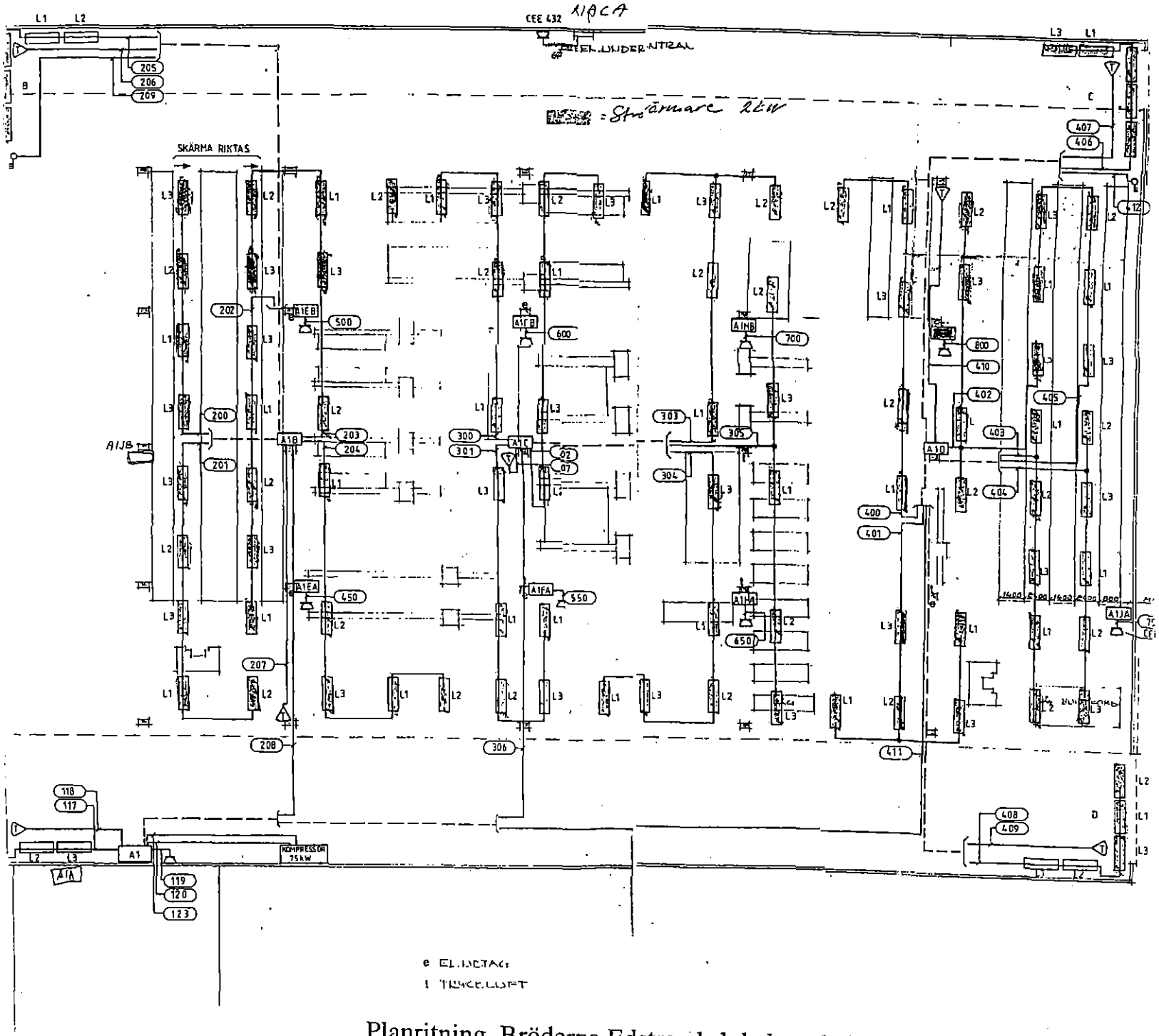
Raumtemperatur		Lufttemperatur		Strahlungstemperatur
tr	=	tl	+	ts

Berechnung der empfundenen Strahlungstemperatur:

Strahlungstemperatur		Strahlungsintensität		Bedfordfaktor
ts	=	Is	x	0,072



Planritning, Kockums lokal med Gas-IR-strålare



Planritning, Bröderna Edstrands lokal med el-IR-strålare

Bilaga 9

6.1 EFFEKTBALANSBERÄKNING

STORHETER	INSTALLERAT		SAMMANLAGRAT
1. Processmask.	134,5 kW	x 0,75	100 kW
2. Belysning	60,0 kW	x 1,0	60 kW
3. Traverser	20,0 kW	x 0,3	6 kW
4. Elvärme portar	40,0 kW	x 1,0	40 kW
5. Elvärme steg 1	60,0 kW	x 1,0	60 kW
6. -"- -"- 2	50,0 kW	x 1,0	50 kW
7. -"- -"- 3	58,0 kW	x 1,0	58 kW
	422,5 kW		374 kW
Belastningsvakt	220 kW		

DAGDRIFTFALL

1. Processmaskiner	100 kW
2. Belysning	60 kW
3. Traverser	6 kW
Process effektuttag	166 kW
4. Elvärme portar (4x10 kW) vid behov	40 kW
Totalt effektuttag inkl. portvärme	206 kW

5,6,7 Inkopplas vid behov vid lågdrift i del 1-4

NATTDRIFTFALLET

1. Processmaskiner	0	kW
2. Belysning (Ev. nattbel.)	5	kW
3. Travers	0	kW
4. Elvärme portar	40	kW
5. Elvärme steg 1	60	kW
6. Elvärme steg 2	50	kW
7. Elvärme steg 3	58	kW
	213	kW

BRÖDERNA EDSTRAND

Redovisning för beräkningar av driftkostnaden för befintligt system i lokalen

Total installerad IR-effekt:	**208**	kW	
Driftveckor per år:	**35**	veckor/år	(10 sep-10 jun)
Arbetsdagar per vecka	**5**	st	
Elskatt	**0.152**	kr/kWh	

