



**Metoder för rosterövervakning
Dagslägesbestämning**

Elisabet Blom

Värmeforsk Service AB

Metoder för rosterövervakning, dagslägesbestämning

Grate monitoring systems, state of the art. F9-830

Elisabet Blom
Linköping 2000-11-22

Abstract

Inom detta projekt har det framkommit att det finns en handfull mätmetoder som kan vara applicerbara för övervakning av en bränslebädd på en roster. IR-pyrometri har problem med tillförlitligheten, IR-kameror är för dyra. Videokameror kopplad till bildanalys är en metod med stor utvecklingspotential till ett rimligt pris. Laserteknik för topografi och temperaturmätning är oprövat men intressant.

Sammanfattning

Under en rad år har ett antal forsknings och utvecklingsprojekt genomförts för att få fram en metod att övervaka förbränningsbädden på en rooster. Övervakning av bädden är intressant för att kunna förbättra bl.a; verkningsgrad, emissionsstatus, askkvalitet, bränsle- och askmatning samt uppnå kvalitetssäkrad driftkontroll och minskade drift- och underhållskostnader, högre last etc.

Förbättring och övervakning av förbränningen har hittills i huvudsak bestått av utveckling av gasförbränningen. Under de gångna åren har datorutvecklingen gått framåt oerhört vilket medför att utvecklingen av optisk roosterövervakning har tagit fart. De parametrar som är intressanta att titta på är bäddens längd, höjd och temperatur.

För att analysera dagsläget har en undersökningen bestående av tre delar genomförts. Undersökningen omfattade en litteraturstudie, en enkätundersökning där pannägare tillfrågades om de hade använt någon form av roosterövervakning och vilka erfarenheter man haft samt intervjuer med forskare och användare om vilka framtidsvisioner som finns.

Enkätundersökningen genomfördes under våren 2000 och kompletterades med ytterligare enkäter samt intervjuer under augusti 2000.

De metoder som studerats närmare är:

- Videoövervakning
- Bildanalys
- IR-pyrometermätning
- IR-kameror
- Lasermätning
- Akustisk temperaturmätning

Enkäten visade att videoövervakning är mycket användbar som hjälp åt operatörerna. En bra spolning och kylning av kameran krävs dock för att tillgängligheten skall vara tillfredsställande. Om utbyggnad sker med bildanalys av de filmade bilderna kan mått erhållas och bildinformationen användas vid reglering. Detta har provats på några ställen men metoden är under utveckling och inget verk körs ännu med denna funktion helt automatiserad.

IR-mätningar har under en rad år utretts i olika forskningsprojekt. Det visar sig att med IR-spotmätare går det utmärkt att mäta temperatur man tillförlitligheten i utrustningen är inte tillräckligt hög för att alla användare skall vara nöjda. Detta beror troligtvis på mängden stoft i den enskilda pannan.

IR-kameror används idag för övervakning och styrning av förbränning på rooster i synnerhet vid förbränning av avfall. Metoden där signalen från en IR-kamera behandlas i dator och sänds till reglersystemet fungerar bra men är dyr. Bara kameran utan dator och programvara kostar >300 000 kr.

Laser är en oprövad metod för driftövervakning av förbränningsprocessen. Detta till trots har utvecklingen gjort att metoden har en god potential att utvecklas till prisvärda alternativ både inom temperaturmätningen och rostertopografimätningen.

Akustisk pyrometri konstaterades vara icke tillämpbar vid rosterövervakning.

I fortsättningen är vidare utveckling av bildbehandlingssystem eventuellt i kombination med IR-pyrometri en framkomlig väg. Dessutom bör inledande försök med laserteknik genomföras då priset är på väg ned och utvecklingen inom andra områden är mycket intressant.

Nyckelord: rosterförbränning, IR, pyrometri, bildbehandling, förbränningsreglering

Summary

During a number of years research and development projects have been made to present methods of monitoring the grate in a grate fired boiler. The monitoring is interesting in order to be able to increase efficiency, increase burn-out of ash, improve the status of emissions, improve transportation of ash and fuel through the furnace, reduce costs for operation and maintenance, handle greater loads etc.

Improvement of the combustion has been concentrated to the development of the gas phase combustion. In the past few years the computer development has progressed rapidly and the use of optical monitoring methods have been made possible for monitoring grates.

To analyse state of the art of optical grate monitoring systems three different methods have been used, literature search, inquiry ,where plant owners were asked if they have used grate monitoring systems and if so what experiences they have, and interviews with scientists and users.

The inquiry investigation was made during spring 2000 and supplemented with a few known users of grate monitoring systems in august 2000. The interviews were made during august 2000.

The methods which have been examined are:

- Video monitoring
- Computer vision
- IR-pyrometry
- IR-camera technology
- Laser measuring methods
- Acoustic pyrometry

The survey showed that video monitoring is useful to monitor the fuel bed and an aid to the operators. A good cooling and cleansing system is essential to make the system reliable. If the system is aided with computer vision the computer will show numbers which can be used in the control system. These have been tried at a couple of sites but the system is still being developed and no sites uses this function fully automated.

Infrared measurements have been tried in number of research projects. The IR-pyrometer technique is good for measuring temperature but the reliability is to low for some of the users.

IR-cameras are used in several waste incineration plants to control the combustion. The systems where signals from an IR-camera is processed in computer function well but are too expensive. A camera, without image processing software, computer and control system coupling, costs >300 000 SEK (>35 000 EURO).

Laser technologies have not been tested in this application, although, is worth trying because costs are decreasing for both laser and computers. Laser methods can be used both to temperature measurements and bed structure measurements.

Acoustic pyrometry is not useful in this application because it is developed for gas measurements.

To continue the development of optical grate monitoring the recommendations are to continue with computer vision. A combination of computer vision and IR pyrometer is worth trying. A preliminary experiment with laser methods is recommended.

