

Rosterövervakning med bildanalys

Elisabet Blom, Bengt Gustafsson, Magnus Olsson

Rosterövervakning med bildanalys

Rosterövervakning med bildanalys

Furnance grate monitoring by computer vision

Elisabet Blom, Bengt Gustafsson, Magnus Olsson

P4-317

VÄRMEFORSK Service AB
101 53 STOCKHOLM · Tel 08-677 25 80
Januari 2005
ISSN 0282-3772

Förord

Projektet har genomförts i samarbete med Tritech i Linköping till vilka vi skickar ett stort tack.

Proven genomfördes vid Karlsborgsverket i Kalix vilket medförde långa transporter i samband med detta vill ge ett speciellt tack till

Tomas Lange	ÅF-Infrateknik, Linköping
Jürgen Jacoby	ÅF-Energi & Miljö , Stockholm
Anders Malmgren	ÅF-Kontroll, Luleå

Särskilda tack går också till verkstaden på Karlsborgsverket under ledning av Roland Nilsson som ställde upp helhjärtat. Pontus Gille på KMW gjorde sedan, med kort varsel, en stor insats i samband med de kalla försöken och detta ger jag en extra guldstjärna.

Jag vill till sist tacka referensgruppen Erik Ramström TPS, Kristian B.Poulsen ELSAM, Anna Persson och Johan Helgesson Vattenfall Utveckling för samarbetet.

Linköping 2004-11-19

Elisabet Blom

Abstract

During the last 5 years the computer vision techniques has developed rapidly. This makes it possible to use computer vision for monitoring.

This tests showed that it is possible to measure grate bed topography with two cameras and at the same time detect fuel drying and flames. It was however not possible to measure particle size directly on the grate.

Sammanfattning

Under de senaste åren har datorerna och videotekniken utvecklats snabbt. Detta gör det ekonomiskt och tekniskt möjligt att använda kameror för att övervaka händelser och förlopp i pannor. De första beröringsfria försöken med rosterövervakning gjordes under mitten av 1990-talet. Efter det har ytterligare försök gjorts framför allt med att mäta bäddlängden från pannans bakkant. I det här projektet har ÅF Energi & Miljö i samarbete med Tritech inriktat sig mot att analysera bäddstrukturen från bränsleinmatningssidan.

Det som är primärt att detektera i den här delen av pannan är hur bäddens topografi ser ut. Fördelen med att göra analysen från inmatningen är att det då finns tid att optimera bädden så att den jämnas till. En ojämn bädd medför, så gott som alltid, en ojämn förbränning och därigenom problem med att styra vad som kommer ur pannan både på gas- och asksidan.

Målet var att visa möjligheterna att mäta bäddhöjd, partikelstorlek och förbränningsintensitet eller utbredning med hjälp av bilder tagna med en eller två kameror.

Vid proven användes barkpannan vid Billeruds fabrik i Karlsborg, Kalix pga. Att den har luckor vid bränslestupen som gör det lätt att titta ner på rosten från inmatningen.

Resultaten visar att den kameraplacering som kunde göras i Karlsborg och de kameror som användes inte var anpassade för att göra en 3D bild av bädden. Däremot visade proven hur bilderna kan behandlas för att se det man är intresserad av så som filtrering, tidsmedelvärdesbildning, kontrastering etc.

För att prova om 3D analysen kunde göras med en parallell kameraplacering gjordes ett försök i KMW:s rostrigg i Norrtälje. Bilderna från detta försök kunde korreleras och en mätning av bäddens topografi gjordes med en noggrannhet på ca ± 1 cm.

Vid försöken i Karlsborg konstaterades att man kunde se bränslebädden tydligt och det fanns även möjlighet att se förångningen av bränslefukten och antändningen av bränslet. Det sistnämnda var något svårt att se tydligt i våra bilder men en kamera med ickelinjär känslighet skulle kunna minska problemet med överexponering.

Slutsatsen är att det finns möjlighet att mäta bäddhöjd och bäddtopografi med den kameraplacering som gjordes vid de kalla försöken. Partikelstorleken bör istället göras t.ex. i änden av ett transportband eller någon annan kant över vilken bränslet faller. Det är dock fortfarande aktuellt att göra med kamerateknik. Det är också möjligt att bedöma en temperaturzon där ånga avgår från bädden.

Nyckelord: Rostövervakning, bildanalys, bränslematning, bäddhöjd, bäddtopografi

Summary

During the last couple of year's computer vision has developed a lot beside computers and video technic. This makes it technical and economical possible to use cameras as a monitoring instrument. The first experiments with this type of equipment were made in the first part of 1990:s. Most of the experiments were made to measure the bed length from the back of the grate. In this experiment the cameras were mounted in the front instead.

The highest priority was to detect the topography of the fuel bed. An uneven fuel bed means combustion with local temperature variations that do the combustion more difficult to control.

The goal was to show possibilities to measure fuel bed highs, particle size and combustion intensity or the combustion spreading with pictures from one or two cameras.

The test was done in a bark-fuelled boiler in Karlsborg because that boiler has doors from the fuel feeding side suitable for looking down on the grate.

The results shows that the cameras mounting that were done in Karlsborg were not good enough to do a 3D calculation of the fuel bed. It was however possible to see the drying and it was possible to see the flames in the pictures. To see the flames and steam without over exposure because of different light in different points, it is possible to use a filter or an on linear sensibility camera.

To test if a parallel mounting of the two cameras would work a cold test were done in the grate test facility at KMW in Norrtälje. With the pictures from this test we were able to do 3D measurements of the bed topography.

The conclusions are that it is possible to measure bed height and bed topography with other camera positions than we were able to use in this experiment. The particle size is easier to measure before entering the boiler for examples over a rim were the particles falling down. It is also possible to estimate a temperature zone were the steam goes off.

Key words: Grate, Computer vision, bed height, bed topography, fuel feeding

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	BESKRIVNING AV FORSKNINGSOMRÅDET	1
1.3	KRAV PÅ EN ROSTERÖVERVAKNINGSSUTRUSTNING	2
1.4	MÅL.....	3
2	BILDANALYS I TEORIN	4
2.1	KALIBRERING	4
2.2	3D-MÄTNING MED HJÄLP AV BILDANALYS	5
2.2.1	<i>Krav för 3D-mätning.....</i>	<i>5</i>
2.2.2	<i>Kamerorientering.....</i>	<i>6</i>
2.3	TRACKEYE ®	7
3	VARMA FÖRSÖK	8
3.1	PANNBESKRIVNING.....	8
3.1.1	<i>Bränsleinmatning.....</i>	<i>9</i>
3.1.2	<i>Snedrostugnen</i>	<i>10</i>
3.2	UTRUSTNINGSBESKRIVNING	10
3.2.1	<i>Kamera</i>	<i>12</i>
3.2.2	<i>Bandspelare</i>	<i>12</i>
3.3	MÄTNING I BILLERUDS BARKPANNA VID KARLSBORGVERKET, KALIX.....	12
4	KALLA FÖRSÖK I KMW:S ROSTRIGG I NORRTÄLJE.....	15
5	UTVÄRDERING AV DE VARMA FÖRSÖKEN	18
5.1	BILDMATERIAL	18
5.2	TIDSFILTRERING	18
5.3	BILDKVALITET.....	19
5.3.1	<i>Kamera 1</i>	<i>19</i>
5.3.2	<i>Kamera 2</i>	<i>20</i>
5.4	AUTOMATISK DETALJDETEKTERING	20
5.5	3D-MÄTNINGAR	21
5.6	FÖRBRÄNNINGSINTENSITET OCH -UTBREDNING	22
5.7	MÄTNING AV PARTIKELRÖRELSER	22
5.8	GENOMFÖRANDE AV VARMA FÖRSÖK I KARLSBORG.....	23
5.8.1	<i>3D-mätning</i>	<i>24</i>
5.8.2	<i>Temperaturmätning</i>	<i>25</i>
5.8.3	<i>Partikelstorleksmätning.....</i>	<i>25</i>
6	UTVÄRDERING AV DE KALLA FÖRSÖKEN I NORRTÄLJE	26
6.1	KALLA FÖRSÖK I NORRTÄLJE	26
7	DISKUSSION	33
7.1	PRAKTISKA PROBLEM I SAMBAND MED INSAMLINGEN AV BILDER.	33
7.1.1	<i>Kamerakvalitet.....</i>	<i>33</i>
7.2	3D- MÄTNING.....	34
7.3	MÄTNING AV PARTIKELSTORLEK	35
7.4	BEDÖMNING AV TEMPERATURPROFIL	35
7.5	SIGNALANALYS.....	35

8	SLUTSATSER.....	37
9	FORTSATT ARBETE	38
10	LITTERATURREFERENSER.....	39

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Under en följd av år har arbete genomförts för att hitta lämpliga metoder att övervaka förloppen på en förbränningsrost, bland andra hos referenserna [1], [2] [3], [4], [5] och [6]. Mycket av denna kunskap har kunnat utnyttjas både för vidare FoU samt i kommersiella ombyggnader av rosterpannor.

1.2 Beskrivning av forskningsområdet

Redan i början av 1990-talet gjordes ambitiösa försök med att styra bäddlängden med bildövervakning med kameror både i det synliga och i det infraröda området. Arbete inriktades till stor del på förbrännings- och slutförbränningszonerna och styrstrategier utarbetades och testkördes manuellt under de perioder när relevant information kunde erhållas, dvs. när störningarna inte var alltför svåra. Förbränningszonens intensitet och utbredning mättes från pannans bakkant med en kamera. Detta system blev dock inte tillräckligt billigt och driftsäkert för att det skulle användas i större automatiserad skala. Problemen berodde till stor del på att sticklågor på rostens nedre del störde mätningen av flamfronten.

Utvecklingen gick istället mot att installera antingen:

- ett antal IR-spotmätare i ugnens tak som vardera känner av temperaturen i en/flera kvadratmeter stor zon på bädden, för att därigenom kunna styra luftflödet i luftlådan och rostvagnen i denna zon, samt med hjälp av informationen från samtliga zoner kunna styra hela bränsleförbränningsflödet från bränsleinmatning till askutmatning
- att genom IR-spotmätare i ugnens bakkant på samma sätt styra slutförbränningen av bränslet.

Det visade sig dock att temperaturinformationen från IR-spotmätarna i bränsleinmatningen inte var tillräcklig och att även dessa stördes av uppvirvlande stoft och brinnande sot, speciellt under lågNO_x-betingelser när en syrefattig gas produceras från bädden. Det skall dock sägas att det fungerar utmärkt i slutförbränningszonen ref [6].

I senare projekt har därför olika typer av bäddhöjdssensorer testats med inriktning mot den del av rosten där bränslet kommer in och det visade sig där att laser och gammastrålare kan vara framkomliga alternativ. Det vore dock en klar framgång om man kunde erhålla detaljerad information både om topografi och temperatur med en och samma utrustning och som dessutom tillät okulär kontroll av styrsystemet.

1.3 Krav på en rosterövervakningsutrustning

Det finns ett antal önskemål på vad ett rostövervakningssystem bör kunna för att vara av värde:

- Ge en topografisk bild av bädden
- Ge en temperaturbild av bädden
- Ge en bild av bränslets struktur, partikelstorlek
- Vara okänsligt för störningar så som gnistor, lågor och rök
- Vara billig i både investering och underhåll

Att med ledning av detta ta fram en styrstrategi för detta är en senare fråga, som måste skraddarsys för den enskilda pannan, det är både en förbränningsteknisk och en reglerteknisk fråga. För detta projekt är det mer en fråga om att visa vad en bild kan användas till.