Dagtid		
Drifttid per vecka:	**50**	h/vecka
Total drifttid under dagen	1750	h/år
Ir-strålare vid portar		
Effekt	40	kW
Förbrukning:	70000	kWh/år
Antagande för drift på dagen övriga IR-strålare		
Procenttalet nedan anger hur stor del av installerade effekten som kan anses vara en medeleffekt under dagen.		
Procenttal:	**40%**	
Medeleffekt	67.2	kW
Förbrukning:	117600	kWh/år
Elkostnad	**0.215**	kr/kWh
Total årlig driftkostnad dagtid	40 334	kr

Nattetid		
Drifttimmar nattetid:	**8**	h
varav	**4**	h lågkostnad
Totalt antal nätter	175	st nätter
Drifttid höglast:	700	h
Drifttid låglast:	700	h
Total drifttid under natten	1400	h
Förbrukningar:		
Höglastförbrukning:	145600	kWh/år
Låglastförbrukning	145600	kWh/år
Total förbrukning:	291200	kWh/år
Elkostnad:		
Hög	**0.215**	kr/kWh
Låg	**0.190**	kr/kWh
Total årlig driftkostnad under natten	58 997	kr

Värmebatteri	**50**	kW
Drifttid	1750	h/år
Förbrukning	87500	kWh
Årskostnad värmebatteri	18 813	kr

Total effektförbrukning	566300	kWh/år
Effektförbrukning belagd med skatt	447377	kWh/år

Total årsdriftkostnad för el-IR strålare	99 331 kr
Total årsdriftkostnad för värmebatteri	18 813 kr
Årlig kostnad för uttagen effekt för nuvarande system	118 144 kr

Skatt, abonemangskostnader		
Årlig kostnad elskatt	68 001 kr	
Abonnemangskostnader (klass, max effektuttag 228 kW, 437 kr/kW)		
Kostnad baserad på effektuttag	**99636** kr/år	
Fast kostnad	**10000** kr/år	

Total årlig energikostnad för värmesystemet 295 781 kr

Totala energipriset: 0.52 kr/kWh

BRÖDERNA EDSTRAND

Förklaringar och beräkningar av ifyllda värden i BV95

Ytor

	Golv	Tak	Vägg nr 1,3	2,4
Bredd	**62**	62	62	-
Längd	**84**	84	-	84
Höjd	-	-	**10**	10
Ytarea:	5208	5208	620	840
Total Area:	5208	5208	1240	1680
Lokalens Volym:		52080		
Total väggarea:		2920		

Luftdata

Temperatur	Densitet	Värmekond.
10	1.233	0.025
20	1.189	0.025
40	1.113	0.027

Väggar[25]

Material	*Tjocklek*	*Värmekond.*	*Värmemotst.*
	d (m)	l (W/(m*K))	R ((m2*K)/W)
Mineralull	0.090	0.04	2.25
Plåt	0.003	218	1.38E-05
Övergångsmotstånd			0.17
Tot. Värmemotstånd			2.42

Golv

Material	*Tjocklek*	*Värmekond.*	*Värmemotst.*
	d (m)	l (W/(m*K))	R ((m2*K)/W)
Betong	0.100	1.7	5.88E-02
Grundskiva	0.010	0.036	0.278
Övergångsmotstånd			0.17
Tot. Värmemotstånd			0.51

Tak[25]

Material	*Tjocklek*	*Värmekond.*	*Värmemotst.*
	d (m)	l (W/(m*K))	R ((m2*K)/W)
Mineralull	0.120	0.04	2.926829268
Takpapp	0.005	0.26	0.019230769
Övergångsmotstånd			0.17
Tot. Värmemotstånd			3.12

Bestämning av värmegenomgången

Yta	*U*
	(W/(m2*K))
Väggar	0.413
Golv	1.974
Tak	0.321

Ytterväggar:										
Värdena för värmegenomgångskoefficienten, U fylls i för respektive yta i "yderveage"-formuläret										
Bygningsdata:										
Rumstemperaturen, golvarea och brukningstimmar/vecka anges i resp. ruta (max h/vecka = 168)										
Tidskonstant:										
Varmekapaciteten(Wh/Km2), är ett medeltal för material och inventariers värmekapacitet.										
Eftersom lokalen används till att lagra stål och aluminium produkter, försummas resten av inventarierna.										
Lagrad mängd stål och aluminium är ung. 800-1000 ton										
Lagrad mängd:		**500**	ton stål		Cp(stål)	**460**	J/(kg*K)			
		500	ton aluminium		Cp(Al.)	**890**	J/(kg*K)			
Summa lagrat:		1000	ton							
Medelvärmekapacitet:		675	J/(kg*K)		råd(stål)	**7820**	kg/m3			
Medeldensitet:		5260	kg/m3		råd(al)	**2700**	kg/m3			
Värmekapacitet:		675000000	J/K							
		187500	Wh/K							
		36.0	Wh/(K*m2 golvyta)							
Tidskonstanten:		13.3	h							
Internt varmetilskud:										
Med Brugstid menas all aktivitet som skapar värme ex. lampor, arbetande människor och traverser.										
Siffran som fylls i fältet, Brugstid(W/m2) är värdet som gäller för hela året. Dock är lampor och annan utrustning på alla timmar på året.										
Detta kompenseras med en faktor.										
Lampor är det som dominerar.										
Lägg på	**10%**	för lastbilar, arbetande människor och traverser.								
Lampeffekt	**60**	kW								
Tillägg	6	kW								
Värmebatteri	**0**	kW	(Räknas in i totala energibehovet)							
Totalt:	66									

forts. Internt värmetilskud.										
timmar per år	6570	h	Lokaluppvärmning behövs under tidsperioden 9 mån (39 veckor).							
			Denna periodlängd används även i programmet.							
Drifttimmar:	**80**	h/vecka								
Tot. drifttimmar	3120	h/år								
Faktor	0.47									
Golvarea	5208									
Brugstid	6.02	W/m2								
Egenventilation:										
Ca 0,1 -0,25 gånger av den totala luftmassan i en lokal omsättes per timme vid egenventilation etc.										
Omsättning	**0.2**									
Volym av stål										
och Al i lager	190.1	m3	0.37%	av lokalvolymen, Försumbart egentligen						
Lokalens Volym	52080	m3		Även andra inventarier kan nog försummas, såsom byggnader och traverser						
Luft i lokalen	51890	m3								
Omsättning/h	10378	m3/h								
Ventilation i brugstid:										
	0.554	l/(s*m2 golvyta)								
Ingen ventilation outtnyttjat.										
Tvingad Ventilation:										
Indata för formuläret, Mek vent og										
Del av golvarean som ventileras			**1**	ggr maximal						
Abr	5208	m2								
Vent. tid, Td	**80**	h/vecka								
Ventilations-										
volym	**6000**	nm3/h								
	1667	liter/s								
Qvm	0.320	liter/(s/m2 ventyta)								