Keywords: grate firing, IR, pyrometry, computer imaging, combustion control

Innehållsförteckning

1.	Bakgrund	8
2.	Metoder	10
2.1.	Litteraturstudie	10
2.2.	Enkät.....	10
2.3.	Intervjuer	10
3.	Teknikgenomgång av optiska övervakningsmetoder.....	10
3.1.	Temperaturmätning	11
3.1.1.	Pyrometri.....	11
3.1.2.	IR-kamera	11
3.1.3.	Akustisk temperaturmätning	11
3.1.4.	Lasermätning.....	11
3.2.	Topografimätning.....	12
3.2.1.	Videoövervakning	12
3.2.2.	Bildanalys.....	12
3.2.3.	Laser	13
4.	Genomgång av enkätsvaren.....	14
4.1.	Övervakning med videokamera	15
4.2.	Bildbehandling.....	15
4.3.	Övervakning med IR-spotmätare.....	15
4.4.	Övervakning med IR-kamera.....	16
5.	Litteraturstudie.....	17
6.	Slutsatser och kommentarer	17
6.1.	Temperaturmätning	17
6.1.1.	Pyrometri.....	17
6.1.2.	IR-kamera	18
6.1.3.	Akustisk pyrometri	18
6.2.	Topografi	18
6.2.1.	Videoövervakning	18
6.2.2.	Bildanalys.....	18
6.2.3.	Laser	19
6.3.	Ekonomiska aspekter.....	19
6.4.	Vidare utveckling.....	20
7.	Referenser.....	21
7.1.	Rapporter, artiklar och böcker	21
7.2.	Material publicerat på internet.....	22
7.3.	Material publicerat i broschyrform.....	22
7.4.	Muntliga referenser	23
8.	Bilagor.....	23

1. Bakgrund

Miljöaspekter är idag en av de mest betydelsefulla styrparametrarna för utveckling inom energiproduktionen, inte minst på förbränningssidan.

Förbränningsoptimering i rosterpannor har hittills främst genomförts genom att förbättringar i gasförbränningen där en större volym av pannan utnyttjats. Men de ökande miljökraven gör det nödvändigt att gå vidare och ta fram metoder för att reglera bädden på ett effektivare sätt. På uppdrag av Värmeforsk Service AB har ÅF-Processdesign därför kartlagt metoder för optisk övervakning av bränslebädden med avsikt på tillämpbarhet och ekonomi. De tekniska fördelarna kan bli:

- Förbättrad verkningsgrad och ekonomi
- Bättre emissionsstatus
- En stabil askproduktion med jämnare kvalitet erhålls
- Minimering av driftproblem i ask- och slaggutmatning
- Kvalitetssäkrad driftkontroll med höga miljökrav kan uppnås
- Minskade drift- och underhållskostnader
- Högre last
- Minimering av antalet driftstörningar som leder till stopp.

Mer detaljerat kan följande kommentarer göras till varje delpunkt.

Förbättrad verkningsgrad och ekonomi

Verkningsgraden skulle kunna förbättras genom att en bättre kontroll av hur stor del av rostern som utnyttjas samt att utbränningen av askan kan optimeras. Ett problem idag är att det förekommer en hög halt oförbränt material i askan i synnerhet från bibränslepannor.

Bättre emissionsstatus

En central del i dagens förbränning är att minska emissionerna till luften, både vad det gäller CO och kväveoxider (NO_x). Genom att förbättra förbränningen på rostern kan slutförbränningen av gaserna optimeras på ett bättre sätt samt kväveoxidbildningen hållas nere genom stabilare förbränning.

En stabil askproduktion med jämnare kvalitet

Askutbränning har betydelse för dels askåterföring vid förbränningen och dels för verkningsgraden hos pannan.

Minimering av driftproblem i ask- och slaggutmatning

Vid dålig askutbränning har askan en större benägenhet att sintra och därigenom sätta igen de hål ur vilka luft skall blåsas in genom rostern. Detta skapar följdproblem i form av sämre förutsättningar för en god förbränning. Även problem med stopp i slaggutmatningen kan minimeras

Kvalitetssäkrad driftkontroll med höga miljökrav kan uppnås

Höjda krav på förbränningsanläggningar vad det gäller emissioner och prestanda kommer att kräva kvalitetssäkring av de processer som ingår. Detta har varit ett delmål i tidigare genomförda arbeten.

Minskade drift och underhållskostnader

En jämnare och stabilare förbränning minskar slitaget på rostern. Slitaget uppkommer i första hand vid höga, lokala termiska belastningar. En bättre kontroll av bädden kan minska dessa lokala problem.

Högre last

En bättre kontroll av bädden kan ge möjligheter att höja lasten på pannan. Många pannor är idag överdimensionerade för att klara bristande kontroll av bädden.

Minimering av antalet driftstörningar som leder till stopp

Vid förbränning kan oönskade objekt som kan orsaka skador på rost eller tuber följa med in i pannan. Med rosterövervakning kan dessa objekt kontrolleras på ett bättre sätt och därigenom få en minimering av skadan.

För att kunna uppnå ovanstående mål genom övervakning av bädden kan det konstateras att övervakning av, i första hand, följande två parametrar kan vara intressanta;

- Temperatur på bäddytan och i ett tvärsnitt över rostern
- Topografi på bädden

Med hjälp av dessa kan bl.a. nedanstående processer påverkas

- Torkning av bränslet
- Avgasning av flyktiga beståndsdelar.
- Askans utbrändhet.

Denna information kan ge underlag för att förbättra dels styrningen av luftflödet genom rosterns olika delar och dels rosterns rörelser.

Under den senaste femårsperioden har ett antal arbeten gjorts för att undersöka vilken eller vilka mätprinciper som kan vara användbara för att kunna detektera ovanstående parametrar. Infallsvinklarna för de flesta arbetena har varit att ta fram mätprinciper och inte att värdera om dessa är kommersiellt gångbara, d.v.s. kommer det vara ekonomiskt försvarbart, tillräckligt robust och användarvänligt att installera ett system i en panna. Detta projekt avser att bl.a. belysa dessa frågeställningar.

Syftet med rapporten är också att diskutera de ekonomiska och miljömässiga fördelar ett bäddövervakningssystem kan ge i förm av t.ex. utbränningsgrad, minskade emissioner, minskad bemanning etc.

Projektet har följts av en referensgrupp bestående av:

Bo Andersson	Kvaerner Pulping, Göteborg
Lennart Gustavsson	SP, Borås
Sven-Erik Kreij	Tekniska Verken i Linköping
Lennart Säterberg	Vattenfall Utveckling, Älvkarleby

2. Metoder

Tonvikten i projektet har varit att få erfarenhetsåterföring av tillgänglig teknik varför den största vikten lagts på en enkätundersökning samt intervjuer med relevanta personer. En litteraturstudie har också gjorts..