Frågan är nu om denna övervakningsteknik finns? Nedan sker ett försök till sammanfattning

- 1) Den topografiska bilden skulle kunna uppnås med hjälp av en stereometrisk mätning med två kameror, vilket skulle uppfylla punkt 1
- 2) Kameror av olika typer med infraröda eller andra billigare med IR-filter är idag kommersiell teknik, vilket innebär att punkt 2 kan uppfyllas om störningar kan elimineras.
- 3) Det som hänt under senare år är bildanalystekniken utvecklats kraftigt. Att filtrera bort störningar i form av lågor, sot, aska, brinnande partiklar etc. verkar ha passerat utvecklingsstadiet och därigenom kan troligen både en bättre bild av förbränningen och av bränslets struktur erhållas..
- 4) Bättre bildanalysprogram gör det sannolikt att billigare enklare kameror kan användas. Vidare installeras idag regelmässigt kameror för övervakning av våra fastbränslepannor vilket i sin tur innebär att investeringen blir måttlig.

En förändring av kameraplaceringen blir inte bara en praktisk aspekt utan också en teknisk aspekt d.v.s. bildens utseende och kvalitet skall vara tillräckligt bra för att man med automatik skall kunna analysera den.

Ett annat syfte med undersökningen är att visa på vad en kommersiellt tillgänglig, färdig programvara kan erbjuda jämfört med att göra egenanpassad Matlab kod till varje enskilt projekt. Matlab kan i många fall vara bra men det gynnar inte driftsäkerheten att man börjar från början varje gång. I dagens läge finns det också få verk som har Matlab licenser.

1.4 Mål

Målet är att:

Visa på möjligheterna att mäta bäddhöjd, partikelstorlek och förbränningsintensitet eller utbredning med hjälp av bildanalys av bilder tagna vid inmatningen med två kameror.

2 Bildanalys i teorin

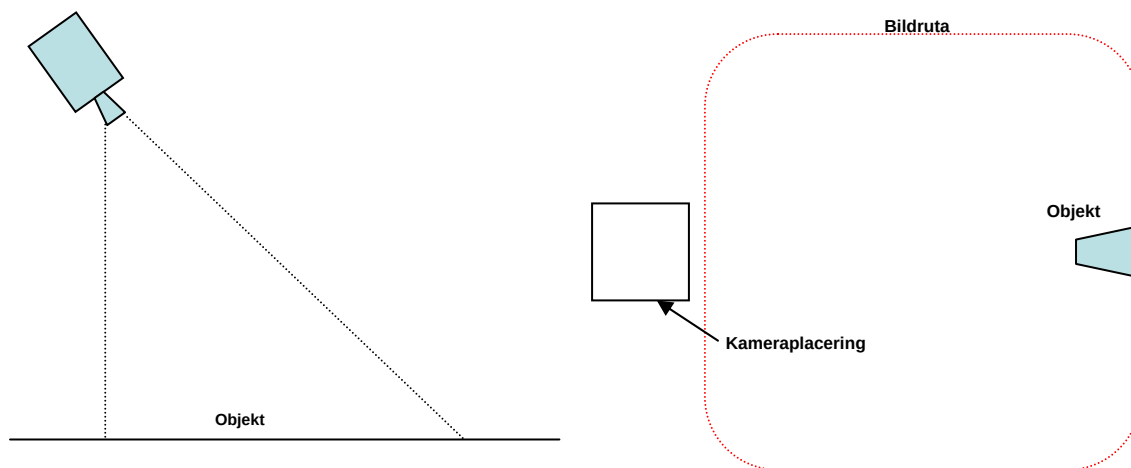
Detta avsnitt förklarar ett antal begrepp inom bildanalysen som underlättar läsningen av övriga delar av rapporten.

2.1 Kalibrering

Upplösningen hos en kamera bestäms av antalet pixlar per ytenhet. Således gäller att ju närmare objektet kameran sitter desto bättre upplösning erhålls. Det är sedan en avvägning vad som prioriteras, stor yta eller hög upplösning. Ett föremål som är mindre än en pixel går inte att identifiera på ett säkert sätt. Avståndet mellan kamera och objekt är därför avgörande för hur små saker som kan identifieras. Ökas upplösningen hos kameran, dvs. antalet pixlar blir flera kan en större yta involveras i samma bild med bibehållen mät noggrannhet..

Ett ytterligare optiskt problem infinner sig om kamerorna inte har samma utgångsvinkel. Det medför att det är svårt att identifiera gemensamma objekt i bilderna, eftersom de ser olika ut ur olika vinklar, se figur 10. Detta går dock att kompensera för matematiskt (så kallad "image wrap") men det medför också att pixlarna inte riktigt överensstämmer.

Om man observerar ett plant objekt, till exempel rosterbädden, från en riktning som inte är vinkelrät mot objektet, måste man också ta hänsyn till perspektiveffekter, som medför att en kvadratisk pixel i kameran motsvaras av en trapetsformad yta på objektet, se figur 1.



Figur 1

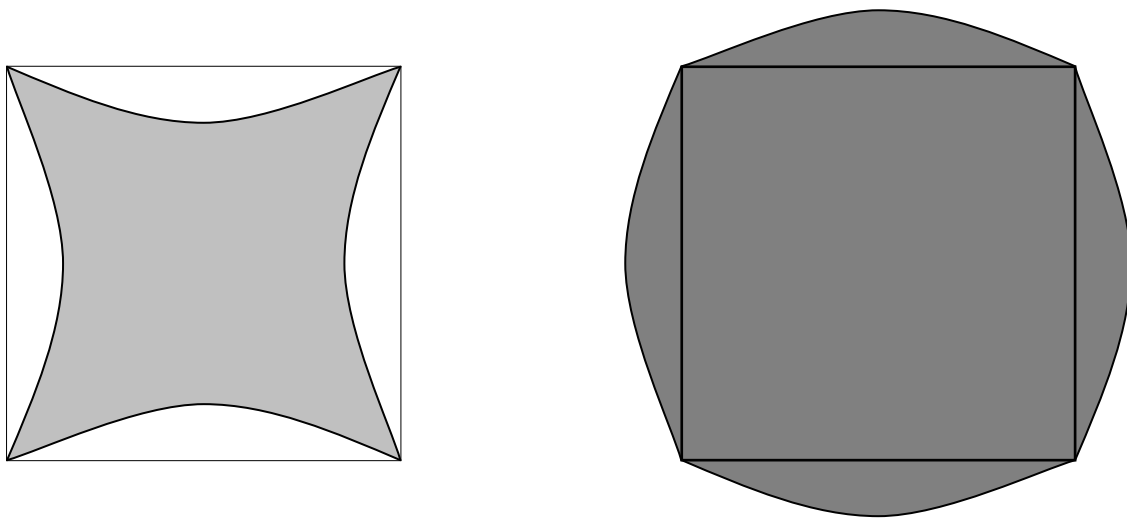
Så länge som kameran tittar rakt uppifrån motsvarar pixeln en kvadrat på objektet men om kameran ser objektet ur en vinkel motsvaras pixeln av en trapetsformad yta på objektet.

Figure 1

Object distortion according to the camera position

Felet som uppstår p.g.a. att kameran inte tittar rakt uppifrån på objektet är lätt att matematiskt kompensera för om man vet kamerans position och orientering i förhållande till objektet, se vidare avsnitt 2.2.2.

Ytterligare ett problem orsakas av att optiken förvränger bilden, så kallad linsdistorsion. Detta fenomen är märkbart framför allt vid vidvinkeloptik. Man kan tänka sig att ett kvadratisk objekt får formen av en prydnadskudde eller i det motsatta fallet en surströmmingsburk, se figur 2. För att kunna kompensera för distorsionen kalibrerar man kameran genom att avbilda ett regelbundet geometriskt mönster (till exempel ett schackbräde) och mäta hur mycket bilden avviker från det ideala mönstret i varje punkt. Kalibreringen ger också ett noggrant mått på optikens brännvidd, som är nödvändig för att göra 3D-mätningar (se nedan).



Figur 2 Exempel på hur en objektet förvrängs av optiken till antingen en prydnadskuddeform eller en surströmmingsburkform

Figur 2 Example of object distortion according to camera optics

2.2 3D-mätning med hjälp av bildanalys

2.2.1 Krav för 3D-mätning

Följande villkor måste vara uppfyllda för att man från bilder skall kunna mäta bädrens topografi i tre dimensioner:

1. Det aktuella mätområdet måste samtidigt observeras av minst två kameror.
2. Kamerornas optiska egenskaper måste vara kända.
3. Kamerornas positioner och orientering i ett gemensamt koordinatsystem måste vara kända.
4. Ett antal väldefinierade detaljer på badden måste gå att identifiera i båda kameravyerna. En detalj som är identifierad i båda vyerna kallas nedan för en *korrespondens*. Korrespondenserna bör vara jämnt fördelade över badden eftersom det är deras positioner som mäts och topografin därför definieras av dem.

För att uppfylla villkor 2 krävs att kamerorna (med den optik som används vid mätningen) kalibreras för optiska parametrar som brännvidd och optisk distorsion. En sådan kalibrering utförs genom att man tar ett antal bilder av en speciellt uppmätt kalibreringstavla och analyserar dessa med ett kommersiellt tillgängligt kalibreringsprogram. Kalibreringen utförs innan kamerorna monteras och är giltig så länge optiken inte rubbas eller fokuseras om. Vid de varma försöken kunde detta inte göras på plats då pannan var i drift. Kalibreringen gjordes istället innan resan till Kalix och optiken limmades fast.

Kamerornas position och orientering kan beräknas utgående från bilder tagna efter monteringen.

Villkor 4 kan delas upp i två villkor: man måste dels kunna hitta detaljerna i båda kameravyerna och dels kunna identifiera dem mellan vyerna. Detta måste kunna göras automatiskt, vilket ställer krav både på kamerauppställningen och på bildkvaliteten. Ett exempel på punkter som kan identifieras är gnistor som landat på bädden i torkzonen.

Generellt så gäller att optimala 3D-resultat uppnås om inskräningsvinkeln (vinkeln mellan siktlinjerna från kamerorna till objektet) ligger nära 90° . En så stor inskräningsvinkel gör det emellertid svårt eller omöjligt att automatiskt finna korrespondenser mellan kameravyerna. Vid minskande inskräningsvinkel ökar osäkerheten i det uppmätta avståndet från kamerorna. Vid en tillämpning som inte kräver stor mätnoggrannhet kan man acceptera detta för att underlätta sökningen efter korrespondenser.

Det finns alltså några motstridiga krav:

- För optimal noggrannhet bör inskräningsvinkeln vara stor (upp till 90°), det vill säga avståndet mellan kamerorna skall vara av samma storleksordning som mätavståndet. Ju större vinkeln mellan kamerorna blir desto mer symmetriskt riktig blir bilden. Vid de kalla proven fanns det dock ingen möjlighet att sätta kamerorna vinkelrätt eftersom de då skulle hamna för långt bort från objektet. Det är således en avvägning mellan hur lätt det är att identifiera olika objekt i bilden och hur god noggrannhet i djupled som behövs. Noggrannheten i bilderna behandlas i kapitel 7.
- För att underlätta sökningen efter korrespondenser bör inskräningsvinkeln å andra sidan vara liten.
- Algoritmerna för korrespondenssökning kräver en liten vinkel mellan kameraaxlarna, vilket är svårt att åstadkomma när inskräningsvinkeln är stor.