Qid är den ofrivilliga ventilationen genom dörrar och dylikt.										
Bestäm denna genom att ta liten del av den beräknade egenventliationen.										
Arean är hela golvarean										
Andel av egenventilationen:		1								
Qid		0.554	liter/(s/m2)							
Qis är den ventilationen som blir då anläggningen inte är i drift.										
Bestäm denna på samma sätt som Qid.										
Andel av egenventilation:		1								
Qis		0.554	liter/(s/m2)							
Värmebehov per år, Beräknat med BV95										
Temperaturen i lokalen, 18 grader C						*Temperaturen i lokalen, 14 grader C*				
Utträknat i programmet:			**778.8**	MJ/m2		Utträknat i programmet:			**522.8**	MJ/m2
		=	216.3211111	kWh/m2				=	145.2	kWh/m2
Totalt:			1126600	kWh		Totalt:			756278	kWh
Totala värmeförluster i ytor och ventilation:			**14064**	W/K		Totala värmeförluster i ytor och ventilation:			**14064**	W/K

Hovedskema. Bygningers varmebehov	**Bröderna Edstrand**
BYGNINGSDATA	
Bygningstype	Anden bygning
Rumtemperatur, °C	18.
Opvarmet etageareal, m²	5208.
Opvarmet bebygget areal, m²	5208.
Antal etager	1.
Normal brugstid, timer/uge	80.
VENTILATION	
Ventilation i brugstiden, l/s m²	0.
Ventilation ubenyttet, l/s m²	0.
Beregningsmæssig ventilation, m3/s	3.096
Ventilationsvarmetab, W/K	3745.599
VARMETAB	
Ydervægge, tage og gulve mod det fri, jord eller uopvarmede rum, W/K	10558.58
Vinduer og yderdøre mod det fri eller uopvarmede rum, W/K	0.
Ventilation, W/K	3745.599
I alt, W/K	14304.179
TIDSKONSTANT	
Varmekapacitet, Wh/K m²	36.
Tidskonstant, timer	13.107
INTERNT VARMETILSKUD	
Tilskud i brugstiden, W/m²	6.02
Middel tilskud, W	14929.6

VARMEBEHOV

Måned	Ql(GJ)	Qs(GJ)	Qi(GJ)	Qg(GJ)	gamma	ny	Qh(GJ)
September	189.09	0.	38.698	38.698	0.205	0.955	152.129
Oktober	348.642	0.	39.987	39.987	0.115	0.983	309.345
November	500.532	0.	38.698	38.698	0.077	0.991	462.174
December	658.972	0.	39.987	39.987	0.061	0.994	619.214
Januar	727.934	0.	39.987	39.987	0.055	0.995	688.139
Februar	640.186	0.	36.118	36.118	0.056	0.995	604.251
Marts	616.828	0.	39.987	39.987	0.065	0.994	577.099
April	448.625	0.	38.698	38.698	0.086	0.989	410.337
Maj	272.017	0.	39.987	39.987	0.147	0.974	233.077
I alt	4402.826	0.	352.147	352.147	0.08	0.991	4055.766

Samlet varmebehov, GJ/år	4055.766
Pr. m² opvarmet etageareal, MJ/m² år	778.757
ENERGIRAMME	
Energiramme uden tillæg, MJ/m² år	220.96
Tillæg vedr. mekanisk ventilation og udsugning, MJ/m² år	0.
Resulterende energiramme, MJ/m² år	220.96

Bilaga 13(1

Ydervægge, tage og gulve **Bröderna Edstrand**

Bygningsdel	**At(m²)**	**U(W/m²K)**	**b(-)**	**Ht(W/K)**
yttervägg 1	840.	0.41		344.4
yttervägg 2	840.	0.41		344.4
yttervägg 3	620.	0.41		254.2
yttervägg 4	620.	0.41		254.2
tak	5208.	0.32		1666.56
golv	5208.	1.97	0.25	7694.82
	13336.			**10558.58**

Mek.vent. og udsugning

Område	**Abr(m²)**	**Td(h/Qvm(1/sm²)**		**Ng(Qid(1/sm²Qis(1/sm²Qv(m3/sdQ(GJ/år)**				
Ventilation	5208.	80.	0.32	0.	0.442	0.442	3.096	0.
	5208.						**3.096**	**0.**

Bilaga 13/2

Oljekostnader för villaägare (December 1998)

Densiteter:	EO5	0.94 ton/m^3
	EO1	0.84 ton/m^3
Energiinnehåll [44]: (Genomsnitt från referensen)		11500 (kWh/ton)

Bolag/Olja	**Grundpris (exlusive moms)** (kr/m^3)	(kr/ton)	**Energipris** (kr/kWh)
Statoil			
EO 5	3047	3628	0.32
EO 1	2935	3494	0.30
Q8			
EO 5	2828	2912	0.25
EO 1	2738	3366	0.29
Hydro			
EO 5	2625	2793	0.24
EO 1	2530	3012	0.26
Snittpris			
EO 5	2833	3014	0.26
EO 1	2734	3255	0.28

Oljepriset ges exklusive moms och inklusive energiskatter och leverans.