2.1. Litteraturstudie

Litteraturstudien har koncentrerats på skrifter och forskning utgiven i Sverige. Genom den första sökningen har fler skrifter spårats. Sökning har gjorts via bibliotek och internet. En hel del av det material som används i undersökningen är broschyrmaterial från leverantörer av mätutrustning.

I den referenslista som redovisas har uppdelning mellan vetenskapligt publicerade skrifter, broschyrmaterial och material funnet på internet gjorts. Utöver detta redovisas en lista över de personer som intervjuats.

2.2. Enkät

För att få ett verkligt mått på användarperspektivet skickades i en första omgång en enkät ut till samtliga avfallsförbränningsverk i Sverige, samt 23 bibränsleanläggningar. Syftet var att undersöka vilka system man använder idag och vad man har för visioner vad det gäller rosterövervakning. Detta gjordes i ett första utskick.

Under litteraturstudien framkom några ytterligare anläggningar som har installerat eller ingår i forskningsprojekt om rosterövervakning. Dessa 4 anläggningar har också ombetts att delta i enkätundersökningen vilket de har gjort.

Den utskickade enkäten finns i bilaga 1.

2.3. Intervjuer

Intervjuerna har gjorts som komplement till enkäten för att förtydliga problematiken. Diskussioner har förts med de som är ansvariga för driften av vissa pannor. Urvalet har skett med enkätsvaren som grund. Dessutom har samtal förts med enskilda forskare och specialister för att bedöma tänkbara framtida metoder.

3. Teknikgenomgång av optiska övervakningsmetoder

Följande avsnitt är en översiktlig teknikgenomgång av de optiska mätmetoder som finns beskrivna i samband med rosterpannor. I denna genomgång behandlas även akustiska mätmetoder.

Vid övervakning av en bränslebädd på rost är det som nämnts ovan två olika storheter som bör mätas; topografin och temperaturen. Båda dessa kan vara väsentliga för styrningen av rostern.

Om system som bygger på optisk rosterövervakning är implementerat i reglersystem används idag s.k. oskarp logik (fuzzy logic). Det är ett sätt att uppnå processmål. Metoden finns populärvetenskapligt beskriven i ref [7.1.11]

3.1. Temperaturmätning

3.1.1. Pyrometri

Med pyrometri menas mätning av den strålning som emitteras från en kropp. Vid mätning med pyrometer antar man ofta att mätobjektet strålar som en svart kropp. Detta innebär att ingen hänsyn behöver tas till transmission och reflexion från objektet, ref [7.1.1], [7.1.3] och [7.1.4].

Det vanligaste är att mäta den infraröda (IR) strålningen från objektet. Vid mätning med pyrometer mäts temperaturen på en yta vars storlek är beroende av den optik som instrumentet är försett med.

Det nyaste inom pyrometri är dubbellaser vilket beskrivs under laseravsnittet nedan.

3.1.2. IR-kamera

Mätning med IR-kamera går ut på att man gör en bild över rosterytan med en IR-känslig kamera. Bilden genomgår sedan bildanalys och signaler skickas till reglersystemet via en s.k. Fuzzy logic. Det är sedan möjligt att reglera inmatning och luftregister med hjälp av detta, ref [7.3.1], [7.3.4], [7.1.1]. Denna metod är i drift på ett par anläggningar levererade av Martin GMBH. Den kommer också att installeras på den nya pannan hos RENOVA i Sävenäs.

3.1.3. Akustisk temperaturmätning

I akustisk temperaturmätning utnyttjas fenomenet att ljudet färdas olika fort vid olika densitet på gasen. Densiteten i sin tur påverkas av temperaturen. Denna metod bygger dock på att man mäter gastemperaturen vilket gör den ointressant för rosterövervakning. Däremot kan metoden vara relevant för mätning i gasfasen. Metoden finns beskriven i ref [7.1.5], [7.1.10].

3.1.4. Lasermätning

För att mäta temperatur med laser kan Coherent Anti-Stokes Raman Scattering, CARS användas. Denna har provats på ett par pulverpannor med tillfredsställande resultat. Huruvida metoden är applicerbar för övervakning av en rost är osäkert men det är planerat att undersökas inom det metodprojekt som planeras av ÅF-Energikonsult och LTH, ref [7.1.7] och [7.1.8]

En annan av de laserbaserade metoderna kallas LIF, Laser Induced Fluorescence. Denna metod bygger på att ett fluorescerande medel sprids på mätobjektet varefter man exciterar med en pulserande laser och mäter upp responsen. Denna metod är troligtvis inte tillämpbar för kontinuerlig mätning i en panna p.g.a. att ett fluorescerande ämne måste spridas på mätobjektet. Metoden finns beskriven i ref [7.1.9].

En annan metod som kan vara av intresse är laser absorptions pyrometer eller dubbellaserpyrometri. Denna metod består av två, eller flera, lasrar med olika våglängder. Fördelen med denna metod är högre noggrannhet i mätningarna genom att inverkan av varierande emissionsfaktorer minskar. Metoden finns beskriven i ref [7.1.12], [7.1.13] [7.2.4]

3.2. Topografimätning

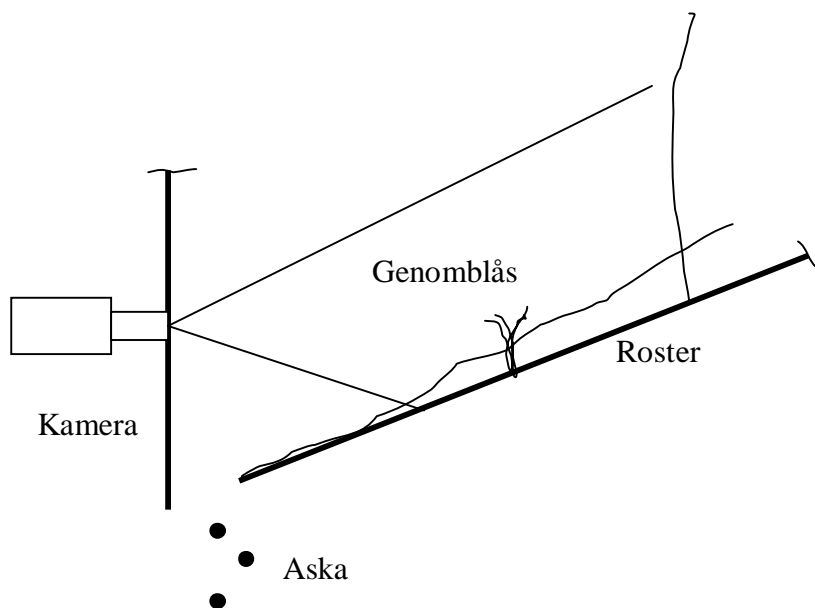
3.2.1. Videoövervakning

I pannor installeras idag videokameror som standard. Dessa används av driftpersonalen för manuell övervakning av bädden. kamerainstallationen kräver att spolning och kylning fungerar för att man skall ha nytta av kameran.