Hur en 3D bild tas fram behandlas i referens [7].

2.2.2 Kamerorientering

Ett villkor för att 3D-mätning skall kunna utföras är att kamerornas position och orientering i ett gemensamt koordinatsystem är kända. Detta kan utföras genom att placera ett antal referenspunkter med kända koordinater i kamerabilderna och mäta deras position i bild. Minst fyra punkter med kända koordinater krävs för att få en entydig koppling mellan kameran och koordinatsystemet. Denna procedur kallas *kameraorientering*, ref [7].

Man skulle kunna utnyttja synliga detaljer i pannans konstruktion, till exempel rör, som referenspunkter, men i Kalixfallet finns inga sådana detaljer som var tillräckligt väldefinierade för att kunna användas. En möjlighet för att förbättra denna situation är att markera väldefinierade punkter på rören, till exempel genom att svetsa fast metallmarkörer med väldefinierad form (till exempel en kula med 10 cm radie), och noggrant mäta in deras positioner i tre dimensioner. Markörerna bör fästas så att de förekommer i så stor del som möjligt av bilden och så att de inte sitter i samma plan.

Om markörerna syns även när pannan är i drift är det möjligt att orientera kamerorna kontinuerligt, eller med regelbundna intervall. På så sätt kan man kompensera för att kamerorna rubbas eller vibrerar under drift.

Om detta inte är möjligt är ett alternativ att placera ett referensobjekt, till exempel en kub med 1 m sida och hörnen utmärkta, i scenen när pannan är avstängd, och orientera kamerorna efter denna. Nackdelen med denna metod är att den förutsätter att kamerorna inte rubbas efter orienteringen. Vilket i praktiken är omöjligt eftersom pannan utvidgar sig när den blir varm.

2.3 Trackeye ®

Istället för att använda egenproducerad programvara till analyserna i detta projekt så bestämdes att involvera specialister från ett företag i Linköping som heter Tritech (tidigare en del av Nexus) och programvaran Trackeye® från företaget Image Systems. Detta medförde att vi i grund hade tillgång till en programvara som är kommersiellt använd i industriapplikationer, om än inte inom förbränningstekniken, exempel på dessa är övervakning av bilindustrins krocktester, flygtester, mm ref [8].

Programmet har använts för samtliga analyser som redovisats i detta projekt.

3 Varma försök

I detta projekt var förutsättningarna att titta på om det var möjligt att med hjälp av kamerateknik avläsa en tredimensionell bild av den övre delen av rosten vilken senare kan användas för att ge en topografisk bild av bäddtjockleken. För att kunna göra detta måste minst två kameror placeras på ett sådant sätt att bilderna blir överlappande. Ett system för tredimensionell mätning består av två kameror och en dator. I det här fallet var det dock inte möjligt att utvärdera online utan bilderna lagrades på digitala bandspelare, en för varje kamera, som utvärderades i efterhand.

För att kunna genomföra detta krävdes en panna med inspektionsmöjlighet vid bränsleinmatningen vilket finns på Billerud Karlsborgsverkens barkpanna i Kalix. Denna panna har tidigare varit utrustad med rosterövervakning vid bränsleinmatningen i form av IR-spotmätare. Dessa installerades för att med hjälp av temperaturen kunna identifiera torkzonens läge. Det fanns också vissa möjligheter att bedöma bäddtjockleken med hjälp av systemet med IR-spotmetrar. Det visade sig dock att nedsmutsning och störningar från sticklågor gjorde systemet opålitligt. Intresset för att mäta bäddens beskaffenhet i inmatningen fanns dock fortfarande kvar.

3.1 Pannbeskrivning

Pannan i Karlsborg valdes för att den tidigare har använts i samband med forskningsprojekt och analyserats noggrant. Pannan har dessutom luckor i anslutning till inmatningsschakten vilket gjorde det möjligt att montera kamerorna med små kostnader och under drift. Problemet med att pannan inte kunde komma åt avställd medförde att man inte kunde åstadkomma en optimal kameraplacering utan tvingades till en anpassning efter förutsättningarna.

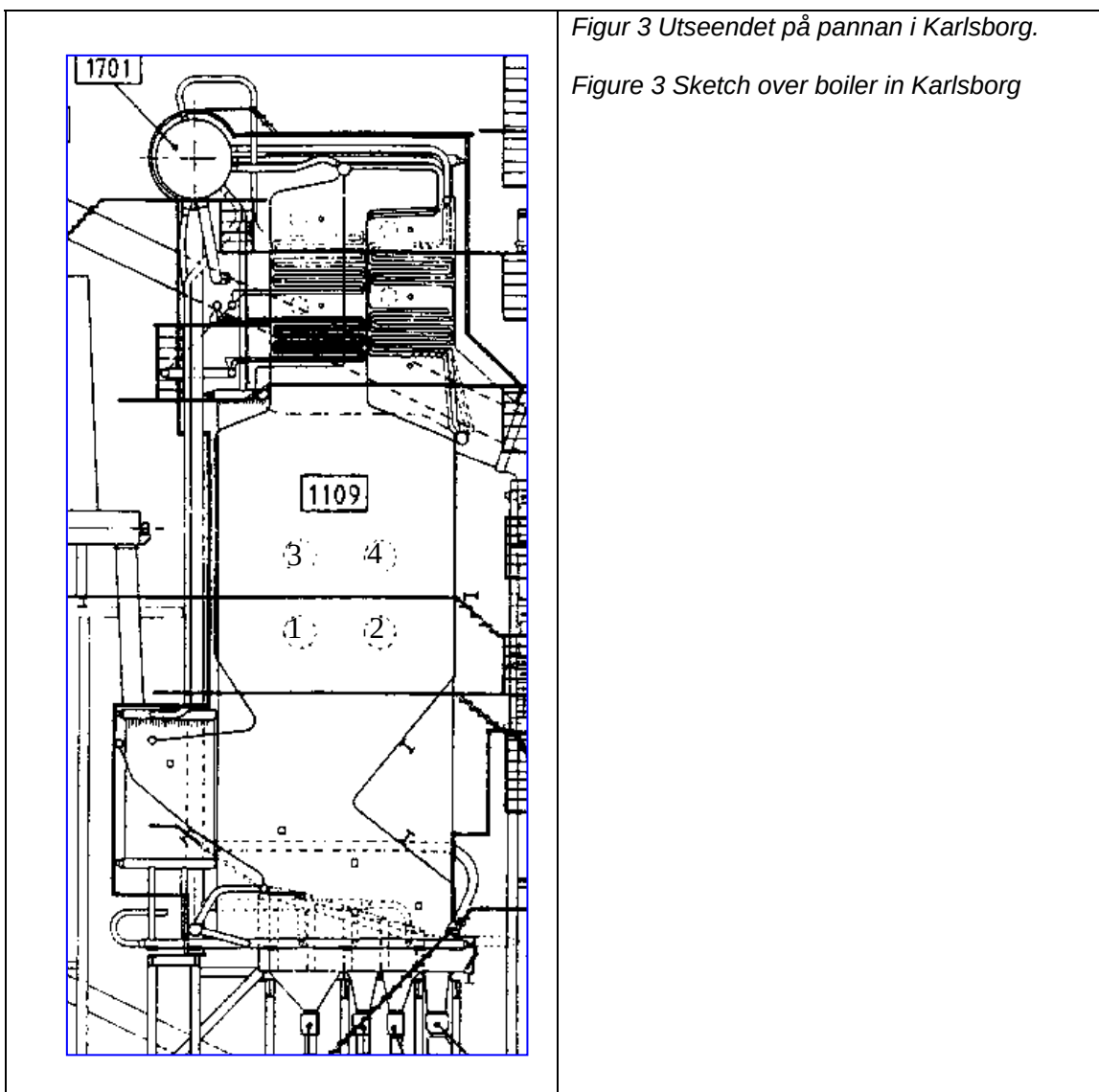
Förväntningarna var ändå att kunna ta så pass bra bilder att en anpassning mellan punkterna skulle vara möjlig.

Befintlig barkpanna hos Billerud Karlsborg AB byggdes av Svenska Maskinverken 1980. Den har ångdata 40 bar(e), 425 °C som i framtiden kan höjas till 63 bar (e), 450°C. Ursprunglig ångkapacitet var 40,6 ton/h vid barkeldning, 95 ton/h vid kombinationseldning med bark och olja samt 130 ton/h med olja.

Under 1996 installerade FLS Miljö A/S en ny rökgasreningsutrustning efter barkpannan i Karlsborgsverken. Denna består av en grovcyklon för avskiljning av större oförbrända partiklar samt ett elektrofilter med två fält. Utrustningen är dimensionerad för att klara ett maximalt stoftutsläpp på 50 mg/Nm³ torr gas vid 13 % CO₂ vid en ånglast på bark på 50 ton/h. Vidare skall den klara ett maximalt utsläpp på 100 mg/Nm³ torr gas vid 13 % CO₂ vid en ånglast vid kombinationseldning av bark och olja på 95 ton/h. Vid prestandaproven i maj 1997 uppmättes en stoftemission på 10 mg/Nm³ vid 35 ton/h på bark och 20 mg/Nm³ vid 84 ton/h kombinationseldning.

El-filtret och cyklonen har varit i drift sedan 1996, men med vissa driftstörningar på grund av höga CO-halter, vilket har medfört att spänningen på el-fälten, enligt tillverkarens rekommendation, har styrts ned vid CO-halter över 8.000 ppm och kopplats bort vid CO-halter över 12.000 ppm.

Under hösten 2001 byggdes ugnen i barkpannan om för att minska utsläppen av CO till under 180 mg/MJ och NO_x under 70 mg/MJ. Samtidigt ökades pannans maximala ångkapacitet på bark och slam till 60 ton/h. Ombyggnaden medförde även att pannans minlast på bark och slam kunde sänkas till 10 ton/h.



3.1.1 Bränsleinmatning

I barkfickan i pannhuset blandas fiberslam med bark från barkupplaget. Bark och slam matas in via separata cykloner placerade på pannhustaket. Då barkfickan är full stoppas

först barken från barkupplaget och därefter slammet, som körs ut på gården. Från barkfickan matas bark och slam ut med tre par bottenskruvar, som matar var sitt inmatningsschakt med giljotinspjäll och vippspjäll för satsvis inmatning till snedrostugnen. Mängden inmatat bränsle styrs manuellt av operatören med skruvvarvtalet samt av ett datorbaserat mängdfördelningssystem som känner av hur snabbt stupen fylls med bottenskruvarna.

Efter ombyggnaden 2001 provades ett system med IR-spotmätare att indikera barknivåerna under varje stup på tubrostens överdel och med dessa styra bottenskruvarna och inmatningen. Denna mätning misslyckades på grund av för stora mängder omkringflygande brinnande partiklar, som störde mätningen.

3.1.2 Snedrostugnen

Barkpannan är ursprungligen byggd med en snedrostugn bestående av en tubrost för torkning av bränslet och en Kablitsrost för slutförbränning. Vid ombyggnaden 2001 försågs ugnen med mera murverk, roterande rökgasrecirkulation i gashalsen samt övre sekundärluft- och tertiärluftregister uppe i eldstaden. På den nedre delen av slutförbränningsrosten installerades IR-spotmätare för styrning av utbränningen via frammatningshastigheten.

3.2 Utrustningsbeskrivning

Under proven på Karlsborgsverken användes kameror som var lånade av Vattenfall Utveckling i Älvkarleby. Kamerorna var monterade i ett rör med vattenkylning och luftspolning och kylning av linsen och kameran, se figur 4.