SAMMANSTÄLLNING KALKYLDELAR

Bilaga 15

Anläggning: 1 PROV Lfv **Kalkyl begärd av:** **Handl:**

Omfattning: 1 PROV Lfv **Objnr:** 1 **Datum:** 1999-02-02 **Tid:** 07:56:46

Benämning	Bto	Nto	Atl
01 PROV	0	171 905	357
Totalt	**0**	**171 905**	**357**

INSTALLATION

MÄNGDKALKYL

Anläggning: 1 PROV Lfv **Kalkyl begärd av:** **Handl:**

Omfattning: 1 PROV Lfv **Objnr:** 1 **Datum:** 1999-02-02 **Tid:** 07:56:37

Benämning	Typ	Artikelnummer	Fls	Rabatt %	Antal	Bto	A-nto	Nto	á-Atl	Atl
EKLK 4G1,5	E	00213835	AA	59,00	500	0,00	4,55	2 275,50	0,11	55,00
EKLK 5G2,5	E	00213945	AA	59,00	1 248	0,00	9,27	11 563,97	0,11	137,28
ELZTRIP EZ-20 400V	E	08574721	AA	30,00	104	0,00	1 477,00	153 608,00	0,60	62,40
TERMOSTAT ELEKTRONIS	E	08580904	AA	25,00	4	0,00	216,75	867,00	0,45	1,80
ARBETE I CENTRAL	O	09920001		0,00	1	0,00	3 000,00	3 000,00	8,00	8,00
15 Ink.EKLK 4x-2.5 Tätn.	R	01032		0,00	4	0,00	4,65	18,60	0,39	1,56
20 Ink.EKLK 5x-2.5 Tätn.	R	01033		0,00	5	0,00	4,94	24,68	0,44	2,20
41 KOPPL.DOSA IP44 PLAS	R	34875		0,00	15	0,00	14,72	220,80	0,41	6,15
07 KABELNUMMER 3 SIFF	R	34931		0,00	40	0,00	0,42	16,76	0,04	1,60
08 SKYLT	R	34932		0,00	20	0,00	15,47	309,40	0,10	2,00
41 HÖJDTILL./ARB.ST.	R	34958		0,00	104	0,00	0,00	0,00	0,09	9,36
44 HÖJDT.FÖRL.STR./M.LE	R	34961		0,00	1 748	0,00	0,00	0,00	0,04	69,92

Totalt 0,00 171 904,71 357,27

Arbetskostnad

ATL-TID						
ATL- tim fr kalkyl			357,3	Tim		
Småarbetstillägg fr kalkyl	0,0	%	0,0	Tim		
ÖK-tid/procent	0,0	%	0,0	Tim		
ÖK-tid/timmar	0,0	tim	0,0	Tim		
Övrigt	0,0	%	0,0	Tim		
Summa ATL-TID					**357,27**	**Tim**
Penningfaktor fr kalkyl	88,57	Kr	31 643	Kr		
Ortsmult / Objmult	1,109		3 449	Kr		
Timtid,Gångtid/procent av summa ATL-tid	10,0	%	3 509	Kr	35,7	Tim
Timtid,Gångtid/timmar	0,0	tim	0		0,0	Tim
Summa Direkt Montörslön/Prod.tid(ATL)			**38 602**	**Kr**	393,00	Tim
Sociala Kostnader	69,0	%	26 635	Kr		
Summa Direkta Arbetskostnader					**65 237**	**Kr**
"Beräknad timförtjänst"	125,00	Kr				
"Antal Beräknade Mandagar"			**39**	Dagar		
"Summa Beräknade Arbetstimmar"			**309**	Tim		
Restid/dag	0	tim/dag				
Distanskostnader inkl Sociala påslag						
Restidsersättn/tim inkl. semester	0,00	kr/tim	39	DAG	**0**	Kr
Sociala Kostnader Restid	69	%			**0**	Kr
Resekostnadsersättning/Dag	25,00	kr/Dag	39	DAG	**975**	Kr
Skattepliktig del	0,00	kr/Dag				
Sociala Kostnader Reskostnadsersättning	69,00	%			**0**	Kr
Alt. 1 Traktamentsförättningar	0	kr/tim			**0**	Kr
Alt. 2 Traktamentsförättningar enl. Spec. kalkyl					**0**	Kr
Summa Distanskostnader					**975**	**Kr**
Distanskostnader totalt per tim netto			**3,16**	**Kr/tim**		
Distanskostnader totalt per tim brutto			**3,16**	**Kr/tim**		
Summa arbets o distanskostnader					**66 212**	**Kr**

Materiel

Listenligt material NTO	168 905	Kr	0,0	%	168 905	Kr
Fästmateriel i % på listenlig nettomateriel			5,0	%	8 445	Kr
Materiel offerter	3 000	Kr	0,0	%	3 000	Kr
	0	Kr	0,0	%	0	Kr
	0	Kr	0,0	%	0	Kr
Summa Direkta materielkostnader					**180 350**	Kr

Övriga indirekta orderkostnader				
AF-del	0	Kr	0	Kr
Ställningar	20 000	Kr	20 000	Kr
Bodar	0	Kr	0	Kr
Relationsritningar	2 000	Kr	2 000	Kr
Transporter, Frakter	0	Kr	0	Kr
Registrering	0	Kr	0	Kr
Funktionsbeskrivning	0	Kr	0	Kr
Projektering, Konstruktion	0	Kr	0	Kr
Kopiering	0	Kr	0	Kr
	0	Kr	0	Kr
	0	Kr	0	Kr
	0	Kr	0	Kr
Summa Indirekta Orderkostnader			**22 000**	Kr

Summa direkta o indirekta materielkostnader	202 350	Kr

Sammanställning

Totala orderkostnader Netto			**268 562**	Kr	
Timomkostnad per tim	175,00	Kr	54 043	Kr	
Risk + Vinst	0,0	%	0	Kr	
Summa Kundpris Netto			322 604	Kr	
Förhandling			0	Kr	
Anbudssumma					322 604 Kr

Bruttopåslag i %	20,1	%
Tot täckningsbidrag per tim	175,00	Kr/tim

Förklaringar

Referensvärdena för gas- respektive el-IR-installationer har antagits utifrån erhållen information från leverantörer. Båda referensvärdena är för en lokal med ca 1000 m^2 golvyta. Referensgolvytan för gas-IR-lokal är 1200 m^2 och för el-IR-lokal 1000 m^2.