En kamera i pannan med tillhörande monitor fungerar som ett bra hjälpmedel för den operativa personalen.

3.2.2. Bildanalys

Bildanalys är i grund ett sätt att översätta operatörens synintryck till siffror i en dator och därigenom kunna koppla signalen till reglersystemet.



Figur 1. Schematisk skiss på en kameras placering vid en rooster
Figure 1 Camera placing in a boiler

Under de senaste åren har datortekniken utvecklats mycket fort och därigenom bidragit till att datorstyrd bildanalys blivit ett alternativ för övervakning av rosten. Det intressanta är att det är möjligt att använda standardkameror vilket gör systemet billigt. För att mäta temperaturen med god upplösning behövs IR känsliga kameror. En standardmässig kamera kan dock användas för att få en uppfattning om kalla och varma stråk även om de absoluta temperaturerna inte kan mätas med relevant noggrannhet.

Genom att montera två videokameror bredvid varandra med ett relativt kort avstånd, kan man uppnå ett stereoseende med hög upplösning. Om man däremot kan skapa referenspunkter som kameran kan se räcker en kamera för att bedöma bäddhöjd och bäddlängd. Detta medför en kalibreringskostnad för systemet mot den befintliga pannan. Detta är en engångskostnad för systemet.

Med dagens teknik kan man välja mellan att titta på ena eller andra sidan av flamfronten. För att kunna titta över hela rostern, även igenom flamfronten krävs bildförbättring. Efter samtal med experter inom området bildbehandling verkar detta vara en framtida möjlighet, men mycket arbete återstår vad det gäller mjukvaruutvecklingen. För 5 år sedan var datatekniken för att genomföra detta alldeles för dyr men utvecklingen gör att inom en snar framtid kan ett sådant här system vara ekonomiskt försvarbart.

Bildbehandling används med framgång för övervakning av bränslet och online bestämning av partikelstorleken, ref [7.1.2] och [7.2.2].

Vid oljeförbränning har Fortrum OY under en längre tid arbetat med bildövervakningssystemet Dimac. Detta fungerar bra och har varit till stor hjälp i driften. Det skall dock framhållas att en olje eller kolpulverbrännare har ett betydligt lugnare förbränningsförlopp än en bädd på en förbränningsroster, ref [7.3.2] och [7.3.3].

3.2.3. Laser

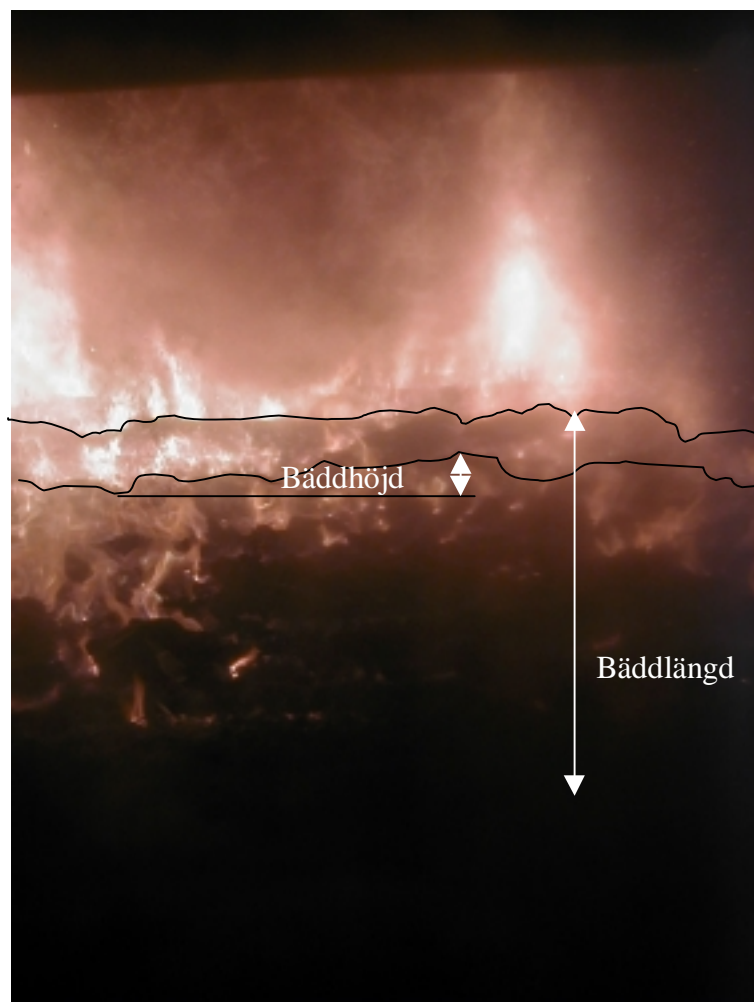
Laser är i pannersammanhang en oprövad metod. Den bygger på att scanna in profiler över en yta. Lasrar finns för denna applikation arbetar enligt två olika principer dels TOF (Time of flight) och dels Modulerad CW (Continuous Wave). I första fallet handlar det om pulsad laser där pulsens löptid mäts.

Ett antal tekniska problem vad det gäller laser och förbränning kan identifieras:

Partiklar i suspension kan störa mätningen eftersom de kan ge en reflektion och därigenom felaktiga mätvärden. Mätlängden blir för kort.

IR-strålningen anses inte vara ett problem för mätningen.

En ny typ av tunade lasrar kan inom en snar framtid komma in på marknaden och ger då möjligheter att bestämma gassammansättningar i systemet.



Figur 2 Foto över förbränning i en bibränsleeldad panna med rörlig trappstegsroster. De inlagda linjerna visar vad en laser skulle kunna se på en bränslebädd.

Figure 2 Picture taken in a bio fueled boiler with a moving grate. In the picture a few lines are placed to show what a laser would see om a fuel bed.