Figur 4 Eldstadskamera från Vattenfall Utveckling

Figur 4 Furnance camera

Kamerorna var av samma typ men var monterade med olika vinklar (22° och 45°) i förhållande till en normallinje genom kylmanteln. Detta medförde att det kamerorna inte tittade riktigt mot samma punkt, kameran med 22° vinkel ses figur 5.



Figur 5 Kameratepets med utgångsvinkeln 22°

Figure 5 Camera tip with the visual angle. This one has 22° angle.

Det optimala vid de här försöken skulle vara att kamerorna är placerade parallellt, vilket inte var möjligt eftersom kamerorna inte var vinklade åt samma håll. Se vidare under avsnitten om kalibrering.

Under provets gång registrerades driftdata för hand från övervakningssystemet, inget behov fanns att registrera driftdata kontinuerligt då detta var av mindre vikt för bäddmätningen.

3.2.1 Kamera

Kamerorna var s.k. chipkameror. Dessa hade en vidvinkeloptik med stort skärpedjup. Skärpan kunde ställas med det korta objektivet som var monterat direkt på kortet. Antalet pixlar i bilden var 542x586, ref [9].

3.2.2 Bandspelare

För att få en så noggrann bild som möjligt valdes att spela in bilderna från kamerorna direkt i en digital bandspelare. Detta för att undvika eventuella fel i bilden som uppstår då en VHS inspelning skall digitaliseras. De bandspelare som användes var från SONY men två olika modeller, DVR-20 och DVR-25.

3.3 Mätning i Billeruds barkpanna vid Karlsborgsverket, Kalix

Insamlingen av bilder ägde rum 10-12 augusti 2004 på Karlsborgsverket. Valet föll på denna panna då det fanns stora möjligheter att se bädden från inmatningen genom tre luckor placerade i bränslestupen se figur 6.



Figur 6 Bild på luckan genom vilken en av kamerorna monterades.

Figure 6 Picture of one of three trapdoors in to the boiler close to the fuel shutter.

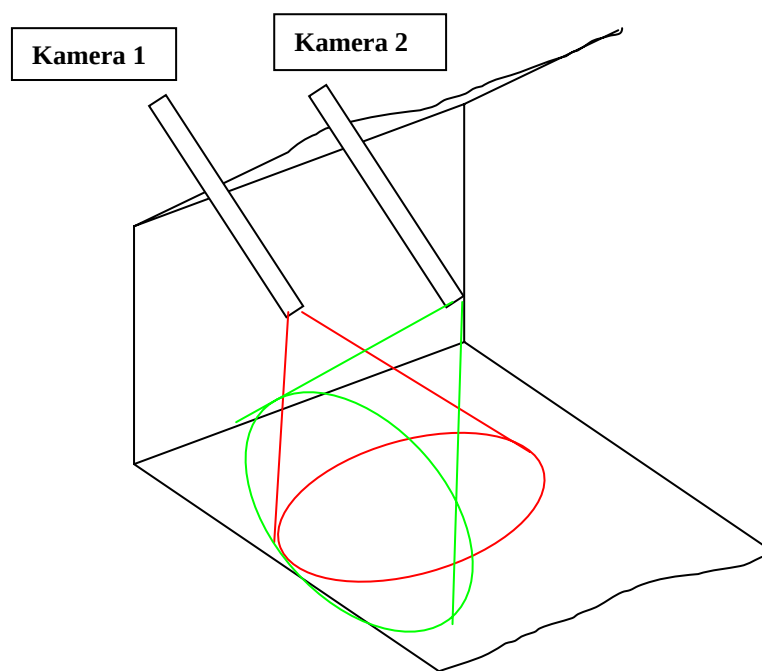
För att montera kamerorna i pannan gjordes hål i två av tre luckor i pannans framkant. Vid dessa hål svetsades en klammer och kameran kunde sedan på ett enkelt sätt skruvas fast. Den enkla fastsättningen av kamerorna gjorde även att det var lätt att vrida kameran runt sin egen axel. Att montera kameran annat än vinkelrätt mot luckan var inte möjligt p.g.a. stabilitetsproblem.

Luckorna har ett mått på 500*350 mm och kameran har en diameter på 60 mm. Avståndet mellan de två kamerorna var 1800mm, se figur 7.



Figur 7	Kamerorna monterade i pannan. En i varje lucka och vridna i förhållande till varandra
Figur 7	The camera mounting through the doors. The cameras are twisted according to each other.

Vid uppbyggnad av en tredimensionell bild behövs det referenspunkter **i** för att kunna sammanfoga bilderna. I detta fall hade vi ingen möjlighet att mäta in och kalibrera sådana då pannan var i kontinuerlig drift, se vidare avsnitt 5. Ingen sommaravställning gjordes trots att detta var planerat.



Figur 8 Schematisk bild över kamerornas synfält vid de varma försöken.

Figure 8 Sketch over camera views during the hot tests

Kamerorna tittade i detta försök med ca 90° mot varandra, se figur 8. Observera att kamerornas vinklar ut från rören inte är densamma.

4 Kalla försök i KMW:s rostrigg i Norrtälje

Efter det att proven i Karlsborg var gjorda beslöts att en komplettering av mätningarna för att kunna visa 3D modellering av rosten. Det lämpligaste var att köra någon form av kalla försök och det lämpligaste stället för detta var KMW:s försöksrost i Norrtälje. Försöksanläggningen består av en 700 mm bred rörlig rost på vilken bränslets rörelser kan analyseras kallt det finns även möjlighet att blåsa in primärluft men det användes inte i detta försök, se ref[10] och figur 9.

För att kunna filma bädden på ett adekvat sätt gjordes några olika uppställningar där kamerorna tittade parallellt. Det ideala är att titta med kamerorna riktade 90° emot varandra men på grund av att riggen är så smal var det inte möjligt i det här fallet.



Figur 9 Översiktsbild på riggen

Figure 9 Over view of the grate rigg

För att kalibrera mätningarna och de olika positionerna på kamerorna användes en tavla med rutor. Genom att linjerna syntes tydligt i bilden så kan man lägga linjer från de olika kamerorna på varandra och på så sätt lokalisera varje enskild punkt i rummet, se figur 10.



Figur 10. Kalibreringstavla liggande ovanpå bädden vid de kalla försöken. Kalibreringstavlan är en ordinär närvarotavla för kontorsbruk.

Figure 10 Calibration board on the fuel bed.

I ett varmt fall kan motsvarande kameraorientering göras innan pannan startas och sedan används kända punkter i pannan för att kontrollera att kalibreringen består. Så länge ingen behöver flytta på kamerorna skall detta inte innebära några problem, se vidare avsnitt

Kamerornas placering vid de bilder som senare analyserades var parallellt i överkant på riggens bakre del se figur 11.

Den teoretiska noggrannheten vid försöken blir olika p.g.a de fenomen som beskrivs i kapitel 2.1, figur 1. Avståndet från kameran till objektet är viktig för noggrannheten framför allt i djupled (y-led), alltså i horisontalplanet i rostens längsriktning. I x,z-led är noggrannheten ± 3 mm och i y-led är den ± 30 mm, ju längre bort punkten är ju större fel får man.



Figur 11 Kameraplacering i samband med försöken på riggen

Figure 11 Camera mounting at the cold tests.

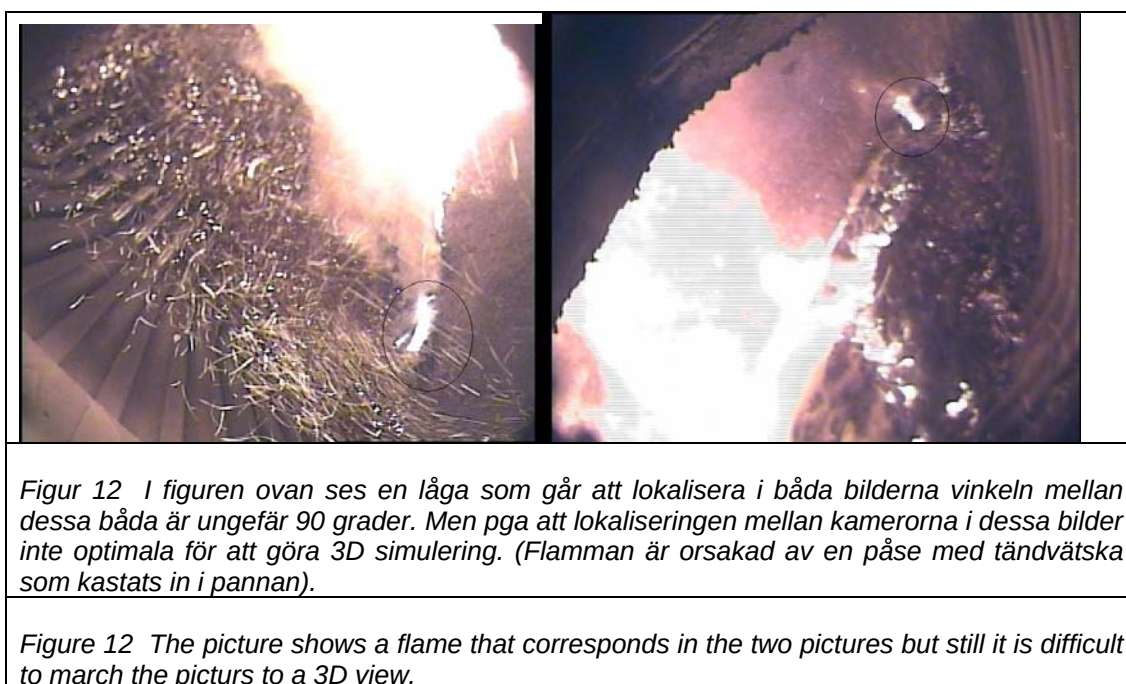
Figur 11 visar att kamerorna befann sig på relativt låg höjd över bädden ett bord placerades över de rättuppstående plåtarna i bäddens bakkant.

5 Utvärdering av de varma försöken

Vi har studerat videosekvenserna från försöket för att undersöka möjligheten att mäta bränslebäddens 3-dimensionella topografi samt andra storheter som antalet luftburna partiklar och deras storlek.