Ekvationer

$$\left(\frac{g}{g_{ref}}\right)=\left(\frac{q}{q_{ref}}\right)^n \qquad (1)$$

El-IR

$q_{ref}=60\ W/m^2$
$g_{ref}=65\ kr/m^2$
$n=0.7$
Ref. area=1000 m^2

Bröderna Edstrands

$q=40\ W/m^2$
Arbetskostnaden+indirekt material: 322 604 kr
Area: 5208 m^2

$$g=\left(\frac{q}{q_{ref}}\right)^n * g_{ref}=\left(\frac{40}{60}\right)^{0.7} * 65=48{,}9\ kr/m^2 \Rightarrow$$

$G_{el}=48{,}9*5208=254\ 671\ kr$

Total investeringskostnad = 254 671 + 322 604 =576 671 kr
Pålägg för arbetskostnaden och indirekt material=322 604/254 671=127 %

Gas-IR

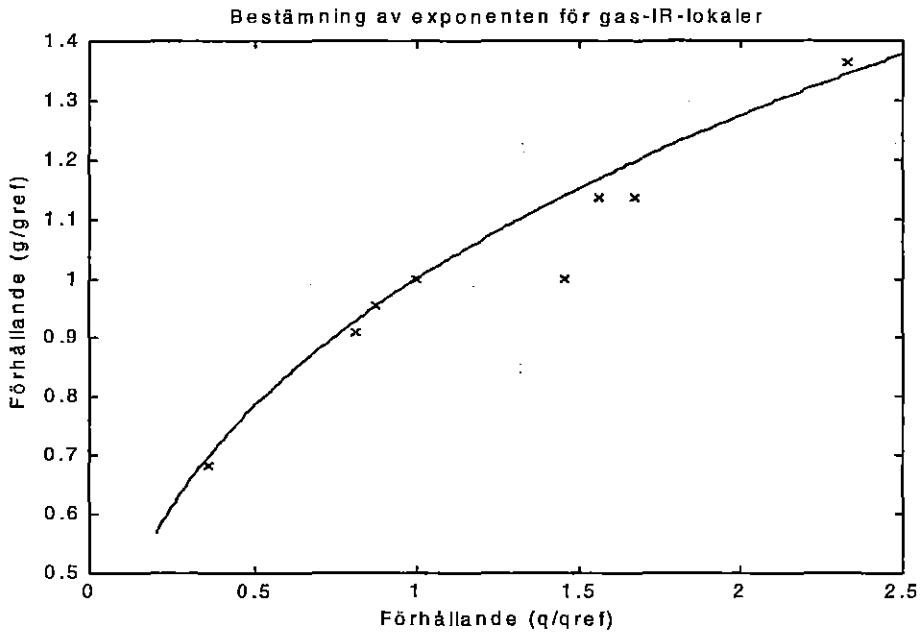
Lokaler

	Plats	*Golvarea* (m2)	*Installerad effekt* kW	*Förhållanden* kW/m2	kr/m2	*Grundinvestering* kr
1	Yxhult	2800	816	0.2914	**220**	616 000 kr
2	Siporex	10000	3120	0.3120	**250**	2 500 000 kr
3	Profilgruppen	3000	216	0.0720	**150**	450 000 kr
4	Forsbacka Järnverk	800	372	0.4650	**300**	240 000 kr
5	Bulten	2400	800	0.3333	**250**	600 000 kr
6	Surahammar Bruk	10000	1620	0.1620	**200**	2 000 000 kr
7	Aga Cryo	5500	960	0.1745	**210**	1 155 000 kr
8	Torpedo	1200	240	0.2000	**220**	264 000 kr

Tabell 1, Grundinvesteringskostnaden för gas-IR

Plats nr 8 i tabellen ovan är vald som referens.
$q_{ref}=200\ W/m^2$
$g_{ref}=220\ kr/m^2$
$n=0,35$
Ref. area=1200 m^2

Beräkningar



Diagram, Bestämning av exponenten, n.

Diagrammet ovan visar beräkningar enligt ekvationen 1 ovan. Heldragna kurvan har exponenten, n =0,35.

a/h, $B = b/h$, $M = m/h$, $C = c/h$, and $D = d/h$, the ing result is obtained.