Diskussionen i ämnet har förts med Åke Wernersson LTU, LiTH och FOA ref [7.4.8].

4. Genomgång av enkätsvaren

Svarsfrekvensen för enkäten var bra för avfallsförbränningsverken och sämre för bibränsleanläggningarna. De svar som erhöles var mycket intressanta och belyste användarperspektivet på ett bra sätt. Den komplettering av svaren som sedan kunde göras per telefon gav en bra sammanfattning av dagsläget för optisk rosterövervakning men även av visioner och önskemål.

De önskemål som finns angående vad en rosterövervakning skall bidra till är framför allt jämnare förbränning och att upptäcka eventuella problem med bränslet vid inmatning eller på rostern. Dessutom vill man i ett tidigt skede kunna upptäcka ovälkomna inslag i bränslet. I slutänden vill man också kunna styra rostern på ett sådant sätt att emissionerna

minimeras. Det visar sig att typen av panna inte spelar roll för de kommentarer som erhållits.

Det generella problemet med optisk övervakning i pannor är att hålla linsen ren. Nya spolningsanordningar och kylkapslingar utvecklas dock ständigt.

Enkätsvaren redovisas i bilaga 2.

4.1. Övervakning med videokamera

Den typ av rosterövervakning som förekommer på nästan samtliga pannor är videokameror i färg. Systemen består i nästan alltid av en videokamera i pannans bakvägg och där bilden visas på monitorer i kontrollrummet. Detta underlättar för operatörerna att styra pannan manuellt.

Ett exempel är ENA energi i Enköping där kameror använts för att titta på påslag på överhettarna. Detta har fungerat utmärkt, planen nu är för att flytta ner kamerorna för att även titta på bädden. Det finns dock inga planer om att installera bildbehandling för att automatiskt kunna styra rostern med hjälp av bilderna.

Från pannleverantörshåll framgår det att videokameror i fastbränslepannor idag är standardutrustning.

4.2. Bildbehandling

På den svenska marknaden finns idag ett handfull system i drift som bygger på bildbehandling av signaler från videokameror. Av dessa håller ett system på att installeras på Händelöverket i Norrköping, ett system finns på Hudik Energi, ett på AssiDomän Skinnskattebergs trä, ett på Hedin Karbenning AB och ett på StoraEnso Ala. De tre sistnämnda systemen finns beskrivna i Naturvårdsverkets rapport 5056, ref [7.1.6].

I Hudiksvall har man installerat kameror för att mäta bäddhöjd och bäddlängd. Systemet fungerar utmärkt som hjälp åt operatörerna att manuellt styra pannan. Systemet är fortfarande för osäkert för att användas med automatik. Det visar en siffra som mått på bäddhöjden vilket ger en ingång till en automatisk reglering.

På panna 11 på Händelöverket, Norrköping Miljö och Energi, har övervakningen av bädden inte fungerat. Problemet har varit att systemet inte sett igenom suspensionen och kunnat ge en klar bild av bädden. I denna panna har man även provat IR-spotmätare med dåligt resultat.

4.3. Övervakning med IR-spotmätare

IR-spotmätare för mätning av temperaturen på rostern har provats på en handfull anläggningar. Det har dock varit svårt att få genomslag för metoden vid kontinuerlig drift. Försök som har gjorts av Birka Energi och Norrköping Miljö och Energi visar att svårigheter förekommit med virvlande partiklar och igensättning av de små hål man

borrat. Detta trots att spolningen av luft igenom hålet legat uppåt 50 m/s. En förbättring av geometrin för kylfluthålet kan förbättra situationen.

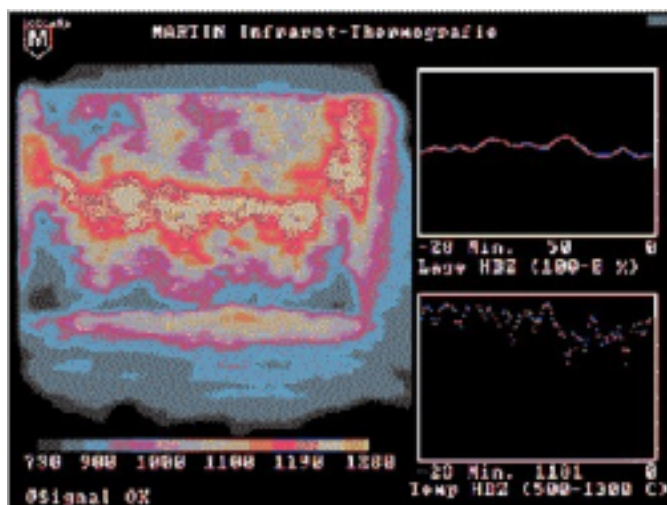
En kommentar är att; ”Ständiga igensättningar av pyrometern” Detta gör således att tillförlitligheten är begränsad vilket medför att systemet inte kan användas för reglering.

En aspekt som framkom var att mätning på en yta av ca 1 m² är för grovt. Problemet är att för att kunna täcka pannans bredd behövs ett antal IR-pyrometrar som var och en mäter över ett litet område och då blir systemet dyrt. Motsvarande svar har även kommit från fler användare.

4.4. Övervakning med IR-kamera

Övervakning med IR-kamera har framför allt använts av pannleverantören Martin. Metoden är bra men dyr och är ekonomiskt försvarbar på framförallt större pannor. Detta kan dock vara individuellt och bero på problematiken. En hel utrustning inklusive kamera och koppling till reglersystemet kostar ca 2 MSEK i inköp, till detta tillkommer service och kalibrering.

Metoden bygger på att man tittar över hela rostern med IR och genom det kan identifiera bäddens olika zoner. Detta gör att man på detta detaljerat sätt kan styra rosterns rörelser, bränsleinmatningen och primärluften. Ett exempel på bild från en IR-kamera visas nedan.



Figur 3 Bild tagen med en IR-kamera på en avfallsförbränningsroster
Figure 3 Picture taken with a IR-camera showing a disposal fuel bed.

Samtal med Martin GmbH visar att de använder systemet i de flesta av sina större avfallsförbränningsanläggningar, men drifttagning av pannorna sker med konventionell pannreglering. IR-kameran monteras sedan i toppen av pannan som en extra hjälp. Systemet innebär dels automatisk styrning av primärluftregisterna med hjälp av kameran samt en färgbild på monitor i kontrollrummet. Systemet är installerat på ett flertal pannor i Europa och kommer att finnas på RENOVA's nya panna i Sävenäs som skall vara i drift februari 2002. Dock kan sägas att systemet inte är standard och har störst användbarhet i pannor med tre eller fler rosterbanor.