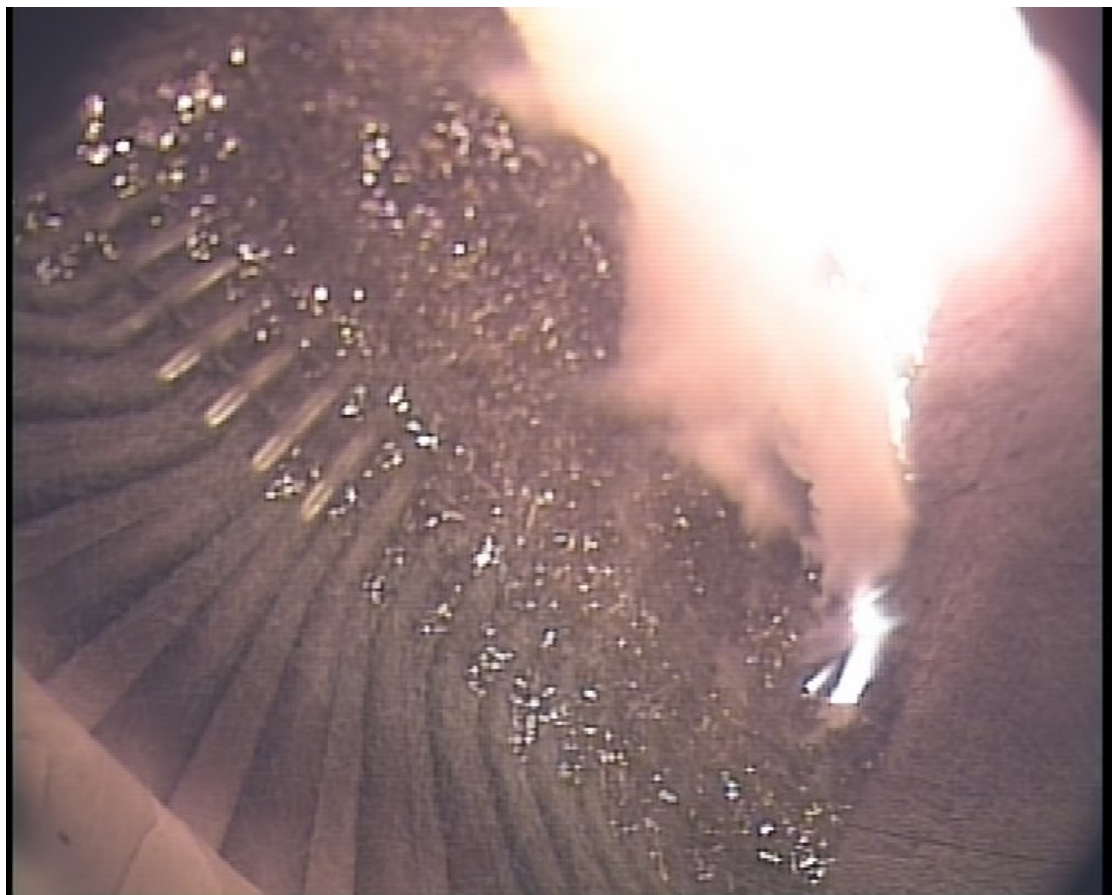
5.1 Bildmaterial

Följande bilder är typiska exempel på bilder från kamera 1 och 2, se figur 12.



5.2 Tidsfiltrering

Bädden skymms i bilderna från kamera 1 nästan helt av glödande partiklar i luften ovanför bädden. Dessa partiklar kan elimineras helt genom tidsfiltrering av bildsekvensen. Följande figur (figur 13) visar resultatet av medelvärdesbildning över ett tidsintervall av en sekund:



Figur 13 Kamera 1, tidsfiltrerad bild

Figur 13. Camera 1, time averaged picture

Partikelspårerna reduceras av medelvärdesbildningen till ett svagt brus i bilden vilket får bakomliggande detaljer att framträda tydligt. Bädden förändras inte märkbart över tidsperioder kortare än några tiotals sekunder varför medelvärdesbildningen inte ger upphov till någon rörelseoskärpa eller detaljförlust i bilden av bädden.

5.3 Bildkvalitet

5.3.1 Kamera 1

De ofiltrerade bilderna från kamera 1 är uppenbart olämpliga för att mäta bäddens topografi, eftersom bädden knappt kan urskiljas bakom partiklarna. Efter tidsfiltrering syns emellertid bädden tydligt.

Bäddens yta har en relativt rik textur med ett stort antal väldefinierade detaljer (förmodligen glödande partiklar som förts dit av luftcirkulationen). Med "rik textur" menas här att detaljerna inte bildar ett regelbundet mönster, utan är slumpvis fördelade. Detta underlättar väsentligt sökandet efter korrespondenser mellan kameravyerna: eftersom detaljerna är slumpvis fördelade kommer varje detalj att ha en unik omgivning som gör det möjligt att identifiera den.

Ett problem är att delar av bädden, även efter tidsfiltrering, skymms av ett långlivat moln, förmodligen fukt från bädden. Detta ger å andra sidan en möjlighet att mäta var på bädden som torkningen äger rum.

5.3.2 Kamera 2

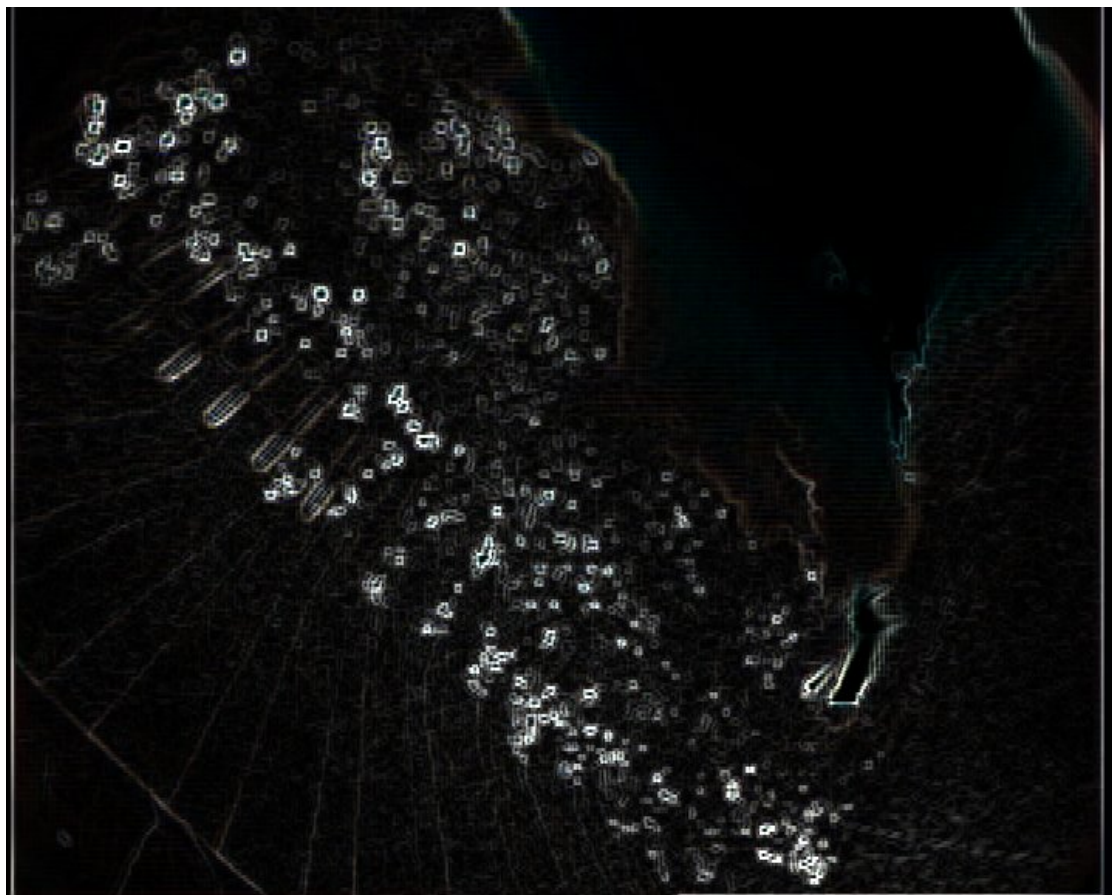
I bilderna från kamera 2 saknas, på grund av den annorlunda kameravinkeln, partiklarna i förgrunden nästan helt och ingen tidsfiltrering är därför nödvändig. Själva bildkvaliteten är däremot betydligt sämre. Detta kan bero på att bädden är underexponerad men också på att den syns ur en vinkel där glödstrukturen är mindre tydlig.

Ett problem med placeringen av kamera 2 är att bränslet vid inmatningen faller rakt mellan kameran och bädden, varför kameran inte ser någonting alls under tiden som inmatning pågår. Eventuellt kan kvarvarande damm från inmatningen bidra till den sämre bildkvaliteten.

För båda kamerorna gäller att det intressanta området (bädden) endast utgör en mindre del av den totala bildytan. Detta innebär att kamerornas upplösning utnyttjas dåligt.

5.4 Automatisk detaljdetektering

Figur 14 visar hur ett enkelt kantdetekterande bildfilter framhäver detaljerna. I denna filtrerade bild kan man automatiskt detektera detaljerna genom en trösklingsoperation (det vill säga att man ignorerar alla bildpunkter som har lägre ljusintensitet än ett tröskelvärde).



Figur 14 Kamera 1, tidsfiltrerad bild efter kantdetektering

Figure 14 Camera 1, time averaged after edge detection

Hade de båda kamerorna sett samma mönster av glödande punkter hade detektionen och anpassningen till 3D-varit förhållandevis enkel.

5.5 3D-mätningar

Ett grundläggande villkor för att en 3D-mätning skall kunna utföras är att ett antal bilddetaljer skall kunna identifieras i båda kameravyerna, se figur 14. I de aktuella bilderna är detta inte möjligt – bädden ser helt enkelt för olika ut från de vitt skilda kameravinklarna för att man skall kunna identifiera enskilda punkter, eller ens se, detaljer från en kameravy i den andra vyn.

Om kamera 2 hade varit monterad så att den hade sett bädden ur i stort sett samma riktning som kamera 1 så bedömer vi att det hade varit möjligt att automatiskt hitta korresponderande detaljer i de två vyerna. Existerande algoritmer (se t ex ref [11]) bygger på att kamerornas axlar är parallella eller nästan parallella. Med de kameror som användes i det aktuella försöket var detta tyvärr inte möjligt att åstadkomma, eftersom objektiven hade helt olika vinklar mot de rör i vilka de var monterade och snedställning av själva kameraröret inte var möjlig.

I Karlsborg begränsades de möjliga kameraplaceringarna av att kamerorna monterades i 500 mm breda luckor som sitter med 1,65 m mellanrum. För att få en mindre skillnad mellan kamerornas vyer kan det vara lämpligt att montera dem i samma lucka. Detta ger ett avstånd mellan kamerorna på ca 400 mm. Avståndet från kamerorna till bädden var ca 3,5 m.

Om vi antar att det intressanta området på bädden är 2 m brett och kameraupplösningen är 542 pixlar får vi att varje pixel motsvarar 3.7 mm på bädden. Detta ger ett mått på de minsta detaljer som kan observeras. Om positionen på den detalj i bild kan bestämmas av en pixel när ger detta en uppskattad mätnoggrannhet på ca 60 mm. Större delen av osäkerheten i mätningen kommer från bestämningen av avståndet mellan objektet och kamerorna eftersom inskränningen sker under liten vinkel.

.

5.6 Förbränningsintensitet och -utbredning

Gemensamt för bilderna från båda kamerorna är att flamfronten är kraftigt överexponerad. Det är därför inte möjligt att studera detaljer i lågorna, deras färg eller andra egenskaper som är ett mått på förbränningsintensitet. Problemet är den stora skillnaden i ljusintensitet mellan lågorna och bädden; om exponeringen ställdes in så att lågorna inte blev överexponerade skulle man inte kunna se några detaljer i bädden.

Det finns kameror på marknaden med icke-linjär känslighetskurva, vilket ger en större möjlighet att återge stora belysningskontraster. En sådan kamera skulle eventuellt kunna samtidigt återge detaljer i både bädden och lågorna.

Med de använda kamerorna skulle det vara möjligt att studera förbränningsutbredning. Om flamfronten inte hade varit skymd av fuktmolnet i kameravy 1 skulle dess läge kunna mätas. Eventuella sticklågor framför flamfronten kan detekteras genom att tröskla ut ljusa partier av bilden.

Vid val av kamera är det viktigt att kameran inte uppvisar "blooming", det vill säga att starkt upplysta pixlar inte "flyter ut" i omgivande pixlar. De aktuella bilderna uppvisar inte blooming i någon större utsträckning.