$$
\begin{aligned}
F_{1-2} = \frac{1}{\pi}\Bigg[& \frac{\sqrt{1+(C+M)^2}}{2AB}\Bigg\{(L+B)\tan^{-1}\frac{L+B}{\sqrt{(C+M)^2+1}} + \\
& (L-D)\tan^{-1}\frac{L-D}{\sqrt{(C+M)^2+1}} - L\tan^{-1}\frac{L}{\sqrt{(C+M)^2+1}} - \\
& (L-D+B)\tan^{-1}\frac{L-D+B}{\sqrt{(C+M)^2+1}}\Bigg\} + \\
& \frac{\sqrt{(M-A)^2+1}}{2AB}\Bigg\{(L+B)\tan^{-1}\frac{L+B}{\sqrt{(M-A)^2+1}} + \\
& (L-D)\tan^{-1}\frac{L-D}{\sqrt{(M-A)^2+1}} - L\tan^{-1}\frac{L}{\sqrt{(M-A)^2+1}} \\
& - (L-D+B)\tan^{-1}\frac{L-D+B}{\sqrt{(M-A)^2+1}}\Bigg\} + \\
& \frac{\sqrt{1+(L+B)^2}}{2AB}\Bigg\{(M+C)\tan^{-1}\frac{M+C}{\sqrt{1+(L+B)^2}} + \\
& (M-A)\tan^{-1}\frac{M-A}{\sqrt{1+(L+B)^2}} - M\tan^{-1}\frac{M}{\sqrt{1+(L+B)^2}} \\
& - (M+C-A)\tan^{-1}\frac{M+C-A}{\sqrt{1+(L+B)^2}}\Bigg\} + \\
& \frac{\sqrt{1+(L-D)^2}}{2AB}\Bigg\{(M+C)\tan^{-1}\frac{M+C}{\sqrt{1+(L-D)^2}} + \\
& (M-A)\tan^{-1}\frac{M-A}{\sqrt{1+(L-D)^2}} - M\tan^{-1}\frac{M}{\sqrt{1+(L-D)^2}} \\
& - (M+C-A)\tan^{-1}\frac{M+C-A}{\sqrt{1+(L-D)^2}}\Bigg\} - \\
& \frac{\sqrt{(C+M-A)^2+1}}{2AB}\Bigg\{(L+B)\tan^{-1}\frac{L+B}{\sqrt{(C+M-A)^2+1}} \\
& + (L-D)\tan^{-1}\frac{L-D}{\sqrt{(C+M-A)^2+1}} - \\
& L\tan^{-1}\frac{L}{\sqrt{(C+M-A)^2+1}} - \\
& (L-D+B)\tan^{-1}\frac{L-D+B}{\sqrt{(C+M-A)^2+1}}\Bigg\} - \\
& \frac{\sqrt{L^2+1}}{2AB}\Bigg\{(M+C)\tan^{-1}\frac{M+C}{\sqrt{1+L^2}} + \\
& (M-A)\tan^{-1}\frac{M-A}{\sqrt{1+L^2}} - M\tan^{-1}\frac{M}{\sqrt{1+L^2}} - \\
& (M+C-A)\tan^{-1}\frac{M+C-A}{\sqrt{1+L^2}}\Bigg\} - \\
& \frac{\sqrt{M^2+1}}{2AB}\Bigg\{(L+B)\tan^{-1}\frac{L+B}{\sqrt{M^2+1}} + \\
& (L-D)\tan^{-1}\frac{L-D}{\sqrt{M^2+1}} - L\tan^{-1}\frac{L}{\sqrt{M^2+1}} - \\
& (L-D+B)\tan^{-1}\frac{L-D+B}{\sqrt{M^2+1}}\Bigg\} - \\
& \frac{\sqrt{(L-D+B)^2+1}}{2AB}\Bigg\{(M+C)\tan^{-1}\frac{M+C}{\sqrt{1+(L-D+B)^2}} \\
& + (M-A)\tan^{-1}\frac{M-A}{\sqrt{1+(L-D+B)^2}} - \\
& M\tan^{-1}\frac{M}{\sqrt{1+(L-D+B)^2}} - \\
& (M+C-A)\tan^{-1}\frac{M+C-A}{\sqrt{1+(L-D+B)^2}}\Bigg\} + \\
& \frac{1}{4AB}\ln\frac{\{(C+M)^2+1+L^2\}\{(C+M)^2+(L-D+B)^2+1\}}{(L^2+M^2+1)\{(C+M)^2+(L+B)^2+1\}} \\
& \frac{\{M^2+(L+B)^2+1\}\{M^2+(L-D)^2+1\}}{\{(C+M)^2+(L-D)^2+1\}\{(C+M-A)^2+L^2+1\}} \\
& \frac{\{(M-A)^2+L^2+1\}}{\{(C+M-A)^2+(L-D+B)^2+1\}} \\
& \frac{\{(M-A)^2+(L-D+B)^2+1\}}{\{(M-A)^2+(L+B)^2+1\}} \\
& \frac{\{(C+M-A)^2+(L+B)^2+1\}}{\{(M-A)^2+(L-D)^2+1\}} \\
& \frac{\{(C+M-A)^2+(L-D)^2+1\}}{\{M^2+(L-D+B)^2+1\}}\Bigg] \qquad (61)
\end{aligned}
$$

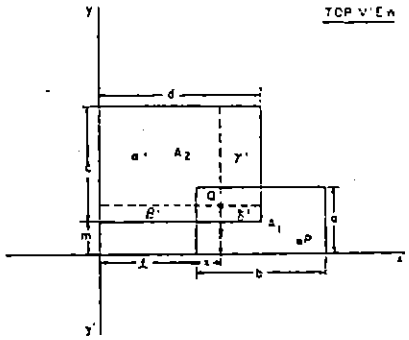
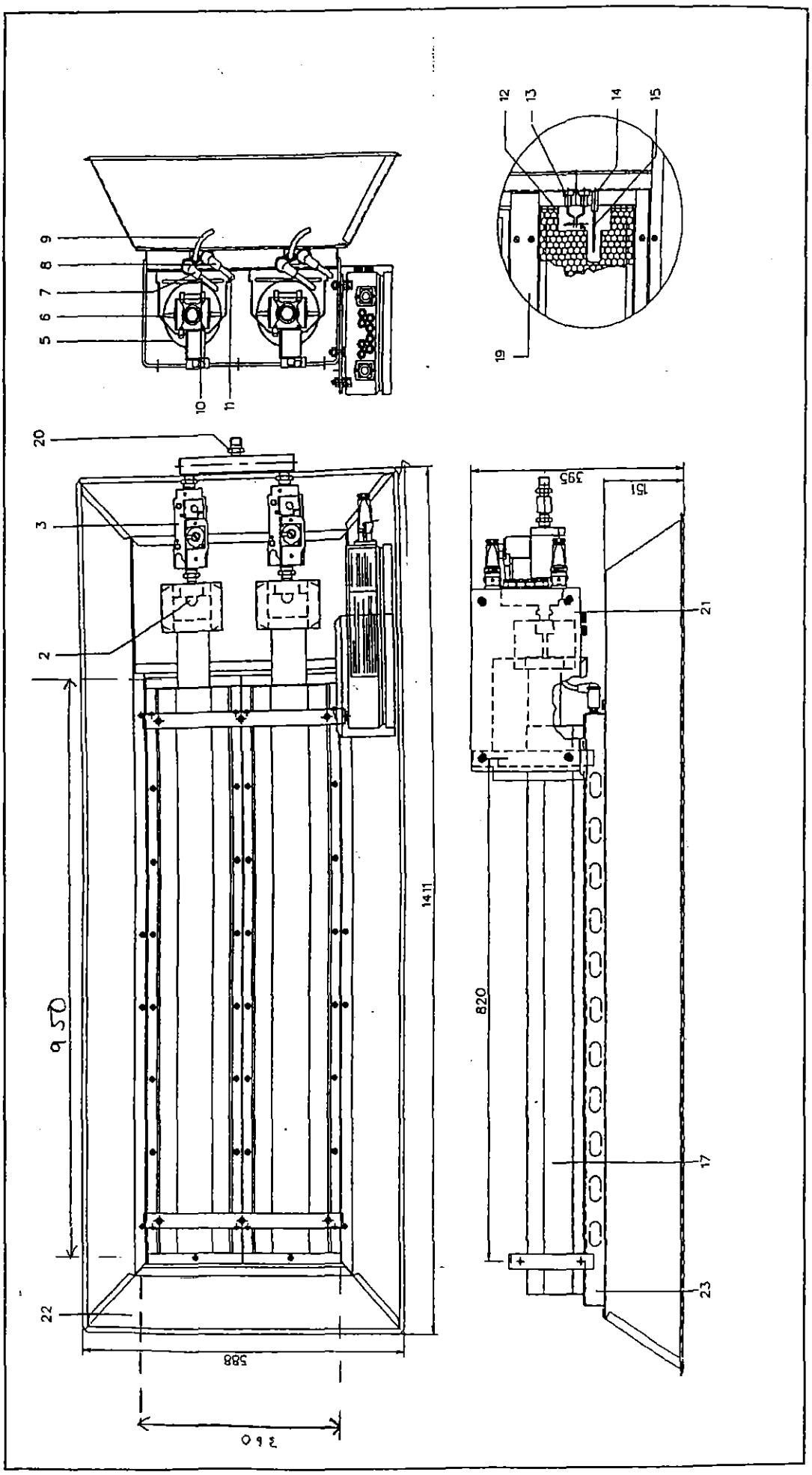