5. Litteraturstudie

Under litteraturstudien konstaterades det att metoderna som finns beskrivna är många. Den praktiska tillämpningen av metoderna i reglersystem är dock i en hel del fall hittills tveksam. Samtliga genomgångna skrifter redovisas i referenslistan.

I den aktuella litteraturen beskrivs framför allt de metoder som bygger på IR-tekniken, både kamera och pyrometer. Även Värmeforsk har i ett antal rapporter presenterat detta. Den akustiska pyrometrin finns inte provad i de här sammanhangen men finns beskriven i litteraturen.

6. Slutsatser och kommentarer

Under undersökningarna av möjligheten att övervaka bädden i en rosterpanna har ett antal metoder kunnat presenteras. Det förefaller ändå som om metoderna ännu inte är färdigutvecklade och tillgängligheten och tillförlitligheten är inte alltid vad användaren kan önska.

Det går att dela in metoderna i befintliga metoder, metoder under utveckling och metoder som befinner sig på forskningsstadiet. Mellan de kategorierna kan gränserna anses flytande eftersom leverantörerna, forskarna och användarna ser olika aspekter och olika problematik. En uppfattning och kanske uppgift som detta projekt syftar till är att föra dessa tolkningar närmare varandra.

Utvecklingen av kamerasystem för pannor har gått framåt på ett sådant sätt att både kylning och spolning av linser fungerar på ett tillförlitligt sätt. I kombination med dagens datorutveckling gör detta att bildbehandlingssidan blir mer tillgänglig både vad det gäller vanliga videokameror och IR-kameror.

6.1. Temperaturmätning

6.1.1. Pyrometri

Det framkommer att IR-pyrometrar har god möjlighet att mäta temperaturen i slutförbränningszonen, ref [7.1.4]. Enkät svar som pannägaren har gett och telefonsamtal med Birka Energi visar att problemen med igensättning av pyrometrarna, gör att man ämnar ta bort pyrometrarna, eftersom de inte fyller någon funktion. Även Norrköping Miljö och Energi har provat pyrometrar men tillförlitligheten ansågs vara för låg detta kan bero på att man har en vibrationsroster där materialet yr omkring.

Metoder med IR-pyrometrar skall dock inte förkastas då det finns exempel på system med god tillförlitlighet. Ett exempel är Trollhättans Kværnerpanna där rosterhastigheten och primärluften regleras med hjälp av en IR-pyrometer. Problemen med lång respektive kort eld har reducerats genom mätsystemet. Pyrometern har även provats i kombination med videokamera vilket har gett bra resultat. IR-pyrometrarna i Trollhättan har varit installerade i ca 1 år.

Vissa praktiska problem och behov av flera pyrometrar för att få en mätning tillräckligt noggrann kan dock göra att metoden blir komplicerad och dyr trots att själva instrumentet är förhållandevis enkelt och billigt. Dessa problem med tillförlitligheten kräver att om IR-pyrometri skall vara användbar måste fler långtidsförsök i fullskala genomföras.

Det centrala vad det gäller IR-pyrometrar är placeringen, är zonen förhållandevis ren är problemen med nedsmutsning liten. Titthålet bör dessutom vara utformat på ett sådant sätt att renblåsningen blir så effektiv som möjlig.

6.1.2. IR-kamera

IR-kamera används för övervakning av avfallsförbränning på Martin-pannor. Det har dock framkommit vid samtal med Martin att man i dagens läge inte vill använda kameran vid idrifttagning utan man har väntat med installationerna till efter den inledande fasen. Metoden är annars ett bra sätt att övervaka temperaturprofilen över rostern.

Priset för ett system innehållande kamera och bildbehandling för tolkning och koppling till reglersystemet är högt. Dessutom krävs det kringutrustning och eventuellt ombyggnader av pannan för att klara av installationen. Detta sammantaget gör att systemet är i dyraste laget för gamla pannor. En ny IR-kamera kostar i storleksordningen 300 000-400 000 kr, sedan tillkommer bildbehandlingssystem och kopplingar till regleringen.

6.1.3. Akustisk pyrometri

Denna metod finns beskriven i litteraturen för mätning i gas. Den är således inte tillämpbar för bäddövervakning. Den finns behandlat i ref [7.1.14]

6.2. Topografi

6.2.1. Videoövervakning

Denna metod är billig och kräver endast att operatörerna har möjlighet att se monitorn från pulpeten och/eller terminalen. En videokamera med kylning och spolning av linsen kostar ca 50 000 kr.

6.2.2. Bildanalys

En utveckling av videoövervakningen är att datorbehandla bilden och tolka den automatiskt med bildanalys. Under några år har bäddlängd och bäddhöjd mätts med hjälp av bildanalys. Utvecklingen inom detta område går snabbt då datortekniken och den hårdvara som krävs för bildanalysen sjunker i pris.

Systemen är dock inte accepterade inom branschen ännu och en rad problem är kvar att lösa. En särskild aspekt är att de företag som kan leverera system är små och därigenom sårbara.

Problemen med bildanalyserande system är också att se igenom lågor och partiklar i gasfasen vid förbränningen. Osäkerheten gör att tillförlitligheten än så länge vacklar. Om det gick att se genom flamfronten skulle problemen med inmatningen kunna minimeras. Ett annat alternativ är att placera en kamera så att den ser inmatningen och behandla denna del separat. Detta ger goda möjligheter att via internet ta upp en bild av förbränningen vid en extern terminal vilket ökar möjligheterna för fjärrstyrning.

Detta är dock en metod som, i och med att priset sjunker, kan bli mycket intressant på sikt. På avfallsförbränningsidan förses idag pannor rutinmässigt med videokamera och monitor vilket gör att förutsättningar för att komplettera med bildanalys är goda, ref [7.4.7]

6.2.3. Laser

Lasertekniken har gått framåt i och med datorutvecklingen och därigenom ökat i intresse för denna typ av applikationer. Metoderna används för forskningsändamål är oprövade i kommersiell drift av anläggningar. De har under en rad av år använts för mätningar inom industrin t.ex. för att styra robotar och förarlösa truckar på ett enkelt och billigt sätt.