5.7 Mätning av partikelrörelser

Genom att subtrahera den tidsfiltrerade bilden från originalbilden får man en bild där enbart de snabbvärande partiklarna framträder; se figur 15.



Figur 15 Kamera 1 efter subtraktion av bakgrunden

Figure 15 Camera 1 after subtraction of background

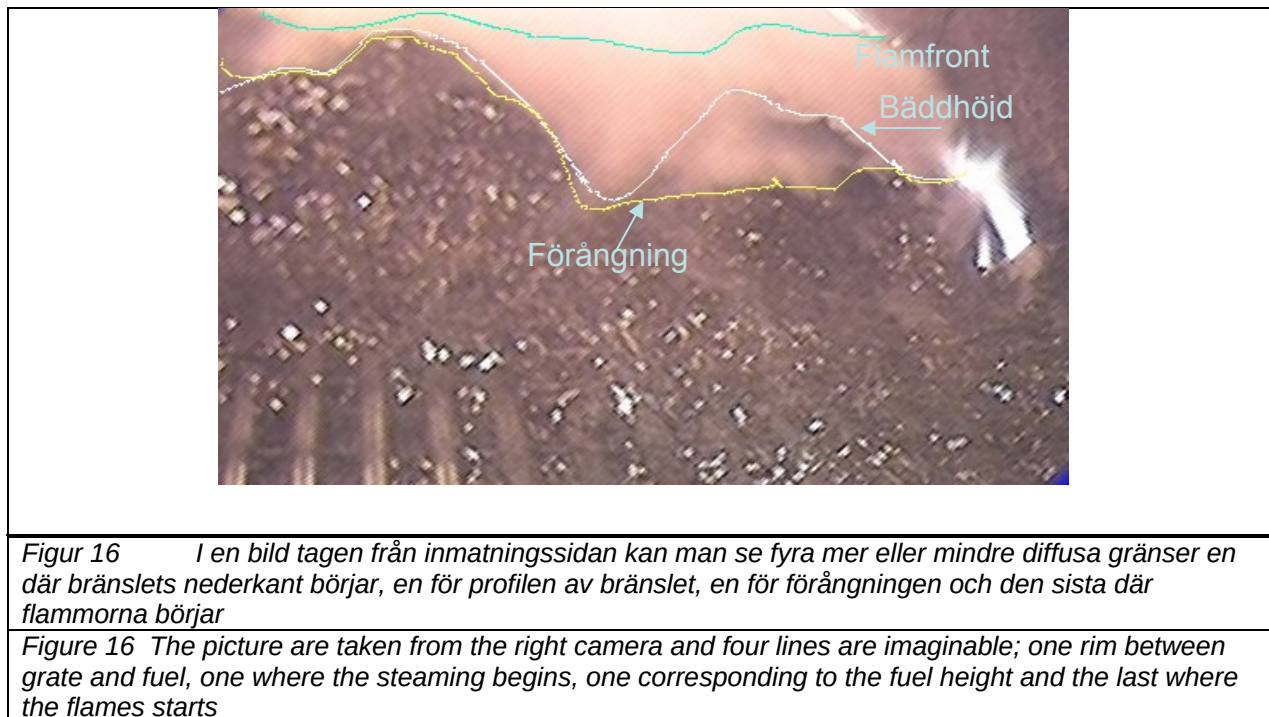
Den utdragna formen på partikelspårerna i bilden beror med största sannolikhet på rörelseoskärpa. För att studera partiklarnas storlek och verkliga utseende krävs en betydligt kortare exponeringstid. Med den aktuella exponeringstiden gör det stora antalet spår och deras överlappning det dessutom omöjligt att separera partiklarna från varandra.

En möjlig tillämpning som drar nytta av rörelseoskärpan är att uppskatta gasens strömning genom att mäta riktning och position av partikelspårerna. Detta kräver att kamerornas exponeringsögonblick och -tider är synkroniserade med hög precision.

5.8 Genomförande av varma försök i Karlsborg

Då mätningarna gjordes med två separerade system bestående av kamera, bandspelare och monitor så var det nödvändigt att ha en signal för synkronisering av banden. Efter experimenterande var det bäst att hålla ner en skvätt tändvätska vilket gav en tydlig låga utan att den tände på för tidigt. Att hålla ner tändvätskan i en plastpåse som sedan fick antändas gav inte något bra resultat för triggningsmen gav en fin låga för synkronisering av bildernas läge i förhållande till varandra då den tände senare och brann långsammare än bara tändvätska.

Syftet var att se om det fanns möjlighet att göra en tredimensionell bild av bädden och göra en bäddhöjdsbedömning. Det fanns även utrymme att studera andra intressanta fenomen på bädden t.ex. temperatur och partikelstorlek, se figur 16.



Både bäddtopografi, temperatur och partikelstorlek är intressanta att titta närmare på ur förbränningssynpunkt. Det kan därför vara intressant att behandla samma bild med flera olika algoritmer så att flera parametrar kan mätas parallellt.

5.8.1 3D-mätning

I de filmer som tagits kan man tydligt se strukturer som kan härröras till fysiska händelser på rosten. Det första är topografin på bädden. Det är tydligt att det går att se strukturer men för att få ett kvalitativt bra mått på bäddhöjden måste man titta på bilden med stereoskopiskt seende och då är samordningen av bilderna väsentlig.

Det svåra i mätningen var att identifiera gemensamma punkter för bilderna pga. den stora vinkeln mellan kamerorna och utgångsvinkeln från kamerorna, se figur10. Fördelningen på rosten är möjlig att se men det är inte möjligt att bedöma avstånd och var eventuella högar ligger med bara en kamera automatiskt.

I exemplet ovan så är lågan enkel att identifiera med blotta ögat eftersom den är isolerad och väl framträdande i båda bilderna. Huvuddelen av detaljerna i bilderna är mycket mindre och svårare att känna igen; se nedan. Automatiska algoritmer för att känna igen detaljer ställer krav på att detaljerna ser likadana ut i båda bilderna. Att hitta små

detaljer som ser likadana ut i dessa två bilder är inte möjligt, det kunde ha varit möjligt ifall kamerorna varit monterade med parallellt synfält, se även avsnitt 6.1.

5.8.2 Temperaturmätning

Det andra linjen visar var avgången av ånga börjar. Detta är ett mycket intressant mått då vi dels kan säga att temperaturen på bränslet är 100 °C eller större. Tyvärr så blir ångan så tjock att i det här fallet syns inte lågorna ordentligt se figur 14. Detta skulle dock kunna avhjälpas med något av de filter som behandlas i projekt P4-319.

Den tredje linjen markerar antändningsfronten, eller det som kan antas vara antändningsfronten i den här bilden. Man kan konstatera att den döljs av ånga från torkningen och dessutom är överexponerad.

5.8.3 Partikelstorleksmätning

Det är inte möjligt att mäta partikelstorleken av det oförbrända bränslet i de aktuella bilderna eftersom bildernas upplösning är för dålig. Även med högre upplösning skulle det förmodligen inte gå att separera partiklarna från varandra eftersom kontrasten blir för låg (mörka bränslepartiklar mot mörk bakgrund). I detta fall handlade det om en barkpanna där varje bränslepartikel har mörk färg. Normalt så har också bark en relativt hög finfraktionsandel, i synnerhet om den har legat ett tag. Detta försvårar ytterligare möjligheten att bedöma storleksfördelningen.

Däremot skulle det vara möjligt att mäta partikelstorleken om bränslet förs förbi kameran i ett en partikel tjockt skikt, till exempel på ett transportband. Belysning och bakgrund måste i ett sådant fall vara sådana att partiklarna går att separera från bakgrunden. Detta är ett vanligt förekommande problem inom industriell avsyning.

En applikation då storleksfördelning skulle kunna göras direkt vid bränsleinmatningen är vid förbränning av blandat avfall (inte rena fraktioner). Det skulle dessutom ha den fördelen att önskade föremål skulle kunna upptäckas och erforderliga åtgärder vidtas.

6 Utvärdering av de kalla försöken i Norrtälje

6.1 Kalla försök i Norrtälje

Efter de varma försöken i Karlsborg kunde konstateras att kameravinklarna inte varit optimala för att kunna göra 3D beräkningar av bilderna. Vi kunde konstatera att det vore bra med parallella kameror, att de satt med ett något kortare avstånd mellan varandra samt att det skulle vara bra med en samkalibrering efter montage av kamerorna. Kamerorna monterades således parallellt och kalibrering gjordes genom att vi placerade ett känt objekt i bädden.

Kamerorna var två standardmässiga videokameror där en fast inställning av zoom och skärpa behölls hela tiden. Detta gjordes för att möjliggöra kalibrering av kamerorna.

Samtliga tre punkter kunde uppfyllas i de kalla försöken samtidigt.

Vid utvärderingen sammanlänkades bilderna på manuell väg genom att jämföra olika signifikanta strukturer i bädden så som en färgad bränslepartikel eller en struktur som lätt känns igen, se figur 17.



Figur 17 Bilden visar vyer från de två kamerapositionerna tagna med en digital stillbildskamera. Det syns dock tydligt att de är något olika och att det går att hitta gemensamma punkter i bilderna

Figure 17 The pictures show the view over the board from both cameras.

Resultatet beräknades i ett koordinatsystem definierat av fyra referenspunkter R1-R4, vilka var placerade på riggen.

Origo placerades i punkt R4, x-axeln är parallell med vektorn från R1 till R2 och x-, z-planet är parallellt med vektorn från R3 till R4.

Det var fullt möjligt att välja ut punkter att analysera manuellt och punkterna som analyserades hade följande spridning på bädden se figur 16. I detta fall valdes de manuellt men i ett verkligt fall sker detta automatiskt. Anledningen till att vi här anpassade manuellt var att det gick fortare då bränslepartiklarna är väldigt lika i bilden. I ett verkligt fall kommer vi t.ex. att ha gnistor som ger ett tydligt och oregelbundet mönster som är lätt att känna igen för båda kamerorna.se figur 14.





Figur 18 Analyserade punkter på bränslebädden. Den övre bilden är från den vänstra kameran den nedre från den högra.

Figure 18 Analyzed points at the fuel bed. Upper picture is from the left camera the lower is from the right

Punkterna är samma på båda bilderna och när de korreleras erhålls en tredimensionell bild som refereras till en känd referens i denna anpassning användes tavlan som referensyta men i ett verkligt fall beräkningen göras mot rosternas läge. För en relativ mätning av bäddhöjden är dock detta fullt tillräckligt.