Figure 2a, 2b — Coordinate variables for two arbitrary rectangular surfaces located on mutually parallel planes.

Nomenclature

A_i	=	area of a rectangle "i", ft²
A,B,C,D	=	normalized side length of a rectangle, dimensionless
F_{1-i}	=	shape factor for radiant heat transfer between a differential area "1" and a finite area "i", dimensionless
$\bar{F}_{1-i}$	=	shape factor for radiant heat transfer between finite areas "1" and "i", dimensionless
L,M	=	normalized distance variables, dimensionless
a,b,c,d	=	side length of a rectangle, ft
h,l,m	=	distance variables, ft
s'	=	distance between two surface elements of radiating bodies, ft
x,y	=	coordinate variables
θ	=	$\cot^{-1} L$, angle of inclination, degree or radian
θ_i,θ_1	=	angle between the normals to surface elements "i" and "1" and the line connecting them, degree or radian


9
8
7
6
5
10
11
12
13
14
15
19
20
3
2
22
950
1411
588
360
395
151
21
820
17
23

2000-02-08

RAPPORTFÖRTECKNING

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

2000-02-08

RAPPORTFÖRTECKNING

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

2000-02-08

RAPPORTFÖRTECKNING

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

2000-02-08

RAPPORTFÖRTECKNING

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

2000-02-08

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
067	Naturgasmodellen. Manual för SMHI:s program för beräkn av skorstenshöjder	Dec 95	Tingnert B, SKKB Thunell J, SGC	150
068	Energigas och oxyfuelteknik	Dec 95	Ingemar Gunnarsson Energi-Analys AB	150
069	CO2-gödsling med avgaser från gasmotor med katalysator	Dec 95	Bent Karll Dansk Gasteknisk Center	150
070	Utvärdering av naturgasförbränning i porösa bäddar	Mar 96	Henric Larsson Lunds Tekniska Högskola	150
071	Utvärdering av naturgasdrivna IR-boostrar i ugn för pulverlackering	Nov 95	Ole H Madsen Asger N Myken	150
072	Sammanställning av emissionsdata från naturgas-, biogas- o motorgasdrivna fordon	Jun 96	Hans-Åke Maltesson Svenskt Gastekniskt Center AB	150
073	Livslängdsbestämning för PE-rör för gasdistribution (EVOPE-projektet)	Jul 96	Tomas Tränkner Studsvik Material AB	100
074	Gasblandningar för fordonsdrift. Idéstudie.	Aug 96	Ola Hall Sydkraft Konsult AB	150
075	Gasbranschens miljöhandbok	Sep 96	Jörgen Thunell Svenskt Gastekniskt Center	500
076	Låg-NOx-teknik för gasdrivna processer - dagsläge	Okt 96	Mikael Näslund, LTH Inst.Värme- och Kraftteknik, LTH	150
077	Karakterisering av emissioner från naturgasdrivna lastbilar inom LB 50 -projektet	Dec 96	K-E Egebäck Roger Westerholm	150
078	Uppvärmning med gas i svenska småhus - erfarenheter och framtida teknikval	Nov 96	Mikael Näslund, LTH	150
079	Handledn. för inst av gaseldade IR -värmare. Rådgivning, analys och genomförande	Apr 97	Pär Dalin DITAB	150
080	Mikrokraftvärmeverk med Stirlingmotor	Jan 97	Tomas Nilsson Lunds Tekniska Högskola	150
081	Naturgasbaserad småskalig kraftvärme inom uppvärmningssektorn	Feb 97	Mats Nilsson LTH/MALMÖ	150
082	Kylning och klimatisering av byggnader och lokaler med hjälp av naturgas	Apr 97	Anders Lindkvist Vattenfall Energisystem	150