Denna utveckling gör att det kan vara värt att pröva laser vid några inledande försök. Prognosen för ett sådant försök är att endera erhålls ett bra mätförhållande eller så fungerar det inte alls.

Anledningen till att detta kan vara intressant i jämförelse med andra beskrivna metoder trots att lasern är oprövad, är att det skulle räcka med scanning från ett mätställe för att täcka in en ordinär rooster från inmatning till utbränningszon. En typisk noggrannhet är ± 2 cm med en stråldiameter på 2-4 cm. En typisk mätfrekvens är >1000 mätningar /sekund varför man får en tät sampling trots att en del pulser "fastnar" mot partiklar i suspensionen ovanför bädden.

6.3. Ekonomiska aspekter

Syftet med roosterövervakningen är att uppnå jämnare förbränning. De vinster som kan göras i samband med detta enligt enkätsvaren är t.ex.:

- Lägre NOx-halter.
- Mindre slitage
- Övervakning av påslag
- Bättre utbränd aska
- Möjlighet till fjärrstyrning

Det är svårt att ge generella priser på någon av punkterna eftersom pannornas status inom området är individuell. Möjligheten att fjärrstyra en panna ger möjligheter till personalbesparingar vilket betyder 500 000 kr/ person och år. Ett bildanalyserande system som kan mäta bäddhöjd och bäddlängd och kopplas in till reglersystemet innehåller kamera med kapsling, dator, programvara och kostar idag med installation och kalibrering ca 300 000 kr. Tack vare att många pannor redan har videokameror installerade kan priset bli lägre.

Efter samtal med de som använder sina kameror har man ännu inte beräknat exakta vinsten men operatörerna upplever att man erhåller jämnare förbränning och därigenom sparar pengar på de områden som redovisas ovan. För att få en uppfattning så kostar deponi av aska 250 kr/ton till detta tillkommer ytterligare 100-150 kr/ton i hanteringskostnader. En lugnare förbränning bidrar dessutom till bättre emissionsdata och således lägre NO_x-avgifter. På emissionsidan kan också CO halten kan hållas nere, vilket kan medföra att andra investeringar för att förbättra förbränningen kan undvikas. Det finns dessutom förslag om att reglera CO utsläppen på ett liknande sätt som NO_x-avgifterna fungerar idag. På asksidan betyder 1% mindre oförbränt i askan medföra att man sparar ett par kronor /MWh. Vad det gäller rosterslitage kostar ett rosterelement ca 500 kr. Dessa olika besparingar medför att ett mätsystem kan vara betalt på förhållandevis kort tid.

IR-kamera är den metod som har använts i kommersiell drift längst. Pannleverantören Martin GMBH installerar IR-kameror i taket på sina större avfallsförbränningspannor. Övervakningssystemet kostar ca 2 miljoner kronor/panna. IR-kameror är dyra (ca 300 000 kr/styck) och det är tveksamt om den tekniska vinsten är så mycket större än med konventionell videoövervakning i kombination med bildanalys. Denna jämförelse har inte gjorts i verkligheten vilket gör bedömningen teoretisk.

En annan modell är att kombinera videokameror med bildanalys med en IR-pyrometer. Detta görs för att få ett bättre mått på temperaturen. Kombinationen har inte provats enligt vad som är känt men är en intressant utveckling.

Lasermätningar är ett oprövat kort men kan vara av intresse då det finns möjligheter att titta över hela bädden från inmatning till askutmatning från en mätpunkt, d.v.s. även genom flamfronten. Skall videokamera användas bör man använda två kameror en framför och en bakom flamfronten. Laser är en intressant metod då priset på bra lasrar är sjunkande.

6.4. Vidare utveckling

Generellt för all optisk rosterövervakning gäller att spolning och kylning av utrustningen är viktig och ett prioriterat område.

I ett framtidsperspektiv förefaller en rad olika lösningar möjliga. Att fortsätta utveckla på bildanalys signaler från vanliga videokameror verkar vara det som möter det minsta motståndet från användarna. Metoden kan dessutom anses billig, i dagens läge har system installerats på ner till 10 MW sågverkspannor. Programutveckling och metodutveckling bör fortsätta i samarbete med driftpersonal för att ta fram effektivare programvaror.

För IR-spotmätarna gäller att driftsäkerheten bör bli bättre. Användarna har haft varierande uppfattning om tillförlitligheten hos metoden p.g.a. detta faktum. Det kan vara en bra metod att kombinera med videokameror. Några lyckade försök har genomförts och man bör bygga vidare på dessa erfarenheter.

IR-kameror är i dagens läge det som använts med störst framgång men utrustningen är dyr och det är tveksamt om det lönar sig att montera i en befintlig panna. Detta är till

skillnad från de andra metoderna en ”färdig” mätmetod, med goda erfarenheter från praktisk drift.

Lasermätningar, både vad det gäller temperatur och topografi, är oprövade i kommersiella förbränningssammanhang. Detta gör dem kortsiktigt ointressanta, men det är högtintressant att prova metoderna då priset är gynnsamt.

7. Referenser

7.1. Rapporter, artiklar och böcker

- 1 Värmeforsk 606 Robert Schuster m.fl. TPS branchforskning för energiverk
Rapportering från verksamhetsåren hösten 1993-våren
1996. 1997
- 2 Värmeforsk 530 Lennart Ryk, ”Jämförelse mellan olika metoder att
karakterisera partikelegenskaper hos bränslepulver av trä,
torv, olivkärnor och kol. Februari 1995
- 3 Värmeforsk 674 Martin Sandberg, Magnus Jönsson, Leif Lundin. Inledande
studier av metod för IR-mätning i ångpannor, oktober 1999
- 4 Värmeforsk 677 Lars Rudling, ”Optimering av askutbränning vid
rostereldade anläggningar med hjälp av IR-sensorer.
Demonstration av teknikens tillämpbarhet. November 1999
- 5 T.J. Quinn Temperature, Second edition. Academic Press Limited.
ISBN 0-12-569681-7. 1990
- 6 Naturvårdsverket 5056 Förbränning av biobränslen – bildanalysens möjligheter att
reducera kväveoxidutsläpp. Februari 2000.
- 7 LTH Christer Löfström, Marcus Aldén, Peter Ljung. Temperature
measurements using CARS in a full scale 80 MW boiler.
Manuskript
- 8 LTH Christer Löfström, Marcus Aldén. Temperature
measurement with the pulsed laser technique, CARS in the
Jordbro, 75 MW boiler with bio powder fuel. LRCP 50.
Våren 1999
- 9 LTH Christer Löfström, Visualisation with a pulsed laser
technique in the Jordbro, 75 MW boiler with bio powder
fuel. LRCP 55. Våren 2000.
- 10 Scientific Engineering Instruments Inc. Larry G, Yori P.E.
Applications and benefits of boilerwatch acoustic gas

temperature measurement system in fossil fueled power boilers.