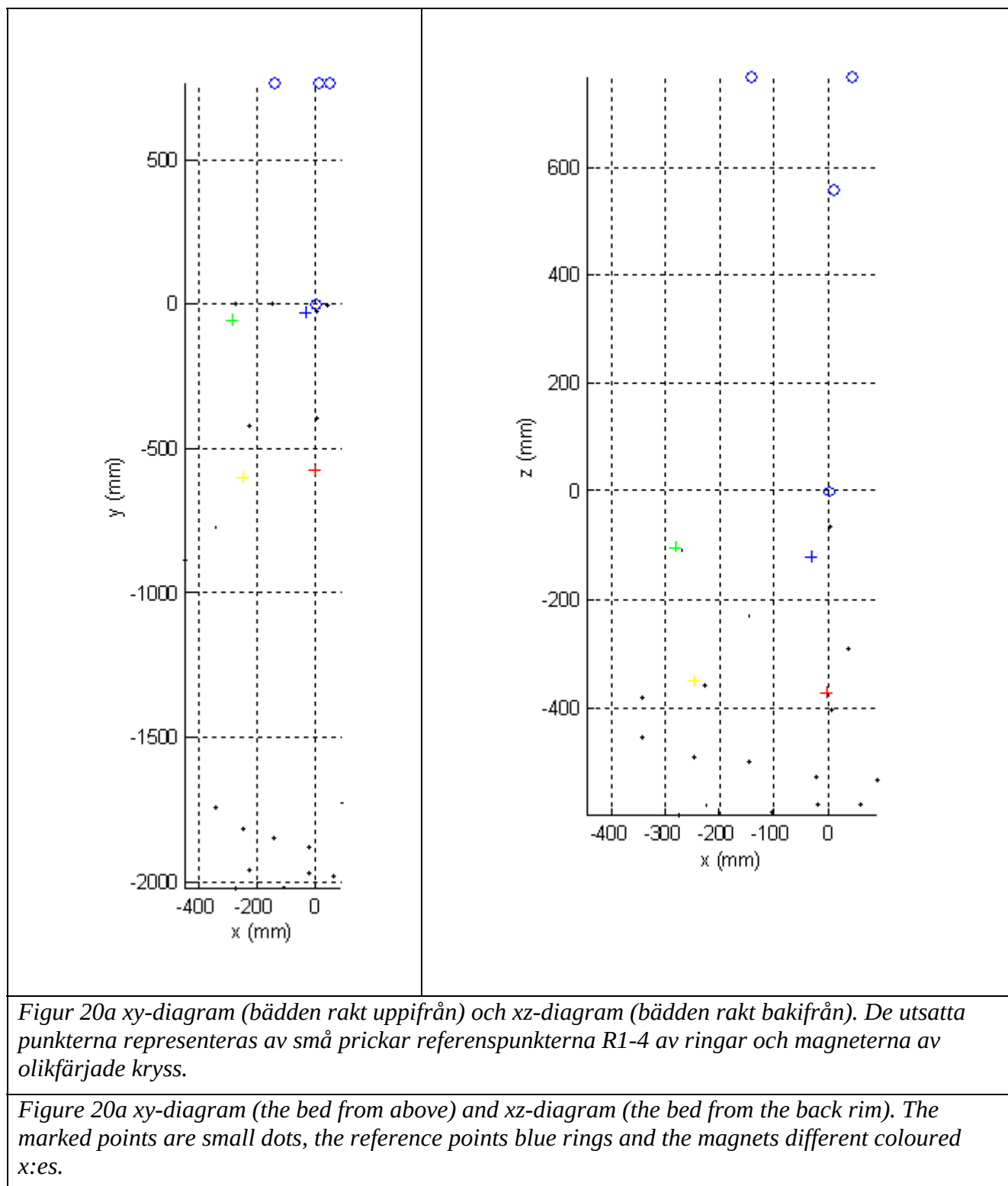
Kalibreringstavlan hade vid det redovisade fallet försetts med 4 olidfärgade magneter, se figur 19, vilka markeras med olidfärgade kryss i diagrammen, figur 20.

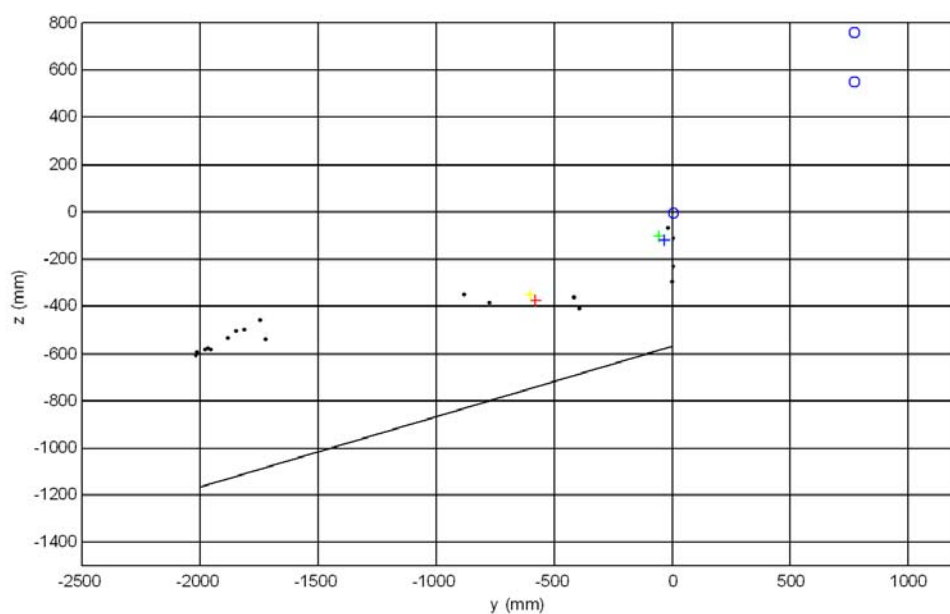


Figur 19 Kalibreringstavla med inlagda olidfärgade magneter

Figure 19 Calibration board with different coloured magnets.

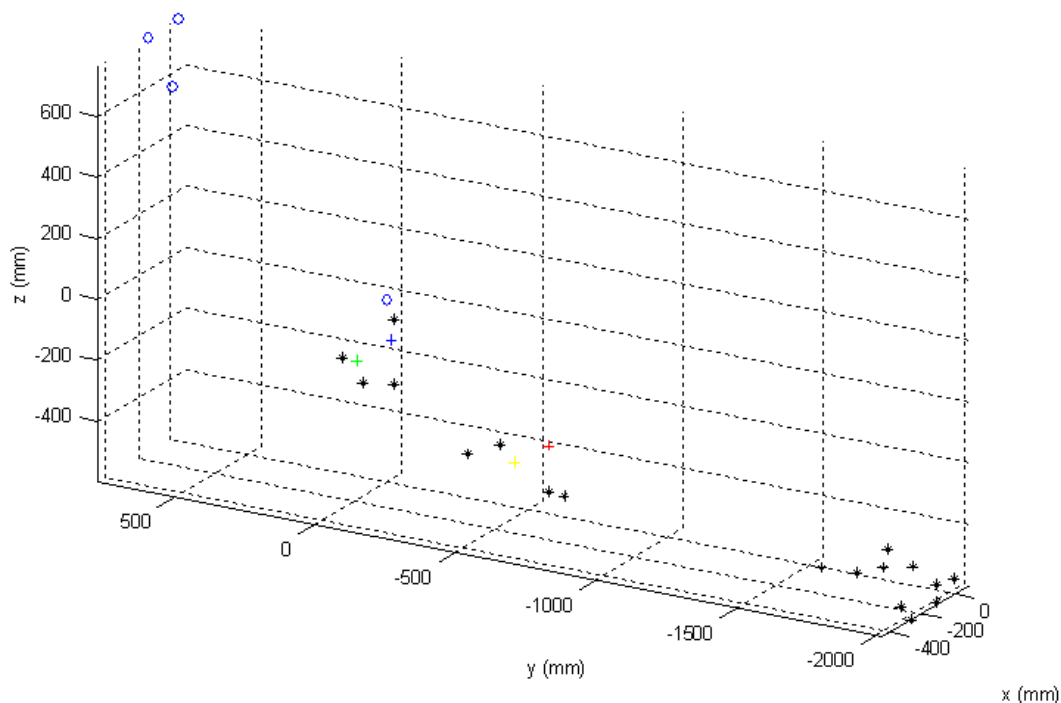
Den anpassade 2D diagrammen för 3D anpassningen av punkterna redovisas i figur 18. de runda ringarna motsvarar de punkter i strukturen som är märkta R1-R4, de små prickarna är de numrerade punkterna och de olidfärgade kryssen motsvarar punkterna på kalibreringstavlan.





Figur 20 b yz-diagram. Förklaring under figur 18 a. I denna bild är rostens läge inritad som en linje. Här ses bädden rakt från sidan

Figure 20 b yz-diagram. Explanation under figure 18 a. In this drawing the black line correspond with the grate. The bed from the side.



Figur 20 c 3D-diagram av bränslebädden med referenspunkter.

Figure 20 c 3d-diagram of the fuel bed with reference points

Noggrannheten i mätningarna är beräknade till ± 1 cm. I de aktuella bilderna var det inte möjligt att rita ut rosten eftersom vi under provens gång inte hade möjlighet att tömma bädden från bränsle. Det enklaste var att rita in rosten i vyn rakt från sidan vilket har gjorts och koordinatsystemet är orienterat tvärs bädden (x), i rostens längsriktning men parallellt med golvet (y) och vertikalt (z). Origo är placerat i punkt R4 eftersom det var bra att punkten syntes tydligt och hade bra upplösning.

7 Diskussion

7.1 Praktiska problem i samband med insamlingen av bilder.

Insamling av bilder vid ett tillfälle och med utrustning som inte är exakt anpassad till den aktuella pannan ger upphov till en rad praktiska problem och möjligheter till misstolkning. I det här fallet fanns möjligheten att filma med två olika avstånd mellan kamerorna 1650 mm eller 400 mm, det ena är egentligen för långt och det andra för kort.

I ett praktiskt fall där kamerorna skulle monteras permanent behöver man också fundera på vinklar och avstånd vilket i det här fallet gjorde mätningarna mycket svåra.

Vid de kalla försöken användes ett kameraavstånd på 55 cm mellan parallella kameror vilket var bra i den applikationen det viktiga är att bilderna överlappar varandra så mycket som möjligt eftersom det bara går att jämföra punkter som ligger i samma bild. Något absolut mått på hur stort eller litet detta mått är beror på hur kamerorna kan monteras i förhållande till bädden. I dessa försök har ingen sådan test gjorts. Vid montage av kamerorna användes ett vattenpass för att få kamerorna parallella och det var fullt tillräckligt då kalibreringen gjordes efter montage. Hade kamerorna varit monterade med en vinkel mellan sig på 90° hade felet kommit ner i ca ± 1 mm i alla tre riktningarna. Avståndet mellan kamerorna hade i det fallet blivit 7 m vilket inte var realistiskt i det här fallet. Ett rekommenderat avstånd mellan kamerorna är så stort som möjligt men kamerorna skall kunna identifiera samma punkter. Man bör dessutom ta hänsyn till med vilken noggrannhet man skall mäta med och vilken upplösning kamerorna har. Detta är således en fråga för varje enskilt fall.

Det viktigaste med kameraplaceringen

Kamerorna monterades i bränslestupen och bränslet föll därigenom mycket nära kamerorna vilket gav upphov till störningar. Dessutom erhöles vissa vibrationer när vippspjällen öppnades. För att kunna se hur kamerorna var placerade under drift var man tvungen att såga upp ytterligare ett hål i luckan bredvid det som kameran satt i. Detta medförde en viss risk för spridning av gnistor i lokalen i samband med bränslematning. Gnist och rökbildning är ett generellt problem i pannor och går inte att bortse ifrån. Det går däremot att kompensera för snabba händelser med tidsmedelvärdesbildning.

7.1.1 Kamerakvalitet

En kameras noggrannhet beror bland annat på att bilden är uppdelad i ett antal punkter, pixlar. En vanlig digital stillbildskamera har idag 2-10 miljoner pixlar per bild. En vanlig videokamera däremot har på grund av TV-mediets begränsningar inte lika hög upplösning. Det finns videokameror med högre upplösning vilket ger bättre

noggrannhet men en större informationsmängd att bearbeta. I det här fallet är det fullt möjligt att använda en högupplösande kamera då förloppen är långsamma och beräkningskapaciteten är stor. Det är dessutom inte aktuellt att lagra bilderna någon längre period.