2000-02-08

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
083	Naturgassystemet i Sverige - en teknisk beskrivning	Jun 97	Ronny Nilsson, KM	150
084	Livscykelanalyser - Är det något för gasbranschen	Sep 97	Jörgen Thunell	150
085	Konvertering av direktelvärmda småhus till naturgasuppvärmning	Dec 97	Mikael Näslund Inst Värme- och Kraftteknik, LTH	150
086	Uppgradering av biogas . Fas 2, Praktiska försök med kondenseringsmetoder.	Jun 97	Ola Lloyd / BioMil AB Johan Nilsson / LTH	150
087	Utveckling av katatalytisk rening av avgaser från befintlig panna	Dec 97	F Silversand, T Hargitai m fl Katator AB	150
088	Technical Description of the Swedish Natural Gas Distr System (På Engelska)	Jun 97	Ronny Nilsson, KM	150
089	Rening av avgaser från en naturgasdriven lean burn motor i en förbr.växlare	Okt 97	Björn Heed Inst för Energiteknik, CTH	150
090	Utsläpp av oreglerade ämnen vid förbränning av olika bränslen	Jun 98	Jörgen Thunell	150
091	Nya metoder för att säkerställa mätnoggrannheten i naturgasnät	Nov 97	Ulf R C Nilsson Luleå TH, Inst Systemteknik	150
092	LB30-projektet - Introduktion av naturgasdrivna tyngre lastbilar	Jan 99	Owe Jönsson Svenskt Gastekniskt Center	150
093	Karaktärisering av emissioner från naturgasdrivna lastbilar inom LB50 -projektet	Sep 98	Karl Erik Egebäck	150
094	Gasdistribution och avgasinstallation i byggnader	Jan 99	Hans Christian Thiis Per Palm	150
095	Karaktärisering av emissioner från naturgasdrivna lastbilar inom LB50 -projektet	Okt 98	Karl Erik Egebäck	150
096	Lifetime of PE-pipes subjected to squeeze off	Nov 98	Tomas Tränkner	150
097	Svensk högskoleförlagd energigasforskning Nutid och framtid	Jan 99	Mikael Näslund, LTH Owe Jönsson, SGC	150
098	Metoder för snabb kvalitetskontroll av PE -rör för gasdistribution	Apr 99	Tomas Tränkner	150

2000-02-08

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
099	Gas co-firing for NOx-reduction in coal fired boilers	Apr 99	Fredrik Brogaard	200
100	Optimerad samrötning av restprodukter från stad och land	Apr 99	A Dahl, M Linné, L Andersson	150
101	Distribution av biogas i naturgasnät	Jul 99	Kaj Vågdahl	100
102	Evaluation of the efficiency face to the NOx -emissions from European plants	990901	M J Fourniguet, A Quinqueneau, B Karll, P Breithaupt, O Jonsson	150
103	Uppföljning av kvalitetsspecifikation för uppgraderad biogas som fordonsbränsle	Okt 99	Anders Dahl	150
104	Evaluation of three-way-catalysis for NOx -abatement in large gas-fired appliance	Jan 00	Fredrik Silversand	150
105	Undersökning och förstärkning av korrosionsskyddet på gasrör förlagd i skyddsrör	feb 00	Göran Camitz, Åsa Marbe Charlotte Johansson	150
106	Demonstration och utvärdering av SenerTec mikrokraftvärmeverk	feb 00	Sören Dahlin	150
107	Jämförelse mellan el-IR och gas IR vid tillämpningar i industriella processer	feb 00	Magnus Palm	150
A01	Fordonstankstation Naturgas. Parallellkoppling av 4 st Fuel Makers	Feb 95	Per Carlsson Göteborg Energi AB	50
A02	Uppföljning av gaseldade luftvärmare vid Arlövs Sockerraffinaderi	Jul 95	Rolf Christensen Enercon RC	50
A03	Gasanvändning för färjedrift. Förstudie (Endast för internt bruk)	Jul 95	Gunnar Sandström Sydkraft Konsult	0
A04	Bussbuller. Förslag till mätprogram	Jun 95	Ingemar Carlsson Ecotrans Teknik AB	50
A05	Värmning av vätskor med naturgas - Bakgrund till faktablad	Okt 95	Rolf Christensen Enerkon RC	50
A06	Isbildning i naturgasbussar och CNG -system (Endast för internt bruk)	Nov 95	Volvo Aero Turbines Sydgas, SGC	0
A07	Större keramisk fiberbrännare. Förstudie	Jan 96	Per Carlsson Sydkraft Konsult AB	50

2000-02-08

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
A08	Reduktion av dioxin, furan- och klorfenoler vid avfallsförbränning	Maj 96	H Palmén, M Lampinen et al Helsingfors Tekniska Högskola	50
A09	Naturgas/mikrovågsteknik för sintring av keramer	Maj 96	Anders Röstin KTH	50
A10	NOx-reduktion genom naturgasinjektion o reburning. Demoprojekt på Knudmoseverket	Apr 96	Jan Flensted Poulsen Völund R & D Center	50
A11	Direkttorkning av socker med naturgas (Endast för internt bruk)	Jul 96	Rolf Christensen Enerkon RC	0
A12	Uppföljning, installation av gaspanna med avgaskondensor, kv Hornblåsaren 6, Råå	Sep 96	Bo Cederholm Sydkraft Konsult AB	50
A13	Klassningsplaner för gasinstallationer	Jun 97	Carl-Axel Stenberg Greger Arnesson	50
A14	Uppf av drift med natugaseldad kondenserande gaspanna i Rinnebäcksskolan	Okt 97	Bo Cederholm Sydkraft Konsult AB	50
A15	Undersökn o förstärkn av korr.skyddet på gasrör förl i skyddsrör - Delrapport 1	Nov 97	Åsa Marbe, C Johansson Sydkraft Konsult AB	100
A16	Ind - CO2-härdning av betong med naturgas	Feb 98	Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	50
A17	Reservförsörjning med fordonstransporterad LNG	Dec 97	Stig Johansen	50
A18	Emissions- och immissionsmätning vid en naturgaseldad villapanna	Mar 97	David Cooper IVL	50
A19	Katalytisk rening av gaseldade lean -burnmotorer etapp 1 - teoretisk förstudie	Aug98	Fredrik Silversand Katator	100
A20	Europeisk livscykelinventering för naturgas (endast för internt bruk)	Sep 98	Jörgen Thunell	0
A21	Naturgasdrivna järnvägsfordon - Förstudie	Dec 98	Rolf Öberg	100
A22	Catalytic abatement of CO- and UHC -emissions from Gas Fuelled Engines	Feb99	Fredrik Silversand	100
A23	Förläggning av gasrör av polyeten i befintliga massor	Mar 99	Gunnar Bergström Stefan Nilsson	100

SGC

Svenskt Gastekniskt Center AB

SE-205 09 MALMÖ
Telefon: 040-24 43 10
Telefax: 040-24 43 14
www.sgc.se