- 11 Automation nummer 8:1998, Tomas Öberg, Multisimplex AB
Optimera processen är inget att vara rädd för.
- 12 Tempmeko '99 Proceedings Nmi 1999. Gordon Edwards m.fl.
Laser absorption radiation thermometry and industrial temperature measurement – the results of an EC collaborative project (SMT4-CT95-2003)
NPL, Teddington, Middlesex, UK
- 13 Tempmeko '99 Proceedings Nmi 1999 G J Edwards and A P Levick NPL
Recent developments in laser absorption radiation thermometry at the NPL, Teddington, Middlesex, UK
- 14 Värmeforsk
Lars Wrangsten, Rickard Ehleskog Avancerad processstyrning av fastbränsleeldade rosterpannor
Etapp I Kartering av mät- och givartekniker

7.2. Material publicerat på internet

Samtliga internetreferenser är tagna i augusti 2000.

- 1 Strålningspyrometrar, Pentronic, <http://www.pentronic.se>
- 2 Bildbehandlingssystem, IPACS, <http://www.rtn.nu/info/ipacsinfo.htm>
- 3 Martin GMBH, <http://www.martingmbh.de/>
- 4 Laser Absorption Pyrometer , http://www.ike.uni-stuttgart.de/www/tp/thermophys_e.htm

7.3. Material publicerat i broschyrform

- 1 Martin GMBH
Martin Infrarot-Kamera geführte Feuerungsregelung nach dem System. Manuskript
- 2 Fortrum OY
description
and Fortrum in Answers to engineering questions and a refined Dimac based on the technical discussions between Bhel Trichy, end of february 1999.
- 3 Fortrum OY
Dimac
- 4 Agema
Infrared Observer. Number 42. 1997

7.4. Muntliga referenser

1	Marcus Aldén	LTH	Professor
2	Jonas Bertilsson	Pentronic	
3	Stefan Dahlhielm	IPACS/IMENCO	
4	Alexander Lauber	LITH	Professor em.
5	Dan Loyd	LiTH	Professor
6	Martin Sandberg	SP	
7	Anders Wahlström	Svenska VonRoll	
8	Åke Wernersson	LTU, LiTH, FOA	Professor

8. Bilagor

- 1 Utskickad enkät
- 2 Sammanställning av enkätsvar i tabellform

Enkät om användbarheten av rosterövervakning

Bilaga 1

Svar senast 19 maj 2000.

Pannbenämning (frivillig uppgift)

Bolag _____ Verk _____ Panna _____

Panndata

Pannleverantör _____

Rostertyp _____

Bränsle _____

Storlek _____ MW Ånga Hetvatten

Årsproduktion _____ GWh Beräknat antal drifttimmar/år _____

Halt oförbränt i askan _____ %

Frågor angående rosterövervakning

1. Finns det någon form av optisk rosterövervakning i er panna Ja (Vidare till 2)
 Nej (Vidare till 4)
2. Vilken typ Videokamera (färg)
 Videokamera S/V
 IR- spotmeter
 IR- kamera
 Övrig Vad? _____
3. Används rosterövervakningen för reglering Ja, för manuell bevakning/reglering
 Ja, för automatisk reglering
 Nej
4. Har ni tidigare provat (annan) rosterövervakning
 Nej
 Ja Varför avslutades projektet _____ ⇒(baksidan)
5. Finns det störningar som kunde ha undvikits fall rosterövervakning funnits/fungerat?
 Nej
 Ja, vad? _____ ⇒(baksidan)
6. Kan jag få kontakta er och ställa eventuella kompletterande frågor?
 Nej
 Ja Bolag _____
Kontaktperson _____ Tel _____

Kommentarer till fråga 4.

Frågan löd;

Har ni tidigare provat annan rosterövervakning

Vid ”Ja” ; ”Varför avslutades projektet?”

1. IR-pyrometrar har provats men p.g.a.ständiga problem med igensättningar av pyrometern och felaktig placering avslutades projektet.
2. Prov med IR-kamera har genomförts, TPS-projekt
3. Mikrovakt har använts. Denna metod var opålitlig
4. Videokamera har provats. Kylningen av kameran blev för dyr och placeringen var inte den bästa.
5. Problem med att kameran inte ser nog långt in i pannan

Kommentar till fråga 5.

Frågan löd

”Finns det störningar som kunde ha undvikits ifall rosterövervakning funnits/fungerat?”

1. Jämnare drift, mindre NO_x, Förbättringar av förbränningen
2. Stopp i ugn, Hög-låg temperatur
3. Säkerligen skulle stopp i nedfall kunnat undvikas med bättre kontroll. De flesta stoppen beror på bränslets karaktär
4. För höga/låga ugnstemperaturer samt stopp i bränsleinmatning. Styrning av primär och sekundärluft.
5. Sönderbrända roster
6. Lägre halt oförbränt i askan. Lägre emissioner framförallt av NO_x och CO
7. Jämnare last, mindre oförbränt i bottenaskan
8. Underlättar att undvika ”sopberg”
9. Genomblåsning av bränslebädd
10. Möjlighet att köra anläggningen obemannad
11. Jämnare bränsleinmatning. Beroende på uttag kan bränslebädden variera i tjocklek, för tunn=bränner det igenom, för tjock= går den i bakväggen
12. Bakeld
13. Med automatisk reglering borde man kunna hålla en bättre utbränning, samtidigt som halten oförbränt hålls låg.
14. Lättare att undvika oförbrända ”sopberg” genom att anpassa rosterhastighet och förbränningsluft till rådande bäddtjocklek.

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk forskning och utveckling. Forskningsprogrammet är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem. Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrierna
- Övrig Industri

Värmeforsk samarbetar med Statens Energimyndighet.

VÄRMEFORSK Service AB

101 53 Stockholm

Tel 08-677 25 80 • Fax 08-677 25 35

<http://www.varmeforsk.se>