Vid filtrering av bilden för att bli av med störningar från t.ex. gnistor fås en viss distorsion, suddighet, i bilden vilket medför att noggrannheten på en pixel minskas något. Det skall dock betonas att man bör använda ett instrument med en bättre mätnoggrannhet än det man vill analysera.

Ifall ett system skulle installeras permanent i en panna kommer man att överväga en kamera med bättre noggrannhet eftersom upplösningen blir bättre och möjligheten att matcha bilder ökar. Det är i detta fall ingen mening med att spara bilderna, möjligen en kort stund för att kunna återge vad som hänt på bädden ifall det blir ett stopp.

7.2 3D- mätning

3D-mätningar kan bli ett komplement till dagens mätningar då man kan se rosten utan problem och man har gått om tid på sig att styra rost och luft på ett sådant sätt att eventuell drivbildning minskas. Drivorna i sig härrör från bränsleinmatningen men det handlar här om att kompensera för de fel som redan begåtts.

För att kunna ge en relevant uppfattning av bäddhöjden måste kamerorna placeras på ett lämpligt sätt för varje bädd. Detta är nödvändigt då inmatningen ser olika ut för olika pannor och det är inte troligt att en panna med pusher och en med fallschakt har samma förutsättningar. Det troliga är att den ideala kameraplaceringen blir ovanför inmatningen och att man använder filtrering för att se genom ånga och flygande gnistor. I fallet med avfallspannor kan denna metod även användas för att identifiera oönskade föremål, t.ex. gastuber, cyklar mm.

För att förbättra möjligheterna att se 3D så behövs fasta referenspunkter som kan ses av båda de involverade kamerorna, till exempel en pinne eller kula som sitter fast i pannan. Det finns ofta karakteristiska punkter i en panna så som skarvar mellan keramplattor, instuckna termoelement, skarvar mellan rostbanor etc. Detta förbättrar dessutom noggrannheten i mätningen.

Vid det aktuella tillfället var kamerapositionerna låsta till var sin lucka och vinkeln mellan kamerorna gjorde det inte möjligt att hitta gemensamma punkter.

Vid de kalla försöken placerades kamerorna parallellt vilket ansågs vara det bästa sättet för att erhålla en bra anpassning. Det lyckades också att på ett relativt enkelt sätt koppla ihop bilderna till en 3D visualisering. Beroende på vilken referens man använder i bilden är det möjligt att mäta både relativa mått och den absoluta bäddhöjden. I dessa mätningar blev noggrannheten ca ± 1 cm.

7.3 Mätning av partikelstorlek

Att bedöma partikelstorleken när bränslet hamnat på bädden är svårt då, framför allt, de små partiklarna riskerar att flyta ihop och se ut som större partiklar. Räkning och storleksbedöma partiklar är i andra industriella sammanhang kommersiell teknik.

Den kommersiella metod som skulle vara applicerbar här är att man mäter storleken över en kant där partiklarna faller och inte ligger i en hög t.ex. vid ett slut på ett transportband. Noggrannheten i ett sådant system är beroende på antalet pixlar i bilden. Systemet nöjer sig med en kamera som placeras vinkelrätt mot den linje där det är lämpligt att mäta. Storleksfördelningen räknas sedan ut automatiskt matematiska algoritmer och statistik, se vidare referens [12]

System för industriell avsyning finns idag på marknaden även om en viss modifiering krävs för att få dessa att fungera vid transportband för olika fastbränslen. För att systemen skall bli driftsäkert krävs ordentlig spolning eftersom det dammar. I dagens läge är platser där omlastning sker i regel i inkapslade områden. Kamera och belysning kan monteras på ett hermetiskt sätt vilket gör det fullt möjligt att använda.

7.4 Bedömning av temperaturprofil

En tydlig sak vi såg i bilderna var när vattnet förångade. Uppvärmningen av bränslet sker dels uppifrån genom strålning och dels nerifrån genom ledning och konvektion. Då trycket i pannan i regel ligger strax under normalt lufttryck betyder att förångningen teoretiskt sker strax under 100°C. Vi kan således tolka bilderna på ett sådant sätt att där vi ser ångan från förångningen är temperaturen ca 100°C. Efter detta kan vi se flamfronten.

Genom det faktum att fuktavgången kan ses och att man kan mäta bäddtjockleken så kan man bedöma ett relativt värde på bränslefukten, [13].

I de bilder som redovisas i denna rapport är lågorna överexponerade vilket innebär att det är svårt att tolka. Detta är dock möjligt att avhjälpa överexponeringen med en ickelinjär känslighet hos kameran. Detta är en funktion som idag finns inbyggt i standardkameror.

7.5 Signalanalys

Vid all typ av mätning finns det risk för att mätsystemet ger felaktig information pga. till exempel överstyrning av signalen, man måste därför ta hänsyn till hur givare, A/D-omvandlare och förstärkare fungerar tillsammans. Detta brukar behandlas inom ett ämne som kallas signalanalys.

Signalanalytiskt medför en överstyrning att signalen klipps av i A/D-omvandlaren och blir distorderad. Detta medför att informationen i en enskild pixel kan bli helt felaktig och därigenom förvränga en bild och i slutändan ge ett mätfel, ref [14]. Detta kan dock

avhjälpas dels genom att använda filter, se ref [15], och dels genom att använda kameror med icke linjär känslighet.

8 Slutsatser

Projektets syfte var att visa att man med standardkameror och industriell programvara, Trackeye®, kan bedöma bäddhöjden i en rostpanna. Detta kan konstateras vara framgångsrikt. I samband med att bilderna samlades in kunde man konstatera att störningar i form av gnistor och sticklågor vilka är enkla att filtrera bort eller använda vid analysen. Metoden bör naturligtvis provas i en varm panna men dessa resultat i dessa försök är förtroendegivande.

Då en rostförbränning är en långsam process där tidsupplösningen inte behöver vara bättre än kanske en bild t.ex. var 10:e sekund så skulle ett första steg i utvecklingen vara ett automatiskt system som analyserar en tidsmedelvärdesbildad bild. Det skulle då finnas gott om tid att göra en anpassning i varje bild och få ett bra mått på bäddhöjden och placeringen av ångavgången. En sådan lösning skulle dessutom medföra att en kamera med högre bildupplösning skulle kunna användas och det skulle gynna noggrannheten i mätningarna.

De framräknade värdena på bäddhöjden skulle sedan kunna projiceras direkt på videobilden från en av kamerorna och därigenom ge operatören en uppfattning om bäddhöjd. Noggrannheten vid den manuella utvärdering som gjordes här blev ca ± 1 cm och detta kan förbättras vid automatisk korrelering mellan punkterna. Detta är fullt tillräckligt vid mätning av bäddhöjd. De värden på bäddhöjden som erhålls skulle sedan kunna appliceras i en styralgoritm som påverkar t.ex. rosthastighet, primärluft, luftförvärmning etc.

Ett system av den här typen skulle kunna användas i fält inom en relativt snar framtid då program och algoritmer redan finns på marknaden och det behövs relativt små kompletteringar.

9 Fortsatt arbete

Projektet gick ut på att visa nya möjligheter inom bildbehandling och bildanalys för användning vid rosteldning.

Vad det gäller kameror bör man prova en kamera med olinjär känslighet för att komma tillrätta med överexponeringen av ånga och lågor. Detta ger eventuellt nya möjligheter att undersöka tändförloppet i en rostpanna och att ge en bild av temperaturfördelningen över pannans bredd. En aspekt på detta är att ångan är genomskinlig när den är överhettad men opak när den fortfarande är under förgasning. Detta betyder att ångan är nära 100°C när vi kan se den i bilden.

Partikelmätning är med dagens kamerateknik tämligen enkelt då man i en bild, tagen med en kamera, kan beräkna storleken av varje sammanhängande objekt. Ligger då partiklarna någorlunda utspridda, som de gör på ett transportband, blir bildanalysen med vidhängande statistikberäkning enkel. Detta borde kunna bli konventionell teknik inom några år. Att analysera bränslepartiklarnas storlek på rosten är svårt då partiklarna klumpar ihop sig. Dessutom skulle man bara kunna analysera ytskiktet vilket skulle ge en skev bild av storleksfördelningen. I en avfallspanna där partiklarna har varierande färg och form är analysen enklare och där kan det ha en viss potential att bedöma partikelstorleken och kunna upptäcka ovälkomna objekt. Det är av intresse att prova partikelmätning on line med ett konventionellt system.

Flygande glödande partiklar i gasen är i regel ett gissel men då de kan urskiljas som linjer i bilden kan man eventuellt använda dessa för att se stillastående virvlar och andra strömningar. Troligtvis är detta mer intressant högre upp i pannan och det kan resultera i ytterligare undersökningar.

10 Litteraturreferenser

- [1] Blom E, Jacoby J, Rodin Å, Rostövervakning – nya metoder för reglering och övervakning av förbränningsroster. Värmeforsk 821, augusti 2003
- [2] Blom E, Metoder för rosterövervakning- dagslägesbestämning. Värmeforsk 721, januari 2001.
- [3] Schuster R et al TPS branschforskning för energiverk. Rapportering från verksamhetsåren hösten 1993 – våren 1996. Värmeforsk 606, maj 1997.
- [4] Rudling L Optimering av askutbränning vid rosteldade anläggningar med hjälp av IR-sensorer. Demonstration av metodens tillämpbarhet. Värmeforsk 677, november 1999.
- [5] Schuster R Möjligheter till förbättrad drift av skogsindustrins barkpannor genom optimerad förbränningsteknisk styrning – etapp 3. Värmeforsk 789, oktober 2002.
- [6] Ramström E, Larfeldt J Indikation av förbränningssituation i nedre del av eldstad genom temperaturmätning på rostens första del. Värmeforsk 826, augusti 2003.
- [7] Hartley R., Zisserman A. Multiple view geometry in computer vision, Cambridge University Press 2000, ISBN 0521623049
- [8] <http://www.imagesystems.se>
- [9] http://www.vidamax.com/style/content/CN-01/product_detail.asp?lang=2&customer_id=410&name_id=6529&rid=14820&id=40690
- [10] Jacoby J, Rodin Å. Förbränningsförhållanden vid omblandning i bränslebäddar på rörlig rost vid eldning av biobränslen och sameldning med returbränslen – Etapp 1 –försök i en kall anläggning
- [11] Westelius, C-J; ”Focus of Attention and Gaze Control for Robot Vision”, Doktorsavhandling nr. 379, Linköpings Universitet, Linköping, 1995
- [12] http://www.ivs.se/Vision_produkter.htm
- [13] Ehleskog R; Lundborg R; Schuster R; Wrangensten L; Avancerad processtyrning av fastbränsleeldade rostpannor, etapp 2. Värmeforsk 793. Oktober 2002.

- [14] Bendat J.S., Piersol A.G. Engineering applications of correlation and spectral analysis, second edition, 1993
- [15] Persson A, Helgesson J. P4-319. Indikation av förbränningssituationen genom bildanalys av rostens eldstad .

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
- Skogsindustrin
- Övrig industri

VÄRMEFORSK SAMARBETAR MED
STATENS ENERGIMYNDIGHET

VÄRMEFORSK SERVICE AB
101 53 Stockholm
Tel 08-677 25 80
Fax 08-677 25 35
www.varmeforsk.se

Beställning av trycksaker
Fax 08-677 25 35